

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO

Tema: Análisis de las combinaciones porcentuales del material de aporte de una junta a tope en un acero ASTM A588 Grado A utilizando los alambres tubulares E71T1 y E81T1NI2 para determinar las propiedades mecánicas en la fabricación de superestructura para puentes

Trabajo de Investigación, previo a la obtención del Grado Académico de
Magister en Diseño Mecánico

Autor: Ing. Oscar Iván Analuiza Maiza

Director: Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, Mg.

Ambato – Ecuador

2016

**A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y
Mecánica**

El Tribunal receptor del Trabajo de Investigación presidido por el Ingeniero Segundo Francisco Pazmiño Gavilanes Magister, e integrado por los señores: Ingeniero Francisco Agustín Peña Jordán Magister, Ingeniero Carlos Mauricio Carrillo Rosero Magister e Ingeniero Gustavo David Patín Manobanda Magister, designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “Análisis de las combinaciones porcentuales del material de aporte de una junta a tope en un acero ASTM A588 Grado A utilizando los alambres tubulares E71T1 y E81T1NI2 para determinar las propiedades mecánicas en la fabricación de superestructura para puentes”, elaborado y presentado por el señor: Ingeniero Oscar Iván Analuiza Maiza, para optar por el Grado Académico de Magister en Diseño Mecánico; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

Ing. Segundo Francisco Pazmiño Gavilanes, Mg.
Presidente del Tribunal

Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, Mg.
Miembro del Tribunal

Ing. Carlos Mauricio Carrillo Rosero, Mg.
Miembro del Tribunal

Ing. Gustavo David Patín Manobanda, Mg.
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Investigación presentado con el tema: Análisis de las combinaciones porcentuales del material de aporte de una junta a tope en un acero ASTM A588 Grado A utilizando los alambres tubulares E71T1 y E81T1NI2 para determinar las propiedades mecánicas en la fabricación de superestructura para puentes, le corresponde exclusivamente a: Ingeniero Oscar Iván Analuiza Maiza, Autor bajo la Dirección del Ingeniero Juan Gilberto Paredes Salinas Magister, Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Oscar Iván Analuiza Maiza

C.C.180382826-6

AUTOR

Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, Mg.

C.C. 180368317-4

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Investigación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ing. Oscar Iván Analuiza Maiza

C.C.180382826-6

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PÁGINAS PRELIMINARES

Portada.....	i
A la unidad académica de titulación	ii
Autoría del trabajo de investigación	iii
Derechos de autor.....	iv
Índice general de contenidos	v
Índice de figuras	xiii
Índice de tablas.....	xv
Agradecimiento	xvi
Dedicatoria	xvii
Resumen ejecutivo	xix
Abstract	xx
Introducción	1

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA	2
1.1. Tema de investigación	2
1.2. Planteamiento del problema	2
1.2.1. Contextualización.....	2
1.2.2. Análisis crítico.....	3
1.2.3. Prognosis	4
1.2.4. Formulación del problema	4
1.2.5. Preguntas directrices	5
1.2.6. Delimitación del problema	5
1.2.6.1 Delimitación de contenido	5
1.2.6.2 Delimitación temporal	5
1.2.6.3 Delimitación espacial.....	5
1.3. Justificación	6

1.4. Objetivos.....	7
1.4.1. Objetivo general	7
1.4.2. Objetivos específicos.....	7

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO	8
2.1. Antecedentes investigativos.....	8
2.2. Fundamentación filosófica.....	9
2.3. Fundamentación legal	9
2.4. Fundamentación teórica.....	10
2.4.1 Ingeniería de materiales	10
2.4.2 Soldadura.....	11
2.4.3 Análisis de soldadura	13
2.4.3.1 Ensayo de soldabilidad operativa.....	13
2.4.3.2 Ensayo de soldabilidad metalúrgica.....	13
2.4.3.3 Ensayo de soldabilidad constructiva.....	14
2.4.4 Alambres tubulares	15
2.4.4.1 Definición	15
2.4.4.2 Tipos.....	17
2.4.5 Soldadura con proceso FCAW	19
2.4.5.1 Definición	19
2.4.5.2 Equipamiento	20
2.4.5.3 Protección gaseosa	21
2.4.5.4 Variables del proceso	23
2.4.5.5 Diseño de juntas	27
2.4.6 Resistencia de materiales	28
2.4.7 Ensayo de materiales	29
2.4.7.1 Ensayo de tracción	29
2.4.7.2 Ensayo de impacto	31
2.4.7.3 Ensayo de dobléz	33
2.4.7.4 Ensayos macrográficos	35

2.4.8	Propiedades mecánicas	36
2.4.8.1	Tensión de tracción ()	37
2.4.8.2	La deformación nominal (ϵ).....	37
2.4.8.3	Módulo de elasticidad	38
2.4.8.4	Ductilidad.....	39
2.4.8.5	Tenacidad	39
2.4.8.6	Criterio de aceptación para ensayos de doblado	40
2.4.8.7	Criterio de aceptación del ensayo de macrográfico	41
2.5.	Categorías fundamentales	42
2.6.	Hipótesis	42
2.7.	Señalamiento de variables	42
2.7.1	Variable independiente	42
2.7.2	Variable dependiente.....	43
2.7.3	Término de relación	43

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA	44
3.1. Enfoque investigativo	44
3.2. Modalidad básica de la investigación	44
3.2.1 Investigación bibliográfica	44
3.2.2 Investigación experimental	45
3.2.3 Investigación aplicada	45
3.3. Nivel o tipo de investigación	45
3.3.1 Investigación exploratoria	45
3.3.2 Investigación descriptiva.....	45
3.3.3 Asociación de variables.....	45
3.3.4 Investigación explicativa.....	46
3.4. Población y muestra.....	46
3.4.1 Población.....	46
3.4.2 Muestra.....	46
3.5. Operacionalización de variables	48

3.5.1	Variable independiente.....	48
3.5.2	Variable dependiente.....	49
3.6.	Plan de recolección de información.....	50
3.6.1	Observación.....	50
3.6.2	Documental	50
3.7.	Plan de procesamiento de la información.....	50
3.7.1	Procesamiento de la información recogida	50
3.7.2	Análisis e interpretación de resultados.....	51

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	52
4.1. Análisis de resultados	52
4.1.1 Proceso de análisis de resultados	52
4.1.2 Determinación de materiales	55
4.1.2.1 Material base.....	55
4.1.2.2 Material de aporte	56
4.1.3 Determinación de la junta de soldadura	58
4.1.4 Preparación de probetas para la soldadura	58
4.1.5 Soldadura de probetas	60
4.1.5.1 Parámetros de soldadura	60
4.1.5.2 Técnica de soldadura.....	60
4.2 Presentación de resultados.....	62
4.2.1 Análisis del acero ASTM A588 como viene de fabrica.....	63
4.2.2 Ensayo de tracción de las probetas con alambre tubular E71T1 y 100% CO ₂ como gas de protección.	64
4.2.3 Ensayo de tracción de las probetas con alambre tubular E71T1 y 80%Argón-20%CO ₂ como gas de protección.....	66
4.2.4 Ensayo de tracción de las probetas con alambre tubular E81T1NI2 y 100% CO ₂ como gas de protección.	68
4.2.5 Ensayo de tracción de las probetas con alambre tubular E81T1NI2 y 80%Argón-20%CO ₂ como gas de protección.....	70

4.2.6	Ensayo de tracción de las probetas con la combinación 40% E71T1 - 60% E81T1NI2 y 100%CO ₂ como gas de protección.	72
4.2.7	Ensayo de tracción de las probetas con la combinación 40% E71T1 - 60% E81T1NI2 y 80% Argón-20%CO ₂ como gas de protección.....	74
4.2.8	Ensayo de tracción de las probetas con la combinación 50% E71T1 - 50% E81T1NI2 y 100%CO ₂ como gas de protección.	76
4.2.9	Ensayo de tracción de las probetas con la combinación 50% E71T1 - 50% E81T1NI2 y 80% Argón-20%CO ₂ como gas de protección.	78
4.2.10	Ensayo de tracción de las probetas con la combinación 80% E71T1 - 20% E81T1NI2 y 100%CO ₂ como gas de protección.	80
4.2.11	Ensayo de tracción de las probetas con la combinación 80% E71T1 - 20% E81T1NI2 y 80% Argón-20%CO ₂ como gas de protección.....	82
4.2.12	Ensayo de impacto de las probetas con alambre tubular E71T1 y 100% CO ₂ como gas de protección.	84
4.2.13	Ensayo de impacto de las probetas con alambre tubular E71T1 y 80% Argón-20%CO ₂ como gas de protección.....	85
4.2.14	Ensayo de impacto de las probetas con alambre tubular E81T1NI2 y 100% CO ₂ como gas de protección.	86
4.2.15	Ensayo de impacto de las probetas con alambre tubular E81T1NI2 y 80% Argón-20%CO ₂ como gas de protección.....	87
4.2.16	Ensayo de impacto de las probetas con la combinación 40% E71T1 - 60% E81T1NI2 y 100%CO ₂ como gas de protección.	88
4.2.17	Ensayo de impacto de las probetas con la combinación 40% E71T1 - 60% E81T1NI2 y 80% Argón-20%CO ₂ como gas de protección.....	89
4.2.18	Ensayo de impacto de las probetas con la combinación 50% E71T1 - 50% E81T1NI2 y 100%CO ₂ como gas de protección.	90
4.2.19	Ensayo de impacto de las probetas con la combinación 50% E71T1 - 50% E81T1NI2 y 80% Argón-20%CO ₂ como gas de protección.....	91
4.2.20	Ensayo de impacto de las probetas con la combinación 80% E71T1 - 20% E81T1NI2 y 100%CO ₂ como gas de protección.	92
4.2.21	Ensayo de impacto de las probetas con la combinación 80% E71T1 - 20% E81T1NI2 y 80% Argón-20%CO ₂ como gas de protección.....	93

4.2.22 Ensayo de doblez guiado de las probetas con alambre tubular E71T1 y 100% CO ₂ como gas de protección.....	94
4.2.23 Ensayo de doblez guiado de las probetas con alambre tubular E71T1 y 80% Argón-20%CO ₂ como gas de protección.....	95
4.2.24 Ensayo de doblez guiado de las probetas con alambre tubular E81T1NI2 y 100% CO ₂ como gas de protección.....	96
4.2.25 Ensayo de doblez guiado de las probetas con alambre tubular E81T1NI2 y 80% Argón-20%CO ₂ como gas de protección.....	97
4.2.26 Ensayo de doblez guiado de las probetas con la combinación 40% E71T1 - 60% E81T1NI2 y 100%CO ₂ como gas de protección.	98
4.2.27 Ensayo de doblez guiado de las probetas con la combinación 40% E71T1 - 60% E81T1NI2 y 80% Argón-20%CO ₂ como gas de protección.	99
4.2.28 Ensayo de doblez guiado de las probetas con la combinación 50% E71T1 - 50% E81T1NI2 y 100%CO ₂ como gas de protección.	100
4.2.29 Ensayo de doblez guiado de las probetas con la combinación 50% E71T1 - 50% E81T1NI2 y 80% Argón-20%CO ₂ como gas de protección.	101
4.2.30 Ensayo de doblez guiado de las probetas con la combinación 80% E71T1 - 20% E81T1NI2 y 100%CO ₂ como gas de protección.	102
4.2.31 Ensayo de doblez guiado de las probetas con la combinación 80% E71T1 - 20% E81T1NI2 y 80% Argón-20%CO ₂ como gas de protección.	103
4.2.32 Ensayo macrográfico de las probetas con alambre tubular E71T1 y 100% CO ₂ como gas de protección.	104
4.2.33 Ensayo macrográfico de las probetas con alambre tubular E71T1 y 80% Argón-20%CO ₂ como gas de protección.....	105
4.2.34 Ensayo macrográfico de las probetas con alambre tubular E81T1NI2 y 100% CO ₂ como gas de protección.....	106
4.2.35 Ensayo macrográfico de las probetas con alambre tubular E81T1NI2 y 80% Argón-20%CO ₂ como gas de protección.....	107
4.2.36 Ensayo macrográfico de las probetas con la combinación 40% E71T1 - 60% E81T1NI2 y 100%CO ₂ como gas de protección.	108
4.2.37 Ensayo macrográfico de las probetas con la combinación 40% E71T1 - 60% E81T1NI2 y 80% Argón-20%CO ₂ como gas de protección.	109

4.2.38 Ensayo macrográfico de las probetas con la combinación 50% E71T1 - 50% E81T1NI2 y 100%CO ₂ como gas de protección.	110
4.2.39 Ensayo macrográfico de las probetas con la combinación 50% E71T1 - 50% E81T1NI2 y 80% Argón-20%CO ₂ como gas de protección.	111
4.2.40 Ensayo macrográfico de las probetas con la combinación 80% E71T1 - 20% E81T1NI2 y 100%CO ₂ como gas de protección.	112
4.2.41 Ensayo macrográfico de las probetas con la combinación 80% E71T1 - 20% E81T1NI2 y 80% Argón-20%CO ₂ como gas de protección.	113
4.3 Interpretación de resultados	114
4.3.1 Interpretación de resultados del ensayo de tracción.....	114
4.3.2 Interpretación de resultados del ensayo de impacto.....	122
4.3.3 Interpretación de resultados del ensayo de doblado guiado	127
4.3.4 Interpretación de resultados del ensayo de macrografía	130
4.4 Verificación de hipótesis	135

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	137
5.1 Conclusiones.....	137
5.2 Recomendaciones	139

CAPÍTULO VI

PROPUESTA	140
6.1 Datos informativos.....	140
6.2 Antecedentes de la propuesta.....	141
6.3 Justificación	141
6.4 Objetivos.....	142
6.4.1 Objetivo general	142
6.4.2 Objetivos específicos.....	142
6.5 Análisis de factibilidad	143
6.5.1 Análisis tecnológico	143

6.6	Fundamentación.....	143
6.7	Metodología.....	144
6.7.1	Revisión preliminar	147
6.7.2	Corte y armado	150
6.7.3	Proceso de soldadura.....	153
6.7.4	Calificación	156
6.7.5	Especificación del procedimiento de soldadura para la combinación de alambre tubulares 80%E71T1-20% E81T1NI2	164
6.7.5.1	WPS (Especificación del procedimiento de soldadura)	164
6.7.5.2	PQR (Registro de calificación del procedimiento de soldadura)	165
6.7.6	Valorización económica.....	167
6.7.6.1	APU de soldadura de acero A588 con alambre tubular E81T1NI2	168
6.7.6.2	APU de soldadura de acero A588 con alambre tubular E71T1....	169
6.7.6.3	APU de soldadura de acero A588 con la combinación 80%E71T1-20% E81T1NI2.....	170
6.8	Administración	171
6.9	Previsión de la evaluación	172
	BIBLIOGRAFÍA	173
	ANEXOS	175

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de soldadura por arco eléctrico	12
Figura 2. Evolución histórica de los distintos procesos de soldadura.....	12
Figura 3. Corte del alambre tubular	15
Figura 4. Proceso de fabricación del alambre tubular.....	16
Figura 5. Esquema del Circuito de soldadura FCAW	21
Figura 6. Soldadura con alambre tubular con protección gaseosa.....	22
Figura 7. Velocidad de alimentación del alambre vs. Corriente de soldadura, para varios diámetros, para un E70T1	23
Figura 8. Esquema de la longitud libre de electrodo.....	24
Figura 9. Velocidad de deposición vs. Corriente de soldadura, para varios diámetros	26
Figura 10. Ángulo de arrastre	27
Figura 11. Probeta de sección normalizada circular	30
Figura 12. Máquina de ensayo de tracción.....	31
Figura 13. Máquina de ensayo Charpy	32
Figura 14. Ensayo de impacto.....	33
Figura 15. Tipos de ensayo de dobléz.....	33
Figura 16. Comportamiento mecánico en el ensayo de tensión de materiales frágiles en comparación con materiales dúctiles.....	34
Figura 17. Ejemplo de ensayo de dobléz	35
Figura 18. Ensayo macrográfico	36
Figura 19. Esfuerzo de cedencia superior e inferior de un acero de bajo carbono	38
Figura 20. Curva de ensayo a tracción (Esfuerzo- Deformación).....	38
Figura 21. Criterio de aceptación y rechazo en juntas de soldadura	41
Figura 22. Súper ordinación de variables.....	42
Figura 23. Proceso de análisis de resultados.....	54
Figura 24 Junta de Soldadura.....	58
Figura 25. Proceso de preparación de probetas.....	59
Figura 26. Número de pase	61

Figura 27. Comparación de resistencia a la tracción de probetas protegidas con CO ₂	116
Figura 28. Comparación del límite de fluencia de probetas protegidas con CO ₂	116
Figura 29. Comparación del porcentaje de elongación de probetas protegidas con CO ₂	117
Figura 30. Comparación de resistencia a la tracción de probetas protegidas con gas 80%Ar-20%CO ₂	119
Figura 31. Comparación del límite de fluencia de probetas protegidas con 80%Ar-20%CO ₂	120
Figura 32. Comparación del porcentaje de elongación de probetas protegidas con 80%Ar-20%CO ₂	121
Figura 33. Comparación de la energía de impacto de probetas protegidas con CO ₂	123
Figura 34. Comparación del porcentaje de fractura dúctil de probetas protegidas con CO ₂	123
Figura 35. Comparación de la energía de impacto de probetas protegidas con 80%Ar-20%CO ₂	125
Figura 36. Comparación del porcentaje de fractura dúctil de probetas protegidas con 80%Ar-20%CO ₂	126
Figura 37. Comparación del doblado guiado de probetas protegidas con CO ₂ ...	127
Figura 38. Comparación del doblado guiado de probetas protegidas con 80%Ar-20%CO ₂	129
Figura 39. Comparación de la macrográfico de probetas protegidas con CO ₂ ...	131
Figura 40. Comparación de la macrográfico de probetas protegidas con 80%Ar-20%CO ₂	132
Figura 41. Evaluación de combinaciones.....	135
Figura 42. Comparación de costos	171

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diseño de junta a tope	28
Tabla 2. Muestra de probetas para ensayos.....	47
Tabla 3. Variable independiente	48
Tabla 4. Variable dependiente.....	49
Tabla 5. Identificación de probetas	54
Tabla 6. Requisito químico del acero A709 Gr. 345W	55
Tabla 7. Requerimiento químico de material base.....	55
Tabla 8. Propiedades mecánicas del material base	56
Tabla 9. Requerimientos químico del material base y aporte	57
Tabla 10. Propiedades mecánicas metal base y metal de aporte.....	57
Tabla 11. Parámetros de soldadura generales	60
Tabla 12. Técnica del proceso de soldadura	61
Tabla 13. Identificación de probetas	62
Tabla 14. Parámetros de evaluación de los alambres E71T1, E81T1Ni2 y metal base.....	114
Tabla 15. Resultados del ensayo de tracción de probetas soldadas y protegidas con 100% CO ₂	115
Tabla 16. Evaluación del ensayo de tracción de probetas soldadas y protegidas con 100% CO ₂	118
Tabla 17. Resultados del ensayo de tracción de probetas soldadas y protegidas con gas 80% Ar-20% CO ₂	118
Tabla 18. Evaluación del ensayo de tracción de probetas soldadas y protegidas con gas 80% Ar-20% CO ₂	121
Tabla 19. Resultados del ensayo de impacto de probetas soldadas y protegidas con 100% CO ₂	122
Tabla 20. Evaluación del ensayo de impacto de probetas soldadas y protegidas con 100% CO ₂	124
Tabla 21. Resultados del ensayo de impacto de probetas soldadas y protegidas con 80% Ar-20% CO ₂	124

Tabla 22. Evaluación del ensayo de impacto de probetas soldadas y protegidas con 80% Ar-20% CO ₂	126
Tabla 23. Resultados del ensayo del doblado guiado de probetas soldadas y protegidas con 100% CO ₂	127
Tabla 24. Evaluación del ensayo del doblado guiado de probetas soldadas y protegidas con 100% CO ₂	128
Tabla 25. Resultados del ensayo del doblado guiado de probetas soldadas y protegidas con 80% Ar-20% CO ₂	129
Tabla 26. Resultados del ensayo del doblado guiado de probetas soldadas y protegidas con 80% Ar-20% CO ₂	130
Tabla 27. Resultados del ensayo de macrografía de probetas soldadas y protegidas con 100% CO ₂	130
Tabla 28. Evaluación del ensayo de macrografía de probetas soldadas y protegidas con 100% CO ₂	131
Tabla 29. Resultados del ensayo de macrografía de probetas soldadas y protegidas con 80% Ar-20% CO ₂	132
Tabla 30. Evaluación del ensayo de macrografía de probetas soldadas y protegidas con 80% Ar-20% CO ₂	133
Tabla 31. Evaluación de combinaciones de propiedades mecánicas	134
Tabla 32. Resumen de evaluación de combinaciones de propiedades mecánicas	135
Tabla 33. Comparación de propiedades mecánicas	136
Tabla 34. APU de la soldadura de acero A588 con alambre tubular E81T1NI2	168
Tabla 35. APU de soldadura de acero A588 con alambre tubular E71T1	169
Tabla 36. APU de soldadura de acero A588 con la combinación 80% E71T1-20% E81T1NI2	170
Tabla 37. Costos de Soldadura por cada kilo	171
Tabla 38. Análisis Económico	172

AGRADECIMIENTO

A dios por la vida, salud, capacidad y permitir dar un paso más en mi vida profesional.

A mis padres y hermanos por su confianza, paciencia, comprensión y estar conmigo en los buenos y malos momentos.

A los maestros de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica quienes compartieron sus experiencias y por transmitir sus conocimientos que enriquecieron mi formación profesional, en especial a mi tutor Juan Paredes quien me ha brindado sus conocimientos con paciencia y dedicación.

A mis familiares, amigos y compañeros que generosamente han contribuido para que esta investigación se haga una realidad.

“GRACIAS A TODOS “

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis queridos padres quienes son la base esencial para el crecimiento como persona y como profesional.

A mis hermanos quienes estuvieron junto a mi apoyándome moral y psicológicamente en toda adversidad que se presentó en mi vida.

A mis familiares cercanos quienes supieron apoyar mis decisiones en el transcurso de toda mi vida y de quienes aprendí los valores de responsabilidad, respeto y humildad.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA /DIRECCIÓN DE
POSGRADO
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO

Análisis de las combinaciones porcentuales del material de aporte de una junta a tope en un acero ASTM A588 Grado A utilizando los alambres tubulares E71T1 y E81T1NI2 para determinar las propiedades mecánicas en la fabricación de superestructura para puentes.

AUTOR: Ing. Oscar Iván Analuiza Maiza

DIRECTOR: Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, Mg.

FECHA: 14 de noviembre del 2016

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo de investigación se realizó tres tipos de combinaciones porcentuales de los alambres tubulares en una junta a tope del acero ASTM A 588 Grado A. Posteriormente se procedió a obtener las probetas para realizar los ensayos destructivos de tracción, impacto, dobles guiado y macrografía y determinar las propiedades mecánicas, con el análisis e interpretación de resultados se llegó a determinar la mejor combinación del material de aporte. Finalmente, se plantea una propuesta de elaboración de un procedimiento de soldadura WPS y PQR para la combinación 80% E71T1 – 20% E81T1NI2 con CO₂ como gas de protección que fue la combinación con mejores propiedades mecánicas. Este proyecto de investigación está fundamentado en el código AWS D1.5, en el que se encuentran las disposiciones generales, diseño de conexiones, ejecución, técnica y calificación para la soldadura de puentes. Para su desarrollo se contó con los equipos de los laboratorios y asesoramiento de los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Descriptor: Combinaciones, porcentuales, material de aporte, juntas a tope, alambres tubulares, propiedades mecánicas, superestructura, procedimientos, técnica, calificación.

TÉCNICA UNIVERSITY OF AMBATO
CIVIL ENGINEERING AND MECHANICS FACULTY
POGRADUATE UNIT
MASTERS IN MECHANICS DESIGN PROGRAM

Analysis of the percentage combinations of filler material of a butt joint in a ASTM A588 Grade A steel type using the tubular wires E71T1 and E81T1NI2 in order to determine the mechanical properties in the manufacture of superstructure parts for bridges construction.

AUTHOR: Eng. Oscar Iván Analuiza Maiza

DIRECTED BY: Eng. Juan Gilberto Paredes Salinas, Mg.

DATE: 14th November, 2016

ABSTRACT

For the present research work, three types of percentage combinations of tubular wires were made in a butt joint steel ASTM A 588 Grade A. Afterwards, the test specimens were obtained to perform destructive test of traction, impact, double guidance and macrography in order to determine the mechanical properties. The analysis and interpretation of results helped to determine, the best combination of the filler material. Finally, a proposal of a WPS and PQR welding process is set up to combine 80% E71T1 - 20% E81T1NI2 along with CO₂ as protection gas which has proved to be the combination with the best mechanical properties. This research project is based on the AWS D1.5 code, which contains the general provisions, design of connections, execution, techniques and qualification for the welding of bridges. The development of this project counted on the equipment of the laboratories and advice from civil engineering and mechanics faculty teachers of the Technical University of Ambato.

Key words: Combinations, percentage, supply material, butt joints, tubular wires, mechanical properties, superstructure, procedures, technical, qualification.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la preferencia en el ámbito nacional para diseños estructurales, enfocados más a puentes vehiculares va aumentando. Por lo tanto, el proceso de soldadura con alambres tubulares está siendo utilizada en el país por su versatilidad, facilidad de manejo, buen rendimiento, entre otros. De ahí la necesidad de que los alambres tubulares y las combinaciones sean garantizados y evaluados en sus características mecánicas. En el mercado nacional se encuentra diversos tipos de material de aporte entre ellos los alambres tubulares utilizados para el proceso FCAW con gas de protección.

La ingeniería actual propone alternativas que permitan reducir costos de construcción y mantenimiento, disminuir el impacto ambiental, mayor durabilidad, siendo esto posible mediante el uso de combinación de materiales, empleando técnicas de unión que permitan realizar construcciones de calidad y mayor viabilidad desde un punto de vista económico.

Este proyecto de investigación pretende incentivar las combinaciones porcentuales del material de aporte de una junta a tope en un acero ASTM A588 Grado A utilizando los alambres tubulares E71T1 y E81T1N12 empleado como técnica de unión en la construcción de puentes vehiculares con el objetivo de comparar las propiedades mecánicas de las diferentes combinaciones del material de aporte.

De manera general, se realizó el análisis previo al cumplimiento del código internacional AWS D1.5 (Código de soldadura para puentes), demostrando así a la industria nacional que la aplicación de la soldadura con la combinación de alambres tubulares propuesto es segura, siempre y cuando se apliquen adecuadamente el código correspondiente, logrando así una superestructura de calidad, resistente, confiable y de bajo costo. Como complemento de este trabajo de investigación se realizó un procedimiento de soldadura de la mejor combinación encontrada, que sirve como guía para la aplicación en la construcción de puentes metálicos.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1.TEMA DE INVESTIGACIÓN

ANÁLISIS DE LAS COMBINACIONES PORCENTUALES DEL MATERIAL DE APORTE DE UNA JUNTA A TOPE EN UN ACERO ASTM A588 GRADO A UTILIZANDO LOS ALAMBRES TUBULARES E71T1 Y E81T1NI2 PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN LA FABRICACIÓN DE SUPERESTRUCTURA PARA PUENTES.

1.2.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. CONTEXTUALIZACIÓN

El avance en el diseño de nuevos aceros no siempre permite disponer de los conocimientos necesarios para predecir el comportamiento de los mismos como componentes de una junta soldada. El criterio que se utiliza para realizar una especificación de procedimiento de soldadura es la compatibilidad de las propiedades mecánicas y metalúrgicas del metal de aporte con el metal base; esto implica la utilización de consumibles que tengan propiedades similares o superiores a las del metal base (Zalazar M, 2009, pág. 37).

Su aplicación estuvo condicionada por el propio desarrollo industrial y las necesidades de realizar construcciones soldadas, con gran rigidez y calidad, para facilitar cada vez más el proceso de fabricación, garantizando la disminución del costo, la seguridad, fiabilidad y la resistencia ante las condiciones de trabajo

impuestas. Es necesario, por lo tanto, tener razonable cuidado durante el proceso de soldadura para minimizar o prevenir cualquier efecto de deterioro que pueda ocurrir y preservar el mismo grado de resistencia y esfuerzo en la zona soldada que es una parte inherente del metal base (Pérez J, 2014).

A nivel mundial se aplican los requisitos de fabricación de estructuras soldadas de aceros al carbono y baja aleación, además deben cumplir el código AWS (Estructural Welding Code) que permite establecer condiciones mínimas de soldaduras.

En nuestro país la ciencia de la soldadura se está modernizando a grandes pasos, aunque sus principios básicos sean los mismos. A pesar de los grandes adelantos tecnológicos en la soldadura, esta sigue siendo susceptible a fallas, razón por la cual se debe seguir investigando en la soldabilidad de los diferentes materiales, tal que ella juega un papel importante en la calidad de las juntas soldadas (Marulanda J, 2013, pág. 93).

En la amazonia se está aplicando los distintos tipos de soldadura que se utilizan para la fabricación de vigas en la superestructura de puentes, pero no existen combinaciones de soldadura acorde a las normas que establecen el estándar y control de calidad de la soldadura (Sailema J, 2014), así también es importante que tipo o mezcla de material de aporte es el más apropiado en la unión de los aceros, para ello se utilizan ensayos de tracción, dobléz y macrográficos para determinar sus propiedades, debido a que durante la soldadura se puede presentar fallas o disminución de sus propiedades mecánicas (Marulanda J, 2013, pág. 94).

1.2.2. ANÁLISIS CRÍTICO

El efecto de la globalización y requerimientos del cumplimiento de normas y reglamentos técnicos (AWS D1.5) para la fabricación de vigas y tablero metálicos para puentes en la industria de la construcción nacional; así como la necesidad de los constructores de lograr una estructura económica y cumpla con ciertos requisitos funcionales y estéticos, además en vista que existen deficiencias, en cada etapa de fabricación de las mismas, desde el uso inadecuado de los materiales y de los

recursos humanos, por consiguiente es importante analizar las combinaciones del material de aporte con los alambres tubulares y llevar el proceso de soldadura de manera eficiente y se pueda mantener y/o mejorar las propiedades mecánicas, por consiguiente una disminución de costos del proceso, además permitirá una mejor selección de los materiales de aporte, contribuyendo a realizar mejores procedimientos de soldadura, para ello se lleva a cabo este estudio.

Tecnológicamente es viable la realización de este estudio, debido a que en la región donde se va a desarrollar el mismo, se cuenta con diversos proyectos de Construcción de Puentes para obtener las configuraciones requeridas y los ensayos se los realizará en los laboratorios de la FICM – UTA y/o en los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional – Quito, que cuenta con los equipos necesarios.

1.2.3. PROGNOSIS

Dentro de la industria de la construcción nacional la tendencia a las combinaciones de los alambres tubulares se ha incrementado, esto debido a su alto rendimientos y buenas propiedades mecánicas. Las propiedades mecánicas obtenidas en esta investigación pueden ser utilizados como referencia para posteriores investigaciones de otras combinaciones del material de aporte y metal base, además implementar como un nuevo proceso de soldadura para la mejora continua de cada proceso de fabricación en la construcción de superestructuras para puentes. Por lo que es necesario realizar el presente análisis para determinar e identificar el mejor porcentaje de combinación de alambres tubulares en la soldadura y brindar mayor confiabilidad en las uniones soldadas de puentes estructurales.

1.2.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿El análisis de las combinaciones porcentuales del material de aporte de una junta a tope en un acero ASTM A588 Grado A utilizando los alambres tubulares E71T1 y E81T1N12 determinará las propiedades mecánicas en la fabricación de superestructura para puentes?

1.2.5. PREGUNTAS DIRECTRICES

-) ¿Cuáles son los parámetros que actúan en los procesos de soldadura con alambres tubulares en acero ASTM A588 Grado A?
-) ¿Cuáles son las combinaciones porcentuales de los alambres tubulares y el gas de protección aplicadas en la fabricación de superestructura para puentes?
-) ¿Cómo se encontrará las propiedades mecánicas de tracción e impacto en las juntas soldadas de acero ASTM A588 Grado A?
-) ¿Qué tipo de defectos sucederá en el ensayo de dobles guiado en las juntas soldadas de acero ASTM A 588 con los alambres tubulares?
-) ¿Cuál es la mejor combinación porcentual del material de aporte en el acero ASTM A588 Grado A?

1.2.6. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.6.1 DELIMITACIÓN DE CONTENIDO

El presente estudio enfoca su realización en el área de Ingeniería de Materiales, Resistencia de Materiales, Ciencia de los Materiales, Procesos de Fabricación y Estadística, siendo estas las materias principales.

1.2.6.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL

Este análisis se lo realizara en un periodo que comprende los meses de mayo del 2016 - noviembre del 2016, tiempo en el cual se determinara todos los parámetros que sean necesarios para una correcta información sobre el problema planteado.

1.2.6.3 DELIMITACIÓN ESPACIAL

El análisis de las combinaciones de soldadura, se lo realizará en la provincia de Pastaza, ciudad de Puyo, específicamente en la construcción del Puente sobre el Rio

Anzu en Santa Clara. Así como los ensayos en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato ubicada en la ciudad de Ambato, Campus Huachi Chico y/o el laboratorio de materiales de Escuela Politécnica Nacional (EPN), ubicado en la ciudad de Quito.

1.3.JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de esta investigación se ve justificada por muchos aspectos, uno de ellos es el grado de importancia que tienen los constructores de estructuras metálicas que buscan alternativas de mejoramiento continuo, optimización y reducción de costos en los procesos de fabricación, por lo que al finalizar el mismo se podrá obtener de gran información sobre las combinaciones de juntas de soldadura y los porcentajes óptimos de los materiales de aporte, es decir se dispondrá de gráficas de carga, esfuerzo e impacto, datos muy necesarios para la selección del material de aporte. Otro aspecto fundamental es la innovación que tendrá el estudio, en cuanto al tipo de materiales de aporte seleccionado, en vista que no existen procedimientos tipo mezclas peor aún en porcentajes adecuados que cumplan con el requerimiento de la norma para puentes.

En vista que cada uno de los proyectos necesitan de uno o más procedimientos de soldadura, los cuales deben definir con suficiente detalle cómo se realizarán el proceso, por ello es de importancia esta investigación para determinar y justificar cuál de las combinaciones posee las mejores propiedades y buena calidad, logrando brindar mayor confiabilidad en las uniones soldadas en la fabricación de superestructura para puentes.

Otro factor y muy importante es el tecnológico, en vista que el proceso FCAW con alambres tubulares provee una excelente productividad y rendimiento. Con este proyecto se intenta desarrollar la investigación científica y tecnológica de los materiales de aporte como una solución a los problemas económicos en el proceso, contribuir con el mejoramiento de la calidad, aumento de producción e impulsar el desarrollo sustentable del país. Finalmente, se cuenta con la información y herramientas técnicas para el desarrollo de la investigación, por lo tanto, se considera factible.

1.4.OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

-) Analizar las combinaciones porcentuales del material de aporte de una junta a tope en un acero ASTM A588 Grado A utilizando los alambres tubulares E71T1 y E81T1NI2 para la fabricación de superestructura para puentes.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

-) Precisar los parámetros que intervienen en los procesos de soldadura con alambres tubulares en acero ASTM A588 Grado A, mediante el código AWS D1.5.
-) Establecer los porcentajes de combinación de los alambres tubulares y el gas de protección.
-) Determinar las propiedades mecánicas de tracción e impacto bajo el código AWS D 1.5 de las respectivas combinaciones.
-) Analizar los defectos de las juntas soldadas mediante los ensayos de dobléz guiado y ensayo macrográfico bajo el código AWS D1.5 de las respectivas combinaciones.
-) Determinar la mejor combinación porcentual del material de aporte en el acero ASTM A588 Grado A.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

En los últimos años tanto el diseño como el nivel de exigencia de las estructuras soldadas han experimentado cambios notables debido al incremento en el uso de aceros de alta resistencia y baja aleación. Este avance en el diseño de nuevos aceros no siempre permite disponer de los conocimientos necesarios para predecir el comportamiento de los mismos como componentes de una junta soldada. El criterio que se utiliza para realizar una especificación de procedimiento de soldadura es la compatibilidad de las propiedades mecánicas y metalúrgicas del metal de aporte con el metal base; esto implica la utilización de consumibles que tengan propiedades similares o superiores a las del metal base (Zalazar M, 2009, pág. 37). La elección del proceso de soldadura a utilizar en muchos casos está limitado al tipo de junta, variables del procedimiento y condiciones de trabajo, por lo tanto, un proceso de soldadura bien seleccionado permitirá optimizar la productividad y reducción de costos (Eyheralde M, 2012, pág. 1)

Una de las investigaciones que es referente para el presente análisis de las combinaciones del material de aporte de una junta a tope en un acero ASTM A588 Grado A, es la realizada por la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires conformado por H. G. Svoboda, N. M. Ramini de Rissone, E. Surian y L.A. de Vedia que se refiere al “EFECTO DEL RELLENO DE ALAMBRES TUBULARES EN EL METAL DE APORTE PURO FERRÍTICO DE ALTA RESISTENCIA ALEADO AL C-Mn-Ni”, y observaron que: al utilizarse como gas de protección la mezcla de Ar-20%CO₂ se obtiene un

mayor contenido de Mn y el contenido de oxígeno en el metal de soldadura es un factor determinante en la tenacidad de los depósitos obtenidos con alambres tubulares del tipo “metal-cored” y “flux-cored”, debido a su influencia en el desarrollo microestructura, observándose que para concentraciones menores de 500 partículas por millón (ppm) se obtienen mayores valores de tenacidad.

Además R. Del Negro, M. Zalazar y E. Asta, con la “CARACTERIZACIÓN DE JUNTAS SOLDADAS EN ACERO ESTRUCTURAL DE ALTA RESISTENCIA” en Buenos Aires octubre de 2009 indica que: en el momento de realizar el procedimiento de soldadura deberá analizarse la composición química del metal de soldadura y su comportamiento a la fisuración en frío. Aportes más aleados con una metalurgia basada en la transformación martensítica requieren mayor precalentamiento lo cual no está contemplado en los códigos de construcción.

2.2. FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

La presente investigación sobre el análisis de las combinaciones porcentuales del material de aporte de una junta a tope en un acero ASTM A588 Grado A utilizando los alambres tubulares E71T1 y E81T1NI2 está ubicada dentro del paradigma crítico positivo; crítico porque se conseguirá avances dentro del área de soldadura y propositivo porque se busca plantear una alternativa de solución a la combinación de materiales de aporte que puedan ayudar al diseño de juntas de soldadura, a la selección de materiales de aporte y optimizar los costos de producción.

2.3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL

La caracterización mecánica de las probetas para los ensayos de tracción, impacto, dobles guiado y macrografía, estará determinado según la norma:

-) Código AWS D1.5 (Código de soldadura para puentes)

-) Código AWS D1.1 (Structural welding code steel)

- J Norma ASTM A588 (High-strength low-alloy structural steel with 50 ksi [345 MPa] minimum yield point to 4-in. [100-mm] thick.
- J Código AWS A5.20 (Specification for carbon steel electrodes for flux cored arc welding)
- J Código AWS A5.29 (Specification for low alloy steel electrodes for flux cored arc welding)
- J Norma ASTM E 8 (Tension testing of metallic materials)
- J Norma ASTM E 23 (Notched bar impact testing of metallic materials)
- J Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 040:2009 (Soldadura de estructuras de acero).

2.4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.4.1 INGENIERÍA DE MATERIALES

La ingeniería de materiales se fundamenta en las relaciones propiedades – estructura y diseña o proyecta la estructura de un material para conseguir un conjunto predeterminado de propiedades (Callister W, 2000, pág. 2).

A menudo el problema que se presenta es la elección del material más idóneo de entre los muchos miles de materiales disponibles. Existen varios criterios en los cuales se basa normalmente la decisión final. En primer lugar, debe caracterizarse las condiciones en que el material prestara servicio, y se anotara las propiedades requeridas por el material para dicho servicio. La segunda consideración se refiere a la degradación que el material experimenta en servicio. Finalmente, la consideración más convincente es probablemente la economía. Cuando más familiarizado estén los ingenieros o los científicos con las diferentes características y relaciones propiedad – estructura de los materiales, así como de las técnicas de su

procesado, mayor será la habilidad y confianza para hacer la elección sensata basada en estos criterios (Callister W, 2000, pág. 3).

2.4.2 SOLDADURA

El origen de la soldadura como tecnología para la unión de materiales metálicos se remonta hasta la Edad de Bronce, donde se encuentran los primeros vestigios de procesos de soldadura utilizados para fines ornamentales. En la Edad Media la soldadura en fase sólida se utilizaba para reducir el mineral de hierro a hierro metálico sin necesidad de fundirlo. Sin embargo, el problema de unir chapa fue solucionado por la soldadura por fusión, en la cual una fuente de calor suficientemente intensa como para fundir los bordes de ambas chapas a unir es desplazada a lo largo de la junta. Fuentes de calor suficientemente intensas estuvieron disponibles a escala industrial recién al final del siglo XIX, cuando hicieron su aparición la soldadura oxi-gas, la soldadura por arco eléctrico y la soldadura por resistencia (Svaboda H, 2002, pág. 2).

Se llama soldadura al proceso en el que se unen dos metales mediante una fusión localizada, producida por un arco eléctrico entre un electrodo metálico y el metal base que se desea unir; para posteriormente conseguir un cordón (punto de soldadura) que al enfriarse forman una unión fuerte (Torres J, 2013, pág. 33).

Existen numerosos tipos de soldadura; entre los más comunes están: soldadura por arco como se indica en la Figura 1. Soldadura a gas, soldadura por puntos, soldadura por plasma, etc. El tipo de soldadura más común empleado es la soldadura por arco, debido a su fácil modo de aplicación y su bajo costo comparado con los otros tipos de soldadura (Alonso J, 2008, pág. 2).

Así la soldadura adquiriría una posición de importancia central en la construcción de estructuras. Esta tendencia ha continuado y desde la invención, en 1943, del proceso de soldadura con protección por gas inerte, los procesos de soldadura se han desarrollado y multiplicado a una gran velocidad, dando como resultado que la gran mayoría de los materiales metálicos utilizados actualmente en la industria puedan

ser soldados por algunos de los procesos de soldadura existentes (Svaboda H, 2002, pág. 3).

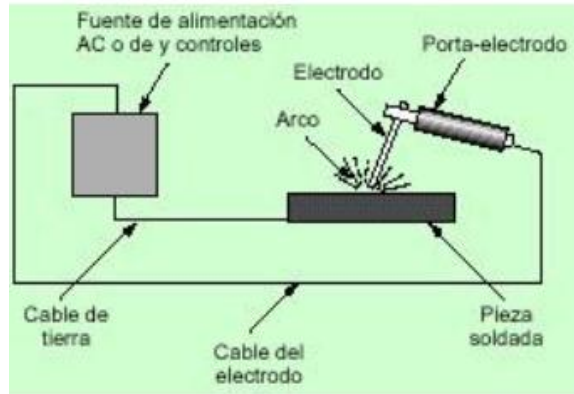


Figura 1. Proceso de soldadura por arco eléctrico

Fuente: (Torres J, 2013)

La soldadura por arco eléctrico con electrodo consumible que se indica en la figura 1, el más importante de los procesos de soldadura por fusión, es más complejo que los otros por lo que su desarrollo se produjo con mayor lentitud. Inicialmente se utilizaron electrodos de alambre desnudo, pero el metal de aporte resultante contenía alto nitrógeno que le otorgaba fragilidad. Recubriendo el alambre con asbestos o papel se mejoraron las propiedades de los depósitos soldados. En la figura 2 se muestra un esquema de la evolución histórica de los procesos de soldadura (Svaboda H, 2002, pág. 2).

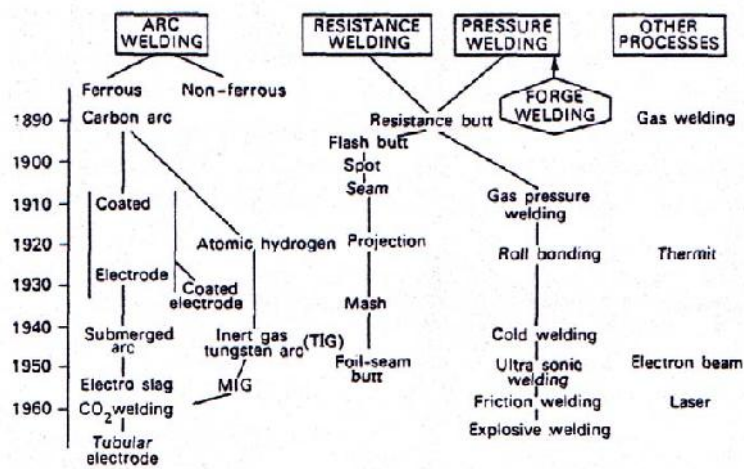


Figura 2. Evolución histórica de los distintos procesos de soldadura

Fuente: (Svaboda H, 2002)

2.4.3 ANÁLISIS DE SOLDADURA

En cuanto a la metodología de investigación en soldadura, a partir de la década de los '70 la investigación en soldadura comenzó a realizarse de forma más sistemática, encarando temas fundamentales para la investigación y el desarrollo de la soldadura en forma extensa a través de programas de investigación. Este nuevo enfoque en la forma de trabajo de los investigadores fue fundamentalmente liderado por los trabajos de Evans en relación a las variables de proceso, W. Savage en solidificación y otros, junto con aportes importantes realizados por las comisiones del Instituto Internacional de Soldadura (IIW) y por The Welding Institute (TWI) (Svaboda H, 2002, pág. 4). Los aspectos a tomar en cuenta para el análisis de la soldadura son soldabilidad operativa, metalúrgica y constructiva (Calderón J, 2014, pág. 55).

2.4.3.1 ENSAYO DE SOLDABILIDAD OPERATIVA

También llamada operacional u operación. Este tipo de soldabilidad caracteriza las posibilidades de utilización de un proceso para lograr el ensamble de un metal dado a las condiciones impuestas (forma y dimensiones de las juntas, posición de soldadura, voltaje, corriente, protección del arco, etc.). Del mismo modo, está relacionada con las dificultades que pueden encontrar el soldador para obtener la continuidad de los elementos a ser ensamblados. Así, por ejemplo. Si no se logran obtener la unión en un metal "X" al intentar soldarle mediante un proceso determinado (SMAW, GMAW, FCAW, etc.). Entonces dicho metal no es soldable operativamente (Calderón J, 2014, pág. 56).

2.4.3.2 ENSAYO DE SOLDABILIDAD METALÚRGICA

Local o física. Son relativas a las transformaciones que ciertamente generan cambios en las propiedades mecánicas o químicas. Así, el análisis metalográfico, trata de obtener el punto de vista metalúrgico un ensamble tan homogéneo como sea posible, libre de transformaciones micros estructurales, o variaciones en las propiedades químicas en las zonas de la unión soldada. Así, por ejemplo, se ha logrado soldar con 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 (Calderón J, 2014, pág. 57).

2.4.3.3 ENSAYO DE SOLDABILIDAD CONSTRUCTIVA

La soldabilidad constructiva también es conocida como global o funcional. Define las propiedades del conjunto en la construcción en base a la sensibilidad de la unión, o la deformación y rotura bajo el efecto del esfuerzo. Determina la aptitud del conjunto soldado para adaptarse y resistir sin daño las solicitaciones particulares que ocurren en la construcción soldada durante la soldadura y en servicio a prueba. Si, por ejemplo, se ha soldado el metal "X" asignado adecuada soldabilidad 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 integración de dicha estructura (Calderón J, 2014, pág. 58).

Los códigos, especificaciones y procedimientos de soldadura son recomendados para su aplicación y análisis en las industrias metalmeccánicas afines con la tecnología de soldadura dado que garantizan confiabilidad y aseguramiento en un producto terminado con óptima calidad debido a sus exigencias tecnológicas. En la actualidad, uno de los métodos más importantes para la unión de piezas y conjuntos metálicos en general en las industrias es la soldadura y sus tecnologías por tanto es responsabilidad de las empresas fabricantes de productos soldados comprobar que la calidad de sus productos este de conformidad con los requerimientos del cliente y lo establecido en códigos y especificaciones de soldadura (Calderón J, 2014, pág. 59).

Un primer paso para asegurar la calidad de sus productos y la idoneidad y habilidad de sus soldadores es elaborando procedimientos de soldadura que permitan garantizar la compatibilidad del metal de soldadura depositado con el metal base utilizado y calificando a sus soldadores y armadores acorde con el procedimiento de soldadura, esta evaluación de los soldadores es muy importante para la empresa, dado que permite garantizar el desarrollo de uniones soldadas de alta calidad y

además da garantía, buen nombre y confiabilidad a la empresa como al soldador, responsables de la aplicación de soldadura (Niebles E, 2009, pág. 15).

Así mismo es importante que dentro del contexto de investigación, innovación y desarrollo de procesos mixtos e híbridos en soldadura, de nuevos materiales base y de aporte, y caracterización mecánica y microestructura de soldaduras y recubrimientos superficiales llevadas a cabo por instituciones tecnológicas, universidades y centros de investigación; las aplicaciones de soldadura estén soportadas además de personal capacitado, calificado y entrenado para tal fin debe estar soportado también por procedimientos de fabricación, ensamble y soldadura que garanticen la confiabilidad de los resultados obtenidos y por ende de las uniones soldadas (Niebles E, 2009, pág. 20).

2.4.4 ALAMBRES TUBULARES

2.4.4.1 DEFINICIÓN

El proceso de soldadura con alambres tubulares comenzó a ser desarrollada a partir de la segunda década del siglo pasado, su aplicación comercial comenzó en 1956 difundándose muy rápidamente a tal punto que de 1960 a 1986, creció de 500 para más de 60000 toneladas por año. Consiste en la utilización de un alambre-electrodo de alimentación continua, en cuyo interior contiene un granulo o fundente. La base fundamental de los alambres tubulares es el flux que contiene en su interior En la figura 3, se muestra un corte de un alambre tubular observado en un microscopio electrónico (Eyheralde M, 2012, pág. 9).

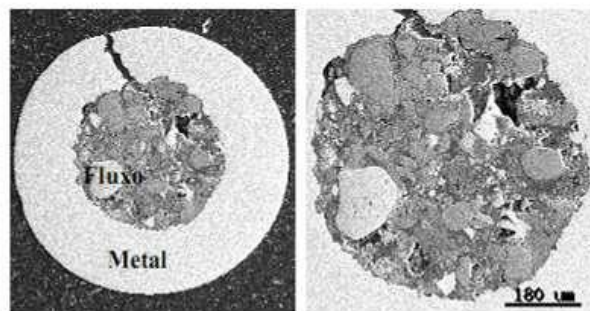


Figura 3. Corte del alambre tubular

Fuente: (Eyheralde M, 2012)

En la década de los '80 se desarrolló una nueva familia de electrodos tubulares del tipo ácido para aplicaciones que requieren bajos niveles de hidrógeno difusible en el metal de soldadura. Desarrollos recientes en electrodos FCAW con protección gaseosa, especialmente en pequeños diámetros y para toda posición, aumentaron la utilización de estos consumibles en aplicaciones que requieren bajos niveles de hidrógeno difusible y propiedades de impacto mejoradas (Huisman M, 1996, pág. 22).

Si bien en un principio se fabricaron alambres tubulares de las más diversas formas transversales que podríamos dividir en simples y complejas, la que más predominó por su bajo costo de elaboración es la de forma simple. En la figura 4, se muestra como partiendo de un fleje de acero común al que se le da la forma de una "U", a la que posteriormente se llena con el flux y que de inmediato se la cierra para el tubo propiamente dicho; finalmente este tubo pasará por una serie de rodillos hasta llegar al diámetro final en el que será comercializado, este diámetro puede variar, generalmente de 1,2 a 2,4 mm (Alonso J, 2008, pág. 49).

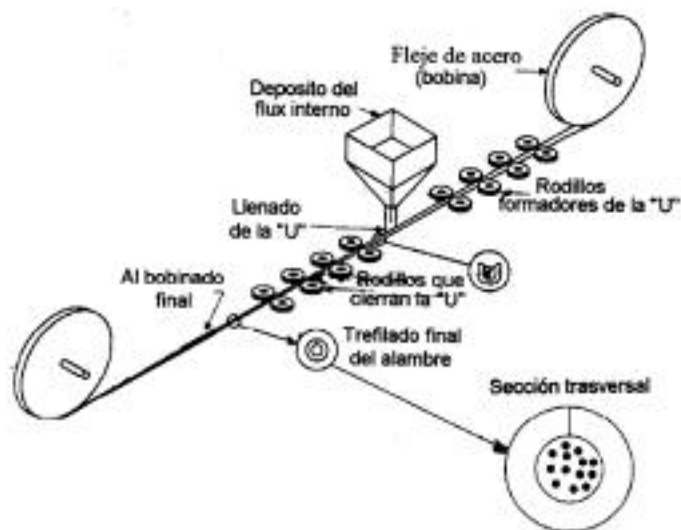


Figura 4. Proceso de fabricación del alambre tubular

Fuente: (Alonso J, 2008)

La diferencia entre los distintos procesos de fabricación es la forma en la que se produce la reducción del diámetro. El método más común es el treflado, donde el alambre es pasado a través de una serie de matrices utilizando jabones lubricantes,

para evitar la porosidad y un alto contenido de hidrógeno en el metal de soldadura, los residuos de los lubricantes utilizados deben ser removidos (Svaboda H, 2002, pág. 9).

2.4.4.2 TIPOS

La AWS clasifica a los alambres tubulares, usando una serie de números y letras. La clasificación está basada en las propiedades mecánicas del depósito de soldadura (Masabanda S. Yauripoma M, 2009, pág. 89). El procedimiento adoptado por la AWS para la clasificación de los alambres tubular contemplados en las especificaciones que se dan a seguir:

-) A.W.S. A5.20: Especificación para la clasificación de los alambres tubulares para la soldadura por arco de los aceros al carbono.
-) A.W.S. A5.29: Especificación para la clasificación de los alambres tubulares para la soldadura por arco de los aceros de baja aleación.
-) A.W.S. A5.22: Especificación para la clasificación de los alambres tubulares para la soldadura por arco de los aceros resistentes a la corrosión, al cromo y al cromo-níquel (Alonso J, 2008, pág. 50).

La AWS A5.20/A5.20M:2005 “Specification for Carbon Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding”. Para alambres tubulares FCAW-G y FCAW-S: sistema C-Mn:

EXXT-ZZJYHZ

Donde:

E: designa un electrodo

X: designa la resistencia a la tracción mínima, es 6 o 7 (en psi ÷ 10000 o MPa ÷ 10)

X: designa la posición de soldadura (“0” o “1”)

T: designa un alambre tubular

Z: designa la forma de uso del alambre, 1 a 14, G o GS

Z: indica el tipo de gas bajo el que se clasifica: "C" bajo CO "M" bajo 75-80% Ar-resto CO₂.

Opcional:

J: designa requerimientos de tenacidad de 20ft.lbf a -40°F (27J a -40°C)

Y: requerimientos especiales en probeta soldada con bajo o alto aporte térmico, "D" o "Q"

HZ: designa requerimientos de H difusible

La AWS A5.29/A5.29M:2010. "Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding". Alambre tubular FCAW-G y FCAW-S para aceros de baja aleación.

EXXTZ-YY-JHX

Donde:

E: designa un electrodo

X: designa la resistencia a la tracción mínima

X: designa la posición de soldadura ("0" o "1")

T: designa un alambre tubular

Z: designa la forma de uso del alambre (1 a 14; G o GS)

Y: designa la composición del metal de aporte puro

Y: designa el gas de protección ("C" bajo CO₂ y "M" bajo 75-80% Ar-resto CO₂)

Opcional

J: designa requerimientos de tenacidad a 10°C menos del requerido

HX: designa requerimientos de H difusible (16, 8 o 4 ml/100 g de metal depositado).

El alambre tubular E81T1-NI2 es perfecto para soldar aceros resistentes a la corrosión ambiental o ASTM A588, donde el acabado superficial es requerido. Diseñado para una alta calidad de valores de impacto a baja temperatura, tanto en la condición: como soldado o después de un alivio de tensiones. Opera con pases simples o múltiples en toda posición. Permite reducir los niveles de precalentamiento e incrementa la resistencia al agrietamiento en la zona afectada por el calor (Sailema J, 2014, pág. 23).

La última generación de alambres tubulares con escoria ácida (E71T-1, E81T1-NI1-5), diseñados para soldadura en toda posición y bajos niveles de hidrógeno difusible en el metal de soldadura contiene microaleantes, usualmente boro y titanio y un sistema de escorias levemente más básicas que los alambres tubulares ácidos (rutílicos) estándar. El alto porcentaje de elementos fácilmente ionizables produce un arco muy estable y una transferencia de finas gotas. El alto punto de fusión de la escoria permite la soldadura en toda posición. La combinación del sistema de escoria y los microaleantes aumenta la resistencia al impacto debido a una microestructura de fina ferrita acicular y menor cantidad de ferrita en borde de grano y ferrita poligonal. Además, los niveles de hidrógeno difusible también se ven reducidos. Estas buenas propiedades mecánicas se obtienen para la condición de los parámetros de soldadura. Estos consumibles están disponibles para soldadura de aceros con una resistencia a la tracción de hasta 650 MPa, satisfaciendo requerimientos de tenacidad en Charpy V hasta a -50°C (7) (Svaboda H, 2002, pág. 11).

2.4.5 SOLDADURA CON PROCESO FCAW

2.4.5.1 DEFINICIÓN

El proceso FCAW por sus siglas en inglés “Flux Cored Arc Welding”, es muy utilizado para la fabricación de elementos estructurales de un puente y se considera

un proceso muy importante dentro de las instalaciones de un taller, puesto que este proceso nos permite tener grandes avances de producción, por contar con material de aporte continuo (Torres J, 2013, pág. 39).

La soldadura por arco eléctrico con alambres tubulares (FCAW) es un proceso de soldadura que utiliza un arco entre un electrodo continuo metálico y la pileta de soldadura. El proceso puede tener una protección proveniente de un fundente contenido en el interior del electrodo tubular, con o sin protección adicional proveniente de una fuente externa de gas, y sin la aplicación de presión (Svaboda H, 2002, pág. 5).

2.4.5.2 EQUIPAMIENTO

Los componentes (figura 5) requeridos para la soldadura con alambres tubulares (FCAW) son:

-) La máquina de soldar (fuente de poder). - La mayoría de las aplicaciones semiautomáticas utiliza menos de 500 A. El control de voltaje debe ser capaz de ajustar en incrementos de 1 volt o menores. Se emplea una pistola y cables para conducir el alambre, el gas (cuando es necesario) y la corriente de la fuente de poder al arco.
-) El Alimentador de Alambre. - El alimentador lleva el alambre tubular automáticamente desde un carrete o bobina, vía ensamblaje de cable y pistola, al arco. La velocidad de alimentación del alambre determina la cantidad de corriente de soldar que se suministra al arco. De esta manera, el control de velocidad de alimentación es, esencialmente, el ajuste de la corriente de soldar.
-) El Gas de Protección. - El gas protector desaloja el aire alrededor del arco, previniendo la contaminación por oxígeno e hidrógeno de la atmósfera (Sailema J, 2014, pág. 18).

El hecho de que esta variante del proceso FCAW cuente con protección gaseosa implica la existencia de una fuente externa de gas, un regulador de presión, un caudalímetro y las necesarias mangueras y conectores.

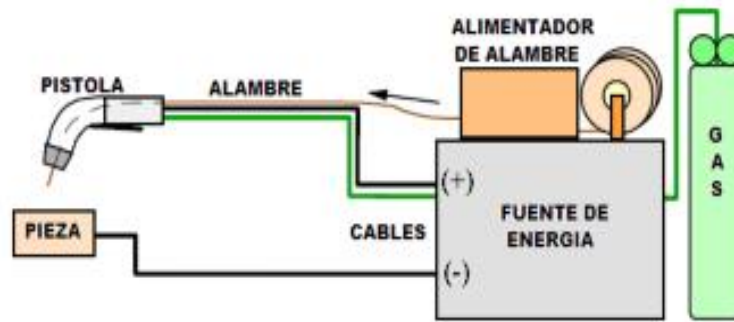


Figura 5. Esquema del Circuito de soldadura FCAW

Fuente: (Torres J, 2013)

2.4.5.3 PROTECCIÓN GASEOSA

Dentro de lo que es el proceso de soldadura por arco eléctrico con protección gaseosa y alambre tubulares, se encuentran tres tipos principales de electrodos. En general se clasifican según el tipo de relleno que lleven en su interior: elementos escorificantes ácidos, elementos escorificantes básicos y sin elementos escorificantes o metal-cored wires (Huisman M, 1996, pág. 25).

El gas de protección generalmente usado es CO_2 o una mezcla Ar- CO_2 formando un envoltorio alrededor del arco y la pileta líquida que los protege de la contaminación atmosférica como se indica en la Figura 6. La mezcla con argón (Ar) proporciona una reducción de humos, mejores características de transferencia y soldadura con mayor resistencia y límite elástico que las realizadas con CO_2 , siendo mejor la estabilidad del arco y su soldabilidad (Torres J, 2013, pág. 43). Sin embargo, se puede generar oxígeno de la disociación del dióxido de carbono en monóxido de carbono y oxígeno.

Dióxido de Carbono (CO_2)

La mayor utilización del CO_2 , como gas de protección, se encuentra en la soldadura de los aceros al carbono. La característica principal de este gas es la de proporcionar soldaduras con una mayor penetración, sumándole a esto el hecho de ser mucho más barato que el argón y otros gases de protección (Alonso J, 2008, pág. 55).

Argón (Ar)

Este gas es utilizado como medio de protección, en la soldadura por fusión, desde hace muchos años; el argón puro solo es utilizado como gas de protección en las soldaduras de metales como el aluminio (Al), cobre (Cu), níquel (Ni) y titanio (Ti); en cambio si se lo emplea en la soldadura de los aceros, tiene tendencia a producir mordeduras y cordones con bordes muy irregulares (Alonso J, 2008, pág. 55).

Mezcla Ar y CO₂

Al soldar aceros al carbono con la protección CO₂, no permite alcanzar las mejores características del arco. Este problema suele aparecer en las uniones en las que debe cuidarse especialmente en buen aspecto superficial y reducir al mínimo las salpicaduras; en este caso se recurre a las mezclas de Ar + CO₂. Esta mezcla se puede ser utilizada en la soldadura de los aceros al carbón, de baja aleación y algunos tipos de aceros inoxidable (Alonso J, 2008, pág. 56). La mezcla de Ar - CO₂ se utilizan con la mayoría de los alambres tubulares de acero al carbono y de aceros inoxidables. Los contenidos de CO₂ varían desde 5 a 25% dependiendo del alambre (Torres J, 2013, pág. 43).

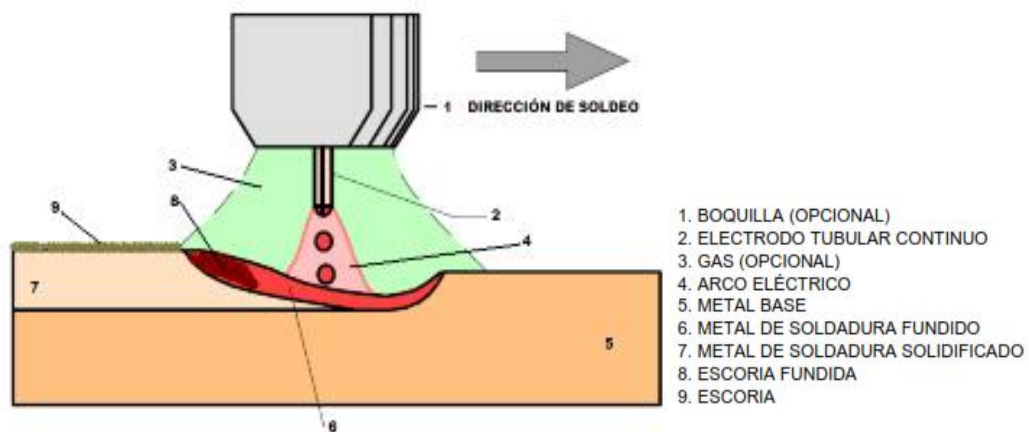


Figura 6. Soldadura con alambre tubular con protección gaseosa

Fuente: (Alonso J, 2008)

2.4.5.4 VARIABLES DEL PROCESO

La influencia de las distintas variables es similar a otros procesos de arco. Así, con bajas intensidades, la transferencia es por gotas gruesas, que cortocircuitan el arco, lo estabilizan y explotan, originando salpicaduras y defectos en la soldadura. A mayores intensidades, más penetración y velocidad de aportación. Los voltajes altos dan arcos largos que producen cordones anchos pocos penetrados. Si se elevan mucho, la excesiva longitud del arco puede dar lugar a pérdidas de protección en el baño. En el caso de la extensión del electrodo, si se alarga en exceso pueden llegar a formarse arcos fríos con muchas proyecciones y pegaduras. Las extensiones varían desde 20 y 40 mm en la variante protegida y entre 20 y 50 mm en la auto protegida (Torres J, 2013, pág. 43).

a) Corriente de soldadura

La corriente de soldadura es proporcional a la velocidad de alimentación del alambre, para un diámetro, una composición y una longitud libre del electrodo dados. En la figura 7, se puede ver la relación entre la velocidad de alimentación del alambre y la corriente de soldadura para un electrodo típico de acero al carbono con protección gaseosa de CO₂.

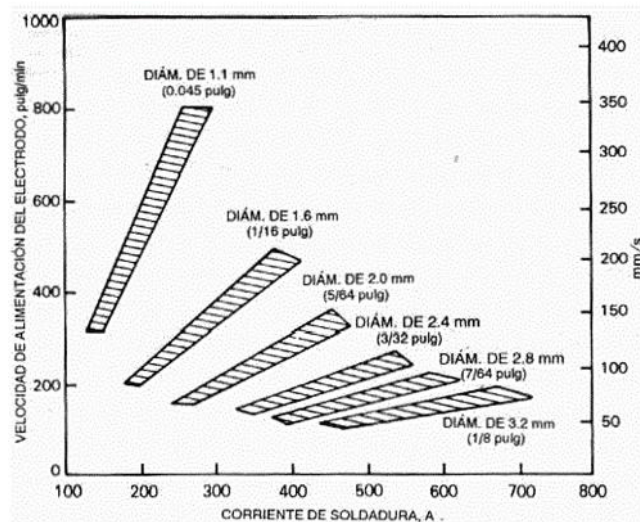


Figura 7. Velocidad de alimentación del alambre vs. Corriente de soldadura, para varios diámetros, para un E70T-1

Fuente: (Welding Handbook, 2000)

Una fuente de poder del tamaño adecuado se utiliza para fundir el alambre a una velocidad que mantiene constante la longitud de arco y la alimentación del alambre, la corriente de soldadura medida varía con la longitud libre del electrodo (Svaboda H, 2002, pág. 6).

b) Tensión de arco

La tensión de arco y la longitud de arco están muy relacionadas. El voltaje indicado en el panel de la fuente es la suma de las caídas de voltaje a lo largo del circuito de soldadura. Esto incluye la caída en el cable, en la longitud libre del electrodo, en el arco, en la pieza y en el cable de masa. La apariencia, la calidad y las propiedades de las soldaduras realizadas con FCAW pueden ser afectadas por variaciones en la tensión de arco. Una tensión de arco demasiado alta (arco demasiado largo) puede resultar en salpicaduras excesivas y en cordones anchos e irregulares (Welding Handbook, 2000).

c) Longitud libre del electrodo

La longitud libre del electrodo es la porción de electrodo sin fundir que se extiende desde el arco hasta el tubo de contacto durante la soldadura. En la figura 8 se puede ver un esquema donde se indica la longitud libre de electrodo (Pérez J, 2014).

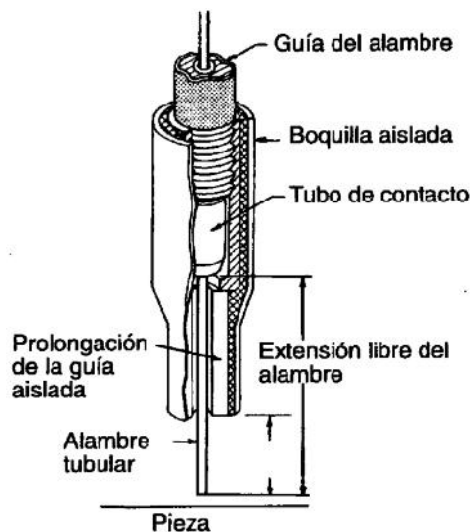


Figura 8. Esquema de la longitud libre de electrodo

Fuente: Traducido (Lincoln Electric Ltd., 1995)

Esta porción de alambre se calienta por resistencia en forma proporcional a su longitud libre, manteniendo las demás variables constantes. La temperatura del electrodo afecta la energía del arco, la velocidad de deposición y la penetración. También puede afectar la calidad y la estabilidad del arco (Welding Handbook, 2000).

El efecto de la longitud libre del electrodo como un factor operativo en el proceso FCAW introduce una nueva variable que debe ser tomada en cuenta en conjunto con las demás variables del proceso y con las condiciones de protección de los gases (CO₂ o mezcla). Manteniendo otros parámetros constantes; una longitud libre de electrodo demasiado larga produce un arco inestable y excesivas salpicaduras (Svaboda H, 2002).

d) Velocidad de soldadura

La velocidad de soldadura afecta la penetración y el contorno. A bajas velocidades de soldadura la penetración es mayor que a altas velocidades. Bajas velocidades de soldadura a altas corrientes resultan en un sobrecalentamiento del metal de soldadura, esto puede dar lugar a la posibilidad de que se produzcan atrapamientos de escoria o que se funda el metal base. Altas velocidades de soldadura tienden a dar cordones irregulares y con mala apariencia (Svaboda H, 2002, pág. 16).

e) Caudal de gas de protección

Esta variable afecta fundamentalmente la calidad de la soldadura. Un caudal de gas bajo resulta en una pobre protección de la pileta fundida dando lugar a porosidad y oxidación. Excesivo caudal de gas genera turbulencia y mezcla con el aire. El efecto sobre la calidad de la soldadura será el mismo que ocasione la falta de caudal de gas, en ambos extremos aumentan las impurezas en el metal de soldadura. El caudal de gas adecuado será función del tipo y diámetro de la tobera de la antorcha, de la distancia de la tobera hasta la pieza y de los movimientos de aire en el ambiente donde se realiza la soldadura (Svaboda H, 2002, pág. 17).

f) Velocidad de deposición y eficiencia

La velocidad de deposición es el peso de material depositado por unidad de tiempo. Depende de las variables de soldadura tales como diámetro del electrodo, composición del electrodo, longitud libre del electrodo y corriente de soldadura (Svaboda H, 2002, pág. 18). En la figura 9, se puede ver la relación entre velocidad de deposición y corriente de soldadura, para varios diámetros, para un electrodo de acero al carbono típico de FCAW.

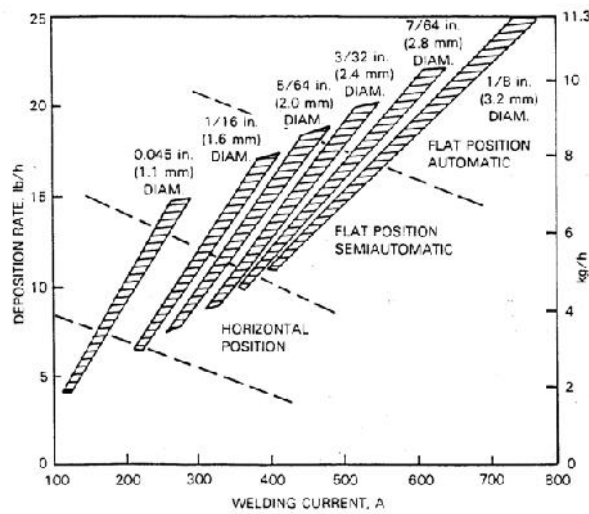


Figura 9. Velocidad de Deposición vs. Corriente de soldadura, para varios diámetros

Fuente: (Welding Handbook, 2000)

g) Ángulo del electrodo

El ángulo al cual el electrodo es mantenido durante la soldadura determina la dirección a la que la fuerza del arco es aplicada hacia la pileta fundida. Cuando las variables de soldadura están adecuadamente ajustadas, la fuerza del arco puede ser utilizada para vencer el efecto de la gravedad y tiende a hacer que la pileta líquida avance delante de la soldadura. En este sentido, la fuerza del arco puede ser utilizada no sólo para darle la forma deseada al cordón sino también para evitar atrapamientos de escoria en el metal de soldadura. Para esto el electrodo debe ser sostenido a un ángulo respecto de la vertical con la punta del electrodo hacia la soldadura. Éste ángulo se denomina ángulo de arrastre (Svaboda H, 2002, pág. 19).

En la figura 10, se puede ver un esquema de la posición del electrodo y el ángulo de arrastre. El ángulo de arrastre depende del método que se ejecuta, del espesor del metal base y de la posición de soldadura. Para FCAW con protección gaseosa el ángulo de arrastre debe ser pequeño, usualmente entre 2 y 15° y no más de 25°. Si el ángulo de arrastre es mayor la efectividad del gas de protección se pierde (Welding Handbook, 2000).

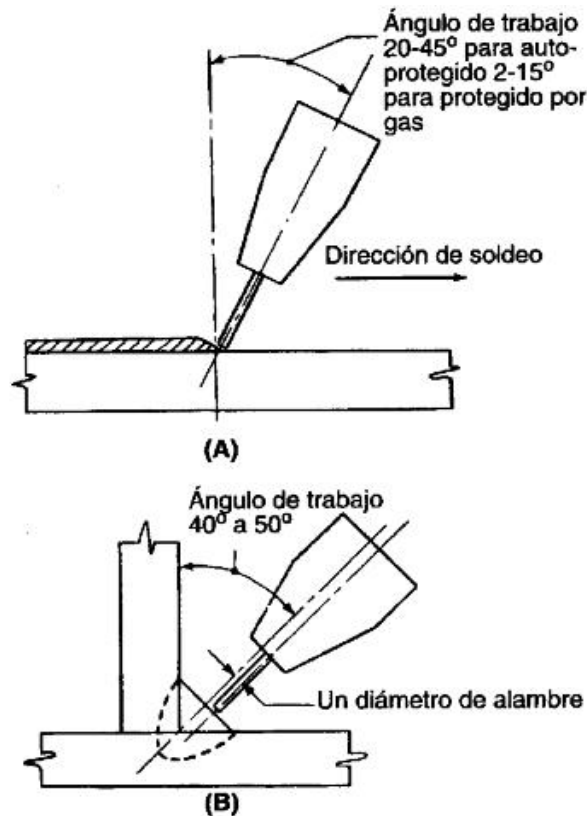
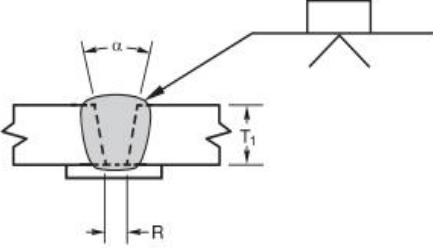


Figura 10. Ángulo de arrastre
Fuente: (Welding Handbook, 2000)

2.4.5.5 DISEÑO DE JUNTAS

El diseño adecuado de juntas depende del tipo de protección que se utilice. El diseño de la 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 el diseño de la junta tipo para diferentes procesos de soldadura.

