

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y
Mecatrónica



**“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA SOLDABILIDAD, PROPIEDADES
MECÁNICAS Y METALOGRAFICAS DE LOS ACEROS
ESTRUCTURALES DE GRADO 60, A615 Y A706 PRODUCIDOS EN EL
PERÚ”**

Tesis presentada por el Bachiller:

Arcos Huilca, Tony William

Para optar el Título Profesional de

Ingeniero Mecánico

Asesor:

Ing. Carpio Rivera, Marco

AREQUIPA - PERÚ

2020



Universidad Católica
de Santa María

AREQUIPA-PERÚ

(51 54) 382038 <http://www.ucsm.edu.pe> [facebook.com/ucsm.edu.pe/](https://www.facebook.com/ucsm.edu.pe/)

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA
ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

INFORME DICTAMINATORIO

VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA SOLDABILIDAD, PROPIEDADES MECÁNICA Y
METALOGRAFICAS DE LOS ACEROS ESTRUCTURALES DE GRADO 60, A615 Y
A706 PRODUCIDOS EN PERU”

Presentado por el Bachiller:

ARCOS HUILLCA TONY WILLIAM

Nuestro **DICTAMEN** es:

Aprobado

OBSERVACIONES: *Sin observaciones*

Arequipa, 10 de Enero 2020



ING. MARCO CARPIO RIVERA



ING. AUGUSTO CÁCERES NUÑEZ

A Dios, por darme la fuerza de superación ante obstáculos y dificultades, además de poder culminar esta etapa de mi vida.

A mi madre Felicitas, a pesar de no estar juntos, siento tu amor y cariño, este momento hubiera sido especial para los dos.

A mi padre Ciprian, la persona más importante que con su amor y entrega me permite terminar mi carrera, siempre estaré eternamente agradecido.

A mis hermanos Veronica y John, por estar a mi lado y apoyarme como los verdaderos amigos que son.

A mi esposa Marleny, por su amor, cariño, comprensión y apoyo que me da día a día.

A mi querido hijo Aaron, que desde su llegada me dio la alegría más grande de ser papá y la superación constante.

RESUMEN

Se estudia la soldabilidad de barras corrugadas de acero con los requerimientos de las normas ASTM A615 (NTP. 341.031) y ASTM A706 (NTP. 339.186) fábricas en el Perú por Aceros Arequipa.

Se tuvo como referencia la norma AWS D1.4/D1.4M:2005 para los procedimientos de soldadura en barras corrugadas de acero; los diámetros utilizados para este estudio fueron de $\phi 1/2''$ y $\phi 5/8''$ con una Junta Directa a Tope – Soldadura de ranura en V simple y posición 1G.

El proceso de preparación y soldadura de las barras corrugadas se llevó a cabo en SOLDEXA en su Centro Tecnológico de Soldadura (CTSOL); los ensayos realizados se hicieron en la Universidad Católica Santa María (UCSM) en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y en la Universidad Nacional San Agustín (UNSA) en los laboratorios de Control de Calidad de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica respectivamente.

Los ensayos realizados en la UCSM fueron:

- Ensayo de dureza.
- Ensayo de micrográfico y macrográfico.
- Ensayo de líquidos penetrantes.
- Ensayo de partículas magnéticas

Y los ensayos realizados en la UNSA:

- Ensayo de tracción
- Ensayo de doblado

Con los resultados obtenidos en los distintos ensayos de las barras corrugadas soldadas verificaremos si cumplen el requerimiento de la norma y cual son los modos de falla.

Palabras clave: Soldabilidad, Acero ASTM A706 y ASTM A615.

ABSTRACT

The weldability of corrugated steel bars is studied with the requirements of ASTM A615 (NTP. 341.031) and ASTM A706 (NTP. 339.186) factories in Peru by Arequipa Steels.

Reference was made to AWS D1.4 / D1.4M: 2005 for welding procedures in corrugated steel bars; The diameters used for this study were $\varnothing 1/2''$ and $\varnothing 5/8''$ with a Direct Butt Joint - Single V-groove welding and 1G position.

The process of preparation and welding of the corrugated bars was carried out in SOLDEXA in its Technological Welding Center (CTSOL), the tests carried out were carried out at the Santa María Catholic University (UCSM) in the School's Materials Testing Laboratory Mechanical Engineering Professional and at the National University of San Agustín (UNSA) in the Quality Control laboratories of the Professional School of Metallurgical Engineering respectively.

- The tests conducted at the UCSM were:
- Hardness test.
- Micrographic and macrographic test.
- Test of penetrating liquids.
- Magnetic particle test

And the tests carried out at UNSA:

- Tensile test
- Bending test

With the results obtained in the different tests of the welded corrugated bars we will verify if they meet the requirement of the standard and what are the failure modes.

Keywords: Weldability, ASTM A706 Steel and ASTM A615

INTRODUCCION

En la industria peruana de la construcción se utiliza como elemento estructural la barra corrugada de acero que trabaja de la mano con el concreto por su textura, propiedades físicas, mecánicas y composición química.

En nuestro mercado la barra más utilizada es el ASTM A615 Grado 60, que por sus propiedades cuenta con un alto contenido de carbono no tiene la capacidad para ser soldado en comparación de la barra ASTM A706 Grado 60, que tiene características de soldabilidad y comportamiento sísmico. En nuestro medio podemos encontrar las barras BELGO 60 que son fabricados en Brasil por ArcelorMittal y las barras de Aceros Arequipa producidos en nuestro país.

En este estudio tomaremos los fabricados en nuestro medio bajo las Norma Peruana NTP 339.186 Grado 60 / Norma Americana ASTM A706 Grado 60 y NTP 341.031 Grado 60 / Norma Americana ASTM A615 Grado 60 que tiene diversas presentaciones como son ϕ 3/8", ϕ 1/2", ϕ 5/8", ϕ 3/4", ϕ 1", ϕ 1 1/4", ϕ 1 3/8"; veremos el nivel de resistencia alcanzado por la soldabilidad de los aceros corrugados ASTM A706 y A615 los cuales se hará una comparación mediante diferentes ensayos destructivos y no destructivos para lo cual tomaremos las presentaciones de ϕ 1/2", ϕ 5/8" por ser los más utilizados en nuestro medio.

Se utilizará el Código de Soldadura Estructural para Acero de Refuerzo (Structural Welding Code – Reinforcing Steel) ANSI/AWS D1.4/D1.4M:2005, de la Sociedad Americana de Soldadura (American Welding Society – AWS), para la verificación de la junta soldada y cumplir los requerimientos específicos, así como los ensayos a realizar y criterios de evaluación.

ÍNDICE

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCCION	vi
CAPITULO I	1
1. MARCO METODOLÓGICO	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Objetivos	2
1.3.1. Objetivos generales	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	2
1.4. Justificación.....	3
1.5. Delimitación del problema.....	4
1.5.1. Espacial	4
1.5.2. Temporal	4
CAPITULO II	5
2. MARCO TEORICO	5
2.1. El Acero.....	5
2.1.1. Definición.....	5
2.1.2. Características mecánicas del acero	5
2.1.3. Clasificación de los aceros	6
2.1.3.1. Aceros al carbono	6
2.1.3.2. Aceros aleados de baja aleación	6
2.1.3.3. Aceros aleados de mediana aleación	7
2.1.3.4. Aceros aleados de alta aleación	7
2.1.4. Aceros estructurales	7
2.1.5. Propiedades del acero.....	7
2.1.6. Composición del acero	8
2.1.1.1. Influyentes de los constituyentes del acero	8
2.2. Proceso de fabricación	9
2.2.1. Proceso de fabricación del acero de refuerzo.....	9

2.2.1.1.	Proceso de reducción directa	9
2.2.1.2.	Proceso de fragmentación.....	10
2.2.1.3.	Proceso de acería	10
2.2.1.4.	Proceso de laminación en caliente.....	11
2.3.	El acero en estructuras metálicas	12
2.4.	Propiedades mecánicas de las barras grado 60.....	13
2.4.1.	Características mecánicas ASTM A615 Grado 60.....	13
2.4.2.	Características mecánicas ASTM A706 Grado 60.....	14
2.4.3.	Soldabilidad.....	15
2.4.3.1.	Soldabilidad del acero ASTM A615 Grado 60	15
2.4.3.2.	Soldabilidad del acero ASTM A706 Grado 60	15
2.4.4.	Diámetro mínimo de doblado del acero de refuerzo	15
2.4.4.1.	Diámetro mínimo de doblado del acero ASTM A615 Grado 60	15
2.4.4.2.	Diámetro mínimo de doblado del acero ASTM A706 Grado 60	16
2.4.5.	Efecto de la temperatura [15]	16
2.5.	Soldadura.....	18
2.5.1.	Soldadura por arco eléctrico (SMAW).....	18
2.5.1.1.	Clasificación básica de los electrodos	19
2.5.2.	Consideraciones de seguridad industrial	21
2.5.2.1.	Manejo y transporte del equipo	21
2.5.2.2.	Conexión segura del equipo de soldar [17]	22
2.5.2.3.	Protección personal (EPP).....	23
2.5.3.	Zona afectada por el calor (ZAC)	23
2.5.4.	Fisuración	24
2.5.4.1.	Fisuración en caliente	25
2.5.4.2.	Fisuración en frío.....	25
2.5.5.	Diagrama de Graville 40	27
2.5.6.	Pre calentamiento	28
2.5.7.	Nomograma de Coe [26].....	30
2.5.8.	Biseles	32
2.5.9.	Requerimientos ACI para uniones soldadas [28].....	34
2.6.	Ensayos Mecánicos	35
2.6.1.	Ensayo de tracción	35
2.6.2.	Ensayo de impacto	36
2.6.2.1.	Ensayo Charpy.....	37
2.6.2.2.	Ensayo de Izod	37

2.6.3.	Ensayo de dureza.....	38
2.6.3.1.	Dureza Brinell.....	38
2.6.3.2.	Dureza Rockwell	39
2.6.3.3.	Ensayo Vickers	41
2.6.4.	Ensayo de doblado	42
2.7.	Ensayos metalográficos.....	43
2.7.1.	Etapas de preparación de muestras.....	44
2.7.1.1.	Muestreo	44
2.7.1.2.	Desbaste grosero.....	45
2.7.1.3.	Desbaste final:	45
2.7.1.4.	Pulido.....	45
2.7.1.5.	Ataque químico	45
2.7.1.6.	Microscopia	45
2.8.	Ensayos no destructivos	46
2.8.1.	Líquidos penetrantes	46
2.8.2.	Partículas magnéticas	47
2.8.3.	Ultrasonido.....	49
CAPITULO III.....		50
3.	PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.....	50
3.1.	Equipo a utilizar	50
3.2.	Composición química de las barras corrugadas	52
3.3.	Composición química de los electrodos a utilizar de acuerdo a la norma AWS A5.5/A5.5M: 2006.....	53
3.4.	Determinación del carbono equivalente y soldabilidad	55
3.5.	Determinación de la temperatura de precalentamiento	56
3.6.	Elaboración del bisel	57
3.7.	Especificación del procedimiento de Soldadura (WPS)	59
3.7.1.	Procedimiento de soldadura para barra de 1/2" ASTM A615.....	60
3.7.2.	Procedimiento de soldadura para barra de 5/8" ASTM A615.....	61
3.7.3.	Procedimiento de soldadura para barra de 1/2" ASTM A706.....	62
3.7.4.	Procedimiento de soldadura para barra de 5/8" ASTM A706.....	63
CAPITULO IV		64
4.	EVALUACION DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA.....	64

4.1. Ensayo a tensión de barras soldadas	64
4.1.1. Ensayos de tracción en máquina universal.....	64
4.1.2. Resultados de los ensayos	65
4.1.3. Análisis y comparación de resultados entre distintas probetas	67
4.2. Ensayos de doblado realizados a las probetas.....	68
4.3. Análisis de las propiedades metalográficas.....	70
4.3.1. Ensayo Macrográfico	70
4.3.1.1. Preparación de muestras	70
4.3.1.2. Ataque Químico.....	71
4.3.1.3. Macrografías	72
4.3.2. Análisis Micrográfico.....	73
4.3.3. Ensayo de Dureza.....	79
4.1. Ejecución de ensayos no destructivos	84
4.1.1. Ensayo de líquidos penetrantes	84
4.1.1.1. Resultado de los ensayos	85
4.1.2. Ensayo de partículas magnéticas.....	90
4.1.2.1. Resultados de los ensayos	91
CONCLUSIONES.....	97
RECOMENDACIONES.....	99
BIBLIOGRAFÍA.....	100

INDICE DE ILUSTRACIONES

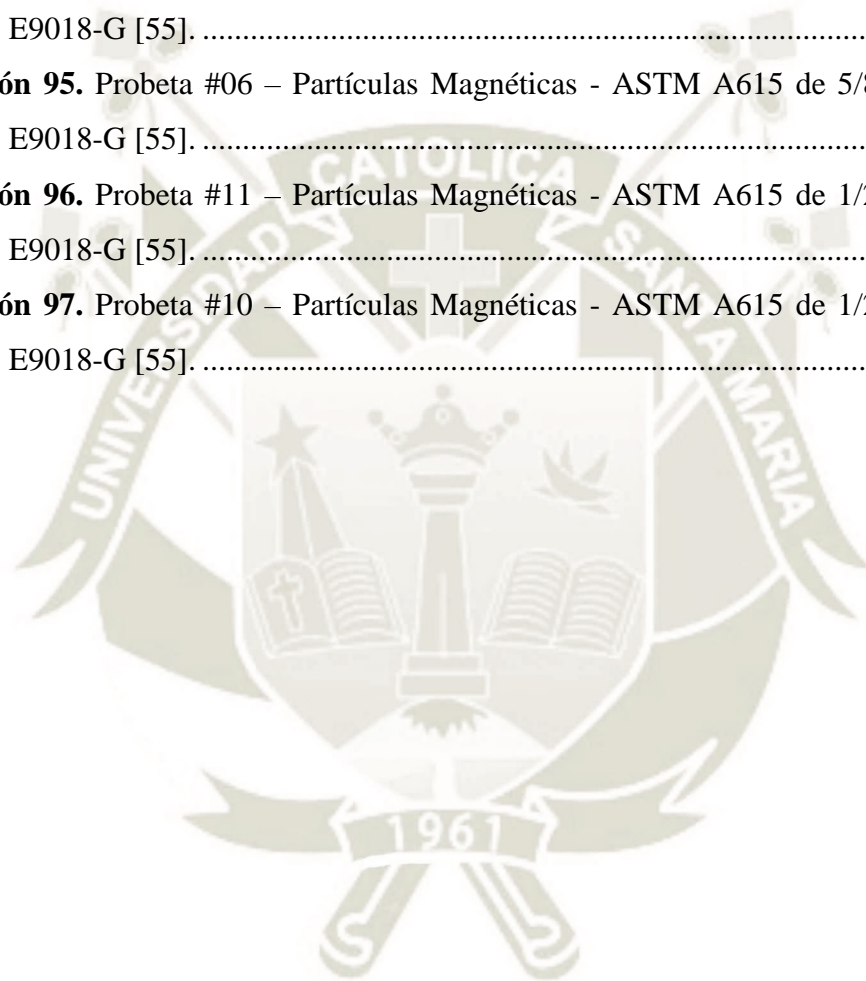
Ilustración 1. Acero reciclado [8].....	10
Ilustración 2. Horno eléctrico de fusión [9].	11
Ilustración 3. Horno recalentador [10].	12
Ilustración 4. Planta concentradora de Cerro Verde [12].....	13
Ilustración 5. Efecto de las altas temperaturas en la resistencia del acero [15].	17
Ilustración 6. Efecto de las altas temperaturas en la resistencia del concreto [15].	18
Ilustración 7. Soldadura SMAW [16].....	19
Ilustración 8. Equipo de protección personal para el proceso de soldadura [18].	23
Ilustración 9. Zona de unión soldada [20].	24
Ilustración 10. (a) Agrietamiento en ZAC (b) Agrietamiento longitudinal o central [21].	25
Ilustración 11. Formas de fisuras debidas a fragilización por hidrógeno [22].	27
Ilustración 12. Diagrama de Graville [24].....	28
Ilustración 13. Monograma de Coe. Determinación de la temperatura de precalentamiento para aceros C-Mn (válido hasta C= 0,25%) [26].	31
Ilustración 14. Cálculo del espesor combinado [26].	32
Ilustración 15. Juntas a tope directo [27].	33
Ilustración 16. Soldadura de canal en "V" y el número de pasadas "n".	34
Ilustración 17. Maquina Universal de ensayos de tracción [30].	35
Ilustración 18. Diagrama esfuerzo-deformación del ensayo de tracción [31].	36
Ilustración 19. (a) Ensayo de Charpy y Ensayo de Izod, (b) Dimensiones de muestras normales [32].	37
Ilustración 20. Esquema del ensayo de dureza Brinell [36].	39
Ilustración 21. Principio de medición del número de dureza del ensayo de Rockwell-C [38].	40
Ilustración 22. Principio de medición del número de dureza del ensayo de Rockwell-B [39].	40
Ilustración 23. Esquema del ensayo de dureza Vickers.	42
Ilustración 24. Ensayo de doblado [43].	42
Ilustración 25. a) Doblez de cara, b) doblez de raíz [45].	43
Ilustración 26. Microscopio metalográfico [47].	44
Ilustración 27. Proceso de los líquidos penetrantes [51].	47