Tabla 1. Diseño de junta a tope

Soldadura simple de ranura en V (2) Junta a tope (B)				Tolerancias				
				Como se detalla (véase 2.12.1)	Como el acoplamiento (véase 3.3.4)			
		R = +2, -0	+6, -2					
		$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$					
Proceso de soldadura	Designación de la junta	Espesor de metal base (U = sin límite)		Preparación de ranura		Posiciones admitidas para soldar	Protección por gas para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura			
SMAW	B-U2a	U	—	R = 6	$\alpha = 45^\circ$	Todas	—	a, i
				R = 10	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	—	a, i
				R = 12	$\alpha = 20^\circ$	F, V, OH	—	a, i
GMAW FCAW	B-U2a-GF	U	—	R = 5	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	Requerida	i
				R = 10	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	No req.	i
				R = 6	$\alpha = 45^\circ$	F, V, OH	No req.	i
SAW	B-L2a-S	50 máx.	—	R = 6	$\alpha = 30^\circ$	F	—	i
SAW	B-U2-S	U	—	R = 16	$\alpha = 20^\circ$	F	—	i

Fuente: (AASHTO/AWS D1.5M, 2010)

2.4.6 RESISTENCIA DE MATERIALES

La Resistencia de Materiales tiene como finalidad elaborar métodos simples de cálculo, aceptables desde el punto de vista práctico, de los elementos típicos más frecuentes de las estructuras, empleando para ello diversos procedimientos aproximados. La necesidad de obtener resultados concretos al resolver los problemas prácticos nos obliga a recurrir a hipótesis simplificadoras, que pueden ser justificadas comparando los resultados de cálculo con los ensayos, o los obtenidos aplicando teorías más exactas, las cuales son más complicadas y por ende usualmente poco expeditivas (Sailema J, 2014, pág. 25).

El estudio de la resistencia de materiales requiere un conocimiento de la forma en que las fuerzas y momentos externos afectan los esfuerzos y deformaciones que se desarrollan en el material de un miembro que soporta carga (Robert M, 2000, pág. 1).

Los problemas a resolver haciendo uso de esta ciencia son de dos tipos: dimensionamiento y verificación. En el primer caso se trata de encontrar el material, las formas y dimensiones más adecuadas de una pieza, de manera tal que ésta pueda

cumplir su cometido con seguridad, en perfecto estado y gastos adecuados. El segundo caso se presenta cuando las dimensiones ya han sido prefijadas y es necesario conocer si son las adecuadas para resistir el estado de sollicitaciones actuantes (Sailema J, 2014, pág. 26).

2.4.7 ENSAYO DE MATERIALES

Se selecciona un material al adecuar sus propiedades mecánicas a las condiciones de servicio requeridas para el componente. El primer paso en el proceso de selección requiere que se analice la aplicación, a fin de determinar las características más importantes que el material debe poseer. ¿Deberá ser resistente, rígido o dúctil? ¿Estará sometido a la aplicación de una fuerza cíclica importante o a una fuerza súbita intensa; a un gran esfuerzo y temperatura elevada o a condiciones abrasivas? Una vez conocidas las propiedades requeridas, se puede seleccionar el material apropiado, utilizando la información incluida en los manuales. Se debe, sin embargo, conocer cómo se llega a las propiedades incluidas en los manuales, lo que dichas propiedades significan y tomar en cuenta que las propiedades listadas se han obtenido a partir de ensayos y pruebas ideales que pudieran no ser exactamente aplicables a casos o aplicaciones ingenieriles de la vida real (Askeland D, 2002, pág. 130).

Se estudiarán varios ensayos que se utilizan para medir la forma en que un material resiste una fuerza aplicada. Los resultados de estas pruebas o ensayos serán las propiedades mecánicas de dicho material.

2.4.7.1 ENSAYO DE TRACCIÓN

Uno de los ensayos mecánicos esfuerzo-deformación más comunes es el realizado a tracción. Puede ser utilizado para determinar varias propiedades de los materiales que son importantes para el diseño. Normalmente se deforma una probeta hasta la rotura, con una carga de tracción que aumenta gradualmente y que es aplicada uniaxialmente a lo largo del eje de la probeta (Smith W, 1998, pág. 197). En la figura 11, se muestra una probeta de tracción normalizada.

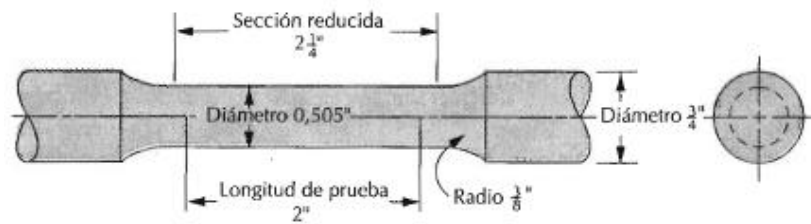


Figura 11. Probeta de sección normalizada circular

Fuente: (Smith W, 1998)

Generalmente la sección de la probeta es circular, pero también se utilizan probetas de sección rectangular. Durante el ensayo, la deformación está confinada en la región más estrecha del centro, la cual tiene una sección uniforme a lo largo de su longitud. El diámetro normalizado es aproximadamente igual a 12,8 mm (0,5 pulg.), mientras que la longitud de la sección reducida debe ser igual a por lo menos cuatro veces su diámetro, siendo usual 60 mm. La longitud de prueba se utiliza en el cálculo de la ductilidad, el valor normalizado es 50 mm (2,0 pulg.).

Procedimiento

La probeta se monta con sus extremos en las mordazas de la máquina de ensayos (figura 12). Esta se diseña para alargar la probeta a una velocidad constante, y para medir continua y simultáneamente la carga instantánea aplicada (con una celda de carga) y el alargamiento resultante (utilizando un extensómetro). El ensayo dura varios minutos y es destructivo, o sea, la probeta del ensayo es deformada de forma permanente y a menudo rota.

El resultado del ensayo de tracción se registra en una banda de papel como carga en función del alargamiento. Estas características de carga deformación dependen del tamaño de la probeta. El ensayo de tracción permite determinar las propiedades mecánicas de los metales, bajo un estado simple de tensión, el límite de elasticidad o el que lo reemplace prácticamente, la carga máxima y la consiguiente resistencia estática.

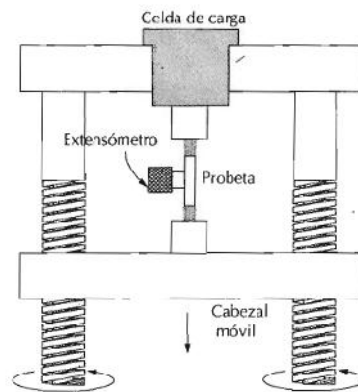


Figura 12. Máquina de ensayo de Tracción

Fuente: (Callister W, 2007)

El resultado del ensayo de tracción se registra en una banda de papel como carga en función del alargamiento. Estas características de carga deformación dependen del tamaño de la probeta. El ensayo de tracción estática es el que mejor determina las propiedades mecánicas de los metales. (Smith W, 1998, pág. 199).

2.4.7.2 ENSAYO DE IMPACTO

Cuando se somete un material a un golpe súbito e intenso, en el cual la velocidad de aplicación del esfuerzo es extremadamente grande, el material puede tener un comportamiento más frágil comparado con el que se observa en el ensayo de tensión. El ensayo de impacto a menudo se utiliza para evaluar la fragilidad de un material bajo estas condiciones. Se han diseñado muchos procedimientos, incluyendo el ensayo Charpy y el ensayo Izad (Askeland D, 2002, pág. 143). Esta prueba se realiza mediante una máquina ensayadora de impacto del tipo “Izod” o “Charpy” cuya diferencia radica en la forma de sujeción de la probeta. (Ross V, 2013, pág. 132).

Los ensayos dinámicos son realizados para valorar la capacidad de resistencia de los materiales metálicos a las cargas de impacto (tenacidad) y determinar su tendencia a la destrucción frágil (Smith W, 1998, pág. 242).

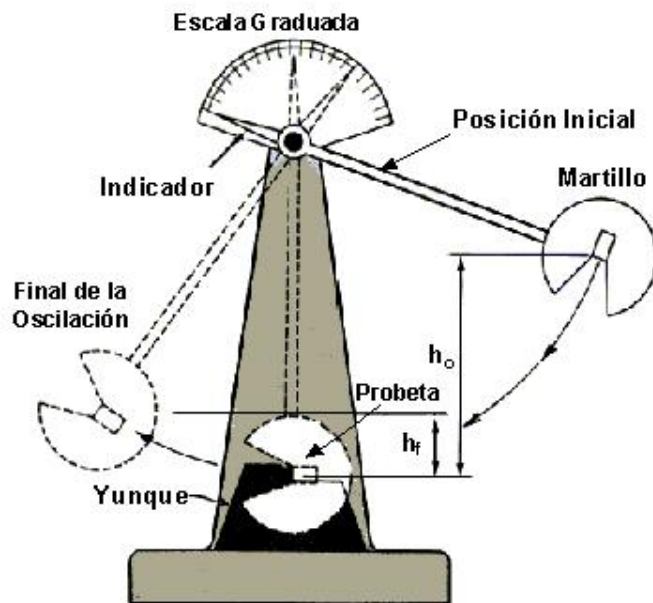


Figura 13. Máquina de ensayo Charpy

Fuente: (Smith W, 1998)

Procedimiento

El péndulo de Charpy es un dispositivo utilizado en el ensayo para determinar la tenacidad de un material. Son ensayos de impacto de una probeta entallada y ensayada a flexión en 3 puntos como se indica en la figura 14. El péndulo cae sobre el dorso de la probeta y la parte. La diferencia entre la altura inicial del péndulo (h) y la final tras el impacto (h') permite medir la energía absorbida en el proceso de fracturar la probeta. Se mide la energía absorbida en la aérea bajo la curva de carga. Desplazamiento que se conoce como resiliencia (Smith W, 1998, pág. 242).

La velocidad que adquiere la masa al golpear la probeta queda determinada por la altura del péndulo. Tras la rotura, la masa continúa su camino hasta llegar a una cierta altura, a partir de la cual se determina la energía absorbida. Así se medirá la energía absorbida por ese golpe (Smith W, 1998, pág. 243) . Las probetas figura 14 que fallan en forma frágil se rompen en dos mitades, en cambio aquellas con mayor ductilidad se doblan sin romperse. Este comportamiento es muy dependiente de la temperatura y la composición química, esto obliga a realizar el ensayo con probetas a distinta temperatura.

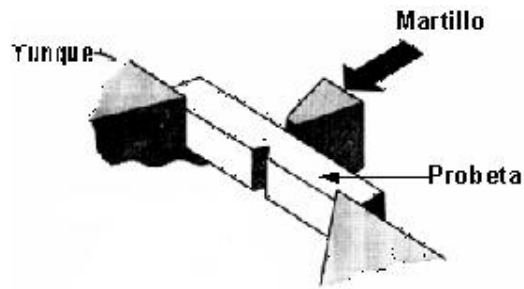


Figura 14. Ensayo de Impacto

Fuente: (Smith W, 1998)

2.4.7.3 ENSAYO DE DOBLEZ

Es uno de los métodos para evaluar la ductilidad de un material, pero no debe considerarse como un medio cuantitativo para predecir su funcionamiento durante las operaciones de doblado. Este tipo de ensayos se emplea básicamente para materiales en forma de lámina, tubos, alambre, etc., sometidos a procesos de manufactura; tales como laminado, forja, extruido, soldadura, etc. Básicamente tiene cuatro pruebas de doblado: libre, semiguado, guiado y por envoltura como se indica en la figura 15. En los materiales dúctiles, la curva esfuerzo-deformación generalmente pasa por un valor máximo; este esfuerzo máximo es la resistencia del material a la tensión. La falla ocurre a un esfuerzo menor después de que el encuellamiento ha reducido el área de la sección transversal que soporta la carga (Askeland D, 2002, pág. 138).

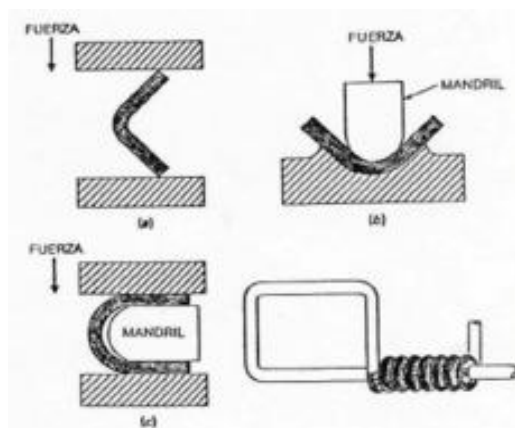


Figura 15. Tipos de ensayo de doblado: a) libre, b) guiado, c) semiguado y d) por envoltura

Fuente: (Askeland D, 2002)

El ensayo de doblez libre se realiza en una prensa, el ensayo de doblez guiado se realiza sobre probetas estandarizadas mediante un émbolo o punzón, forzando a la probeta dentro de un aditamento de dimensiones predeterminadas, en el ensayo de doblez semiguiado la probeta no se hace forzar hacia un aditamento y el ensayo de doblez por envoltura consiste en envolver o arrollar la muestra a un pasador de un diámetro predeterminado (Askeland D, 2002, pág. 139).

En materiales con poca ductilidad la falla ocurre a la carga máxima, donde la resistencia a la tensión y la resistencia a la ruptura son las mismas. En materiales muy frágiles, incluyendo muchos cerámicos, el esfuerzo de cedencia, la resistencia a la tensión y el punto de ruptura tienen un mismo valor como se indica en la figura 16.

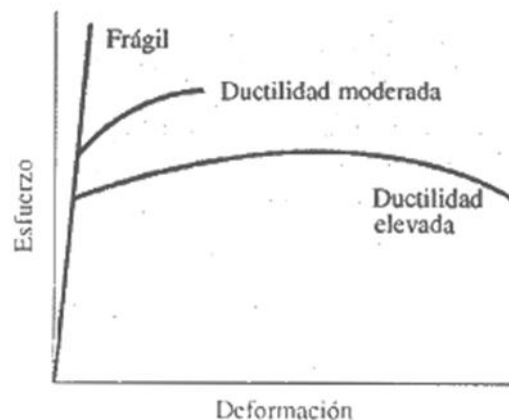


Figura 16. Comportamiento mecánico en el ensayo de tensión de materiales frágiles en comparación con materiales dúctiles.

Fuente: (Askeland D, 2002)

Procedimiento

El objetivo básico del ensayo de doblado es determinar la calidad, y ductilidad de la soldadura y se realiza doblando una probeta en forma de U como se indica en la figura 17, y luego se evalúa la superficie doblada. Este ensayo es aplicado para calificar procedimiento de soldadura.

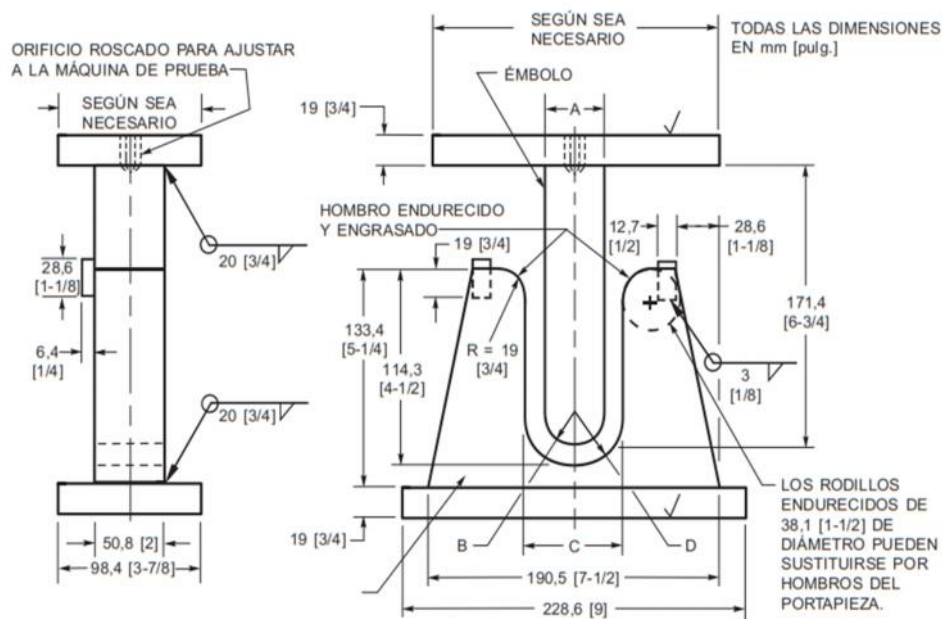


Figura 17. Ejemplo de ensayo de doblez

Fuente: (AASHTO/AWS D1.5M, 2010)

Las variables importantes en el ensayo de doblado:

-)] Tipo de probeta
-)] Número, geometría y dimensiones de la probeta
-)] Colocación de la muestra
-)] Dimensión del dispositivo del doblado (AASHTO/AWS D1.5M, 2010, pág. 129).

2.4.7.4 ENSAYOS MACROGRÁFICOS

El ensayo macrográfico es un método que nos permite observar discontinuidades o defectos en los materiales con la ayuda de un microscopio a aumentos no mayores de 5x. Los estándares más comunes utilizados en macrografía es la AWS D1.5. Las probetas utilizadas en esta prueba son de varias formas y tamaños, pero siempre se apegan a los estándares requeridos de forma estricta (AASHTO/AWS D1.5M, 2010, pág. 102).



Figura 18. Ensayo macrográfico

Fuente: (Calderón J, 2014)

2.4.8 PROPIEDADES MECÁNICAS

El comportamiento mecánico de un material refleja la relación entre la fuerza aplicada y la respuesta del material (o sea, su deformación) (Askeland D, 2002, pág. 134). Las propiedades mecánicas o propiedades de resistencia mecánica sirven en la mayoría de los casos como base para determinar el comportamiento sobre un material metálico, con vistas a un fin de aplicación concreto. Algunas de las propiedades mecánicas más importantes son la resistencia, la dureza, la ductilidad y la rigidez (Callister W, 2007, pág. 114).

Las propiedades mecánicas de los materiales se determinan realizando ensayos cuidadosos de laboratorio que reproducen las condiciones de servicio hasta donde sea posible. Los factores que deben considerarse son la naturaleza de la carga aplicada, su duración, así como las condiciones del medio. La carga puede ser una tracción, una compresión o una cizalladura, y su magnitud puede ser constante con el tiempo o bien fluctuar continuamente. El tiempo de aplicación puede ser de sólo una fracción de segundo o durar un período de varios años. La temperatura de servicio puede ser un factor importante (Askeland D, 2002, pág. 135).

2.4.8.1 TENSIÓN DE TRACCIÓN (σ)

Se calcula a partir de la fuerza de tracción soportada por la probeta dividida por su sección transversal.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde:

σ = es el esfuerzo o tensión N/mm²

F = es la fuerza aplicada N

Ao = área de aplicación de la fuerza mm²

2.4.8.2 LA DEFORMACIÓN NOMINAL (ϵ)

$$\epsilon = \frac{l_i - l_o}{l_o} = \frac{\Delta l}{l_o} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

l_o = es la longitud original antes de aplicar la carga.

l_i = es la longitud final.

A veces, la deformación se expresa como porcentaje, esto es, el valor de la deformación multiplicado por 100.

La curva esfuerzo deformación para ciertos aceros de bajo carbono presentan un esfuerzo de cedencia o límite elástico doble figura 19. Se espera que el material se deforme plásticamente al esfuerzo σ_1 . Sin embargo, los pequeños átomos intersticiales de carbono agrupados alrededor de las dislocaciones interfieren con el deslizamiento, elevando el punto de fluencia o límite de elasticidad hasta σ_2 . Sólo después de haber aplicado un esfuerzo mayor σ_2 empiezan a deslizarse las dislocaciones.



Figura 19. Esfuerzo de cedencia superior e inferior de un acero de bajo carbono
 Fuente: (Askeland D, 2002)

El diagrama de esfuerzo es fundamental para determinar las propiedades físicas de los materiales. En general la curva tensión- deformación así obtenida presenta 4 zonas diferenciadas (Callister W, 2007, pág. 125).

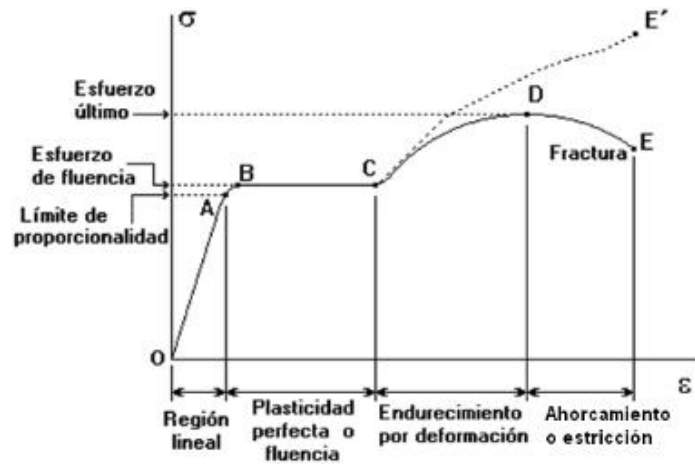


Figura 20. Curva de ensayo a tracción (Esfuerzo- Deformación)
 Fuente: (Sailema J, 2014)

2.4.8.3 MÓDULO DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad o módulo de Young (E), es la pendiente de la curva esfuerzo-deformación en su región elástica. Esta relación es la Ley de Hooke (Askeland D, 2002). En esta zona las deformaciones se reparten a lo largo de la probeta y son de pequeña magnitud y si se retira la carga aplicada la probeta

recuperaría su forma inicial. Es la relación entre la tensión realizada y la deformación adquirida en el tramo lineal de la curva tensión-deformación (región elástica). Sus unidades son MPa o N/mm² (Callister W, 2007, pág. 126)

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

E= módulo de elasticidad N/mm

= tensión de tracción N/mm

= deformación nominal

2.4.8.4 DUCTILIDAD

Es una medida del grado de deformación plástica que puede ser soportada hasta la fractura. Un material que experimenta poca o ninguna deformación plástica se denomina frágil. La ductilidad puede expresarse cuantitativamente como alargamiento relativo porcentual, o bien mediante el porcentaje de reducción de área. El alargamiento relativo porcentual a rotura, %EL, es el porcentaje de deformación plástica a rotura (Callister W, 2007, pág. 129).

$$\%E = \left(\frac{l_f - l_o}{l_o} \right) \times 100 \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

l_f = es la longitud en el momento de la fractura

l_o = es la longitud de prueba original.

2.4.8.5 TENACIDAD

La energía absorbida por la probeta (E_{abs}) está dada en Julios (J), se puede medir calculando la diferencia de energía del péndulo antes y después del impacto,

mediante la altura a la que llega el péndulo después de romper la probeta (Ross V, 2013, pág. 142).

$$E_a = m * g * (h - h')$$

Ec. 5

Donde:

h= altura inicial

h'= altura final

m= masa

g= gravedad

2.4.8.6 CRITERIO DE ACEPTACIÓN PARA ENSAYOS DE DOBLADO

La superficie convexa de la probeta del ensayo de doblado deberá ser examinada visualmente para detectar discontinuidades superficiales. El criterio de aceptación establecido indica que la superficie no debe tener discontinuidades que excedan las siguientes dimensiones:

-) 3 mm, medidos en cualquier dirección sobre la superficie (AASHTO/AWS D1.5M, 2010, pág. 102).
-) 10 mm, como la suma de las mayores dimensiones de todas las discontinuidades mayores que 1 mm, pero menores o iguales que 3 mm (AASHTO/AWS D1.5M, 2010, pág. 102).
-) 6 mm, la máxima fisura en las esquinas de la probeta plegada, excepto cuando dicha fisura resulte de una inclusión de escoria visible u otro tipo de discontinuidad relacionada con la fusión, en cuyo caso se deberá aplicar un máximo de 3 mm (AASHTO/AWS D1.5M, 2010, pág. 102).

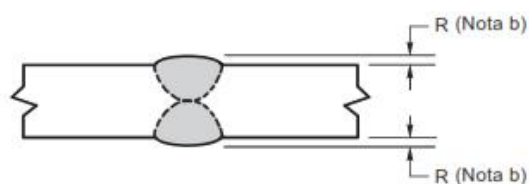
Las probetas con fisuras en las esquinas mayores que 6 mm, sin evidencia de inclusiones de escoria u otro tipo de discontinuidades de fusión, deberán ser descartadas y reemplazadas por otras probetas de ensayo correspondientes a la soldadura original de calificación (AASHTO/AWS D1.5M, 2010, pág. 103).

2.4.8.7 CRITERIO DE ACEPTACIÓN DEL ENSAYO DE MACROGRÁFICO

Para obtener un criterio aceptable las soldaduras deberán cumplir con los siguientes requerimientos:

-) La soldadura deberá estar libre de fisuras (AASHTO/AWS D1.5M, 2010, pág. 103).
-) Todos los cráteres deberán ser llenados hasta completar la sección transversal de soldadura (AASHTO/AWS D1.5M, 2010, pág. 103).
-) La socavación deberá ser menor o igual que 1mm y el refuerzo o sobremonta de la cara de la soldadura deberá ser menor o igual que 3mm (AASHTO/AWS D1.5M, 2010, pág. 103).

Finalmente, la soldadura con PJP y CJP deben basarse en las especificado (AASHTO/AWS D1.5M, 2010, pág. 103).



(D) PERFIL DE SOLDADURA DE RANURA ACEPTABLE

^bEl refuerzo R no deberá superar 3 mm [1/8 pulg.] (véase 3.6.2).



(E) PERFILES INACEPTABLES DE SOLDADURAS DE RANURA EN JUNTAS A TOPE

Figura 21. Criterio de aceptación y rechazo en juntas de soldadura

Fuente: (AASHTO/AWS D1.5M, 2010)

2.5. CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

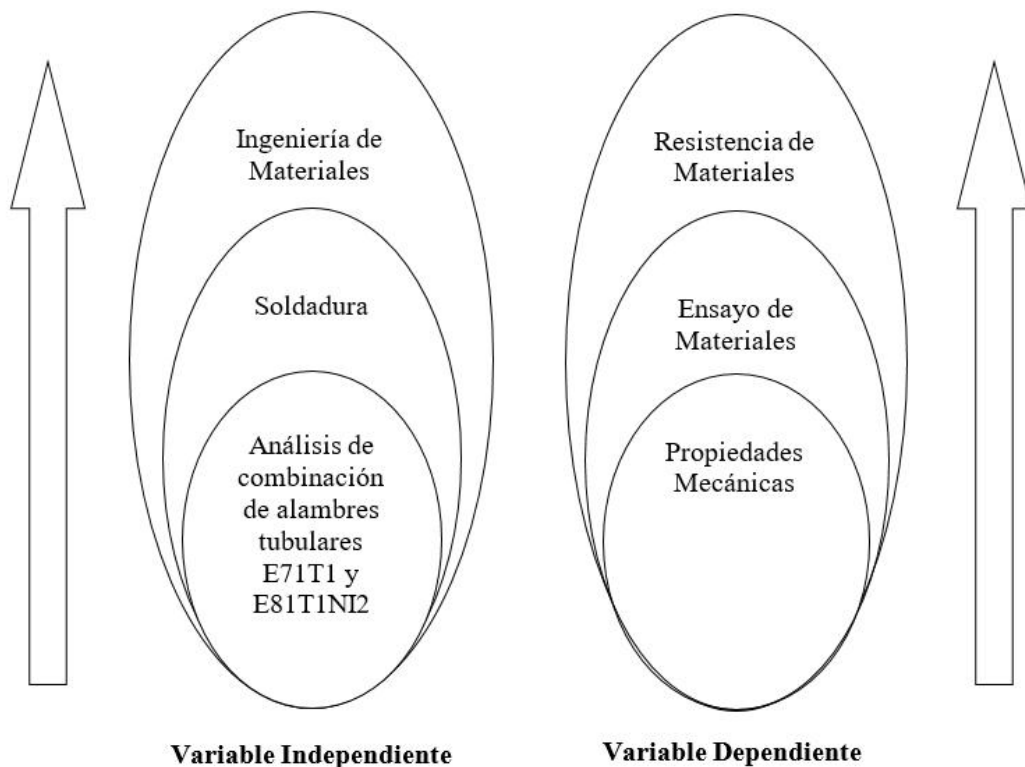


Figura 22. Súper ordinación de variables

Fuente: Realizado por el Autor

2.6. HIPÓTESIS

Las combinaciones porcentuales del material de aporte de una junta a tope en un acero ASTM A588 Grado A utilizando los alambres tubulares E71T1 y E81T1NI2 mejorará las propiedades mecánicas en la fabricación de superestructura para puentes.

2.7. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

2.7.1 VARIABLE INDEPENDIENTE:

Análisis de las combinaciones porcentuales del material de aporte de una junta a tope en un acero ASTM A588 Grado A utilizando los alambres tubulares E71T1 y E81T1NI2.

2.7.2 VARIABLE DEPENDIENTE:

Propiedades Mecánicas

2.7.3 TÉRMINO DE RELACIÓN:

Mejorará

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE INVESTIGATIVO

En esta investigación se manejaron variables cuantitativas, en vista que se obtuvieron datos numéricos los cuales a su vez son explicativos, debido a que se realizan diferentes tipos de ensayos que ayudan a determinar las propiedades mecánicas de las combinaciones de los alambres tubulares E71T1 y E81T1NI2; sin embargo, en una parte de este análisis se realizará el estudio cualitativo para identificar aspectos y defectos físicos durante los ensayos.

Además de acuerdo al paradigma mencionado se hace énfasis en métodos y técnicas que permitan economizar y optimizar los procesos de fabricación.

La investigación también se apoyó en la información existente y se recurrirá a documentación bibliográfica para el análisis de la misma.

3.2. MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Debido a su contextualización, el presente estudio necesita la aplicación de la modalidad de investigación bibliográfica, porque requiere fuentes como libros, tesis, publicaciones, artículos técnicos y más para su desarrollo.

3.2.2 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

Debido a que se obtiene resultados de los ensayos y pruebas realizadas, esta investigación es de modalidad experimental y permita generar un estándar prácticos para su futura aplicación en la industria de fabricación de superestructuras para puentes.

3.2.3 INVESTIGACIÓN APLICADA

Los resultados del análisis de las combinaciones de los alambres tubulares obtenidos en esta investigación, se pretenden sean utilizados como un procedimiento alternativo para el proceso de soldadura en la fabricación de superestructura para puentes.

3.3. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para el presente trabajo de investigación, nos referimos a los siguientes:

3.3.1 INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA

La categoría seleccionada para la investigación es del tipo exploratorio, en vista que nos permite reconocer las variables de interés investigativo, en el comportamiento de los alambres tubulares en la soldadura, utilizados en la construcción de superestructuras con acero A588 Grado A.

3.3.2 INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA

Esta investigación es del tipo descriptivo, pues uno de los fines del mismo es describir el origen, propiedades y formulación de cada material que se pretende utilizar para formar una combinación de alambres tubulares. Además, la obtención de las diferentes propiedades mecánicas y el proceso para su determinación.

3.3.3 ASOCIACIÓN DE VARIABLES

El nivel de la investigación es del tipo de asociación de variables porque se interpretan los datos de las variables ya mencionadas.

3.3.4 INVESTIGACIÓN EXPLICATIVA

La investigación es explicativa porque los resultados permitirán dar una explicación a los constructores de superestructuras de las ventajas mecánicas y económicas de poder implementar nuevos procedimientos de soldadura en su producción.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1 POBLACIÓN

En el presente análisis se procederá a definir la cantidad de probetas, las cual será objeto de investigación y basados en la norma AWS D1.5 (Código de soldadura para puentes) de la siguiente manera:

-)] Juntas a tope soldadas con los alambres tubulares E71T1 Y E81T1NI2 mediante el proceso FCAW y caracterizados mecánicamente bajo normativa a tracción, impacto, dobles guiado y macrográfico en las máquinas correspondientes de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

3.4.2 MUESTRA

La muestra para este análisis está dada bajo la consideración de estudio de casos:

a) Material base

-)] 1 Probeta en placas de acero ASTM A588 Grado A.

b) Combinaciones del material de aporte

En la Tabla 2, se indica la muestra de probetas para los ensayos para cada combinación de alambres tubulares.

Tabla 2. Muestra de probetas para ensayos

COMBINACIONES DE ALAMBRES TUBULARES	100% CO2					75%Argon-25% CO2						
	Probeta circular Ensayo de Tracción	Macrografía	Doblado Guiado	Impacto	Probeta circular Ensayo de Tracción	Macrografía	Doblado Guiado	Impacto	Probeta circular Ensayo de Tracción	Macrografía	Doblado Guiado	Impacto
100% E71T1	3	6	6	6	3	6	6	6	3	6	6	6
100% E81T1Ni2	3	6	6	6	3	6	6	6	3	6	6	6
40% E71T1 – 60% E81T1Ni2	3	6	6	6	3	6	6	6	3	6	6	6
50% E71T1 – 50% E81T1Ni2	3	6	6	6	3	6	6	6	3	6	6	6
80% E71T1 – 20% E81T1Ni2	3	6	6	6	3	6	6	6	3	6	6	6

Fuente: Realizado por el Autor

3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE: Análisis de las combinaciones porcentuales del material de aporte de una junta a tope en un acero ASTM A588 Grado A utilizando los alambres tubulares E71T1 y E81T1NI2.

Tabla 3. Variable Independiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
La soldadura es un proceso de fabricación en donde se realiza la unión de dos materiales, usualmente logrado a través de la fusión, de tal manera que las piezas son soldadas derritiendo los metales que poseen un punto de fusión menor al de la pieza a soldar.	Proceso FCAW	Parámetros	Protección 1. CO ₂ 2. MEZCLA (80% Argón-20% CO ₂)	Manuales, Catálogos
	Metal de aporte	Alambres tubulares J E71T1 J E81T1NI2	1. 100 % E71T1 2. 100 % E81T1NI2 3. 40% E71T1 – 60% E81T1NI2 4. 50% E71T1 – 50% E81T1NI2 5. 80% E71T1 – 20% E81T1NI2	Tabulación de datos código AWS D1.5

Fuente: Realizado por el Autor

3.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE: Propiedades mecánicas en la fabricación de la superestructura para puentes.

Tabla 4. Variable Dependiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Las propiedades mecánicas de los materiales se refieren a la capacidad de los mismos de resistir acciones de carga como: tracción, impacto. Además, el material es sometido a otros ensayos como doblado y macrografía que determina la calidad, ductilidad, composición y estructura del material.	Tracción	<ul style="list-style-type: none">) Resistencia a la tracción (N/mm²)) Porcentaje de Elongación (%) 	<p>¿Cuál es resistencia a la tracción que soporta las combinaciones?</p> <p>¿Cuál es el porcentaje de elongación que soporta las combinaciones?</p>	Técnicas Observación directa: Formatos para toma de datos de Ensayos de laboratorio.
	Impacto	<ul style="list-style-type: none">) Energía de impacto (J) 	¿Cuál es la energía de Impacto que soporta las combinaciones?	Instrumentos: Manuales, Catálogos, Normas.
	Dobles guiado	<ul style="list-style-type: none">) Fisuras (mm)) Discontinuidades 	¿De cuánto serán las discontinuidades y fisuras de las combinaciones?	Técnicas Observación directa: Ítem 5.19.2 del código AWS D1.5
	Macrografía	<ul style="list-style-type: none">) Penetración de cordón de soldadura 	¿Cuál será el perfil del cordón de soldadura y la fusión entre materiales?	Técnicas Observación directa: Ítem 5.19.3 del código AWS D1.5

Fuente: Realizado por el Autor

3.6. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

De conformidad al desarrollo de la operacionalización de variables la información se recolectó por medio de la siguiente técnica con sus respectivos instrumentos:

3.6.1 OBSERVACIÓN

En esta técnica se tomó nota de todo lo necesario, para detallar y analizar los hechos más importantes que ayudaron a tener la suficiente información.

3.6.2 DOCUMENTAL

Con el informe documental se analizó la información que sirve como guía en la investigación, recolección de información de libros, publicaciones, artículos, fichas técnicas y finalmente la tabulación de datos de los ensayos de las probetas que se realizan en laboratorios.

3.7. PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.7.1 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN RECOGIDA

Para el procesamiento de los datos que se obtuvieron en los ensayos se utilizaran: tablas, fichas de recolección de información, fotografías y planos que permitan la tabulación de los datos de acuerdo a los parámetros y a la relación que tienen las variables de la hipótesis. Relación porcentual con respecto al total de los indicadores, con el resultado numérico y con esta herramienta se elaboraron cuadros de promedios de resultados.

Los resultados se representan a través de gráficos, estadística y curvas que permitieron identificar las propiedades mecánicas del material, por ejemplo: curva esfuerzo – deformación, comparación de propiedades vs número de probetas.

3.7.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Una vez concluido con los ensayos, se realizó la tabulación de datos para hacer la comparación con los valores de referencia del código AWS D1.5 y propiedades de los materiales. Posteriormente se procedió a la interpretación y análisis de los resultados. La interpretación de resultados estará apoyada en el marco teórico y mediante la utilización de tablas y gráficos se analiza que está ocurriendo con las propiedades mecánicas de cada una de las combinaciones y para cada tipo de gas de protección. Esta interpretación permitirá resaltar la tendencia de los resultados de acuerdo al objetivo e hipótesis, para finalmente comprobar la validez de la hipótesis y de esta manera otorgar nuevas conclusiones y recomendaciones.

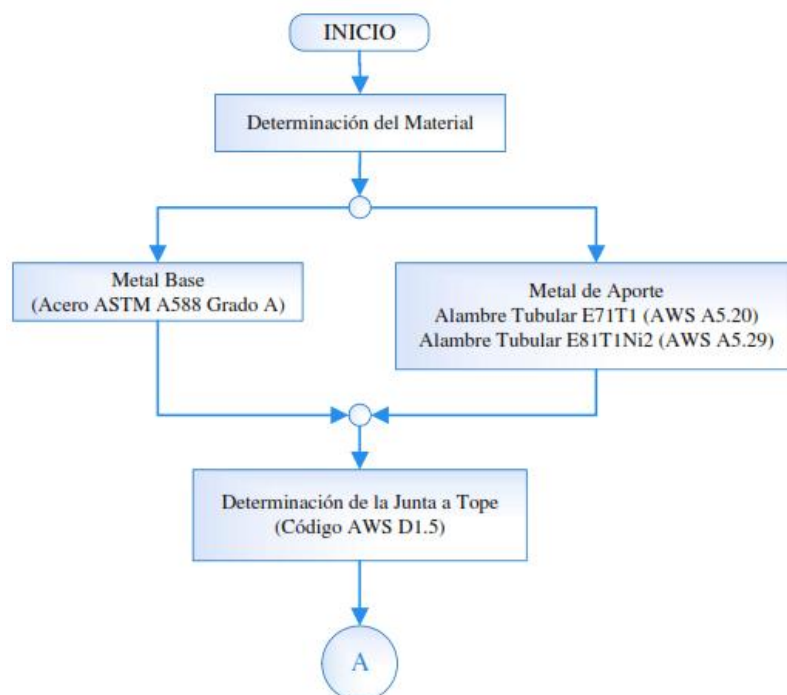
CAPÍTULO IV

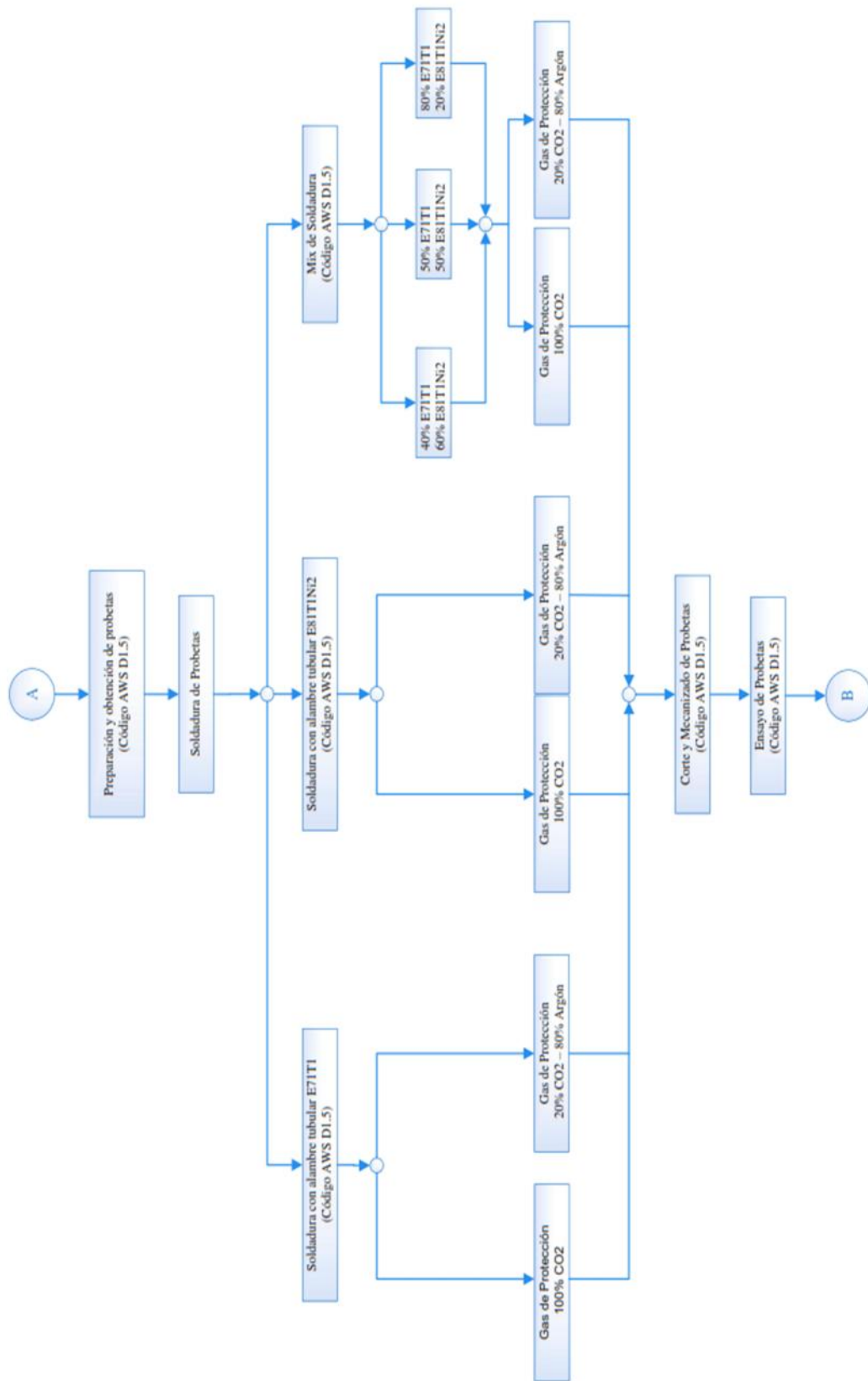
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.1 PROCESO DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la figura 23, se muestra el diagrama de flujo para la elaboración de muestras y la toma de resultados, el cual esta adoptado según el desarrollo del análisis de las combinaciones porcentuales del material de aporte de una junta a tope en un acero ASTM A588 Grado A utilizando los alambres tubulares E71T1 y E81T1Ni2 para determinar las propiedades mecánicas en la fabricación de superestructura para puentes.





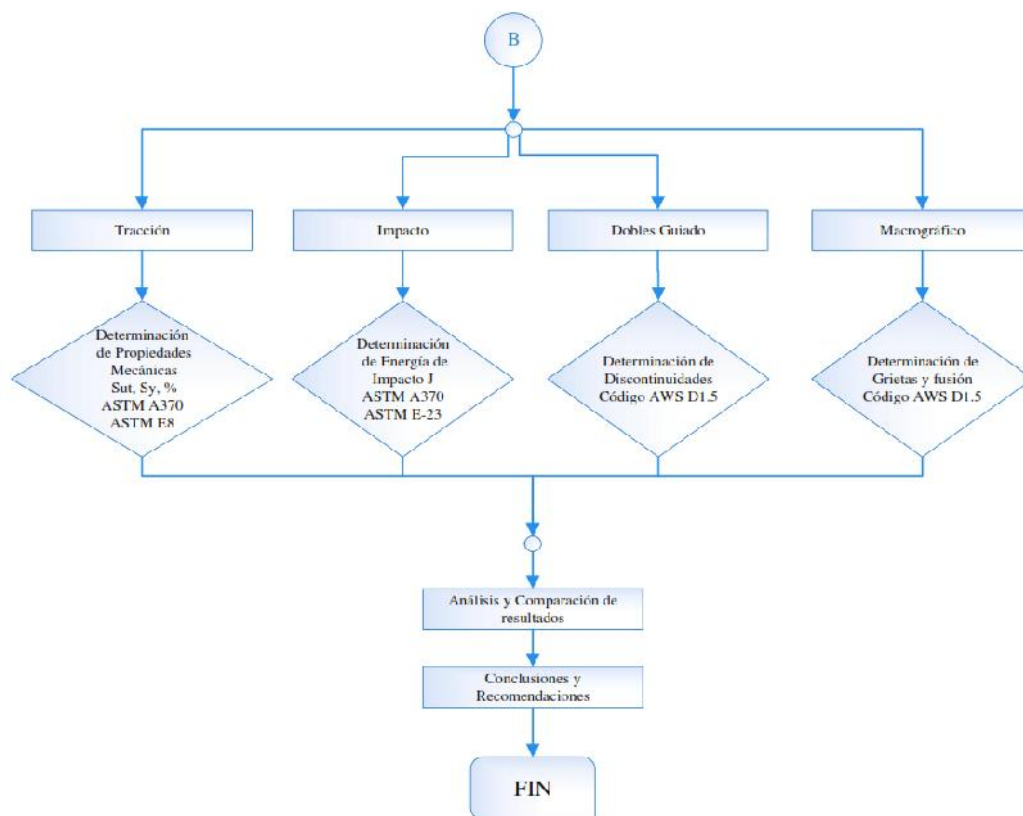


Figura 23. Proceso de Análisis de Resultados

Fuente: Realizado por el Autor

En la tabla 5, se detalla la identificación de las probetas y los tipos de combinaciones de alambres tubulares para el proceso de soldadura.

Tabla 5. Identificación de probetas

#	TIPO	ID	NUMERACIÓN		
1	MA: E71T1 - GP: 100% CO2	PA	1	2	3
2	MA: E71T1 - GP: 80%Ar-20% CO2	PAM	1	2	3
3	MA: E81T1NI2 - GP: 100% CO2	PB	1	2	3
4	MA: E81T1NI2 - GP: 80% Ar-20% CO2	PBM	1	2	3
5	MA: 40%E71T1 - 60%E81T1NI2 - GP: 100% CO2	PC	1	2	3
6	MA: 40%E71T1 - 60%E81T1NI2 - GP: 80% Ar-20% CO2	PCM	1	2	3
7	MA: 50%E71T1 - 50%E81T1NI2 - GP: 100% CO2	PD	1	2	3
8	MA: 50%E71T1 - 50%E81T1NI2 - GP: 80% Ar-20% CO2	PDM	1	2	3
9	MA: 80%E71T1 - 20%E81T1NI2 - GP: 100% CO2	PE	1	2	3
10	MA: 80%E71T1 - 20%E81T1NI2 - GP: 80% Ar-20% CO2	PEM	1	2	3

MA: Material de Aporte
 GP: Gas de Protección
 Ar: Argón
 CO₂: Dióxido de Carbono

Fuente: Realizado por el Autor

4.1.2 DETERMINACIÓN DE MATERIALES

4.1.2.1 MATERIAL BASE

De acuerdo al código AWS D1.5, el requisito químico mínimo para un acero M270M (M270) (A 709M [A 709]) Gr. 345W (50W) igual a un Acero ASTM A588 Grado A es el que se indica en la Tabla 6.

Tabla 6. Requisito Químico del Acero A709 Gr. 345W

Elemento	Composición, min, %
Carbon	0,15
Manganeso	1,00
Silicio	0,25
Cromo	0,50
Vanadio	0,03

Fuente: (AASHTO/AWS D1.5M, 2010)

En la Tabla 7, se realiza el análisis del requerimiento químico para el Acero ASTM A588 Grado A para utilizar como material base.

Tabla 7. Requerimiento Químico de Material Base

ELEMENTOS	REQUERIMIENTO	ACERO ASTM A588 GRADO A (Anexo A-1)
Carbón	0,15	0.19 máx.
Manganeso	1,00	0.8 - 1.25
Fosforo		0.04 máx.
Azufre		0.05 máx.
Silicio	0,25	0.3 - 0.65 máx.
Níquel		0.4 máx.
Cromo	0,50	0.4 - 0.65 máx.
Molibdeno		
Cobre		0.25 - 0.40
Vanadio	0,03	0.02 - 0.1
Aluminio		

Fuente: Realizado por el Autor

En la Tabla 8, se indica las propiedades mecánicas del acero ASTM A588 como referencia para su análisis.

Tabla 8. Propiedades Mecánicas del Material Base

PROPIEDADES	MATERIAL BASE (Anexo A-1)
Sut (ksi - Mpa)	70 - 485
Sy (ksi - Mpa)	50 - 345
Elongación 2" (%)	21

Fuente: Realizado por el Autor

Por lo tanto, el Acero ASTM A588 (Anexo A-1) cumple con la composición química y propiedades mecánicas para el acero de código M270M (M270) (A 709M [A 709]) Gr. 345W (50W) según la AWS D1.5 y es aprobado para ser utilizado como metal base.

4.1.2.2 MATERIAL DE APORTE

Debido a que el material base es de aplicaciones expuestas, descubiertas y sin pintar se requiere de un metal de aporte con resistencia a la corrosión atmosférica y de características similares al metal base, por lo que, es necesario utilizar un material de aporte que cumpla las mismas características y propiedades.

Por lo tanto, para el material base M270M (M270) (A 709M [A 709]) Gr. 345W (50W), el material de aporte para el proceso FCAW-G son los alambres tubulares bajo la denominación AWS A5.20 y AWS A5.29.

Previo a la mezcla de materiales de soldadura se realiza el análisis de la composición química y propiedades mecánicas entre el material base y material de aporte. Este análisis se indica en la tabla 9. En el cual se observa que los dos metales de aporte cumplen con las composiciones mínimas y máximas solicitados por el código.

Tabla 9. Requerimientos Químico del Material Base y Aporte

ELEMENTOS	METAL BASE	METAL APORTE 1	METAL APORTE 2
Carbón	0.19 máx.	0,18	0,12
Manganeso	0.8 - 1.25	1,75	1,5
Fosforo	0.04 máx.	0,03	0,03
Azufre	0.05 máx.	0,03	0,03
Silicio	0.3 - 0.65 máx.	0,9	0,8
Níquel	0.4 máx.	0,5	1.75-2.75
Cromo	0.4 - 0.65 máx.	0,2	
Molibdeno		0,3	
Cobre	0.25 - 0.40	0,35	
Vanadio	0.02 - 0.1	0,08	
Aluminio			1,8

METAL BASE= Acero ASTM A588 GRADO A (Anexo A-1)

METAL DE APORTE 1= ALAMBRE TUBULAR AWS A5.20 (E71T1) (Anexo A-2)

METAL DE APORTE 2= ALAMBRE TUBULAR AWS A5.29 (E81T1NI2) (Anexo A-3)

Fuente: Realizado por el Autor

Además, se analiza las propiedades mecánicas (Sut, Sy y % de elongación) entre el material base y los materiales de aporte, como se indica en la tabla 10. En este estudio se observa que los metales de aporte cumplen con el mínimo en propiedades mecánicas con los solicitado por el metal base.

Tabla 10. Propiedades Mecánicas Metal Base y Metal de Aporte

PROPIEDADES	METAL BASE	METAL APORTE 1	METAL APORTE 2
Sut (ksi - MPa)	70 - 485	70 - 480	90 - 620
Sy (ksi - MPa)	50 - 345	58 - 400	68 - 470
Elongación 2" (%)	21	22	19

METAL BASE= Acero ASTM A588 GRADO A (Anexo A-1)

METAL DE APORTE 1= ALAMBRE TUBULAR AWS A5.20 (E71T1) (Anexo A-2)

METAL DE APORTE 2= ALAMBRE TUBULAR AWS A5.29 (E81T1NI2) (Anexo A-3)

Fuente: Realizado por el Autor

En vista que los materiales de aporte cumplen con los requerimientos máximos y mínimos de composición química y los valores mínimos de resistencia última de tensión, resistencia a la fluencia y resistencia a la elongación para el metal base (ASTM A588 Grado A), se utiliza los metales de aporte:

Metal de Aporte 1: Alambre tubular E71T1 (AWS A5.20)

Metal de Aporte 2: Alambre tubular E81T1Ni2 (AWS A5.29)

4.1.3 DETERMINACIÓN DE LA JUNTA DE SOLDADURA

El tipo de junta de soldadura se determinó de acuerdo al código AWS D1.5 véase 2.12 (Anexo B-1), por lo tanto, para el proceso FCAW se utiliza una junta a tope de penetración completa, con ranura en V como se indica en el Anexo B-2.

Con este fundamento en la figura 24, se indica el detalle de la junta de soldadura.

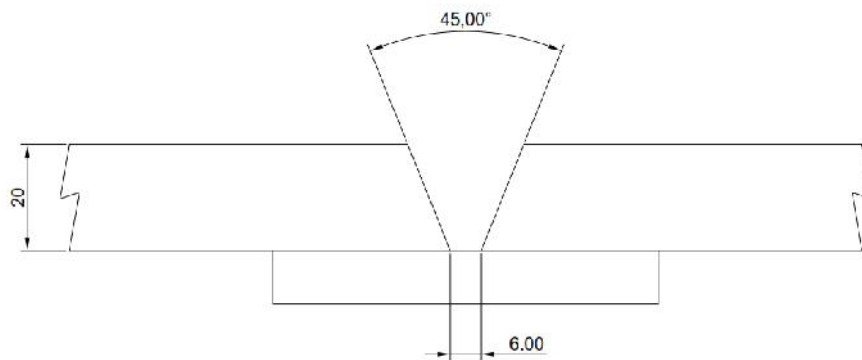


Figura 24 Junta de Soldadura

Fuente: Realizado por el Autor

4.1.4 PREPARACIÓN DE PROBETAS PARA LA SOLDADURA

La preparación de las probetas para el proceso de soldadura se obtiene bajo el siguiente procedimiento:

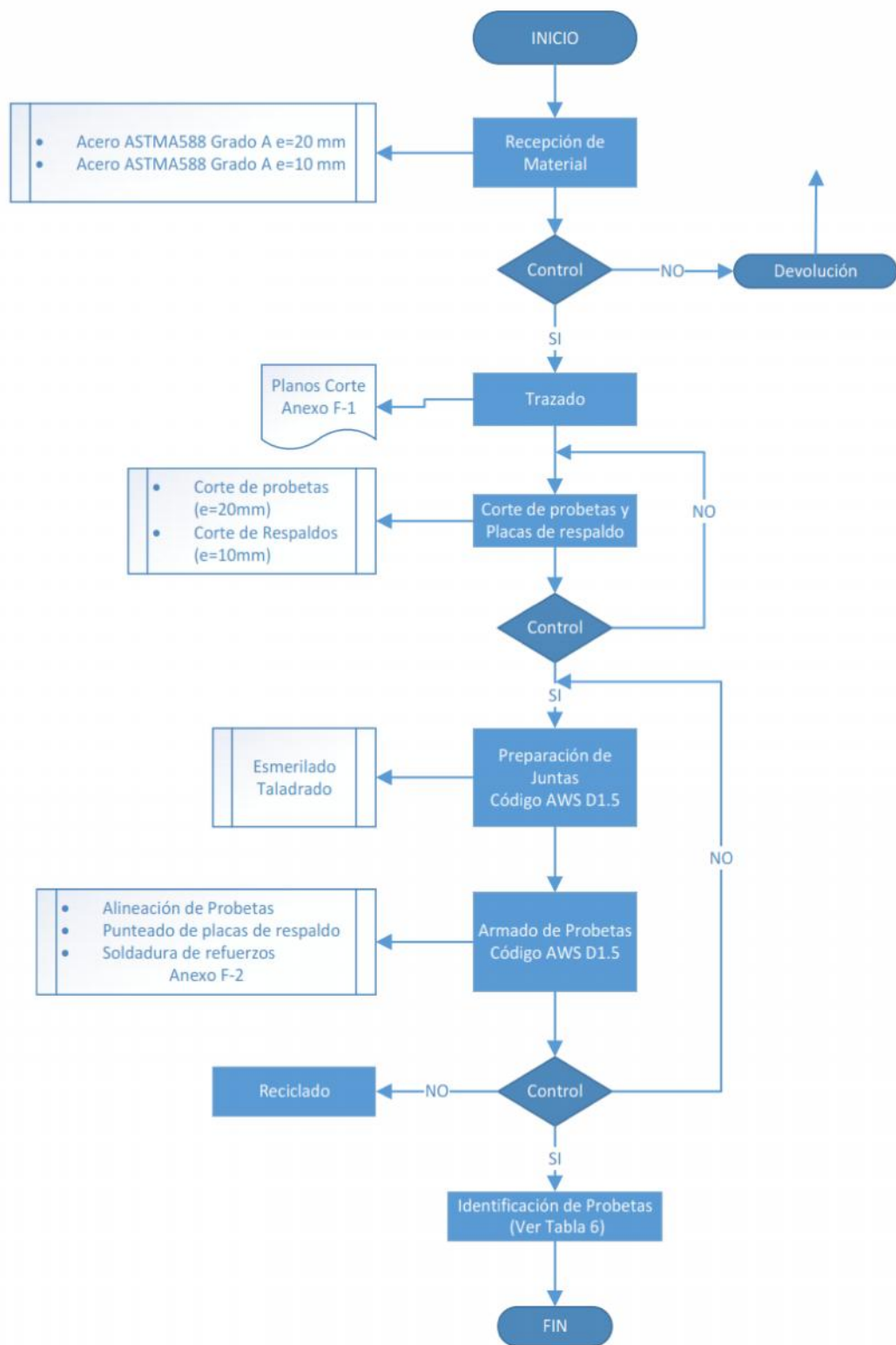


Figura 25. Proceso de Preparación de Probetas

Fuente: Realizado por el Autor

4.1.5 SOLDADURA DE PROBETAS

4.1.5.1 PARÁMETROS DE SOLDADURA

Para determinar los parámetros del proceso de soldadura se analiza el código AWS D1.5 (Anexo B-1) y se utiliza como referencia WPS IME-03-15-01 (Anexo C-1), con ello se define los parámetros generales para el proceso de soldadura y se indica en la Tabla 11.

Tabla 11. Parámetros de Soldadura Generales

PARÁMETROS	DETALLE	
PROCESO	FCAW - Semiautomático	
JUNTA	A penetración Completa y Ranura en V	
METAL BASE	ASTM A588 Grado A	
POSICIÓN	Plana (1G)	
ENTRADA DE CALOR	6 - 32 KJ/cm	
# DE PASES	10	
METAL DE APORTE	1	E71T1
	2	E81T1NI2
TEMPERATURA e= 20 mm	PRECALENTAMIENTO	10 °C
	INTERPASES	150 °C
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	CORRIENTE	DC+
	STICK OUT	19-25 mm
PROTECCIÓN	GAS	100% CO2 y Mezcla (80% Ar-20%CO2)
	FLUJO	15-25 lt/min

Fuente: Realizado por el Autor

4.1.5.2 TÉCNICA DE SOLDADURA

Una vez determinado los parámetros del proceso de soldadura se establece la técnica aplicada en cada uno de las combinaciones de los alambres tubulares (Ver Anexo F-4), para ello en la tabla 12 se indica las características eléctricas, velocidad de avance y características físicas del metal de aporte para cada combinación, en la figura 26 de indica el número de pases a aplicar en la junta a tope, encontrando mayor detalle en el Anexo F-3.

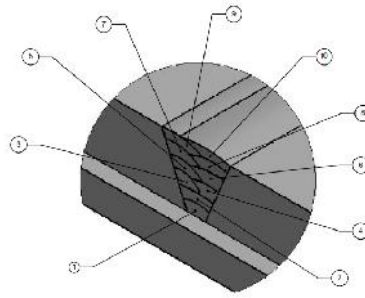


Figura 26. Número de pase
Fuente: Realizado por el Autor

Tabla 12. Técnica del Proceso de Soldadura

TÉCNICA PARA LA SOLDADURA CON ALAMBRE E71T1						
PASE	N°	AWS DESIGNACION	DIAMETRO (mm)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)	VELOCIDAD (pulg/min)
Raiz	1er	E71T1	1,2	150 - 320	22 - 35	5 - 13
Relleno	2do - 8vo	E71T1	1,2	150 - 320	22 - 35	5 - 13
Capas	9no	E71T1	1,2	150 - 320	22 - 35	5 - 13
Capas	10mo	E71T1	1,2	150 - 320	22 - 35	5 - 13
TÉCNICA PARA LA SOLDADURA CON ALAMBRE E81T1Ni2						
PASE	N°	AWS DESIGNACION	DIAMETRO (mm)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)	VELOCIDAD (pulg/min)
Raiz	1er	E81T1Ni2	1,2	150 - 300	22 - 30	5 - 13
Relleno	2do - 8vo	E81T1Ni2	1,2	150 - 300	22 - 30	5 - 13
Capas	9no	E81T1Ni2	1,2	150 - 300	22 - 30	5 - 13
Capas	10mo	E81T1Ni2	1,2	150 - 300	22 - 30	5 - 13
TÉCNICA DE SOLDADURA PARA LA COMBINACIÓN 40% E71T1 - 60% E81T1Ni2						
PASE	N°	AWS DESIGNACION	DIAMETRO (mm)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)	VELOCIDAD (pulg/min)
Raiz	1er	E71T1	1,2	150 - 320	22 - 35	5 - 13
Relleno	2do - 4to	E71T1	1,2	150 - 320	22 - 35	5 - 13
Relleno	5to - 8vo	E81T1Ni2	1,2	150 - 300	22 - 30	5 - 13
Capas	9no	E81T1Ni2	1,2	150 - 300	22 - 30	5 - 13
Capas	10mo	E81T1Ni2	1,2	150 - 300	22 - 30	5 - 13
TÉCNICA DE SOLDADURA PARA LA COMBINACIÓN 50% E71T1 - 50% E81T1Ni2						
PASE	N°	AWS DESIGNACION	DIAMETRO (mm)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)	VELOCIDAD (pulg/min)
Raiz	1er	E71T1	1,2	150 - 320	22 - 35	5 - 13
Relleno	2do - 5to	E71T1	1,2	150 - 320	22 - 35	5 - 13
Relleno	6to - 8vo	E81T1Ni2	1,2	150 - 300	22 - 30	5 - 13
Capas	9no	E81T1Ni2	1,2	150 - 300	22 - 30	5 - 13
Capas	10mo	E81T1Ni2	1,2	150 - 300	22 - 30	5 - 13
TÉCNICA DE SOLDADURA PARA LA COMBINACIÓN 80% E71T1 - 20% E81T1Ni2						
PASE	N°	AWS DESIGNACION	DIAMETRO (mm)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)	VELOCIDAD (pulg/min)
Raiz	1er	E71T1	1,2	150 - 320	22 - 35	5 - 13
Relleno	2do - 8vo	E71T1	1,2	150 - 320	22 - 35	5 - 13
Capas	9no	E81T1Ni2	1,2	150 - 300	22 - 30	5 - 13
Capas	10mo	E81T1Ni2	1,2	150 - 300	22 - 30	5 - 13

Fuente: Realizado por el Autor

4.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS



Con la finalidad de obtener un educado manejo de los resultados y de la información correspondiente de las probetas y los ensayos realizados durante el desarrollo del trabajo de análisis, se ha determinado identificaciones como se indica en la tabla 13 para la toma de datos, resultados y conseguir las propiedades mecánicas de interés en el estudio ejecutado.

Tabla 13. Identificación de Probetas

ID	ENSAYO DE TRACCIÓN	ENSAYO DE IMPACTO		ENSAYO DE DOBLES GUIADO		ENSAYO MACROGRÁFICO	
PA	PA1	PA1-1	PA1-2	PA1-1	PA1-2	PA1-1	PA1-2
	PA2	PA2-1	PA2-2	PA2-1	PA2-2	PA2-1	PA2-2
	PA3	PA3-1	PA3-2	PA3-1	PA3-2	PA3-1	PA3-2
PAM	PAM1	PAM1-1	PAM1-2	PAM1-1	PAM1-2	PAM1-1	PAM1-2
	PAM2	PAM2-1	PAM2-2	PAM2-1	PAM2-2	PAM2-1	PAM2-2
	PAM3	PAM3-1	PAM3-2	PAM3-1	PAM3-2	PAM3-1	PAM3-2
PB	PB1	PB1-1	PB1-2	PB1-1	PB1-2	PB1-1	PB1-2
	PB2	PB2-1	PB2-2	PB2-1	PB2-2	PB2-1	PB2-2
	PB3	PB3-1	PB3-2	PB3-1	PB3-2	PB3-1	PB3-2
PBM	PBM1	PBM1-1	PBM1-2	PBM1-1	PBM1-2	PBM1-1	PBM1-2
	PBM2	PBM2-1	PBM2-2	PBM2-1	PBM2-2	PBM2-1	PBM2-2
	PBM3	PBM3-1	PBM3-2	PBM3-1	PBM3-2	PBM3-1	PBM3-2
PC	PC1	PC1-1	PC1-2	PC1-1	PC1-2	PC1-1	PC1-2
	PC2	PC2-1	PC2-2	PC2-1	PC2-2	PC2-1	PC2-2
	PC3	PC3-1	PC3-2	PC3-1	PC3-2	PC3-1	PC3-2
PCM	PCM1	PCM1-1	PCM1-2	PCM1-1	PCM1-2	PCM1-1	PCM1-2
	PCM2	PCM2-1	PCM2-2	PCM2-1	PCM2-2	PCM2-1	PCM2-2
	PCM3	PCM3-1	PCM3-2	PCM3-1	PCM3-2	PCM3-1	PCM3-2
PD	PD1	PD1-1	PD1-2	PD1-1	PD1-2	PD1-1	PD1-2
	PD2	PD2-1	PD2-2	PD2-1	PD2-2	PD2-1	PD2-2
	PD3	PD3-1	PD3-2	PD3-1	PD3-2	PD3-1	PD3-2
PDM	PDM1	PDM1-1	PDM1-2	PDM1-1	PDM1-2	PDM1-1	PDM1-2
	PDM2	PDM2-1	PDM2-2	PDM2-1	PDM2-2	PDM2-1	PDM2-2
	PDM3	PDM3-1	PDM3-2	PDM3-1	PDM3-2	PDM3-1	PDM3-2
PE	PE1	PE1-1	PE1-2	PE1-1	PE1-2	PE1-1	PE1-2
	PE2	PE2-1	PE2-2	PE2-1	PE2-2	PE2-1	PE2-2
	PE3	PE3-1	PE3-2	PE3-1	PE3-2	PE3-1	PE3-2
PEM	PEM1	PEM1-1	PEM1-2	PEM1-1	PEM1-2	PEM1-1	PEM1-2
	PEM2	PEM2-1	PEM2-2	PEM2-1	PEM2-2	PEM2-1	PEM2-2
	PEM3	PEM3-1	PEM3-2	PEM3-1	PEM3-2	PEM3-1	PEM3-2




Fuente: Realizado por el Autor

4.2.1 ANÁLISIS DEL ACERO ASTM A588 COMO VIENE DE FABRICA

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
				Código: ET-PMB-01
ENSAYO DE TRACCIÓN ACERO ASTM A588 GRADO A				
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>				
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.	
Ubicación:	ESPOL	Fecha de Ejecución:	19 - 09 -2015	
Laboratorio:	FIMCP - ESPOL	N° Probeta	9	
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>				
Material:	Acero	Tipo:	ASTM A588	
Dimensiones (mm):	10x10x55	Forma:	Plana	
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>				
Código Aplicado:	ASTM E08	Procedimiento:	EPP-LEMART-02	
<i>ESPECIFICACIONES DEL ACERO ASTMA588 GRADO A (Anexo A-1)</i>				
	Para espesores inferiores a 4 in. incl	Para espesores entre 4 in. y 5 in. incl	Para espesores sobre 8 in. incl	
Resistencia a la tracción:	70,000 psi [485 MPa]	67,000 psi [460 MPa]	63,000 psi [435 MPa]	
Punto de fluencia:	50,000psi [345 MPa]	46,000psi [315 MPa]	42,000psi [290 MPa]	
Elongación en 8 "	18% min	...	...
Elongación en 2 "	21% min	21% min	21% min	
<i>REGISTRO DE RESULTADOS (Anexo D-1)</i>				
	# Probeta	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Elongación (%)
	15-2639	357.519	534.639	25.14
	15-2640	367.755	540.533	24.73
	15-2641	404.944	555.130	26.83
	15-2642	395.670	541.386	26.55
	15-2643	425.209	525.295	23.19
	15-2644	368.378	527.182	25.27
	15-2645	415.039	525.659	25.95
	15-2646	403.918	550.348	26.87
	15-2647	397.265	529.658	26.90
	Promedio	392.855	536.648	25.79
<i>OBSERVACIÓN</i>				
<ul style="list-style-type: none"> Las muestras y la información de los mismos fueron proporcionados por LEMAT (Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales). El ensayo se realizó bajo la norma ASTM E-8-2015 Los valores obtenidos durante el ensayo son superiores a las especificaciones del Acero ASTM A588. 				
<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>				

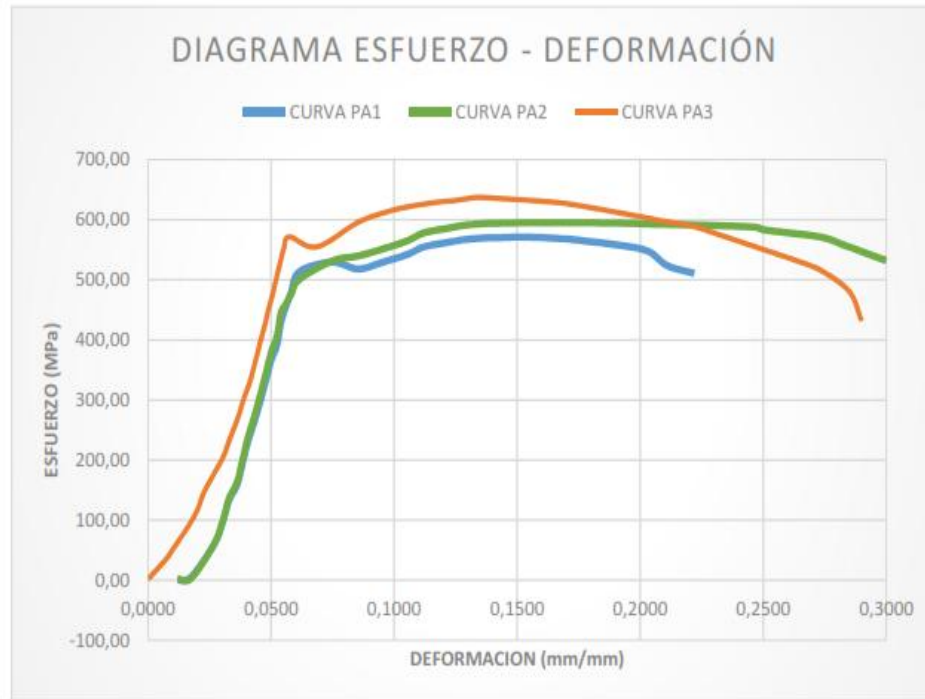
Además, como referencia se realizó el análisis del Acero ASTM A 588 como viene de fábrica y se registra en el formato adjunto.

4.2.2 ENSAYO DE TRACCIÓN DE LAS PROBETAS CON ALAMBRE TUBULAR E71T1 Y 100% CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		 Código: ET-PA-01
	ENSAYO DE TRACCIÓN		
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>			
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	11 de junio del 2016
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PA1, PA2, PA3
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>			
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 100 % E71T1
Diámetro (mm):	12.5	Peso (Kg):	0.187
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	100 % CO2
<i>GRÁFICO REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN</i>			
			
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>			
Código Aplicado:	AWS 1.5 - 2010	Equipo:	Máquina Universal CONTROLS - C78Z00
Código de Referencia:	ASTM A 370-97 (Anexo E-1) ASTM E8M-00 (Anexo E-2)	Método:	Deformación Controlada
<i>OBSERVACIÓN</i>			
<ul style="list-style-type: none"> • La probeta se obtiene de una junta a tope con ranura en V, 10 pases con alambre tubular E71T1 con CO2 como gas de protección. • Maquinado en Torno. 			

EVALUACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

RESULTADOS



CÁLCULOS

Cálculo del porcentaje de alargamiento (ϵ):

$$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 \quad \epsilon_{p1} = 22.2 \quad \epsilon_{p2} = 30.0 \quad \epsilon_{p3} = 29.0$$

Askeland D. (2002). Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Tercera Edición (pág. 131)

Cálculo de la resistencia última a la tracción (Sut):

$$S_u = \frac{F_m}{A_0} \quad S_{p1} = 571.33 \text{ MPa} \quad S_{p2} = 595.00 \text{ MPa} \quad S_{p3} = 637.40 \text{ MPa}$$

Shigley (2008). Diseño de Ingeniería Mecánica, Octava Edición (pág. 28)

Cálculo del límite de fluencia (S_y):

$$S_{\epsilon=0.2\%} \quad S_{p1} = 522.17 \text{ MPa} \quad S_{p2} = 516.00 \text{ MPa} \quad S_{p3} = 564.70 \text{ MPa}$$

Shigley (2008). Diseño de Ingeniería Mecánica, Octava Edición (pág. 29)




VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN

	Sy (MPa)	Sut (MPa)	% Elongación
NORMA ASTM A588 GRADO A	345	450	22
PA1	522.17	571.33	22.2
PA2	516.00	595.00	30.0
PA3	564.70	637.40	29.0
PROMEDIO	534.29	601.24	27.16

Los resultados obtenidos en el ensayo son superiores a los solicitados por la Norma AWS D1.5, por lo tanto, se aprueba.