Ilustración 28. Ensayo de partículas magnéticas [53].	48
Ilustración 29. Diagrama del ensayo por ultrasonido [54].	49
Ilustración 30. Máquina de soldar MILLER XMT 350 CC/CV [55].	50
Ilustración 31. Amoladora Bosch GWS 26-230 Professional [55].	50
Ilustración 32. Pirómetro Digital de -30~530 °C TENMARS TM-300	51
Ilustración 33. Cepillo de cerdas metálicas WIRE BRUSH	51
Ilustración 34. Horno para electrodo ARC FORCE 100kg [55].	52
Ilustración 35. Regla con Transportador UYUSTOOLS 90X150B [55].	52
Ilustración 36. Electrodo E8018-C3 [55].	54
Ilustración 37. Electrodo E9018-G [55].	54
Ilustración 38. Determinando soldabilidad del ASTM A706 y A615 Grado 60 en el diagrama de Gravill [55].	56
Ilustración 39. Probeta para soldar a tope directo con canal en "V" de barra $\phi 1/2$ " [55].	57
Ilustración 40. Bisel en V realizado a la barra ASTM A615 y A706 con $\phi 1/2$ " [55].	58
Ilustración 41. Probeta para soldar a tope directo con canal en "V" de barra $\phi 5/8$ " [55].	58
Ilustración 42. Bisel en V realizado a las barras ASTM A615 y A706 con $\phi 5/8$ " [55].	58
Ilustración 43. Maquina universal EMIC GR012 de la UNSA [55].	64
Ilustración 44. Probetas identificadas ASTM A615 y A706 [55].	64
Ilustración 45. Probeta ASTM A615 sometido al ensayo de tracción [55].	65
Ilustración 46. Probeta ASTM A615 en su momento de ruptura [55].	65
Ilustración 47. Esfuerzo – Deformación P1-P4 [55].	67
Ilustración 48. Ensayo de doblado de fierro corrugado ASTM A706 $\phi 1/2$ " [55].	68
Ilustración 49. Ensayo de doblado de fierro corrugado ASTM A615 $\phi 1/2$ " [55].	69
Ilustración 50. Probetas de doblado de barra $\phi 1/2$ " de ASTM A706 y ASTM A615 [55].	69
Ilustración 51. Probeta #02. ASTM A706 $\phi 5/8$ " soldadura con electrodo E8018-C3 [55].	70
Ilustración 52. Probeta #09. ASTM A706 $\phi 1/2$ " soldadura con electrodo E8018-C3 [55].	70
Ilustración 53. Probeta #04. ASTM A615 $\phi 5/8$ " soldadura con electrodo E9018-G [55].	71
Ilustración 54. Probeta #04. ASTM A615 $\phi 1/2$ " soldadura con electrodo E9018-G [55].	71
Ilustración 55. Macrografía de Probeta #02. ASTM A706 $\phi 5/8$ " soldadura con electrodo E8018-C3 [55].	72
Ilustración 56. Macrografía de Probeta #09. ASTM A706 $\phi 1/2$ " soldadura con electrodo E8018-C3 [55].	72

Ilustración 57. Macrografía de Probeta #04. ASTM A615 $\phi 5/8$ " soldadura con electrodo E9018-G [55].	72
Ilustración 58. Macrografía de Probeta #10. ASTM A615 $\phi 5/8$ " soldadura con electrodo E9018-G [55].	73
Ilustración 59. Micrografía en Metal Base de Probeta #02. ASTM A706 $\phi 5/8$ " soldadura con electrodo E8018-C3 [55].	73
Ilustración 60. Micrografía en ZAC de Probeta #02. ASTM A706 $\phi 5/8$ " soldadura con electrodo E8018-C3.	74
Ilustración 61. Micrografía en Soldadura de Probeta #02. ASTM A706 $\phi 5/8$ " soldadura con electrodo E8018-C3.	74
Ilustración 62. Micrografía en Metal Base de Probeta #09. ASTM A706 $\phi 1/2$ " soldadura con electrodo E8018-C3.	75
Ilustración 63. Micrografía en ZAC de Probeta #09. ASTM A706 $\phi 1/2$ " soldadura con electrodo E8018-C3.	75
Ilustración 64. Micrografía en Soldadura de Probeta #09. ASTM A706 $\phi 1/2$ " soldadura con electrodo E8018-C3.	76
Ilustración 65. Micrografía en Metal Base de Probeta #04. ASTM A615 $\phi 5/8$ " soldadura con electrodo E9018-G.	76
Ilustración 66. Micrografía en ZAC de Probeta #04. ASTM A615 $\phi 5/8$ " soldadura con electrodo E9018-G.	77
Ilustración 67. Micrografía en Soldadura de Probeta #04. ASTM A615 $\phi 5/8$ " soldadura con electrodo E9018-G.	77
Ilustración 68. Micrografía en Metal Base de Probeta #10. ASTM A615 $\phi 1/2$ " soldadura con electrodo E9018-G.	78
Ilustración 69. Micrografía en ZAC de Probeta #10. ASTM A615 $\phi 1/2$ " soldadura con electrodo E9018-G.	78
Ilustración 70. Micrografía en Soldadura de Probeta #10. ASTM A615 $\phi 1/2$ " soldadura con electrodo E9018-G.	79
Ilustración 71. Probeta #02 – Ensayo de Dureza - ASTM A706 de $\phi 5/8$ " soldadura con electrodo E8018-C3 [55].	80
Ilustración 72. Resultado de la Probeta #02 –Ensayo de Dureza - ASTM A706 de $\phi 5/8$ " soldadura con electrodo E8018-C3 [55].	80
Ilustración 73. Probeta #09 – Ensayo de Dureza - ASTM A706 de $\phi 1/2$ " soldadura con electrodo E8018-C3 [55].	81

Ilustración 74. Resultado de la Probeta #09 – Ensayo de Dureza- ASTM A706 de ϕ 1/2" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].	81
Ilustración 75. Probeta #04 – Ensayo de Dureza - ASTM A615 de ϕ 5/8" soldadura con electrodo E9018-G [55].	82
Ilustración 76. Resultado de la Probeta #04 – Ensayo de Dureza - ASTM A615 de ϕ 5/8" soldadura con electrodo E9018-G [55].	82
Ilustración 77. Probeta #10 – Ensayo de Dureza - ASTM A615 de ϕ 1/2" soldadura con electrodo E9018-G [55].	83
Ilustración 78. Resultados de la Probeta #10 – Ensayo de Dureza - ASTM A615 de ϕ 1/2" soldadura con electrodo E9018-G [55].	83
Ilustración 79. Kit de Tintas Penetrantes- MAGNAFLUX [55].	84
Ilustración 80. Aplicación del penetrante a las barras de ASTM A615 y ASTM A706 de ϕ 1/2" y ϕ 5/8" [55].	85
Ilustración 81. Probeta #02 - Líquidos Penetrantes- ASTM A706 de 5/8" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].	85
Ilustración 82. Probeta #03 – Líquidos Penetrantes- ASTM A706 de 5/8" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].	86
Ilustración 83. Probeta #07 – Líquidos Penetrantes - ASTM A706 de 1/2" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].	87
Ilustración 84. Probeta #09 – Líquidos Penetrantes - ASTM A706 de 1/2" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].	87
Ilustración 85. Probeta #04 – Líquidos Penetrantes - ASTM A615 de 5/8" soldadura con electrodo E9018-G [55].	88
Ilustración 86. Probeta #06 – Líquidos Penetrantes -ASTM A615 de 5/8" soldadura con electrodo E9018-G [55].	88
Ilustración 87. Probeta #11 –Líquidos Penetrantes - ASTM A615 de 1/2" soldadura con electrodo E9018-G [55].	89
Ilustración 88. Probeta #10 – Líquidos Penetrantes - ASTM A615 de 1/2" soldadura con electrodo E9018-G [55].	90
Ilustración 89. Aplicación de partículas secas en zona magnetizada de las barras de ASTM A615 y ASTM A706 de ϕ 1/2" y ϕ 5/8" [55].	91
Ilustración 90. Probeta #02 – Partículas Magnéticas - ASTM A706 de 5/8" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].	91

Ilustración 91. Probeta #03 – Partículas Magnéticas - ASTM A706 de 5/8" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].....	92
Ilustración 92. Probeta #07 – Partículas Magnéticas - ASTM A706 de 1/2" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].....	93
Ilustración 93. Probeta #09 – Partículas Magnéticas - ASTM A706 de 1/2" soldadura con electrodo E8018-C3.	93
Ilustración 94. Probeta #04 – Partículas Magnéticas - ASTM A615 de 5/8" soldadura con electrodo E9018-G [55].	94
Ilustración 95. Probeta #06 – Partículas Magnéticas - ASTM A615 de 5/8" soldadura con electrodo E9018-G [55].	94
Ilustración 96. Probeta #11 – Partículas Magnéticas - ASTM A615 de 1/2" soldadura con electrodo E9018-G [55].	95
Ilustración 97. Probeta #10 – Partículas Magnéticas - ASTM A615 de 1/2" soldadura con electrodo E9018-G [55].	96



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades mecánicas del Acero ASTM A615-Grado60 [13].....	14
Tabla 2. Propiedades mecánicas del Acero ASTM A706-Grado60 [14].....	14
Tabla 3. Diámetro de doblado del Acero ASTM A615-Grado 60 [13].....	16
Tabla 4. Diámetro de doblado del Acero ASTM A706-Grado 60 [14].....	16
Tabla 5. Tipo de corriente y polaridad dependiendo el ultimo signo del electrodo [2].	20
Tabla 6. Porcentaje aproximado de aleación en depósito de soldadura [2].	21
Tabla 7. Criterios para evaluar el riesgo de fisuración en frío por endurecimiento de la ZAC.	26
Tabla 8. Mínima Temperatura de Pre calentamiento Interpases (1), (2) [24].....	29
Tabla 9. CJP Requisitos de soldadura de ranura para juntas de tope directo [27].....	32
Tabla 10. Especificaciones de Maquina de soldar MILLER XMT 370 CC/CV [56].....	50
Tabla 11. Especificaciones de Amoladora Bosch GWS 26-230 Professional [57].	51
Tabla 12. Composición química de las barras corrugadas ASTM A615 de $\phi 1/2''$ [55].	52
Tabla 13. Composición química de las barras corrugadas ASTM A615 de $\phi 5/8''$ [55].	53
Tabla 14. Composición química de las barras corrugadas ASTM A706 de $1/2''$ [55].....	53
Tabla 15. Composición química de las barras corrugadas ASTM A706 de $5/8''$ [55].....	53
Tabla 16. Análisis Químico del Metal Depositado (valores típicos) [%] del E8018-C3.....	54
Tabla 17. Análisis Químico del Metal Depositado (valores típicos) [%] del E9018-G.....	55
Tabla 18. Mínima Temperatura de Pre calentamiento e Interpases de los Aceros ASTM A706 y ASTM A615 [55].....	57
Tabla 19. Resultado de ensayo de tracción de la probeta ASTM A615 $\phi 5/8''$ [55].....	66
Tabla 20. Resultado de ensayo de tracción de la probeta ASTM A706 $\phi 5/8''$ [55].....	66
Tabla 21. Resultado de ensayo de tracción de la probeta ASTM A706 $\phi 1/2''$ [55].....	66
Tabla 22. Resultado de ensayo de tracción de la probeta ASTM A615 $\phi 1/2''$ [55].....	66
Tabla 23. Descripción del método para el ensayo de partículas magnéticas [55].	84
Tabla 24. Resultado de la Probeta #02 – Líquidos Penetrantes - ASTM A706 de $5/8''$ soldadura con electrodo E8018-C3 [55].....	86
Tabla 25. Resultado de la Probeta #03 – Líquidos Penetrantes- ASTM A706 de $5/8''$ soldadura con electrodo E8018-C3 [55].....	86
Tabla 26. Resultado de la Probeta #07 –Líquidos Penetrantes - ASTM A706 de $1/2''$ soldadura con electrodo E8018-C3 [55].....	87

Tabla 27. Resultado de la Probeta #09 – Líquidos Penetrantes - ASTM A706 de 1/2" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].	87
Tabla 28. Resultado de la Probeta #04 – Líquidos Penetrantes - ASTM A615 de 5/8" soldadura con electrodo E9018-G [55].	88
Tabla 29. Resultado de la Probeta #06 – Líquidos Penetrantes - ASTM A615 de 5/8" soldadura con electrodo E9018-G [55].	89
Tabla 30. Resultado de la Probeta #11 – Líquidos Penetrantes - ASTM A615 de 1/2" soldadura con electrodo E9018-G [55].	89
Tabla 31. Resultado de la Probeta #10 – Líquidos Penetrantes - ASTM A615 de 1/2" soldadura con electrodo E9018-G [55].	90
Tabla 32. Descripción del método para el ensayo de partículas magnéticas [55].	90
Tabla 33. Resultado de la Probeta #02 – Partículas Magnéticas - ASTM A706 de 5/8" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].	92
Tabla 34. Resultado de la Probeta #03 – Partículas Magnéticas - ASTM A706 de 5/8" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].	92
Tabla 35. Resultado de la Probeta #07 – Partículas Magnéticas - ASTM A706 de 1/2" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].	93
Tabla 36. Resultado de la Probeta #09 – Partículas Magnéticas - ASTM A706 de 1/2" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].	93
Tabla 37. Resultado de la Probeta #04 – Partículas Magnéticas - ASTM A65 de 5/8" soldadura con electrodo E9018-G [55].	94
Tabla 38. Resultado de la Probeta #06 – Partículas Magnéticas - ASTM A615 de 5/8" soldadura con electrodo E9018-G [55].	95
Tabla 39. Resultado de la Probeta #11 – Partículas Magnéticas - ASTM A156 de 1/2" soldadura con electrodo E9018-G [55].	95
Tabla 40. Resultado de la Probeta #10 – Partículas Magnéticas - ASTM A615 de 1/2" soldadura con electrodo E9018-G [55].	96

CAPITULO I

1. MARCO METODOLÓGICO

1.1. Antecedentes

En la investigación realizada por Gerardo José Lobos Guerra de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de San Carlos de Guatemala en el tema “ANÁLISIS Y RECOMENDACIONES PRÁCTICAS DE LA SOLDADURA EN UNIONES A TOPE DEL ACERO CORRUGADO No. 8, GRADO 60, NORMA ASTM A615, DISPONIBLE EN EL MERCADO GUATEMALTECO” del año 2013; el cual establece la soldabilidad del acero corrugado ASTM A615 producido en su país con electrodos E7018 y E9018 en barras de N°08, teniendo como conclusiones más importantes las siguientes:

- A través de la prueba de doblado, se comprobó que la ductilidad de las soldaduras E7018 es prácticamente nula, por lo que es una razón que vuelve injustificable el uso de electrodo E7018 para la soldadura de las barras de estudio.
- Si se realizaran soldaduras en este tipo de acero, se debe tener en cuenta los precalentamientos adecuados dependientes del carbono equivalente y del diámetro a soldar; se pueden calcular mediante criterios metalúrgicos, o bien consultar la norma AWS. D 1.4; se debe realizar con electrodo E-9018 bajo condiciones adecuadas de almacenamiento y contar con personal calificado para realizar las soldaduras.

Otra investigación realizada por Raúl Carlos Hurtado Espejo de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú en su tema “ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DE BARRAS CORRUGADAS DE ACERO PARA CONCRETO REFORZADO BELGO 60” del año 2011, un acero producido en Brasil, tiene como conclusiones más importantes:

- Se puede afirmar que las barras corrugadas de acero estudiadas presentan muy buena soldabilidad, puesto que se obtuvieron uniones soldadas sanas y con las propiedades mecánicas requeridas.
- En las uniones de las barras corrugadas de acero de menor diámetro se debe tener especial cuidado en la técnica y la habilidad del soldador, pues por su pequeño tamaño es más susceptible a presentar discontinuidades de soldadura.

1.2. Planteamiento del problema

En este estudio el planteamiento fue: ¿Cuál es la comparación de la soldabilidad, propiedades Mecánicas y Metalográficas de los Aceros Estructurales de Grado 60, A615 Y A706 Producidos En El Perú soldadas mediante el proceso SMAW”

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivos generales

Evaluar la soldabilidad y establecer un proceso de soldeo de las barras de acero corrugado de refuerzo de acuerdo con la norma ASTM A615 Grado 60 en relación a la soldabilidad del acero corrugado de refuerzo de la norma ASTM A706 Grado 60 producidas en el Perú según las Normas Técnicas Peruanas 341.031-Grado 60 y 339.186-Grado 60

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Determinar los parámetros que rigen el uso de empalmes soldados en las barras corrugadas de los aceros estructurales ASTM A615 Grado 60 y ASTM A706 Grado 60, empezando por el procedimiento, tipo de junta y metal de aporte.
- b) Determinar si las uniones soldadas cumplen con los requerimientos del código ACI 318S-05, norma ANSI/AWS D1.4 y los datos experimentales obtenidos.
- c) Determinar mediante ensayos las propiedades de dureza de las juntas soldadas.
- d) Realizar ensayos no destructivos para verificar la validez de los resultados de soldabilidad.