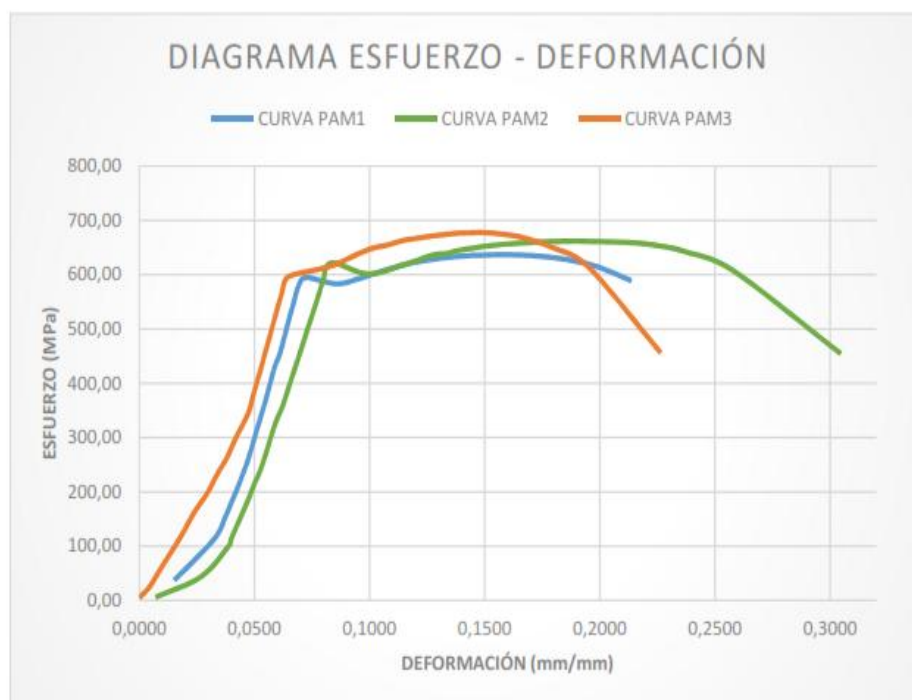
Autor: Ing. Oscar Anluiza

4.2.3 ENSAYO DE TRACCIÓN DE LAS PROBETAS CON ALAMBRE TUBULAR E71T1 Y 80%ARGÓN-20%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
				Código: ET-PAM-02	
ENSAYO DE TRACCIÓN					
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>					
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.		
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	11 de junio del 2016		
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	Nº Probeta	PAM1, PAM2, PAM3		
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>					
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 100 % E71T1		
Diámetro (mm):	12.5	Peso (Kg):	0.187		
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	80 % Ar - 20 % CO2		
<i>GRÁFICO REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN</i>					
					
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>					
Código Aplicado:	AWS 1.5 - 2010	Equipo:	Máquina Universal CONTROLS - C78Z00		
Código de Referencia:	ASTM A 370-97(Anexo E-1) ASTM E8M-00 (Anexo E-2)	Método:	Deformación Controlada		
<i>OBSERVACIÓN</i>					
<ul style="list-style-type: none"> • La probeta se obtiene de una junta a tope con ranura en V, 10 pasas con alambre tubular E71T1, protegido con mezcla de gases. • Maquinado en Torno. 					

EVALUACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

RESULTADOS



CÁLCULOS

Cálculo del porcentaje de alargamiento (ϵ):

$$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 \quad \epsilon_{P, 1} = 23.3 \quad \epsilon_{P, 2} = 30.47 \quad \epsilon_{P, 3} = 22.65$$

Askeland D. (2002). Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Tercera Edición (pág. 131)

Cálculo de la resistencia última a la tracción (S_{ut}):

$$S_{ut} = \frac{F_m}{A_0} \quad S_{P, 1} = 637.10 \text{ MPa} \quad S_{P, 2} = 661.96 \text{ MPa} \quad S_{P, 3} = 677.75 \text{ MPa}$$

Shigley (2008). Diseño de Ingeniería Mecánica, Octava Edición (pág. 28)

Cálculo del límite de fluencia (S_y):

$$S_{\epsilon=0.2\%} \quad S_{P, 1} = 592.31 \text{ MPa} \quad S_{P, 2} = 613.82 \text{ MPa} \quad S_{P, 3} = 602.33 \text{ MPa}$$

Shigley (2008). Diseño de Ingeniería Mecánica, Octava Edición (pág. 29)




VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN

	Sy (MPa)	Sut (MPa)	% Elongación
NORMA ASTM A588 GRADO A	345	450	22
PAM1	592.31	637.10	23.3
PAM2	613.82	661.96	30.47
PAM3	602.33	677.75	22.65
PROMEDIO	602.82	658.93	25.47

Los resultados obtenidos en el ensayo son superiores a los solicitados por la Norma AWS D1.5, por lo tanto, se aprueba.

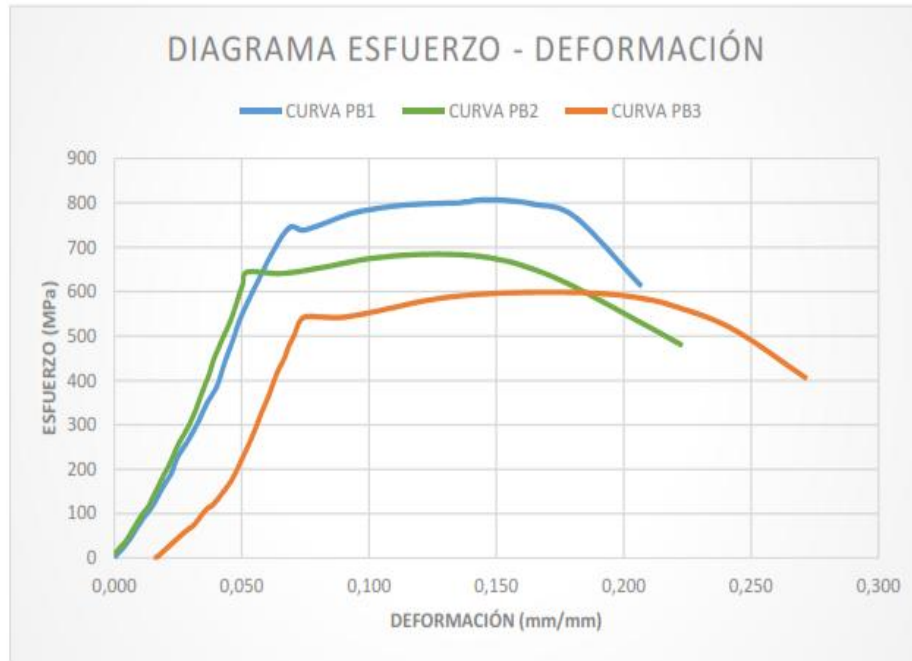
Autor: Ing. Oscar Analuiza

4.2.4 ENSAYO DE TRACCIÓN DE LAS PROBETAS CON ALAMBRE TUBULAR E81T1Ni2 Y 100% CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		 Código: ET-PB-03
	ENSAYO DE TRACCIÓN		
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	11 de junio del 2016
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	Nº Probeta	PB1, PB2, PB3
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN			
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 100 % E81T1Ni2
Díámetro (mm):	12.5	Peso (Kg):	0.187
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	100 % CO2
GRÁFICO REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN			
			
PARÁMETROS DEL ENSAYO			
Código Aplicado:	AWS 1.5 - 2010	Equipo:	Máquina Universal CONTROLS - C78Z00
Código de Referencia:	ASTM A 370-97(Anexo E-1) ASTM E8M-00 (Anexo E-2)	Método:	Deformación Controlada
OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> • La probeta se obtiene de una junta a tope con ranura en V, 10 pases con alambre tubular E81T1Ni2 con CO2 como gas de protección. • Maquinado en Torno. 			

EVALUACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

RESULTADOS



CÁLCULOS

Cálculo del porcentaje de alargamiento (ϵ):

$$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 \quad \epsilon_{P_1} = 20.7 \quad \epsilon_{P_2} = 22.34 \quad \epsilon_{P_3} = 27.19$$

Askeland D. (2002). Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Tercera Edición (pág. 131)

Cálculo de la resistencia última a la tracción (S_{ut}):

$$S_{ut} = \frac{F_m}{A_0} \quad S_{P_1} = 809.31 \text{ MPa} \quad S_{P_2} = 684.49 \text{ MPa} \quad S_{P_3} = 598.63 \text{ MPa}$$

Shigley (2008). Diseño de Ingeniería Mecánica, Octava Edición (pág. 28)

Cálculo del límite de fluencia (S_y):

$$S_{\epsilon=0.2\%} \quad S_{P_1} = 794.60 \text{ MPa} \quad S_{P_2} = 642.91 \text{ MPa} \quad S_{P_3} = 542.71 \text{ MPa}$$

Shigley (2008). Diseño de Ingeniería Mecánica, Octava Edición (pág. 29)




VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN

	Sy (MPa)	Sut (MPa)	% Elongación
NORMA ASTM A588 GRADO A	345	450	22
PB1	794.60	809.31	20.7
PB2	642.91	684.49	22.34
PB3	542.71	598.63	27.19
PROMEDIO	660.07	697.48	23.41

Los resultados obtenidos en los ensayos nos indica que el % de elongación de la probeta PB1 no cumple con lo solicitado por la Norma AWS D1.5, por lo tanto, esta probeta no se aprueba.

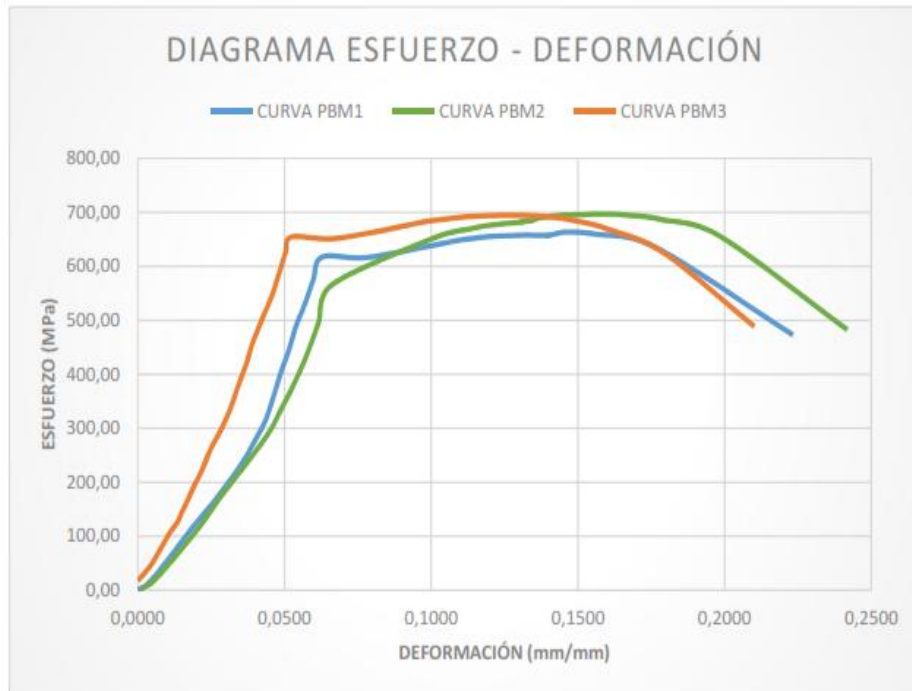
Autor: Ing. Oscar Analuiza

4.2.5 ENSAYO DE TRACCIÓN DE LAS PROBETAS CON ALAMBRE TUBULAR E81T1Ni2 Y 80%ARGÓN-20%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
				Código: ET-PBM-04	
ENSAYO DE TRACCIÓN					
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>					
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.		
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	11 de junio del 2016		
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	Nº Probeta	PBM1, PBM2, PBM3		
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>					
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 100 % E81T1Ni2		
Díámetro (mm):	12.5	Peso (Kg):	0.187		
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	80 % Ar - 20 % CO2		
<i>GRÁFICO REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN</i>					
					
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>					
Código Aplicado:	AWS 1.5 - 2010	Equipo:	Máquina Universal CONTROLS - C78Z00		
Código de Referencia:	ASTM A 370-97(Anexo E-1) ASTM E8M-00 (Anexo E-2)	Método:	Deformación Controlada		
<i>OBSERVACIÓN</i>					
<ul style="list-style-type: none"> • La probeta se obtiene de una junta a tope con ranura en V, 10 pases con alambre tubular E81T1Ni2, protegido con mezcla de gases. • Maquinado en Torno. 					

EVALUACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

RESULTADOS



CÁLCULOS

Cálculo del porcentaje de alargamiento (ε):

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 \quad \varepsilon_{P1} = 22.33 \quad \varepsilon_{P2} = 24.18 \quad \varepsilon_{P3} = 21.01$$

Askeland D. (2002). Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Tercera Edición (pág. 131)

Cálculo de la resistencia última a la tracción (S_u):

$$S_u = \frac{F_m}{A_0} \quad S_{P1} = 663.72 \text{ MPa} \quad S_{P2} = 679.02 \text{ MPa} \quad S_{P3} = 694.69 \text{ MPa}$$

Shigley (2008). Diseño de Ingeniería Mecánica, Octava Edición (pág. 28)

Cálculo del límite de fluencia (S_y):

$$S_{\varepsilon=0.2\%} \quad S_{P1} = 651.11 \text{ MPa} \quad S_{P2} = 596.44 \text{ MPa} \quad S_{P3} = 654.19 \text{ MPa}$$

Shigley (2008). Diseño de Ingeniería Mecánica, Octava Edición (pág. 29)

VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN

	S _y (MPa)	S _u (MPa)	% Elongación
NORMA ASTM A588 GRADO A	345	450	22
PBM1	651.11	663.72	22.33
PBM2	596.44	679.02	24.18
PBM3	654.19	694.69	21.01
PROMEDIO	633.91	679.14	22.51

Los resultados obtenidos en los ensayos nos indica que el % de elongación de la probeta PBM3 no cumple con lo solicitado por la Norma AWS D1.5, por lo tanto, esta probeta no se aprueba.

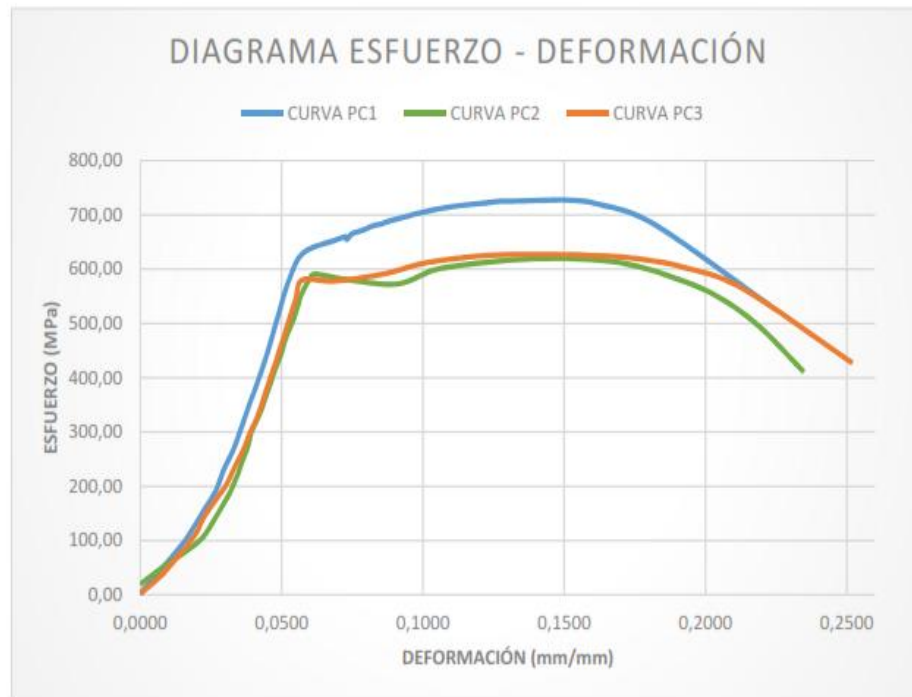
Autor: Ing. Oscar Anluiza

4.2.6 ENSAYO DE TRACCIÓN DE LAS PROBETAS CON LA COMBINACIÓN 40% E71T1 - 60% E81T1Ni2 Y 100%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
				Código: ET-PC-05	
ENSAYO DE TRACCIÓN					
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>					
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.		
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	11 de junio del 2016		
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PC1, PC2, PC3		
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>					
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 40% E71T1 60 % E81T1Ni2		
Diámetro (mm):	12.5	Peso (Kg):	0.187		
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	100 % CO2		
<i>GRÁFICO REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN</i>					
					
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>					
Código Aplicado:	AWS 1.5 - 2010	Equipo:	Máquina Universal CONTROLS - C78Z00		
Código de Referencia:	ASTM A 370-97 (Anexo E-1) ASTM E8M-00 (Anexo E-2)	Método:	Deformación Controlada		
<i>OBSERVACIÓN</i>					
<ul style="list-style-type: none"> • La probeta se obtiene de una junta a tope con ranura en V con 10 pases, de los cuales 4 pases con alambre E71T1 y 6 pases con alambre E81T1Ni2 con CO2 como gas de protección. • Maquinado en Torno. 					

EVALUACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

RESULTADOS



CÁLCULOS

Cálculo del porcentaje de alargamiento (ϵ):

$$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 \quad \epsilon_{P1} = 22.29 \quad \epsilon_{P2} = 23.48 \quad \epsilon_{P3} = 25.19$$

Askeland D. (2002). Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Tercera Edición (pág. 131)

Cálculo de la resistencia última a la tracción (S_{ut}):

$$S_{ut} = \frac{F_m}{A_0} \quad S_{P1} = 727.29 \text{ MPa} \quad S_{P2} = 619.75 \text{ MPa} \quad S_{P3} = 627.44 \text{ MPa}$$

Shigley (2008). Diseño de Ingeniería Mecánica, Octava Edición (pág. 28)

Cálculo del límite de fluencia (S_y):

$$S_{\epsilon=0.2\%} \quad S_{P1} = 641.79 \text{ MPa} \quad S_{P2} = 578.12 \text{ MPa} \quad S_{P3} = 577.48 \text{ MPa}$$

Shigley (2008). Diseño de Ingeniería Mecánica, Octava Edición (pág. 29)





VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN

	Sy (MPa)	Sut (MPa)	% Elongación
NORMA ASTM A588 GRADO A	345	450	22
PC1	641.79	727.29	22.29
PC2	578.12	619.75	23.48
PC3	577.48	627.44	25.19
PROMEDIO	599.13	658.16	23.65

Los resultados obtenidos en el ensayo son superiores a los solicitados por la Norma AWS D1.5, por lo tanto, se aprueba.

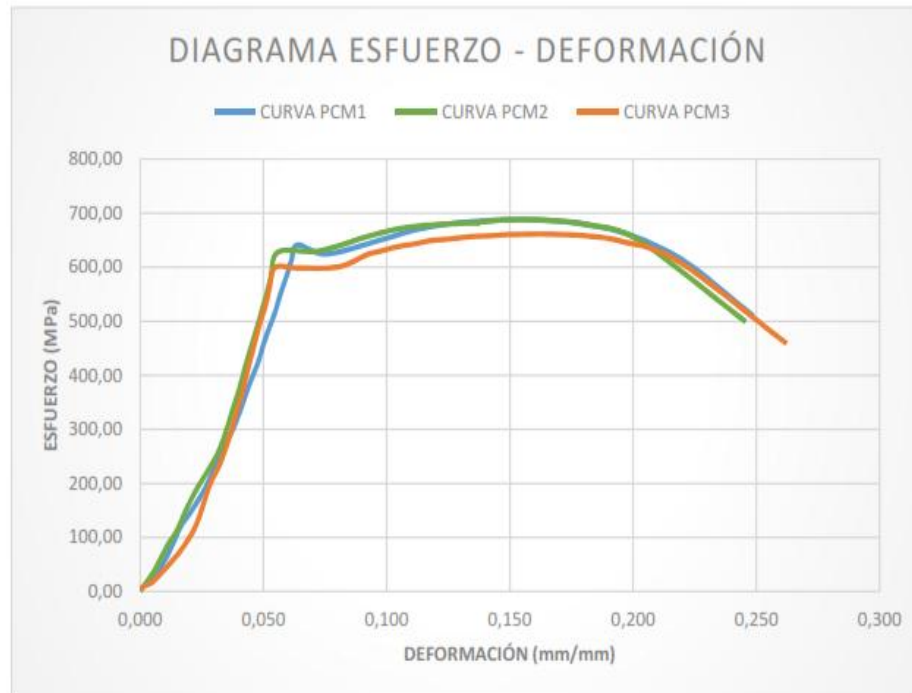
Autor: Ing. Oscar Analuiza

4.2.7 ENSAYO DE TRACCIÓN DE LAS PROBETAS CON LA COMBINACIÓN 40% E71T1 - 60% E81T1Ni2 Y 80%ARGÓN-20%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Código: ET-PCM-06					
ENSAYO DE TRACCIÓN					
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>					
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.		
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	11 de junio del 2016		
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PCM1, PCM2, PCM3		
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>					
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 40% E71T1 60 % E81T1Ni2		
Diámetro (mm):	12.5	Peso (Kg):	0.187		
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	80 % Ar - 20 % CO2		
<i>GRÁFICO REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN</i>					
					
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>					
Código Aplicado:	AWS 1.5 - 2010	Equipo:	Máquina Universal CONTROLS - C78Z00		
Código de Referencia:	ASTM A 370-97(Anexo E-1) ASTM E8M-00 (Anexo E-2)	Método:	Deformación Controlada		
<i>OBSERVACIÓN</i>					
<ul style="list-style-type: none"> • La probeta se obtiene de una junta a tope con ranura en V con 10 pases, de los cuales 4 pases con alambre E71T1 y 6 pases con alambre E81TINi2 protegido con mezcla de gases. • Maquinado en Torno. 					

EVALUACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

RESULTADOS



CÁLCULOS

Cálculo del porcentaje de alargamiento (ϵ):

$$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 \quad \epsilon_{P1} = 24.88 \quad \epsilon_{P2} = 24.57 \quad \epsilon_{P3} = 26.23$$

Askeland D. (2002). Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Tercera Edición (pág. 131)

Cálculo de la resistencia última a la tracción (S_{ut}):

$$S_{ut} = \frac{F_m}{A_0} \quad S_{P1} = 688.09 \text{ MPa} \quad S_{P2} = 688.28 \text{ MPa} \quad S_{P3} = 661.51 \text{ MPa}$$

Shigley (2008). Diseño de Ingeniería Mecánica, Octava Edición (pág. 28)

Cálculo del límite de fluencia (S_y):

$$S_{\epsilon=0.2\%} \quad S_{P1} = 637.88 \text{ MPa} \quad S_{P2} = 630.26 \text{ MPa} \quad S_{P3} = 600.20 \text{ MPa}$$

Shigley (2008). Diseño de Ingeniería Mecánica, Octava Edición (pág. 29)


VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN

	Sy (MPa)	Sut (MPa)	% Elongación
NORMA ASTM A588 GRADO A	345	450	22
PCM1	637.88	688.09	24.88
PCM2	630.26	688.28	24.57
PCM3	600.20	661.51	26.23
PROMEDIO	622.78	679.29	25.23

Los resultados obtenidos en el ensayo son superiores a los solicitados por la Norma AWS D1.5, por lo tanto, se aprueba.

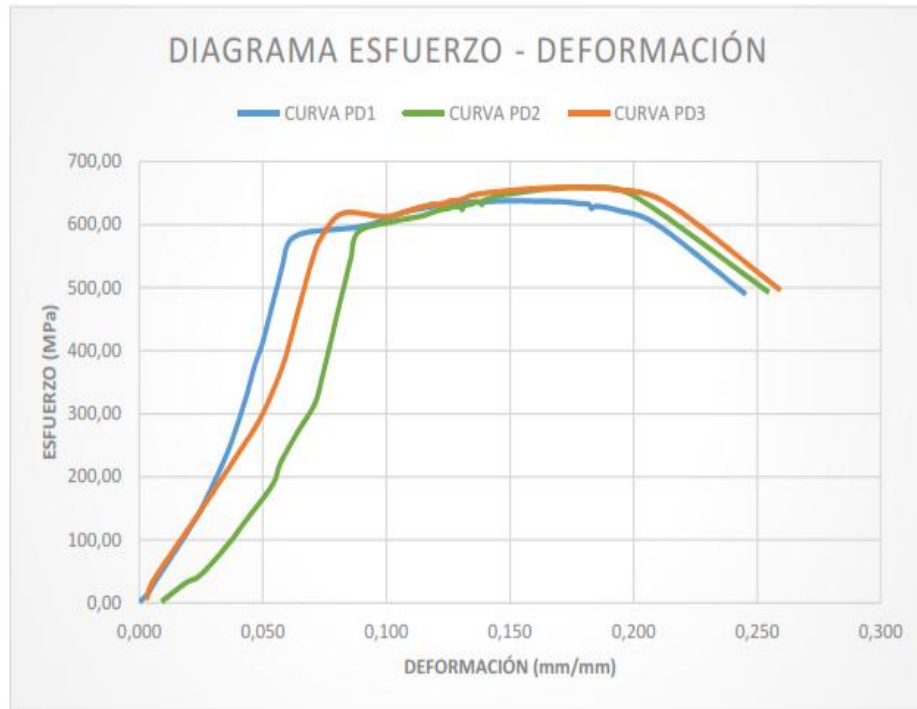
Autor: Ing. Oscar Anluiza

4.2.8 ENSAYO DE TRACCIÓN DE LAS PROBETAS CON LA COMBINACIÓN 50% E71T1 - 50% E81T1Ni2 Y 100%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Código: ET-PD-07					
ENSAYO DE TRACCIÓN					
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>					
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.		
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	11 de junio del 2016		
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PD1, PD2, PD3		
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>					
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 50% E71T1 50 % E81T1Ni2		
Díámetro (mm):	12.5	Peso (Kg):	0.187		
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	100 % CO2		
<i>GRÁFICO REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN</i>					
					
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>					
Código Aplicado:	AWS 1.5 - 2010	Equipo:	Máquina Universal CONTROLS - C78Z00		
Código de Referencia:	ASTM A 370-97 (Anexo E-1) ASTM E8M-00 (Anexo E-2)	Método:	Deformación Controlada		
<i>OBSERVACIÓN</i>					
<ul style="list-style-type: none"> • La probeta se obtiene de una junta a tope con ranura en V con 10 pases, de los cuales 5 pases con alambre E71T1 y 5 pases con alambre E81T1Ni2 con CO2 como gas de protección. • Maquinado en Torno. 					

EVALUACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

RESULTADOS



CÁLCULOS

Cálculo del porcentaje de alargamiento (ϵ):

$$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 \quad \epsilon_{P1} = 24.55 \quad \epsilon_{P2} = 25.48 \quad \epsilon_{P3} = 25.95$$

Askeland D. (2002). Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Tercera Edición (pág. 131)

Cálculo de la resistencia última a la tracción (S_u):

$$S_u = \frac{F_m}{A_0} \quad S_{P1} = 637.78 \text{ MPa} \quad S_{P2} = 658.62 \text{ MPa} \quad S_{P3} = 659.05 \text{ MPa}$$

Shigley (2008). Diseño de Ingeniería Mecánica, Octava Edición (pág. 28)

Cálculo del límite de fluencia (S_y):

$$S_{\epsilon=0.2\%} \quad S_{P1} = 588.62 \text{ MPa} \quad S_{P2} = 605.99 \text{ MPa} \quad S_{P3} = 620.93 \text{ MPa}$$

Shigley (2008). Diseño de Ingeniería Mecánica, Octava Edición (pág. 29)

VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN

	Sy (MPa)	Sut (MPa)	% Elongación
NORMA ASTM A588 GRADO A	345	450	22
PD1	588.62	637.78	24.55
PD2	605.99	658.62	25.48
PD3	620.93	659.05	25.95
PROMEDIO	605.18	651.82	25.33

Los resultados obtenidos en el ensayo son superiores a los solicitados por la Norma AWS D1.5, por lo tanto, se aprueba.

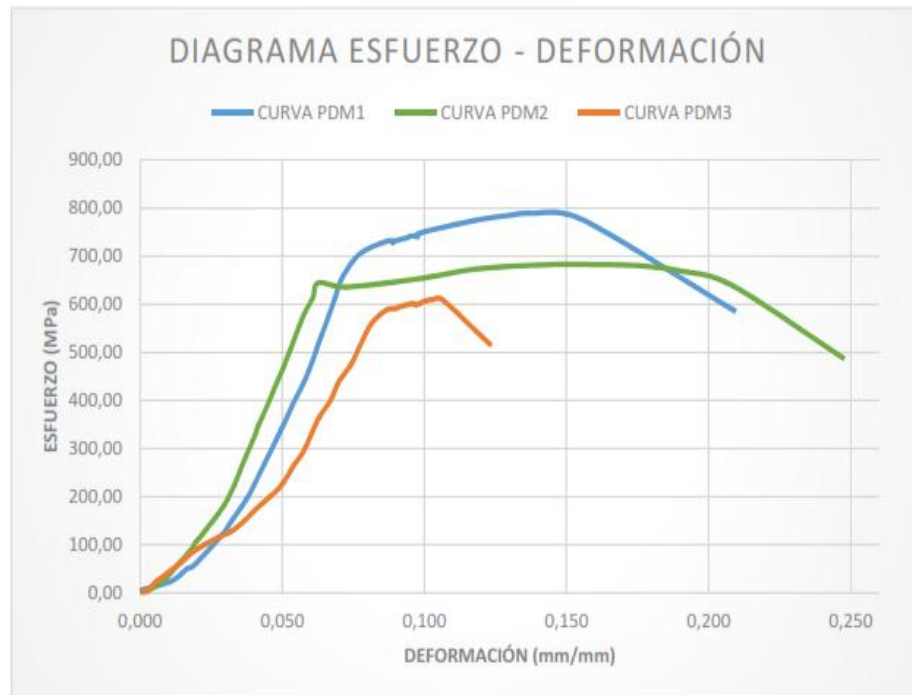
Autor: Ing. Oscar Analuza

4.2.9 ENSAYO DE TRACCIÓN DE LAS PROBETAS CON LA COMBINACIÓN 50% E71T1 - 50% E81T1Ni2 Y 80%ARGÓN-20%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Código: ET-PDM-08					
ENSAYO DE TRACCIÓN					
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>					
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.		
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	11 de junio del 2016		
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PDM1, PDM2, PDM3		
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>					
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 50% E71T1 50 % E81T1Ni2		
Diámetro (mm):	12.5	Peso (Kg):	0.187		
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	80 % Ar - 20 % CO2		
<i>GRÁFICO REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN</i>					
					
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>					
Código Aplicado:	AWS 1.5 - 2010	Equipo:	Máquina Universal CONTROLS - C78Z00		
Código de Referencia:	ASTM A 370-97 (Anexo E-1) ASTM E8M-00 (Anexo E-2)	Método:	Deformación Controlada		
<i>OBSERVACIÓN</i>					
<ul style="list-style-type: none"> • La probeta se obtiene de una junta a tope con ranura en V con 10 pases, de los cuales 5 pases con alambre E71T1 y 5 pases con alambre E81T1Ni2 protegido con mezcla de gases. • Maquinado en Torno. 					

EVALUACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

RESULTADOS



CÁLCULOS

Cálculo del porcentaje de alargamiento (ϵ):

$$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 \quad \epsilon_{P_1} = 20.96 \quad \epsilon_{P_2} = 24.78 \quad \epsilon_{P_3} = 12.36$$

Askeland D. (2002). Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Tercera Edición (pág. 131)

Cálculo de la resistencia última a la tracción (S_{ut}):

$$S_{ut} = \frac{F_m}{A_0} \quad S_{P_1} = 789.12 \text{ MPa} \quad S_{P_2} = 683.22 \text{ MPa} \quad S_{P_3} = 587.43 \text{ MPa}$$

Shigley (2008). Diseño de Ingeniería Mecánica, Octava Edición (pág. 28)

Cálculo del límite de fluencia (S_y):

$$S_{\epsilon=0.2\%} \quad S_{P_1} = 719.43 \text{ MPa} \quad S_{P_2} = 639.44 \text{ MPa} \quad S_{P_3} = 587.43 \text{ MPa}$$

Shigley (2008). Diseño de Ingeniería Mecánica, Octava Edición (pág. 29)

VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN

	Sy (MPa)	Sut (MPa)	% Elongación
NORMA ASTM A588 GRADO A	345	450	22
PDM1	719.43	789.12	20.96
PDM2	639.44	683.22	24.78
PDM3	587.43	714.72	12.36
PROMEDIO	648.77	729.02	19.37

Los resultados obtenidos en los ensayos nos indica que el % de elongación de las probetas PDM1 y PDM3 no cumple con lo solicitado por la Norma AWS D1.5, por lo tanto, estas probetas no se aprueban.

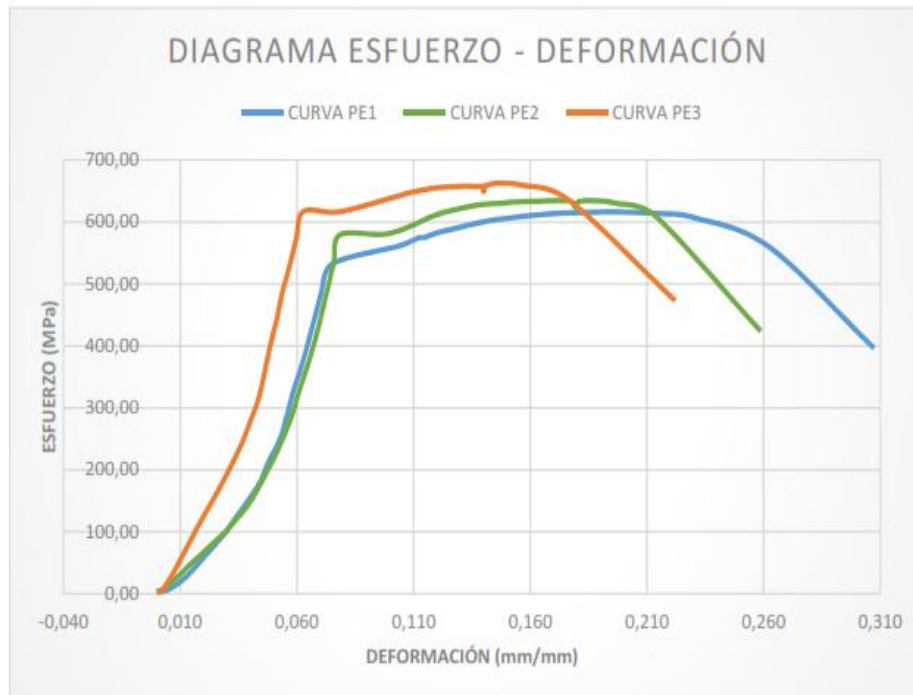
Autor: Ing. Oscar Analuiza

4.2.10 ENSAYO DE TRACCIÓN DE LAS PROBETAS CON LA COMBINACIÓN 80% E71T1 - 20% E81T1Ni2 Y 100%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Código: ET-PE-09					
ENSAYO DE TRACCIÓN					
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>					
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.		
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	11 de junio del 2016		
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PE1, PE2, PE3		
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>					
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 80% E71T1 20 % E81T1Ni2		
Díámetro (mm):	12.5	Peso (Kg):	0.187		
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	100 % CO2		
<i>GRÁFICO REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN</i>					
					
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>					
Código Aplicado:	AWS 1.5 - 2010	Equipo:	Máquina Universal CONTROLS - C78Z00		
Código de Referencia:	ASTM A 370-97(Anexo E-1) ASTM E8M-00 (Anexo E-2)	Método:	Deformación Controlada		
<i>OBSERVACIÓN</i>					
<ul style="list-style-type: none"> • La probeta se obtiene de una junta a tope con ranura en V con 10 pases, de los cuales 8 pases con alambre E71T1 y 2 pases con alambre E81T1Ni2 con CO2 como gas de protección. • Maquinado en Torno. 					

EVALUACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

RESULTADOS



CÁLCULOS

Cálculo del porcentaje de alargamiento (ϵ):

$$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 \quad \epsilon_{P1} = 30.73 \quad \epsilon_{P2} = 25.87 \quad \epsilon_{P3} = 22.21$$

Askeland D. (2002). Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Tercera Edición (pág. 131)

Cálculo de la resistencia última a la tracción (S_{ut}):

$$S_{ut} = \frac{F_m}{A_0} \quad S_{P1} = 616.32 \text{ MPa} \quad S_{P2} = 634.56 \text{ MPa} \quad S_{P3} = 662.51 \text{ MPa}$$

Shigley (2008). Diseño de Ingeniería Mecánica, Octava Edición (pág. 28)

Cálculo del límite de fluencia (S_y):

$$S_{\epsilon=0.2\%} \quad S_{P1} = 544.59 \text{ MPa} \quad S_{P2} = 581.75 \text{ MPa} \quad S_{P3} = 615.29 \text{ MPa}$$

Shigley (2008). Diseño de Ingeniería Mecánica, Octava Edición (pág. 29)


VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN

	Sy (MPa)	Sut (MPa)	% Elongación
NORMA ASTM A588 GRADO A	345	450	22
PE1	544.59	616.32	30.73
PE2	581.75	634.56	25.87
PE3	615.29	662.51	22.21
PROMEDIO	580.54	637.80	26.27

Los resultados obtenidos en el ensayo son superiores a los solicitados por la Norma AWS D1.5, por lo tanto, se aprueba.

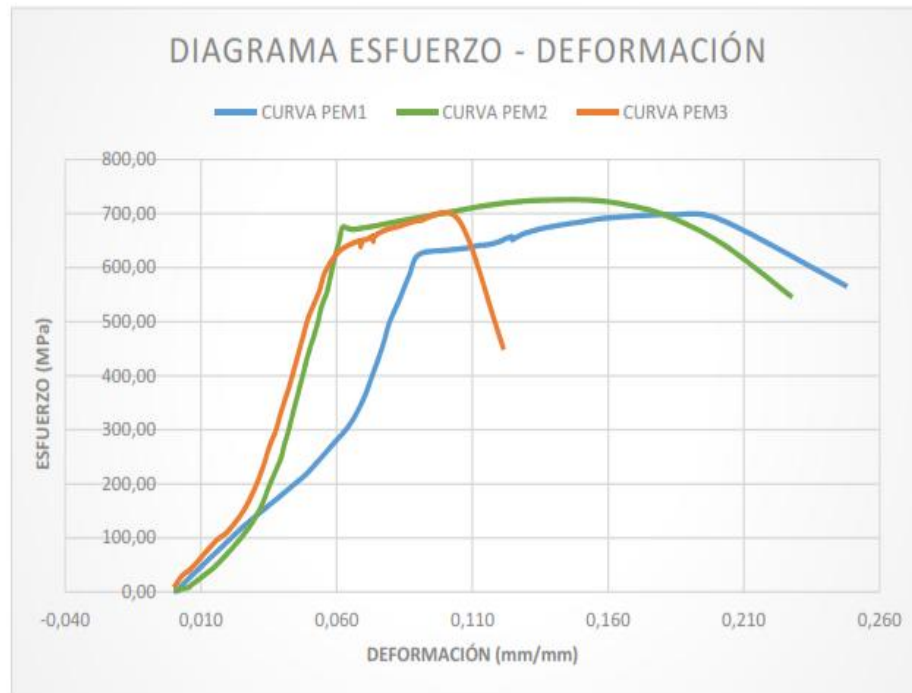
Autor: Ing. Oscar Anluiza

4.2.11 ENSAYO DE TRACCIÓN DE LAS PROBETAS CON LA COMBINACIÓN 80% E71T1 - 20% E81T1Ni2 Y 80%ARGÓN-20%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
		Código: ET-PEM-10	
ENSAYO DE TRACCIÓN			
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>			
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	11 de junio del 2016
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PEM1, PEM2, PEM3
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>			
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 80% E71T1 20 % E81T1Ni2
Díámetro (mm):	12.5	Peso (Kg):	0.187
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	80 % Ar - 20 % CO2
<i>GRÁFICO REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN</i>			
			
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>			
Código Aplicado:	AWS 1.5 - 2010	Equipo:	Máquina Universal CONTROLS - C78Z00
Código de Referencia:	ASTM A 370-97(Anexo E-1) ASTM E8M-00 (Anexo E-2)	Método:	Deformación Controlada
<i>OBSERVACIÓN</i>			
<ul style="list-style-type: none"> • La probeta se obtiene de una junta a tope con ranura en V con 10 pases, de los cuales 8 pases con alambre E71T1 y 2 pases con alambre E81TINi2 protegido con mezcla de gases. • Maquinado en Torno. 			

EVALUACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

RESULTADOS



CÁLCULOS

Cálculo del porcentaje de alargamiento (ϵ):

$$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 \quad \epsilon_{P1} = 24.81 \quad \epsilon_{P2} = 22.78 \quad \epsilon_{P3} = 12.16$$

Askeland D. (2002). Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Tercera Edición (pág. 131)

Cálculo de la resistencia última a la tracción (S_{ut}):

$$S_{ut} = \frac{F_m}{A_p} \quad S_{P1} = 697.86 \text{ MPa} \quad S_{P2} = 725.21 \text{ MPa} \quad S_{P3} = 687.04 \text{ MPa}$$

Shigley (2008). Diseño de Ingeniería Mecánica, Octava Edición (pág. 28)

Cálculo del límite de fluencia (S_y):

$$S_{\epsilon=0.2\%} \quad S_{P1} = 632.73 \text{ MPa} \quad S_{P2} = 674.76 \text{ MPa} \quad S_{P3} = 639.44 \text{ MPa}$$

Shigley (2008). Diseño de Ingeniería Mecánica, Octava Edición (pág. 29)



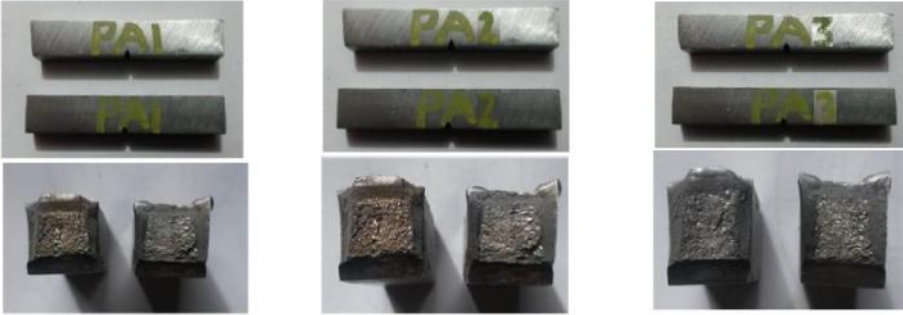
VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN

	Sy (MPa)	Sut (MPa)	% Elongación
NORMA ASTM A588 GRADO A	345	450	22
PEM1	632.73	697.86	24.81
PEM2	674.76	725.21	22.78
PEM3	639.44	687.04	12.16
PROMEDIO	648.98	703.37	19.92



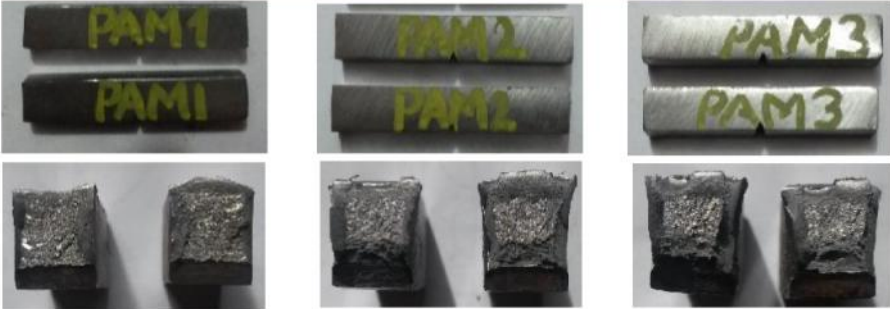
Los resultados obtenidos en los ensayos nos indica que el % de elongación de la probeta PEM3 no cumple con lo solicitado por la Norma AWS D1.5, por lo tanto, esta probeta no se aprueba.

Autor: Ing. Oscar Analuiza



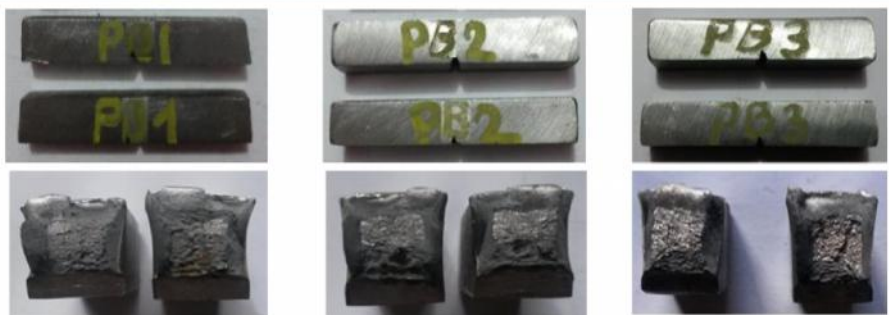
4.2.12 ENSAYO DE IMPACTO DE LAS PROBETAS CON ALAMBRE TUBULAR E71T1 Y 100% CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
				Código: EI-PA-01		
ENSAYO DE IMPACTO						
DATOS INFORMATIVOS						
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.			
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	29 de junio del 2016			
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PA1, PA2, PA3			
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN						
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 100 % E71T1			
Dimensiones (mm):	10x10x55	Entalla:	Tipo en V			
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	100% CO2			
PARÁMETROS DEL ENSAYO						
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 ASTM A 370-97(Anexo E-1) ASTM E23-00 (Anexo E-3)	Equipo:	Máquina de Ensayo Charpy			
GRÁFICO REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN						
						
REGISTRO DE RESULTADOS						
# Probeta	Ubicación de Entalla	Temperatura (°C)	Energía Absorbida (J)	% Fractura Dúctil	Acepta	Rechaza
PA1-1	Cordón	-20.5	68	66	X	
PA1-2	Cordón	-21.0	65	59	X	
PA2-1	Cordón	-20.0	108	43	X	
PA2-2	Cordón	-20.0	117	47	X	
PA3-1	Cordón	-20.0	76	66	X	
PA3-2	Cordón	-20.0	79	69	X	
Promedio		-20.2	85.5	58.33		
VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN						
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas ensayadas tienen un promedio de energía absorbida de 85.5 J, por lo tanto, cumplen con lo solicitado por la norma AWS D 1.5 de 27 J@-20°C. En las probetas ensayadas se obtiene un promedio de 58.33 del % de cizallamiento. 						
<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>						




4.2.13 ENSAYO DE IMPACTO DE LAS PROBETAS CON ALAMBRE TUBULAR E71T1 Y 80%ARGÓN-20%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
				Código: EI-PAM-02		
ENSAYO DE IMPACTO						
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>						
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.			
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	29 de junio del 2016			
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PAM1, PAM2, PAM3			
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>						
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 100 % E71T1			
Dimensiones (mm):	10x10x55	Entalla:	Tipo en V			
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	80 % Ar - 20 % CO2			
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>						
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 ASTM A 370-97(Anexo E-1) ASTM E23-00 (Anexo E-3)	Equipo:	Máquina de Ensayo Charpy			
<i>GRÁFICO REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN</i>						
						
<i>REGISTRO DE RESULTADOS</i>						
# Probeta	Ubicación de Entalla	Temperatura (°C)	Energía Absorbida (J)	% Fractura Dúctil	Acepta	Rechaza
PAM1-1	Cordón	-21.2	51	62	X	
PAM1-2	Cordón	-20.0	54	43	X	
PAM2-1	Cordón	-19.0	56	59	X	
PAM2-2	Cordón	-19.0	56	56	X	
PAM3-1	Cordón	-22.0	36	39	X	
PAM3-2	Cordón	-20.0	61	70	X	
Promedio		-20.2	52.33	54.83		
<i>VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN</i>						
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas ensayadas tienen un promedio de energía absorbida de 52.33 J, por lo tanto, cumplen con lo solicitado por la norma AWS D 1.5 de 27 J@-20°C. En las probetas ensayadas se obtiene un promedio de 54.83 del % de cizallamiento. 						
<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>						



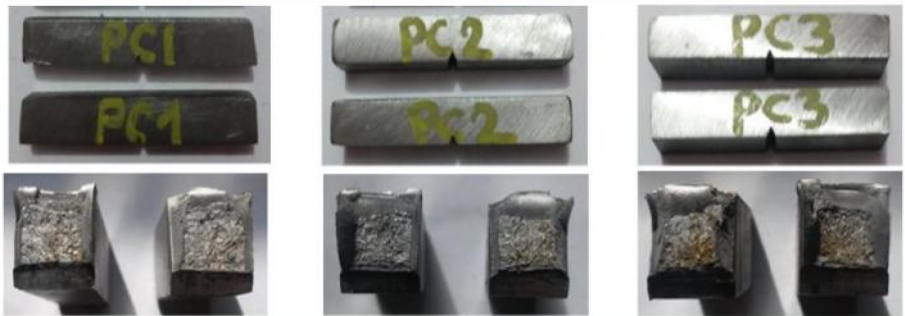
4.2.14 ENSAYO DE IMPACTO DE LAS PROBETAS CON ALAMBRE TUBULAR E81T1Ni2 Y 100% CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		 Código: EI-PB-03		
ENSAYO DE IMPACTO						
DATOS INFORMATIVOS						
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.			
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	29 de junio del 2016			
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	Nº Probeta	PB1, PB2, PB3			
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN						
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 100 % E81T1Ni2			
Dimensiones (mm):	10x10x55	Entalla:	Tipo en V			
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	100 % CO2			
PARÁMETROS DEL ENSAYO						
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 ASTM A 370-97 (Anexo E-1) ASTM E23-00 (Anexo E-3)	Equipo:	Máquina de Ensayo Charpy			
GRÁFICO REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN						
						
REGISTRO DE RESULTADOS						
# Probeta	Ubicación de Entalla	Temperatura (°C)	Energía Absorbida (J)	% Fractura Dúctil	Acepta	Rechaza
PB1-1	Cordón	-20.8	81	75	X	
PB1-2	Cordón	-20.9	65	62	X	
PB2-1	Cordón	-20.5	124.54	44	X	
PB2-2	Cordón	-20.8	118.66	39	X	
PB3-1	Cordón	-19.9	131.41	47	X	
PB3-2	Cordón	-20.7	128.47	43	X	
Promedio		-20.6	108.18	51.67		
VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN						
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas ensayadas tienen un promedio de energía absorbida de 108.18 J, por lo tanto, cumplen con lo solicitado por la norma AWS D 1.5 de 27 J@-20°C. En las probetas ensayadas se obtiene un promedio de 51.67 del % de cizallamiento. 						
<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>						



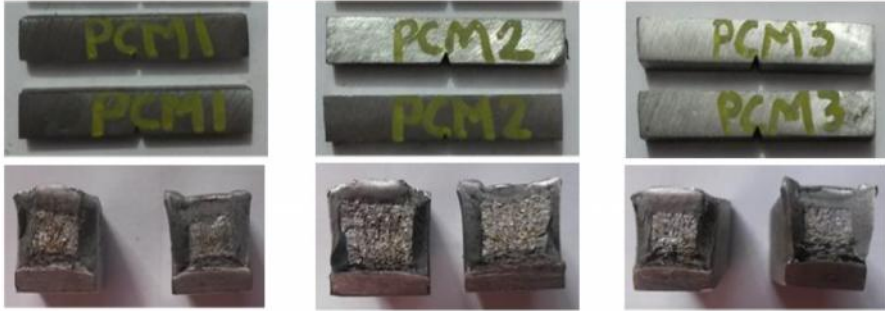
4.2.15 ENSAYO DE IMPACTO DE LAS PROBETAS CON ALAMBRE TUBULAR E81T1Ni2 Y 80%ARGÓN-20%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
						Código: EI-PBM-04
ENSAYO DE IMPACTO						
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>						
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.			
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	29 de junio del 2016			
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PBM1, PBM2, PBM3			
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>						
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 100 % E81T1Ni2			
Dimensiones (mm):	10x10x55	Entalla:	Tipo en V			
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	80 % Ar - 20 % CO2			
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>						
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 ASTM A 370-97(Anexo E-1) ASTM E23-00 (Anexo E-3)	Equipo:	Máquina de Ensayo Charpy			
<i>GRÁFICO REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN</i>						
						
<i>VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN</i>						
# Probeta	Ubicación de Entalla	Temperatura (°C)	Energía Absorbida (J)	% Fractura Dúctil	Acepta	Rechaza
PBM1-1	Cordón	-20.0	58.30	59	X	
PBM1-2	Cordón	-20.0	41.60	66	X	
PBM2-1	Cordón	-22.0	65	62	X	
PBM2-2	Cordón	-21.5	71	72	X	
PBM3-1	Cordón	-21.3	63	77	X	
PBM3-2	Cordón	-20.5	62	66	X	
Promedio		-20.8	60.15	67		
<i>INTERPRETACIÓN</i>						
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas ensayadas tienen un promedio de energía absorbida de 60.15 J, por lo tanto, cumplen con lo solicitado por la norma AWS D 1.5 de 27 J@-20°C. En las probetas ensayadas se obtiene un promedio de 67 del % de cizallamiento. 						
<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>						



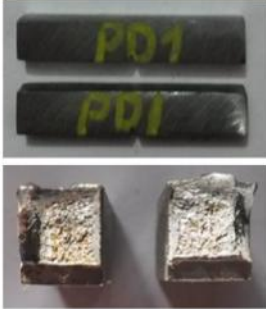


4.2.16 ENSAYO DE IMPACTO DE LAS PROBETAS CON LA COMBINACIÓN 40% E71T1 - 60% E81T1Ni2 Y 100%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	 Código: EI-PC-05				
ENSAYO DE IMPACTO						
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>						
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.			
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	29 de junio del 2016			
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PC1, PC2, PC3			
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>						
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 40% E71T1-60 % E81T1Ni2			
Dimensiones (mm):	10x10x55	Entalla:	Tipo en V			
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	100 % CO2			
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>						
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 ASTM A 370-97(Anexo E-1) ASTM E23-00 (Anexo E-3)	Equipo:	Máquina de Ensayo Charpy			
<i>GRÁFICO REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN</i>						
						
<i>REGISTRO DE RESULTADOS</i>						
# Probeta	Ubicación de Entalla	Temperatura (°C)	Energía Absorbida (J)	% Fractura Dúctil	Acepta	Rechaza
PC1-1	Cordón	-21.0	49	44	X	
PC1-2	Cordón	-20.2	61	55	X	
PC2-1	Cordón	-21.0	51	54	X	
PC2-2	Cordón	-22.0	59	55	X	
PC3-1	Cordón	-22.0	56	66	X	
PC3-2	Cordón	-20.2	52	47	X	
Promedio		-21.1	54.67	53.5		
<i>VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN</i>						
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas ensayadas tienen un promedio de energía absorbida de 54.67 J, por lo tanto, cumplen con lo solicitado por la norma AWS D 1.5 de 27 J@-20°C. En las probetas ensayadas se obtiene un promedio de 53.5 del % de cizallamiento. 						
<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>						



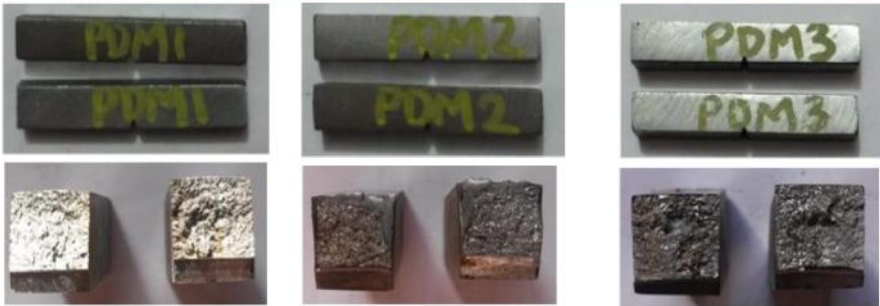
4.2.17 ENSAYO DE IMPACTO DE LAS PROBETAS CON LA COMBINACIÓN 40% E71T1 - 60% E81T1Ni2 Y 80%ARGÓN-20%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	 Código: EI-PCM-06				
ENSAYO DE IMPACTO						
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>						
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.			
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	29 de junio del 2016			
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	Nº Probeta	PCM1, PCM2, PCM3			
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>						
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 40% E71T1-60 % E81T1Ni2			
Dimensiones (mm):	10x10x55	Entalla:	Tipo en V			
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	80 % Ar - 20 % CO2			
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>						
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 ASTM A 370-97(Anexo E-1) ASTM E23-00 (Anexo E-3)	Equipo:	Máquina de Ensayo Charpy			
<i>GRÁFICO REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN</i>						
						
<i>REGISTRO DE RESULTADOS</i>						
# Probeta	Ubicación de Entalla	Temperatura (°C)	Energía Absorbida (J)	% Fractura Dúctil	Acepta	Rechaza
PCM1-1	Cordón	-20.8	47	47	X	
PCM1-2	Cordón	-22.0	31	66	X	
PCM2-1	Cordón	-19.5	59	47	X	
PCM2-2	Cordón	-21.2	48	48	X	
PCM3-1	Cordón	-20.2	78	72	X	
PCM3-2	Cordón	-22.0	51	75	X	
Promedio		-20.9	52.33	59.17		
<i>VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN</i>						
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas ensayadas tienen un promedio de energía absorbida de 52.33 J, por lo tanto, cumplen con lo solicitado por la norma AWS D 1.5 de 27 J@-20°C. En las probetas ensayadas se obtiene un promedio de 59.17 del % de cizallamiento. 						
<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>						



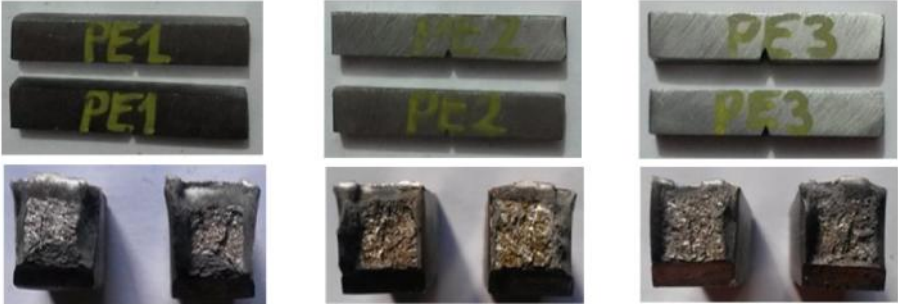
4.2.18 ENSAYO DE IMPACTO DE LAS PROBETAS CON LA COMBINACIÓN 50% E71T1 - 50% E81T1Ni2 Y 100%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	 Código: EI-PD-07				
ENSAYO DE IMPACTO						
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>						
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.			
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	29 de junio del 2016			
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PD1, PD2, PD3			
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>						
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 50% E71T1-50 % E81T1Ni2			
Dimensiones (mm):	10x10x55	Entalla:	Tipo en V			
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	100 % CO2			
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>						
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 ASTM A 370-97(Anexo E-1) ASTM E23-00 (Anexo E-3)	Equipo:	Máquina de Ensayo Charpy			
<i>GRÁFICO REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN</i>						
						
<i>REGISTRO DE RESULTADOS</i>						
# Probeta	Ubicación de Entalla	Temperatura (°C)	Energía Absorbida (J)	% Fractura Dúctil	Acepta	Rechaza
PD1-1	Cordón	-20.0	51	59	X	
PD1-2	Cordón	-20.6	52	43	X	
PD2-1	Cordón	-22.0	27	34	X	
PD2-2	Cordón	-20.8	46	59	X	
PD3-1	Cordón	-19.8	63	75	X	
PD3-2	Cordón	-21.0	32	77	X	
Promedio		-20.7	45.17	57.83		
<i>VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN</i>						
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas ensayadas tienen un promedio de energía absorbida de 45.17 J, por lo tanto, cumplen con lo solicitado por la norma AWS D 1.5 de 27 J@-20°C. En las probetas ensayadas se obtiene un promedio de 57.83 del % de cizallamiento. 						
						<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>



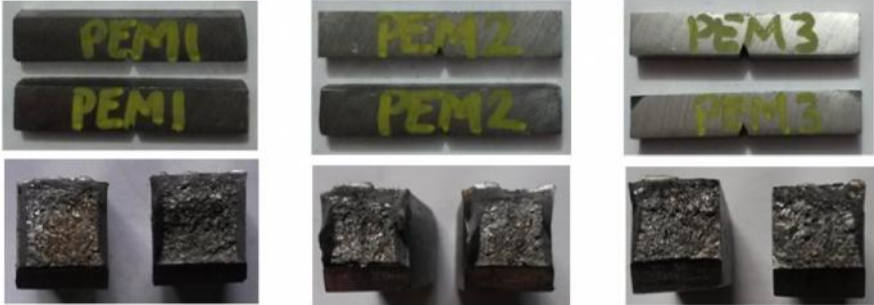
4.2.19 ENSAYO DE IMPACTO DE LAS PROBETAS CON LA COMBINACIÓN 50% E71T1 - 50% E81T1Ni2 Y 80%ARGÓN-20%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	 Código: EI-PDM-08				
ENSAYO DE IMPACTO						
DATOS INFORMATIVOS						
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.			
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	29 de junio del 2016			
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PDM1, PDM2, PDM3			
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN						
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 50% E71T1-50 % E81T1Ni2			
Dimensiones (mm):	10x10x55	Entalla:	Tipo en V			
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	80 % Ar - 20 % CO2			
PARÁMETROS DEL ENSAYO						
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 ASTM A 370-97(Anexo E-1) ASTM E23-00 (Anexo E-3)	Equipo:	Máquina de Ensayo Charpy			
GRÁFICO REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN						
						
REGISTRO DE RESULTADOS						
# Probeta	Ubicación de Entalla	Temperatura (°C)	Energía Absorbida (J)	% Fractura Dúctil	Acepta	Rechaza
PDM1-1	Cordón	-20.5	25	0		X
PDM1-2	Cordón	-19.5	21	0		X
PDM2-1	Cordón	-19.4	37	36	X	
PDM2-2	Cordón	-19.7	39	30	X	
PDM3-1	Cordón	-20.8	23	0		X
PDM3-2	Cordón	-20.2	31	0	X	
Promedio		-20.0	29.33	11		
VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN						
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas PCM1-1, PCM1-2 Y PCM3-1 se rechazan y el promedio de energía absorbida es de 29.33 J, por lo tanto, cumplen con lo solicitado por la norma AWS D 1.5 de 27 J@-20°C. En las probetas ensayadas se obtiene un promedio de 11 del % de cizallamiento. 						
<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>						






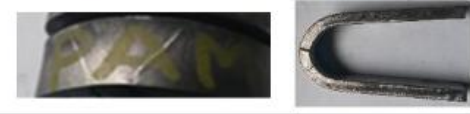


4.2.20 ENSAYO DE IMPACTO DE LAS PROBETAS CON LA COMBINACIÓN 80% E71T1 - 20% E81T1Ni2 Y 100%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			Código: EI-PE-09		
				ENSAYO DE IMPACTO		
DATOS INFORMATIVOS						
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.			
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	29 de junio del 2016			
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PE1, PE2, PE3			
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN						
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 80% E71T1-20 % E81T1Ni2			
Dimensiones (mm):	10x10x55	Entalla:	Tipo en V			
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	100 % CO2			
PARÁMETROS DEL ENSAYO						
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 ASTM A 370-97(Anexo E-1) ASTM E23-00 (Anexo E-3)	Equipo:	Máquina de Ensayo Charpy			
GRÁFICO REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN						
						
REGISTRO DE RESULTADOS						
# Probeta	Ubicación de Entalla	Temperatura (°C)	Energía Absorbida (J)	% Fractura Dúctil	Acepta	Rechaza
PE1-1	Cordón	-20.5	52	52	X	
PE1-2	Cordón	-19.7	53	47	X	
PE2-1	Cordón	-21.3	43	52	X	
PE2-2	Cordón	-21.5	63	59	X	
PE3-1	Cordón	-20.3	42	47	X	
PE3-2	Cordón	-20.8	61	55	X	
Promedio		-20.7	52.33	52		
VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN						
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas ensayadas tienen un promedio de energía absorbida de 52.33 J, por lo tanto, cumplen con lo solicitado por la norma AWS D 1.5 de 27 J@-20°C. En las probetas ensayadas se obtiene un promedio de 52.0 del % de cizallamiento. 						
<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>						














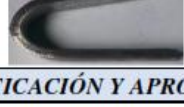
4.2.21 ENSAYO DE IMPACTO DE LAS PROBETAS CON LA COMBINACIÓN 80% E71T1 - 20% E81T1Ni2 Y 80%ARGÓN-20%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	 Código: EI-PEM-10				
ENSAYO DE IMPACTO						
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>						
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.			
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	29 de junio del 2016			
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	Nº Probeta	PEM1, PEM2, PEM3			
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>						
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 80% E71T1-20 % E81T1Ni2			
Dimensiones (mm):	10x10x55	Entalla:	Tipo en V			
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	80 % Ar - 20 % CO2			
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>						
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 ASTM A 370-97(Anexo E-1) ASTM E23-00 (Anexo E-3)	Equipo:	Máquina de Ensayo Charpy			
<i>GRÁFICO REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN</i>						
						
<i>REGISTRO DE RESULTADOS</i>						
# Probeta	Ubicación de Entalla	Temperatura (°C)	Energía Absorbida (J)	% Fractura Dúctil	Acepta	Rechaza
PEM1-1	Cordón	-20.1	29	35	X	
PEM1-2	Cordón	-20.2	27	30	X	
PEM2-1	Cordón	-20.5	39	47	X	
PEM2-2	Cordón	-19.9	42	56	X	
PEM3-1	Cordón	-20.0	31	40	X	
PEM3-2	Cordón	-19.4	51	42	X	
Promedio		-20.1	36.33	41.67		
<i>VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN</i>						
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas ensayadas tienen un promedio de energía absorbida de 36.33 J, por lo tanto, cumplen con lo solicitado por la norma AWS D 1.5 de 27 J@-20°C. En las probetas ensayadas se obtiene un promedio de 41.67 del % de cizallamiento. 						
<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>						









4.2.22 ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO DE LAS PROBETAS CON ALAMBRE TUBULAR E71T1 Y 100% CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	 Código: EDG-PA-01	
ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO			
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>			
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	13 de junio del 2016
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PA1, PA2, PA3
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>			
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 100% E71T1
Dimensiones (mm):	250x10x20	Junta:	A tope en V
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	100 % CO2
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>			
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 (Véase 5.19.2)	Equipo:	Máquina de Doblado Guiado Lateral
<i>REGISTRO DE RESULTADOS</i>			
# Probeta	Imagen	Observación	Calificación
PA1-1		No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PA1-2		No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PA2-1		No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PA2-2		No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PA3-1		No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PA3-2		No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
<i>VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN</i>			
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas ensayadas no presentan discontinuidades, por lo tanto, cumplen con lo requerido por la norma AWS D 1.5. 			
			<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>



4.2.23 ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO DE LAS PROBETAS CON ALAMBRE TUBULAR E71T1 Y 80% ARGÓN-20% CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	 Código: EDG-PAM-02		
ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO				
DATOS INFORMATIVOS				
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.	
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	13 de junio del 2016	
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PAM1, PAM2, PAM3	
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN				
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 100% E71T1	
Dimensiones (mm):	250x10x20	Junta:	A tope en V	
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	80 % Ar - 20 % CO2	
PARÁMETROS DEL ENSAYO				
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 (Véase 5.19.2)	Equipo:	Máquina de Doblado Guiado Lateral	
REGISTRO DE RESULTADOS				
# Probeta	Imagen		Observación	Calificación
PAM1-1	 	Se observa 7.8 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Rechaza	
PAM1-2	 	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	
PAM2-1	 	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	
PAM2-2	 	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	
PAM3-1	 	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	
PAM3-2	 	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	
VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN				
<ul style="list-style-type: none"> La probeta PAM1-1 presenta 7.8 mm de discontinuidad por lo tanto se rechaza y las demás probetas ensayadas no presentan discontinuidades, por lo tanto, cumplen con lo requerido por la norma AWS D 1.5. 				
<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>				













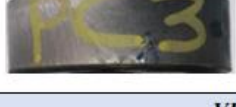

4.2.24 ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO DE LAS PROBETAS CON ALAMBRE TUBULAR E81T1Ni2 Y 100% CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	 Código: EDG-PB-03	
ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO			
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>			
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	13 de junio del 2016
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PB1, PB2, PB3
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>			
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 100% E81T1Ni2
Dimensiones (mm):	250x10x20	Junta:	A tope en V
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	100 % CO2
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>			
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 (Véase 5.19.2)	Equipo:	Máquina de Doblado Guiado Lateral
<i>REGISTRO DE RESULTADOS</i>			
# Probeta	Imagen	Observación	Calificación
PB1-1		No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PB1-2		No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PB2-1		No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PB2-2		No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PB3-1		No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PB3-2		No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
<i>VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN</i>			
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas ensayadas no presentan discontinuidades, por lo tanto, cumplen con lo requerido por la norma AWS D 1.5. 			
			<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>






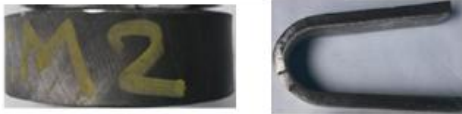


4.2.25 ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO DE LAS PROBETAS CON ALAMBRE TUBULAR E81T1Ni2 Y 80%ARGÓN-20%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
		Código: EDG-PBM-04	
ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO			
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>			
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	13 de junio del 2016
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	Nº Probeta	PBM1, PBM2, PBM3
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>			
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 100% E81T1Ni2
Dimensiones (mm):	250x10x20	Junta:	A tope en V
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	80 % Ar - 20 % CO2
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>			
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 (Véase 5.19.2)	Equipo:	Máquina de Doblado Guiado Lateral
<i>REGISTRO DE RESULTADOS</i>			
# Probeta	Imagen	Observación	Calificación
PBM1-1		No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PBM1-2		No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PBM2-1		Se observa 2.2 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PBM2-2		No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PBM3-1		Se observa 1.4 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PBM3-2		Se observa 1.8 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
<i>VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN</i>			
<ul style="list-style-type: none"> Las discontinuidades de las probetas PBM2-1, PBM3-1 Y PBM3-2 es 2.2, 1.4, 1.8 mm respectivamente y son inferiores a 3 mm requerido por la norma AWS D 1.5, por lo tanto, se aprueban todas las probetas. 			
			<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>















4.2.26 ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO DE LAS PROBETAS CON LA COMBINACIÓN 40% E71T1 - 60% E81T1Ni2 Y 100%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO					
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>					
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.		
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	13 de junio del 2016		
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PC1, PC2, PC3		
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>					
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 40% E71T1-60% E81T1Ni2		
Dimensiones (mm):	250x10x20	Junta:	A tope en V		
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	100 % CO2		
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>					
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 (Véase 5.19.2)	Equipo:	Máquina de Doblado Guiado Lateral		
<i>REGISTRO DE RESULTADOS</i>					
# Probeta	Imagen		Observación	Calificación	
PC1-1			No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	
PC1-2			Se observa 2.2 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	
PC2-1			No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	
PC2-2			No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	
PC3-1			No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	
PC3-2			Se observa 1.7 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	
<i>VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN</i>					
<ul style="list-style-type: none"> Las discontinuidades de las probetas PC1-2 y PC3-2 es 2.2, 1.7 mm respectivamente y son inferiores a 3 mm requerido por la norma AWS D 1.5, por lo tanto, se aprueban todas las probetas. 					
<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>					















4.2.27 ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO DE LAS PROBETAS CON LA COMBINACIÓN 40% E71T1 - 60% E81T1Ni2 Y 80%ARGÓN-20%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
		Código: EDG-PCM-06	
ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO			
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>			
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	14 de junio del 2016
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PCM1, PCM2, PCM3
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>			
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 40% E71T1-60% E81T1Ni2
Dimensiones (mm):	250x10x20	Junta:	A tope en V
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	80 % Ar - 20 % CO2
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>			
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 (Véase 5.19.2)	Equipo:	Máquina de Doblado Guiado Lateral
<i>REGISTRO DE RESULTADOS</i>			
# Probeta	Imagen	Observación	Calificación
PCM1-1		No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PCM1-2		Se observa 2.5 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PCM2-1		No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PCM2-2		No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PCM3-1		No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PCM3-2		No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
<i>VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN</i>			
<ul style="list-style-type: none"> Las discontinuidades de las probetas PCM1-2 es 2.5 mm y es inferior a 3 mm requerido por la norma AWS D 1.5, por lo tanto, se aprueban todas las probetas. 			
			<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>















4.2.28 ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO DE LAS PROBETAS CON LA COMBINACIÓN 50% E71T1 - 50% E81T1Ni2 Y 100%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO					
DATOS INFORMATIVOS					
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.		
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	14 de junio del 2016		
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PD1, PD2, PD3		
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN					
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 50% E71T1-50% E81T1Ni2		
Dimensiones (mm):	250x10x20	Junta:	A tope en V		
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	100 % CO2		
PARÁMETROS DEL ENSAYO					
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 (Véase 5.19.2)	Equipo:	Máquina de Doblado Guiado Lateral		
REGISTRO DE RESULTADOS					
# Probeta	Imagen		Observación	Calificación	
PD1-1			No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	
PD1-2			No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	
PD2-1			No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	
PD2-2			No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	
PD3-1			No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	
PD3-2			No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	
VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN					
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas ensayadas no presentan discontinuidades, por lo tanto, cumplen con lo requerido por la norma AWS D 1.5. 					
<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>					






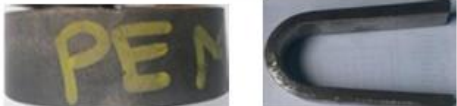


4.2.29 ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO DE LAS PROBETAS CON LA COMBINACIÓN 50% E71T1 - 50% E81T1Ni2 Y 80%ARGÓN-20%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	 Código: EDG-PDM-08		
ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO				
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>				
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.	
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	14 de junio del 2016	
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PDM1, PDM2, PDM3	
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>				
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 50% E71T1-50% E81T1Ni2	
Dimensiones (mm):	250x10x20	Junta:	A tope en V	
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	80 % Ar - 20 % CO2	
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>				
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 (Véase 5.19.2)	Equipo:	Máquina de Doblado Guiado Lateral	
<i>REGISTRO DE RESULTADOS</i>				
# Probeta	Imagen		Observación	Calificación
PDM1-1			Se observa 2.5 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PDM1-2			Se observa 4 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Rechaza
PDM2-1			Se observa 3.2 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Rechaza
PDM2-2			Se observa 2.1, 0.7, 1.7 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PDM3-1			Se observa 1.5 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PDM3-2			Se observa 0.8,1, 2.9 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
<i>VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN</i>				
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas PCMI-2 y PDM2-1 de rechaza en vista que las discontinuidades son mayores a 3 mm requerido por la norma AWS D 1.5, por lo tanto, se aprueban 4 probetas. 				
<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>				