- e) Realizar la caracterización microestructural de las zonas metalúrgicas de las juntas soldadas usando técnicas metalográficas y de microscopía óptica.
- f) Efectuar los procedimientos de ensayos de doblado guiado y determinar la calidad de las juntas soldadas.

1.4. Justificación

El Perú se encuentra en un entorno sísmico tectónico más interesantes y complejos que existen. El presente estudio se pretende exponer y dar seguridad a los Ingenieros Mecánicos y profesionales afines sobre la soldabilidad y la buena práctica de la soldadura en barras corrugadas de acero ASTM A615 y ASTM A706 empleadas en construcciones civiles y estructuras místicas.

La norma considera al acero como el material sismorresistente por excelencia, considerando las propiedades mecánicas, soldabilidad, ductilidad, no contar desgarramiento laminar además de otras características complementarias.

En los últimos años en nuestro territorio nacional, en especial en la zona sur que está más propenso a sismos y hay una gran demanda en los proyectos y usuarios para los nuevos aceros de refuerzo de concreto, que a la vez son utilizados como refuerzos o por sí mismos en estructuras metálicas que garanticen eficiencia y eficacia su resistencia antisísmica. El acero estructural más acostumbrado es el ASTM A615 de Grado 60, sin embargo, la aparición en el mercado nacional del ASTM A706 Grado 60 aprobado por American Concrete Institute (ACI 318-89) en Estados Unidos como un acero especial para estructuras antisísmicas ha generado una rivalidad entre ambos aceros por su propiedad mecánicas, soldabilidad y costo. Lo anterior se magnifica porque existe un vacío respecto a su composición exacta y por tanto soldabilidad y consecuentes propiedades mecánicas del acero ASTM A615 Grado 60 por parte de los fabricantes en Perú que son Aceros Arequipa y SIDERPERU que en sus fichas técnicas no dan datos exactos, es más si se analiza la soldabilidad de la barras de refuerzo grado 60, la norma

ASTM A615, no toma en cuenta la unión por soldadura de estas barras como un requerimiento; caso contrario es el ASTM A706 Grado60 que en ficha técnica dan datos más exactos. Esto ha motivado la realización del presente trabajo que permitirá caracterizar en forma precisa e ingenieril la composición química, soldabilidad y propiedades mecánicas de ambos aceros para su adecuada selección y garantía respecto a su uso, esto aprovechando la implementación del Laboratorio de Materiales de nuestra Universidad que permitirá realizar un estudio con garantía y que aportará a la comunidad regional y nacional usar los aceros adecuados para diferentes usos, dando un aporte a la sociedad.

1.5. Delimitación del problema

1.5.1. Espacial

El estudio comparativo se desarrolló en el Laboratorio de Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Universidad Católica de Santa María (UCSM) así como se contó con el apoyo de la empresa SOLDEXA S.A y la Universidad Nacional San Agustín (UNSA) en la ciudad de Arequipa.

1.5.2. Temporal

El estudio se desarrolló en un periodo en el lapso comprendido de marzo del 2018 – Noviembre del 2019, tiempo que se determinó todos los parámetros.

CAPITULO II

2. MARCO TEORICO

2.1. El Acero

2.1.1. Definición

El Acero es básicamente una aleación o combinación de hierro y carbono (alrededor de 0,05% hasta menos de un 2%). Algunas veces otros elementos de aleación específicos tales como el Cr (Cromo) o Ni (Níquel) se agregan con propósitos determinados [1].

La soldabilidad de los aceros depende en alto grado de porcentaje de carbono que contengan. A mayor cantidad de carbono presente en la aleación se dificulta la soldadura, y a menor carbono aumenta la soldabilidad del materia [2].

2.1.2. Características mecánicas del acero

Los ajustes de su composición, tratamientos térmicos, mecánicos o químicos se pueden establecer propiedades mecánicas y físicas para diferentes aplicaciones, algunas propiedades genéricas pueden ser:

- Su densidad media es 7850 kg/m³ [3].
- El acero se puede fundir, dilatar o contraer en función a la temperatura.
- El punto de fusión del acero depende del tipo de aleación. El de su componente principal, el hierro es de alrededor de 1510 °C, sin embargo el acero presenta frecuentemente temperaturas de fusión de alrededor de 1375 °C (2500 °F). Por otra parte el acero rápido funde a 1650°C [4].
- Su punto de ebullición es cerca de los 3000°C [3].
- Es dúctil, puede deformarse a tracción relativamente alta, hasta llegar al punto de fractura.
- Se pueden mantener láminas delgadas llamadas hojalata, por eso se dice que es maleable.

- Se puede soldar con facilidad [3].
- Es un metal tenaz por la resistencia a la rotura por esfuerzos que deforman el material.
- La dureza de los aceros varía entre la del hierro y la que se puede lograr mediante su aleación u otros procedimientos térmicos o químicos entre los cuales quizá el más conocido sea el templado del acero, aplicable a aceros con alto contenido en carbono, que permite, cuando es superficial, conservar un núcleo tenaz en la pieza que evite fracturas frágiles. Aceros típicos con un alto grado de dureza superficial son los que se emplean en las herramientas de mecanizado, denominados aceros rápidos que contienen cantidades significativas de cromo, wolframio, molibdeno y vanadio. Los ensayos tecnológicos para medir la dureza son Brinell, Vickers y Rockwell, entre otros [3] [4].
- Su mayor desventaja de los aceros es la corrosión, el hierro se oxida con facilidad.

2.1.3. Clasificación de los aceros

2.1.3.1. Aceros al carbono

Son aleaciones en base al Fe, el contenido de carbono puede ser inferiores a 2% y superiores al 0.05% en peso, por el contenido de carbono estas obtienen sus propiedades. Se clasifican en:

- **Aceros de bajo carbono:** Contiene entre 0.05% y 0.30% de carbono. Conocidos en el medio por fierro dulce o fierro.
- **Aceros de mediano carbono:** Contienen entre el 0.30%- 0.45% de carbono.
- **Acero de alto carbono:** Contienen 0.45% y 0.90% de carbono.

2.1.3.2. Aceros aleados de baja aleación

Los contenidos de carbono no deben ser muy altos porque son difíciles de soldar, un contenido de carbono de 0.10% o 0.30% y una reducción de elementos aleantes incrementa la

formabilidad y soldabilidad del acero conservando su resistencia. Algunos de aceros de baja aleación son: 300M, C1320.

2.1.3.3. Aceros aleados de mediana aleación

La cantidad de elementos aleantes es de 2.5% y 10%.

2.1.3.4. Aceros aleados de alta aleación

La suma de elementos aleantes sobrepasa el 10%, por lo que lo hace muy costoso. Su aplicación es donde necesiten alta resistencia al desgaste o a la corrosión.

Se pueden clasificar:

- Aceros resistentes a la corrosión o inoxidable
- Aceros para herramientas

2.1.4. Aceros estructurales

El acero estructural está constituido por hierro, carbono y cantidades pequeñas de oxígeno, fósforo, azufre y silicio que le dan características específicas.

Son utilizados en las construcciones estructurales (puentes, edificios industriales, etc.) por su bajo costo y su extensa gama de formas y grados.

Las propiedades y cualidades del acero son: Alta resistencia, homogeneidad en la calidad, fiabilidad de la misma, soldabilidad, ductilidad e incombustible, pero a altas temperaturas sus propiedades mecánicas fundamentales se ven gravemente afectadas, buena resistencia a la corrosión en condiciones normales [5].

2.1.5. Propiedades del acero

La composición y el tratamiento térmico hacen que el acero hace que varíen sus propiedades físicas y mecánicas, para distintos tipos de aplicación. Mediante las pruebas y ensayos es que se determina las propiedades del material y saber el material a utilizar.

Entre sus propiedades están:

Ductilidad: Capacidad del acero para deformarse a esfuerzo de tracción relativamente altas.

Dureza: Resistencia a la penetración de otro material.

Resistencia: Oposición al cambio de forma y fuerzas externas como tracción, compresión.

Tenacidad: Resistencia a la rotura por esfuerzos que deforman el metal.