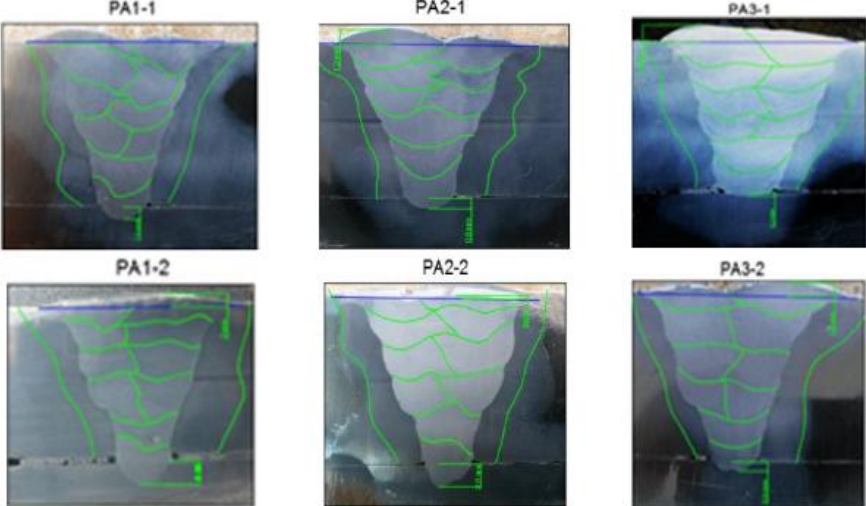
4.2.30 ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO DE LAS PROBETAS CON LA COMBINACIÓN 80% E71T1 - 20% E81T1Ni2 Y 100%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO					
DATOS INFORMATIVOS					
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.		
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	14 de junio del 2016		
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PE1, PE2, PE3		
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN					
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 80% E71T1-20% E81T1Ni2		
Dimensiones (mm):	250x10x20	Junta:	A tope en V		
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	100 % CO2		
PARÁMETROS DEL ENSAYO					
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 (Véase 5.19.2)	Equipo:	Máquina de Doblado Guiado Lateral		
REGISTRO DE RESULTADOS					
# Probeta	Imagen		Observación	Calificación	
PE1-1			No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	
PE1-2			No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	
PE2-1			No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	
PE2-2			Se observa 1.2 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	
PE3-1			No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	
PE3-2			No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	
VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN					
<ul style="list-style-type: none"> La probeta PD2-2 presenta una discontinuidad de 1.2 mm, que es inferior a 3 mm, por lo tanto, cumplen con lo requerido por la norma AWS D 1.5. 					
<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>					



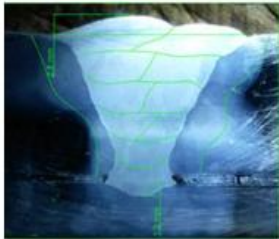
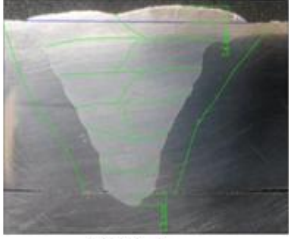
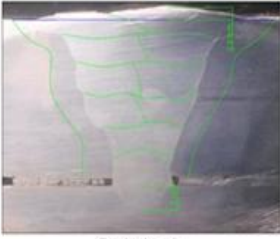
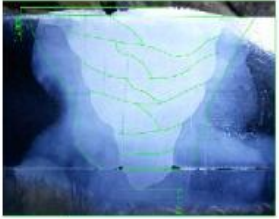
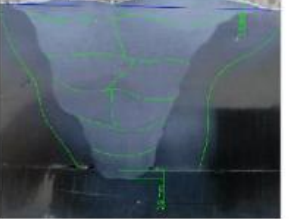
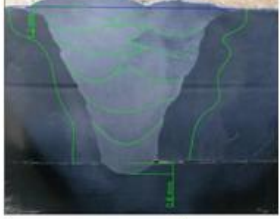
4.2.31 ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO DE LAS PROBETAS CON LA COMBINACIÓN 80% E71T1 - 20% E81T1Ni2 Y 80%ARGÓN-20%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
		Código: EDG-PEM-10	
ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO			
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>			
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	14 de junio del 2016
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PEM1, PEM2, PEM3
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>			
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 80% E71T1-20% E81T1Ni2
Dimensiones (mm):	250x10x20	Junta:	A tope en V
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	80 % Ar - 20 % CO2
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>			
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 (Véase 5.19.2)	Equipo:	Máquina de Doblado Guiado Lateral
<i>REGISTRO DE RESULTADOS</i>			
# Probeta	Imagen	Observación	Calificación
PEM1-1		No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PEM1-2		Se observa 1.0 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PEM2-1		Se observa 0.9 y 1.9 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PEM2-2		No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PEM3-1		No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
PEM3-2		Se observa 1.5 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
<i>VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN</i>			
<ul style="list-style-type: none"> Las discontinuidades de las probetas PEM1-2, PEM2-1 y PEM3-2 es 2.5, 2.8 y 1.5 mm respectivamente y es inferior a 3 mm requerido por la norma AWS D 1.5, por lo tanto, se aprueban todas las probetas. 			
			<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>



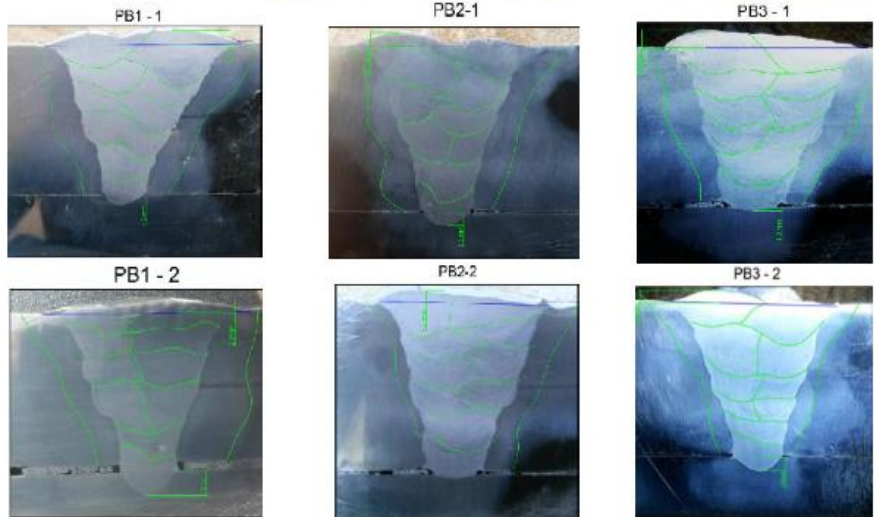
4.2.32 ENSAYO MACROGRÁFICO DE LAS PROBETAS CON ALAMBRE TUBULAR E71T1 Y 100% CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
				Código: EM-PA-01	
ENSAYO MACROGRÁFICO					
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>					
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.		
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	20 de julio del 2016		
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PA1, PA2, PA3		
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>					
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 100% E71T1		
Dimensiones (mm):	40x20x20	Junta:	A tope en V		
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	100 % CO2		
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>					
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 (Véase 5.19.3)	Equipo:	No Aplica		
<i>REGISTRO DE RESULTADOS</i>					
					
# Probeta	Grietas	Fusión entre Capas	Fusión MB-MA	Perfil de soldadura	Calificación
PA1-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PA1-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PA2-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PA2-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PA3-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PA3-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
<i>VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN</i>					
<ul style="list-style-type: none"> No se encuentra ninguna discontinuidad en las probetas y cumplen con lo requerido por la norma AWS D 1.5, por lo tanto, se aprueban. 					
<i>MB: Metal Base; MA: Metal Aporte</i>				<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>	



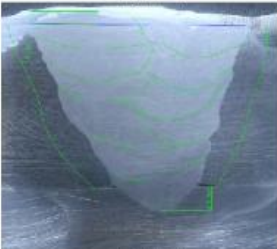
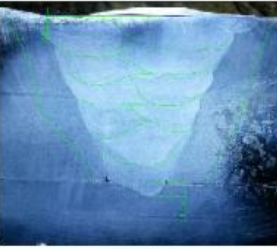
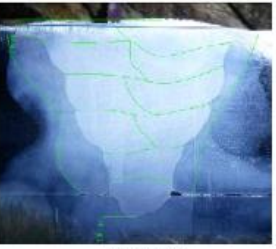
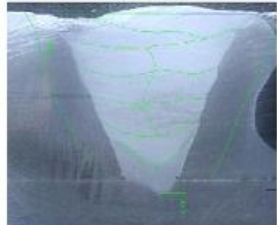

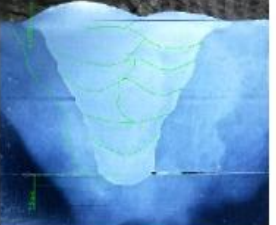
4.2.33 ENSAYO MACROGRÁFICO DE LAS PROBETAS CON ALAMBRE TUBULAR E71T1 Y 80%ARGÓN-20%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO MACROGRÁFICO					
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>					
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.		
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	20 de julio del 2016		
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	Nº Probeta	PAM1, PAM2, PAM3		
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>					
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 100% E71T1		
Dimensiones (mm):	40x20x20	Junta:	A tope en V		
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	80% Ar - 20% CO2		
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>					
Código Aplicado:	AWS I.5 – 2010 (Véase 5.19.3)	Equipo:	No Aplica		
<i>REGISTRO DE RESULTADOS</i>					
PAM1 - 1		PAM2 - 1		PAM3 - 1	
					
PAM1 - 2		PAM2 - 2		PAM3 - 2	
					
# Probeta	Grietas	Fusión entre Capas	Fusión MB-MA	Perfil de soldadura	Calificación
PAM1-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PAM1-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PAM2-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PAM2-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PAM3-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PAM3-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
<i>VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN</i>					
<ul style="list-style-type: none"> No se encuentra ninguna discontinuidad en las probetas y cumplen con lo requerido por la norma AWS D I.5, por lo tanto, se aprueban. 					
<i>MB: Metal Base; MA: Metal Aporte</i>				<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>	



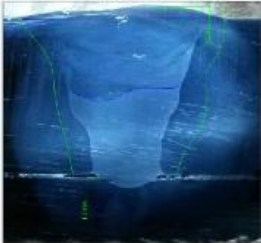
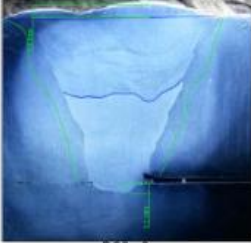
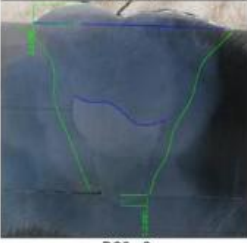
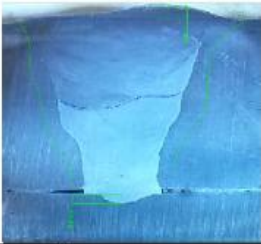
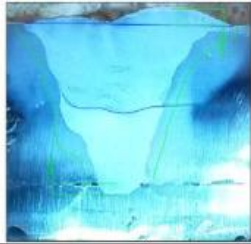
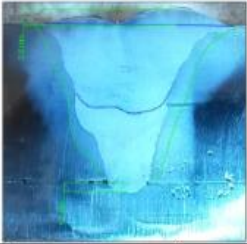
4.2.34 ENSAYO MACROGRÁFICO DE LAS PROBETAS CON ALAMBRE TUBULAR E81T1Ni2 Y 100% CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			Código: EM-PB-03	
	ENSAYO MACROGRÁFICO				
DATOS INFORMATIVOS					
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.		
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	21 de julio del 2016		
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PB1, PB2, PB3		
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN					
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 100% E81T1Ni2		
Dimensiones (mm):	40x20x20	Junta:	A tope en V		
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	100 % CO2		
PARÁMETROS DEL ENSAYO					
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 (Véase 5.19.3)	Equipo:	No Aplica		
REGISTRO DE RESULTADOS					
					
# Probeta	Grietas	Fusión entre Capas	Fusión MB-MA	Perfil de soldadura	Calificación
PB1-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PB1-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PB2-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PB2-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PB3-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PB3-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN					
<ul style="list-style-type: none"> No se encuentra ninguna discontinuidad en las probetas y cumplen con lo requerido por la norma AWS D 1.5, por lo tanto, se aprueban. 					
<i>MB: Metal Base; MA: Metal Aporte</i>				<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>	



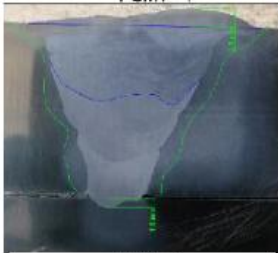
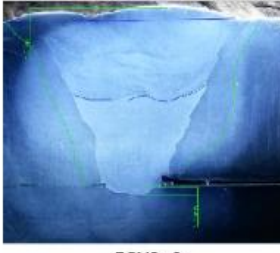
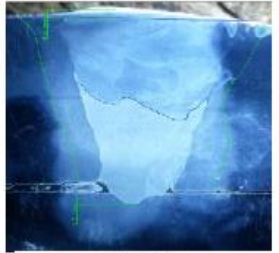
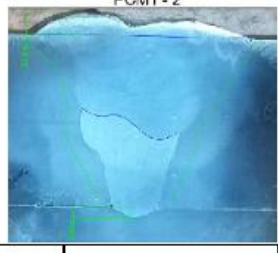
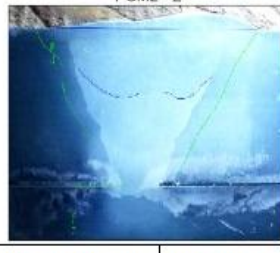
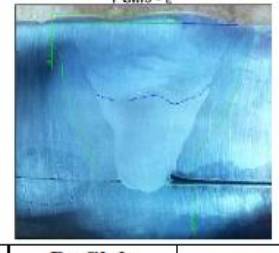
4.2.35 ENSAYO MACROGRÁFICO DE LAS PROBETAS CON ALAMBRE TUBULAR E81T1Ni2 Y 80%ARGÓN-20%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO MACROGRÁFICO					
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>					
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.		
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	21 de julio del 2016		
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PBM1, PBM2, PBM3		
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>					
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 100% E81T1Ni2		
Dimensiones (mm):	40x20x20	Junta:	A tope en V		
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	80% Ar - 20% CO2		
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>					
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 (Véase 5.19.3)	Equipo:	No Aplica		
<i>REGISTRO DE RESULTADOS</i>					
PBM1 - 1		PBM2 - 1		PBM3 - 1	
					
PBM1 - 2		PBM2 - 2		PBM3 - 2	
					
# Probeta	Grietas	Fusión entre Capas	Fusión MB-MA	Perfil de soldadura	Calificación
PBM1-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PBM1-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PBM2-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PBM2-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PBM3-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PBM3-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
<i>VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN</i>					
<ul style="list-style-type: none"> No se encuentra ninguna discontinuidad en las probetas y cumplen con lo requerido por la norma AWS D 1.5, por lo tanto, se aprueban. 					
<i>MB: Metal Base; MA: Metal Aporte</i>				<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>	



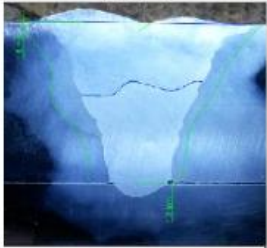
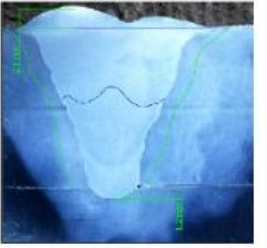
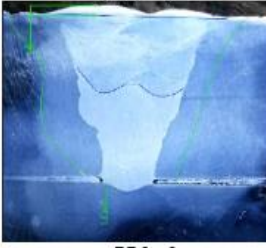
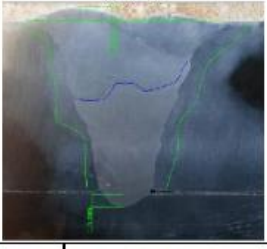
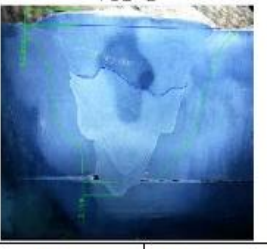
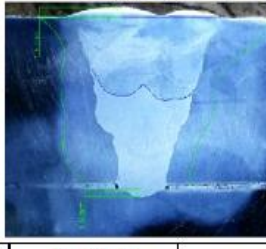
4.2.36 ENSAYO MACROGRÁFICO DE LAS PROBETAS CON LA COMBINACIÓN 40% E71T1 - 60% E81T1Ni2 Y 100%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
		Código: EM-PC-05			
ENSAYO MACROGRÁFICO					
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>					
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.		
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	22 de julio del 2016		
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PC1, PC2, PC3		
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>					
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 40% E71T1-60% E81T1Ni2		
Dimensiones (mm):	40x20x20	Junta:	A tope en V		
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	100 % CO2		
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>					
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 (Véase 5.19.3)	Equipo:	No Aplica		
<i>REGISTRO DE RESULTADOS</i>					
PC1 - 1	PC2 - 1	PC3 - 1			
					
PC1 - 2	PC2 - 2	PC3 - 2			
					
# Probeta	Grietas	Fusión entre Capas	Fusión MB-MA	Perfil de soldadura	Calificación
PC1-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PC1-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PC2-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PC2-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PC3-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PC3-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
<i>VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN</i>					
<ul style="list-style-type: none"> No se encuentra ninguna discontinuidad en las probetas y cumplen con lo requerido por la norma AWS D 1.5, por lo tanto, se aprueban. 					
<i>MB: Metal Base; MA: Metal Aporte</i>			<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>		



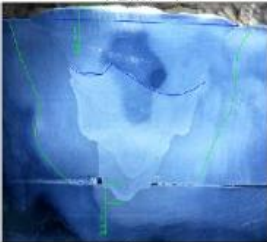
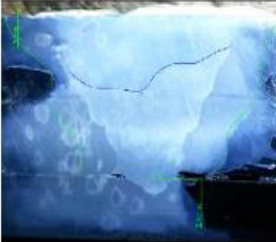
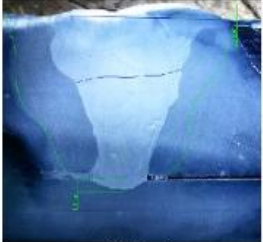
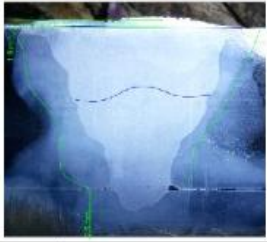
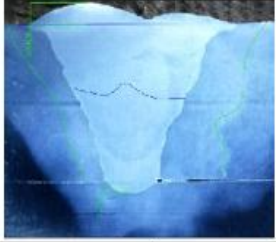
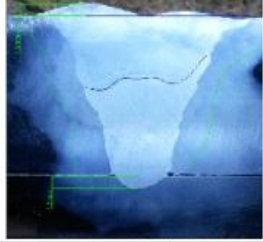
4.2.37 ENSAYO MACROGRÁFICO DE LAS PROBETAS CON LA COMBINACIÓN 40% E71T1 - 60% E81T1Ni2 Y 80%ARGÓN-20%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		Código: EM-PCM-06		
ENSAYO MACROGRÁFICO					
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>					
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.		
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	22 de julio del 2016		
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PCM1, PCM2, PCM3		
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>					
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 40% E71T1-60% E81T1Ni2		
Dimensiones (mm):	40x20x20	Junta:	A tope en V		
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	80% Ar - 20% CO2		
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>					
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 (Véase 5.19.3)	Equipo:	No Aplica		
<i>REGISTRO DE RESULTADOS</i>					
PCM1 - 1		PCM2 - 1		PCM3 - 1	
					
PCM1 - 2		PCM2 - 2		PCM3 - 2	
					
# Probeta	Grietas	Fusión entre Capas	Fusión MB-MA	Perfil de soldadura	Calificación
PCM1-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PCM1-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PCM2-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PCM2-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PCM3-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PCM3-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
<i>VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN</i>					
<ul style="list-style-type: none"> No se encuentra ninguna discontinuidad en las probetas y cumplen con lo requerido por la norma AWS D 1.5, por lo tanto, se aprueban. 					
<i>MB: Metal Base; MA: Metal Aporte</i>			<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>		



4.2.38 ENSAYO MACROGRÁFICO DE LAS PROBETAS CON LA COMBINACIÓN 50% E71T1 - 50% E81T1Ni2 Y 100%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO MACROGRÁFICO					
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>					
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.		
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	23 de julio del 2016		
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PD1, PD2, PD3		
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>					
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 50% E71T1-50% E81T1Ni2		
Dimensiones (mm):	40x20x20	Junta:	A tope en V		
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	100 % CO2		
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>					
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 (Véase 5.19.3)	Equipo:	No Aplica		
<i>REGISTRO DE RESULTADOS</i>					
PD1 - 1		PD2 - 1		PD3 - 1	
					
PD1 - 2		PD2 - 2		PD3 - 2	
					
# Probeta	Grietas	Fusión entre Capas	Fusión MB-MA	Perfil de soldadura	Calificación
PD1-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PD1-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PD2-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PD2-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PD3-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PD3-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
<i>VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN</i>					
<ul style="list-style-type: none"> No se encuentra ninguna discontinuidad en las probetas y cumplen con lo requerido por la norma AWS D 1.5, por lo tanto, se aprueban. 					
<i>MB: Metal Base; MA: Metal Aporte</i>				<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>	



4.2.39 ENSAYO MACROGRÁFICO DE LAS PROBETAS CON LA COMBINACIÓN 50% E71T1 - 50% E81T1Ni2 Y 80% ARGÓN-20% CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		Código: EM-PDM-08		
ENSAYO MACROGRÁFICO					
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>					
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.		
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	23 de julio del 2016		
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	Nº Probeta	PDM1, PDM2, PDM3		
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>					
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 50% E71T1-50% E81T1Ni2		
Dimensiones (mm):	40x20x20	Junta:	A tope en V		
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	80% Ar - 20% CO2		
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>					
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 (Véase 5.19.3)	Equipo:	No Aplica		
<i>REGISTRO DE RESULTADOS</i>					
PDM1 - 1	PDM2 - 1	PDM3 - 1			
PDM1 - 2	PDM2 - 2	PDM3 - 2			
					
					
# Probeta	Grietas	Fusión entre Capas	Fusión MB-MA	Perfil de soldadura	Calificación
PDM1-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PDM1-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PDM2-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PDM2-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PDM3-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PDM3-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
<i>VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN</i>					
<ul style="list-style-type: none"> No se encuentra ninguna discontinuidad en las probetas y cumplen con lo requerido por la norma AWS D 1.5, por lo tanto, se aprueban. 					
<i>MB: Metal Base; MA: Metal Aporte</i>				<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>	

4.2.40 ENSAYO MACROGRÁFICO DE LAS PROBETAS CON LA COMBINACIÓN 80% E71T1 - 20% E81T1Ni2 Y 100%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	 Código: EM-PE-09			
ENSAYO MACROGRÁFICO					
<i>DATOS INFORMATIVOS</i>					
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.		
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	24 de julio del 2016		
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	Nº Probeta	PE1, PE2, PE3		
<i>ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN</i>					
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 80% E71T1-20% E81TINi2		
Dimensiones (mm):	40x20x20	Junta:	A tope en V		
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	100 % CO2		
<i>PARÁMETROS DEL ENSAYO</i>					
Código Aplicado:	AWS I.5 – 2010 (Véase 5.19.3)	Equipo:	No Aplica		
<i>REGISTRO DE RESULTADOS</i>					
PE1 - 1	PE2 - 1	PE3 - 1			
PE1 - 2	PE2 - 2	PE3 - 2			
# Probeta	Grietas	Fusión entre Capas	Fusión MB-MA	Perfil de soldadura	Calificación
PE1-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PE1-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PE2-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PE2-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PE3-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PE3-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
<i>VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN</i>					
<ul style="list-style-type: none"> No se encuentra ninguna discontinuidad en las probetas y cumplen con lo requerido por la norma AWS D 1.5, por lo tanto, se aprueban. 					
<i>MB: Metal Base; MA: Metal Aporte</i>			<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>		

4.2.41 ENSAYO MACROGRÁFICO DE LAS PROBETAS CON LA COMBINACIÓN 80% E71T1 - 20% E81T1Ni2 Y 80%ARGÓN-20%CO2 COMO GAS DE PROTECCIÓN.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	 Código: EM-PEM-10			
ENSAYO MACROGRÁFICO					
DATOS INFORMATIVOS					
Realizado por:	Ing. Oscar Analuiza	Autorizado por:	Ing. Juan Paredes Mg.		
Ubicación:	UTA - FICM	Fecha de Ejecución:	24 de julio del 2016		
Laboratorio:	Ensayo de Materiales - FICM	N° Probeta	PEM1, PEM2, PEM3		
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN					
Material Base:	Acero ASTM A588 Grado B	Material de Aporte:	Alambre Tubular 80% E71T1-20% E81T1Ni2		
Dimensiones (mm):	40x20x20	Junta:	A tope en V		
Proceso de Soldadura:	FCAW Semiautomático	Gas de Protección:	80% Ar - 20% CO2		
PARÁMETROS DEL ENSAYO					
Código Aplicado:	AWS 1.5 – 2010 (Véase 5.19.3)	Equipo:	No Aplica		
REGISTRO DE RESULTADOS					
PEM1 - 1	PEM2 - 1	PEM3 - 1			
PEM1 - 2	PEM2 - 2	PEM3 - 2			
# Probeta	Grietas	Fusión entre Capas	Fusión MB-MA	Perfil de soldadura	Calificación
PEM1-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PEM1-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PEM2-1	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PEM2-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
PEM3-1	NO	SI	SI	Alta Convexidad	Rechaza
PEM3-2	NO	SI	SI	Aceptable	Aprueba
VERIFICACIÓN Y APROBACIÓN					
<ul style="list-style-type: none"> En la probeta PEM3-1 existe una convexidad excesiva por lo que se rechaza, en las demás probetas no se encuentra ninguna discontinuidad y cumplen con lo requerido por la norma AWS D 1.5, por lo tanto, se aprueban. 					
<i>MB: Metal Base; MA: Metal Aporte</i>			<i>Autor: Ing. Oscar Analuiza</i>		

4.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para la interpretación de resultados se revisarán todos los promedios de los datos obtenidos en los ensayos mecánicos realizados bajo el código AWS D1.5 - 2010, y comprobar las diferencias que existen entre los alambres tubulares E71T1, E81T1Ni2 y las combinaciones sometidos a análisis. Además, se toman en cuenta los gases de protección para clasificar el proceso de soldadura de cada probeta.

Las características del acero ASTM A588 es la principal referencia, por tal motivo los criterios de aceptación para este ensayo se lo considero conforme a la AWS D1.5-2010 del código de soldadura para puentes, el cual dice "Los ensayos de calificación de la WPS que requiere este código están diseñados para otorgar la seguridad de que el metal de soldadura, de conformidad con las disposiciones de este código, tenga una resistencia, ductilidad y tenacidad que se ajusten a las disposiciones de la tabla 1.4". De igual manera se considera las características mecánicas de los materiales de aporte como referencia para el análisis. Por lo tanto, los parámetros para la evaluación de las probetas se indican en la tabla 14, en la cual se describe el promedio y la desviación estándar de las propiedades de los materiales utilizados.

Tabla 14. Parámetros de evaluación de los alambres E71T1, E81T1Ni2 y metal base

MATERIALES	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	ESFUERZO DE FLUENCIA (MPa)	% DE ELONGACIÓN	ENERGÍA ABSORBIDA (J)
ACERO ASTM A588	536,65	392,86	25,79	27
ALAMBRE E71T1	574	493	26	80
ALAMBRE E81T1Ni2	685	579	22	31
PROMEDIO	598,55	488,29	24,60	46,00
DESV. ESTÁNDAR	77,16	93,16	2,25	29,51

Fuente: Realizado por el Autor

4.3.1 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

En el ensayo de tracción el objetivo que se persigue es determinar la resistencia máxima a tracción axial, límite de fluencia y el porcentaje de elongación. Los

resultados del ensayo de tracción, para las probetas de soldadura protegidas con 100% CO₂ se indican en la tabla 15, en esta se encuentra valores promedios de resistencia última a la tracción (Sut), Límite de Fluencia (Sy) y el % de elongación de las probetas ensayadas bajo la norma ASTM A 370-97 (Ensayos mecánicos de productos de acero) y la ASTM E8-00 (Métodos estandarizados para ensayo de tracción de materiales metálicos).

Tabla 15. Resultados del ensayo de tracción de probetas soldadas y protegidas con 100%CO₂

ID	Sut (Fig. 24)	Sy (Fig. 25)	Elongación (Fig. 26)
	Mpa	Mpa	%
PA	601,24	534,29	27,06
PB	697,48	660,07	23,41
PC	658,16	599,13	23,65
PD	651,82	605,18	25,33
PE	637,80	580,54	26,27
PROMEDIO	649,30	595,84	25,14

Fuente: Realizado por el Autor

En la figura 27, se realiza la comparación de la resistencia a la tracción y se observa que la mayor resistencia a la tensión se encuentra en la probeta PB (Alambre tubular E81T1NI2) con 697,48 MPa y la menor resistencia a la tracción se encuentra en la probeta PA (Alambre tubular E71T1) con 601,24 MPa, esto debido a la diferente composición de los materiales.

Tomando como referencia la PB (Alambre tubular E81T1NI2), se observa en las combinaciones que a medida que se disminuye el alambre E81T1NI2, disminuye la resistencia a la tracción en un promedio de 1,6%. Además de las tres combinaciones de alambres tubulares (PC, PD, y PE), la que tiene mayor resistencia a la tracción es la probeta PC con 658,16 MPa en vista que existe mayor cantidad de alambre E81T1NI2 con buena fusión entre estos materiales. Finalmente, existe un promedio de 649,30 MPa de resistencia a la tracción en este tipo de probetas.

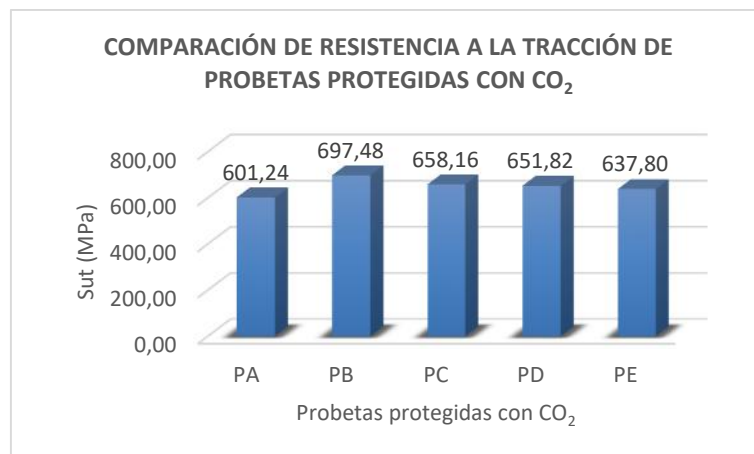


Figura 27. Comparación de resistencia a la tracción de probetas protegidas con CO_2

Fuente: Realizado por el Autor

En la figura 28, se ejecuta la comparación de los promedios del límite de fluencia (S_y) de las probetas protegidas durante la soldadura con CO_2 . En ella se observa que el mayor límite de fluencia se encuentra en la probeta PB (Alambre tubular E81T1N12) con 660,07 MPa y el menor límite de fluencia se encuentra en la probeta PA (Alambre tubular E71T1) con 534,29 MPa y son proporcionales a las probetas con mayor y menor resistencia a la tracción. De las tres combinaciones de alambres tubulares (PC, PD, y PE), la que tiene mayor límite de fluencia es la probeta PD con 605,18 MPa y finalmente existe un promedio de 595,84 MPa de límite de fluencia en esta comparación.

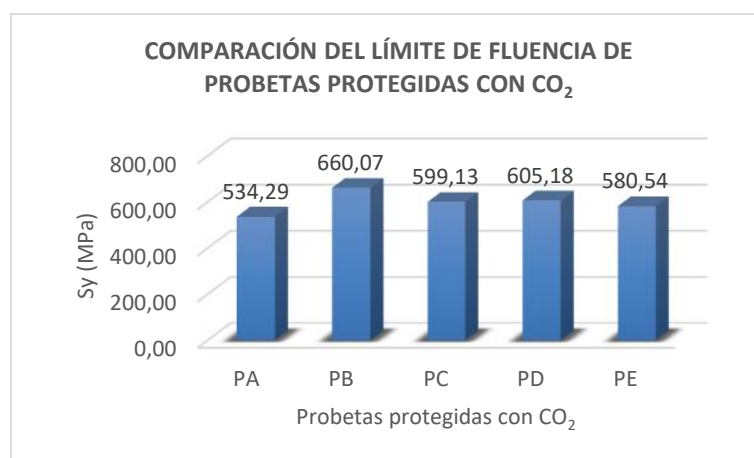


Figura 28. Comparación del límite de fluencia de probetas protegidas con CO_2

Fuente: Realizado por el Autor

En la figura 29, se hace la comparación de los promedios del porcentaje de elongación (), se observa que el mayor porcentaje de elongación se encuentra en la probeta PA (Alambre tubular E71T1) con 27,06 % y el menor porcentaje de elongación se encuentra en la probeta PB (Alambre tubular E81T1NI2) con 23,41 %.

Tomando como referencia la PB (Alambre tubular E81T1NI2), se observa en las combinaciones que a medida que se disminuye el porcentaje del alambre E81T1NI2, se incrementa el porcentaje de elongación, esto debido al alto porcentaje de elongación del alambre E71T1. De las tres combinaciones de alambres tubulares (PC, PD, y PE), la que tiene mayor porcentaje de elongación es la probeta PE con 26,27 % y existe un promedio de 25,14 % de elongación.

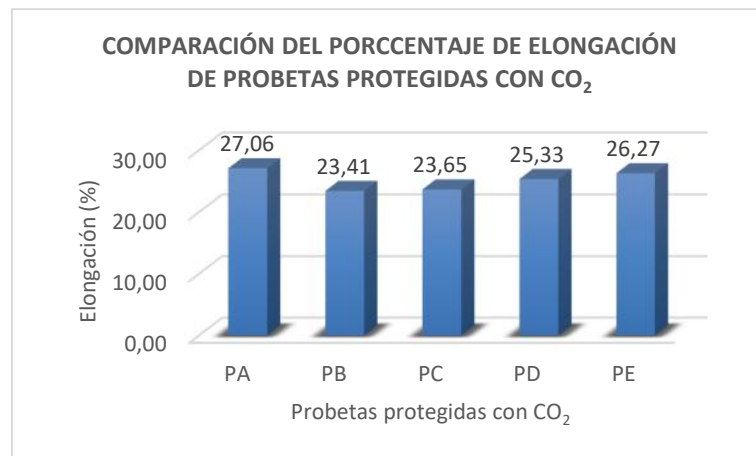


Figura 29. Comparación del porcentaje de elongación de probetas protegidas con CO₂

Fuente: Realizado por el Autor

En la tabla 16, se hace una evaluación de los promedios de las propiedades mecánicas que se obtuvo para las probetas soldadas y protegidas con CO₂, respecto a los resultados promedios de Esfuerzo Máximo (Sut), Esfuerzo de Fluencia (Sy) y Elongación (%), se determina que la probeta PA (Alambre tubular E71T1), PD (Alambre tubular 50%E71T1-50% E81T1NI2) y PE (Alambre tubular 80%E71T1-20% E81T1NI2) ofrecen el mejor comportamiento a las combinaciones de propiedades mecánicas a tracción y están dentro de la desviación estándar esperada. Por lo tanto, las probetas PA, PD y PE pasa a la siguiente etapa de estudio.

Tabla 16. Evaluación del ensayo de tracción de probetas soldadas y protegidas con 100%CO₂

ID	Sut	Dif.	Sy	Dif.	Elongación	Dif.	A ó R
	Mpa		Mpa		%		
PA	601,24	2,69	534,29	46,00	27,06	2,46	A
PB	697,48	98,93	660,07	171,78	23,41	-1,19	A
PC	658,16	59,61	599,13	110,84	23,65	-0,95	A
PD	651,82	53,27	605,18	116,89	25,33	0,73	A
PE	637,80	39,25	580,54	92,25	26,27	1,67	A
PARÁMETROS	598,55		488,29		24,60		
DESV. ESTD	77,16		93,16		2.25		
Parámetro de Aceptación (A) o Rechazo (R)							
Relleno Rojo	= Resultado No Aceptable, bajo la desviación estándar (95% de Confianza)						
Relleno Amarillo	= Resultado Medianamente Aceptable, bajo la desviación estándar						
Relleno Verde	= Resultado Aceptable, igual o por encima de la desviación estándar						

Fuente: Realizado por el Autor

Los resultados de los promedios del ensayo de tracción para las probetas de soldadura protegidas con 80%Ar-20%CO₂, se indican en la siguiente tabla:

Tabla 17. Resultados del ensayo de tracción de probetas soldadas y protegidas con gas 80%Ar-20%CO₂

ID	Sut (Fig. 30)	Sy (Fig. 31)	Elongación (Fig. 32)
	Mpa	Mpa	%
PAM	658,93	602,82	25,47
PBM	679,14	633,91	22,51
PCM	679,29	622,78	25,23
PDM	729,02	648,77	19,37
PEM	703,37	648,98	19,92
PROMEDIO	689,95	631,45	22,50

Fuente: Realizado por el Autor

En la figura 30, se hace la comparación de la resistencia a la tracción y se observa que la mayor resistencia se encuentra en la probeta PDM (Alambre tubular 50%E71T1-50%E81T1NI2) con 729,02 MPa y el de menor resistencia se encuentra en la probeta PAM (Alambre tubular E71T1) con 658,93 MPa. De igual manera se observa en las combinaciones que a medida que se disminuye el porcentaje de alambre E81T1NI2, aumenta la resistencia a la tracción.

De las tres combinaciones de alambres tubulares (PCM, PDM, y PEM), la que tiene mayor resistencia a la tracción es la probeta PDM con 729,02 MPa brindando mejor resistencia a la tracción que los materiales individuales y finalmente existe un promedio de 689,95 MPa de resistencia a la tracción.

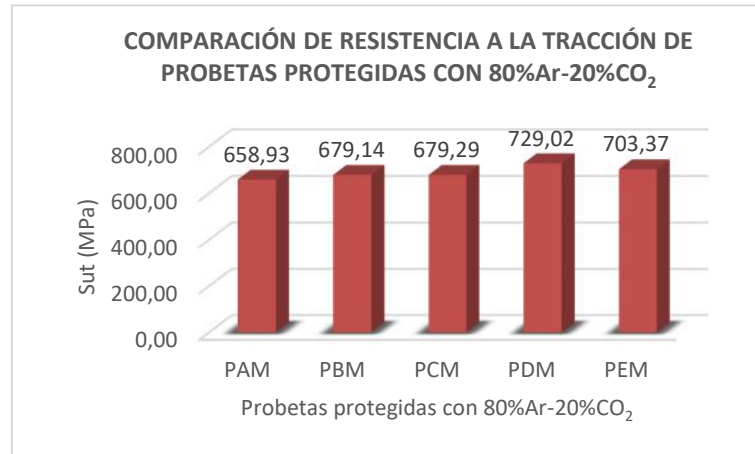


Figura 30. Comparación de resistencia a la tracción de probetas protegidas con gas 80%Ar-20%CO₂

Fuente: Realizado por el Autor

En la figura 31, se realiza la comparación de los promedios del límite de fluencia (S_y) de las probetas protegidas durante la soldadura con gas 80%Ar y 20%CO₂. Se observa que el mayor límite de fluencia se encuentra en la probeta PEM (Alambre tubular 80%E71T1-20%E81T1N12) con 648,98 MPa y el menor límite de fluencia se encuentra en la probeta PAM (Alambre tubular E71T1) con 602,82 MPa. Se observa en las combinaciones que a medida que se disminuye el porcentaje del alambre E81T1N12, se incrementa el límite de fluencia, comportándose de la misma manera que la resistencia a la tracción. De las tres combinaciones de alambres tubulares (PCM, PDM, y PEM), la que tiene mayor límite de fluencia es la probeta PEM con 648,98 MPa y existe un promedio de 631,45 MPa de límite de fluencia.

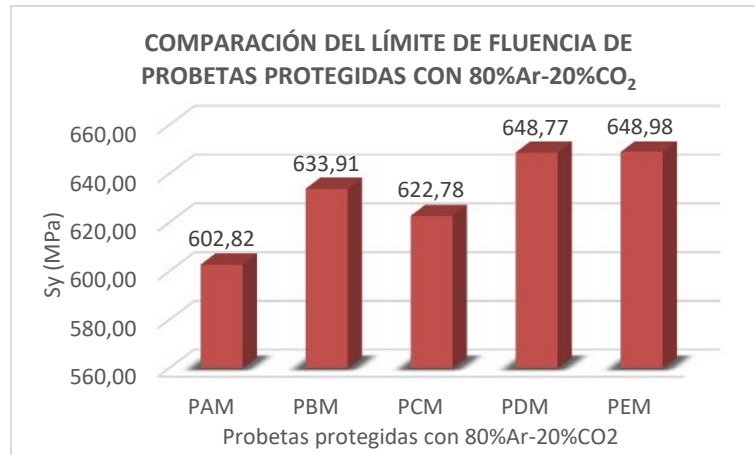


Figura 31. Comparación del límite de fluencia de probetas protegidas con 80% Ar-20% CO₂

Fuente: Realizado por el Autor

En la figura 32, se efectúa la comparación de los promedios del porcentaje de elongación (), en ella, se observa que el mayor porcentaje de elongación se encuentra en la probeta PAM (Alambre tubular E71T1) con 25,47 % y el menor porcentaje de elongación se encuentra en la probeta PDM (Alambre tubular 50%E71T1-50% E81T1NI2) con 19,37 %. Adicionalmente, se observa en las combinaciones que a medida que se disminuye el porcentaje del alambre E81T1NI2, disminuye el porcentaje de elongación. En conclusión, de las tres combinaciones de alambres tubulares (PCM, PDM, y PEM), la que tiene mayor porcentaje de elongación es la probeta PCM con 25,23 % y existe un promedio de 22,5 % del porcentaje de elongación.

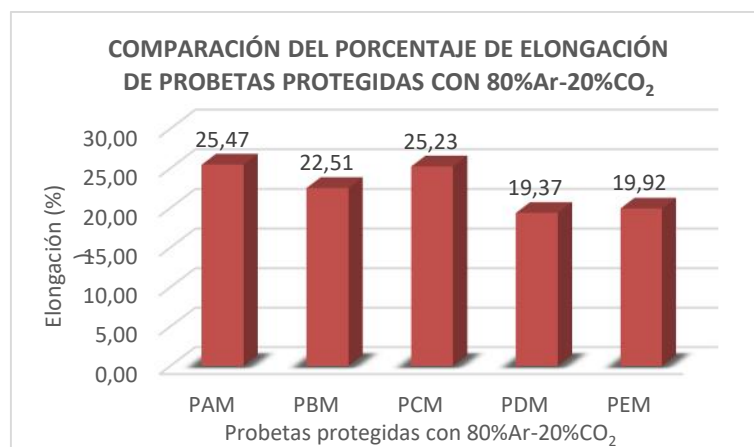


Figura 32. Comparación del porcentaje de elongación de probetas protegidas con 80%Ar-20%CO₂

Fuente: Realizado por el Autor

En la tabla 18, se hace una evaluación de los promedios de las propiedades mecánicas que se obtuvo para las probetas soldadas y protegidas con la mezcla de gas 80%Ar-20%CO₂, respecto a los resultados promedios de Esfuerzo Máximo (Sut), Esfuerzo de Fluencia (Sy) y Elongación (%), aquí se determina que las probetas PAM (Alambre tubular 80%E71T1) y PCM (Alambre tubular 40%E71T1-60% E81T1NI2) ofrece el mejor comportamiento a las combinaciones de propiedades mecánicas a tracción y están dentro de la desviación estándar esperada. Por lo tanto, se establece que las probetas PAM y PCM pasa a la siguiente etapa de estudio.

Tabla 18. Evaluación del ensayo de tracción de probetas soldadas y protegidas con gas 80%Ar-20%CO₂

ID	Sut Mpa	Dif.	Sy Mpa	Dif.	Elongación %	Dif.	A ó R
PAM	658,93	60,38	602,82	114,53	25,47	0,87	A
PBM	679,14	80,59	633,91	145,62	22,51	-2,09	R
PCM	679,29	80,74	622,78	134,49	25,23	0,63	A
PDM	729,02	130,47	648,77	160,48	19,37	-5,23	R
PEM	703,37	104,82	648,98	160,69	19,92	-4,68	R
PARÁMETROS	598,55		488,29		24,60		
DESV. ESTD	77,16		93,16		2.25		
Parámetro de Aceptación (A) o Rechazo (R)							
Relleno Rojo	= Resultado No Aceptable, bajo la desviación estándar (95% de Confianza)						
Relleno Amarillo	= Resultado Medianamente Aceptable, bajo la desviación estándar						
Relleno Verde	= Resultado Aceptable, igual o por encima de la desviación estándar						

Fuente: Realizado por el Autor

4.3.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE IMPACTO

En el ensayo de impacto el objetivo que se persigue es determinar la tenacidad a la fractura conforme al código AWS D1.5-2010, la norma ASTM A 370-97 (Ensayos mecánicos de productos de acero) y la ASTM E23-00 (Métodos estandarizados para ensayo de impacto con entalla de materiales metálicos). Los resultados del ensayo de impacto para las probetas de soldadura protegidas con 100% CO₂ se registran en la tabla 19. En esta se indican los promedios de la energía absorbida en el ensayo de impacto, además como referencia el promedio de la temperatura y el porcentaje de fractura dúctil.

Tabla 19. Resultados del ensayo de impacto de probetas soldadas y protegidas con 100% CO₂

ID	Temperatura	Energía Absorbida (Fig. 33)	Fractura Dúctil (Fig. 34)
	°C	J	%
PA	-20,50	85,50	58,33
PB	-20,60	108,18	51,67
PC	-21,10	54,67	53,50
PD	-20,70	45,17	57,33
PE	-20,70	52,33	52,00
PROMEDIO	-20,72	69,17	54,57

Fuente: Realizado por el Autor

Tomando como referencia la tabla 19, en la figura 33, se observa que la máxima energía absorbida se encuentra en la probeta PB (Alambre tubular E81T1NI2) con 108,18 J y la menor energía absorbida se encuentra en la probeta PA (Alambre tubular E71T1) con 85,50 J. Dentro de las combinaciones, la probeta con mayor energía es la probeta PC (Alambre tubular 40%E71T1-60% E81T1NI2) con 54,67 y la de menor energía es la probeta PD (Alambre tubular 50%E71T1-50% E81T1NI2) con 45,17 J. En conclusión, dentro de las combinaciones existe un promedio de 50,72 J. Por lo tanto, para esta condición, el material de aporte que absorbe mayor energía es el alambre E81T1NI2.

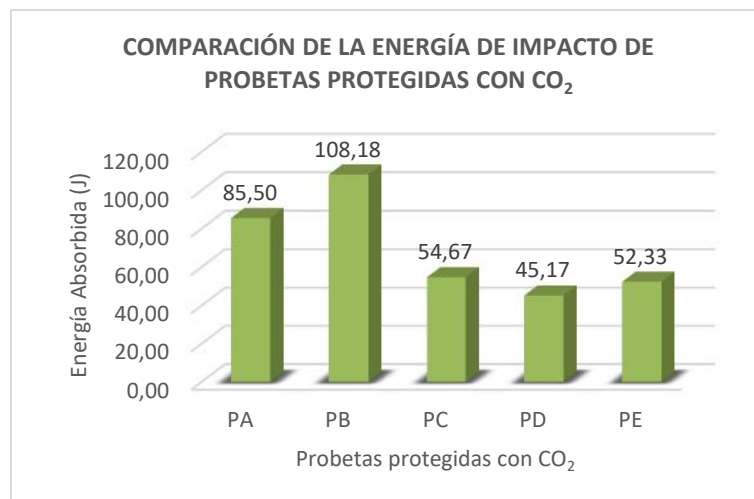


Figura 33. Comparación de la energía de impacto de probetas protegidas con CO₂

Fuente: Realizado por el Autor

En la figura 34, se realiza la comparación del porcentaje de fractura dúctil, se encuentra en la probeta PA (Alambre tubular E71T1) tiene el máximo porcentaje de fractura dúctil con 58,33% y el menor porcentaje de fractura dúctil se encuentra en la probeta PB (Alambre tubular E81T1NI2) con 51,67%. En las combinaciones, la probeta con mayor porcentaje de fractura dúctil es la probeta PD (Alambre tubular 50%E71T1-50% E81T1NI2) con 57,33% y la de menor energía es la probeta PE (Alambre tubular 80%E71T1-20% E81T1NI2) con 52%.

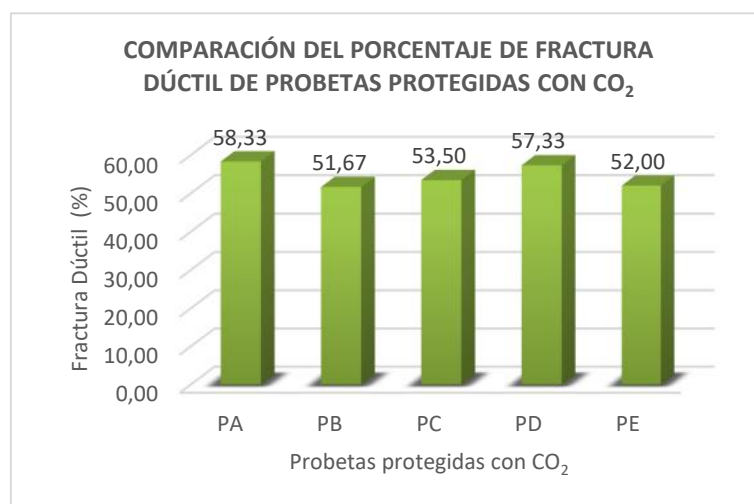


Figura 34. Comparación del porcentaje de fractura dúctil de probetas protegidas con CO₂

Fuente: Realizado por el Autor

En la tabla 20, se hace una evaluación de los promedios de la energía de impacto y se determina que se aceptan todas las probetas en vista que los valores de energía se encuentran por encima de la desviación estándar, se consideran que las probetas PC (Alambre tubular 40%E71T1-60% E81T1NI2) y PE (Alambre tubular 80%E71T1-20% E81T1NI2) ofrecen el mejor comportamiento. Por lo tanto, se establece que las probetas PC y PE pasa a la siguiente etapa de estudio.

Tabla 20. Evaluación del ensayo de impacto de probetas soldadas y protegidas con 100% CO₂

ID	Energía de Impacto (J)	Dif.	A ó R
PA	85,50	39,50	A
PB	108,18	62,18	A
PC	54,67	8,67	A
PD	45,17	-0,83	A
PE	52,33	6,33	A
PARÁMETROS	46,00		
DESV. ESTD	29,51		
Parámetro de Aceptación (A) o Rechazo (R)			
Relleno Rojo	= Resultado No Aceptable, bajo la desviación estándar (95% de Confianza)		
Relleno Amarillo	= Resultado Medianamente Aceptable, bajo la desviación estándar		
Relleno Verde	= Resultado Aceptable, igual o por encima de la desviación estándar		

Fuente: Realizado por el Autor

Los resultados del ensayo de impacto, para las probetas de soldadura y protegidas con 80%Ar-20%CO₂ se indican en la tabla 21.

Tabla 21. Resultados del ensayo de impacto de probetas soldadas y protegidas con 80%Ar-20%CO₂

ID	Temperatura	Energía Absorbida (Fig. 35)	Fractura Dúctil (Fig. 36)
	°C	J	%
PAM	-20,20	52,33	54,83
PBM	-20,80	60,15	67,00
PCM	-20,90	52,33	59,17
PDM	-20,00	29,33	11,00
PEM	-20,10	36,33	41,67
PROMEDIO	-20,40	46,09	46,73

Fuente: Realizado por el Autor

Con estos resultados en la figura 35, se observa que la máxima energía se encuentra en la probeta PBM (Alambre tubular E81T1NI2) con 60,15 J y la menor energía absorbida se encuentra en la probeta PDM (Alambre tubular 50%E71T1-50% E81T1NI2) con 29,33 J. Dentro de las combinaciones, la probeta con mayor energía es la probeta PCM (Alambre tubular 40%E71T1-60% E81T1NI2) con 52,33 J y la de menor energía es la probeta PDM (Alambre tubular 50%E71T1-50% E81T1NI2) con 29,33 J. En conclusión, dentro de las combinaciones existe un promedio de 39,33 J.

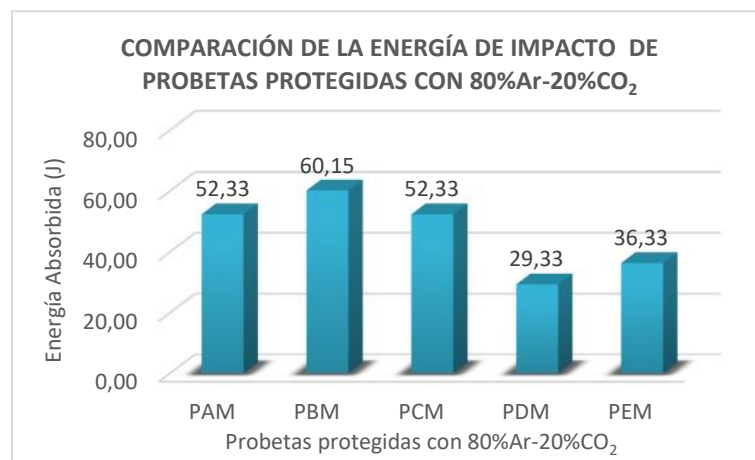


Figura 35. Comparación de la energía de impacto de probetas con 80%Ar-20%CO₂

Fuente: Realizado por el Autor

En la figura 36, se observa el porcentaje máximo de fractura dúctil se encuentra en la probeta PBM (Alambre tubular E81T1NI2) con 67% y el menor porcentaje de fractura dúctil se encuentra en la probeta PDM (Alambre tubular 50%E71T1-50% E81T1NI2) con 11%. En las combinaciones, la probeta con mayor porcentaje de fractura dúctil es la probeta PCM (Alambre tubular 40%E71T1-60% E81T1NI2) con 59,17% y la de menor porcentaje de fractura dúctil es la probeta PDM (Alambre tubular 50%E71T1-50% E81T1NI2) con 11%.

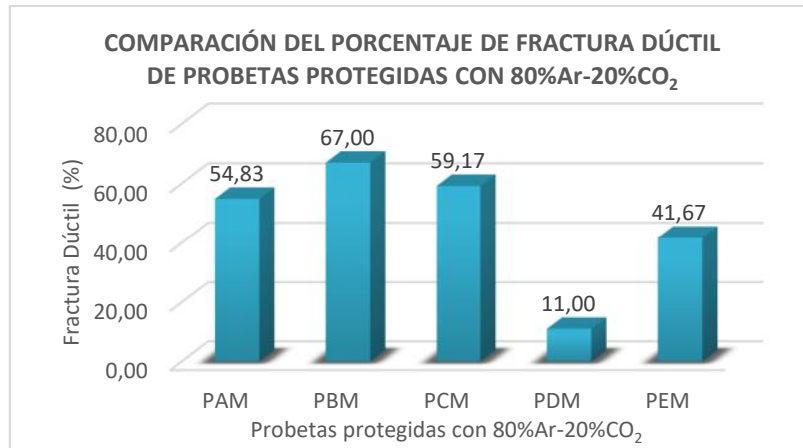


Figura 36. Comparación del porcentaje de fractura dúctil de probetas protegidas con 80%Ar-20%CO₂

Fuente: Realizado por el Autor

En la tabla 22, se hace una evaluación de los promedios de la energía absorbida que se obtuvo para las probetas soldadas y protegidas con la mezcla 80%Ar-20%CO₂, se determina que se aceptan todas las probetas en vista que los valores de energía se encuentran dentro de la desviación estándar, sin embargo se consideran que las probetas PAM (Alambre tubular 100% E71T1), PBM (Alambre tubular 100% E81T1NI2) y PCM (Alambre tubular 40%E71T1-60% E81T1NI2) ofrecen el mejor comportamiento en las combinaciones de energía de impacto. Por lo tanto, se establece que las probetas PAM, PBM y PCM pasa a la siguiente etapa de estudio.

Tabla 22. Evaluación del ensayo de impacto de probetas soldadas y protegidas con 80%Ar-20%CO₂

ID	Energía de Impacto (J)	Dif.	A ó R
PAM	52,33	6,33	A
PBM	60,15	14,15	A
PCM	52,33	6,33	A
PDM	29,33	-16,67	A
PEM	36,33	-9,67	A
PARÁMETROS	46,00		
DESV. ESTD	29,51		
Parámetro de Aceptación (A) o Rechazo (R)			
Relleno Rojo	= Resultado No Aceptable, bajo la desviación estándar (95% de Confianza)		
Relleno Amarillo	= Resultado Medianamente Aceptable, bajo la desviación estándar		
Relleno Verde	= Resultado Aceptable, igual o por encima de la desviación estándar		

Fuente: Realizado por el Autor

4.3.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE DOBLADO GUIADO

Los resultados de este ensayo se obtienen de la examinación visual de la superficie convexa de la probeta de ensayo de doblado en busca de discontinuidades y su aceptación está basado en el ítem 5.19.2 (Anexo B-5) del código AWS D1.5 – 2010 (Código de soldadura para puentes) por lo tanto, los resultados de las probetas soldadas y protegidas con 100% CO₂ se indican en la siguiente tabla:

Tabla 23. Resultados del ensayo del doblado guiado de probetas soldadas y protegidas con 100% CO₂

ID	ACEPTACIÓN (Fig. 37)
PA	100%
PB	100%
PC	100%
PD	100%
PE	100%
PROMEDIO	100%

Fuente: Realizado por el Autor

En la figura 37, se observa que el 100% de las probetas ensayadas cumplen con el código AWS D1.5 y con las condiciones de discontinuidades. Por lo tanto, todas las probetas fueron aprobadas.

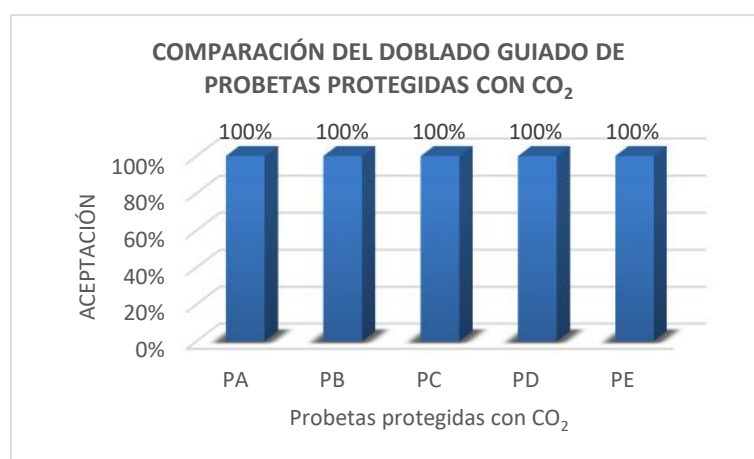


Figura 37. Comparación del doblado guiado de probetas protegidas con CO₂

Fuente: Realizado por el Autor

En la tabla 24, se hace una evaluación de las probetas soldadas y protegidas con 100% CO₂, se determina que se aceptan todas las probetas en vista que no existen discontinuidades que superen los requerimientos del código AWS D1.5 - 2010, sin embargo, se considera que las probetas PA (Alambre tubular 100% E71T1), PB (Alambre tubular 100% E81T1NI2) y PD (Alambre tubular 50%E71T1-50% E81T1NI2) ofrece el mejor comportamiento a las combinaciones de doblado guiado. Por lo tanto, se establece que las probetas PA, PB y PD pasa a la siguiente etapa de estudio.

Tabla 24. Evaluación del ensayo del doblado guiado de probetas soldadas y protegidas con 100%CO₂

ID	Grieta en cualquier dirección	Sumatoria de todas las discontinuidades	Grieta Máximas en las Esquinas	Porcentaje	A ó R
PA	0	0	0	100	A
PB	0	0	0	100	A
PC	0	3,9	0	100	A
PD	0	0	0	100	A
PE	1,2	0	0	100	A
PARÁMETROS	3 mm	10 mm	6 mm		
Parámetro de Aceptación (A) o Rechazo (R)					
Relleno Rojo	= Resultado No Aceptable				
Relleno Amarillo	= Resultado Medianamente Aceptable				
Relleno Verde	= Resultado Aceptable				

Fuente: Realizado por el Autor

Los resultados del ensayo de doblado guiado para las probetas soldadas y protegidas con 80% Ar-20%CO₂ se indican en la tabla 25.

Tabla 25. Resultados del ensayo del doblado guiado de probetas soldadas y protegidas con 80% Ar-20% CO₂

ID	ACEPTACIÓN (Fig. 38)
PAM	67%
PBM	100%
PCM	100%
PDM	67%
PEM	100%
PROMEDIO	87%

Fuente: Realizado por el Autor

En la figura 38, se observa que las probetas PAM y PDM tienen un 67 % de aceptación respectivamente, en vista que parte de dichas probetas exceden las dimensiones de las discontinuidades, además tienen un promedio de aceptación del 87% de todas las probetas ensayadas.

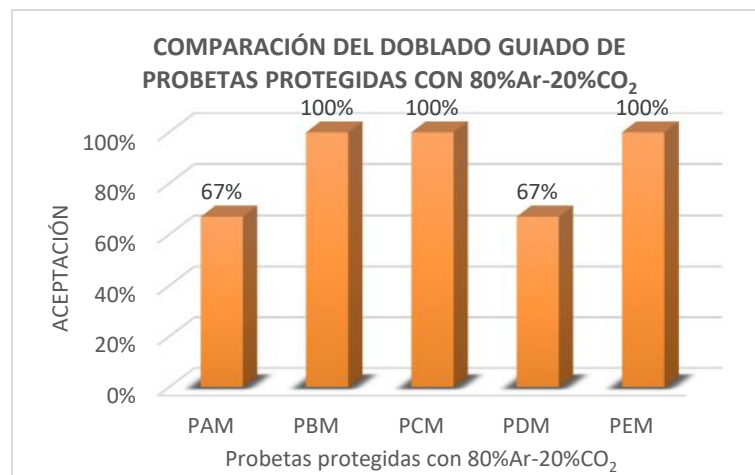


Figura 38. Comparación del doblado guiado de probetas protegidas con 80% Ar-20% CO₂

Fuente: Realizado por el Autor

En la tabla 25, se hace una evaluación de las probetas soldadas y protegidas con la mezcla 80% Ar-20% CO₂, se determina que se aceptan las probetas PBM (Alambre tubular 100 % E81T1N12), PCM (Alambre tubular 40% E71T1-60% E81T1N12) y PEM (Alambre tubular 80% E71T1-20% E81T1N12) en vista que no existen discontinuidades que superen los requerimientos del código AWS D1.5 – 2010 y

ofrece el mejor comportamiento a las combinaciones de doblado guiado. Por lo tanto, se establece que las probetas PBM, PCM y PEM pasa a la siguiente etapa de estudio.

Tabla 26. Resultados del ensayo del doblado guiado de probetas soldadas y protegidas con 80% Ar-20% CO₂

ID	Grieta en cualquier dirección	Sumatoria de todas las discontinuidades	Grieta Máximas en las Esquinas	Porcentaje	A ó R
PAM	7,8	0	0	67	R
PBM	0	5,4	0	100	A
PCM	2,5	0	0	100	A
PDM	4,0	4,5	0	67	R
PEM	0	2,8	0	100	A
PARÁMETROS	3 mm	10 mm	6 mm		
Parámetro de Aceptación (A) o Rechazo (R)					
Relleno Rojo	= Resultado No Aceptable				
Relleno Amarillo	= Resultado Medianamente Aceptable				
Relleno Verde	= Resultado Aceptable				

Fuente: Realizado por el Autor

4.3.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE MACROGRAFÍA

El ensayo de macrografía es inspeccionado visualmente y debe cumplir con el ítem 5.19.3. Requisitos generales (Anexo B-5) del código AWS 1.5 – 2010 (Código de soldadura para puentes). Para lo cual en la tabla 27 se indica los resultados de las probetas soldadas y protegidas con 100%CO₂.

Tabla 27. Resultados del ensayo de macrografía de probetas soldadas y protegidas con 100%CO₂

ID	ACEPTACIÓN (Fig. 39)
PA	100%
PB	100%
PC	100%
PD	100%
PE	100%
PROMEDIO	100%

Fuente: Realizado por el Autor

En la figura 39, se muestra que todas las probetas sometidas al ensayo de macro ataque se ajustan a los requisitos como: ninguna grieta, fusión entre capas, metal base - metal de soldadura y el perfil de soldadura del código AWS D1.5.

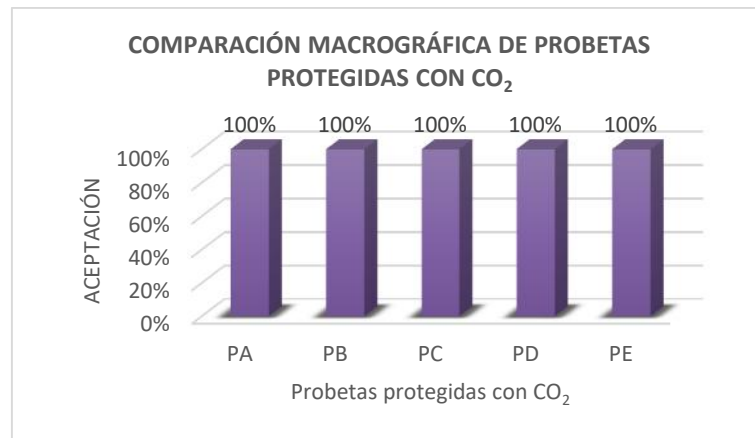


Figura 39. Comparación de la macrográfico de probetas protegidas con CO₂

Fuente: Realizado por el Autor

En la tabla 28, se hace una evaluación de las probetas soldadas y protegidas con 100% CO₂, respecto a los resultados de macrografía, se determina que se aceptan todas las probetas en vista que se ajustan a los requerimientos del código AWS D1.5 - 2010, ofrecen un buen comportamiento a las combinaciones para el ensayo macrográfico. Por lo tanto, se establece que las probetas PA, PB, PC, PD y PE pasa a la siguiente etapa de estudio.

Tabla 28. Evaluación del ensayo de macrografía de probetas soldadas y protegidas con 100%CO₂

ID	Grieta	Fusión entre Capas	Fusión MB-MA	Perfil	Porcentaje	A ó R
PA	No	Completa	Completa	Bueno	100	A
PB	No	Completa	Completa	Bueno	100	A
PC	No	Completa	Completa	Bueno	100	A
PD	No	Completa	Completa	Bueno	100	A
PE	No	Completa	Completa	Bueno	100	A
PARÁMETROS	Ninguna	Completa	Completa	Detalle de Diseño		
Parámetro de Aceptación (A) o Rechazo (R)						
Relleno Rojo	= Resultado No Aceptable					
Relleno Amarillo	= Resultado Medianamente Aceptable					
Relleno Verde	= Resultado Aceptable					

Fuente: Realizado por el Autor

Los resultados del ensayo de macrografía para las probetas soldadas y protegidas con 80%Ar-20%CO₂ se indican en la siguiente tabla:

Tabla 29. Resultados del ensayo de macrografía de probetas soldadas y protegidas con 80%Ar-20%CO₂

ID	ACEPTACIÓN (Fig. 40)
PAM	100%
PBM	100%
PCM	100%
PDM	100%
PEM	83%
PROMEDIO	97%

Fuente: Realizado por el Autor

En la figura 40, se observa que la probeta PEM (80%E71T1-20% E81T1NI2) tiene una aceptación del 83%, en vista que un de las probetas de esta familia tiene una excesiva convexidad por lo tanto un perfil no aceptable.

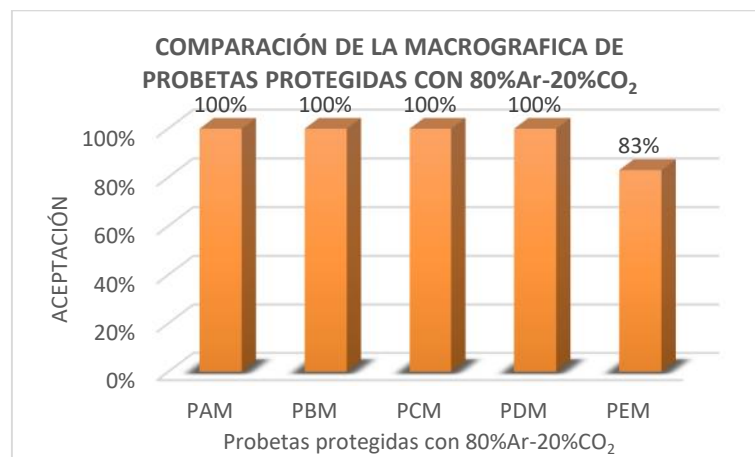


Figura 40. Comparación de la macrográfico de probetas protegidas con 80%Ar-20%CO₂

Fuente: Realizado por el Autor

En la tabla 30, se hace una evaluación de las probetas soldadas y protegidas con la mezcla 80%Ar-20%CO₂, respecto a los resultados de macrografía, se determina que no se acepta la probeta PEM (Alambre tubular 80%E71T1-20% E81T1NI2), en

vista que existe alta convexidad en el cordón de soldadura, las demás probetas se ajustan a los requerimientos del código AWS D1.5 – 2010 y ofrecen un buen comportamiento a las combinaciones para el ensayo macrográfico. Por lo tanto, se establece que las probetas PAM, PBM, PCM y PDM pasa a la siguiente etapa de estudio.

Tabla 30. Evaluación del ensayo de macrografía de probetas soldadas y protegidas con 80% Ar-20% CO₂

ID	Grieta	Fusión entre Capas	Fusión MB-MA	Perfil	Porcentaje	A ó R
PAM	No	Completa	Completa	Bueno	100	A
PBM	No	Completa	Completa	Bueno	100	A
PCM	No	Completa	Completa	Bueno	100	A
PDM	No	Completa	Completa	Bueno	100	A
PEM	No	Completa	Completa	Convexo	75	A
PARÁMETROS	Ninguna	Completa	Completa	Detalle de Diseño		
Parámetro de Aceptación (A) o Rechazo (R)						
Relleno Rojo	= Resultado No Aceptable					
Relleno Amarillo	= Resultado Medianamente Aceptable					
Relleno Verde	= Resultado Aceptable					

Fuente: Realizado por el Autor

Del análisis realizado en las fichas técnicas y evaluación correspondientes a la caracterización mecánica a tracción, impacto, doblado guiado y macrografía se consideran dos factores para llegar a la tabla final; primero: se elimina a las probetas PA y PB porque son de materiales independientes, segundo: las probetas PAM, PBM, PDM y PEM se excluyen porque tienen uno o más propiedades mecánicas no aprobadas y aceptadas dentro del código AWS D1.5 y tercero: las condiciones de funcionamiento, quedando las probetas PC, PD, PE y PCM que cumplen con las condiciones y fueron aceptadas en el ensayo.

Por lo tanto, propongo la tabla 31 con el resumen de resultados, en la cual se realiza la evaluación total del comportamiento de los alambres tubulares respecto a las combinaciones de propiedades mecánicas.

Tabla 31. Evaluación de combinaciones de propiedades mecánicas

EVALUACIÓN DE COMBINACIONES DE PROPIEDADES MECÁNICAS																		
ID	TRACCIÓN (2 Puntos)						IMPACTO (1,5 Puntos)		DOBLES GUIADO (1,5 Puntos)				MACROGRAFÍA (2 Puntos)				10/10	
	Sut (MPa) 2 puntos	Dif.	Sy (MPa) 1 punto	Dif.	Elongación % 2 puntos	Dif.	Energía de Impacto (J) 1,5 puntos	Dif.	Grieta en cualquier dirección 0,5 puntos	Sumatoria de todas las discontinuidades 0,5 puntos	Grieta Máximas en las Esquinas 0,5 puntos	%	Grieta 0,5 puntos	Fusión entre Capas 0,5 puntos	Fusión MB-MA 0,5 puntos	Perfil 0,5 puntos	%	Calificación
PC	658.16	59.61	599.13	110.84	23.65	-0.95	54.67	8.67	0	3.9	0	100	No	Completa	Completa	Bueno	100	9,52
PD	651.82	53.27	605.18	116.89	25.33	0.73	45.17	-0.83	0	0	0	100	No	Completa	Completa	Bueno	100	9,80
PE	637.80	39.25	580.54	92.25	26.27	1.67	52.33	6.33	1.2	0	0	100	No	Completa	Completa	Bueno	100	9,90
PCM	679.29	80.74	622.78	134.49	25.23	0.63	52.33	6.33	2,5	0	0	100	No	Completa	Completa	Bueno	100	9,80
PARÁMETROS	598,55		488,29		24,60		46,00		3 mm	10 mm	6 mm	Ninguna	Completa	Completa	Detalle de Diseño			
DESV. ESTD	77,16		93,16		1,60		29,51											
e Aceptación (A) o Rechazo (R)																		
Relleno Rojo = Resultado No Aceptable, bajo la desviación estandar (95% de Confianza)																		
Relleno Amarillo = Resultado Medianamente Aceptable, bajo la desviación estandar																		
Relleno Verde = Resultado Aceptable, igual o por encima de la desviación estandar																		

134

PC= MA: 40%E71T1 - 60%E81T1NI2, GP: 100% CO₂

PD= MA: 50%E71T1 - 50%E81T1NI2, GP: 100% CO₂

PE= MA: 80%E71T1 - 20%E81T1NI2, GP: 100% CO₂

PCM= MA: 40%E71T1 - 60%E81T1NI2, GP: 80% ARGON-20% CO₂

Fuente: Realizado por el Autor

4.4 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

En la tabla 32, se observa distintos valores de propiedades, calificando de esta manera a la hipótesis como positiva, debido a la correcta aplicación de los alambres tubulares en el Acero ASTM A588 para la fabricación de superestructura para puentes, permitiendo obtener valores de propiedades mecánicas distintas, verificando y demostrando de esta manera la hipótesis.

Tabla 32. Resumen de evaluación de combinaciones de propiedades mecánicas

PROPIEDADES	TRACCIÓN			IMPACTO	DOBLES GUIADO			MACROGRAFÍA				10/10
ID	Sut (MPa)	Sy (MPa)	Elongación %	Energía de Impacto (J)	Grieta en cualquier dirección	Sumatoria de todas las discontinuidades	Grieta Máximas en las Esquinas	Grieta	Fusión entre Capas	Fusión MB-MA	Perfil	Calificación
PC	658.16	599.13	23.65	54.67	0	3.9	0	No	Completa	Completa	Bueno	9,52
PD	651.82	605.18	25.33	45.17	0	0	0	No	Completa	Completa	Bueno	9,80
PE	637.80	580.54	26.27	52.33	1.2	0	0	No	Completa	Completa	Bueno	9,90
PCM	679.29	622.78	25.23	52.33	2.5	0	0	No	Completa	Completa	Bueno	9,80

Fuente: Realizado por el Autor

En la figura 41, se muestra las combinaciones que mejor se comportó a la valoración de las propiedades mecánicas con 9.9/10, esta es la prometa PE compuesta por el alambre tubular 80%E71T1-20% E81T1NI2 y protegido con CO₂ en el proceso de soldadura.

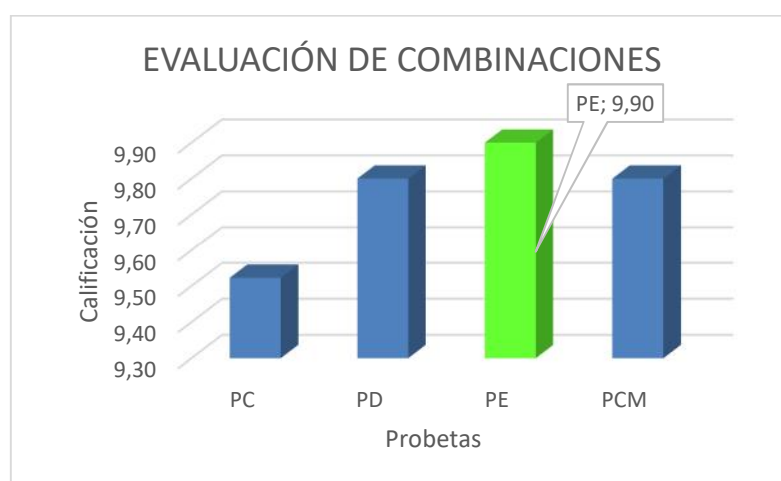


Figura 41. Evaluación de Combinaciones

Fuente: Realizado por el Autor

Como parte final del desarrollo del presente estudio, establezco que la hipótesis es comprobada estadísticamente y comparativamente con la ayuda de medidas aritméticas y la desviación estándar de cada una de las caracterizaciones mecánicas. Esto ha servido para llegar a la tabla 33, donde se indica el mejoramiento de las propiedades mecánicas.

Tabla 33. Comparación de propiedades mecánicas

PROPIEDADES MATERIALES	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	ESFUERZO DE FLUENCIA (MPa)	% DE ELONGACIÓN	ENERGÍA ABSORBIDA (J)
ACERO ASTM A588	485	345	21	27
Probeta PE (Alambre tubular 80%E71T1-20% E81T1NI2) protegido con CO2	637,8	580,54	26,27	52,33

Fuente: Realizado por el Autor

En vista que el mejor porcentaje de las combinaciones de alambres tubulares es la mezcla 80%E71T1 - 20% E81T1NI2 y protegido con CO₂ en el proceso de soldadura, se verifica que el esfuerzo máximo aumenta un 23.9 % con respecto al material base, de igual manera el esfuerzo de fluencia de incrementa un 40.5 %, además el porcentaje de elongación se mejora un 20 %, la energía de impacto en un 48.4 %.

Por lo tanto, se comprueba que el análisis de las combinaciones porcentuales del material de aporte de una junta a tope en un acero ASTM A588 Grado A utilizando los alambres tubulares E71T1 y E81T1NI2 mejora las propiedades mecánicas en la fabricación de superestructura para puentes.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Con el estudio de la fundamentación teórica y el análisis de los datos recolectados, principalmente de la caracterización mecánica a tracción, impacto, doblado guiado y macrografía del material común con los que se fabrican actualmente las superestructuras para puentes y las combinaciones estudiadas, se obtienen las siguientes conclusiones:

-) La determinación correcta de los parámetros del proceso de soldadura permite obtener una técnica del proceso con buena fluidez del baño de fusión, un incremento de la velocidad de depósito, facilita la limpieza y excelente acabado, lo que reflejan las buenas propiedades mecánicas de las probetas ensayadas como se indica en la tabla 32.
-) En las combinaciones se establece que: a medida que se aumenta o disminuye los porcentajes de alambres tubulares con los diferentes gases de protección también varían las propiedades mecánicas, por lo tanto, influyen directamente en los resultados finales como se indica en las tablas 16 y 17.
-) En el análisis de propiedades mecánicas de tracción e impacto, se concluye que las probetas protegidas con gas tipo mezcla durante el proceso de soldadura, obtiene mayor resistencia, pero son de baja ductilidad y muy frágiles por lo tanto las probetas PC, PD y PE protegidas con CO₂ durante el proceso de soldadura presentan mejores propiedades de resistencia a la tracción e impacto como se indica en la tabla 31.

- J En el análisis de doblado guiado se concluye que, existe mayor cantidad de grietas en las probetas que utilizan mezcla de gases de protección durante la soldadura como se indica en la tabla 26, por lo tanto son muy frágiles y en el ensayo macrográfico se observa que en todas las combinaciones existe una buena fusión entre capas de los alambres E71T1 y E81T1NI2, y una buena fusión con el material base como se indica en la tabla 29 y 30 esto debido a la buena selección de parámetros y técnica de soldadura.
- J Se determina que el porcentaje con mejores propiedades mecánicas es la combinación de PE con 80% de alambre E71T1 y 20% de alambre E81T1NI2 para el acero ASTM A588 Grado A protegido con CO₂ durante el proceso de soldadura como se indica en la figura 41.
- J Los parámetros de soldadura para el proceso FCAW influyen directamente con el tipo de junta de soldadura, espesor de la placa a soldar, posición y gas de protección, ofreciendo una gran tolerancia para la fijación de las medidas y pudiendo hacerse cambios sin pérdida de la calidad de soldadura.
- J En las combinaciones de alambres tubulares y con CO₂ como gas de protección durante el proceso de soldadura, se concluye que a medida que se disminuye el alambre E81T1NI2 disminuye la resistencia a la tracción y la resistencia a la fluencia, sin embargo, el % de elongación se incrementa como se indica en la tabla 15 y en las combinaciones y con la mezcla de gases en el proceso de soldadura, se concluye que a medida que se disminuye el alambre E81T1NI2 aumenta la resistencia a la tracción y la resistencia a la fluencia, sin embargo, el % de elongación va disminuyendo esto se indica en la tabla 17.
- J En las combinaciones para el análisis de energía impacto en las probetas soldadas con CO₂ como gas de protección se concluye que a medida que se aumenta el alambre tubular E71T1 aumenta la energía de impacto como se indica en la tabla 19 y por lo tanto estas probetas son muy dúctiles y en las combinaciones para el análisis de energía de impacto en las probetas soldadas con gas de protección tipo mezcla, se indica que a medida que se aumenta el alambre tubular E71T1 disminuye la energía de impacto como se indica en la tabla 21 y por lo tanto estas probetas son de baja ductilidad.

5.2 RECOMENDACIONES

Con la culminación de las pruebas realizadas en el presente estudio se ha considerado establece las siguientes recomendaciones:

-) Elaborar un procedimiento de soldadura utilizando la combinación de alambres tubulares 80%E71T1-20% E81T1Ni2 con CO₂ como gas de protección en una junta a tope del acero ASTM A 588 Grado A, utilizados en la fabricación de superestructura para puentes para tener una buena productividad al mejor costo.
-) Depositar al menos dos capas en la superficie de metales de aporte resistentes a la corrosión en un Acero ASTM A588 Grado A, en cualquier tipo de combinación de alambres tubulares o electrodos.
-) Definir el número de pases para el relleno en una junta de soldadura para realizar la combinación de los alambres tubulares y con ello tener una mejor distribución del material de aporte.
-) Una vez definidos los parámetros, probar el proceso previo a la soldadura para tener un buen acabado superficial y buenas propiedades mecánicas.
-) Verificar el estado del equipo de protección personal antes de realizar el proceso de soldadura FCAW en vista que contiene gas de protección y genera humo continuo durante la etapa de soldadura.
-) En el ensayo de tracción se recomienda controlar el agarre de las mordazas de la maquina universal a la probeta, en vista que es un material de alta resistencia a la rotura.
-) Para el ensayo de impacto, disolver hielo seco en agua destilada para un mejor el enfriamiento de probetas a ensayar.
-) Las probetas para el ensayo de doblado guiado deben tener un buen acabado superficial con ello disminuir la concentración de esfuerzos y grietas durante el ensayo.
-) En el ensayo macrográfico es necesario controlar el tiempo de ataque químico para evitar quemar la superficie y por ende complicar el desarrollo del ensayo.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

ELABORACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PARA EL PROCESO FCAW UTILIZANDO LA COMBINACIÓN DE ALAMBRES TUBULARES 80%E71T1-20%E81T1NI2 CON CO₂ COMO GAS DE PROTECCIÓN EN UNA JUNTA A TOPE DEL ACERO ASTM A 588 GRADO A UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE SUPERESTRUCTURA PARA PUENTES.

6.1 DATOS INFORMATIVOS

Una vez concluido el análisis de las combinaciones porcentuales del material de aporte de una junta a tope en un acero ASTM A588 Grado A utilizando los alambres tubulares E71T1 y E81T1NI2, se ha logrado determinar que con la combinación 80%E71T1-20% E81T1NI2 y CO₂ como gas de protección mejoran las propiedades mecánicas, tales como la resistencia a la tracción, resistencia a la fluencia, porcentaje de elongación y la energía de impacto, además se obtiene mayor resistencia de la junta soldada mediante los ensayos de doblez guiado y se logró mayor penetración del cordón de soldadura con el metal base mediante el ensayo macrográfico.

Este estudio constituye un aporte al área de soldadura y al sector industrial, como en la fabricación de superestructuras, se ha determinado un mejor proceso de soldadura con buenas propiedades mecánicas que influyen directamente en el sector de la superestructura para puentes.

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi, pues en este laboratorio se encuentran los equipos necesarios para realizar los respectivos ensayos, entre los equipos que dispone el laboratorio se puede mencionar: la Máquina Universal (CONTROLS - C78Z00) para el ensayo de tracción, máquina para ensayo de impacto, los equipos (lijas, pulidora de paño, reactivos) para el ensayo macrográfico, los mismos que fueron útiles para determinar las propiedades de interés.

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Mediante la investigación realizada con anterioridad acerca del análisis de las combinaciones porcentuales del material de aporte de una junta a tope en un acero ASTM A588 Grado A utilizando los alambres tubulares E71T1 y E81T1NI2, se determinó que el porcentaje que tiene mejores propiedades mecánicas es la probeta PE con la mezcla del 80% de alambre E71T1 y 20% de alambre E81T1NI2, esta combinación resulta ser la más eficiente y eficaz puesto que con esta composición de materiales de aporte se aumenta las propiedades mecánicas en la fabricación de superestructuras para puentes.

Concluido el presente análisis, se propone la aplicación y la elaboración de un procedimiento de soldadura para el proceso FCAW utilizando la combinación de alambres tubulares 80%E71T1-20% E81T1NI2 con CO₂ como gas de protección en una junta a tope del acero ASTM A 588 Grado A.

6.3 JUSTIFICACIÓN

En los últimos años en el país se ha extendido en gran cantidad el área de soldadura que está ligada directamente en la construcción de puentes, para lo cual es de gran importancia incorporar un procedimiento de soldadura adecuado que permita mejorar la calidad, rendimiento y costos de la producción de superestructura para puentes.

En la actualidad en la fabricación de vigas y armado de puentes metálicos, se siguen procedimientos de soldadura bajo normas desactualizadas y de poca optimización de materiales de aporte, esto genera problemas económicos en los elementos que conforman la estructura, para lo cual es necesario en la construcción superestructuras para puentes, tener un procedimiento actualizado, de calidad y costos que permitan competir en el mercado.

Por lo tanto, es necesario realizar un procedimiento de soldadura para el proceso FCAW utilizando la combinación de alambres tubulares 80%E71T1-20% E81T1NI2 con CO₂ como gas de protección en una junta a tope del acero ASTM A 588 Grado A utilizados en la fabricación de superestructura para puentes.

6.4 OBJETIVOS

6.4.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un procedimiento de soldadura para el proceso FCAW utilizando la combinación de alambres tubulares 80%E71T1-20% E81T1NI2 con CO₂ como gas de protección en una junta a tope del acero ASTM A 588 Grado A utilizados en la fabricación de superestructura para puentes.

6.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

-) Establecer los procesos a seguir para una correcta aplicación de los alambres tubulares en la fabricación de superestructuras para puentes.
-) Elaborar una especificación del procedimiento de soldadura (WPS) y un registro de calificación de procedimientos (PQP) para la combinación de alambres tubulares 80%E71T1-20% E81T1NI2 con CO₂ como gas de protección en una junta a tope del acero ASTM A 588 Grado A.
-) Evaluar los costos por kilo de producción de la combinación de alambres tubulares 80%E71T1-20% E81T1NI2 con CO₂ como gas de protección en una junta a tope para el acero ASTM A 588 GRADO A.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

Se determina que esta propuesta es factible de realizarse, en vista que cuenta con la información necesaria como es el código AWS D1.5-10 (Anexo B), especificaciones del material base (Anexo A-1) y especificaciones del material de aporte (Anexo A-2 y A-3), además del recurso humano especializado e instrumentos, que fueron facilitados por el Laboratorio de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, igualmente todos los materiales y equipos considerados para el desarrollo de la propuesta se encuentran en el mercado nacional y de fácil adquisición, haciendo que este proyecto sea factible de realizarse.

6.5.1 ANÁLISIS TECNOLÓGICO

Con la elaboración del procedimiento de soldadura para el proceso FCAW utilizando la combinación de alambres tubulares 80%E71T1-20% E81T1N12 con CO₂ como gas de protección en una junta a tope del acero ASTM A 588 Grado A utilizados en la fabricación de superestructura para puentes se garantiza la calidad del proceso, además se determina que tecnológicamente también es factible realizar dicho estudio pues en el entorno donde se va a desarrollar el mismo se cuenta con todos los equipos semiautomáticos y materiales para esta propuesta, y los ensayos pueden ejecutarse en los laboratorios de la FICM – UTA y/o en los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

La presente propuesta se fundamentó en la teoría del Capítulo II, IV y V que tiene relación con el marco teórico, análisis de los resultados, conclusiones y recomendaciones, donde se muestran los factores, características y resultados de cada uno de los ensayos realizados durante el estudio para determinar que la combinación de los alambres tubulares 80%E71T1-20% E81T1N12 con CO₂ como gas de protección en una junta a tope del acero ASTM A 588 Grado A en la fabricación de superestructura para puentes es el más indicado.

6.7 METODOLOGÍA

El desarrollo del estudio se lo realiza íntegramente en la Empresa Ecopuentes, ubicado en el Cantón Santa Clara de la Provincia de Pastaza.

A continuación, se detalla el mapa de procesos de fabricación de superestructura para puentes y aplicados para la combinación de alambres tubulares 80%E71T1-20% E81T1NI2 con CO₂ como gas de protección mediante el proceso FCAW en una junta a tope del acero ASTM A 588 Grado A, que anteriormente se hacía únicamente con el Alambre Tubular E81T1NI2.



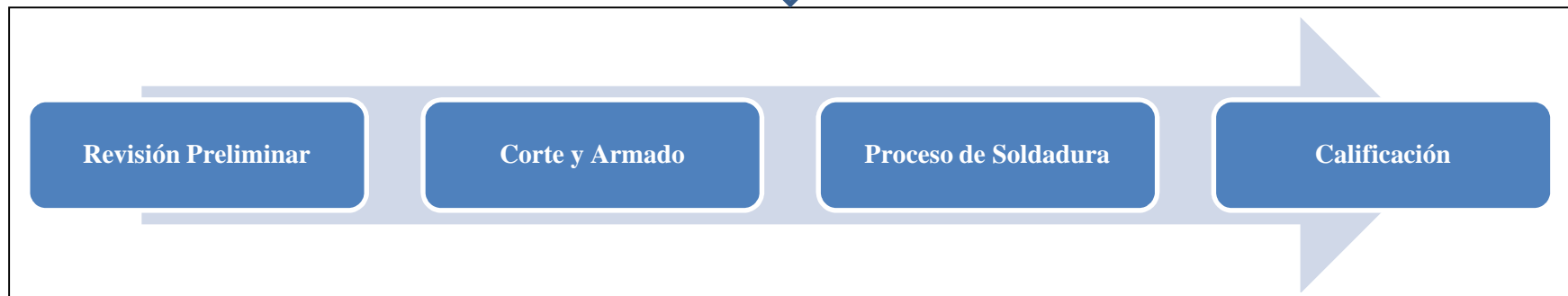
MAPA DE PROCESOS PARA LA FABRICACIÓN DE SUPERESTRUCTURA PARA PUENTES

PROCESO DE FABRICACIÓN DE SUPERESTRUCTURA

1. Proceso de Dirección



2. Procesos Operativos o Cadena de Valor



3. Proceso de Soporte



Elaborado: Ing. Oscar Analuiza

Verificado: Ing. Juan Paredes Mg.

Fecha: 15/10/2016

Revisado: Ing. Oscar Analuiza

Validado: Ing. Juan Paredes Mg.



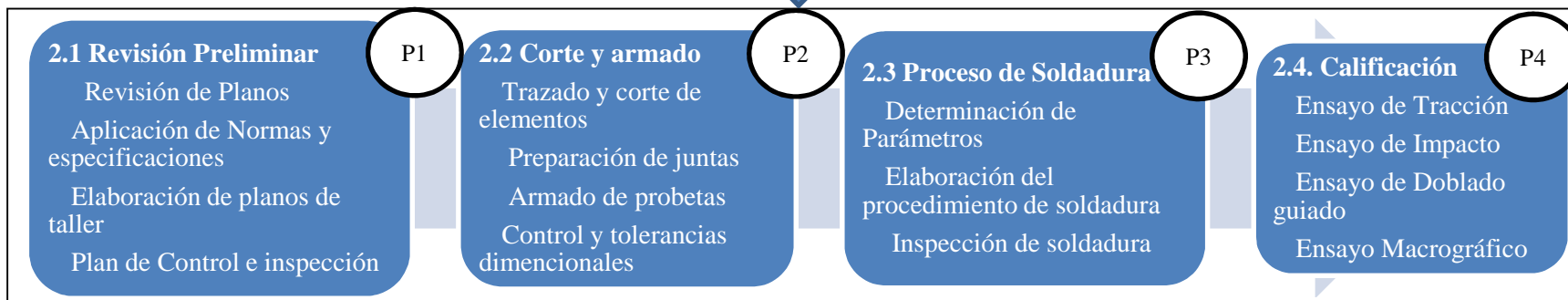
MAPA DE PROCESOS PARA LA FABRICACIÓN DE SUPERESTRUCTURA PARA PUENTES

PROCESO DE FABRICACIÓN DE SUPERESTRUCTURA

1. Proceso de Dirección



2. Procesos Operativos o Cadena de Valor



3. Proceso de Soporte



Elaborado: Ing. Oscar Analuiza



Verificado: Ing. Juan Paredes, Mg.

Revisado: Ing. Oscar Analuiza

Validado: Ing. Juan Paredes, Mg.

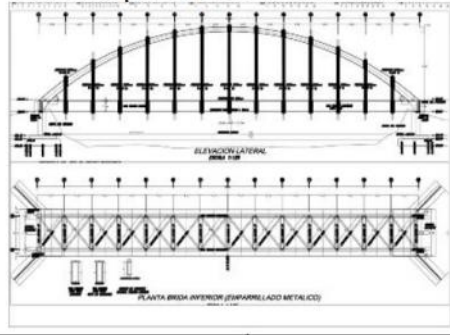
Fecha: 15/10/2016

6.7.1 Revisión Preliminar

	<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p>	 Código: PF-01
<p>1. OBJETIVO:</p> <ul style="list-style-type: none">• Revisar los planos de diseño, normas y especificaciones para la elaboración de planos de taller y establecer el proceso de control.• Aportar un procedimiento de apoyo técnico que sirva como guía para el desarrollo en forma adecuada del proceso de control del proyecto. <p>2. ALCANCE</p> <p>Cubre los requisitos de construcción aplicables a la construcción total de puentes y componentes para la fabricación de superestructuras en taller o campo.</p> <p>3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA</p> <p>Este documento se encuentra sustentado en el marco teórico investigado en el capítulo II y en catálogos, además en el código AWS D1.5 – 10 (Código de soldadura para puentes)</p> <p>4. GENERALIZACIÓN</p> <p>Al realizar un procedimiento de soldadura para el proceso FCAW utilizando la combinación de alambres tubulares 80%E71T1-20% E81T1N12 con CO₂ como gas de protección en una junta a tope del acero ASTM A 588 Grado A utilizados en la fabricación de superestructura para puente, permite mejorar las propiedades mecánicas y disminuir los costos del proceso.</p> <p>5. REALIZACIÓN</p> <p>Para la aplicación del control y revisión de los planos de diseño, catálogos y normas, se realiza los siguientes pasos:</p>		

**REVISIÓN
PRELIMINAR
(P1)**

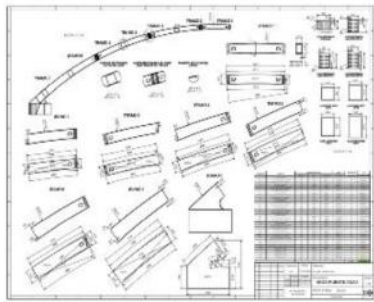
1
Revisión de planos de diseño
facilitado por la entidad contratante.



2
Aplicación de normas, códigos y
especificaciones.



4
Elaboración de planos detallados
de taller.

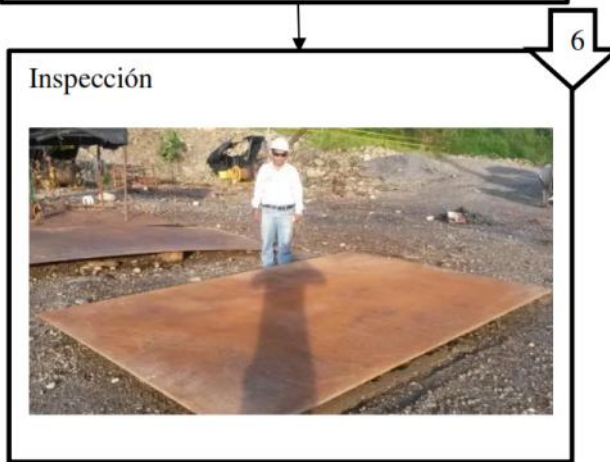
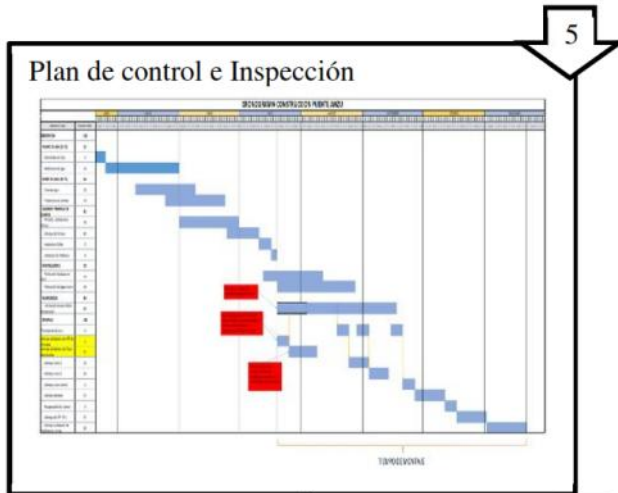


REG. 1

3
Elaboración de planos de taller
isométricos.



RESIDENTE



7

Registro de Control e inspección



The form is titled "Registro de Control e inspección" and is a detailed document for recording inspection data. It includes fields for project information, inspection details, and a signature section. The form is numbered "REG. 2".

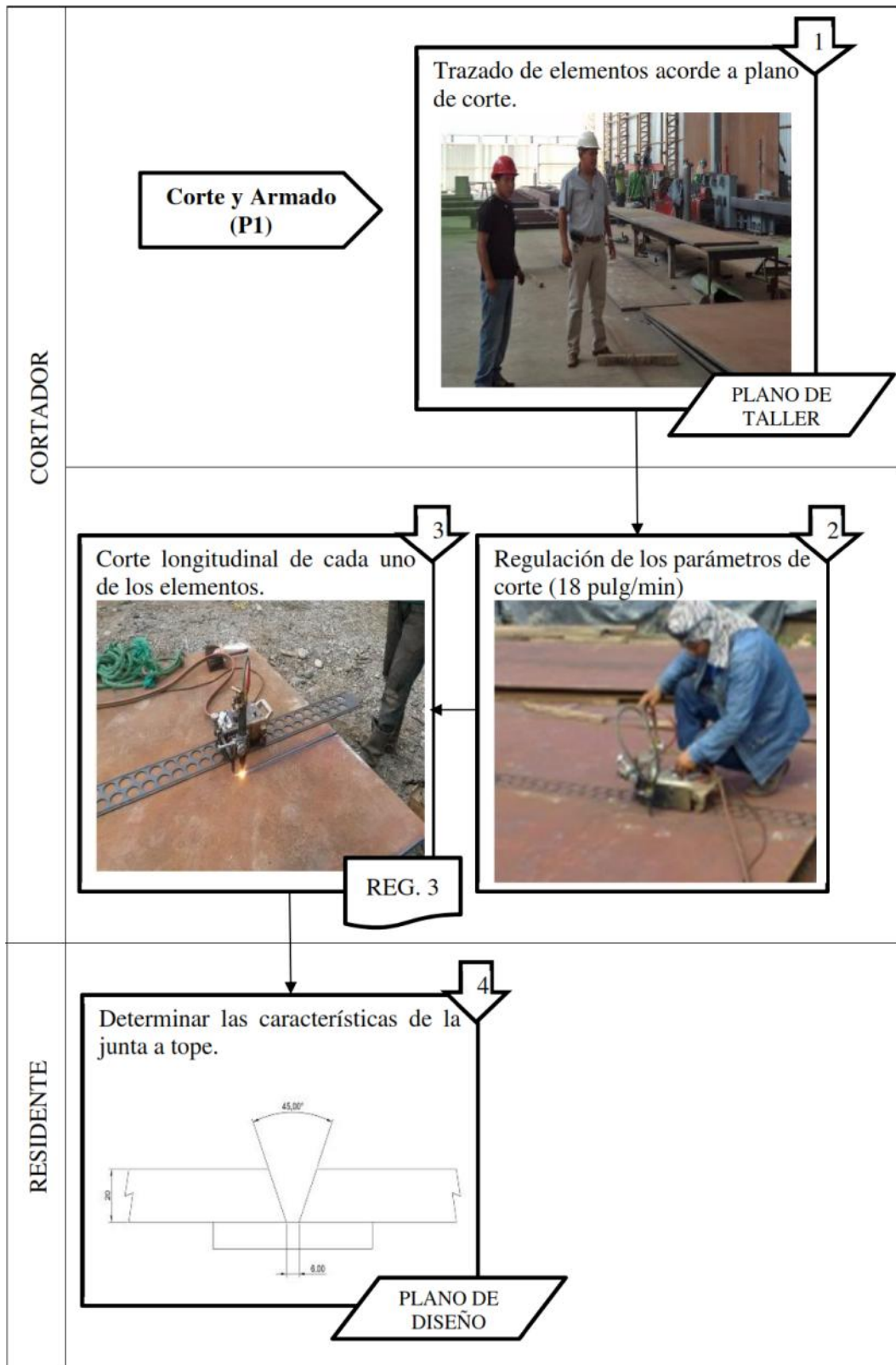
Elaborado: Ing. Oscar Analuiza

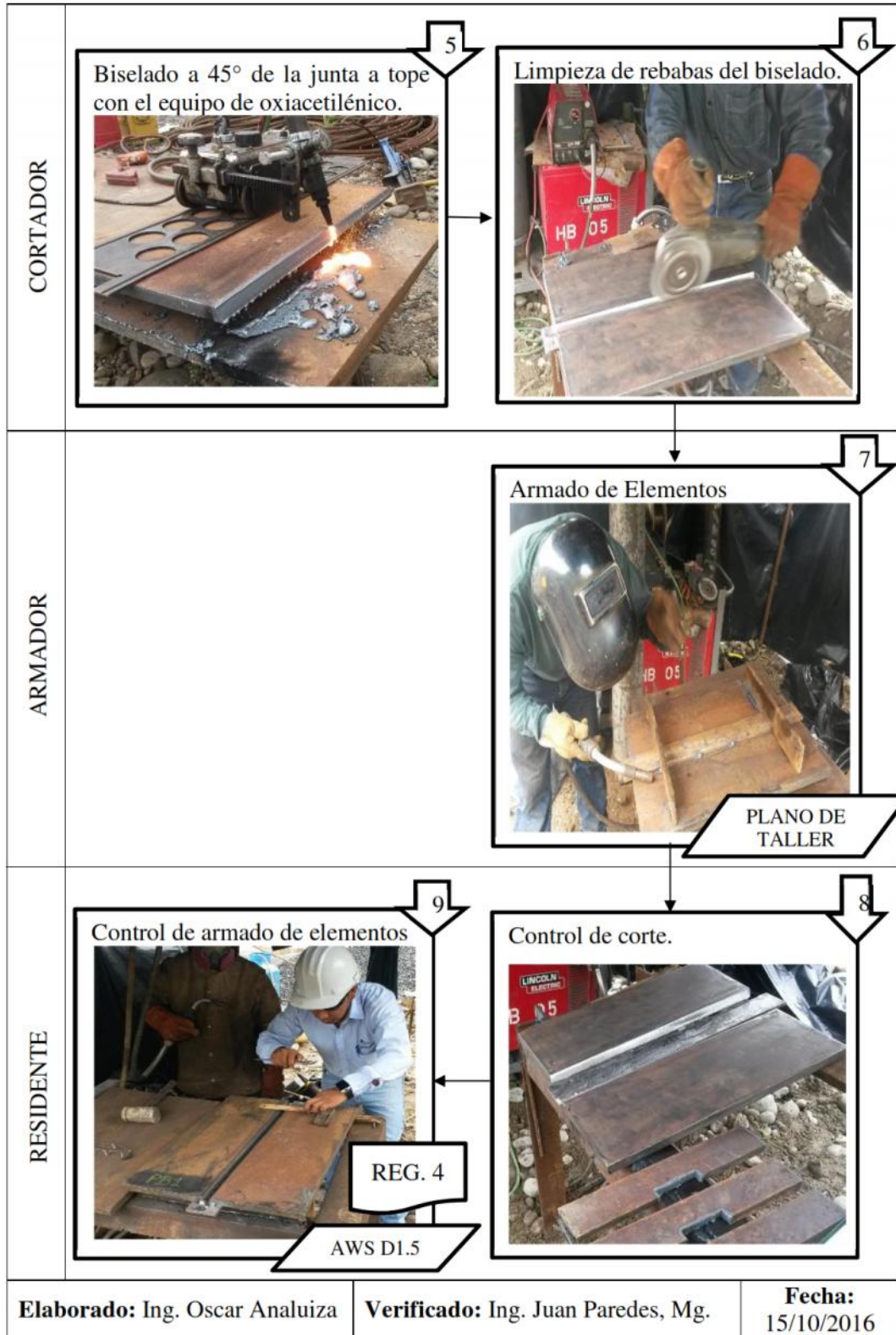
Verificado: Ing. Juan Paredes, Mg.

Fecha:
15/10/2016



6.7.2 Corte y Armado

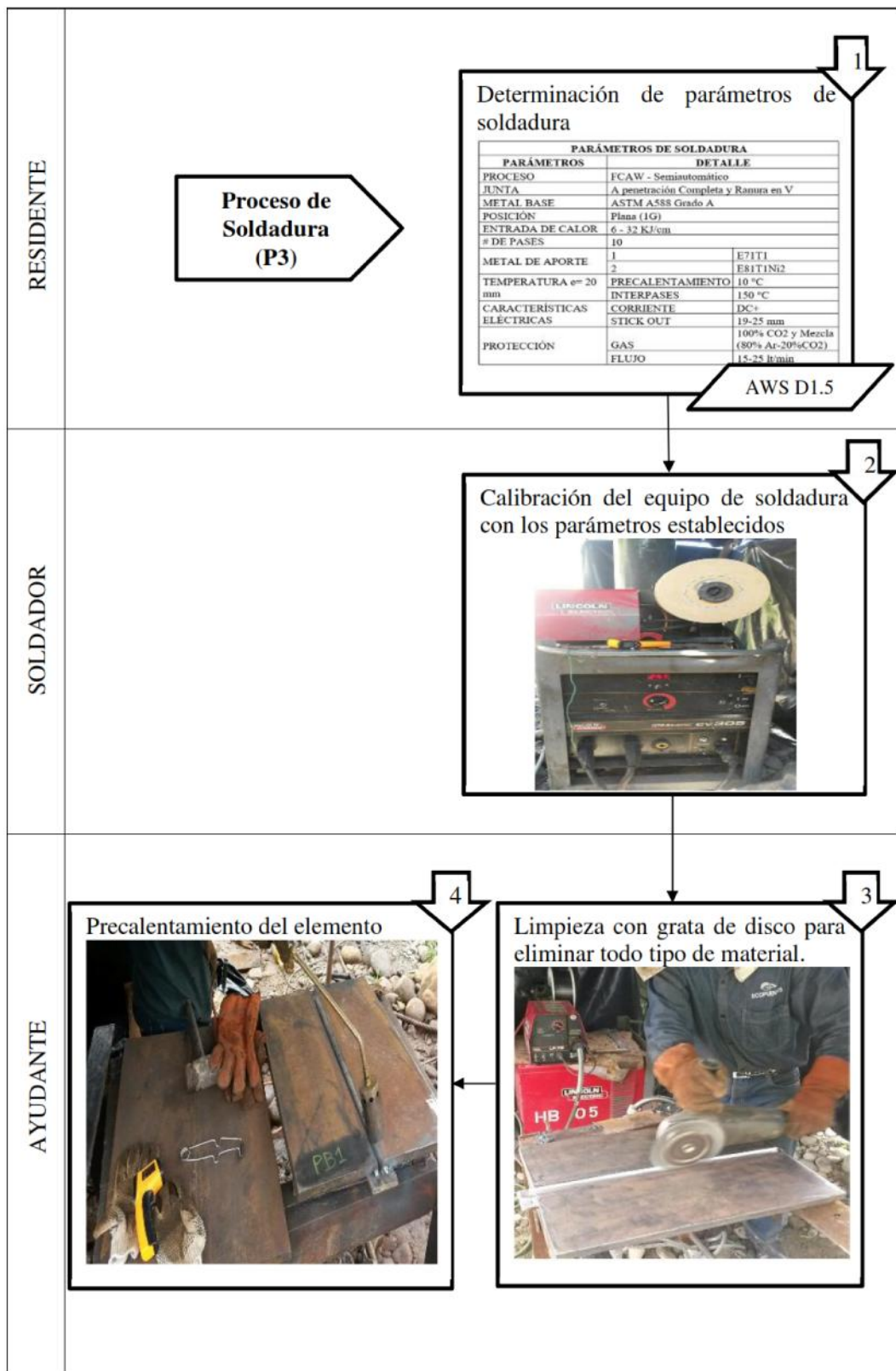
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
CORTE Y ARMADO		Código: PF-02
<p>1. OBJETIVO:</p> <ul style="list-style-type: none">• Distribuir cada uno de los elementos en las planchas de Acero para la optimización de material y control de elementos.• Armar el elemento acorde al código AWS D1.5 y cumpla con las tolerancias dimensionales permitidas. <p>2. ALCANCE</p> <p>Cubre los requisitos de construcción aplicables a la construcción total de puentes y componentes para la fabricación de superestructuras en taller o campo.</p> <p>3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA</p> <p>Este documento se encuentra sustentado en el marco teórico investigado en el capítulo II y en catálogos, además en el código AWS D1.5 – 10 (Código de soldadura para puentes)</p> <p>4. GENERALIZACIÓN</p> <p>Al realizar un procedimiento de soldadura para el proceso FCAW utilizando la combinación de alambres tubulares 80%E71T1-20% E81T1N12 con CO₂ como gas de protección en una junta a tope del acero ASTM A 588 Grado A utilizados en la fabricación de superestructura para puente, permite mejorar las propiedades mecánicas y disminuir los costos del proceso.</p> <p>5. REALIZACIÓN</p> <p>Para el corte y armado de acero ASTM A 588, se realizan los siguientes pasos:</p>		

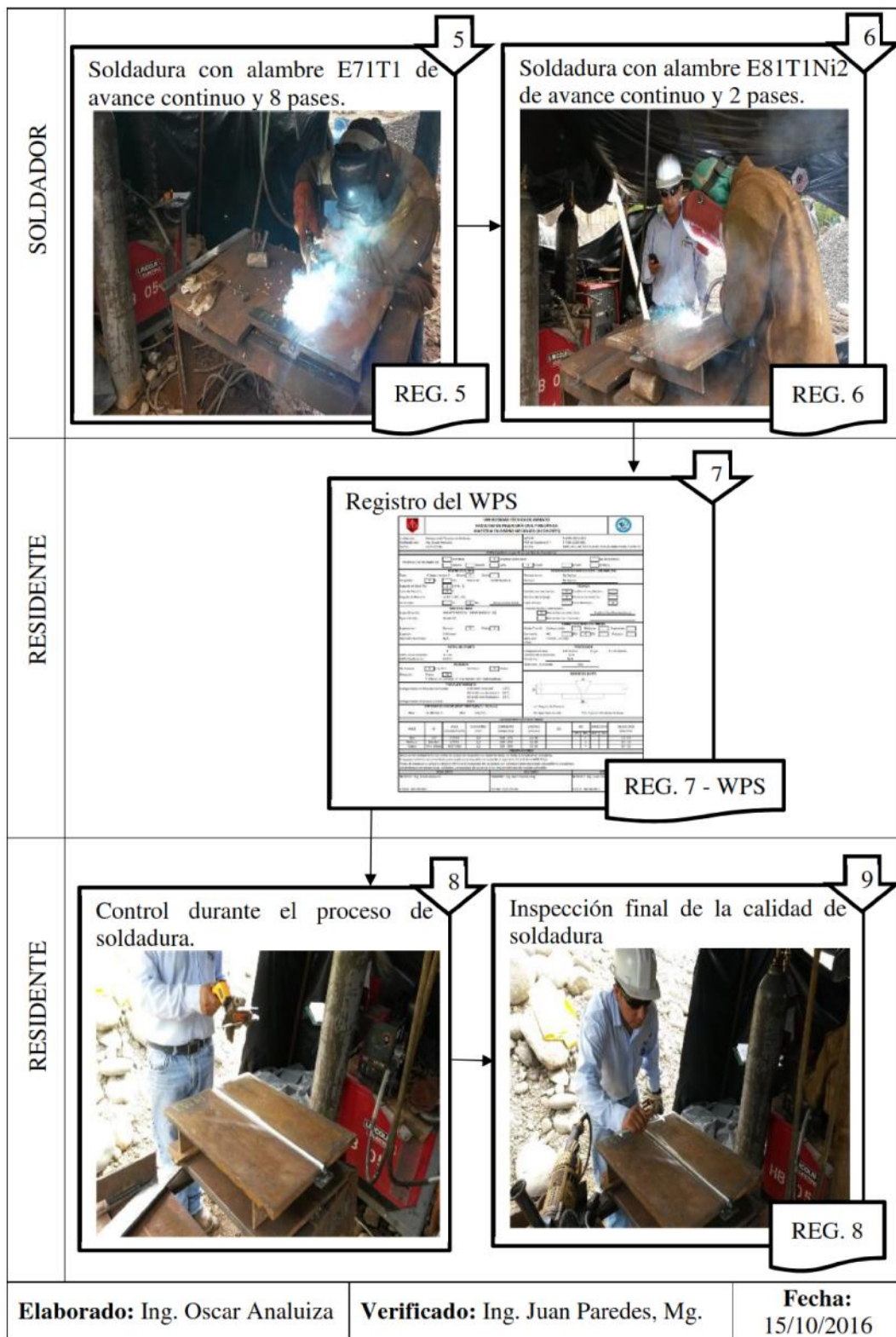






6.7.3 Proceso de Soldadura

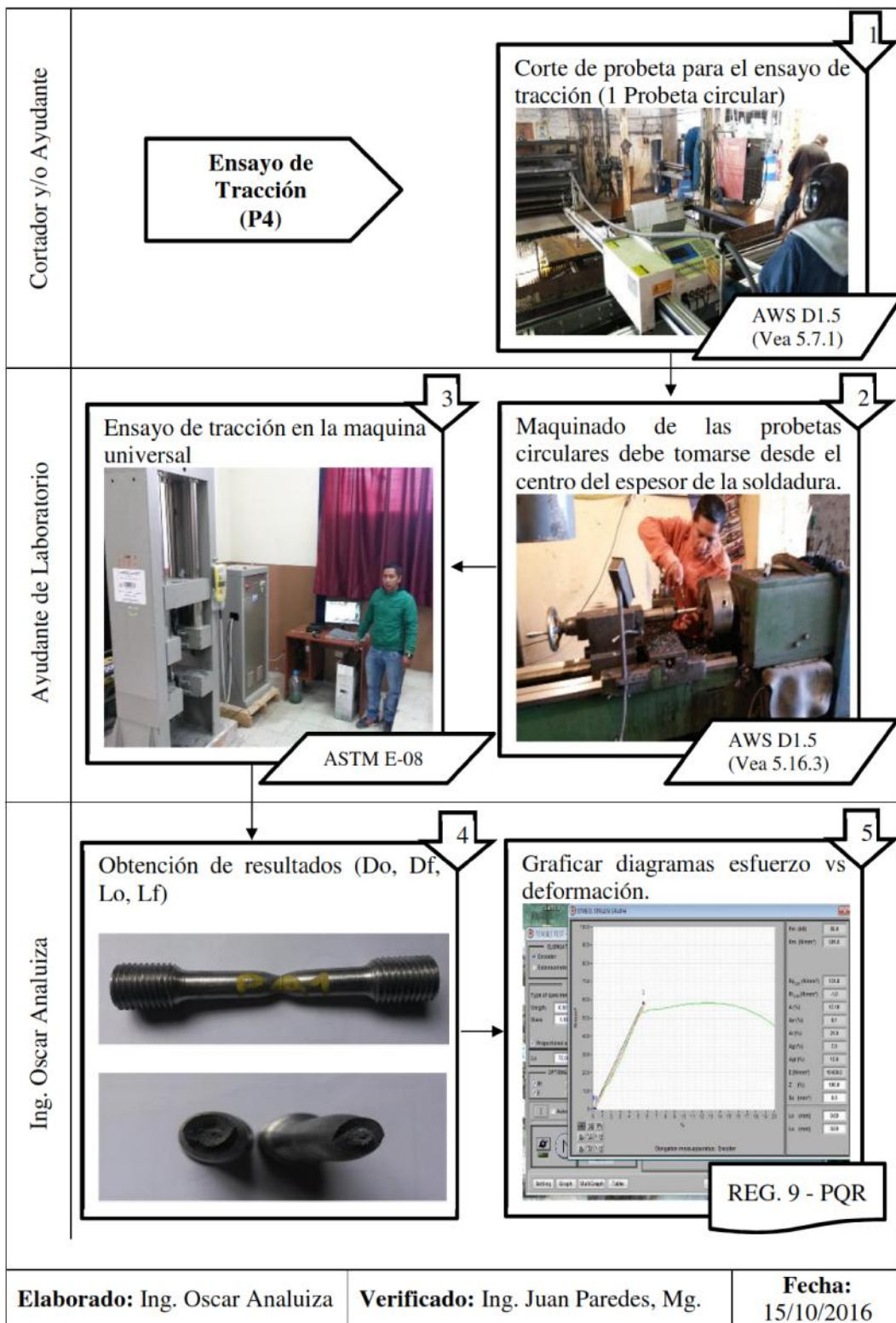
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
PROCESO DE SOLDADURA		Código: PF-03
<p>1. OBJETIVO:</p> <ul style="list-style-type: none">• Determinar los parámetros de soldadura para la combinación de alambres tubulares bajo las condiciones del código AWS D1.5 y CO₂ como gas de protección.• Elaboración del WPS y PQR para las combinaciones de alambres tubulares acorde al código AWS D 1.5. <p>2. ALCANCE</p> <p>Cubre los requisitos de construcción aplicables a la construcción total de puentes y componentes para la fabricación de superestructuras en taller o campo.</p> <p>3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA</p> <p>Este documento se encuentra sustentado en el marco teórico investigado en el capítulo II y en catálogos, además en el código AWS D1.5 – 10 (Código de soldadura para puentes).</p> <p>4. GENERALIZACIÓN</p> <p>Al realizar un procedimiento de soldadura para el proceso FCAW utilizando la combinación de alambres tubulares 80%E71T1-20% E81T1N12 con CO₂ como gas de protección en una junta a tope del acero ASTM A 588 Grado A utilizados en la fabricación de superestructura para puente, permite mejorar las propiedades mecánicas y disminuir los costos del proceso.</p> <p>5. REALIZACIÓN</p> <p>Para la soldadura de las combinaciones de alambres tubulares 80%E71T1-20% E81T1N12 con CO₂ como gas de protección, se realizan los siguientes pasos:</p>		





6.7.4 Calificación

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE TRACCIÓN</p>	 Código: PF-04
<p>1. OBJETIVO:</p> <ul style="list-style-type: none">• Determinar las propiedades mecánicas acorde al código AWS D1.5• Aportar un procedimiento de apoyo técnico que sirva como guía para el desarrollo en forma adecuada de los ensayos de tracción. <p>2. ALCANCE</p> <p>Cubre las especificaciones del procedimiento de soldadura (WPS) según el código AWS D1.5.</p> <p>3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA</p> <p>El documento de referencia se encuentra sustentado en el marco teórico investigado en el capítulo II y en catálogos, así como también en el código AWS D1.5 -10 (Código de soldadura para puentes) y la norma ASTM E-08 (Métodos de prueba estándar para tensión en materiales metálicos).</p> <p>4. GENERALIZACIÓN</p> <p>Al realizar un procedimiento de soldadura para el proceso FCAW utilizando la combinación de alambres tubulares 80%E71T1-20% E81T1NI2 con CO₂ como gas de protección en una junta a tope del acero ASTM A 588 Grado A utilizados en la fabricación de superestructura para puente, permite mejorar las propiedades mecánicas y disminuir los costos del proceso.</p> <p>5. REALIZACIÓN</p> <p>Para el ensayo de tracción se realizan los siguientes pasos:</p>		





1. OBJETIVO:

- Determinar las propiedades mecánicas acorde al código AWS D1.5
- Aportar un procedimiento de apoyo técnico que sirva como guía para el desarrollo en forma adecuada del ensayo de impacto.

2. ALCANCE

Cubre las especificaciones del procedimiento de soldadura (WPS) según el código AWS D1.5.

3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA

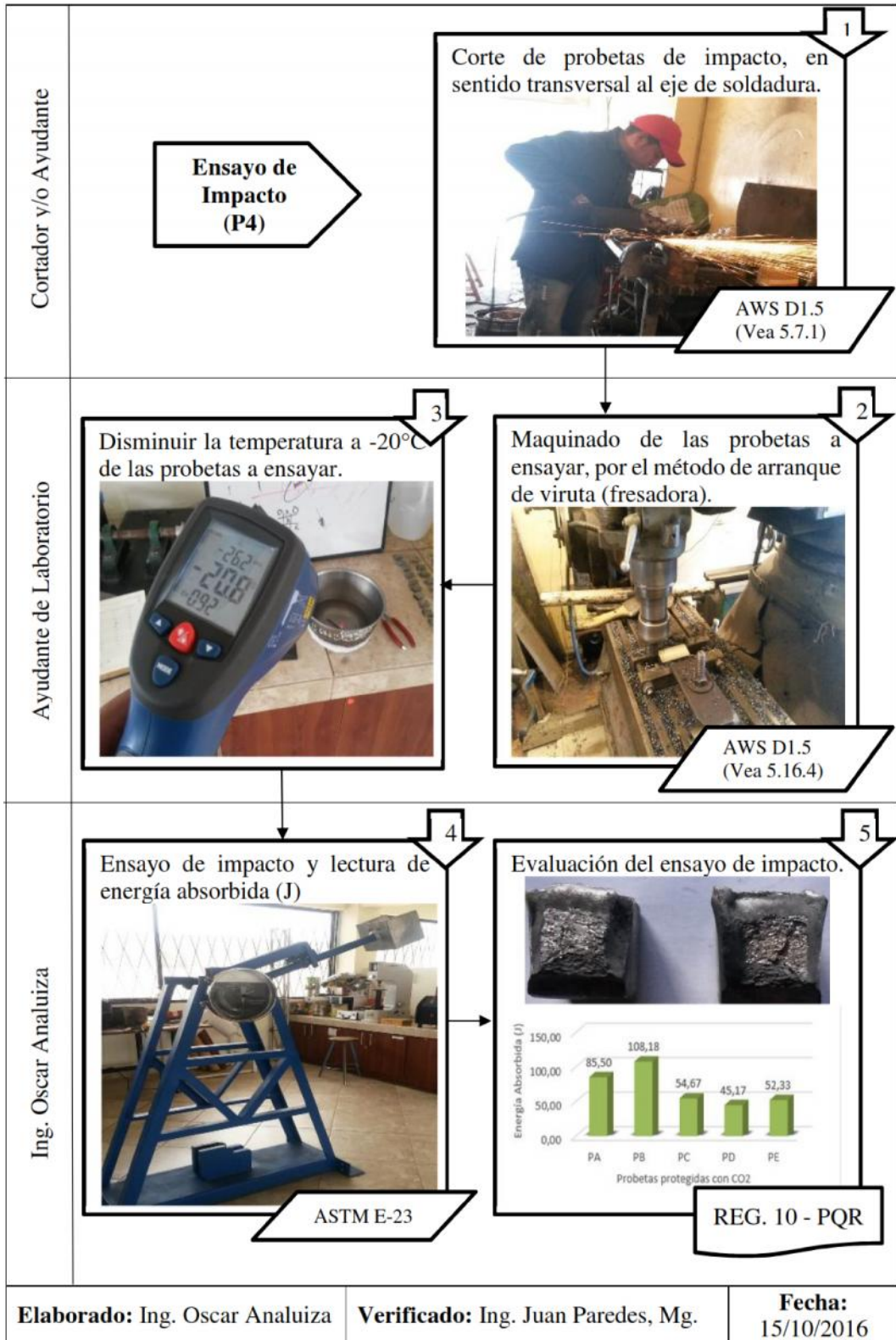
El documento de referencia se encuentra sustentado en el marco teórico investigado en el capítulo II y en catálogos, así como también en el código AWS D1.5 -10 (Código de soldadura para puentes) y la norma ASTM E-23 (Métodos de prueba estándar para tensión en materiales metálicos).

4. GENERALIZACIÓN

Al realizar un procedimiento de soldadura para el proceso FCAW utilizando la combinación de alambres tubulares 80%E71T1-20% E81T1N12 con CO₂ como gas de protección en una junta a tope del acero ASTM A 588 Grado A utilizados en la fabricación de superestructura para puente, permite mejorar las propiedades mecánicas y disminuir los costos del proceso.

5. REALIZACIÓN

Para el ensayo de impacto, se realizan los siguientes pasos:





1. OBJETIVO:

- Determinar la defectología (discontinuidades o defectos como fisura, poros, grietas) en las juntas soldadas acorde al código AWS D1.5.
- Aportar un procedimiento de apoyo técnico que sirva como guía para el desarrollo en forma adecuada del ensayo de doblado guiado.

2. ALCANCE

Cubre las especificaciones del procedimiento de soldadura (WPS) según el código AWS D1.5.

3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA

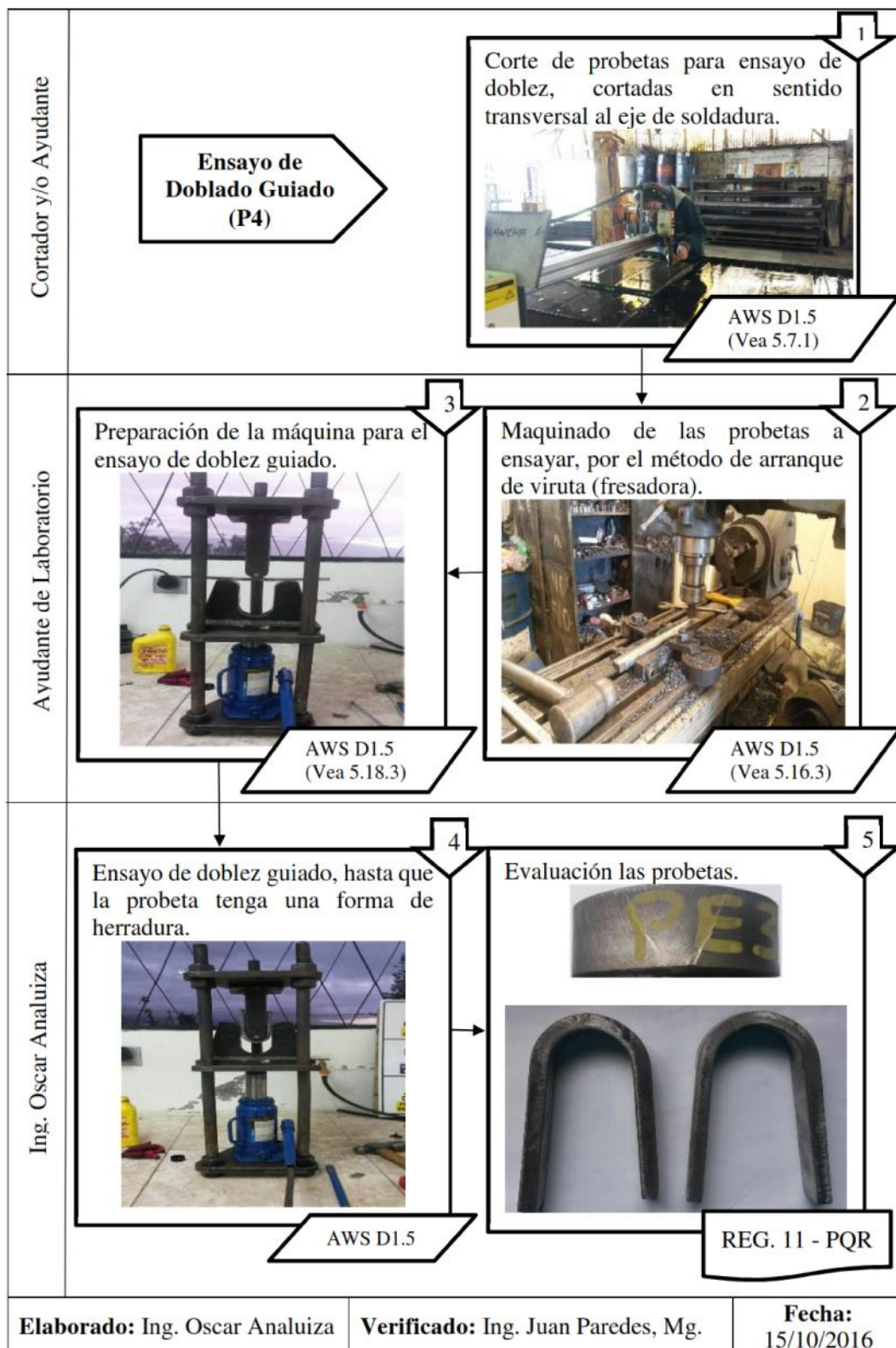
El documento de referencia se encuentra sustentado en el marco teórico investigado en el capítulo II y en catálogos, así como también en el código AWS D1.5 -10 (Código de soldadura para puentes).

4. GENERALIZACIÓN

Al realizar un procedimiento de soldadura para el proceso FCAW utilizando la combinación de alambres tubulares 80%E71T1-20% E81T1N12 con CO₂ como gas de protección en una junta a tope del acero ASTM A 588 Grado A utilizados en la fabricación de superestructura para puente, permite mejorar las propiedades mecánicas y disminuir los costos del proceso.

5. REALIZACIÓN

Para el ensayo de doblado guiado, se realizan los siguientes pasos:





1. OBJETIVO:

- Determinar mediante examinación visual las características generales y posibles defectos en el cordón de soldadura acorde al código AWS D1.5.
- Aportar un procedimiento de apoyo técnico que sirva como guía para el desarrollo en forma adecuada del ensayo macrográfico.

2. ALCANCE

Cubre las especificaciones del procedimiento de soldadura (WPS) según el código AWS D1.5.

3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA

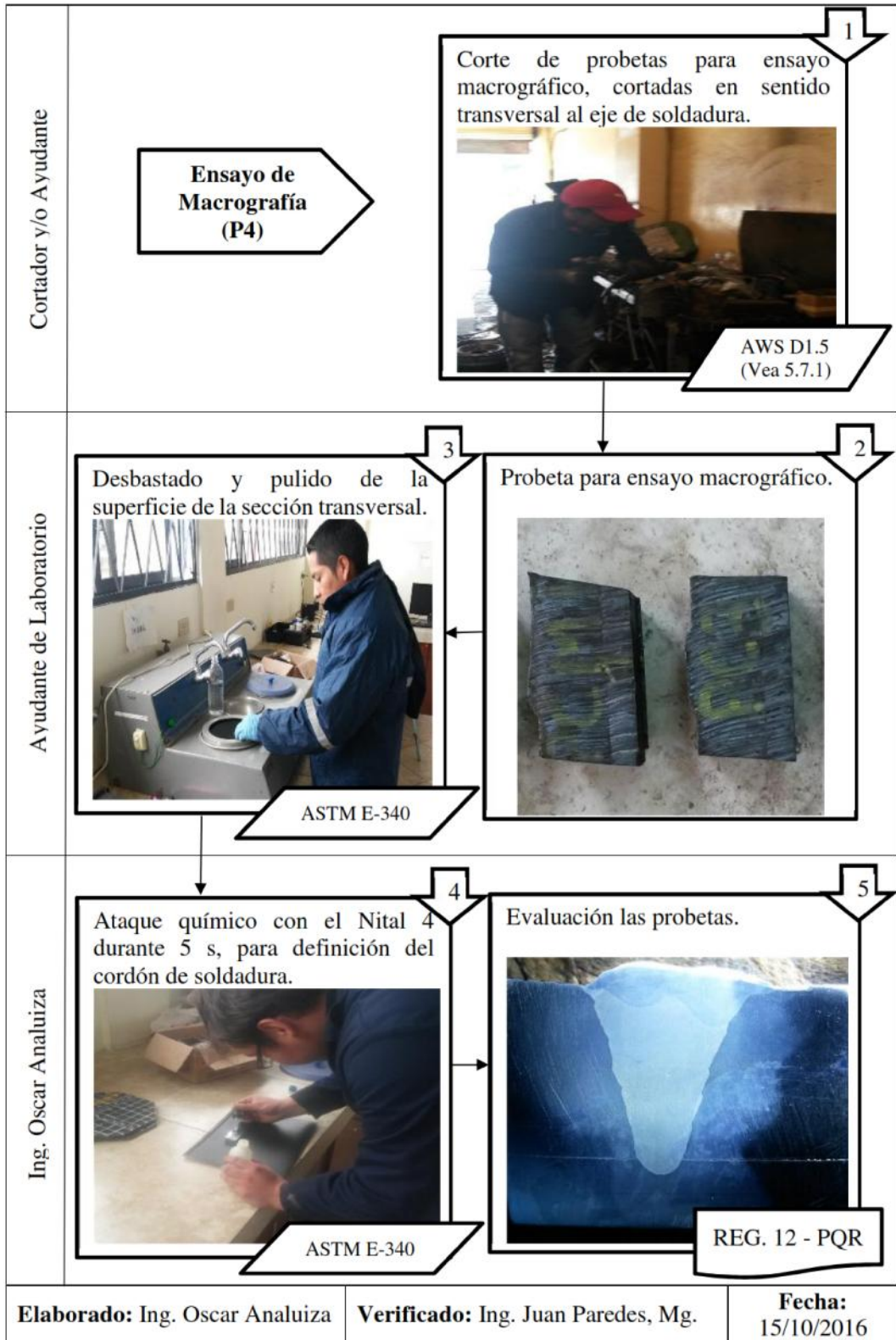
El documento de referencia se encuentra sustentado en el marco teórico investigado en el capítulo II y en catálogos, así como también en el código AWS D1.5 -10 (Código de soldadura para puentes).

4. GENERALIZACIÓN

Al realizar un procedimiento de soldadura para el proceso FCAW utilizando la combinación de alambres tubulares 80%E71T1-20% E81T1N12 con CO₂ como gas de protección en una junta a tope del acero ASTM A 588 Grado A utilizados en la fabricación de superestructura para puente, permite mejorar las propiedades mecánicas y disminuir los costos del proceso.



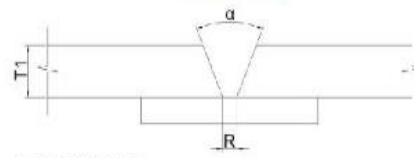
5. REALIZACIÓN



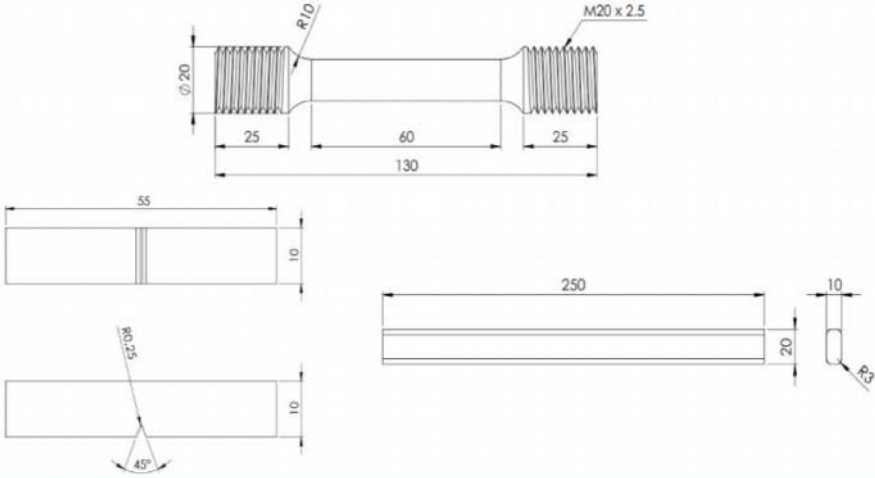
Para el ensayo macrográfico, se realizan los siguientes pasos:



6.7.5 Especificación del procedimiento de soldadura para la combinación de alambre tubulares 80%E71T1-20% E81T1Ni2.

6.7.5.1 WPS (Especificación del Procedimiento de Soldadura)

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRIA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)											
Institución: Universidad Técnica de Ambato Realizado por: Ing. Oscar Analuiza Fecha: 27/10/2016		WPS N°: T-WPS-2016-001 PQR de Soporte N°: T-PQR-2016-001 Norma: AWS D1.5-10 "CODIGO DE SOLDADURA PARA PUENTES"											
FCAW (Soldadura por Arco con Núcleo Fundente)													
PROCESO DE SOLDADURA: <input type="checkbox"/> MANUAL <input checked="" type="checkbox"/> SEMIAUTOMATICO <input type="checkbox"/> AUTOMATICO <input type="checkbox"/> SMAW <input type="checkbox"/> GMAW <input type="checkbox"/> SAW <input checked="" type="checkbox"/> FCAW <input type="checkbox"/> GTAW <input type="checkbox"/> OTROS:													
DISEÑO DE JUNTA Tipo: A tope, ranura V Simple <input checked="" type="checkbox"/> Doble <input type="checkbox"/> Respaldo: <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No Material: A588 Grado A Espacio de Raíz (R): <input checked="" type="checkbox"/> 6 (+6, -2) Cara de Raíz (f): <input checked="" type="checkbox"/> 0 Angulo de Ranura: $\alpha=45^\circ (-10^\circ, -5^\circ)$ Resanado: <input type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> No Penetración Total				TRATAMIENTO TERMICO POST - SOLDADURA Temperatura: No Aplica Tiempo: No Aplica TECNICA Cordon con oscilación: <input checked="" type="checkbox"/> Cordon sin oscilación: <input type="checkbox"/> Técnica de Empuje: <input checked="" type="checkbox"/> Técnica de arrastre: <input type="checkbox"/> Capa Simple: <input type="checkbox"/> Capa Múltiple: <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza Inicial / entrepases <input checked="" type="checkbox"/> Herramientas eléctricas <u>Piedra / Cepillos metálicos</u> <input type="checkbox"/> Herramientas manuales									
MATERIAL BASE Especificación: AASHTO M270 Gr. 345W (A588 Gr 50) Tipo / Grado: Grado 50 Espesor en: Ranura <input checked="" type="checkbox"/> Filete <input checked="" type="checkbox"/> Espesor: 3-60 mm Diámetro Nominal: N/A				CARACTERISTICAS ELECTRICAS Modo Transf: Cortocircuito <input type="checkbox"/> Globular <input type="checkbox"/> Aspersión <input type="checkbox"/> Corriente: AC <input type="checkbox"/> DC+ <input type="checkbox"/> DC- <input checked="" type="checkbox"/> Pulsado <input type="checkbox"/> Stick out: 19 mm - 25 mm Otras:									
METAL DE APOORTE 1 AWS Especificación: A 5.20 AWS Clasificación: E71T-1				PROTECCION Composición Gas: 100 % CO ₂ Flujo: 15-25 lt/min Tamaño de la boquilla: N/A Fundente: N/A Electrodo - Fundente: N/A									
POSICION De Ranura: <input checked="" type="checkbox"/> F, V, OH De Filete: <input checked="" type="checkbox"/> Todas Dirección: Plana <input checked="" type="checkbox"/> 1G F: Plana ; V: Vertical ; H: Horizontal ; OH: Sobrecabeza				DISEÑO DE JUNTA  α = Angulo de Ranura R = Apertura de raíz T1 = Espesor del material base									
PRECALENTAMIENTO Temperatura de Pre calentamiento: <table border="0"> <tr> <td>t < 20 mm (incluido)</td> <td>10°C</td> </tr> <tr> <td>20 < t < 40 mm (incluido)</td> <td>20°C</td> </tr> <tr> <td>40 < t < 65 mm (incluido)</td> <td>65°C</td> </tr> </table> Temperatura interpasos (max): 160°C								t < 20 mm (incluido)	10°C	20 < t < 40 mm (incluido)	20°C	40 < t < 65 mm (incluido)	65°C
t < 20 mm (incluido)	10°C												
20 < t < 40 mm (incluido)	20°C												
40 < t < 65 mm (incluido)	65°C												
ENTRADA DE CALOR (HEAT INPUT) (KJ/in - KJ/mm) Max: 32.48 KJ/cm Min: 6 KJ/cm													
CARACTERISTICAS ELECTRICAS													
PASE	N°	AWS DESIGNACION	DIAMETRO (mm)	CORRIENTE (Amperios)	VOLTAJE (Voltios)	CA	DC		DIRECCION		VELOCIDAD (cm/min)		
							DIR	INV	ASC	DES			
Raíz	1er	E71T1	1,2	150 - 275	22-30			+			15 - 33		
Relleno	2do-8vo	E71T1	1,2	150 - 275	22-30			+			15 - 33		
Capas	9no-10mo	E81T1Ni2	1,2	150 - 300	22-32			+			15 - 33		
OBSERVACIONES													
Debe existir completa fusión entre las placas de respaldo y el material base, en toda la longitud de soldadura. El espesor mínimo recomendado para la placa de respaldo de acuerdo al apartado 3.13.4 de la AWD D1.5. Antes de empezar a soldar se deberá eliminar la humedad de las juntas con calentamiento mediante oxiacetileno o sopletes. Las probetas son preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo a los requerimientos del código aplicable.													
REALIZADO				REVISADO				APROBADO					
NOMBRE: Ing. Oscar Analuiza				NOMBRE: Ing. Juan Paredes Mg.				NOMBRE: Ing. Juan Paredes Mg.					
FECHA: 30/10/2016				FECHA: 30/10/2016				FECHA: 30/10/2016					

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRIA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)			
Institución: Universidad Técnica de Ambato Realizado por: Ing. Oscar Analuiza Fecha: 27/10/2016		Califica al WPS N°: T-WPS-2016-001 PQR de Soporte N°: T-PQR-2016-001 Norma: AWS D1.5-10 "CODIGO DE SOLDADURA PARA PUENTES"	
FCAW (Soldadura por Arco con Núcleo Fundente) Pag. 2 de 2			
ENSAYOS DESTRUCTIVOS			
DETALLE DE PROBETAS			
			
1. ENSAYO DE TRACCIÓN ZONA DE SOLDADURA (AWMT) - PROBETA CIRCULAR			
Registro a la Tracción (MPa): 662,51		Limite deFluencia (MPa): 615,29	
Elongación en 50 mm (%): 22,21		Reducción en Area (%): -	
Observaciones sobre el ensayo de tracción: Aprobado			
2. INSPECCIÓN VISUAL (VT)			
Calificado (VT): Si		Aprueba Macrografia: Aprueba	
Descalificado (VT):		No Aprueba Macrografia:	
Observaciones sobre el ensayo: Aprobado, no se observa discontinuidades			
3. ENSAYO DE IMPACTO			
	IDENTIFICACION	ENERGIA DE IMPACTO (J)	OBSERVACION
	P1	52	Aprueba
	P2	53	Aprueba
	P3	43	Aprueba
	P4	63	Aprueba
	P5	42	Aprueba
	*PROMEDIO	45,67	Aprueba
*Promedio se obtiene de los tres valores intermedios de la energía de impacto.			
Observaciones sobre el ensayo: Aprobado, no se observa discontinuidades			
4. ENSAYO DE DOBLADO			
CARA (DC)/RAIZ (DR)/LATERAL (DL)		CARA (DC)/RAIZ (DR)/LATERAL (DL)	
DL 1: Aprobado	DL 2: Aprobado	DL 3: Aprobado	DL 4: Aprobado
Observaciones en el ensayo de doblado: Aprobado			
5. MACROGRAFÍA			
M 1: Aprobado	M 2: Aprobado	M 3: Aprobado	M 4: Aprobado
Observaciones en el ensayo macrográfico: Aprobado, presentan buena penetración, fusión entre fases y fusión del metal base - metal de aporte			
LIMITACIONES DE CALIFICACIÓN			
El procedimiento de soldadura queda habilitado para soldadura de un ajunta a tope de posición plana (1G)			
El proceso utilizado es FCAW-G			
Límite de calificación en metal base: Todos los materiales especificados con ASTM A-588			
Límite de calificación en material de aporte: Alambre tubular E71T1 y E81T1Ni2			
REALIZADO		REVISADO	
NOMBRE: Ing. Oscar Analuiza		NOMBRE: Ing. Juan Paredes Mg.	
FECHA: 30/10/2016		FECHA: 30/10/2016	
APROBADO			
NOMBRE: Ing. Juan Paredes Mg.			
FECHA: 30/10/2016			

6.7.6 Valorización económica.

La determinación del costo del proceso de soldadura para la combinación de alambres tubulares se realizó mediante el método APU (Análisis de Precios Unitarios) y una hoja de cálculo.

El costo aproximado de la soldadura para el proceso FCAW con material de aporte individual o material de aporte combinado, se consigue mediante las consideraciones y la sumatoria de los siguientes costos:

-) Costos de equipos y herramientas
-) Costo de mano de obra
-) Costo de materiales
-) Indirectos y Utilidad

Para determinar el costo de equipos y herramientas se utilizó la proforma de alquiler de Equipos de la empresa Disproseg de Quito, el costo de la mano de obra se tomó referencia ofertas de anteriores construcciones en vista que se requiere mano de obra especializada, para el costo de materiales se tomó como referencia las proformas de las empresas Disproseg, Indura, Ipac y Acero Comercial, finalmente se consideró un 25 % de indirecto y utilidad. Además, se indica que la unidad a utilizar será el Kg.

Con estos antecedentes, en tabla 34 se indica el APU (Análisis de Precios Unitarios) de la soldadura para el proceso FCAW con material de aporte E81T1NI2 que es el más utilizado en los procesos constructivos, en la tabla 35 se indica el APU de la soldadura con material de aporte E71T1 de baja resistencia a la corrosión y en la tabla 36 se indica el APU de la soldadura con la combinación de alambres tubulares 80%E71T1-20% E81T1NI2 de buena buenas propiedades mecánicas.