Rigidez: Capacidad de soportar esfuerzos sin tener grandes deformaciones o desplazamientos.

En este estudio utilizaremos los aceros ASTM A615 y ASTM A706 producidos por Aceros Arequipa, en donde A es acero al carbono y los números a la resistencia a la tracción y límite de fluencia expresados en Kgf/mm².

2.1.6. Composición del acero

El acero está constituido principalmente de hierro (95%) siendo el elemento más importante, sus aleantes sirven para mejorar propiedades físicas, mecánicas o químicas. Los aceros con bajo porcentaje de hierro no son denominados aceros estructurales.

2.1.1.1. *Influyentes de los constituyentes del acero*

- a) **Manganeso:** Elemento básico en todos los aceros comerciales; el manganeso se agrega a todos los aceros como agente de desoxidación y desulfuración, pero si el contenido de manganeso es superior a 1%, el acero se clasifica como un acero aleado al manganeso, además de actuar como desoxidante, neutraliza los efectos nocivos del azufre, facilitando la laminación, moldeo y otras operaciones de trabajo en caliente [6].
- b) **Silicio:** Aumenta moderadamente la templabilidad. Se usa como elemento desoxidante. Aumenta la resistencia de los aceros bajos en carbono [3].
- c) **Aluminio:** Actúa como desoxidante para el acero Fundido y produce un Acero de Grano Fino. [6]
- d) **Boro:** Aumenta la templabilidad sin reducir la maquinabilidad. Es usado en aceros de baja aleación en aplicaciones como cuchillas de arado, etc [3] [6].

- e) **Cromo:** Aumenta la profundidad del endurecimiento y mejora la resistencia al desgaste y corrosión. Se usa en aceros inoxidables, aceros para herramientas y refractarios [3] [6].
- f) **Molibdeno:** Elemento habitual del acero y aumenta mucho la profundidad de endurecimiento de acero, así como su tenacidad [3].
- g) **Titanio:** Se usa para estabilizar y desoxidar el acero, mantiene estables las propiedades del acero a alta temperatura [3].
- h) **Vanadio:** Fuerte desoxidante, forma carburos complejos con el hierro, que proporcionan al acero una buena resistencia a la fatiga, tracción y poder cortante en los aceros para herramientas [3] [6].
- i) **Níquel:** Mejora las propiedades del tratamiento térmico reduciendo la temperatura de endurecimiento y distorsión al ser templado; se utiliza mucho para producir acero inoxidable [6] [3].
- j) **Tungsteno:** Empleado en aleación para herramientas. Estando candente o al rojo; les otorga una gran resistencia al desgaste y dureza a altas temperaturas [6].

2.2. Proceso de fabricación

2.2.1. Proceso de fabricación del acero de refuerzo

El acero nace de la fusión de diferentes cargas metálicas, con contenido de hierro, ferroaleaciones y carbono, las cuales determinan su estructura molecular, pero este proceso no es tan simple como parece. Para conocerlo, explicaremos el proceso de producción de Corporación Aceros Arequipa, empresa peruana líder en la fabricación y comercialización de productos de acero en el Perú [7].

2.2.1.1. Proceso de reducción directa

En la planta de reducción directa se produce el hierro esponja una de las cargas metálicas utilizadas en la producción del acero, la materia prima para producción del hierro esponja es el mineral de hierro (óxido de hierro) el cual, llega en forma de pellets y se almacena en silos

junto con el carbón y la caliza, se le denomina hierro esponja porque a los pellets de mineral de hierro se le extrae el oxígeno convirtiéndose un material muy liviano y poroso.

2.2.1.2. Proceso de fragmentación

La carga metálica (acero en desuso) forma parte de la producción del acero dependiendo su carga residual y densidad el cual genera un importante mercado de trabajo en el Perú.

El acero en desuso pasa por la planta fragmentadora para su trituración y corte esto por medio de martillos para un óptimo tamaño, para luego pasar por rodillos magnéticos a través de una faja transportador para seleccionar todo lo metálico; los materiales no metálicos pasan se desvían para algún otro proceso o eliminación y los metálicos para su apilamiento para ser utilizado.



Ilustración 1. Acero reciclado [8].

2.2.1.3. Proceso de acería

El proceso de acería consta de tres instalaciones fundamentales:

- Horno eléctrico: Por medio de electrodos que producen el arco eléctrico para la fusión de hierro esponja, acero reciclado fragmentado y carbono para producir el acero líquido.

- Horno cuchara: Se realiza el afino del acero líquido y se ajusta a la composición química del acero deseada.
- Colada continua: Por medio de un orificio en la cuchara se vierte al tundish (distribuidor) para reducir la turbulencia y llevar a cabo la solidificación del acero para obtener las palanquillas.



Ilustración 2. Horno eléctrico de fusión [9].

2.2.1.4. Proceso de laminación en caliente

La última parte del proceso de producción del acero es la laminación en caliente, empieza con el calentamiento de la palanquilla en el horno recalentador a una temperatura de trabajo que varía entre los 1100°C y los 1200 °C de ahí pasa al tren de laminación, donde se inicia el estiramiento de la palanquilla a través de cajas de desbaste y rodillos, formando así las barras y perfiles según el tipo de rodillo acabador que se haya colocado y de acuerdo al largo que se desea obtener, el producto pasa la mesa de enfriamiento donde se corta y empaqueta [10].



Ilustración 3. Horno recalentador [10].

2.3. El acero en estructuras metálicas

En materia de construcción e infraestructura, las estructuras metálicas son acaso el más resistente y eficaz aliado de la industria en general y, en particular, de industria minera. Su funcionalidad, flexibilidad y ventajosos costos de producción –en comparación con las alternativas tradicionales– las han convertido en la mejor alternativa para la gestión de espacios (edificaciones), montaje (bases para equipos y maquinaria de operación), entre otros propósitos. Y ese proceso ha generado un mercado caracterizado por una acelerada diversificación de productos e innovaciones.

Las estructuras metálicas –que son un producto de la industria metalmecánica– representan un sistema constructivo que debe cumplir tres condiciones básicas: rigidez, estabilidad y resistencia (más del 80% de sus partes son de acero) [11].



Ilustración 4. Planta concentradora de Cerro Verde [12].

2.4. Propiedades mecánicas de las barras grado 60

2.4.1. Características mecánicas ASTM A615 Grado 60

Las barras corrugadas ASTM A615 son lisas y con resalte, son utilizadas como refuerzo para concreto armado y normalmente no son soldadas. Estas barras están disponibles en el mercado de 9 y 12 metros de longitud.

Tabla 1. Propiedades mecánicas del Acero ASTM A615-Grado60 [13].

Propiedades Mecánicas	
Límite de fluencia (fy)	4280 kg/cm ² mínimo.
Resistencia a la tracción (R)	6320 kg/cm ² mínimo.
Relación R/fy	≥1.25
Alargamiento en 200 mm:	
Diámetros	% Mínimo
6 mm, 8mm, 3/8", 12 mm, 1/2", 5/8" y 3/4"	9% mínimo.
1"	8% mínimo.
1 3/8"	7% mínimo
Doblado a 180°	Bueno

2.4.2. Características mecánicas ASTM A706 Grado 60

Las barras corrugadas ASTM A706 son fabricadas con aceros de baja aleación, utilizadas como refuerzo de concreto y se requiere el soldado de la estructura. También están disponibles en el mercado de 9 y 12 metros de longitud.

Tabla 2. Propiedades mecánicas del Acero ASTM A706-Grado60 [14].

Propiedades Mecánicas	
Límite de fluencia (fy)	4280 – 5510 kg/cm ² mínimo.
Resistencia a la tracción (R)	5610 kg/cm ² mínimo.
Relación R/fy	≥1.25
Alargamiento en 200 mm:	
Diámetros	% Mínimo
3/8", 1/2", 5/8" y 3/4"	14% mínimo.
1", 1 1/4" y 1 3/8"	12% mínimo.
Doblado a 180°	Bueno

2.4.3. Soldabilidad

2.4.3.1. Soldabilidad del acero ASTM A615 Grado 60

El acero ASTM A615, es un acero con alto contenido de carbono equivalente (mayor a 0.5%) lo que hace un acero difícil de soldar, provocando una alta posibilidad que origine uniones frágiles y de baja resistencia.

Los aceros de alto contenido de carbono requieren generalmente un precalentamiento o un post calentado para reducir efectos provocados por el calor; no se recomienda la soldadura, salvo con procedimientos supervisados y mano de obra especializada.