6.7.6.1 APU de soldadura de acero A588 con alambre tubular E81T1Ni2

Tabla 34. APU de la soldadura de Acero A588 con alambre tubular E81T1Ni2

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

FORMULARIO 1

OFERENTE: Ing. Oscar Analuiza
PROYECTO: xxx

Hoja 1 de 1

RUBRO: Soldadura de Acero A588 con Alambre Tubuar E81T1Ni2

UNIDAD: kg

DETALLE:

RENDIMIENTO

75 kg/hora

TIEMPO UNITARIO (K=1/R)

0,013 hora/kg

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA/HORA	COSTO HORA	COSTO UNIT	%
	A	B	C=A*B	D=C*K	
Herramienta menor (5% de M.O.)		--		0,007	0,63
Equipo de soldadura	1,00	3,75	3,75	0,050	4,55
Amoladora	1,00	0,25	0,25	0,003	0,30
Amoladora pequeña	1,00	0,15	0,15	0,002	0,18
SUBTOTAL (M)				0,062	5,67%
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	%
	A	B	C=A*B	D=C*K	
Maestro soldador especializado	1,00	6,75	6,75	0,090	8,20
Ayudante de soldador	1,00	3,65	3,65	0,049	4,43
SUBTOTAL (N)				0,139	12,63%
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	CONSUMO	%
		A	B	C=A*B	
Alambre MIG 1.2mm tubular AWS E81T1	kg	0,033	12	0,396	36,07
Discos de desvaste 7"	u	0,017	2,78	0,047	4,30
Gratas de disco	u	0,017	13,9	0,236	21,52
Fresa anular 1-1/4	u	0,017	12	0,204	18,58
Gas CO2	kg	0,011	1,21	0,013	1,21
SUBTOTAL (O)				0,897	81,70%
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COST. TRANS	%
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL (P)				0,000	
TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)					1,098
INDIRECTOS Y UTILIDADES 25%					0,274
OTROS INDIRECTOS					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					1,37
VALOR OFERTADO					1,37

Ing. Oscar Analuiza
Proponente

Ambato, 30 de Octubre del 2016
Lugar y fecha

Fuente: Realizado por el Autor

6.7.6.2 APU de soldadura de acero A588 con alambre tubular E71T1

Tabla 35. APU de soldadura de acero A588 con alambre tubular E71T1

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

FORMULARIO 1

OFERENTE: Ing. Oscar Analuiza

Hoja 1 de 1

PROYECTO: xxx

RUBRO: Soldadura de Acero A588 con Alambre Tubuar E71T1

UNIDAD: kg

DETALLE:

RENDIMIENTO

75 kg/hora

TIEMPO UNITARIO (K=1/R)

0,013

hora/kg

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA/HORA	COSTO HORA	COSTO UNIT	%
	A	B	C=A*B	D=C*K	
Herramienta menor (5% de M.O.)		--		0,007	0,85
Equipo de soldadura	1,00	3,75	3,75	0,050	6,12
Amoladora	1,00	0,25	0,25	0,003	0,41
Amoladora pequeña	1,00	0,15	0,15	0,002	0,24
SUBTOTAL (M)				0,062	7,62%
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	%
	A	B	C=A*B	D=C*K	
Maestro soldador especializado	1,00	6,75	6,75	0,090	11,01
Ayudante de soldador	1,00	3,65	3,65	0,049	5,95
SUBTOTAL (N)				0,139	16,97%
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	CONSUMO	%
		A	B	C=A*B	
Alambre MIG 1.2mm tubular AWS E71T1	kg	0,033	3,5	0,116	14,13
Discos de desvaste 7"	u	0,017	2,78	0,047	5,78
Gratas de disco	u	0,017	13,9	0,236	28,91
Fresa anular 1-1/4	u	0,017	12	0,204	24,96
Gas CO2	kg	0,011	1,21	0,013	1,63
SUBTOTAL (O)				0,616	75,42%
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COST. TRANS	%
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL (P)				0,000	
TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)					0,817
INDIRECTOS Y UTILIDADES 25%					0,204
OTROS INDIRECTOS					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					1,02
VALOR OFERTADO					1,02

Ing. Oscar Analuiza
Proponente

Ambato, 30 de Octubre del 2016
Lugar y fecha

Fuente: Realizado por el Autor

6.7.6.3 APU de soldadura de acero A588 con la combinación 80% E71T1-20% E81T1Ni2

Tabla 36. APU de soldadura de acero A588 con la combinación 80%E71T1-20%E81T1Ni2

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

FORMULARIO 1

OFERENTE: Ing. Oscar Analuiza
PROYECTO: xxx

Hoja 1 de 1

RUBRO: Soldadura de Acero A588 con la Combinación 80%E71T1- 20%E81T1Ni2

UNIDAD: kg

DETALLE:

RENDIMIENTO

75 kg/hora

TIEMPO UNITARIO (K=1/R)

0,013

hora/kg

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA/HORA	COSTO HORA	COSTO UNIT	%
	A	B	C=A*B	D=C*K	
Herramienta menor (5% de M.O.)		--		0,007	0,80
Equipo de soldadura	1,00	3,75	3,75	0,050	5,74
Amoladora	1,00	0,25	0,25	0,003	0,38
Amoladora pequeña	1,00	0,15	0,15	0,002	0,23
SUBTOTAL (M)				0,062	7,15%
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	%
	A	B	C=A*B	D=C*K	
Maestro soldador especializado	1,00	6,75	6,75	0,090	10,34
Ayudante de soldador	1,00	3,65	3,65	0,049	5,59
SUBTOTAL (N)				0,139	15,92%
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	CONSUMO	%
		A	B	C=A*B	
Alambre MIG 1.2mm tubular AWS E81T1	kg	0,007	12	0,078	8,96
Alambre MIG 1.2mm tubular AWS E71T1	kg	0,026	3,5	0,091	10,45
Discos de desvaste 7"	u	0,017	2,78	0,047	5,43
Gratas de disco	u	0,017	13,9	0,236	27,14
Fresa anular 1-1/4	u	0,017	12	0,204	23,43
Gas CO2	u	0,011	1,21	0,013	1,53
SUBTOTAL (O)				0,670	76,93%
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COST. TRANS	%
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL (P)				0,000	
TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)					0,871
INDIRECTOS Y UTILIDADES 25%					0,218
OTROS INDIRECTOS					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					1,09
VALOR OFERTADO					1,09

Ing. Oscar Analuiza
Proponente

Ambato, 30 de Octubre del 2016
Lugar y fecha

Fuente: Realizado por el Autor

Por lo tanto, en la tabla 37 se realiza el registro del costo de los procesos de soldadura de alambres individuales y la combinación de alambres.

Tabla 37. Costos de Soldadura por cada kilo

Proceso	Composición	Costo (\$/kg)
Soldadura Tipo 1	100% E81T1Ni2	1.37
Soldadura Tipo 2	100% E71T1	1.02
Soldadura Tipo 3	80%E71T1-20%E81TiNi2	1,09

Fuente: Realizado por el Autor

Finalmente, en la figura 42 se realiza la comparación del costo de la soldadura con material de aporte independiente y con la combinación de alambres 80%E71T1-20%E81T1Ni2, en el cual se observa que tiene un costo de 1.09 \$/kg fabricado acercándose en costos al del alambre E71T1, pero con mejores propiedades hasta del alambre E81T1Ni2.

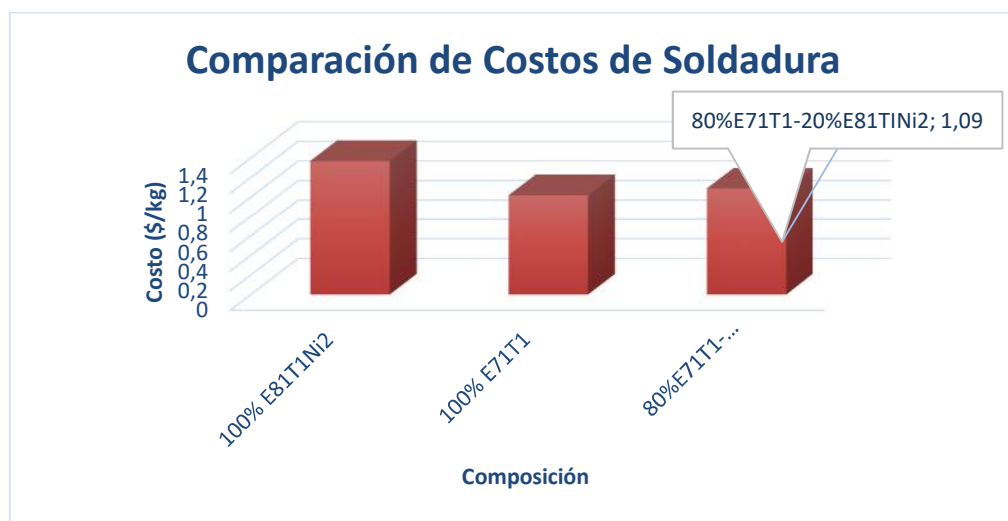


Figura 42. Comparación de Costos

Fuente: Realizado por el Autor

6.8 ADMINISTRACIÓN

El análisis económico de la propuesta se presenta en la tabla 38, donde se desglosan rubros utilizados para la elaboración y calificación de un procedimiento de soldadura:

Tabla 38. Análisis Económico

COSTO DE LA ELABORACIÓN Y CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA					
ITEM	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P TOTAL
1	Corte y armado de probeta	Kg	48.00	\$ 0.45	\$ 21.60
2	Soldadura de probeta (80%E71T1 - 20%E81T1Ni2)	Kg	48.00	\$ 1.09	\$ 52.32
3	Maquinado de probetas para pruebas de tracción	u	1.00	\$ 35.00	\$ 35.00
4	Maquinado de probetas para pruebas de tenacidad	u	5.00	\$ 30.00	\$ 150.00
5	Maquinado de probetas para pruebas de doblado	u	4.00	\$ 30.00	\$ 120.00
6	Maquinado de probetas para pruebas macrográficas	u	4.00	\$ 20.00	\$ 80.00
7	Pruebas de tracción seccion circular POR-AWS D1.5	u	1.00	\$ 35.00	\$ 35.00
8	Pruebas de tenacidad POR-AWS D1.5	u	5.00	\$ 30.00	\$ 150.00
9	Pruebas de doblado POR-AWS D1.5	u	4.00	\$ 30.00	\$ 120.00
10	Pruebas macrográficas POR-AWS D1.5	u	4.00	\$ 30.00	\$ 120.00
11	Elaboración del Procedimiento de Soldadura (WPS)	u	1.00	\$ 150.00	\$ 150.00
12	Calificación del Procedimiento de Soldadura (PQR)	u	1.00	\$ 200.00	\$ 200.00
13	Material de escritorio	u	1.00	\$ 50.00	\$ 50.00
14	Material bibliografico	u	1.00	\$ 150.00	\$ 150.00
15	Transcripciones, anillados y empastados	u	1.00	\$ 50.00	\$ 50.00
16	Transporte	u	1.00	\$ 60.00	\$ 60.00
SUBTOTAL					\$ 1,543.92
IMPREVISTOS (10%)					\$ 154.39
TOTAL					\$ 1,698.31

Fuente: Realizado por el Autor

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Una vez concluido el trabajo de investigación se ha podido determinar que la soldadura de acero ASTM A588 Grado A con el proceso FCAW y la combinación de alambres tubulares 80%E71T1-20%E81T1Ni2, presento buenas propiedades mecánicas y a menor costo.

Este estudio fue realizado en el laboratorio de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi. Con la implementación de este procedimiento se garantiza el depósito de la combinación del material de aporte en el acero ASTM A588 y se sugiere implementar en otros tipos de juntas, en procesos de soldadura de múltiples pases, con diferentes materiales de aporte fundamentados en el código AWS D1.5 y acero ASTM A 588 de diferentes espesores. Tomar en cuenta todas las conclusiones y recomendaciones presentes en este proyecto de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

1. AASHTO/ AWS D1.1. (2010). Structural Welding Code Steel. Miami: American Welding Society.
2. AASHTO/AWS D1.5M. (2010). Bridge Welding Code. Miami: American Welding Society.
3. Alonso J. (2008). Los procesos de soldadura por arco Semi-Automaticos MAG, MIG y FCAW. Los procesos de soldadura por arco Semi-Automaticos, 44.
4. Askeland D. (2002). Ciencia e Ingenieria de los Materiales, Tercera Edición. Mexico: International Thomson.
5. Calderón J. (2014). Estudio comparativo de la soldabilidad en aceros (ASTM A36, A588 y A572) mediante el proceso FCAW. Quito: EPN.
6. Callister W. (2007). Introduccion a la Ciencia e Ingenieria de los Materiales. Medellin: Reverte S.A.
7. Eyheralde M. (2012). Inspeccion de Soldadura. Tecnicatura de la soldadura, 9.
8. Huisman M. (1996). Flux- and metal-cored wires, a productive alternative to stick electrodes and solid wires. Svetsaren.
9. Lincoln Electric Ltd. (1995). Gas Metal Arc Welding Guide. Miami.
10. Marulanda J. (2013). Análisis de soldabilidad de aceros inoxidables con aceros del medio y bajo carbono por Smaw. CEDEC, 93.
11. Masabanda S. Yauripoma M. (2009). Elaboracion de un manual para practicas de la materia teoria de procesos de soldadura. Quito: EPN.
12. Niebles E. (2009). Modelo de diseño y base de conocimiento en tecnologías de soldadura para el desarrollo de productos soldados. Informacion Tecnologica Vol 30, 20.
13. Pérez J. (2014). Determinación de la soldabilidad entre un acero inoxidable austenitico y un acero al carbono para aplicaciones estructurales. SCT, 1-2.
14. Robert M. (2000). Resistencia de Materilaes Aplicada, Tercera Edición. Mexico: Pearson.

15. Ross V. (24 de 03 de 2013). Ensayos destructivos mecánicos. Recuperado el 24 de 07 de 2015, de <http://es.slideshare.net/veronikarcruz/ensayos-destructivos-mecnicos>
16. Sailema J. (Junio de 2014). Estudio de los procesos de soldadura FCAW y SMAW en acero ASTM A588 Grado A y su incidencia en las propiedades mecánicas en la fabricación de vigas metálicas en puentes colgantes. Ambato.
17. Smith W. (1998). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Madrid: Concepción Fernández.
18. Society American Welding. (2000). Manual de Soldadura, Tomo 1, 8va Edición.
19. Svaboda H. (2002). Efecto del relleno de alambres tubulares en el metal de aporte puro ferrítico de alta resistencia aleado AL C-Mn-Ni. CONAMET/SAM-SIMPOSIO MATERIA, 1.
20. Torres J. (2013). Aplicación del Proceso de Soldadura en Puentes Vehiculares. Mexico: Unidad Azcapotzalco.
21. Welding Handbook. (2000). Chapter 5: Flux Cored Arc Welding, AWS. Miami.
22. Zalazar M, M. N. (2009). Efecto del procedimiento de soldadura sobre las propiedades de uniones soldadas de aceros microaleados para cañería. Soldagem Insp., 36.

ANEXOS

ANEXO A-1: Especificaciones del Acero ASTM A588



Designation: A 588/A 588M – 01

American Association State
Highway and Transportation Officials Standard
AASHTO No.: M 222

Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel with 50 ksi [345 MPa] Minimum Yield Point to 4-in. [100-mm] Thick¹

This standard is issued under the fixed designation A 588/A 588M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This specification covers high-strength low-alloy structural steel shapes, plates, and bars for welded, riveted, or bolted construction but intended primarily for use in welded bridges and buildings where savings in weight or added durability are important. The atmospheric corrosion resistance of this steel in most environments is substantially better than that of carbon structural steels with or without copper addition (see Note 1). When properly exposed to the atmosphere, this steel is suitable for many applications in the bare (unpainted) condition. This specification is limited to material up to 8 in. [200 mm] inclusive in thickness.

NOTE 1—For methods of estimating the atmospheric corrosion resistance of low-alloy steels, see Guide G 101.

1.2 When the steel is to be welded, a welding procedure suitable for the grade of steel and intended use or service is to be utilized. See Appendix X3 of Specification A 6/A 6M for information on weldability.

1.3 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system is to be used independently of the other, without combining values in any way.

1.4 The text of this specification contains notes, footnotes, or both, that provide explanatory material. Such notes and footnotes, excluding those in tables and figures, do not contain any mandatory requirements.

1.5 For structural products cut from coiled product, the additional requirements, including additional testing requirements and the reporting of additional test results, of Specification A 6/A 6M apply.

2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards:*
A 6/A 6M Specification for General Requirements for

Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes and Sheet Piling²

G 101 Guide for Estimating Atmospheric Corrosion Resistance of Low-Alloy Steels³

3. General Requirements for Delivery

3.1 Material furnished under this specification shall conform to the requirements of the current edition of Specification A 6/A 6M, for the ordered material, unless a conflict exists in which case this specification shall prevail.

3.1.1 Coiled product is excluded from qualification to this specification until leveled and cut to length. Structural products produced from coil means structural products that have been cut to individual lengths from a coiled product and are furnished without heat treatment. The processor decoils, levels, cuts to length, and marks the product. The processor is responsible for performing and certifying all tests, inspections, and operations not intended to affect the properties of the material. For structural products produced from coils, two tests shall be reported for each qualifying coil. See Note 2.

NOTE 2—Additional requirements regarding structural products from coil are described in Specification A 6/A 6M.

4. Materials and Manufacture

4.1 The steel shall be made to fine grain practice.

5. Chemical Composition

5.1 The heat analysis shall conform to the requirements prescribed in Table 1.

5.2 The steel shall conform on product analysis to the requirements prescribed in Table 1, subject to the product analysis tolerances in Specification A 6/A 6M.

5.3 The atmospheric corrosion-resistance index, calculated on the basis of the heat analysis of the steel, as described in Guide G 101—Predictive Method Based on the Data of Larabee and Coburn, shall be 6.0 or higher.

NOTE 3—The user is cautioned that the Guide G 101 predictive equation (Predictive Method Based on the Data of Larabee and Coburn) for calculation of an atmospheric corrosion-resistance index has only been verified for the composition limits stated in the guide.

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel, and Related Alloys and is the direct responsibility of Subcommittee A01.02 on Structural Steel for Bridges, Buildings, Rolling Stock, and Ships.

Current edition approved Sept. 10, 2001. Published September 2001. Originally published as A 588 – 68. Last previous edition A 588/A 588M – 00a.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.04.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.02.

5.4 When required, the manufacturer shall supply evidence of corrosion resistance satisfactory to the purchaser.

6. Tensile Requirements

6.1 The material as represented by the test specimens shall conform to the requirements for tensile properties prescribed in Table 2.

7. Keywords

7.1 atmospheric corrosion resistance; bars; bolted construction; bridges; buildings; durability; high-strength; low-alloy; plates; riveted construction; shapes; steel; structural steel; weight; welded construction

TABLE 1 Chemical Requirements (Heat Analysis)

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

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

^AFor plates under 1/2 in. in thickness, the minimum columbium is waived.

TABLE 2 Tensile Requirements^A

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] to 5 in. [125 mm] incl	For Thick- nesses Over 5 in. [125 mm] to 8 in. [200 mm] incl	All Groups ^B
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 ^{C,D}	...	...	18 ^D
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 ^{C,D}	21 ^{C,D}	21 ^{C,D}	21 ^E

^ASee specimen orientation under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

^BSee Specification A 6/A 6M.

^CElongation not required to be determined for floor plate.

^DFor plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points. See elongation requirement adjustments in the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

^EFor wide flange shapes over 426 lb/ft [634 kg/m], elongation in 2 in. [50 mm] of 18 % minimum applies.

SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

Supplementary requirements shall not apply unless specified in the order or contract. Standardized supplementary requirements for use at the option of the purchaser are listed in Specification A 6/A 6M. Those that are considered suitable for use with this specification are listed by title:

- S2. Product Analysis,
- S3. Simulated Post-Weld Heat Treatment of Mechanical Test Coupons,
- S5. Charpy V-Notch Impact Test,
- S6. Drop-Weight Test,

- S8. Ultrasonic Examination,
- S15. Reduction of Area Measurement, and
- S18. Maximum Tensile Strength.
- S30. Charpy V-Notch Impact Test for Structural Shapes: Alternate Core Location

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

ANEXO A-2: Especificaciones del alambre tubular para aceros al carbono

AWS A5.20 95 0784265 0504614 337

ANSI/AWS A5.20-95
An American National Standard

**Specification for
Carbon Steel Electrodes
for Flux Cored
Arc Welding**



American Welding Society

Copyright by the American Welding Society Inc
Thu Jun 18 13:20:12 1998

Table 1
As-Welded Mechanical Property Requirements^a

AWS Classification	Tensile Strength		Yield Strength ^b		Percent	Charpy V-Notch Impact Energy ^d
	ksi	MPa	ksi	MPa	Elongation ^c	
E7XT-1, -1M ^d	70	480	58	400	22	20 ft·lbf at 0°F (27 J at -18°C)
E7XT-2, -2M ^e	70	480	Not Specified		Not Specified	Not Specified
E7XT-3 ^e	70	480	Not Specified		Not Specified	Not Specified
E7XT-4	70	480	58	400	22	Not Specified
E7XT-5, -5M ^d	70	480	58	400	22	20 ft·lbf at -20°F (27 J at -29°C)
E7XT-6 ^d	70	480	58	400	22	20 ft·lbf at -20°F (27 J at -29°C)
E7XT-7	70	480	58	400	22	Not Specified
E7XT-8 ^d	70	480	58	400	22	20 ft·lbf at -20°F (27 J at -29°C)
E7XT-9, -9M ^d	70	480	58	400	22	20 ft·lbf at -20°F (27 J at -29°C)
E7XT-10 ^e	70	480	Not Specified		Not Specified	Not Specified
E7XT-11	70	480	58	400	20	Not Specified
E7XT-12, -12M ^d	70 to 90	480 to 620	58	400	22	20 ft·lbf at -20°F (27 J at -29°C)
E6XT-13 ^e	60	415	Not Specified		Not Specified	Not Specified
E7XT-13 ^e	70	480	Not Specified		Not Specified	Not Specified
E7XT-14 ^e	70	480	Not Specified		Not Specified	Not Specified
E6XT-G	60	415	48	330	22	Not Specified
E7XT-G	70	480	58	400	22	Not Specified
E6XT-GS ^e	60	415	Not Specified		Not Specified	Not Specified
E7XT-GS ^e	70	480	Not Specified		Not Specified	Not Specified

Notes:

a. Single values are minimums.

b. 0.2% offset.

c. In 2 in. (50 mm) gage length (see Section 11). In 1 in. (25 mm) gage length for 0.045 in. (1.1 mm) and smaller sizes of EXXT-11 classification.

d. Electrodes with the following optional supplemental designations shall meet the lower temperature impact requirements specified below:

AWS Classification	Electrode Designation	Charpy V-Notch Impact Requirements
E7XT-1, -1M	E7XT-11, -1MJ	20 ft·lbf at -40°F (27 J at -40°C)
E7XT-5, -5M	E7XT-51, -5MJ	20 ft·lbf at -40°F (27 J at -40°C)
E7XT-6	E7XT-6J	20 ft·lbf at -40°F (27 J at -40°C)
E7XT-8	E7XT-8J	20 ft·lbf at -40°F (27 J at -40°C)
E7XT-9, -9M	E7XT-91, -9MJ	20 ft·lbf at -40°F (27 J at -40°C)
E7XT-12, -12M	E7XT-121, -12MJ	20 ft·lbf at -40°F (27 J at -40°C)

e. These classifications are intended for single pass welding. They are not for multiple pass welding. Only tensile strength is specified and, for this reason, only transverse tension and longitudinal guided bend tests are required (see Table 3).

Table 3
Required Tests^a

AWS Classification ^{b,c}	Chemical Analysis	Radiographic Test	Tension Test	Bend Test	Impact Test	Fillet Weld Test
EX0T-1, -1M	R	R	R	NR	R	R
EX0T-4	R	R	R	NR	NR	R
EX0T-5, -5M	R	R	R	NR	R	R
EX0T-6	R	R	R	NR	R	R
EX0T-7	R	R	R	NR	NR	R
EX0T-8	R	R	R	NR	R	R
EX0T-9, -9M	R	R	R	NR	R	R
EX0T-11	R	R	R	NR	NR	R
EX0T-12, -12M	R	R	R	NR	R	R
EX0T-G	R	R	R	NR	NR	R
EX1T-1, -1M	R	R	R	NR	R	R
EX1T-4	R	R	R	NR	NR	R
EX1T-5, -5M	R	R	R	NR	R	R
EX1T-6	R	R	R	NR	R	R
EX1T-7	R	R	R	NR	NR	R
EX1T-8	R	R	R	NR	R	R
EX1T-9, -9M	R	R	R	NR	R	R
EX1T-11	R	R	R	NR	NR	R
EX1T-12, -12M	R	R	R	NR	R	R
EX1T-G	R	R	R	NR	NR	R
EX0T-2, -2M ^d	NR	NR	R ^e	R	NR	R
EX1T-2, -2M ^d	NR	NR	R ^e	R	NR	R
EX0T-3 ^d	NR	NR	R ^e	R	NR	NR
EX0T-10 ^d	NR	NR	R ^e	R	NR	R
EX1T-13 ^d	NR	NR	R ^e	R	NR	R
EX1T-14 ^d	NR	NR	R ^e	R	NR	R
EX0T-GS ^d	NR	NR	R ^e	R	NR	R
EX1T-GS ^d	NR	NR	R ^e	R	NR	R

Notes:

- a. The letter "R" indicates that the test is required. Where "NR" is shown, the test is not required for that classification. For the fillet weld test, EX0T-X classifications shall be tested in the horizontal position and EX1T-X classifications shall be tested in both the vertical and overhead positions.
- b. The 0 and 1 before the "T" refer to the position of welding for which the electrode is suitable. See A2.2.
0 = horizontal and flat position.
1 = all position (smaller than 3/32 in. (2.4 mm) diameter), i.e., flat, horizontal, vertical (downward progression) or vertical (upward progression), and overhead (see Table 2).
- c. Electrodes with supplemental toughness and/or diffusible hydrogen requirements may be further identified as shown in Tables 1 and 8.
- d. Intended for single pass welding.
- e. Transverse tension test. All others require all-weld-metal tension test.

Table 6
Chemical Composition Requirements for Weld Metal

AWS Classification	UNS Number ^c	Weight Percent ^{a,b}										
		Carbon	Manganese	Silicon	Sulfur	Phosphorus	Chromium ^d	Nickel ^d	Molybdenum ^d	Vanadium ^d	Aluminum ^{d,e}	Copper ^d
E7XT-1 E7XT-1M } E7XT-5 E7XT-5M } E7XT-9 E7XT-9M }	W07601 W07605 W07609	0.18	1.75	0.90	0.03	0.03	0.20	0.50	0.30	0.08	—	0.35
E7XT-4 E7XT-6 E7XT-7 E7XT-8 E7XT-11	W07604 W07606 W07607 W07608 W07611	(f)	1.75	0.60	0.03	0.03	0.20	0.50	0.30	0.08	1.8	0.35
EXXT-G ^g	—	(f)	1.75	0.90	0.03	0.03	0.20	0.50	0.30	0.08	1.8	0.35
E7XT-12 E7XT-12M }	W07612	0.15	1.60	0.90	0.03	0.03	0.20	0.50	0.30	0.08	—	0.35
E6XT-13 E7XT-2 E7XT-2M }	W06613 W07602											
E7XT-3 E7XT-10 E7XT-13 E7XT-14 EXXT-GS	W07603 W07610 W07613 W07614 —											

Notes:

- The weld metal shall be analyzed for the specific elements for which values are shown in this table.
- Single values are maximums.
- SAB/ASTM Unified Numbering System for Metals and Alloys.
- The analysis of these elements shall be reported only if intentionally added.
- Applicable to self-shielded electrodes. Electrodes intended for use with gas shielding need not have significant additions of aluminum.
- The limit of this element is not specified, but the amount shall be determined and reported (see A6.5 in the Annex).
- The total of all elements listed in this table shall not exceed 5 percent.
- The composition of weld metal is not meaningful since electrodes of these classifications are intended only for single pass welds. Dilution from the base metal in such welds usually is quite high (see A7.2 in the Annex).

12.2 After machining, but before bending, the specimen may be aged at 200 to 220°F (93 to 104°C) for up to 48 hours, then allowed to cool to room temperature. Refer to A8.3 for a discussion on the purpose of aging.

12.3 The specimens shall be tested in the manner described in the bend test section of ANSI/AWS B4.0 on any of the standard bend test jigs shown therein. The bend radius shall be 3/4 in. (19 mm). Positioning of the bend specimen shall be such that the weld face of the last side welded is in tension.

12.4 The specimen, after bending, shall conform to the 3/4 in. (19 mm) radius, with an appropriate allowance for springback, and the weld metal shall not show any crack or other open defect exceeding 1/8 in. (3.2 mm) in any

direction. Cracks in the base-metal shall be disregarded, as long as they do not enter the weld metal. When base metal openings or cracks enter the weld metal, the test shall be considered invalid. Specimens in which this occurs shall be replaced, specimen for specimen, and the test completed. In this case, the doubling of specimens required for retest in Section 7, Retest, does not apply.

13. Impact Test

13.1 Five Charpy V-notch impact test specimens (Figure 8) shall be machined from the test assembly shown in Figure 2A, for those classifications for which impact testing is required in Table 3.

ANEXO A-3: Especificaciones del alambre tubular para aceros de baja aleación

AWS A5.29 80 ■ 2595532 0009778 1 ■

Nº 02-10

AWS A5.29-80

**Specification
for
Low Alloy Steel Electrodes for
Flux Cored Arc Welding**



AMERICAN WELDING SOCIETY, INC.

2/LOW ALLOY ELECTRODES FOR FLUX CORED ARC WELDING

Table 1
Chemical requirements for deposited weld metal^a

AWS Classification	Chemical composition, percent										
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V	Al ^b	Cu
Carbon-molybdenum steel electrodes											
E70T5-A1 } E80T1-A1 } E81T1-A1 }	0.12	1.25	0.03	0.03	0.80	—	—	0.40/0.65	—	—	—
Chromium-molybdenum steel electrodes											
E81T1-B1	0.12	1.25	0.03	0.03	0.80	—	0.40/0.65	0.40/0.65	—	—	—
E80T5-B2L	0.05	1.25	0.03	0.03	0.80	—	1.00/1.50	0.40/0.65	—	—	—
E80T1-B2 } E81T1-B2 } E80T5-B2 }	0.12	1.25	0.03	0.03	0.80	—	1.00/1.50	0.40/0.65	—	—	—
E80T1-B2H	0.10/0.15	1.25	0.03	0.03	0.80	—	1.00/1.50	0.40/0.65	—	—	—
E90T1-B3L	0.05	1.25	0.03	0.03	0.80	—	2.00/2.50	0.90/1.20	—	—	—
E90T1-B3 } E91T1-B3 } E90T5-B3 }	0.12	1.25	0.03	0.03	0.80	—	2.00/2.50	0.90/1.20	—	—	—
E100T1-B3 } E90T1-B3H	0.10/0.15	1.25	0.03	0.03	0.80	—	2.00/2.50	0.90/1.20	—	—	—
Nickel-steel electrodes											
E71T8-Ni1 } E80T1-Ni1 } E81T1-Ni1 } E80T5-Ni1 }	0.12	1.50	0.03	0.03	0.80	0.80/1.10	0.15	0.35	0.05	1.8	—
E71T8-Ni2 } E80T1-Ni2 } E81T1-Ni2 } E80T5-Ni2 }	0.12	1.50	0.03	0.03	0.80	1.75/2.75	—	—	—	1.8	—
E90T1-Ni2 } E91T1-Ni2 } E80T5-Ni3 } E90T5-Ni3 }	0.12	1.50	0.03	0.03	0.80	2.75/3.75	—	—	—	—	—
Manganese-molybdenum steel electrodes											
E91T1-D1	0.12	1.25/2.00	0.03	0.03	0.80	—	—	0.25/0.55	—	—	—
E90T5-D2 } E100T5-D2 }	0.15	1.65/2.25	0.03	0.03	0.80	—	—	0.25/0.55	—	—	—
E90T1-D3	0.12	1.00/1.75	0.03	0.03	0.80	—	—	0.40/0.65	—	—	—

1.4.4 Fillet Weld Tests. Electrodes designed to be used in all positions (EX1T) will be required to make a vertical-up fillet and an overhead fillet in addition to other testing (see Table 2). The convexity shall be no greater than 1/8 in. (3.2 mm) with a fillet size no greater than 3/8 in. (9.5 mm). The details of the test are stipulated in 3.8.

1.5 Retests. If any test fails, two additional tests of that particular test, as taken from the original test assembly or from new test assemblies, shall be performed and the results of both shall meet the requirements prescribed for that test.

4/LOW ALLOY ELECTRODES FOR FLUX CORED ARC WELDING

Table 3
Mechanical property requirements^a

AWS Classification	Tensile strength range,		Yield strength, at 0.2% offset, min,		Percent elongation in 2 in. (50 mm), min
	ksi	MPa	ksi	MPa	
E6XTX-X	60 to 80	410 to 550	50	340	22
E7XTX-X	70 to 90	490 to 620	58	400	20
E8XTX-X	80 to 100	550 to 690	68	470	19
E9XTX-X	90 to 110	620 to 760	78	540	17
E10XT-X	100 to 120	690 to 830	88	610	16
E11XT-X	110 to 130	760 to 900	98	680	15
E12XT-X	120 to 140	830 to 970	108	750	14
EXXTX-G	Properties as agreed upon between supplier and purchaser				

a. Properties of electrodes that use external gas shielding (EXXT1-X and EXXT5-X) vary with gas mixtures. Electrodes classified under this specification should not be used with gases other than those listed in Table 9 without first consulting the manufacturer.

2. Manufacture

2.1 Method of Manufacture. The electrodes may be made by any method that will yield a product conforming to the requirements of this specification.

2.2 Standard Sizes and Lengths. Electrodes shall be available in continuous lengths wound into coils with or without support, into drums, or onto spools. Standard sizes of the electrodes in all forms are shown in Table 5.

2.3 Finish, Temper, Cast, and Helix

2.3.1 Finish. Electrodes shall have a smooth finish except for seams and shall be free from slivers, depressions, scratches, scale, or other foreign matter that would adversely affect the welding properties or the operation of the welding equipment.

2.3.2 Temper, Cast, and Helix. Electrodes shall be

suitable for uniform uninterrupted feeding on automatic or semiautomatic welding equipment.

2.4 Uniformity in Core of Electrodes. All electrodes shall have the core ingredients distributed throughout their length with sufficient uniformity so that the performance of the electrodes and the properties of the weld metal deposited thereby are not adversely affected.


2.5 Standard Forms – Coils with and without Support, Spools, and Drums

2.5.1 Coils without Support. Dimensions shall be as specified by the purchaser.

2.5.2 Coils with Support. Standard dimensions and net weights of coils with support shall be as specified in Table 6. Liners shall be of such material and design as to provide adequate protection against damage or distortion of the electrode due to normal handling or use. Liners shall be sufficiently clean and dry to maintain the cleanliness of the electrode.

ANEXO B: Código de soldadura para puentes

AASHTO/AWS D1.5M/D1.5:2010



**Código de
soldadura para
puentes**

Una publicación conjunta de
American Association of State Highway
and Transportation Officials



ANEXO B-1: Conexiones de Soldadura

AASHTO/AWS D1.5M/D1.5:2010

PARTE C

SECCIÓN 2. DISEÑO DE CONEXIONES SOLDADAS

2.10.4 Las juntas traslapadas son detalles de categoría E y se deben evitar, en lo posible, en miembros sometidos a tensión o reversión de tensiones.

2.11 Juntas en esquina y en T

2.11.1 Las juntas en esquina y en T que se van a someter a flexión alrededor de un eje paralelo a la junta deben tener sus soldaduras dispuestas para evitar la concentración de esfuerzos de tracción en la raíz de cualquier soldadura.

2.11.2 Las juntas en esquina y en T paralelas a la dirección de la tensión calculada entre los componentes de miembros compuestos diseñados para tensión axial no necesitan ser soldaduras de ranura con junta de penetración parcial, CJP. Se puede usar soldaduras de filete o una combinación de soldaduras con PJP y soldaduras de filete de refuerzo.

2.12 Soldaduras de ranura con junta de penetración completa, CJP

2.12.1 Tolerancias dimensionales. Las dimensiones de las soldaduras de ranura especificadas en los planos de diseño o de detalle pueden variar como se indica en la Figura 2.4.

2.12.2 Juntas en esquina. Para juntas en esquina usando soldaduras de ranura con bisel simple, se puede biselar cualquier placa, siempre que no se cambie la configuración básica de la ranura y se mantenga una distancia de borde adecuada para mantener las operaciones de soldadura sin fusión excesiva. La preparación de la junta que bisela la placa que se va a someter a esfuerzo en la dirección transversal corta ayudará a reducir el desgarro laminar.

2.13 Soldaduras de ranura con junta de penetración parcial, PJP

(véase la Figura 2.5)

2.13.1 Definición. Excepto por lo dispuesto en la Figura 2.4, las soldaduras de ranura sin respaldo de acero, soldadas de un lado y las soldaduras de ranura soldadas de ambos lados pero sin ranurado del lado opuesto se consideran soldaduras de ranura PJP, a menos que se califiquen como CJP en 5.7.5.

2.13.1.1 Todas las soldaduras de ranura PJP realizadas por GMAW-S deben calificarse según las pruebas de calificación de la WPS descritas en 5.12.4.

2.13.2 Tamaño efectivo mínimo de la soldadura. El tamaño efectivo mínimo de soldaduras de ranura PJP en escuadra, en V simple o doble, biselada y soldaduras de ranura en J y en U, debe ser según se muestra en la Tabla 2.2.

Los planos de taller y de trabajo deben especificar las profundidades de ranura (S) aplicables para el tamaño efectivo de la soldadura (E) requerido para los procesos de soldadura y la posición de soldadura a usar.

2.13.3 Juntas en esquina. Para juntas en esquina que utilizan soldaduras de ranura con bisel simple, se puede biselar cualquier placa, siempre que no se cambie la configuración básica de la ranura y se mantenga una distancia de borde adecuada para mantener las operaciones de soldadura sin fusión excesiva. La preparación de la junta que bisela la placa que se va a someter a esfuerzo en la dirección transversal corta ayudará a reducir el desgarro laminar.

2.14 Tipos de junta y de soldaduras prohibidos

Las juntas y soldaduras que se describen en los párrafos siguientes deben prohibirse:

- (1) Todas las soldaduras de ranura PJP en juntas a tope, excepto las que cumplen con 2.17.3
- (2) Soldaduras de ranura CJP en todos los miembros sometidos a tensión calculada o en miembros secundarios sometidos a tracción o reversión de tensión, realizadas de un solo lado sin ningún respaldo, o con un respaldo distinto de acero, que no haya sido calificado de conformidad con 5.7.5 y 5.12.4
- (3) Soldaduras de ranura intermitentes
- (4) Soldaduras de filete intermitentes, excepto si están aprobadas por el ingeniero
- (5) Soldaduras de ranura con bisel y en J en posición plana en juntas a tope donde se pueden realizar soldaduras de ranura en V y en U.
- (6) Soldaduras de tapón y en ranura en miembros sometidos a tracción y a reversión de tensión.

2.15 Combinaciones de soldaduras

Si dos o más tipos generales de soldaduras (de ranura, de filete, de tapón o en ranura) se combinan en una sola junta, su capacidad admitida se debe calcular con referencia al eje del grupo para determinar la capacidad

ANEXO B-2: Diseño de conexiones de Soldadura

AASHTO/AWS D1.5M/D1.5:2010

SECCIÓN 2. DISEÑO DE CONEXIONES SOLDADAS

Véase Notas en la página 14

Soldadura de ranura en escuadra (1)
Junta en T (T)
Junta en esquina (C)

Proceso de soldadura	Designación de la junta	Espesor de metal base (U = sin límite)		Preparación de ranura			Posiciones admitidas para soldar	Protección por gas para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Tolerancias				
					Como se detalla (véase 2.12.1)	Como el acoplamiento (véase 2.12.1)			
SMAW	TC-L1b	6 máx.	U	$R = \frac{T_1}{2}$	+2, -0	+2, -3	Todas	—	a, c, f
GMAW FCAW	TC-L1-GF	10 máx.	U	R = 0 a 3	+2, -0	+2, -3	Todas	No se requiere	c, f
SAW	TC-L1-S	10 máx.	U	R = 0	±0	+2, -0	F	—	c, f

Soldadura simple de ranura en V (2)
Junta a tope (B)

Proceso de soldadura	Designación de la junta	Espesor de metal base (U = sin límite)		Preparación de ranura		Posiciones admitidas para soldar	Protección por gas para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura			
SMAW	B-U2a	U	—	R = 6	α = 45°	Todas	—	a, i
				R = 10	α = 30°	F, V, OH	—	a, i
				R = 12	α = 20°	F, V, OH	—	a, i
GMAW FCAW	B-U2a-GF	U	—	R = 5	α = 30°	F, V, OH	Requerida	i
				R = 10	α = 30°	F, V, OH	No req.	i
				R = 6	α = 45°	F, V, OH	No req.	i
SAW	B-L2a-S	50 máx.	—	R = 6	α = 30°	F	—	i
SAW	B-U2-S	U	—	R = 16	α = 20°	F	—	i

Figura 2.4 (continuación)—Detalles de juntas soldadas para soldaduras de ranura CJP (véase 2.12.1) (dimensiones en milímetros)

ANEXO B-3: Técnica de soldadura

4.1.5.3 Soldadura por arco con electrodo metálico protegida con gas (GMAW). Las soldaduras de filete de una sola pasada de hasta un máximo de 8 mm [5/16 pulg.] y las soldaduras de ranura efectuadas con una sola pasada, o con una sola pasada de cada lado, se pueden realizar con un electrodo ER70S-X de conformidad con la Tabla 4.1.

4.1.5.4 Soldadura por arco con núcleo de fundente (FCAW). Las soldaduras de filete de una sola pasada de hasta un máximo de 8 mm [5/16 pulg.] y las soldaduras de ranura efectuadas con una sola pasada, o con una sola pasada de cada lado, se pueden realizar con un electrodo E7XT-X de conformidad con la Tabla 4.1.

4.1.6 En el caso de soldaduras ESW o EGW de aplicaciones expuestas, descubiertas y sin pintar de aceros M 270M/M 270 (A 709/ A 709M) Grados 345W [50W] y HPS 345W [HPS 50W] que requieran metal de soldadura con resistencia a la corrosión atmosférica y características de color similares a las del metal base, el electrodo o la combinación electrodo-fundente deben producir metal de soldadura que cumpla con los requisitos descritos en la Tabla 4.2. La composición química del metal de soldadura depositado en una base de ensayo estándar del metal de aporte, donde hay una dilución mínima del metal base, se debe ajustar a una de las composiciones químicas provistas en la lista de electrodos descritos en la Tabla 4.3. La composición química del metal de soldadura ESW o EGW depositado no coincidirá exactamente con el electrodo o el metal base, ya que existe considerable dilución del metal base. El electrodo o la combinación electrodo/fundente deben contar con la aprobación del ingeniero.

4.2 Requisitos de temperatura de precalentamiento y entre pasadas

Las temperaturas de precalentamiento y entre pasadas deben ser suficientes para prevenir el agrietamiento. La experiencia ha demostrado que las temperaturas mínimas que especifica la Tabla 4.3 son suficientes para prevenir el agrietamiento en la mayoría de los casos. Sin embargo, puede ser necesario un incremento de la temperatura de precalentamiento en situaciones de mayor restricción, mayor contenido de hidrógeno, menor entrada de calor de soldadura o composición del acero en los límites superiores de la especificación. Por el contrario, las temperaturas de precalentamiento más bajas pueden ser adecuadas para prevenir el agrietamiento, dependiendo de la restricción, el nivel de hidrógeno y la composición real del acero o la mayor entrada de calor de soldadura.

4.2.1 Las temperaturas mínimas de precalentamiento y entre pasadas para miembros redundantes deben ser las

especificadas en la Tabla 4.3, excepto que en el caso de soldadura de punteado conforme con 3.3.7.1(1), soldadura de pernos, ESW y EGW el precalentamiento no es necesario.

4.2.1.1 Las temperaturas mínimas de precalentamiento y entre pasadas se pueden establecer sobre la base de la composición del acero, el espesor y la restricción por medio de métodos reconocidos de predicción, como los provistos en el Apéndice G.

NOTA: estos métodos se basan en ensayos de agrietamiento en laboratorio y pueden predecir temperaturas de precalentamiento más altas que las temperaturas mínimas mostradas en la Tabla 4.3. La guía puede servir para identificar situaciones en las que el riesgo de agrietamiento se incrementa debido a la composición, restricción, nivel de hidrógeno o entrada de calor de soldadura donde pueda requerirse una entrada de calor más alta. Alternativamente, la guía puede ayudar a definir las condiciones bajo las cuales el agrietamiento por hidrógeno es improbable y donde los requisitos mínimos de la Tabla 4.3 se puedan flexibilizar en forma segura en base a las ensayos de calificación de la WPS.

Sin embargo, si el uso de esas guías conduce a temperaturas más bajas que las requeridas en 4.2.1, la temperatura mínima se debe calificar mediante la realización de ensayos que el ingeniero considere aceptables.

4.2.1.2 En el caso de los aceros M 270M/M 270 (A 709/A 709M) Grado HPS 485W [HPS 70W] se pueden usar temperaturas opcionales reducidas de precalentamiento y entre pasadas, de acuerdo con los requisitos del Apéndice H.

4.2.2 Las temperaturas máximas de precalentamiento y entre pasadas deben ser las especificadas en la WPS. En el caso de los aceros M 270M/M 270 (A 709/A 709M) Grado 690/690W [100/100 W], la temperatura máxima de precalentamiento y entre pasadas no debe exceder de 205 °C [400 °F] para espesores de hasta 40 mm [1-1/2 pulg.] inclusive, ni de 230 °C [450 °F] para espesores mayores. En el caso del acero HPS 485W [HPS 70W], la temperatura máxima de precalentamiento y entre pasadas debe ser de 230 °C [450 °F] para todos los espesores.

4.2.3 Los controles de temperatura se deben basar sobre el espesor y los grados del metal base. En combinaciones de metales base, la temperatura de precalentamiento y entre pasadas se debe basar sobre la mayor de las temperaturas requeridas.

4.2.4 El contratista debe precalentar el material grueso, las juntas muy restringidas o las soldaduras de reparación por encima de las temperaturas mínimas especificadas,

se debe emplear una técnica de capa dividida para asegurar una adecuada fusión en la esquina. Cuando se usan solamente dos electrodos y el ancho de una capa depositada previamente excede de 25 mm [1 pulg.] se debe emplear una técnica de capa dividida con electrodos en tándem.

4.11.4 La corriente de soldadura, el voltaje de arco, la velocidad de desplazamiento y la ubicación relativa de los electrodos deben ser tales que cada pasada debe tener una fusión completa con el metal base y el metal de soldadura adyacentes y no debe haber depresiones ni socavación indebida en el pie de la soldadura. Se debe evitar la concavidad excesiva de las pasadas iniciales para prevenir el agrietamiento en las raíces de las juntas restringidas.

4.11.4.1 Las corrientes máximas de soldadura al efectuar una soldadura de ranura deben ser las siguientes:

(1) 700 A para cualquier electrodo simple o para electrodos paralelos al efectuar la capa de raíz en una ranura que no tiene abertura de la raíz y que no rellena la ranura

(2) 750 A para cualquier electrodo simple o 900 A para electrodos paralelos al efectuar la pasada de raíz en una ranura que tiene respaldo de acero o una cara de la raíz de un grosor suficiente para evitar la perforación por fusión

(3) 1000 A para cualquier electrodo simple o 1200 A para electrodos paralelos en todas las pasadas, excepto la capa final

(4) Para la capa final no hay restricción en la corriente de soldadura calificada mediante ensayo según las disposiciones de 5.12.

4.11.4.2 La corriente máxima de soldadura que se utilizará en una soldadura de filete debe ser de 1000 A para cualquier electrodo simple o 1200 A para electrodos paralelos.

4.11.5 Las soldaduras con electrodos múltiples también se pueden efectuar en la raíz de las soldaduras de ranura o de filete usando GMAW, seguida de arcos sumergidos paralelos, siempre que la GMAW cumpla con los requisitos de la Parte D de esta sección y siempre que el espaciamiento entre el arco protegido por gas y el primer arco sumergido siguiente no exceda de 400 mm [15 pulg.].

4.11.6 Las temperaturas de precalentamiento y entre pasadas para una SAW de electrodo múltiple se deben seleccionar de conformidad con 4.2. En el caso de soldaduras de ranura o de filete de una sola pasada, para las combinaciones de metales que se estén soldando y la entrada de calor involucrada, y con la aprobación del ingeniero, las temperaturas de precalentamiento y entre

pasadas se pueden establecer como las suficientes para reducir la dureza en la HAZ del metal base a menos de 225 Vickers para aceros con una resistencia a la tracción mínima especificada no mayor de 415 MPa [60 ksi], y no menor de 280 Vickers para aceros con una resistencia a la tracción mínima especificada mayor de 415 MPa [60 ksi], pero no mayor de 485 MPa [70 ksi].

4.11.6.1 Cuando lo requiera 4.11.6, la dureza de la HAZ se debe determinar de la manera siguiente:

(1) En las secciones transversales con macroataque inicial de una probeta de ensayo de muestra, y

(2) En la superficie del miembro durante la realización del trabajo. La superficie se debe esmerilar antes del ensayo de dureza.

(a) La frecuencia de la evaluación de la HAZ debe ser de al menos un área de ensayo por conjunto soldado del metal base más grueso involucrado en una junta cada 15 m [45 pies] de soldaduras de ranura o par de soldaduras de filete.

(b) Estas determinaciones de dureza se pueden interrumpir después de que el procedimiento se haya establecido a satisfacción del ingeniero.

4.11.6.2 La reducción de los requisitos de precalentamiento de 4.2 debe quedar prohibida para soldaduras de filete con tamaños de 10 mm [3/8 pulg.] o menos.

Parte D

Soldadura por arco con electrodo metálico protegida con gas (GMAW) y soldadura por arco con núcleo de fundente (FCAW)

4.12 Electrodos

4.12.1 Los electrodos y la protección para GMAW o FCAW para producir metal de soldadura con cargas de fluencia mínimas especificadas de 415 MPa [60 ksi] o menos deben cumplir con los requisitos de la última edición de AWS A5.18/A5.18M, *Specification for Carbon Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding* (Especificación de electrodos y varillas de acero al carbono para soldadura por arco protegida con gas), AWS A5.20/A5.20M, *Specification for Carbon Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding* (Especificación de electrodos de acero al carbono para soldadura por arco con núcleo de fundente), o AWS A5.29/A5.29M, *Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding* (Especificación de electrodos de

acero de baja aleación para soldadura de arco con núcleo de fundente), según corresponda.

4.12.2 El metal de soldadura con una carga de fluencia mínima especificada mayor de 415 MPa [60 ksi] debe cumplir con los requisitos siguientes:

4.12.2.1 Los electrodos y el gas de protección para GMAW deben cumplir con los requisitos de la última edición de la AWS A5.28/A5.28M, *Specification for Low-Alloy Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding* (Especificación de electrodos y varillas de acero de baja aleación para soldadura por arco protegida con gas).

4.12.2.2 Los electrodos y el gas de protección (si es necesario) para FCAW deben cumplir con los requisitos de la última edición de la AWS A5.29/A5.29M.

4.12.3 El contratista debe presentar los certificados de conformidad de todos los electrodos y las combinaciones de protección usados en un proyecto de conformidad con este código. El informe debe incluir los resultados de todos los ensayos requeridos pertinentes de AWS A5.18/A5.18M, AWS A5.28/A5.289M, AWS A5.20/A5.20M o AWS A5.29/A5.29M, según corresponda, realizados en electrodos de la misma clasificación o grado, de la misma marca, soldados con el mismo gas de protección y fabricados mediante el mismo proceso y los mismos materiales que los electrodos utilizados en este proyecto. Los ensayos pueden haber sido para el proceso de calificación o control de calidad y se deben haber realizado dentro del año anterior a la fabricación de los electrodos suministrados. El informe debe incluir la certificación del fabricante de que la fabricación de los electrodos ensayados empleó el mismo proceso y los mismos requisitos de materiales que para los electrodos suministrados. El formulario del informe de ensayo debe ser similar al mostrado en el Apéndice N, Formulario N-1, que contiene toda la información pertinente relativa al ensayo que requiere la especificación.

4.12.4 En lugar de exigir a un contratista la presentación de copias de informes de ensayo del fabricante para cada remesa de electrodos en un proyecto, la autoridad de contratación puede mantener una lista de las marcas aprobadas de electrodos para las cuales se han presentado informes satisfactorios de ensayos realizados dentro de un año. Si se elige esta alternativa, la lista estará a disposición de los Ingenieros y Contratistas del proyecto.

4.13 Gas de protección

Un gas o una mezcla de gases utilizados como protección en GMAW o, cuando sea necesario, en FCAW deben cumplir con los requisitos de la última edición de AWS A5.32/A5.32M, *Specification for Welding Shielding Gases* (Especificación de gases protectores para soldadura). Cuando el ingeniero, el contratista o el fabricante la soliciten, se debe suministrar la certificación del fabricante de que el gas o la mezcla de gases son adecuados para la aplicación prevista y deben cumplir con el requisito del punto de rocío.

4.14 Procedimiento para GMAW y FCAW con un electrodo simple

4.14.1 Los siguientes son requisitos generales:

4.14.1.1 Los electrodos deben estar secos y en un estado adecuado para su uso.

4.14.1.2 El diámetro máximo del electrodo debe ser de 4,0 mm [5/32 pulg.] para las posiciones plana y horizontal, 2,4 mm [3/32 pulg.] para la posición vertical y 2,0 mm [5/64 pulg.] para la posición sobre cabeza.

4.14.1.3 El tamaño máximo de una soldadura de filete realizada en una sola pasada debe ser de 12 mm [1/2 pulg.] para las posiciones plana y vertical, 10 mm [3/8 pulg.] para la posición horizontal y 8 mm [5/16 pulg.] para la posición sobre cabeza.

4.14.1.4 GMAW. El espesor de las capas de soldadura en soldaduras de ranura, excepto en la raíz y las capas superficiales, no debe exceder de 6 mm [1/4 pulg.]. Cuando la abertura de la raíz es de 12 mm [1/2 pulg.] o más, se debe usar una técnica de capa dividida de pasada múltiple. También se debe usar la técnica de capa dividida al efectuar todas las soldaduras de pasada múltiple cuando el ancho de la capa excede de 16 mm [5/8 pulg.].

4.14.1.5 FCAW. El espesor de las capas de soldadura en soldaduras de ranura, excepto en la raíz y las capas superficiales, no debe exceder de 6 mm [1/4 pulg.]. Cuando la abertura de la raíz es de 12 mm [1/2 pulg.] o más, se debe usar una técnica de capa dividida de pasada múltiple. Cuando el ancho de una capa de una soldadura de ranura en posiciones plana, horizontal o sobre cabeza es de 16 mm [5/8 pulg.] o más, se debe usar una técnica de capa dividida de pasada múltiple. Cuando se suelda en posición vertical, se debe usar una técnica de capa dividida si el ancho de la capa excede de 25 mm [1 pulg.].

4.14.1.6 La corriente de soldadura, el voltaje de arco, el flujo de gas, el modo de transferencia del metal y la

se enfríe, la escoria debe eliminarse completamente antes de reanudar la soldadura.

4.26.2 Para las soldaduras que deban realizarse en posición vertical, el arco se debe iniciar en la raíz de la junta en el lado más bajo del orificio y se debe desplazar hacia arriba, fusionando en la cara de la placa interna y hacia el lado del orificio. El arco se debe detener en lo más alto del orificio, la escoria se debe limpiar y el proceso se debe repetir sobre el lado opuesto del orificio. Después de limpiar la escoria de la soldadura, se deberían depositar otras capas de manera similar para rellenar el orificio hasta la profundidad requerida.

4.26.3 Para las soldaduras que deban realizarse en la posición de sobre cabeza, se debe seguir un procedimiento en espiral como en la posición plana, excepto que la escoria se debería dejar enfriar y se debería eliminar completamente después de depositar cada capa sucesiva hasta que el orificio se haya rellenado hasta la profundidad requerida.

4.27 Soldaduras en ranura

Las soldaduras en ranura se deben realizar mediante técnicas similares a las especificadas en 4.26 para soldaduras de tapón, excepto que si la longitud de la ranura excede tres veces el ancho o si la ranura se extiende hasta el borde de la pieza, se debe aplicar los requisitos de técnica de 4.26.3.

4.28 Soldaduras de tapón y en ranura

Cuando se realizan soldaduras de tapón y en ranura mediante soldadura continua sobre cordones de soldadura depositados previamente y a través de escoria fundida, el soldador debe observar el arco y la cubierta de escoria para detectar señales de condiciones que existen durante la formación de discontinuidades en la fusión, tales como arco intermitente, salpicaduras excesivas y escoria en ebullición con gas en exceso. Cuando se observan estas señales, la soldadura se debe interrumpir. Después de que la escoria se haya enfriado, se deben eliminar todos los defectos de escoria y fusión antes de reanudar la soldadura.

Parte H **Control de variables** **de la soldadura de producción**

4.29 Ensayos

El control de las variables de soldadura se debe basar sobre los resultados de los ensayos de calificación de la WPS realizados como se describe en la Cláusula 5.

4.30 Control de variables

Los soldadores y operarios de soldadura deben establecer controles de soldadura, soldar y operar equipos de soldadura dentro de las limitaciones de corriente, voltaje, velocidad de desplazamiento y caudal de gas de protección descritos en la WPS aprobada.

4.31 Calibración del equipo

4.31.1 El equipo utilizado para medir las variables debe estar calibrado con precisión. El contratista debe verificar, al menos cada 3 meses, la exactitud de los medidores y otros dispositivos utilizados para registrar o visualizar las variables de soldadura. El equipo utilizado para verificar medidores y otros dispositivos debe ser certificado anualmente.

4.31.2 Cuando lo apruebe el ingeniero, se puede emplear tablas de corrección o métodos similares para compensar el error del medidor.

4.32 Control de la corriente

4.32.1 La corriente de soldadura se puede controlar mediante el control de la velocidad de alimentación del alambre, siempre que se conozca la correlación entre el amperaje y la velocidad de alimentación del alambre para los tipos y diámetros de electrodo específicos.

4.32.2 Siempre que se use la velocidad de alimentación del alambre como método de control de la corriente, el Inspector debe tener acceso a las tablas o cuadros precisos de amperaje versus velocidad de alimentación del alambre.

Tabla 4.3
Temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas, °C [°F]

Proceso de soldadura (metal base)	Espesor de la parte más gruesa en el punto de soldadura, mm [pulg.]			
	Hasta 20 mm [3/4 pulg.] incl.	Más de 20 mm [3/4 pulg.] hasta 40 mm [1-1/2 pulg.] incl.	Más de 40 mm [1-1/2 pulg.] hasta 65 mm [2-1/2 pulg.] incl.	Más de 65 mm [2-1/2 pulg.]
SAW; GMAW; FCAW; SMAW (M 270M/M 270 [A 709/A 709M] Gr. 250 [36], 345 [50], 345S [50S], 345W [50W], HPS 345W [HPS 50W])	10 [50]	20 [70]	65 [150]	110 [225]
SAW; GMAW; FCAW; SMAW (M 270M/M 270 [A 709/A 709M] Gr. HPS 485W [HPS 70W], 690 [100], 690W [100W]) ^a	10 [50]	50 [125]	80 [175]	110 [225]

^a Véanse las limitaciones de las temperaturas máximas de precalentamiento y entre pasadas en 4.2.2.

Nota: véanse las temperaturas alternativas de precalentamiento y entre pasadas en el Apéndice G y en las Tablas 12.3, 12.4 y 12.5.

Tabla 4.4
Tiempo mínimo de retención (véase 4.4.2)

6 mm [1/4 pulg.] or menos	Más de 6 mm [1/4 pulg.] hasta 50 mm [2 pulg.]	Más de 50 mm [2 pulg.]
15 minutos	4 minutos/2 mm [1/16 pulg.]	2 horas más 15 minutos por cada 25 mm adicionales por encima de 50 mm [1 pulg. por encima de 2 pulg.]

Tabla 4.5
Tratamiento térmico alternativo de alivio de tensiones (véase 4.4.3)

Disminución en la temperatura por debajo de la temperatura mínima especificada, Δ °C [°F]	Tiempo mínimo de retención a menor temperatura, horas por 25 mm [1 pulg.] de espesor
30 [50]	2
60 [100]	3
90 [150]	5
120 [200]	10

ANEXO B-4: Requisitos del metal de aporte

AASHTO/AWS D1.5M/D1.5:2010

SECCIÓN 4. TÉCNICA

Tabla 4.1 (continuación)
Requisitos del metal de aporte coincidente para WPS calificadas de conformidad con 5.12

Metal base	Proceso de soldadura y especificación y clasificaciones del electrodo	Requisitos de calificación, ensayo preliminar y ensayo de verificación				
		Carga de fluencia mínima, MPa [ksi]	Resistencia a la tracción mínima, MPa [ksi]	Elongación mínima en 50 mm [2 pulg.], %	CVN mínimo, J [libra-pie]	
					Zonas de temperatura AASHTO ^a	
Designación de AASHTO [ASTM]					I y II	III
M 270M/M 270 (A 709/A 709M) Gr. 345W [50W] Gr. HPS 345W [HPS 50W] 100 mm [4 pulg.] e inferior	SMAW AWS A5.1/A5.1M E7015, E7016, E7018, E7018-1 E7018M, E7028 AWS A5.5/A5.5M E7015-X, E7016-X, E7018-X E7015, -16-C1L, -C2L E7018-C1L, -C2L, -C3L E7018-W1 E8015-C1, -C2, -C3, -C4 E8016, -18-C1, -C2, -C3, -C4 E8018-W2	Precalificado—Exento de ensayo (véase 5.11)				
	SAW AWS A5.17/A5.17M F7A0-EXXX F7A0-ECX AWS A5.23/A5.23M F7A0-EXXX-XX F7A0-ECXXX-XX F8A0-EXXX-XX F8A0-ECXXX-XX	345 [50]	485 [70]	22	27 a -20 °C [20 a 0 °F]	27 a -30 °C [20 a -20 °F]
	FCAW-G AWS A5.20/A5.20M E7XT-1C, -1M E7XT-5C, -5M E7XT-9C, -9M E7XT-12C, -12M AWS A5.29/A5.29M E7XT1-XC, -XM E7XT5-XC, -XM E8XT1-XC, -XM E8XT1-NiXC, -NiXM E8XT1-W2C, -W2M E8XT5-XC, -XM E8XT5-NiXC, -NiXM	345 [50]	485 [70]	22	27 a -20 °C [20 a 0 °F]	27 a -30 °C [20 a -20 °F]
	FCAW-S AWS A5.20/A5.20M E7XT-6, 8 AWS A5.29/A5.29M E7XT4-X E7XT6-X E7XT7-X E7XT8-X E8XT8-X	345 [50]	485 [70]	22	27 a -20 °C [20 a 0 °F]	27 a -30 °C [20 a -20 °F]

(continuación)

Tabla 4.1 (continuación)
Requisitos de metal de aporte coincidente para WPS calificadas de conformidad con 5.12

^a Véanse las definiciones de zonas de temperatura AASHTO en AASHTO *LRFD Bridge Design Specification (Especificaciones para el diseño de puentes AASHTO LRFD)*.

Notas:

1. Cuando las soldaduras vayan a experimentar alivios de esfuerzo, el metal de soldadura no debe exceder el 0,05 % de vanadio. La soldadura que experimenta alivio de esfuerzos debe cumplir con las propiedades mecánicas y propiedades de impacto mínimas especificadas en el contrato.
2. Se puede requerir materiales y procedimientos especiales de soldadura para que coincidan con las características atmosféricas, de corrosión y exposición a la intemperie (véanse los aceros M 270M/M 270 (A 709/A 709M) Gr. 345W (50W) y Gr. HPS 345W [HPS 50W] en la Tabla 4.2). El metal de aporte con características adecuadas de resistencia a la intemperie para aplicaciones descubiertas sin pintar de los aceros M 270M/M 270 (A 709/A 709M) Gr. 690, 690W [100, 100W] y M 270M/M 270 (A 709/A 709M) Gr. HPS 485W [HPS 70W] debe contar con la aprobación del ingeniero.
3. Cuando se unen aceros HPS 485W [HPS 70W], el depósito de soldadura debe tener un contenido mínimo de níquel de 0,8 %, como lo determinen los ensayos A5.XX del metal de aporte.
4. Se puede reemplazar las especificaciones de electrodos con las mismas propiedades de fluencia y tracción, pero con menor temperatura de ensayo de impacto (por ejemplo, F7A2-EXXX puede reemplazar F7A0-EXXX).
5. El ingeniero puede aceptar los resultados de ensayos que varíen de los límites establecidos en esta tabla, de acuerdo con las reglas siguientes:
 - (a) Cuando el esfuerzo en la soldadura es de compresión normal al área efectiva de la soldadura, la carga de fluencia del metal de soldadura puede ser hasta 70 MPa [10 ksi] menor que la carga de fluencia mínima especificada del metal de soldadura coincidente.
 - (b) La ductilidad y tenacidad deben ser las especificadas, excepto cuando se apruebe algo diferente para proyectos o aplicaciones específicos.
 - (c) La aceptación de las propiedades mecánicas que modifica un estado no obliga a que los demás estados acepten las mismas modificaciones.
6. Todos los valores indicados en la tabla son los mínimos, a menos que se muestre un rango.
7. Los metales de aporte de 550 MPa [80 ksi] están destinados a aplicaciones expuestas de aceros Corten. Su uso no es necesario en aplicaciones de aceros M 270M/ M 270 (A 709/A 709M) Gr. 345W [50W] o Gr. HPS 345W [HPS 50W] que se pintarán.
8. Véanse los requisitos de calificación para el metal de aporte en 5.5.1.
9. Los metales de aporte para los grupos de aleación B3, B3L, B4, B4L, B5, B5L, B6, B6L, B7, B7L, B8, B8L o B9 en las AWS A5.5/A5.5M, A5.23/A5.23M, A5.28/ A5.28M, y A5.29/A5.29M se deben prohibir en la condición recién soldado.
10. En lugar de la clasificación de electrodos A5 (unidades de uso en EE. UU.) de AWS se pueden utilizar electrodos A5M (unidades SI) de AWS de la misma clasificación.

Tabla 4.2
Requisitos del metal de aporte para la aplicación expuesta descubierta
de aceros M 270M/M 270 (A 709/A 709M) Gr. 345W [50W] y Gr. HPS 345W [HPS 50W]

Proceso	Especificación del metal de aporte	Electrodos aprobados
SMAW	A5.5/A5.5M	Todos los electrodos que depositan metal de soldadura y que cumplen con un análisis C1, C1L, C2, C2L, C3, W1 o W2.
SAW	A5.23/A5.23M	Todas las combinaciones electrodo-fundente que depositan metal de soldadura con un análisis Ni1, Ni2, Ni3, Ni4 o W.
FCAW	A5.29/A5.29M	Todos los electrodos que depositan metal de soldadura con un análisis Ni1, Ni2, Ni3, Ni4 o W.
GMAW	A5.28/A5.28M	Todos los electrodos que cumplen con los requisitos de composición del metal de aporte de los análisis Ni1, Ni2, Ni3 o W2.

Notas:

1. Antes de aprobarse para la soldadura de puentes, los metales de aporte que cumplen con los requisitos de esta tabla también deben cumplir con todos los requisitos de la Tabla 4.1. Estos requisitos incluyen las propiedades de carga de fluencia, resistencia a la tracción, elongación y ensayo CVN.
2. Los valores indicados en la tabla son los mínimos, a menos que se muestre un rango.
3. Esta es una lista parcial que no incluye la EGW o ESW de aceros M 270M/M 270 (A 709/A 709M) Gr. 345W [50W] o Gr. HPS 345W [HPS 50W] y no contempla otros aceros con características de resistencia a la intemperie tales como M 270M/M 270 (A 709/A 709M) Gr. HPS 485W [HPS 70W] o M 270M/M 270 (A 709/A 709M) Gr. 690, 690W [100, 100W]. El ingeniero debe aprobar todos los metales de aporte no incluidos en esta tabla que se utilizarán en aplicaciones expuestas y sin pintar. Se puede utilizar la composición química del metal de soldadura que depositan los electrodos incluidos en esta tabla como una guía para la química del metal de soldadura que se considera aceptable en aplicaciones de resistencia a la intemperie. En ESW y EGW existe una dilución considerable del metal base, por lo que el depósito de soldadura no coincidirá con la química del electrodo o del metal base.
4. Véanse los requisitos de calificación para el metal de aporte en 5.5.1.
5. En lugar de la clasificación de electrodos A5 (unidades de uso en EE. UU.) de AWS se pueden utilizar electrodos A5M (unidades SI) de AWS de la misma clasificación.

ANEXO B-5: Requisitos de ensayo requerido

varias probetas. Cuando se utilizan probetas múltiples en lugar de probetas de espesor completo, cada conjunto debe representar un solo ensayo de tracción del espesor completa de la placa. Cuando se utilizan varias probetas, se debe cortar mecánicamente todo el espesor en una cantidad mínima de tiras aproximadamente iguales y de un tamaño que se pueda someter a ensayo en el equipo disponible. Cada probeta debe cumplir con los requisitos de 5.19.1.

5.18.2 Ensayo de macroataque. Para los ensayos de calificación de la WPS que se realizan en placas descritas en las Figuras 5.3 y 5.8 se requiere ensayos de solidez por macroataque. La probeta de ensayo se debe preparar con un acabado adecuado para el examen de macroataque. Se debe emplear una solución adecuada para el decapado, a fin de otorgar una definición clara de las soldaduras que muestren la línea de fusión (interfaz soldadura-metal/metal base), pasadas individuales de soldadura y la HAZ.

5.18.3 Probetas de raíz, cara y lado. Cada probeta se debe doblar en una plantilla guía de doblado que cumpla con los requisitos mostrados en las Figuras 5.14, 5.15 o 5.16, o que esté básicamente de conformidad con estas figuras; además, no debe excederse el radio máximo de doblado. Se puede utilizar cualquier medio conveniente para desplazar el émbolo con respecto a la matriz.

5.18.3.1 Colocación de la probeta. La probeta se debe colocar sobre la matriz de la plantilla guía con la soldadura en la mitad del recorrido. Las probetas de doblado de cara se deben colocar con la cara de la soldadura dirigida hacia la abertura. Las probetas de doblado de raíz y de solidez de la soldadura de filete se deben colocar con la raíz de la soldadura hacia la abertura. Las probetas de doblado de lado se deben colocar con el lado que muestre la mayor discontinuidad, si existiera, hacia la abertura.

5.18.3.2 Colocación de la soldadura y la HAZ. El émbolo debe forzar la probeta hacia la matriz hasta que la probeta tome forma de U. Una vez finalizado el ensayo, la soldadura y la HAZ deben estar centradas y completamente dentro de la parte doblada de la probeta.

5.18.3.3 Plantilla envolvente. Cuando se utiliza la plantilla envolvente, la probeta debe estar firmemente sujeta en un extremo de manera que no se deslice durante la operación de doblado. Después del ensayo, la soldadura y la HAZ deben estar completamente dentro de la parte doblada de la probeta. Cuando el rodillo externo se haya desplazado 180° desde el punto de partida se debe retirar las probetas de la plantilla guía.

5.18.4 Ensayo de tracción del metal de soldadura. La probeta se debe someter a ensayo de conformidad con

ASTM A 370, *Mechanical Testing of Steel Products* (Ensayos mecánicos de productos de acero) o la última edición de AWS B4.0/B4.0M, *Métodos estándar para los ensayos mecánicos de las soldaduras*.

5.18.5 Ensayo CVN. El ensayo de tenacidad se debe realizar como se describe para las probetas CVN bajo el título "Charpy Impact Testing" ("Ensayos de impacto de Charpy") de ASTM A 370 (AASHTO T 244). Solamente se debe usar probetas de tamaño completo (10 mm × 10 mm) (véase la Figura 5.13).

5.19 Resultados de ensayo requeridos

Los requisitos para los resultados de ensayo deben ser los siguientes:

5.19.1 Ensayos de tracción de sección reducida. La resistencia a la tracción no debe ser menor que el mínimo del rango de tracción especificado del metal base que figura en el formulario del PQR.

5.19.2 Ensayos de raíz, cara y lado. Se debe examinar visualmente la superficie convexa de la probeta de ensayo de doblado en busca de discontinuidades. Para su aceptación, la superficie no debe tener discontinuidades que excedan las siguientes dimensiones:

(1) 3 mm [1/8 pulg.] medidos en cualquier dirección sobre la superficie

(2) 10 mm [3/8 pulg.] para la suma de las mayores dimensiones de todas las discontinuidades que excedan de 1 mm [1/32 pulg.], pero menores o iguales a 3 mm [1/8 pulg.]

(3) 6 mm [1/4 pulg.]: la grieta máxima de esquina, excepto:

(a) Cuando la grieta en esquina sea el resultado de una inclusión de escoria visual o de otro tipo de discontinuidad de fusión, se debe aplicar el máximo de 3 mm [1/8 pulg.].

(b) Las probetas con grietas en esquina que excedan de 6 mm [1/4 pulg.] sin evidencia de inclusiones de escoria u otra discontinuidad de fusión se deben descartar y se debe someter a ensayo una nueva probeta de la soldadura original.

5.19.3 Ensayos de macroataque. Para una calificación aceptable, la probeta de macroataque inspeccionada visualmente debe cumplir con los requisitos siguientes:

5.19.3.1 Requisitos generales. Todas las soldaduras que se sometan al ensayo de macroataque se deben ajustar a los requisitos siguientes:

- (1) Ninguna grieta
- (2) Fusión completa entre capas adyacentes del metal de soldadura y entre el metal de soldadura y el metal base
- (3) Perfiles de soldadura que cumplen con los detalles de diseño, pero con ninguna de las variaciones prohibidas en 3.6
- (4) Ninguna socavación que exceda de 1 mm [1/32 pulg.]
- (5) Tamaño de la soldadura designado (soldaduras de ranura con PJP)

5.19.3.2 Tamaño y fusión de la soldadura de filete

(1) El tamaño mínimo de la pierna de la soldadura de filete debe cumplir con el tamaño especificado de la soldadura de filete.

(2) Las soldaduras de filete deben tener fusión a la raíz de la junta, pero no necesariamente más allá de ella.

5.19.4 Ensayos de tracción del metal de soldadura. Las propiedades mecánicas se deben ajustar a los valores especificados en la Tabla 4.1, o como se describe en los documentos del contrato.

5.19.5 Ensayos CVN. Los resultados del ensayo CVN deben cumplir con los valores indicados en la Tabla 4.1 o superarlos, a menos que se especifique de otra manera en los documentos del contrato. La aceptación se debe basar en los siguientes criterios:

5.19.5.1 Probetas de SMAW, SAW, FCAW y GMAW. En el caso de las probetas de SMAW, SAW, FCAW o GMAW, se debe descartar los valores máximos y mínimos del ensayo CVN y se debe promediar los tres valores restantes. Para que los ensayos sean exitosos, el promedio de los valores de energía de las tres probetas restantes de los ensayos CVN debe cumplir o superar el valor de energía mínimo especificado del ensayo CVN. No más de una probeta puede tener un valor de energía de impacto menor que el mínimo especificado y ninguna probeta debe tener un valor inferior a 2/3 del valor mínimo especificado.

5.19.5.2 Probetas para ESW y EGW. En el caso de las probetas para ESW o EGW, se debe descartar los valores máximo y mínimo, y se debe promediar los seis valores restantes. Para que los ensayos sean exitosos, el promedio de los valores del ensayo Charpy con entalla en V de las seis probetas restantes debe cumplir o superar el valor de energía Charpy con entalla en V mínimo especificado de la Tabla 4.1. No más de dos de las seis probetas pueden tener un valor de energía de impacto menor que el mínimo especificado y ninguna de las seis probetas debe tener un valor inferior a 2/3 del valor mínimo especificado.

5.19.6 Inspección visual. Para una calificación aceptable, la placa de ensayo soldada que se somete a inspección visual debe cumplir con los requisitos de inspección visual de 6.26.1, salvo que la socavación no debe exceder de 1 mm [1/32 pulg.].

5.20 Repeticiones de ensayos

5.20.1 Tracción y doblado. Si alguna probeta de todas las ensayadas no aprueba los requisitos del ensayo, se puede realizar dos repeticiones de ese tipo particular de probeta con probetas cortadas de la misma placa de ensayo de calificación de la WPS o de una placa nueva que se ajuste a la misma especificación. Los resultados de ambas probetas deben cumplir con los requisitos del ensayo. En el caso de materiales de más de 38 mm [1-1/2 pulg.] de espesor, la falla de una probeta debe requerir el ensayo de todas las probetas del mismo tipo desde dos ubicaciones adicionales en el material de ensayo.

5.20.2 Ensayo CVN. Cuando los resultados del ensayo CVN no cumplen con los requisitos de 5.19.5, se puede efectuar una repetición del ensayo. El valor de la energía de impacto de cada una de las probetas requeridas, después de descartar los valores máximo y mínimo del ensayo, debe ser igual o superior al promedio de energía mínima especificada del ensayo CVN.

Parte B

Calificación del soldador, operario de soldadura y soldador punteador

5.21 Requisitos generales

Los soldadores, operarios de soldadura y soldadores punteadores que emplean los procesos de soldadura SMAW, SAW, GMAW, FCAW, ESW y EGW se deben calificar mediante los ensayos descritos en la Parte B.

5.21.1 Propósito. Los ensayos de calificación descritos en la Parte B están concebidos especialmente para determinar la capacidad del soldador, operario de soldadura o soldador punteador de producir soldaduras sólidas.

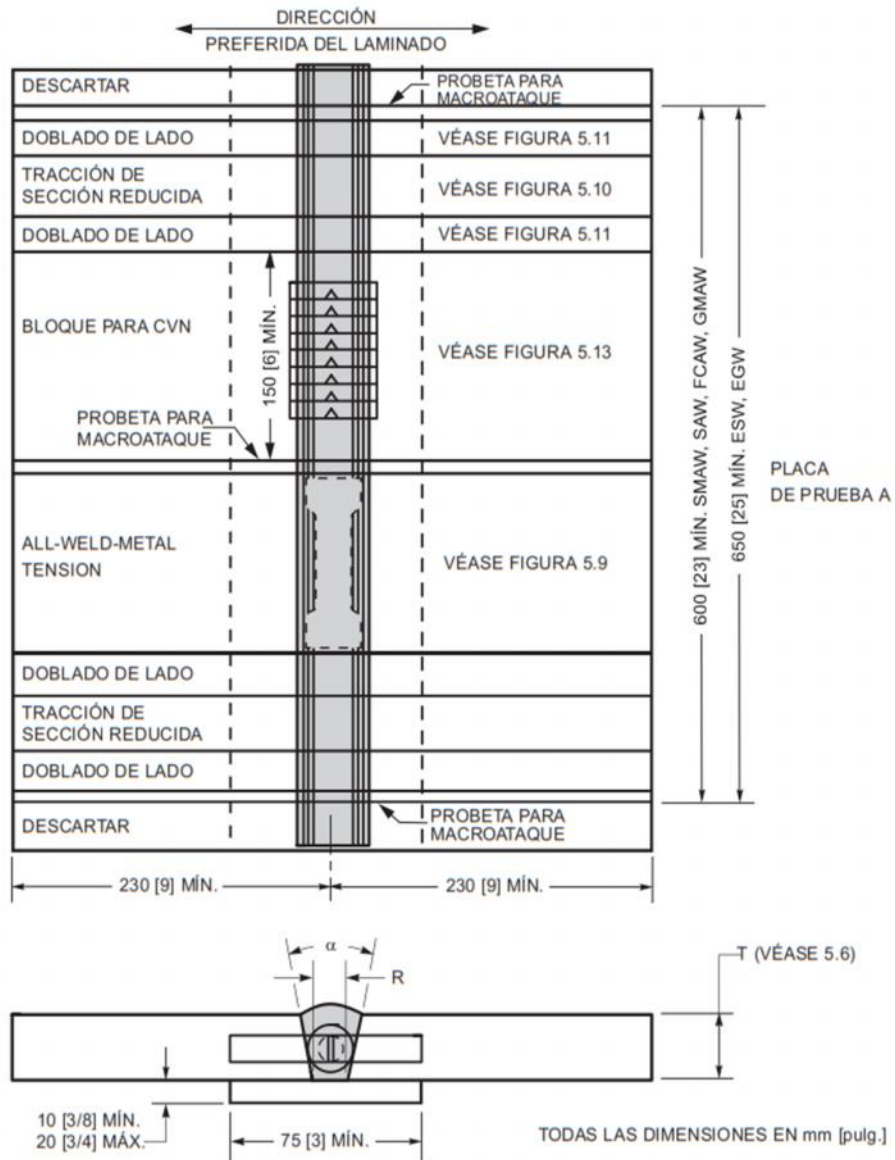
Los ensayos de calificación no pretenden ser una guía de soldadura durante la construcción real. La soldadura de construcción se debe realizar de conformidad con los requisitos de la WPS.

5.21.2 Cumplimiento de las WPS. El soldador u operario de soldadura deben seguir una WPS aplicable a

ANEXO B-6: Probetas para WPS

SECCIÓN 5. CALIFICACIÓN

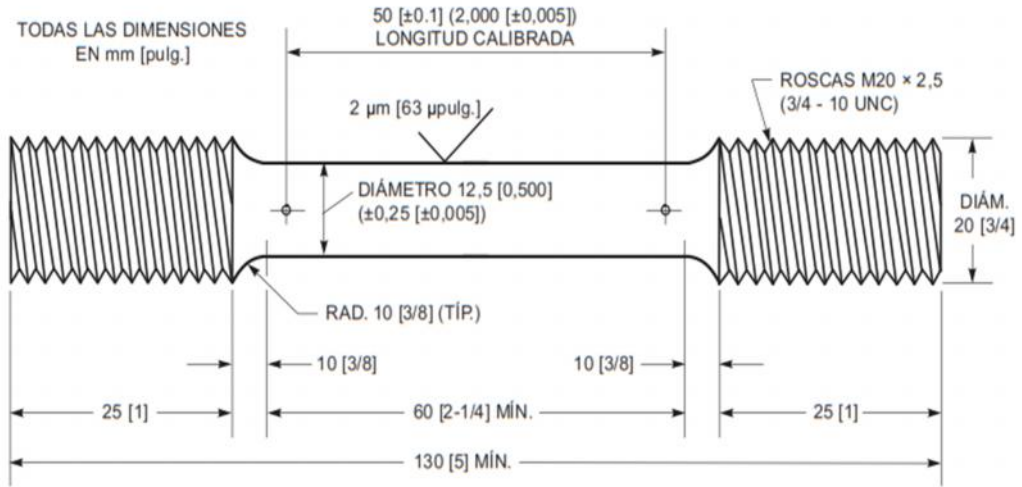
AASHTO/AWS D1.5M/D1.5:2010



Notas:

1. La soldadura y el mecanizado se deben efectuar en presencia de un representante del Estado o de un tercero independiente que sea aceptable para el Estado.
2. Las probetas y el PQR que muestra todos los parámetros de soldadura utilizados en el ensayo deben estar a disposición del ingeniero. Solamente la autoridad original de aprobación necesita conservar las probetas para su inspección.
3. El detalle de la junta que se utilizará debe ser un detalle B-U2a, B-U2-S, B-U2a-GF, B-U4a o B-U4a-GF, dependiendo del proceso de soldadura y de la posición de la soldadura utilizados, excepto que no debe emplearse los detalles B-U2a-GF y B-U4a-GF con aberturas de raíz de 5 mm [3/16 pulg.] y ángulos de ranura de 30°.

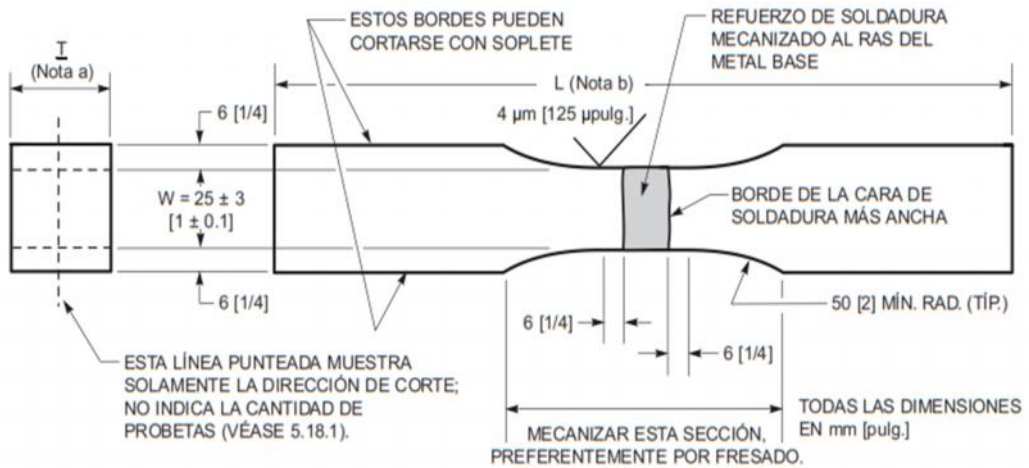
Figura 5.1—Calificación o ensayo preliminar de la WPS—Placa de ensayo A (véase 5.7.1)



Notas:

1. La sección reducida puede tener una conicidad gradual desde los extremos hacia el centro, con el diámetro de los extremos no mayor de 0,1 mm [0,005 pulg.] que el del centro.
2. La probeta de tracción del metal de soldadura se debe tomar desde el centro del espesor de la soldadura y desde el centro del ancho de la soldadura en esta ubicación.

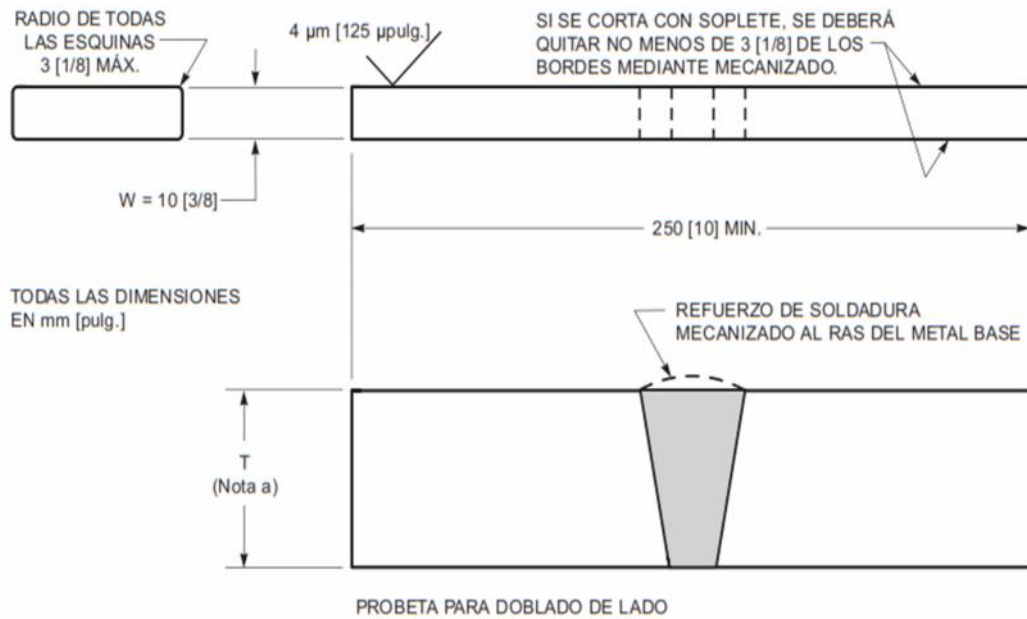
Figura 5.9—Probeta de tracción redonda estándar del metal de soldadura (véase 5.16.3)



Notas:

1. T depende del espesor de la placa de ensayo que se muestra en las Figuras 5.1 o 5.3; véase 5.6.
2. L debe ser la longitud total de la probeta. La longitud debe ser suficiente para facilitar el agarre en el aparato de ensayo. Cuando sea posible, la probeta se debe extender dentro de las mordazas una distancia mayor o igual a 2/3 de la longitud del agarre.
3. El refuerzo de la soldadura y el respaldo de acero, si existieran, se deben eliminar a nivel con la superficie de la probeta.

Figura 5.10—Probeta de tracción de sección reducida (véase 5.16.3)



^aT depende del espesor de la placa de ensayo que se muestra en las Figuras 5.1, 5.2 y 5.3; véase 5.6. Si T > 40 mm [1-1/2 pulg.], véase una guía sobre el corte de la probeta en tiras de entre 20 mm y 40 mm [3/4 pulg. a 1-1/2 pulg.] de ancho en AWS B4.0.

Figura 5.11—Probeta de doblado de lado (véase 5.16.3)

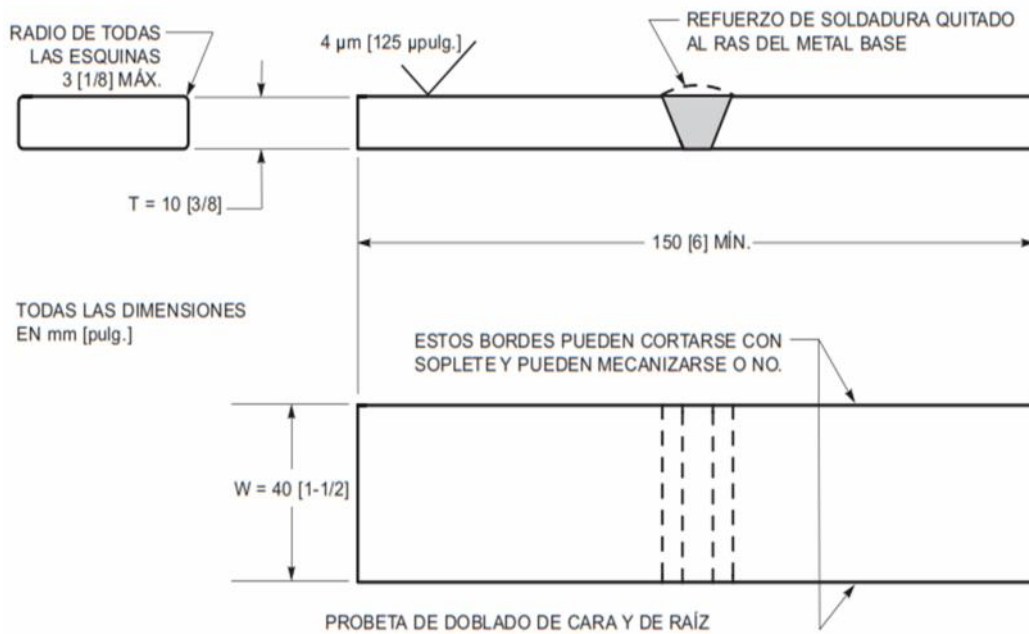
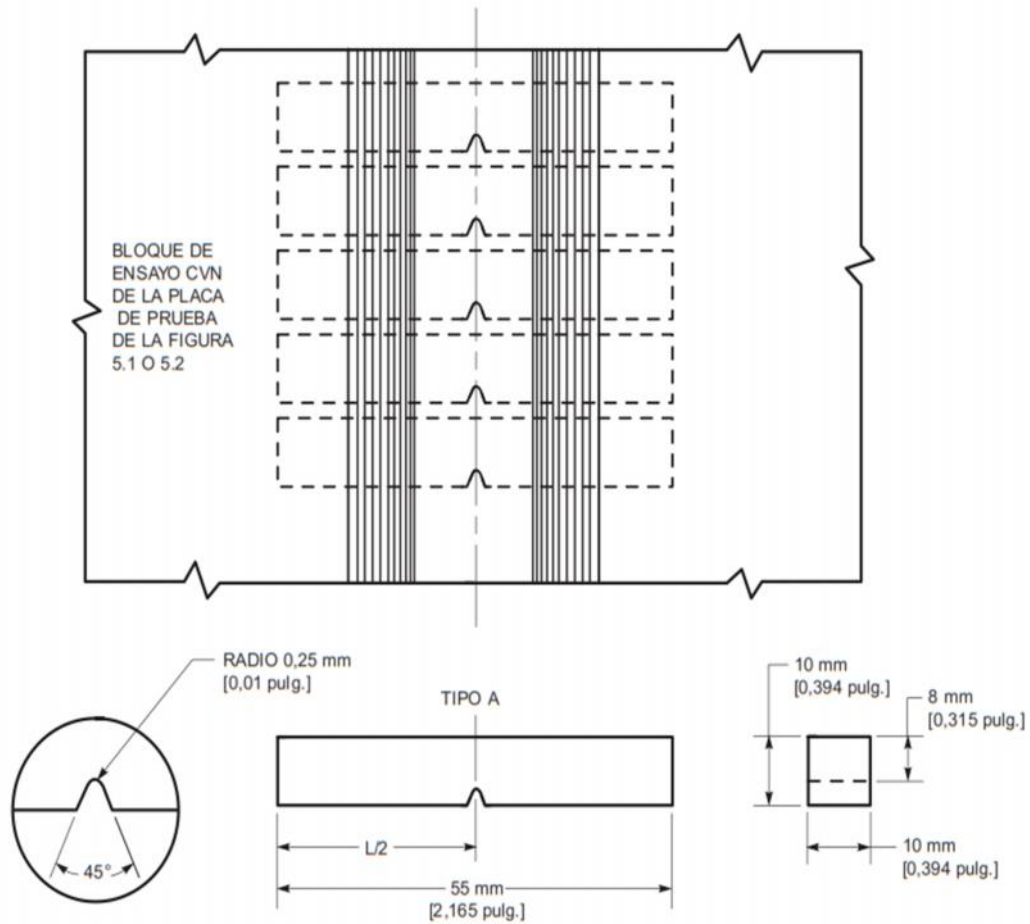


Figura 5.12—Probeta de doblado de cara y de raíz (véase 5.16.3)

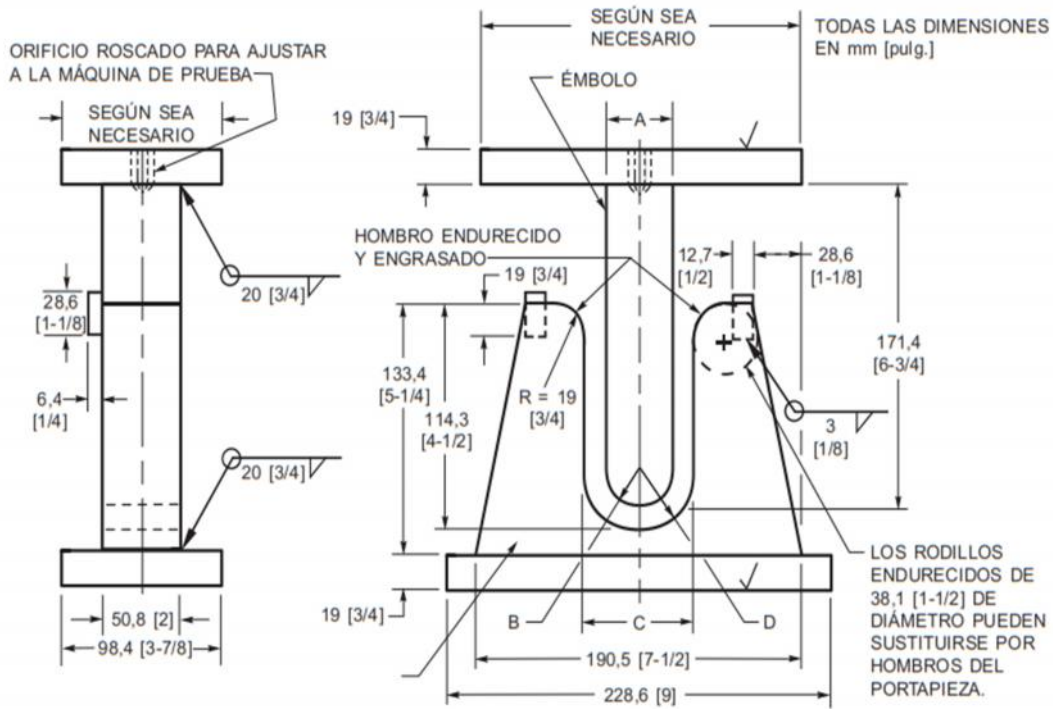


Nota: las variaciones admitidas deben ser las siguientes:

Perpendicularidad de la entalla al borde	$90^\circ \pm 2^\circ$
Lados adyacentes	$90^\circ \pm 10 \text{ min.}$
Dimensiones de la sección transversal	$\pm 0,075 \text{ mm}$ [$\pm 0,003 \text{ pulg.}$]
Longitud de la probeta (L)	$\pm 0, -2,5 \text{ mm}$ [$-0,100 \text{ pulg.}$]
Centrado de la entalla (L/2)	$\pm 1 \text{ mm}$ [0,04 pulg.]: cuando se necesite un dispositivo de centrado de extremo para centrar la probeta en el yunque (véase 8.3.2, ASTM E 23, <i>Standard Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials</i> (Métodos estándar de ensayo de impacto de barras entalladas de materiales metálicos)), debe ser necesario que la entalla esté centrada con precisión para asegurar el cumplimiento de A1.10.2 (ASTM E 23)
Ángulo de la entalla	$\pm 1^\circ$
Radio de la entalla	$\pm 0,025 \text{ mm}$ [$\pm 0,001 \text{ pulg.}$]
Profundidad de la entalla	$\pm 0,025 \text{ mm}$ [$\pm 0,001 \text{ pulg.}$]
Requisitos de acabado	$2 \mu\text{m}$ [63 $\mu\text{pulg.}$] en la superficie entallada y la cara opuesta; $4 \mu\text{m}$ [125 $\mu\text{pulg.}$] en otras dos superficies

Nota: se muestran cinco probetas de ensayo, ocho requeridas para ESW y EGW.

Figura 5.13—Probeta de ensayo CVN—Tipo A (véase 5.16.4)



Carga de fluencia mínima especificada del metal base, MPa [ksi]	A mm [pulg.]	B mm [pulg.]	C mm [pulg.]	D mm [pulg.]
345 [50] y menos	38,1 [1-1/2]	19,0 [3/4]	60,3 [2-3/8]	30,2 [1-3/16]
Más de 345 [50] hasta 620 [90]	50,8 [2]	25,4 [1]	73,0 [2-7/8]	36,6 [1-7/16]
620 [90] y más	63,5 [2-1/2]	31,8 [1-1/4]	85,7 [3-3/8]	42,9 [1-11/16]

- Notas:
1. El émbolo y las superficies internas de la matriz deben tener un acabado mecanizado.
 2. El diámetro A del émbolo debe ser igual o superior al ancho de la cara de la soldadura (después del mecanizado). Si este requisito no se puede cumplir, véase una orientación sobre el ajuste del espesor de la probeta y las dimensiones del portapieza en la norma AWS B4.0 B4.0M.

Figura 5.14—Plantilla para ensayo de doblado guiado (véase 5.18.3)

ANEXO C-1: Especificaciones de procedimientos de soldadura

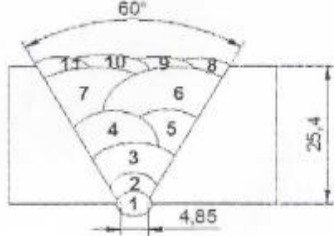
IMETECO

**WELDING PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)
ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

Company Name/Empresa: IMETECO
 WPS N° ...IME 03-15-01... Supporting PQR N° ...IME 03-15-01... Date/Fecha ... Octubre 19, 2015...
 Prequalified N° Revisions 0 Dates:
 Precalificado N° Revisiones Fechas
 Welding Process(es) FCAW-G Type(s): SEMIAUTOMATICO
 Procesos de Soldadura Tipo(s): (Automatic, Manual, Machine or Semi-Auto)
 Reference Code AWS D1.5, 2008
 Código de Referencia


<p>JOINTS UNIONES</p> <p>Groove Design TOPE SIMPLE "V" <i>Diseño Chaffan</i> Backing (YES) (NO) SI <i>Soporte (SI) (NO)</i> Material ASTM A 588 Gr. A <i>Material</i></p>	<p>Size of Electrode 1.2 mm <i>Tamaño del electrodo</i> Electrode Flux (Class) <i>Electrodo polvo (clase)</i> Consumable insert <i>Anillos consumibles</i> Other/Otros:</p>
<p>BASE METALS METALES BASE</p> <p>Classification AASHTO N° A709M (A709) Gr. 36 o Gr. 50 Type and Degree of Material ... ASTM A - 588 Gr. A ... <i>Tipo y Grado del material</i> Thickness Range TODOS <i>Rango de espesor</i> Pipe Diam Range TODOS <i>Rango diámetro tubo</i> Other/Otros</p>	<p>POSITION POSICIÓN</p> <p>Position of Groove PLANA y HORIZONTAL <i>Posición del Chaffan</i> Welding Progression <i>Secuencia de soldadura</i> Other/Otros</p>
<p>FILLER METALS METALES DE APORTACIÓN</p> <p>AWS Specification A 5.29 <i>Especificación AWS</i> AWS Classification E81T-1 Ni2CJ H4 <i>Clasificación AWS</i> Thickness Range TODOS <i>Rango de Espesor</i></p>	<p>PREHEAT PRECALENTAMIENTO</p> <p>Preheat Temp. Min 25°C <i>Temperatura precal.</i> Interpass Temp. Max 250°C <i>Temperatura entre pasadas</i> Preheat Maintenance <i>Mantenimiento del precal.</i> Other/Otros</p>

Carlos Fierro I.
 Carlos Fierro
 CWI 06073921
 QC1 EXP. 7/1/2018

<p>POST WELD HEAT TREATMENT TRATAMIENTO TÉRMICO POSTSOLDEO</p> <p>Temperature N/A <i>Temperatura</i></p> <p>Time Range N/A <i>Tiempo</i></p> <p>Other/Otros N/A</p>	<p>TECHNIQUE TÉCNICA</p> <p>Spring or Weave Bead OSCILANTE..... <i>Aportación recta u oscilante</i></p> <p>Orifice or Gas Cup Size <i>Orificio o tam. de boquilla de gas</i></p> <p>Initial interpass Cleaning CEPILLADO..... <i>(Brushing, Grinding, etc.)</i> <i>Limpieza, inicial y entrepasadas</i> <i>(Cepillado, esmerinado, etc.)</i></p> <p>Method of Back Gouging <i>Método de limpiar la raíz</i></p> <p>Oscillation <i>Oscilación</i></p> <p>Contact tube to work distance 25 mm..... <i>Distancia tubo contacto</i></p> <p>Multipass or single pass MULTIPLE..... <i>Fasadas simples o múltiples</i></p> <p>Single or Multiple Electrodes SIMPLE..... <i>Simple o múltiples electrodos</i></p> <p>Travel Speed (Range) 200 - 400 mm/min..... <i>Velocidad (Rango)</i></p> <p>Other/Otros : N/A.....</p>														
<p>GAS GAS</p> <p>Shielding Gas Ar y CO₂..... <i>Gas de protección</i></p> <p>Percent Composition (Mixture) 80% Ar y 20% CO₂ <i>Composición % (Mezcla)</i></p> <p>Flow Rate 40.0 p³/hr <i>Caudal</i></p> <p>Gas Backing N/A..... <i>Gas soporte</i></p> <p>Trailing Shielding Gas N/A..... <i>Gas de protección secundario</i></p> <p>Other/Otros N/A.....</p>	<p>ELECTRICAL CHARACTERISTICS CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS</p> <p>Current DIRECTA..... <i>Corriente</i></p> <p>Polarity ELECTRODO POSITIVO (DCEP)..... <i>Polaridad</i></p> <p>Transfer Mode SPRAY..... <i>Modo de Transferencia</i></p> <p>Heat input Max 1607 J/mm..... <i>Modo de Transferencia</i></p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th>PASE Nº</th> <th>PROC.</th> <th>CLASE</th> <th>DIAM (mm)</th> <th>AMPS</th> <th>VOLTS</th> <th>VELOC. AVAN. CM/MIN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1-n</td> <td>FCAW-G</td> <td>E61T-1Ni2CJH4</td> <td>1.2</td> <td>228</td> <td>23.5 - 27.0</td> <td>20-40</td> </tr> </tbody> </table>	PASE Nº	PROC.	CLASE	DIAM (mm)	AMPS	VOLTS	VELOC. AVAN. CM/MIN	1-n	FCAW-G	E61T-1Ni2CJH4	1.2	228	23.5 - 27.0	20-40
PASE Nº	PROC.	CLASE	DIAM (mm)	AMPS	VOLTS	VELOC. AVAN. CM/MIN									
1-n	FCAW-G	E61T-1Ni2CJH4	1.2	228	23.5 - 27.0	20-40									
<p>SKETCH CROQUIS</p> 															
<p>Prepared by: <i>Elaborado por</i></p> <p>Approved by: <i>Carlos Fierro I</i> Date: Octubre 19, 2015..... <i>Aprobado por</i> Carlos Fierro CWI 00073621 QC1 EXP. 7/1/2018 <i>Fecha:</i></p>															




ANEXO C-2: Características del alambre E71T1 de Indura



INDURA
Tecnología a su Servicio

INDURA 71T-1

Rev.01-010412



- Alambre tubular con protección gaseosa externa para aceros al carbono.
- Protección gaseosa 100% CO₂.

Clasificación:

ASME IIC SFA 5.20 / AWS A5.20
E 71T-1C / E 491T-1C

Características y Campos de usos:

- Está diseñado para soldar aceros de alta resistencia.
- Posee un amplio rango de parámetros de operación, bajos niveles de salpicaduras y fácil remoción de escoria, lo que permite minimizar la operación de limpieza después de soldar.
- Están diseñados para simple o multi pasada. Se caracterizan por alta velocidad de deposición, calidad radiográfica, baja pérdida por salpicadura y cordón plano a levemente convexo.
- Extremadamente versátil para una gran variedad de aplicaciones, tales como equipos para movimiento de tierra, maquinaria pesada, construcción naval, estanques de almacenamiento, puentes y fabricación en general de aceros estructurales.

Análisis Típico del metal depositado (% en peso)

Gas	C	Mn	Si	P	S
CO ₂	0.05	1.37	0.37	0.018	0.005


Propiedades Mecánicas Típicas del Metal Depositado:

Gas	Esf. Fluencia en 0.2%, MPa	Esf. Máx. de Tracción, MPa	Elongación (L=4d), %	E. Absorbida Ch-v
CO ₂	493	574	26	80J a -20°C

Parámetros de Soldadura y Datos

Diámetro, mm	1.2	1.6
Int. de Corr., A	140 - 320	200 - 380
Voltaje, Volts	22 - 35	25 - 36
Stickout, mm	15 - 25	15 - 25


Posición de Soldadura




CCEP

INDURA 71T-1

INDURA S.A. – Centro de Servicio al Cliente 600 600 3030 – www.indura.net




ANEXO C-3: Características del alambre E81T1Ni2 de Indura



INDURA
Tecnología a su Servicio

81Ni2-V

Rev.01-010412



- Alambre tubular con protección gaseosa externa
- Protección gaseosa, Indurmig 20 o 100% CO₂

Clasificación

ASME IIC SFA 5.29 /AWS A5.29
E 81T1-Ni2C, Ni2M E 551T1-Ni2C, -Ni2M

Características y Campos de usos:

- Alambre tubular con protección gaseosa. Se caracteriza por excelente estabilidad de arco, baja salpicadura utilizando CO₂ o Indurmig 20, bajos niveles de hidrógeno difusible y buena resistencia al impacto
- Produce propiedades mecánicas superiores en el metal depositado, lo cual lo hace recomendable para aplicaciones tales como construcción naval y de maquinaria pesada. Recomendado para soldaduras de simle o multi pasada en toda posición
- Aplicaciones Típicas, construcción naval, aceros HSLA, aceros expuestos al ambiente, maquinaria pesada y equipos mineros

Análisis Típico del metal depositado (% en peso)

Gas	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
Indurmig	0.05	1.10	0.28	0.015	0.014	0.04	2.24	0.02
100%CO ₂	0.04	0.63	0,08	0.015	0.013	0.03	2.34	0.02


Propiedades Mecánicas Típicas del Metal Depositado

Gas	Esf. Fluencia en 0.2%, MPa	Esf. Máx. de Tracción, MPa	Elongación (L=4d), %	E. Absorbida Ch-v
Indurmig	632	685	20	37J a -40°C
CO ₂	579	636	22	31J a -40°C

Parámetros de Soldadura y Datos

Diámetro, mm	1.2	1.6
Int.. de Corr., A	100 - 300	150 - 400
Voltaje, Volts	22 - 30	23 - 29
Stickout, mm	13 - 19	13 - 19
Velocidad de depósito, Kg/h	1.2 - 4.2	1.8 - 6.9

Posición de Soldadura





CCEP

81Ni2-V

INDURA S.A. – Centro de Servicio al Cliente 600 600 3030 – www.indura.net

1

ANEXO D-1: Informe de ensayo de tracción de material base

Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales LEMAT		INFORME DE ENSAYOS/ CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	 FIMCP <i>Edición: 4</i>				
Hoja: 3 de 8 Nº Informe: 15-231		Fecha de emisión: 18/09/2015 Número de Orden: OT-587-15					
INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE TENSIÓN							
NORMA DE REFERENCIA: ASTM E8 2015		Temperatura Máx/Min: 26.1/25.2 °C					
PROCEDIMIENTO: PEE-LEMAT-02		Humedad Máx/Min: 63.5/55.2 %HR					
VELOCIDAD DEL ENSAYO: 10 MPa/s		CONTROL DE VELOCIDAD: Mediante tasa de esfuerzo					
LONGITUD CALIBRADA INICIAL: 200 mm							
INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE:							
MATERIAL:		ASTM A588 Gr. A					
Código de Muestra	Forma de la probeta	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Área (mm ²)	Esfuerzo de Fluencia Superior (MPa)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Elongación Luego de Rotura (%)
15-2639	PLANA	22.10	39.82	880.02	357.519	534.639	25.14
15-2640	PLANA	22.32	40.00	892.80	367.755	540.533	24.73
15-2641	PLANA	20.46	40.12	820.86	404.944	555.130	26.83
15-2642	PLANA	19.88	40.02	795.60	395.670	541.386	26.55
15-2643	PLANA	16.12	40.28	649.31	425.209	525.295	23.19
15-2644	PLANA	22.54	39.80	897.09	368.378	527.182	25.27
15-2645	PLANA	16.10	40.28	648.51	415.039	525.659	25.95
15-2646	PLANA	20.34	39.90	811.57	403.918	550.348	26.87
15-2647	PLANA	16.02	40.56	649.77	397.205	529.658	26.90
<i>Tabla 1. Resultados de ensayo de tensión.</i>							
OBSERVACIONES:							
Las muestras y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente. El esfuerzo de fluencia reportado corresponde al esfuerzo de fluencia superior de acuerdo a la norma ASTM E8-2015 e INEN 109:2009. Las dimensiones reportadas corresponden a las dimensiones de la probeta previo al ensayo de tracción.							
PEE0202-01							

ANEXO D-2: Informe de ensayo de tracción de probetas



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



ENSAYO DE TRACCIÓN
MÁQUINA: CONTROLS - C78Z00

PROYECTO: Análisis de las combinaciones porcentuales del material de aporte de una junta a tope en un acero ASTM A588 grado a utilizando los alambres tubulares E71T1 y E81T1Ni2 para determinar las propiedades mecánicas en la fabricación de superestructura para puentes
FECHA DE INICIO: 28 de julio del 2016
FECHA DE EXP: 29 de julio del 2016
MAESTRANTE: Ing. Oscar Iván Analuiza Maiza
CI: 180382826-6
SOLICITADO POR: Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)
Nº DE ORDEN: N/A
ENSAYADO POR: Egdo. Christian Revelo - AUXILIAR DE LABORATORIO DE INGENIERIA CIVIL
DESCRIPCION: Probetas I - 30
UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales - Campus Huachi - FICM - UTA
MUESTRA: Bajo Norma ASTM E-8

#	ID	Diametro Promedio	Carga Maxima		Resistencia a la Traccion		% Elongacion en 50 mm
		mm	kN	lbf	Mpa	ksi	%
1	PA1	12,52	70,34	15813,14	571,33	128440,70	22,20
2	PA2	12,24	70,06	15750,19	595,00	133761,95	30,00
3	PA3	12,42	77,22	17359,83	637,40	143293,89	29,00
4	PAM1	12,45	77,56	17436,26	637,10	143226,45	23,30
5	PAM2	12,50	81,23	18261,32	661,96	148815,23	30,47
6	PAM3	12,48	82,91	18639,00	677,75	152364,98	22,65
7	PB1	12,48	99,00	22256,19	809,31	181940,98	20,70
8	PB2	12,50	81,00	18209,61	684,49	153880,20	22,34
9	PB3	12,49	73,35	16489,81	598,63	134578,01	27,19
10	PBM1	12,50	73,62	16550,51	663,72	149210,89	22,33
11	PBM2	12,41	84,31	18953,73	679,02	152650,49	24,18
12	PBM3	12,48	84,98	19104,35	694,69	156173,26	21,01
13	PC1	12,51	89,39	20095,77	727,29	163502,06	22,29
14	PC2	12,42	75,08	16878,73	619,75	139326,00	23,48
15	PC3	12,48	76,76	17256,42	627,44	141054,79	25,19
16	PCM1	12,52	84,71	19043,66	688,09	154689,51	24,88
17	PCM2	12,69	87,05	19569,71	688,28	154732,23	24,57
18	PCM3	12,53	81,57	18337,75	661,51	148714,06	26,23
19	PD1	12,47	77,89	17510,45	637,78	143379,32	24,55
20	PD2	12,48	80,57	18112,94	658,62	148064,36	25,48
21	PD3	12,45	80,23	18036,51	659,05	148161,03	25,95
22	PDM1	12,58	98,08	22049,36	789,12	177402,07	20,96
23	PDM2	12,45	83,17	18697,45	683,22	153594,69	24,78
24	PDM3	12,61	89,26	20066,54	714,72	160676,20	12,36
25	PE1	12,43	74,55	16759,59	616,32	138554,90	30,73
26	PE2	12,41	76,76	17256,42	634,56	142655,43	25,87
27	PE3	12,50	81,30	18277,05	662,51	148938,87	22,21
28	PEM1	12,52	85,92	19315,68	697,86	156885,91	24,81
29	PEM2	12,41	87,72	19720,33	725,21	163034,46	22,78
30	PEM3	12,48	84,04	18893,03	687,04	154453,46	12,16


 Ing. Byron López Sánchez
TECNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



ANEXO D-3: Informe de ensayo de impacto de probetas



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



ENSAYO DE IMPACTO
MÁQUINA CHARPY

PROYECTO: Análisis de las combinaciones porcentuales del material de aporte de una junta a tope en un acero ASTM A588 grado a utilizando los alambres tubulares E71T1 y E81T1N2 para determinar las propiedades mecánicas en la fabricación de superestructura para puentes					FECHA DE INICIO: 28 de julio del 2016		
MAESTRANTE: Ing. Oscar Iván Analiza Maiza					FECHA DE EXP: 29 de julio del 2016		
SOLICITADO POR: Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)					CI: 180382826-6		
ENSAYADO POR: Ego. Gabriel Mazón - AUXILIAR DE LABORATORIO DE INGENIERIA MECÁNICA					Nº DE ORDEN: N/A		
UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales - Campus Huachi - FICM - UTA					DESCRIPCION: Probetas 1 - 50		
					MUESTRA: Bajo Norma ASTM E-23		
#	ID	MUESTRA 1			MUESTRA 2		
		T (°C)	kgPm	J	T (°C)	kgPm	J
1	PA1	-20,50	6,93	68,00	-21,00	6,63	65,00
2	PA2	-20,00	11,01	108,00	-20,00	11,93	117,00
3	PA3	-20,00	7,75	76,00	-20,00	8,06	79,00
4	PAM1	-21,20	5,20	51,00	-20,00	5,51	54,00
5	PAM2	-19,00	5,71	56,00	-19,00	5,71	56,00
6	PAM3	-22,00	3,67	36,00	-20,00	6,22	61,00
7	PB1	-20,80	8,26	81,00	-20,90	6,63	65,00
8	PB2	-20,50	12,70	124,54	-20,80	12,10	118,66
9	PB3	-19,90	13,40	131,41	-20,70	13,10	128,47
10	PBM1	-20,00	5,94	58,30	-20,00	4,24	41,60
11	PBM2	-22,00	6,63	65,00	-21,50	7,24	71,00
12	PBM3	-21,30	6,42	63,00	-20,50	6,32	62,00
13	PC1	-21,00	5,00	49,00	-20,20	6,22	61,00
14	PC2	-21,00	5,20	51,00	-22,00	6,02	59,00
15	PC3	-22,00	5,71	56,00	-20,20	5,30	52,00
16	PCM1	-20,80	4,79	47,00	-22,00	3,16	31,00
17	PCM2	-19,50	6,02	59,00	-21,20	4,89	48,00
18	PCM3	-20,20	7,95	78,00	-22,00	5,20	51,00
19	PD1	-20,00	5,20	51,00	-20,60	5,30	52,00
20	PD2	-22,00	2,75	27,00	-20,80	4,69	46,00
21	PD3	-19,80	6,42	63,00	-21,00	3,26	32,00
22	PDM1	-20,50	2,55	25,00	-19,50	2,14	21,00
23	PDM2	-19,40	3,77	37,00	-19,70	3,98	39,00
24	PDM3	-20,80	2,35	23,00	-20,20	3,16	31,00
25	PE1	-20,50	5,30	52,00	-19,70	5,40	53,00
26	PE2	-21,30	4,38	43,00	-21,50	6,42	63,00
27	PE3	-20,30	4,28	42,00	-20,80	6,22	61,00
28	PEM1	-20,10	2,96	29,00	20,20	2,75	27,00
29	PEM2	-20,50	3,98	39,00	-19,90	4,28	42,00
30	PEM3	-20,00	3,16	31,00	-19,40	5,20	51,00

Ing. Wilmo Vacacela
TECNICO DE LABORATORIO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

Ego. Gabriel Mazón
AUXILIAR LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



ANEXO D-4: Informe de ensayo de doblado guiado de probetas



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



ENSAYO DE DOBLADO GUIADO
 MÁQUINA DE DOBLADO ACORDE A LA NORMA AWS D1.5

PROYECTO: Análisis de las combinaciones porcentuales del material de aporte de una junta a tope en un acero ASTM A588 grado a utilizando los alambres tubulares E71T1 y E81T1N2 para determinar las propiedades mecánicas en la fabricación de superestructura para puentes MAESTRANTE: Ing. Oscar Iván Analiza Maiza SOLICITADO POR: Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte) ENSAYADO POR: Ego. Gabriel Matzín - AUXILIAR DE LABORATORIO DE INGENIERIA MECÁNICA UBICACIÓN: Laboratorio de Ensayo de Materiales - Campus Huachi - FICM - UTA	FECHA DE INICIO: 13 de julio del 2016 FECHA DE EXP: 15 de julio del 2016 CE: 1803R26-6 Nº DE ORDEN: N/A DESCRIPCIÓN: Probetas 1 - 50 MUESTRA: Bajo Norma AWS D1.5
--	--

#	ID	MUESTRA 1		MUESTRA 2	
		OBSERVACIONES	CALIFICACIÓN	OBSERVACIONES	CALIFICACIÓN
1	PA1	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
4	PA2	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
3	PA3	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
4	PAM1	Se observa 7,8 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	No Aprueba	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
3	PAM2	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
2	PAM3	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
4	PB1	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
3	PB2	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
5	PB3	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
6	PBM1	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
6	PBM2	Se observa 2,2 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
7	PBM3	Se observa 1,4 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	Se observa 1,8 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
8	PC1	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	Se observa 2,2 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
9	PC2	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
10	PC3	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	Se observa 1,7 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
11	PCM1	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	Se observa 2,5 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
12	PCM2	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
13	PCM3	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
14	PD1	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
15	PD2	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
16	PD3	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
17	PDM1	Se observa 2,5 mm de discontinuidades en la base del cordón de soldadura	Aprueba	Se observa 4 mm de discontinuidades en la base del cordón de soldadura	No Aprueba
18	PDM2	Se observa 3,2 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	No Aprueba	Se observa 2,1-0,7-1,7 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
19	PDM3	Se observa 1,5 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	Se observa 0,8-1-2,9 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
20	PE1	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
21	PE2	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	Se observa 1,2 mm de discontinuidades en la base del cordón de soldadura	Aprueba
22	PE3	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
23	PEM1	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	Se observa 1,0 mm de discontinuidades en la base del cordón de soldadura	Aprueba
24	PEM2	Se observa 0,9-1,9 mm de discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
25	PEM3	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba	Se observa 1,5 mm de discontinuidades en la base del cordón de soldadura	Aprueba



Ing. Wilma Vacacola
 TÉCNICO DE LABORATORIO
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

Ing. Gabriel Matzín
 AUXILIAR LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



ANEXO D-5: Informe de ensayo macrográfico de probetas



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
 ENSAYO MACROGRÁFICO
 ATAQUE QUÍMICO (NTAL 4)



		MUESTRA 1					MUESTRA 2				
#	ID	Fusión entre capas	Fusión MB-MA	Perfil Soldadura	Discontinuidades	Calificación	Fusión entre capas	Fusión MB-MA	Perfil Soldadura	Discontinuidades	Calificación
1	PA1	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO
2	PAM1	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO
3	PAM2	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO
4	PAM3	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO
5	PB3	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO
6	PBM2	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO
7	PBM3	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO
8	PC1	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO
9	PC2	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO
10	PC3	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO
11	PCM1	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO
12	PCM2	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO
13	PCM3	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO
14	PD1	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO
15	PD2	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO
16	PD3	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO
17	PDM1	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO
18	PDM2	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO
19	PDM3	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO
20	PE1	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO
21	PE2	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO
22	PE3	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO
23	PEM1	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO
24	PEM2	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO
25	PEM3	SI	SI	CONVEXIDAD EXCESIVA	NO	RECHAZADO	SI	SI	ACEPTABLE	NO	APROBADO

Ing. Wilmo Vacacela
 TÉCNICO DE LABORATORIO
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

Esteban Gabriel Sáenz
 AUXILIAR LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



ANEXO E-1: Norma ASTM A-370



Designation: A 370 – 97a

Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products¹

This standard is issued under the fixed designation A 370; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 These test methods² cover procedures and definitions for the mechanical testing of wrought and cast steel products. The various mechanical tests herein described are used to determine properties required in the product specifications. Variations in testing methods are to be avoided and standard methods of testing are to be followed to obtain reproducible and comparable results. In those cases where the testing requirements for certain products are unique or at variance with these general procedures, the product specification testing requirements shall control.

1.2 The following mechanical tests are described:

	Sections
Tension	5 to 13
Bend	14
Hardness	15
Brinell	16
Rockwell	17
Portable	18
Impact	19 to 28
Keywords	29

1.3 Annexes covering details peculiar to certain products are appended to these test methods as follows:

	Annex
Bar Products	1
Tubular Products	2
Fasteners	3
Round Wire Products	4
Significance of Notched-Bar Impact Testing	5
Converting Percentage Elongation of Round Specimens to Equivalents for Flat Specimens	6
Testing Multi-Wire Strand	7
Rounding of Test Data	8
Methods for Testing Steel Reinforcing Bars	9
Procedure for Use and Control of Heat-Cycle Simulation	10

1.4 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard.

1.5 When this document is referenced in a metric product specification, the yield and tensile values may be determined in inch-pound (ksi) units then converted into SI (MPa) units. The

elongation determined in inch-pound gage lengths of 2 or 8 in. may be reported in SI unit gage lengths of 50 or 200 mm, respectively, as applicable. Conversely, when this document is referenced in an inch-pound product specification, the yield and tensile values may be determined in SI units then converted into inch-pound units. The elongation determined in SI unit gage lengths of 50 or 200 mm may be reported in inch-pound gage lengths of 2 or 8 in., respectively, as applicable.

1.6 Attention is directed to Practices A 880 and E 1595 when there may be a need for information on criteria for evaluation of testing laboratories.

1.7 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- A 703/A 703M Specification for Steel Castings, General Requirements, for Pressure-Containing Parts³
- A 781/A 781M Specification for Castings, Steel and Alloy, Common Requirements, for General Industrial Use³
- A 833 Practice for Indentation Hardness of Metallic Materials by Comparison Hardness Testers⁴
- A 880 Practice for Criteria for Use in Evaluation of Testing Laboratories and Organizations for Examination and Inspection of Steel, Stainless Steel, and Related Alloys⁵
- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁶
- E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing⁶
- E 8 Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials⁶
- E 8M Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Metric]⁶
- E 10 Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials⁶
- E 18 Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials⁶

¹ These test methods and definitions are under the jurisdiction of ASTM Committee A-1 on Steel, Stainless Steel and Related Alloys and are the direct responsibility of Subcommittee A01.13 on Mechanical and Chemical Testing and Processing Methods of Steel Products and Processes.

Current edition approved Jan. 10 and March 10, 1997. Published November 1997. Originally published as A 370 – 53 T. Last previous edition A 370 – 96.

² For ASME Boiler and Pressure Vessel Code applications see related Specification SA-370 in Section II of that Code.

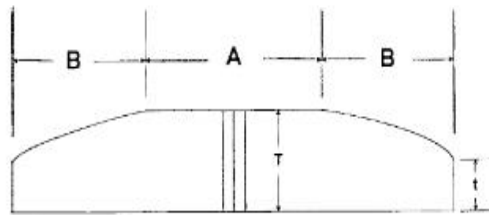
³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.02.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.05.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.03.

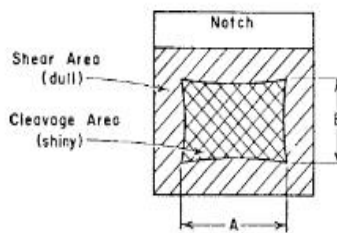
⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

A 370



Dimension	Description	Requirement
A	Machined Surface	28 mm Minimum
B	Original OD Surface	13.5 mm Maximum
T	Specimen Thickness	Figure 11
t	End Thickness	1/2 T Minimum

FIG. 12 Tubular Impact Specimen Containing Original OD Surface



NOTE 1—Measure average dimensions *A* and *B* to the nearest 0.02 in. or 0.5 mm.
 NOTE 2—Determine the percent shear fracture using Table 7 or Table 8.

FIG. 13 Determination of percent Shear Fracture

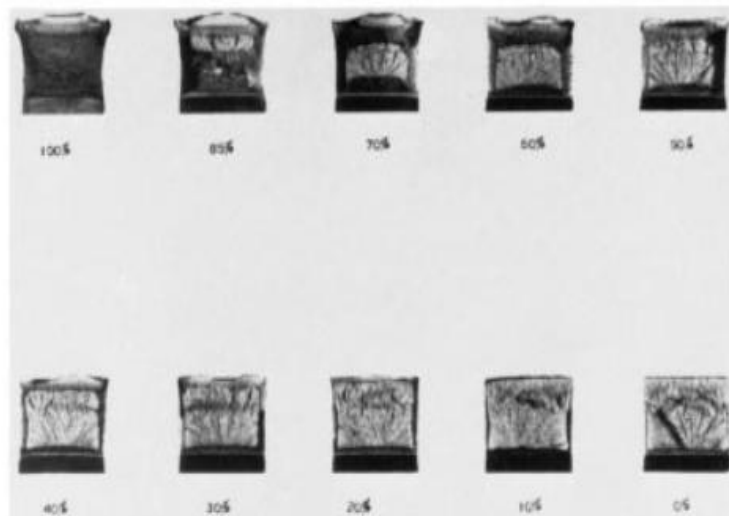


FIG. 14 Fracture Appearance Charts and Percent Shear Fracture Comparator

ANEXO E-2: Norma ASTM E-08



Designation: E 8M – 00b
METRIC

An American National Standard

Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Metric]¹

This standard is issued under the fixed designation E 8M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope *

1.1 These test methods cover the tension testing of metallic materials in any form at room temperature, specifically, the methods of determination of yield strength, yield point elongation, tensile strength, elongation, and reduction of area.

NOTE 1—These test methods are the metric companion of Test Methods E 8. Committee E-28 was granted an exception in 1997 by the Committee on Standards to maintain E 8 and E 8M as separate companion standards rather than combining standards as recommended by the Form and Style manual.

NOTE 2—These metric test methods are essentially the same as those in Test Methods E 8, and are compatible in technical content except that gage lengths are required to be 5D for most round specimens rather than 4D as specified in Test Methods E 8. Test specimens made from powder metallurgy (P/M) materials are exempt from this requirement by industry-wide agreement to keep the pressing of the material to a specific projected area and density.

NOTE 3—Exceptions to the provisions of these test methods may need to be made in individual specifications or test methods for a particular material. For examples, see Test Methods and Definitions A 370 and Test Methods B 557M.

NOTE 4—Room temperature shall be considered to be 10 to 38°C unless otherwise specified.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

A 356/A356M Specification for Steel Castings, Carbon, Low Alloy, and Stainless Steel, Heavy-Walled for Steam Turbines²

A 370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products³

B 557M Test Methods of Tension Testing Wrought and Cast

Aluminum- and Magnesium-Alloy Products [Metric]⁴

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁵

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing⁵

E 8 Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials⁵

E 29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications⁶

E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers⁵

E 345 Test Methods of Tension Testing of Metallic Foil⁵

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁶

E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading⁵

3. Terminology

3.1 *Definitions*—The definitions of terms relating to tension testing appearing in Terminology E 6 shall be considered as applying to the terms used in these test methods of tension testing. Additional terms being defined are as follows:

3.1.1 *discontinuous yielding*—a hesitation or fluctuation of force observed at the onset of plastic deformation, due to localized yielding. (The stress-strain curve need not appear to be discontinuous.)

3.1.2 *lower yield strength, LYS* [FL^{-2}]—the minimum stress recorded during discontinuous yielding, ignoring transient effects.

3.1.3 *upper yield strength, UYS* [FL^{-2}]—the first stress maximum (stress at first zero slope) associated with discontinuous yielding.

3.1.4 *yield point elongation, YPE*—the strain (expressed in percent) separating the stress-strain curve's first point of zero slope from the point of transition from discontinuous yielding to uniform strain hardening. If the transition occurs over a range of strain, the YPE end point is the intersection between (a) a horizontal line drawn tangent to the curve at the last zero slope and (b) a line drawn tangent to the strain hardening portion of the stress-strain curve at the point of inflection. If there is no point at or near the onset of yielding at which the

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28.04 on Uniaxial Testing.

Current edition approved Dec. 10, 2000. Published February 2001. Originally published as E 8M – 84. Last previous edition E 8M – 00a.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.03.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 02.02.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

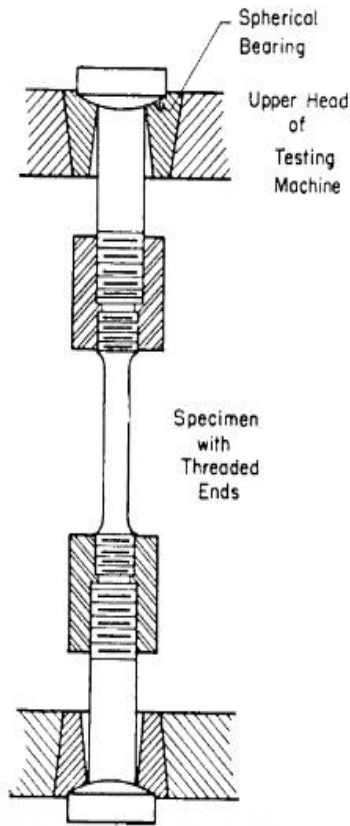


FIG. 3 Gripping Device for Threaded-End Specimens

within the gage length. For this reason, a small taper is permitted in the reduced section of each of the specimens described in the following sections.

6.1.4 *Specimen Surface Finish*—When materials are tested with surface conditions other than as manufactured, the surface finish of the test specimens shall be as provided in the applicable product specifications.

NOTE 8—Particular attention should be given to the uniformity and quality of surface finish of specimens for high strength and very low ductility materials, since this has been shown to be a factor in the variability of test results.

6.2 *Plate-Type Specimens*—The standard plate-type specimen is shown in Fig. 1. This specimen is used for testing metallic materials in the form of plate, shapes, and flat material having a nominal thickness of 5 mm or over. When product specifications so permit, other types of specimens may be used, as provided in 6.3, 6.4, and 6.5.

6.3 *Sheet-Type Specimens:*

6.3.1 The standard sheet-type test specimen is shown in Fig. 1. This specimen is used for testing metallic materials in the form of sheet, plate, flat wire, strip, band, hoop, rectangles, and shapes ranging in nominal thickness from 0.13 to 19 mm. When product specifications so permit, other types of specimens may be used as provided in 6.2, 6.4, and 6.5.

NOTE 9—Test Methods E 345 may be used for tension testing of

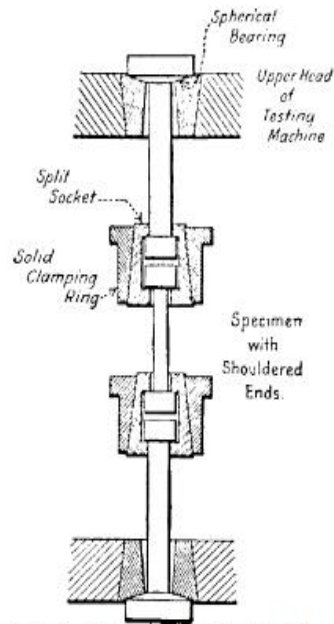


FIG. 4 Gripping Device for Shouldered-End Specimens

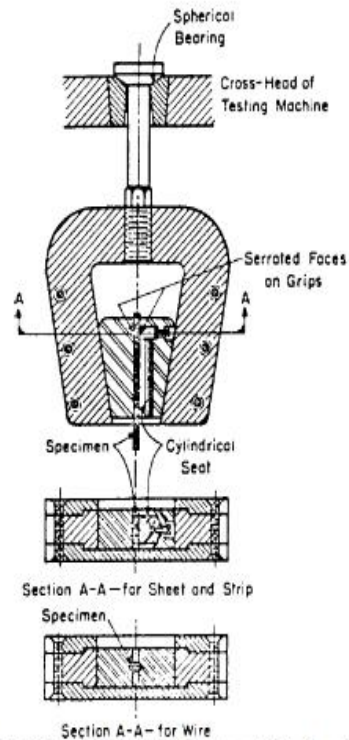
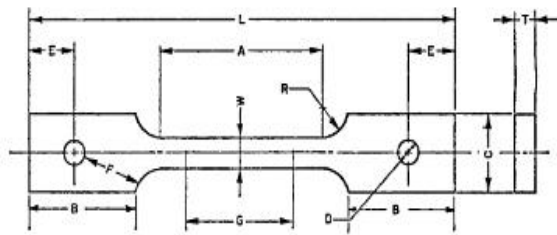


FIG. 5 Gripping Devices for Sheet and Wire Specimens

materials in thicknesses up to 0.150 mm.

6.3.2 Pin ends as shown in Fig. 7 may be used. In order to avoid buckling in tests of thin- and high-strength materials, it

E 8M



Dimensions, mm

G—Gage length	50.0 ± 0.1
W—Width (Note 1)	12.5 ± 0.2
T—Thickness, max (Note 2)	12.5
R—Radius of fillet, min (Note 3)	13
L—Overall length, min	200
A—Length of reduced section, min	57
B—Length of grip section, min	50
C—Width of grip section, approximate	50
D—Diameter of hole for pin, min (Note 4)	13
E—Edge distance from pin, approximate	40
F—Distance from hole to fillet, min	15

NOTE 1—The ends of the reduced section shall differ in width by not more than 0.1 mm. There may be a gradual taper in width from the ends to the center, but the width at each end shall be not more than 1 % greater than the width at the center.

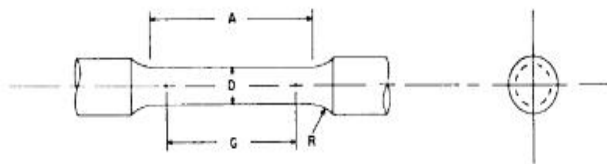
NOTE 2—The dimension *T* is the thickness of the test specimen as stated in the applicable product specifications.

NOTE 3—For some materials, a fillet radius *R* larger than 13 mm may be needed.

NOTE 4—Holes must be on center line of reduced section, within ± 0.1 mm.

NOTE 5—Variations of dimensions *C*, *D*, *E*, *F*, and *L* may be used that will permit failure within the gage length.

FIG. 7 Pin-Loaded Tension Test Specimen with 50-mm Gage Length



Dimensions, mm

	Standard Specimen					Small-Size Specimens Proportional To Standard				
	12.5	9	6	4	2.5					
G—Gage length	62.5 ± 0.1	45.0 ± 0.1	30.0 ± 0.1	20.0 ± 0.1	12.5 ± 0.1					
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2	9.0 ± 0.1	6.0 ± 0.1	4.0 ± 0.1	2.5 ± 0.1					
R—Radius of fillet, min	10	8	6	4	2					
A—Length of reduced section, min (Note 2)	75	54	36	24	20					

NOTE 1—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center, with the ends not more than 1 % larger in diameter than the center (controlling dimension).

NOTE 2—If desired, the length of the reduced section may be increased to accommodate an extensometer of any convenient gage length. Reference marks for the measurement of elongation should, nevertheless, be spaced at the indicated gage length.

NOTE 3—The gage length and fillets shall be as shown, but the ends may be of any form to fit the holders of the testing machine in such a way that the load may be axial (see Fig. 9). If the ends are to be held in wedge grips it is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

NOTE 4—On the round specimens in Figs. 8 and 9, the gage lengths are equal to five times the nominal diameter. In some product specifications other specimens may be provided for, but the 5-to-1 ratio is maintained within dimensional tolerances, the elongation values may not be comparable with those obtained from the standard test specimen.

NOTE 5—The use of specimens smaller than 6 mm in diameter shall be restricted to cases when the material to be tested is of insufficient size to obtain larger specimens or when all parties agree to their use for acceptance testing. Smaller specimens require suitable equipment and greater skill in both machining and testing.

FIG. 8 Standard 12.5-mm Round Tension Test Specimen with Gage Lengths Five Times the Diameters (5D), and Examples of Small-Size Specimens Proportional to the Standard Specimen

6.8 *Shapes, Structural and Other*—In testing shapes other than those covered by the preceding sections, one of the types of specimens described in 6.2, 6.3, and 6.4 shall be used.

6.9 *Specimens for Pipe and Tube* (Note 12):

6.9.1 For all small tube (Note 12), particularly sizes 25 mm and under in nominal outside diameter, and frequently for

experimentally determined by using suitable length-measuring and timing devices.

NOTE 21—For machines not having crossheads or having stationary crossheads, the phrase “free-running crosshead speed” may be interpreted to mean the free-running rate of grip separation.

7.6.3 Speed of Testing When Determining Yield Properties—Unless otherwise specified, any convenient speed of testing may be used up to one half the specified yield strength or up to one quarter the specified tensile strength, whichever is smaller. The speed above this point shall be within the limits specified. If different speed limitations are required for use in determining yield strength, yield point elongation, tensile strength, elongation, and reduction of area, they should be stated in the product specifications. In the absence of any specified limitations on speed of testing, the following general rules shall apply:

NOTE 22—In the previous and following paragraphs, the yield properties referred to include yield strength and yield point elongation.

7.6.3.1 The speed of testing shall be such that the forces and strains used in obtaining the test results are accurately indicated.

7.6.3.2 When performing a test to determine yield properties, the rate of stress application shall be between 1.15 and 11.5 MPa/s.

NOTE 23—When a specimen being tested begins to yield, the stressing rate decreases and may even become negative in the case of a specimen with discontinuous yielding. To maintain a constant stressing rate in this case would require the testing machine to operate at extremely high speeds and, in many cases, this is not practical. The speed of the testing machine shall not be increased in order to maintain a stressing rate when the specimen begins to yield. In practice, it is simpler to use either a strain rate, a rate of separation of the heads, or a free-running crosshead speed which approximates the desired stressing rate. As an example, use a strain rate that is less than 11.5 MPa/s divided by the nominal Young's Modulus of the material being tested. As another example, find a rate of separation of the heads through experimentation which would approximate the desired stressing rate prior to the onset of yielding, and maintain that rate of separation of the heads through the region that yield properties are determined. While both of these methods will provide similar rates of stressing and straining prior to the onset of yielding, the rates of stressing and straining may be different in the region where yield properties are determined. This difference is due to the change in the rate of elastic deformation of the testing machine, before and after the onset of yielding. In addition, the use of any of the methods other than rate of straining may result in different stressing and straining rates when using different testing machines, due to differences in the stiffness of the testing machines used.

7.6.4 Speed of Testing When Determining Tensile Strength—In the absence of any specified limitations on speed of testing, the following general rules shall apply for materials with expected elongations greater than 5%. When determining only the tensile strength, or after the yield behavior has been recorded, the speed of the testing machine shall be set between 0.05 and 0.5 m/m of the length of the reduced section (or distance between the grips for specimens not having reduced sections) per minute. Alternatively, an extensometer and strain rate indicator may be used to set the strain between 0.05 and 0.5 m/m/min.

NOTE 24—For materials with expected elongations less than or equal to 5%, the speed of the testing machine may be maintained throughout the test at the speed used to determine yield properties.

NOTE 25—Tensile strength and elongation are sensitive to test speed for many materials (see Appendix XI) to the extent that variations within the range of test speeds given above can significantly affect results.

7.7 Determination of Yield Strength—Determine yield strength by any of the methods described in 7.7.1 to 7.7.4. Where extensometers are employed, use only those which are verified over a strain range in which the yield strength will be determined (see 5.4).

NOTE 26—For example, a verified strain range of 0.2 to 2.0% is appropriate for use in determining the yield strengths of many metals.

NOTE 27—Determination of yield behavior on materials which cannot support an appropriate extensometer (thin wire, for example) is problematic and outside the scope of this standard.

7.7.1 Offset Method—To determine the yield strength by the offset method, it is necessary to secure data (autographic or numerical) from which a stress-strain diagram may be drawn. Then on the stress-strain diagram (Fig. 21) lay off Om equal to the specified value of the offset, draw mn parallel to OA , and thus locate r , the intersection of mn with the stress-strain diagram (Note 33). In reporting values of yield strength obtained by this method, the specified value of offset used should be stated in parentheses after the term yield strength, as follows:

$$\text{yield strength (offset} = 0.2\%) = 360 \text{ MPa} \quad (3)$$

In using this method, a Class B2 or better extensometer (see Practice E 83) shall be used.

NOTE 28—There are two general types of extensometers, averaging and non-averaging, the use of which is dependent on the product tested. For most machined specimens, there are minimal differences. However, for some forgings and tube sections, significant differences in measured yield strength can occur. For these cases, it is recommended that the averaging type be used.

NOTE 29—When there is a disagreement over yield properties, the

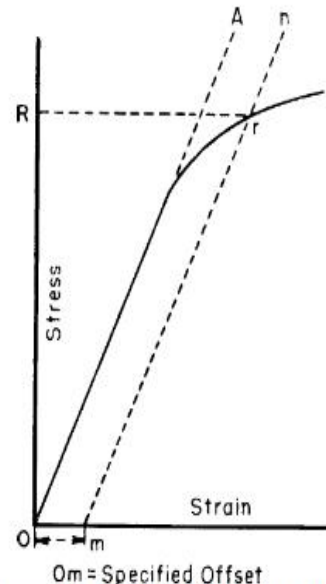


FIG. 21 Stress-Strain Diagram for Determination of Yield Strength by the Offset Method

offset method for determining yield strength is recommended as the referee method.

7.7.2 Extension-Under-Load Method—Yield strength by the extension-under-load method may be determined by: (1) using autographic or numerical devices to secure stress-strain data, and then analyzing this data (graphically or using automated methods) to determine the stress value at the specified value of extension, or (2) using devices that indicate when the specified extension occurs, so that the stress then occurring may be ascertained (Note 31). Any of these devices may be automatic. This method is illustrated in Fig. 22. The stress at the specified extension shall be reported as follows:

$$\text{yield strength (EUL = 0.5 \%)} = 360 \text{ MPa} \quad (4)$$

Extensometers and other devices used in determination of the extension shall meet Class B2 requirements (see Practice E 83) at the strain of interest, except where use of low-magnification Class C devices is helpful, such as in facilitating measurement of YPE if observed. If Class C devices are used, this must be reported along with the results.

NOTE 30—The appropriate value of the total extension must be specified. For steels with nominal yield strengths of less than 550 MPa, an appropriate value is 0.005 mm/mm (0.5 %) of the gage length. For higher strength steels, a greater extension or the offset method should be used.

NOTE 31—When no other means of measuring elongation are available, a pair of dividers or similar device can be used to determine a point of detectable elongation between two gage marks on the specimen. The gage length shall be 50 mm. The stress corresponding to the load at the instant of detectable elongation may be recorded as the *approximate* extension-under-load yield strength.

7.7.3 Autographic Diagram Method (for materials exhibiting discontinuous yielding)—Obtain stress-strain (or force-elongation) data or construct a stress-strain (or load-elongation) diagram using an autographic device. Determine the upper or lower yield strength as follows:

7.7.3.1 Record the stress corresponding to the maximum force at the onset of discontinuous yielding as the upper yield strength. This is illustrated in Fig. 23 and Fig. 24.

NOTE 32—If multiple peaks are observed at the onset of discontinuous

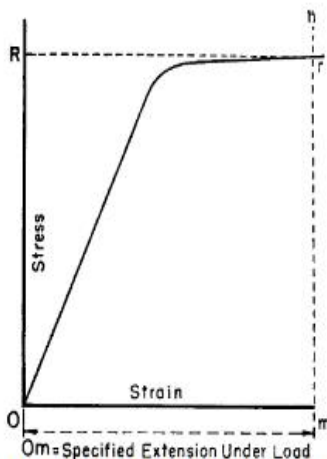


FIG. 22 Stress-Strain Diagram for Determination of Yield Strength by the Extension-Under-Load Method

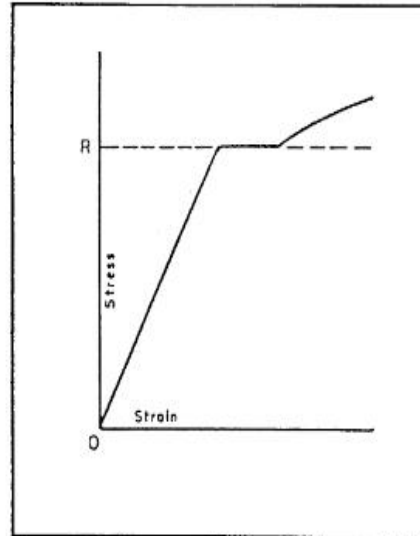


FIG. 23 Stress-Strain Diagram Showing Upper Yield Strength Corresponding with Top of Knee

yielding, the first is considered the upper yield strength. (See Fig. 24.)

7.7.3.2 Record the minimum stress observed during discontinuous yielding (ignoring transient effects) as the lower yield strength. This is illustrated in Fig. 24.

NOTE 33—Yield properties of materials exhibiting yield point elongation are often less repeatable and less reproducible than those of similar materials having no YPE. Offset and EUL yield strengths may be significantly affected by force fluctuations occurring in the region where the offset or extension intersects the stress-strain curve. Determination of upper or lower yield strengths (or both) may therefore be preferable for such materials, although these properties are dependent on variables such as test machine stiffness and alignment. Speed of testing may also have a significant effect, regardless of the method employed.

NOTE 34—Where low-magnification autographic recordings are needed to facilitate measurement of yield point elongation for materials which may have discontinuous yielding, Class C extensometers may be employed. When this is done but the material exhibits no discontinuous yielding, the extension-under-load yield strength may be determined instead, using the autographic recording (see Extension-Under-Load Method).

7.7.4 Halt-of-the-Force Method (for materials exhibiting discontinuous yielding)—Apply an increasing force to the specimen at a uniform deformation rate. When the force hesitates, record the corresponding stress as the upper yield strength.

NOTE 35—The Halt-of-the-Force Method was formerly known as the Halt-of-the-Pointer Method, the Drop-of-the-Beam Method, and the Halt-of-the-Load Method.

7.8 Yield Point Elongation—Calculate the yield point elongation from the stress-strain diagram or data by determining the difference in strain between the upper yield strength (first zero slope) and the onset of uniform strain hardening (see definition of YPE and Fig. 24).

NOTE 36—The stress-strain curve of a material exhibiting only a hint of the behavior causing YPE may have an inflection at the onset of yielding

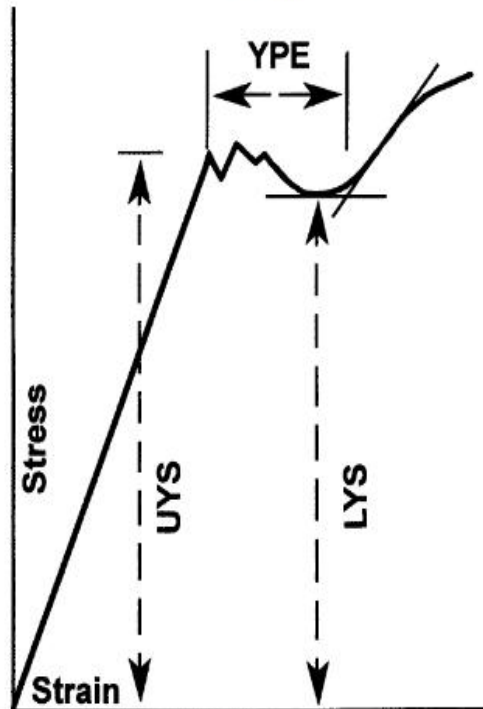


FIG. 24 Stress-Strain Diagram Showing Yield Point Elongation and Upper and Lower Yield Strengths

with no point where the slope reaches zero (Fig. 25). Such a material has no YPE, but may be characterized as exhibiting an *inflection*. Materials exhibiting inflections, like those with measurable YPE, may, in certain applications, acquire an unacceptable surface appearance during forming.

7.9 Tensile Strength—Calculate the tensile strength by dividing the maximum force carried by the specimen during the tension test by the original cross-sectional area of the specimen.

NOTE 37—If the upper yield strength is the maximum stress recorded, and if the stress-strain curve resembles that of Fig. 26, it is recommended that the maximum stress *after discontinuous yielding* be reported as the tensile strength. Where this may occur, determination of the tensile strength should be in accordance with the agreement between the parties involved.

7.10 Elongation:

7.10.1 In reporting values of elongation, give both the original gage length and the percentage increase. If any device other than an extensometer is placed in contact with the specimen's reduced section during the test, this shall also be noted.

Example: elongation = 30 % increase (50-mm gage length) (5)

NOTE 38—Elongation results are very sensitive to variables such as: (a) speed of testing, (b) specimen geometry (gage length, diameter, width, and thickness), (c) heat dissipation (through grips, extensometers, or other devices in contact with the reduced section), (d) surface finish in reduced section (especially burrs or notches), (e) alignment, and (f) fillets and tapers. Parties involved in comparison or conformance testing should standardize the above items, and it is recommended that use of ancillary devices (such as extensometer supports) which may remove heat from

specimens be avoided. See Appendix X1, for additional information on the effects of these variables.