Siguiendo el código AWS D1.4/D1.4M:2005, utilizaremos el proceso de Soldadura por Arco con Electrodo Revestido (SMAW), el material de aporte o electrodo en este estudio es el E9018-G por ser utilizado en el medio y encontrarse en el mercado.

2.4.3.2. Soldabilidad del acero ASTM A706 Grado 60

El acero ASTM A706 si es soldable, es recomendable para zonas de alto riesgo al facilitar las reparaciones y/o refuerzo de estructuras dañadas luego de sismos intensos, o cuando se requiere reforzar o ampliar una estructura. De igual manera el código AWS D1.4/D1.4M:2005, utilizaremos el proceso de Soldadura por Arco con Electrodo Revestido (SMAW), el material de aporte o electrodo en este estudio es el E8018-C3 por ser utilizado en el medio y encontrarse en el mercado.

2.4.4. Diámetro mínimo de doblado del acero de refuerzo

2.4.4.1. Diámetro mínimo de doblado del acero ASTM A615 Grado 60

Los diámetros de doblado especificados por la Norma Técnica Peruana NTP 341.031-Grado60 para la prueba de doblado son:

Tabla 3. Diámetro de doblado del Acero ASTM A615-Grado 60 [13].

Diámetro de doblado									
Diámetro de barra (d)	6 mm	8 mm	3/8"	12 mm	1/2"	5/8"	3/4"	1"	1 3/8"
Diámetro doblado	3.5d	3.5d	3.5d	3.5d	3.5d	3.5d	5.0d	5.0d	7.0d
Mm	21	28	33.3	42	44.5	55.6	95.3	127	250.7

2.4.4.2. Diámetro mínimo de doblado del acero ASTM A706 Grado 60

Los diámetros de doblado especificados por la Norma Técnica Peruana NTP 339.186-Grado60 para la prueba de doblado son:

Tabla 4. Diámetro de doblado del Acero ASTM A706-Grado 60 [14].

Diámetro de doblado							
Diámetro de barra (d)	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	1"	1 1/4"	1 3/8"
Diámetro doblado	3d	3d	3d	4d	4d	6d	6dd
Mm	28.6	38.1	47.6	76.2	101.6	193.6	209.5

2.4.5. Efecto de la temperatura [15]

El acero expuesto a altas temperaturas pierde (reduce) sus propiedades mecánicas (fy, fu, Es). A partir de los 450 °C aproximadamente, la reducción en fy y fu crece rápidamente. El recubrimiento de concreto protege, dentro de ciertos límites, al acero de refuerzo del fuego, prolongando el tiempo necesario para que sus propiedades mecánicas se vean afectadas por el efecto de las altas temperaturas.

La ilustración 5 se muestra el efecto de las altas temperaturas en la resistencia del acero, para las barras trabajadas (estiradas) en frío (cold-drawn), para las barras laminadas en caliente (hot-rolled) y para las barras de alta resistencia.

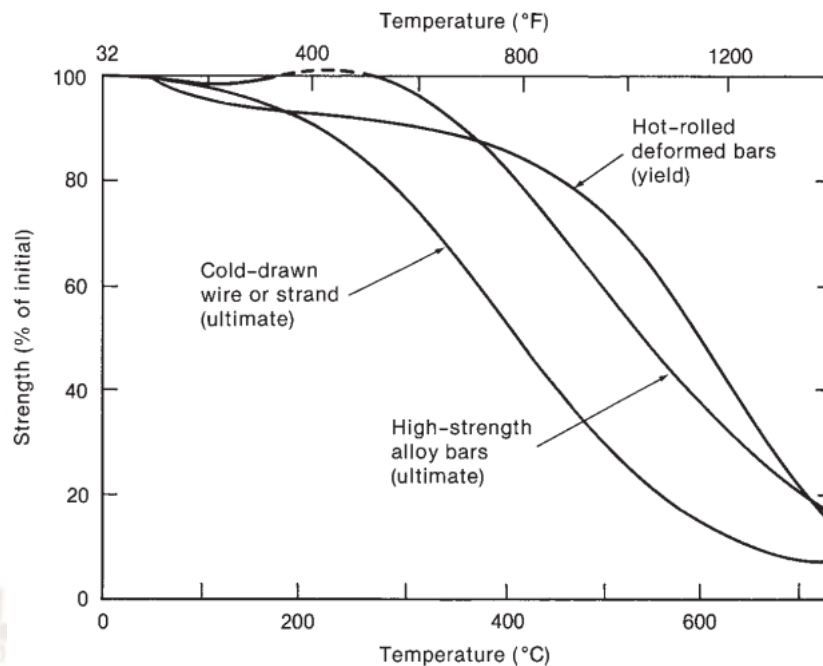


Ilustración 5. Efecto de las altas temperaturas en la resistencia del acero [15].

La ilustración 6 muestra la influencia de la temperatura en la resistencia a la compresión del concreto simple. Se muestran las curvas correspondientes a tres tipos de agregados distintos. En general tanto la resistencia a la compresión como el módulo de elasticidad del concreto disminuyen con las temperaturas altas, mientras que el coeficiente de dilatación aumenta. Los concretos fabricados con agregados con carbonatos (calizas, dolomitas) son menos sensibles a las altas temperaturas que los fabricados con agregados silicios (granito, areniscas, cuarcitas). Estos últimos son los más utilizados en nuestro medio.

El color del concreto luego de un incendio, es un indicador aproximado de las temperaturas que se han alcanzado. En la parte inferior de la ilustración se indican algunos rangos de temperatura asociados con el color del concreto. En general cuando el color ha pasado del rosado al gris, es probable que el concreto haya sido dañado de manera importante por las temperaturas [15].

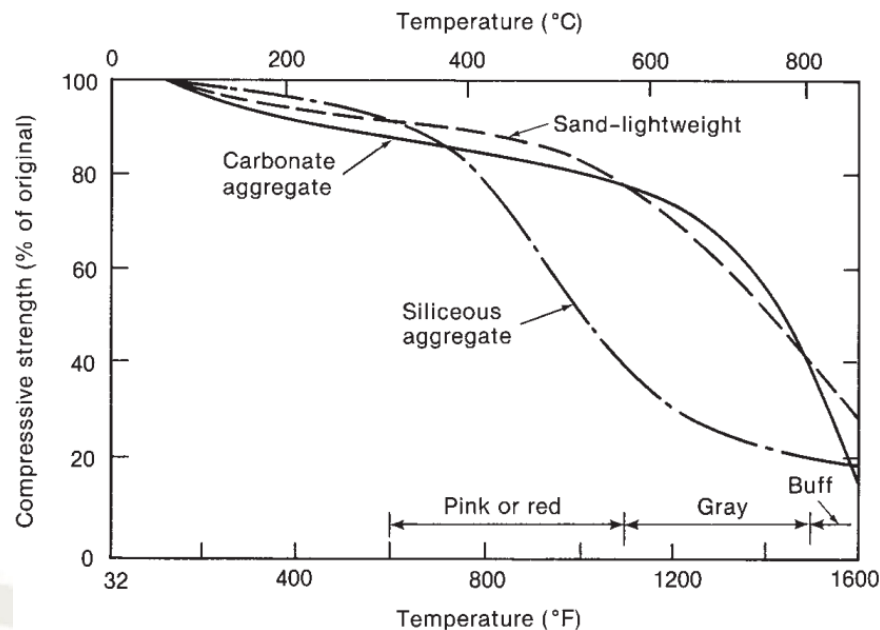


Ilustración 6. Efecto de las altas temperaturas en la resistencia del concreto [15].

2.5. Soldadura

2.5.1. Soldadura por arco eléctrico (SMAW)

Soldadura por arco con electrodo metálico revestido (SMAW), conocida como soldadura por arco con electrodo recubierto, soldadura de varilla o soldadura manual de arco metálico; es un proceso de soldadura por arco eléctrico entre un electrodo revestido y un metal base.

La energía eléctrica se transforma en energía térmica, llegando a una temperatura de aproximadamente de 3500 °C en la punta del electrodo. El calor funde el metal base y el electrodo revestido formando un baño de fusión o pileta de fusión, esta se solidifica a lo largo de la junta a medida que el electrodo avance.