7.10.2 When the specified elongation is greater than 3 %, fit ends of the fractured specimen together carefully and measure the distance between the gage marks to the nearest 0.25 mm for gage lengths of 50 mm and under, and to at least the nearest 0.5 % of the gage length for gage lengths over 50 mm. A percentage scale reading to 0.5 % of the gage length may be used.

7.10.3 When the *specified* elongation is 3 % or less, determine the elongation of the specimen using the following procedure, except that the procedure given in 7.10.2 may be used instead when the *measured* elongation is greater than 3 %.

7.10.3.1 Prior to testing, measure the original gage length of the specimen to the nearest 0.05 mm.

7.10.3.2 Remove partly torn fragments that will interfere with fitting together the ends of the fractured specimen or with making the final measurement.

7.10.3.3 Fit the fractured ends together with matched surfaces and apply a force along the axis of the specimen sufficient to close the fractured ends together. If desired, this force may then be removed carefully, provided the specimen remains intact.

NOTE 39—The use of a force of approximately 15 MPa has been found to give satisfactory results on test specimens of aluminum alloy.

7.10.3.4 Measure the final gage length to the nearest 0.05 mm and report the elongation to the nearest 0.2 %.

7.10.4 Elongation measured per paragraph 7.10.2 or 7.10.3

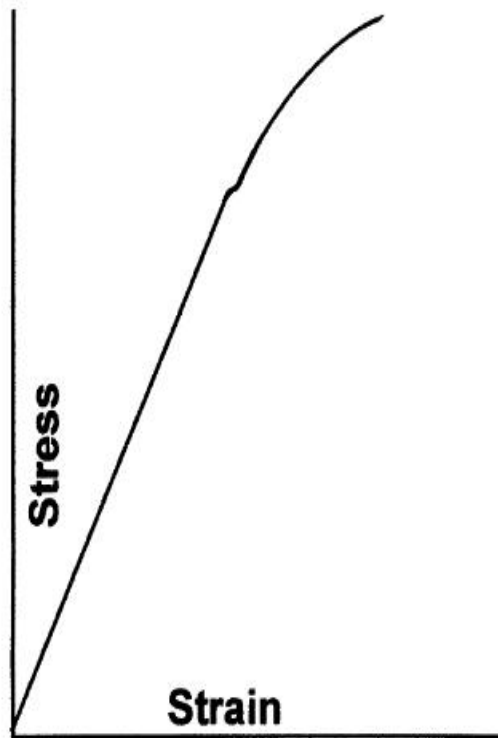


FIG. 25 Stress-Strain Diagram With an Inflection, But No YPE

may be affected by location of the fracture, relative to the marked gage length. If any part of the fracture occurs outside the gage marks or is located less than 25 % of the elongated gage length from either gage mark, the elongation value obtained using that pair of gage marks may be abnormally low and non-representative of the material. If such an elongation measure is obtained in acceptance testing involving only a minimum requirement and meets the requirement, no further testing need be done. Otherwise, discard the test and retest the material.

7.10.5 Elongation at fracture is defined as the elongation measured just prior to the sudden decrease in force associated with fracture. For many ductile materials not exhibiting a sudden decrease in force, the elongation at fracture can be taken as the strain measured just prior to when the force falls below 10 % of the maximum force encountered during the test.

7.10.5.1 Elongation at fracture shall include elastic and plastic elongation and may be determined with autographic or automated methods using extensometers verified over the strain range of interest (see 5.4). Use a class B2 or better extensometer for materials having less than 5 % elongation, a class C or better extensometer for materials having elongation greater than or equal to 5 % but less than 50 %, and a class D or better extensometer for materials having 50 % or greater elongation. In all cases, the extensometer gage length shall be the nominal gage length required for the specimen being tested. Due to the lack of precision in fitting fractured ends together, the elongation after fracture using the manual methods of the preceding paragraphs may differ from the elongation at fracture determined with extensometers.

7.10.5.2 Percent elongation at fracture may be calculated directly from elongation at fracture data and be reported instead of percent elongation as calculated in paragraphs 7.10.2 to 7.10.3. However, these two parameters are not interchangeable. Use of the elongation at fracture method generally provides more repeatable results.

NOTE 40—When disagreements arise over the percent elongation results, agreement must be reached on which method to use to obtain the results.

7.11 Reduction of Area:

7.11.1 The reduced area used to calculate reduction of area (see 7.11.2 and 7.11.3) shall be the minimum cross section at the location of fracture.

7.11.2 *Specimens With Originally Circular Cross Sections*—Fit the ends of the fractured specimen together and measure the reduced diameter to the same accuracy as the original measurement.

NOTE 41—Because of anisotropy, circular cross sections often do not remain circular during straining in tension. The shape is usually elliptical, thus, the area may be calculated by $\pi \cdot d_1 \cdot d_2 / 4$, where d_1 and d_2 are the major and minor diameters, respectively.

7.11.3 *Specimens With Originally Rectangular Cross Sections*—Fit the ends of the fractured specimen together and measure the thickness and width at the minimum cross section to the same accuracy as the original measurements.

NOTE 42—Because of the constraint to deformation that occurs at the corners of rectangular specimens, the dimensions at the center of the original flat surfaces are less than those at the corners. The shapes of these surfaces are often assumed to be parabolic. When this assumption is made,

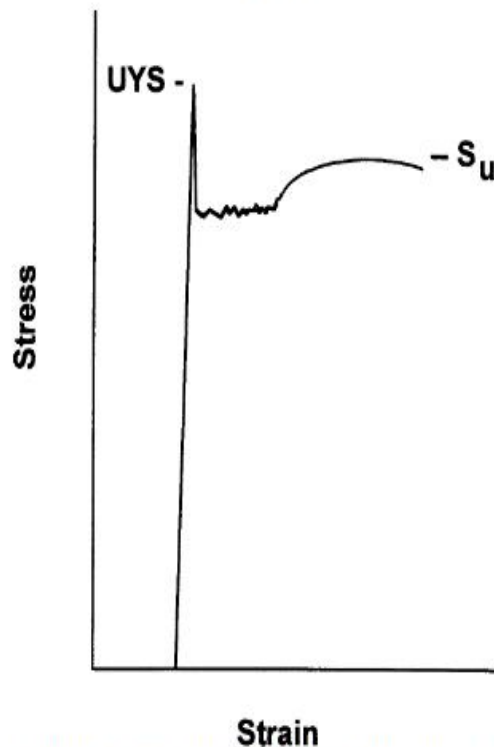


FIG. 26 Stress-Strain Diagram in Which the Upper Yield Strength is the Maximum Stress Recorded

an effective thickness, t_e , may be calculated by: $(t_1 + 4t_2 + t_3)/6$, where t_1 and t_3 are the thicknesses at the corners, and t_2 is the thickness at the mid-width. An effective width may be similarly calculated.

7.11.4 Calculate the reduced area based upon the dimensions determined in 7.11.2 or 7.11.3. The difference between the area thus found and the area of the original cross section expressed as a percentage of the original area is the reduction of area.

7.11.5 If any part of the fracture takes place outside the middle half of the reduced section or in a punched or scribed gage mark within the reduced section, the reduction of area value obtained may not be representative of the material. In acceptance testing, if the reduction of area so calculated meets the minimum requirements specified, no further testing is required, but if the reduction of area is less than the minimum requirements, discard the test results and retest.

7.11.6 Results of measurements of reduction of area shall be rounded using the procedures of Practice E 29 and any specific procedures in the product specifications. In the absence of a specified procedure, it is recommended that reduction of area test values in the range from 0 to 10 % be rounded to the nearest 0.5 % and test values of 10 % and greater to the nearest 1 %.

7.12 *Rounding Reported Test Data for Yield Strength and Tensile Strength*—Test data should be rounded using the procedures of Practice E 29 and the specific procedures in the product specifications. In the absence of a specified procedure for rounding the test data, one of the procedures described in the following paragraphs is recommended.

7.12.1 For test values up to 500 MPa, round to the nearest 1 MPa; for test values of 500 MPa and up to 1000 MPa, round to the nearest 5 MPa; for test values of 1000 MPa and greater, round to the nearest 10 MPa.

NOTE 43—For steel products, see Test Methods and Definitions A 370.

7.12.2 For all test values, round to the nearest 1 MPa.

NOTE 44—For aluminum- and magnesium-alloy products, see Methods B 557M.

7.12.3 For all test values, round to the nearest 5 MPa.

7.13 *Replacement of Specimens*—A test specimen may be discarded and a replacement specimen selected from the same lot of material in the following cases:

7.13.1 The original specimen had a poorly machined surface,

7.13.2 The original specimen had the wrong dimensions,

7.13.3 The specimen's properties were changed because of poor machining practice,

7.13.4 The test procedure was incorrect,

7.13.5 The fracture was outside the gage length,

7.13.6 For elongation determinations, the fracture was outside the middle half of the gage length, or

7.13.7 There was a malfunction of the testing equipment.

NOTE 45—The tension specimen is inappropriate for assessing some types of imperfections in a material. Other methods and specimens employing ultrasonics, dye penetrants, radiography, etc., may be considered when flaws such as cracks, flakes, porosity, etc., are revealed during a test and soundness is a condition of acceptance.

ANEXO E-3: Norma ASTM E-23



Designation: E 23 – 00

Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E 23; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 These test methods describe notched-bar impact testing of metallic materials by the Charpy (simple-beam) test and the Izod (cantilever-beam) test. They give the requirements for: test specimens, test procedures, test reports, test machines (see Annex A1) verifying Charpy impact machines (see Annex A2), optional test specimen configurations (see Annex A3), pre-cracking Charpy V-notch specimens (see Annex A4), designation of test specimen orientation (see Annex A5), and determining the percent of shear fracture on the surface of broken impact specimens (see Annex A6). In addition, information is provided on the significance of notched-bar impact testing (see Appendix X1), methods of measuring the center of strike (see Appendix X2), and the availability of Charpy V-notch verification specimens (see Appendix X3).

1.2 These test methods do not address the problems associated with impact testing at temperatures below $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-320\text{ }^{\circ}\text{F}$, $77\text{ }^{\circ}\text{K}$).

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. Inch-pound units are provided for information only.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* Specific precautionary statements are given in Section 5.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods²

E 399 Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials³

E 604 Test Method for Dynamic Tear Energy of Metallic Materials³

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method²

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E-28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28-07 on impact testing.

Current edition approved May 10, 2000. Published August 2000. Originally published as E 23 – 33 T. Last previous edition E 23 – 98.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

E 1271 Practice for Qualifying Charpy Verification Specimens of Heat-treated Steel³

E 1313 Guide for Recommended Formats for Data Records Used in Computerization of Mechanical Test Data for Metals⁴

3. Summary of Test Method

3.1 The essential features of an impact test are: a suitable specimen (specimens of several different types are recognized), an anvil or support on which the test specimen is placed to receive the blow of the moving mass, a moving mass that has sufficient energy to break the specimen placed in its path, and a device for measuring the energy absorbed by the broken specimen.

4. Significance and Use

4.1 These test methods of impact testing relate specifically to the behavior of metal when subjected to a single application of a force resulting in multi-axial stresses associated with a notch, coupled with high rates of loading and in some cases with high or low temperatures. For some materials and temperatures the results of impact tests on notched specimens, when correlated with service experience, have been found to predict the likelihood of brittle fracture accurately. Further information on significance appears in Appendix X1.

5. Precautions in Operation of Machine

5.1 Safety precautions should be taken to protect personnel from the swinging pendulum, flying broken specimens, and hazards associated with specimen warming and cooling media.

6. Apparatus

6.1 General Requirements:

6.1.1 The testing machine shall be a pendulum type of rigid construction.

6.1.2 The testing machine shall be designed and built to conform with the requirements given in Annex A1.

6.2 Inspection and Verification

6.2.1 Inspection procedures to verify impact machines directly are provided in A2.2 and A2.3. The items listed in A2.2 must be inspected annually.

6.2.2 The procedures to verify Charpy V-notch machines

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.01.

indirectly, using verification specimens, are given in A2.4. Charpy impact machines must be verified annually.

7. Test Specimens

7.1 Configuration and Orientation:

7.1.1 Specimens shall be taken from the material as specified by the applicable specification. Specimen orientation should be designated according to the terminology given in Annex A5.

7.1.2 The type of specimen chosen depends largely upon the characteristics of the material to be tested. A given specimen may not be equally satisfactory for soft nonferrous metals and hardened steels; therefore, many types of specimens are recognized. In general, sharper and deeper notches are required to distinguish differences in very ductile materials or when using low testing velocities.

7.1.3 The specimens shown in Figs. 1 and 2 are those most widely used and most generally satisfactory. They are particularly suitable for ferrous metals, excepting cast iron.⁵

7.1.4 The specimen commonly found suitable for die-cast alloys is shown in Fig. 3.

7.1.5 The specimens commonly found suitable for powdered metals (P/M) are shown in Figs. 4 and 5. The specimen

surface may be in the as-produced condition or smoothly machined, but polishing has proven generally unnecessary. Unnotched specimens are used with P/M materials. In P/M materials, the impact test results are affected by specimen orientation. Therefore, unless otherwise specified, the position of the specimen in the machine shall be such that the pendulum will strike a surface that is parallel to the compacting direction.

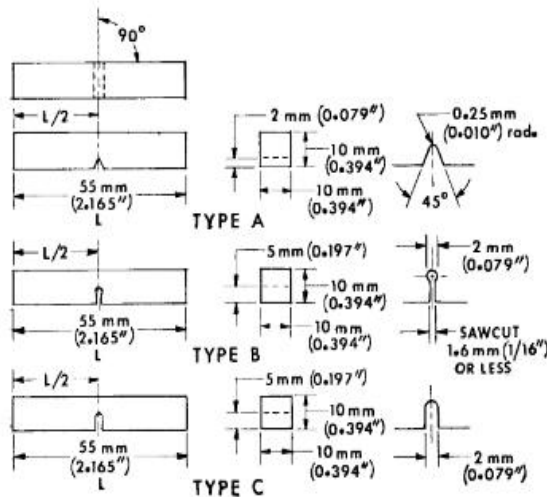
7.1.6 Sub-size and supplementary specimen recommendations are given in Annex A3.

7.2 Specimen Machining:

7.2.1 When heat-treated materials are being evaluated, the specimen shall be finish machined, including notching, after the final heat treatment, unless it can be demonstrated that the impact properties of specimens machined before heat treatment are identical to those machined after heat treatment.

7.2.2 Notches shall be smoothly machined but polishing has proven generally unnecessary. However, since variations in notch dimensions will seriously affect the results of the tests, adhering to the tolerances given in Fig. 1 is necessary (Appendix X1.2 illustrates the effects from varying notch dimensions on Type A specimens). In keyhole specimens, the round hole shall be carefully drilled with a slow feed rate. The slot may be cut by any feasible method, but care must be exercised in cutting the slot to ensure that the surface of the drilled hole opposite the slot is not damaged.

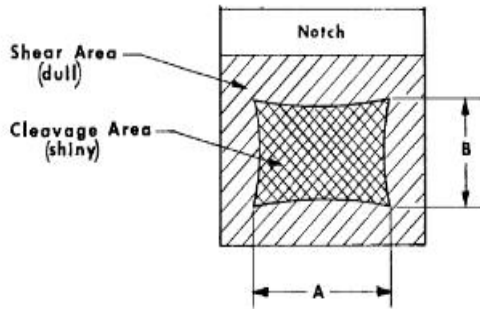
⁵ Report of Subcommittee XV on Impact Testing of Committee A-3 on Cast Iron, Proceedings, ASTM, Vol 33 Part 1, 1933.



NOTE 1—Permissible variations shall be as follows:

Notch length to edge	90 ± 2°
Adjacent sides shall be at	90° ± 10 min
Cross-section dimensions	± 0.075 mm (± 0.003 in.)
Length of specimen (L)	+0, -2.5 mm (+0, -0.100 in.)
Centering of notch (L/2)	± 1 mm (± 0.039 in.)
Angle of notch	± 1°
Radius of notch	± 0.025 mm (± 0.001 in.)
Notch depth:	
Type A specimen	± 0.025 mm (± 0.001 in.)
Types B and C specimen	± 0.075 mm (± 0.003 in.)
Finish requirements	2 µm (63 µin.) on notched surface and opposite face; 4 µm (125 µin.) on other two surfaces

FIG. 1 Charpy (Simple-Beam) Impact Test Specimens, Types A, B, and C



NOTE 1—Measure average dimensions *A* and *B* to the nearest 0.5 mm or 0.02 in.

NOTE 2—Determine the percent shear fracture using Table 1 or Table 2.

FIG. 10 Determination of Percent Shear Fracture

provide an adequate description of how the shear measurements were made.

NOTE 7—Because of the subjective nature of the evaluation of fracture appearance, it is not recommended that it be used in specifications.

10. Report

10.1 *Absorbed energy values above 80 % of the scale range are inaccurate and shall be reported as approximate. Ideally an impact test would be conducted at a constant impact velocity. In a pendulum-type test, the velocity decreases as the fracture progresses. For specimens that have impact energies approaching 80 % of the capacity of the pendulum, the velocity of the pendulum decreases (to about 45 % of the initial velocity) during fracture to the point that accurate impact energies are no longer obtained.*

10.2 *For commercial acceptance testing, report the following information (for each specimen tested):*

10.2.1 Specimen type (and size if not the full-size specimen),

10.2.2 Test temperature,

10.2.3 Absorbed energy, and

10.2.4 Any other contractual requirements.

10.3 *For other than commercial acceptance testing the following information is often reported in addition to the information in 10.2:*

- 10.3.1 Lateral expansion,
- 10.3.2 Unbroken specimens,
- 10.3.3 Fracture appearance (% shear, See Note 7),
- 10.3.4 Specimen orientation, and
- 10.3.5 Specimen location.

NOTE 8—A recommended format for computerization of notched bar impact test data is available in Practice E 1313.

11. Precision and Bias

11.1 *An Interlaboratory study used CVN specimens of low energy and of high energy to find sources of variation in the CVN absorbed energy. Data from 29 laboratories were included with each laboratory testing one set of five specimens of each energy level. Except being limited to only two energy levels (by availability of reference specimens), Practice E 691 was followed for the design and analysis of the data, the details are given in ASTM Research Report NO. RR:E28-1014.⁷*

11.2 *Precision—The Precision information given below (in units of J and ft-lbf) is for the average CVN absorbed energy of five test determinations at each laboratory for each material.*

Material	Low Energy		High Energy	
	J	ft-lbf	J	ft-lbf
Absorbed Energy	15.9	11.7	96.2	71.0
95 % Repeatability Limit	2.4	1.7	8.3	6.1
95 % Reproducibility Limits	2.7	2.0	9.2	6.8

The terms repeatability and reproducibility limit are used as defined in Practice E 177. The respective standard deviations among test results may be obtained by dividing the above limits by 2.8.

11.3 *Bias—Bias cannot be defined for CVN absorbed energy. The physical simplicity of the pendulum design is complicated by complex energy loss mechanisms within the machine and the specimen. Therefore, there is no absolute standard to which the measured values can be compared.*

12. Keywords

12.1 charpy test; fracture appearance; Izod test; impact test; notched specimens; pendulum machine

⁷ Supporting data have been filed at ASTM Headquarters and may be obtained by requesting Research Report E28-1014.

ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. GENERAL REQUIREMENTS FOR IMPACT MACHINES

A1.1 *The machine frame shall be equipped with a bubble level or a machined surface suitable for establishing levelness of the axis of pendulum bearings or, alternatively, the levelness of the axis of rotation of the pendulum may be measured directly. The machine shall be level to within 3:1000 and securely bolted to a concrete floor not less than 150 mm (6 in.) thick or, when this is not practical, the machine shall be bolted to a foundation having a mass not less than 40 times that of the*

pendulum. The bolts shall be tightened as specified by the machine manufacturer.

A1.2 *A scale or digital display, graduated in degrees or energy, on which readings can be estimated in increments of 0.25 % of the energy range or less shall be furnished for the machine.*

A1.2.1 The scales and digital displays may be compensated

to the following requirements: (a) have a thickness of approximately 1.5 mm (0.06 in.), (b) have a minimum hardness of 45 HRC, (c) have a radius of less than 1.5 mm (0.06 in.) at the underside corners, and (d) be so positioned that the clearance between them and the pendulum overhang (both top and sides) does not exceed 1.5 mm (0.06 in.).

NOTE A1.1—In machines where the opening within the pendulum permits clearance between the ends of a specimen (resting on the anvil supports) and the shrouds, and this clearance is at least 13 mm (0.5 in.), the requirements (a) and (d) need not apply.

A1.10 Charpy Apparatus:

A1.10.1 Means shall be provided (see Fig. A1.2) to locate and support the test specimen against two anvil blocks in such a position that the center of the notch can be located within 0.25 mm (0.010 in.) of the midpoint between the anvils (see 8.3.2).

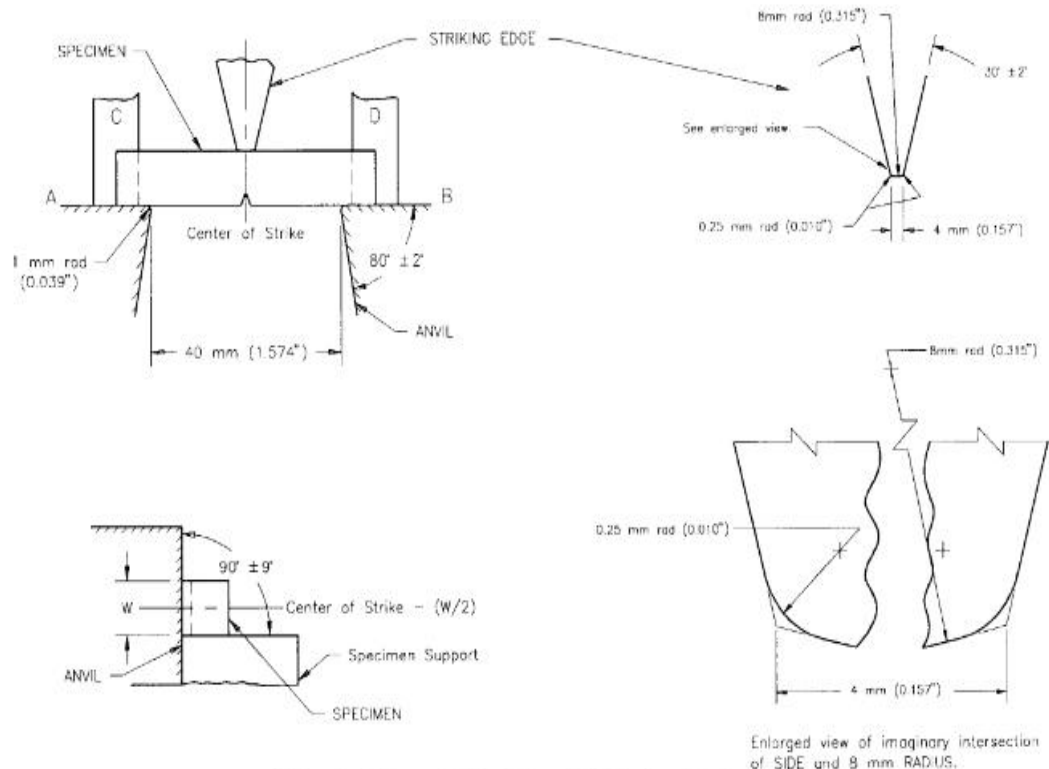
A1.10.2 The supports and striker shall be of the forms and dimensions shown in Fig. A1.2. Other dimensions of the pendulum and supports should be such as to minimize interference between the pendulum and broken specimens.

A1.10.3 The center line of the striker shall advance in the plane that is within 0.40 mm (0.016 in.) of the midpoint between the supporting edges of the specimen anvils. The striker shall be perpendicular to the longitudinal axis of the specimen within 5:1000. The striker shall be parallel within 1:1000 to the face of a perfectly square test specimen held against the anvil.

A1.11 Izod Apparatus:

A1.11.1 Means shall be provided (see Fig. A1.3) for clamping the specimen in such a position that the face of the specimen is parallel to the striker within 1:1000. The edges of the clamping surfaces shall be sharp angles of $90 \pm 1^\circ$ with radii less than 0.40 mm (0.016 in.). The clamping surfaces shall be smooth with a 2- μ m (63- μ in.) finish or better, and shall clamp the specimen firmly at the notch with the clamping force applied in the direction of impact. For rectangular specimens, the clamping surfaces shall be flat and parallel within 0.025 mm (0.001 in.). For cylindrical specimens, the clamping surfaces shall be contoured to match the specimen and each surface shall contact a minimum of $\pi/2$ rad (90°) of the specimen circumference.

A1.11.2 The dimensions of the striker and its position relative to the specimen clamps shall be as shown in Fig. A1.3.



All dimensional tolerances shall be ± 0.05 mm (0.002 in.) unless otherwise specified.

FIG. A1.2 Charpy Striking Tip

NOTE A2.2—Expansion bolts or fasteners with driven inserts shall not be used for foundations. These fasteners will work loose and/or tighten up against the bottom of the machine indicating a false high torque value when the bolts are tightened.

A2.2.7 Check the indicator zero and the friction loss of the machine as described in 8.1.

A2.3 *Direct Verification of Parts to be Verified at Least Once:*

A2.3.1 Specimen anvils and supports or Izod vises shall conform to the dimensions shown in Fig. A1.2 or Fig. A1.3.

NOTE A2.3—The impact machine will be inaccurate to the extent that some energy is used in deformation or movement of its component parts or of the machine as a whole; this energy will be registered as used in fracturing the specimen.

A2.3.2 The striker shall conform to the dimensions shown in Fig. A1.2 or Fig. A1.3. The mounting surfaces must be clean and free of defects that would prevent a good fit. Check that the striker complies with A1.10.3 (for Charpy tests) or A1.11.1 (for Izod tests).

A2.3.3 The pendulum alignment shall comply with A1.4 and A1.5. If the side play in the pendulum or the radial play in the bearings exceeds the specified limits, adjust or replace the bearings.

A2.3.4 *Determine the Center of Strike*—For Charpy machines the center of strike of the pendulum is determined using a half-width specimen (10 by 5 mm) in the test position. With the striker in contact with the specimen, a line marked along the top edge of the specimen on the striker will indicate the center of strike. For Izod machines, the center of strike may be considered to be the contact line when the pendulum is brought into contact with a specimen in the normal testing position.

A2.3.5 *Determine the Potential Energy*—The following procedure shall be used when the center of strike of the pendulum is coincident with the radial line from the centerline of the pendulum bearings (herein called the axis of rotation) to the center of gravity (see Appendix X2). If the center of strike is more than 1.0 mm (0.04 in.) from this line, suitable corrections in elevation of the center of strike must be made in A2.3.8.1 and A2.3.9, so that elevations set or measured correspond to what they would be if the center of strike were on this line. The potential energy of the system is equal to the height from which the pendulum falls, as determined in A2.3.5.2, times the supporting force, as determined in A2.3.5.1

A2.3.5.1 To measure the supporting force, support the pendulum horizontally to within 15:1000 with two supports, one at the bearings (or center of rotation) and the other at the center of strike on the striker (see Fig. A2.1). Then arrange the support at the striker to react upon some suitable weighing device such as a platform scale or balance, and determine the weight to within 0.4 %. Take care to minimize friction at either point of support. Make contact with the striker through a round rod crossing the edge at a 90° angle. The supporting force is the scale reading minus the weights of the supporting rod and any shims that may be used to maintain the pendulum in a horizontal position.

A2.3.5.2 Determine the height of pendulum drop for compliance with the requirement of A1.7. On Charpy machines determine the height from the top edge of a half-width (or

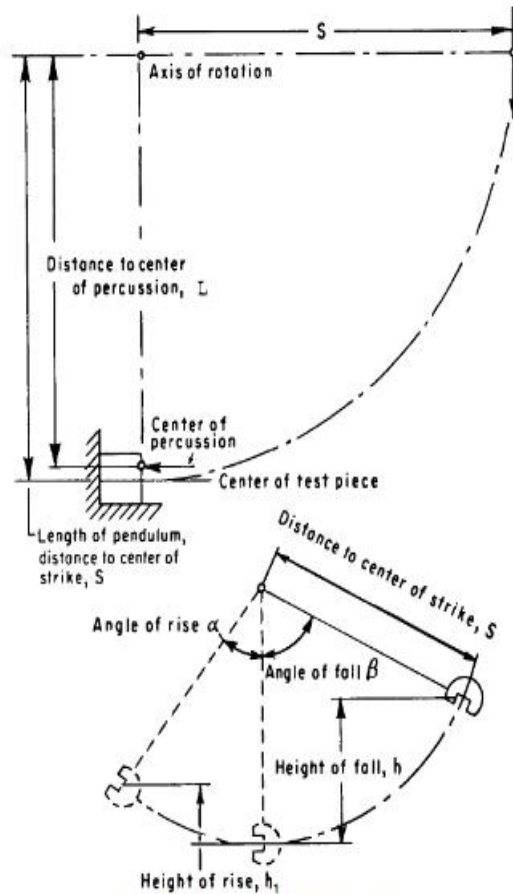


FIG. A2.1 Dimensions for Calculations

center of a full-width) specimen to the elevated position of the center of strike to 0.1 %. On Izod machines determine the height from a distance 22.66 mm (0.892 in.) above the vise to the release position of the center of strike to 0.1 %. The height may be determined by direct measurement of the elevation of the center of strike or by calculation from the change in angle of the pendulum using the following formulas (see Fig. A2.1):

$$h = S(1 - \cos(\beta)) \tag{A2.1}$$

$$h_1 = S(1 - \cos(\alpha)) \tag{A2.2}$$

where

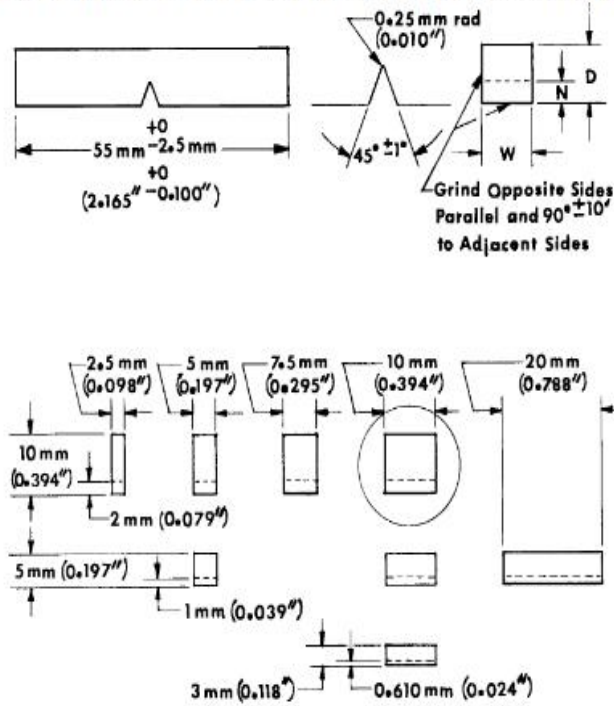
- h = initial elevation of the striker, m (ft),
- S = length of the pendulum distance to the center of strike, m (ft),
- β = angle of fall,
- h_1 = height of rise, m (ft), and
- α = angle of rise.

A2.3.6 Determine the impact velocity, $[v]$, of the machine, neglecting friction, by means of the following equation:

$$v = \sqrt{2gh} \tag{A2.3}$$

E 23

On subsize specimens the length, notch angle, and notch radius are constant (see Fig. 1); depth (D), notch depth (N), and width (W) vary as indicated below.



NOTE 1—Circled specimen is the standard specimen (see Fig. 1).

NOTE 2—Permissible variations shall be as follows:

Cross-section dimensions	± 1 % or ± 0.075 mm (0.003 in.), whichever is smaller
Radius of notch	± 0.025 mm (0.001 in.)
Depth of notch	± 0.025 mm (0.001 in.)
Finish requirements	2 μm (63 μin.) on notched surface and opposite face; 4 μm (125 μin.) on other two surfaces

FIG. A3.1 Charpy (Simple-Beam) Subsize (Type A) Impact Test Specimens

A6. DETERMINATION OF THE PROPORTION OF SHEAR FRACTURE SURFACE

A6.1 The methods described here may be used to determine the percent shear fracture on the surface of impact specimens.

A6.1.1 Measure the length and width of the flat fracture region of the fracture surface, as shown in Fig. 10, and determine the percent shear from either Table A6.1 or Table A6.2 depending on the units of measurement.

A6.1.2 Compare the appearance of the fracture of the specimen with a fracture appearance chart such as that shown in Fig. A6.1.

A6.1.3 Magnify the fracture surface and compare it to a precalibrated overlay chart or measure the percent shear fracture by means of a planimeter.

A6.1.4 Photograph the fracture surface at a suitable magnification and measure the percent shear fracture by means of a planimeter.

A6.1.5 Capture a digital image of the fracture surface and measure the percent shear fracture using image analysis software.

TABLE A6.1 Percent Shear for Measurements Made in Millimetres

NOTE: 1—100 % shear is to be reported when either A or B is zero.

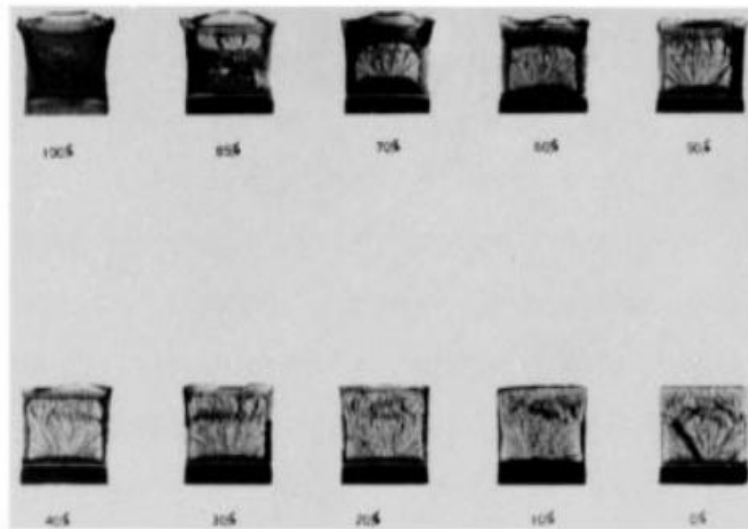
Dimension B, mm	Dimension A, mm																		
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10
1.0	99	98	98	97	96	96	95	94	94	93	92	92	91	91	90	89	89	88	88
1.5	98	97	96	95	94	93	92	92	91	90	89	88	87	86	85	84	83	82	81
2.0	98	96	95	94	92	91	90	89	88	86	85	84	82	81	80	79	77	76	75
2.5	97	95	94	92	91	89	88	86	84	83	81	80	78	77	75	73	72	70	69
3.0	96	94	92	91	89	87	85	83	81	79	77	76	74	72	70	68	66	64	62
3.5	96	93	91	89	87	85	82	80	78	76	74	72	69	67	65	63	61	58	56
4.0	95	92	90	88	85	82	80	77	75	72	70	67	65	62	60	57	55	52	50
4.5	94	92	89	86	83	80	77	75	72	69	66	63	61	58	55	52	49	46	44
5.0	94	91	88	85	81	78	75	72	69	66	62	59	56	53	50	47	44	41	37
5.5	93	90	86	83	79	76	72	69	66	62	59	55	52	48	45	42	38	35	31
6.0	92	89	85	81	77	74	70	66	62	59	55	51	47	44	40	36	33	29	25
6.5	92	88	84	80	76	72	67	63	59	55	51	47	43	39	35	31	27	23	19
7.0	91	87	82	78	74	69	65	61	56	52	47	43	39	34	30	26	21	17	12
7.5	91	86	81	77	72	67	62	58	53	48	44	39	34	30	25	20	16	11	6
8.0	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0

E 23

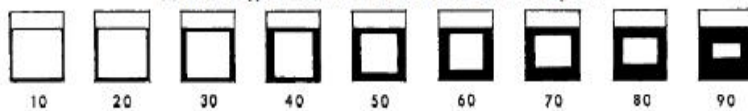
TABLE A6.2 Percent Shear for Measurements Made in Inches

NOTE: 1—100 % shear is to be reported when either A or B is zero.

Dimension B, in.	Dimension A, in.																
	0.05	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40
0.05	98	96	95	94	94	93	92	91	90	90	89	88	87	86	85	85	84
0.10	96	92	90	89	87	85	84	82	81	79	77	76	74	73	71	69	68
0.12	95	90	88	86	85	83	81	79	77	75	73	71	69	67	65	63	61
0.14	94	89	86	84	82	80	77	75	73	71	68	66	64	62	59	57	55
0.16	94	87	85	82	79	77	74	72	69	67	64	61	59	56	53	51	48
0.18	93	85	83	80	77	74	72	68	65	62	59	56	54	51	48	45	42
0.20	92	84	81	77	74	72	68	65	61	58	55	52	48	45	42	39	36
0.22	91	82	79	75	72	68	65	61	57	54	50	47	43	40	36	33	29
0.24	90	81	77	73	69	65	61	57	54	50	46	42	38	34	30	27	23
0.26	90	79	75	71	67	62	58	54	50	46	41	37	33	29	25	20	16
0.28	89	77	73	68	64	59	55	50	46	41	37	32	28	23	18	14	10
0.30	88	76	71	66	61	56	52	47	42	37	32	27	23	18	13	9	3
0.31	88	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	18	10	5	0



(a) Fracture Appearance Charts and Percent Shear Fracture Comparator



(b) Guide for Estimating Fracture Appearance

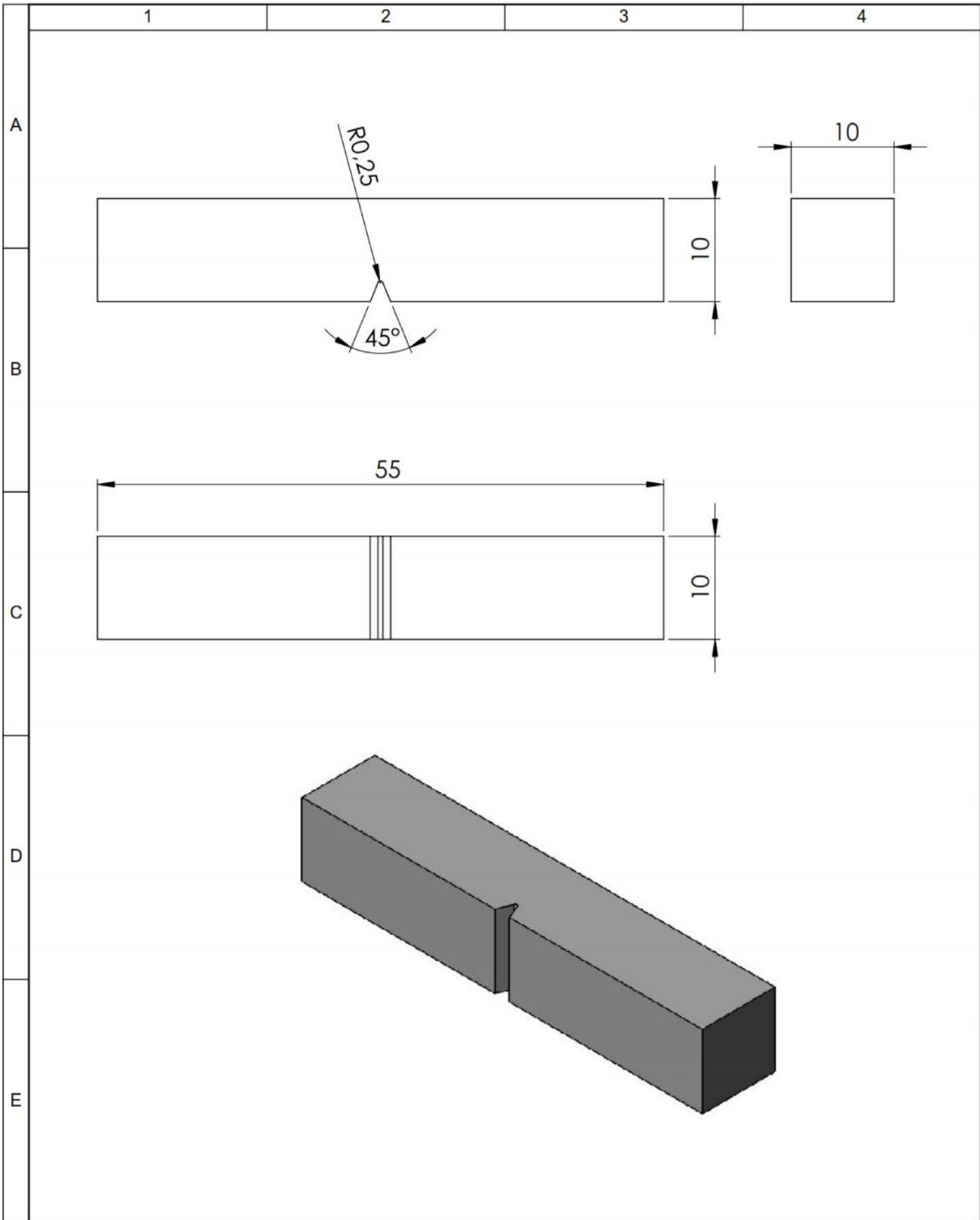
FIG. A6.1 Fracture Appearance

APPENDIXES

(Nonmandatory Information)

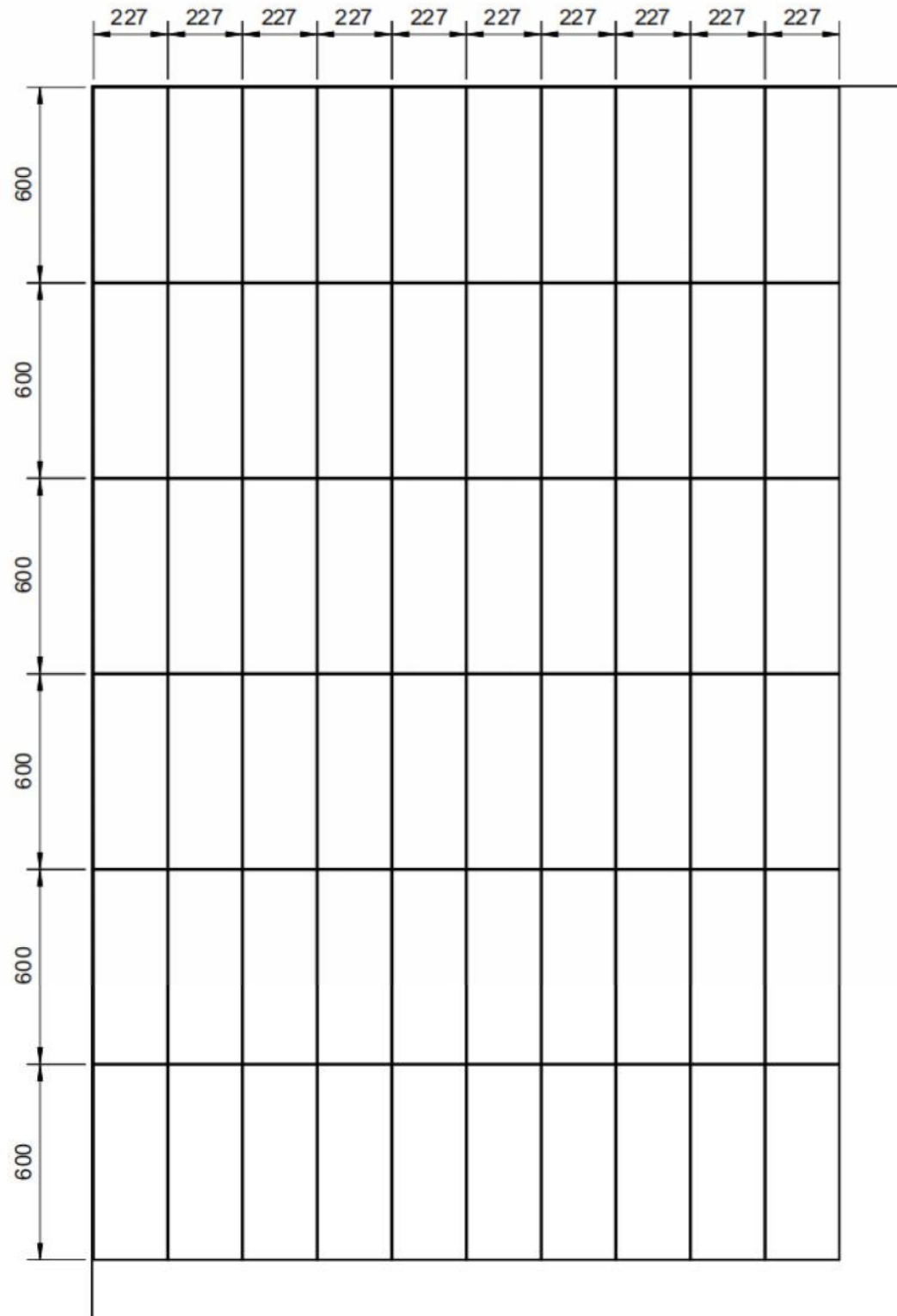
XI. NOTES ON SIGNIFICANCE OF NOTCHED-BAR IMPACT TESTING

X1.1 *Notch Behavior:* used extensively in mechanical testing of steel products, in
 X1.1.1 The Charpy V-notch (CVN) impact test has been research, and in procurement specifications for over three



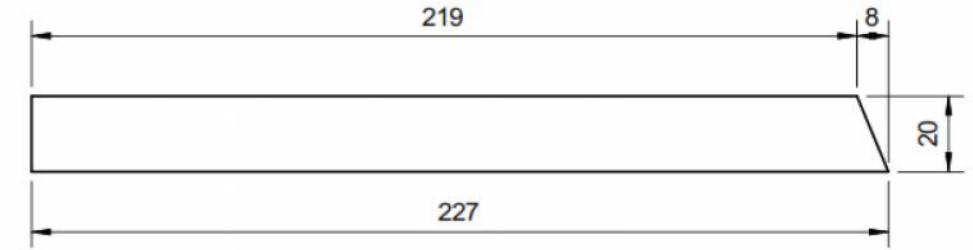
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0,043 Kg	Acero ASTM A 588 Grado A	
						Denominación: PROBETA PARA ENSAYO DE IMPACTO	Escala: 2:1
				Fecha	Nombre		
				Dibujó: 01/06/16	Ing. Analuiza O.		
				Revisó: 01/06/16	Ing. Analuiza O.		
				Aprobó: 01/06/16	Ing. Paredes J.		
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 01 de 01	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

PLANCHA DE ACERO ASTM A-588

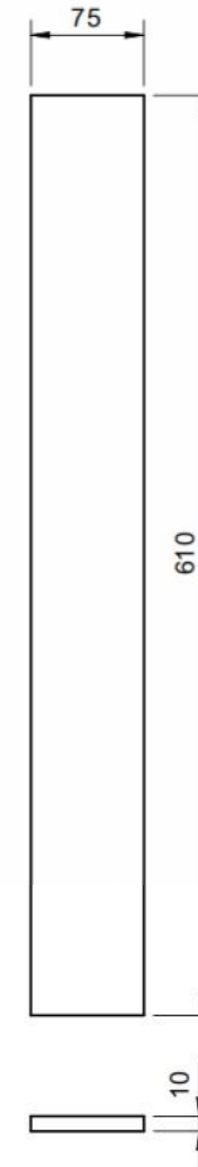


ANEXO F-1

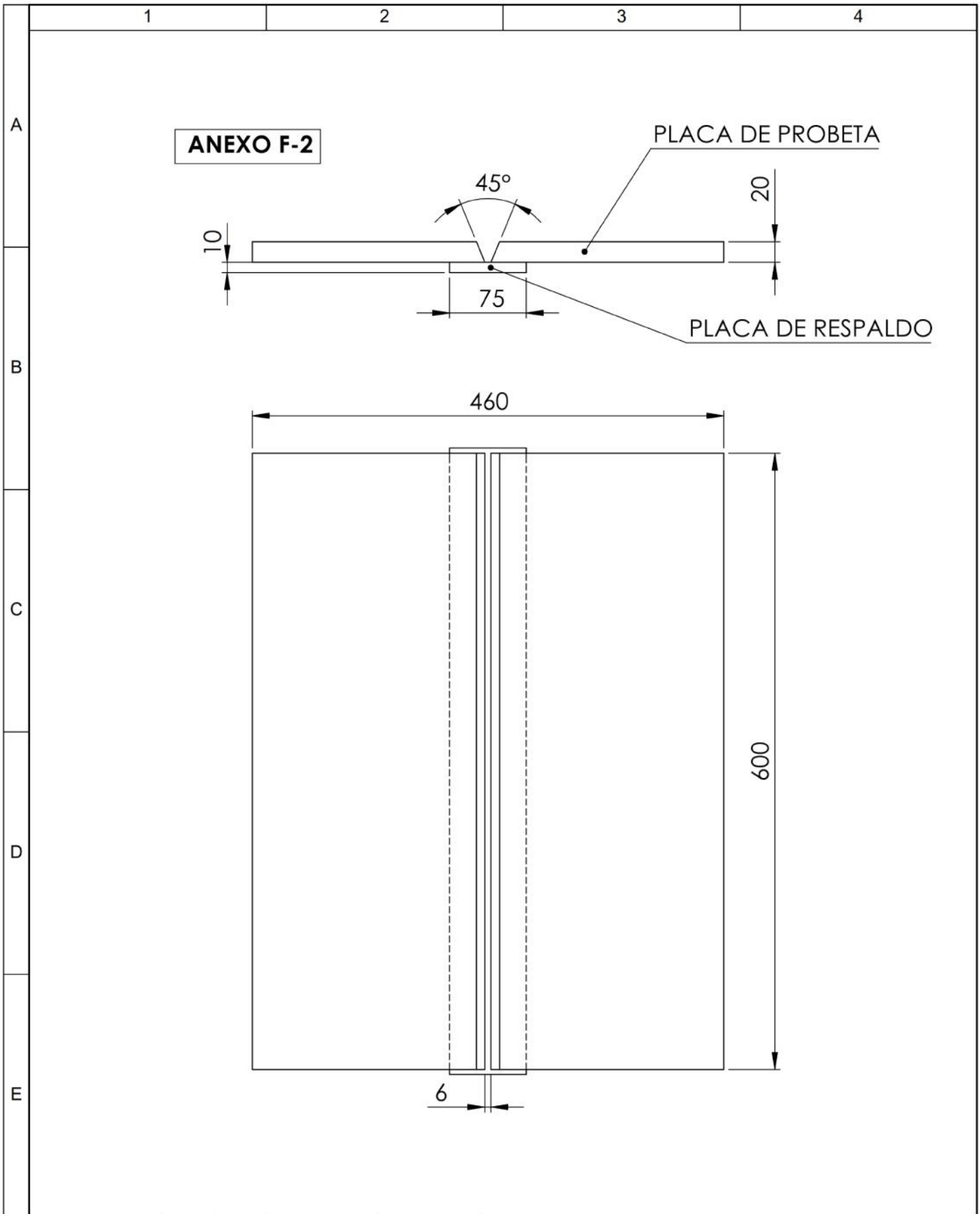
PLACA PROBETA, CANT: 60 U



PLACA DE RESPALDO, CANT: 30 U

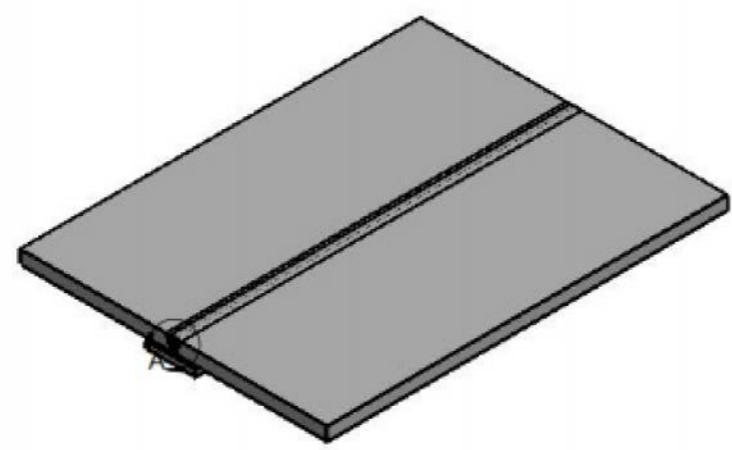


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	1440 Kg	Acero ASTM A 580 Grado A	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	01/05/16	Ing. Analuiza O.	CORTE DE PLACAS PARA PROBETAS
				Revisó:	01/05/16	Ing. Analuiza O.	
				Aprobó:	01/05/16	Ing. Paredes J.	
				UTA		Número del dibujo: 01 de 01	
				Ing. Mecánica		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Escala: 1:20	



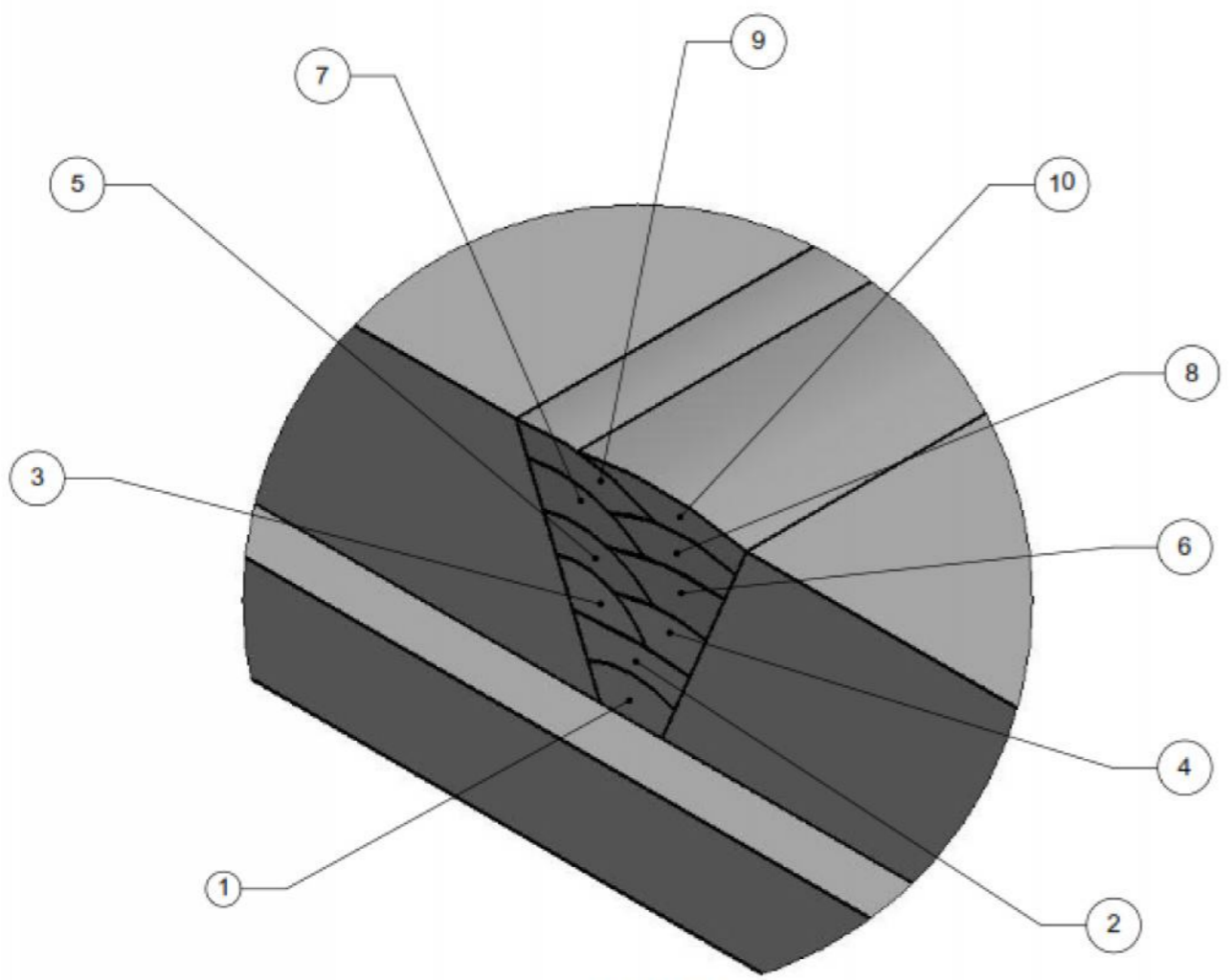
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	48,04 Kg	Acero ASTM A 588 Grado A	
						Denominación:	Escala:
				Fecha	Nombre	ARMADO DE PROBETAS SEGÚN EL CÓDIGO AWS D 1.5	1:5
				Dibujó: 01/06/16	Ing. Analuiza O.		
				Revisó: 01/06/16	Ing. Analuiza O.		
				Aprobó: 01/06/16	Ing. Paredes J.		
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo:	01 de 01
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

PROBETA WPS



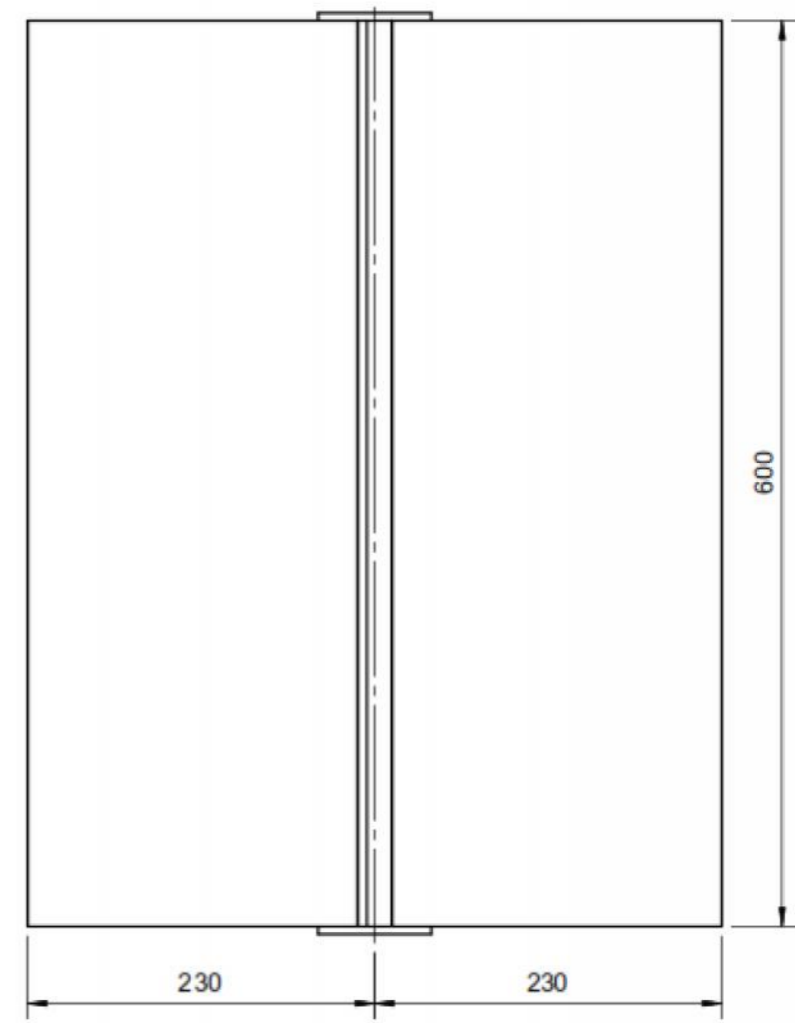
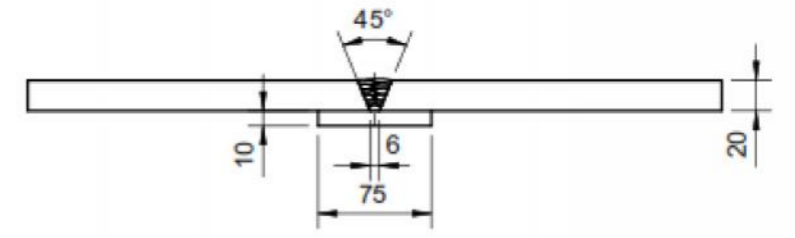
ESCALA 1 : 4

NUMERO DE PASES



DETALLE A
ESCALA 2 : 1

ANEXO F-3



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	48.04 Kg	ACERO ASTM A 588 Grado A	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	01/05/16	Ing. Analuiza O.	NUMERO DE PASES EN LA JUNTA A TOPE
				Revisó:	01/05/16	Ing. Analuiza O.	
				Aprobó:	01/05/16	Ing. Paredes J.	
				UTA		Número del dibujo: 01 de 01	
				Ing. Mecánica		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Escala: 1:5	



1

2

3

4

A

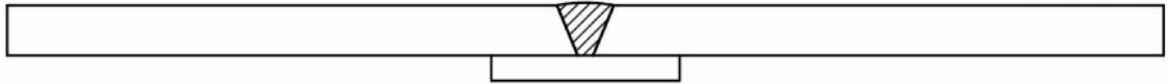
PASES DE LA PROBETA

ANEXO F-4



B

PROBETA A 100% E71T1



C

PROBETA B 100% E81T1Ni2



PROBETA C 40% ET1T1 - 60% E81T1Ni2



D

PROBETA D 50% ET1T1 - 50% E81T1Ni2



E

PROBETA E 20% ET1T1 - 80% E81T1Ni2



ALAMBRE TUBULAR E81T1Ni2
 ALAMBRE TUBULAR E71T1

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:			
				±0,1	48.04 Kg	Acero ASTM A 588 Grado A			
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:		
				Dibujó: 01/06/16	Ing. Analuiza O.			PORCENTAJE DE COMBINACIÓN	1:4
				Revisó: 01/06/16	Ing. Analuiza O.				
				Aprobó: 01/06/16	Ing. Paredes J.				
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 01 de 01			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)			

ANEXO G-1: Certificado de Calibración



Report di Calibrazione Calibration Report

Certificate nr. <i>Certificato nr:</i>	285-14
Date of issue: <i>Data di emissione:</i>	18/12/2014
<u>Referred to:</u> <u>Si riferisce a:</u>	
Item: <i>Oggetto:</i>	Linear transducer
Supplier: <i>Fornitore:</i>	CONTROLS
Model: <i>Modello:</i>	C0954/C
Transducer Serial nr.: <i>Trasduttore matricola:</i>	14010040
Indicator Serial nr.: <i>Lettore matricola:</i>	14010039-C0820/CZ ext. "S1"

The measuring have been obtained with the measuring apparatus belonging to the Controls metrologic chain which leads to instruments certified by ACCREDIA as follows.

Le misure effettuate sono state ottenute utilizzando i campioni appartenenti alla catena metrologica Controls che fa capo a strumenti provvisti di certificato ACCREDIA indicati di seguito:

Description <i>Descrizione</i>	Serial nr <i>Matricola</i>	Certificate nr <i>N° certificato</i>	Expiring late <i>Scadenza</i>	Uncertainty <i>Incertezza</i>
Digital micrometer <i>Testina micrometrica</i>	92271	C1120D9A20	03/2017	0.09µm

Real value - <i>Valore applicato</i>	Read value - <i>Valore letto</i>	Real value - <i>Valore applicato</i>	Read value - <i>Valore letto</i>
0 (close)	0	10.000	9.997
2.000	2.015	12.000	11.982
4.000	4.014	14.000	13.997
6.000	6.000	16.000	15.969
8.000	7.992		

Operator signature

Tel. +39 0292184.1 Fax +39 0292103333 controls@controls.it www.controlsgroup.net

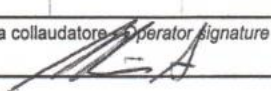

Controls S.R.L. - Via Aosta 6, 20063 Cernusco s/N (MI) - Reg. Imp. 12628150158 - REA 1570925, Cod.Mecc.Est MI286514 C.F./P.Iva 12628150158 Cap.Soc. € 624.000 I.v.
Soggetto ad attività di direzione e coordinamento della società ALBA S.R.L. con sede in Cernusco s/N, Via Aosta 6, iscritta al Registro Imprese di Milano C.F./P.IVA 05486830968 - REA 1825728
n° Registro Produttori AEE: IT0802000003127



COMPRESSION TESTING MACHINE

3663/2014

Cliente IMPOREQUIP <i>Client</i>		Indirizzo <i>Site address</i>					
Costruttore CONTROLS <i>Costomer</i>	Modello C0820/CZ <i>Model</i>	Matricola 14010039 <i>Serial no</i>	Carico max 2000kN <i>Max Load</i>				
Carico misurato con- <i>Load measured by</i>		Scala- <i>Ranges</i>	Risol.- <i>Resol.</i>	Carico min.ver.- <i>Lower limit</i>	Mat.- <i>Serial no.</i>		
Indicat. Manometrico - <i>Manometer indicator</i>							
Dispaly dig. - <i>Digital dis.</i>		0-2000kN	0,1	300kN	14010039		
Altri - <i>Others</i>							
Verificata con- <i>Verified with</i>		Scala- <i>Ranges</i>	Certificato n°- <i>Certificate no.</i>	Valid.- <i>Validity</i>	Mat.- <i>Serial no.</i>		
Dinamometri elettr. - <i>Force transducer</i>		0-3000 kN	Bon-3000/14	feb-15	ARE		
Centralina digitale- <i>Digital electronic tester</i>			Bon-3000/14	feb-15	A.40.02.008		
Manometri- <i>Manometers</i>							
Anelli di prova- <i>Proving rings</i>							
Verificata secondo Conform to L.Q.P1 rev.2		Carico ver. da Load verified from 300 kN a 2000kN to					
Forza Load	Uscite centralina (divisioni) Output digital electronic tester (division)			Temperatura 20 °C Temperature			
kN	Ciclo-Cycles 1	Ciclo-Cycles 2	Ciclo-Cycles 3	Memo			
0	0	0	0	Calcolo forze misurate/ <i>Calculation of measured forces</i> $F_i = C+D*(U_i-U_0)+E*(U_i-U_0)^2+F*(U_i-U_0)^3$			
300	20805	20794	20804	Accuratezza/ <i>Accuracy</i> $A_i = \frac{F_i-M_i}{M_i} * 100$	Ripetibilità/ <i>Repeatibility</i> $R_i = \frac{F_{i\max}-F_{i\min}}{M_i} * 100$		
400	27695	27679	27697		Media/ <i>Media</i> $M_i = \frac{F_1+F_2+F_3}{3}$		
800	55259	55248	55264				
1200	82859	82849	82862				
1600	110448	110476	110383				
2000	137982	137834	137954				
F_n	U₁	U₂	U₃	Max			
Zero	0	0	0	0			
ELABORAZIONE DATI - DATA ELABORATION							
Coefficienti dell'equazione del dinamometro - <i>Index of strain gauge equation</i>							
C = 0,00000E+00		D = 1,44075E-02		E = 1,40833E-09			
F = -6,42261E-15							
Forza Load	Forze Misurate Load measured			Media Media	Err. Accurat. Accuracy err.	Err. Ripetibilità Repeatab. err.	Risoluzione Resolution
kN	Ciclo-Cycles 1	Ciclo-Cycles 2	Ciclo-Cycles 3	kN	%	%	%
0	0,0	0,0	0,0	0,0			
300	300,3	300,1	300,3	300,2	-0,08	0,05	0,03
400	400,0	399,7	400,0	399,9	0,03	0,07	0,03
800	799,4	799,2	799,4	799,3	0,08	0,03	0,01
1200	1199,8	1199,7	1200,1	1199,9	0,01	0,04	0,01
1600	1599,8	1600,2	1598,9	1599,6	0,02	0,08	0,01
2000	1997,9	1995,8	1997,5	1997,1	0,15	0,11	0,01
F_n	F₁	F₂	F₃	M	A	R	
LIMITI DI CLASSE - FORCE SCALE TOLERANCES							
	Err. accurat. Accuracy err.	Err. ripetibilità Repeatab. err.	Ritorno a 0 Zero error	Risoluzione Resolution			
Classe-Class	%	%	% F.S.	%			
1	1	1	0,2	0,5			
2	2	2	0,4	1			
Campo di misura - <i>Range</i>		Da - <i>From</i> 300 kN		a - <i>to</i> 2000kN			
		0,15	0,11	0,00	0,03	Classe assegnata	1
Campo di misura - <i>Range</i>		Da - <i>From</i>		a - <i>to</i>			
						Classe assegnata	
Data - <i>Date</i> 18-dic-14		Firma collaudatore - <i>Operator signature</i>			Verificata da - <i>Verified by</i>		

UNIRULO		COMPRESSION TESTING MACHINE				3664/2014		
Cliente <i>Client</i>			IMPOREQUIP		Indirizzo <i>Site address</i>			
Costruttore <i>Costomer</i>		CONTROLS	Modello <i>Model</i>	C0820/CZ	Matricola <i>Serial no</i>	14010039	Carico max <i>Max Load</i>	2000kN
Carico misurato con- <i>Load measured by</i>			Scala- <i>Ranges</i>	Risol.- <i>Resol.</i>	Carico min.ver.- <i>Lower limit</i>	Mat.- <i>Serial no.</i>		
Indicat. Manometrico - <i>Manometer indicator</i>								
Dispaly dig. - <i>Digital dis.</i>			0-2000kN	0,1	20kN	14010039		
Altri - <i>Others</i>								
Verificata con- <i>Verified with</i>			Scala- <i>Ranges</i>	Certificato n°- <i>Certificate no.</i>	Valid.- <i>Validity</i>	Mat.- <i>Serial no.</i>		
Dinamometri electr. - <i>Force transducer</i>			0-300 kN	Bon-300/14	gen-15	A.40.05.003		
Centralina digitale- <i>Digital electronic tester</i>				Bon-300/14	gen-15	A.40.02.008		
Manometri- <i>Manometers</i>								
Anelli di prova- <i>Proving rings</i>								
Verificata secondo <i>Conform to</i>				Carico ver. da <i>Load verified from</i>		20 kN a <i>to</i>		300kN
L.Q.P1 rev.2								
Forza <i>Load</i>		Uscite centralina (divisioni) <i>Output digital electronic tester (division)</i>			Temperatura <i>Temperature</i>			20 °C
kN		Ciclo-Cycles 1	Ciclo-Cycles 2	Ciclo-Cycles 3	°C			
0		0	0	0	Memo			
20		13846	13836	13859	Calcolo forze misurate/ <i>Calculation of measured forces</i>			
40		27690	27622	27711	$F_i = C + D \cdot (U_i - U_0) + E \cdot (U_i - U_0)^2 + F \cdot (U_i - U_0)^3$			
60		41539	41459	41477	Accuratezza/ <i>Accuracy</i>		Ripetibilità/ <i>Repeatability</i>	
120		83057	82913	82984	$A_i = \frac{F_i - M_i}{M_i} \cdot 100$		$R_i = \frac{F_{i\max} - F_{i\min}}{M_i} \cdot 100$	
180		124403	124274	124377			Media/ <i>Media</i>	
240		166223	166091	166191			$M_i = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{3}$	
300		208138	208053	208147			3	
F _n		U ₁	U ₂	U ₃	Max			
Zero		0	0	0	0			
ELABORAZIONE DATI - DATA ELABORATION								
Coefficienti dell'equazione del dinamometro - Index of strain gauge equation								
C = 0,00000E+00		D = 1,44729E-03		E = 1,41068E-10		F = -6,27735E-16		
Forza <i>Load</i>		Forze Misurate <i>Load measured</i>			Media <i>Media</i>	Err. Accurat. <i>Accuracy err.</i>	Err. Ripetibilità <i>Repeatab. err.</i>	Risoluzione <i>Resolution</i>
kN		Ciclo-Cycles 1	Ciclo-Cycles 2	Ciclo-Cycles 3	kN	%	%	%
0		0,0	0,0	0,0	0,0			
20		20,1	20,1	20,1	20,1	-0,33	0,17	0,50
40		40,2	40,1	40,2	40,1	-0,37	0,32	0,25
60		60,3	60,2	60,2	60,2	-0,41	0,19	0,17
120		120,8	120,6	120,7	120,7	-0,59	0,17	0,08
180		181,0	180,8	181,0	180,9	-0,52	0,10	0,06
240		241,6	241,4	241,5	241,5	-0,62	0,08	0,04
300		301,7	301,6	301,7	301,7	-0,55	0,04	0,03
F _n		F ₁	F ₂	F ₃	M	A	R	
LIMITI DI CLASSE - FORCE SCALE TOLERANCES								
		Err. accurat. <i>Accuracy err.</i>	Err. ripetibilità <i>Repeatab. err.</i>	Ritorno a 0 <i>Zero error</i>	Risoluzione <i>Resolution</i>			
Classe-Class		%	%	% F.S.	%			
1		1	1	0,2	0,5			
2		2	2	0,4	1			
Campo di misura - <i>Range</i>		Da - From 20 kN			a - to 300kN			
		0,62	0,32	0,00	0,50	Classe assegnata		1
Campo di misura - <i>Range</i>		Da - From			a - to			
					Classe assegnata			
Data - <i>Date</i>		Firma collaudatore - <i>Operator signature</i>			Verificata da - <i>Verified by</i>			
18-dic-14								

**DECLARATION OF CONFORMITY
DICHIARAZIONE DI CONFORMITÀ**

Directive 2006/42/CE, Annex II, sub A) - Direttiva 2006/42/CE, Allegato II, parte A)



Manufacturer
Fabbricante

CONTROLS S. r. l.

Address
Indirizzo

Via Aosta 6, 20063 Cernusco s/N, (MI) Italy

Herewith declares that the machine
Dichiara che la macchina

Model
Modello

70-C0820/CZ

Serial number
Matricola

14010039

Description
Descrizione

Computer controlled universal testing machine
1000 kN cap. in tension and 2000 kN cap. in
compression, complete with three sets of
*Macchina universale automatica controllata da PC
per prove di trazione fino a 1000 kN e compres-
sione fino a 2000 kN, completa di 3 serie di
afferraggi. 220V, 60Hz, 3F*
- *Conforme alle norme EN ISO 7500-1 e ASTM A370*
- *Per prove di trazione su ferri d'armatura e ton-*

is in conformity with the provisions of the following EC directives:
è conforme a quanto previsto dalle seguenti direttive CE:

2006/42/CE (Machinery Directive)
(Direttiva Macchine)

2006/95/CE (Low Voltage Directive)
(Direttiva Bassa Tensione)

2004/108/CE (Electromagnetic Compatibility Directive)
(Direttiva Compatibilità Elettromagnetica)

Date of issue
Data di emissione

17 December 2014

Nicola Lezzerini
Technical Director - Person authorized to compile the technical file
Direttore tecnico - Persona autorizzata alla costituzione del fascicolo tecnico