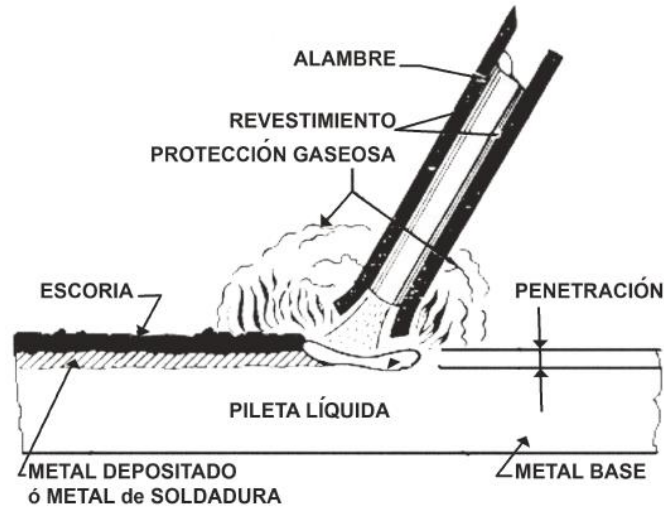
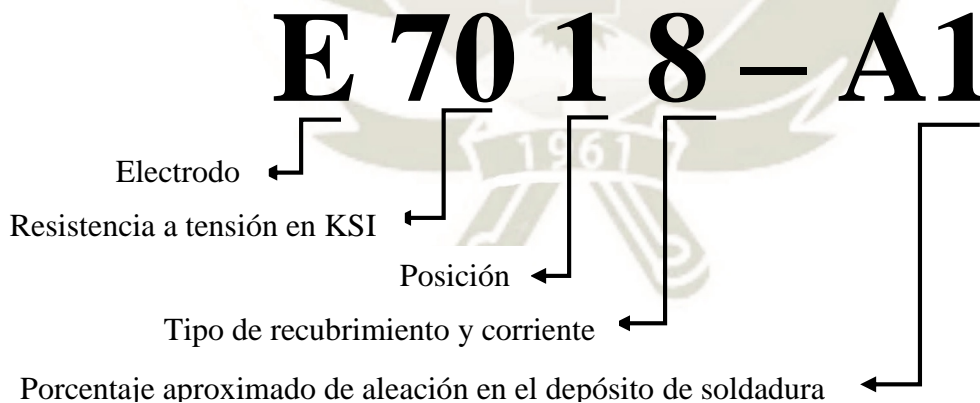


Ilustración 7. Soldadura SMAW [16].

2.5.1.1. Clasificación básica de los electrodos

La clasificación de los electrodos es dada por la Asociación Americana de Soldadura (AWS) y Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME).

La especificación AWS la cual se refiere a los electrodos para aceros de baja, la designación es la siguiente:



La letra E designa el producto: Electrodo.

Los primeros dos dígitos la resistencia mínima a la tracción, sin tratamiento térmico post soldadura [2]:

E 60 XX	62000	lbs/pulg ² mínimo.
E 70 XX	70000	lbs/pulg ² mínimo.

E 110 XX 110000 lbs/pulg2 mínimo.

El tercer dígito indica la posición en la que se puede soldar satisfactoriamente con un electrodo [2]:

E XX 1X Plano, horizontal, vertical, sobre cabeza.

E XX 2X Plano, horizontal (filete).

E XX 4X Plano, horizontal, vertical descendente, sobre cabeza.

El último dígito, es indicativo del tipo de corriente eléctrica y polaridad en la que mejor trabaja el electrodo e identifica a su vez el tipo de revestimiento.

Tabla 5. Tipo de corriente y polaridad dependiendo el ultimo signo del electrodo [2].

Clasificación AWS	Tipo de Revestimiento	Corriente Eléctrica
E 6010 E 6011	Alta celulosa, sodio Alta celulosa, potasio	CC (+) CA o CC (+)
E 6012 E 6013	Alta titanio, sodio Alta titanio, potasio	CA, CC (-) CA, CC (+) o CC (-)
E 6020	Alto óxido de hierro	CA, CC (-) CA, CC (+) o CC (-)
E 7014 E 7015	Hierro en polvo, titanio Bajo hidrógeno, sodio	CA, CC (+) o CC (-) CC (+)
E 7016 E 7018	Bajo hidrogeno, potasio Bajo hidrogeno, potasio, hierro en polvo	CA o CC (+) CA o CC (+)
E 7018M E 7024	Bajo hidrogeno, hierro en polvo Hierro en polbo, titanio	CC (+) CA, CC (+) o CC (-)
E 7027	Alto óxido de hierro, hierro en polvo	CA, CC (-) CA, CC (+) o CC (-)
E 7028	Bajo hidrógeno, potasio, hierro en polvo	CA o CC (+)
E 7048	Bajo hidrógeno, potasio, hierro en polvo	CA o CC (+)

El sufijo (Ejemplo EXXXX A1) indica el porcentaje aproximado de aleación en el depósito de soldadura.

Tabla 6. Porcentaje aproximado de aleación en depósito de soldadura [2].

A1	0,5% Mo
B1	0,5% Cr; 0,5% Mo
B2	1,25% Cr; 0,5% Mo
B3	2,25% Cr; 1,0% Mo
B4	2,0% Cr; 0,5% Mo
B5	0,5% Cr; 1,0% Mo
C1	2,5% Ni
C2	3,25% Ni
C3	1,0% Ni; 0,35% Mo; 0,15% Cr
D1 Y D2	0,25-0,45% Mo; 1,75% Mn
*G	0,5% mín. Ni; 0,3% mín. Cr; 0,2% mín. Mo; 0,1% mín. V; 1,0% mín. Mn

* (Solamente se requiere un elemento de esta serie para alcanzar la clasificación G.)

2.5.2. Consideraciones de seguridad industrial

En el trabajo de soldadura involucra altas temperaturas, para ello el personal debe estar debidamente capacitado, use adecuadamente el equipo de protección personal (EPP). Tocaremos tres puntos de suma importancia a tener en cuenta en el trabajo de soldadura.

2.5.2.1. Manejo y transporte del equipo

Para ser trasladados, reparados o hacerles una limpieza de las maquinas rotativas o convertidores deben ser desconectados de la red y debidamente enrollados tantos los cables de red como los de soldadura.

Los cables del equipo no deben ser arrastrados en su traslado ni tirar de ellos cuando estos opongan resistencia, esto evitara desgaste o rotura de los mismos.

2.5.2.2. *Conexión segura del equipo de soldar [17]*

- Las conexiones fijas de enganche a la red deben ser instaladas sólo por personal eléctrico especialista.
- La tensión eléctrica del equipo en vacío, es decir, cuando todavía no se ha establecido el arco, puede ser mucho mayor que la de trabajo, así que ha de vigilarse con atención el estado de los cables. Emplear sólo empalmes y cables en buen estado y perfectamente aislados.
- Durante las operaciones de soldadura debe estar correctamente conectado el cable de masa, que debe ser un conductor especial para la conexión a tierra de la armadura de la máquina y debe estar en perfecto estado de conservación.
- Establecer la conexión a tierra tan cerca como sea posible de la zona donde se vaya a efectuar la soldadura.
- El número de conexiones a tierra en cualquier punto no debe pasar de dos para evitar la excesiva generación de calor.
- Limpiar el área próxima a la conexión de cualquier clase de líquido.
- No efectuar la toma en ningún elemento metálico con posibilidades de quedar bajo tensión eléctrica.
- La máquina de soldar, incluyendo la armadura del motor del generador y la caja de arranque, deben estar interconectados para formar una tierra permanente.
- Si se trabaja con herramientas eléctricas en la misma zona que el equipo de soldar, dispondrán de un aislamiento protector para que no se fundan sus conductores de protección por efecto de las corrientes inducidas por la soldadura.
- Cuando la pieza que haya que soldar se encuentre colgada de un gancho de carga, intercalar un aislante intermedio entre ambos, por ejemplo, una cuerda de cáñamo.

2.5.2.3. Protección personal (EPP)

El EPP, es utilizado por el soldador durante la jornada de trabajo y es de uso obligatorio; Lo protegen de enfermedades profesionales ante la presencia de riesgos específicos que no pueden ser aislados o eliminados, aumentando su seguridad y salud en el trabajo.



Ilustración 8. Equipo de protección personal para el proceso de soldadura [18].

La ropa de soldadura no debe estar manchada con grasa, solventes, o sustancias inflamables; no se debe tener la ropa húmeda porque se puede convertir en conductora y los zapatos que sean dieléctricos cuando se suelde sobre pisos metálicos

2.5.3. Zona afectada por el calor (ZAC)

La zona afectada por el calor (ZAC, HAZ O ZAT) es el volumen de material en o cerca de la soldadura, cuyas propiedades han sido alteradas debido al calor de la soldadura. Debido a

que el proceso de soldado por resistencia se basa en calentar dos piezas, es inevitable que haya una HAZ. El material que se encuentra dentro de la HAZ sufre un cambio que puede o no resultar beneficioso para la unión soldada. En general, el objetivo de un buen soldado por resistencia es minimizar la HAZ [19].

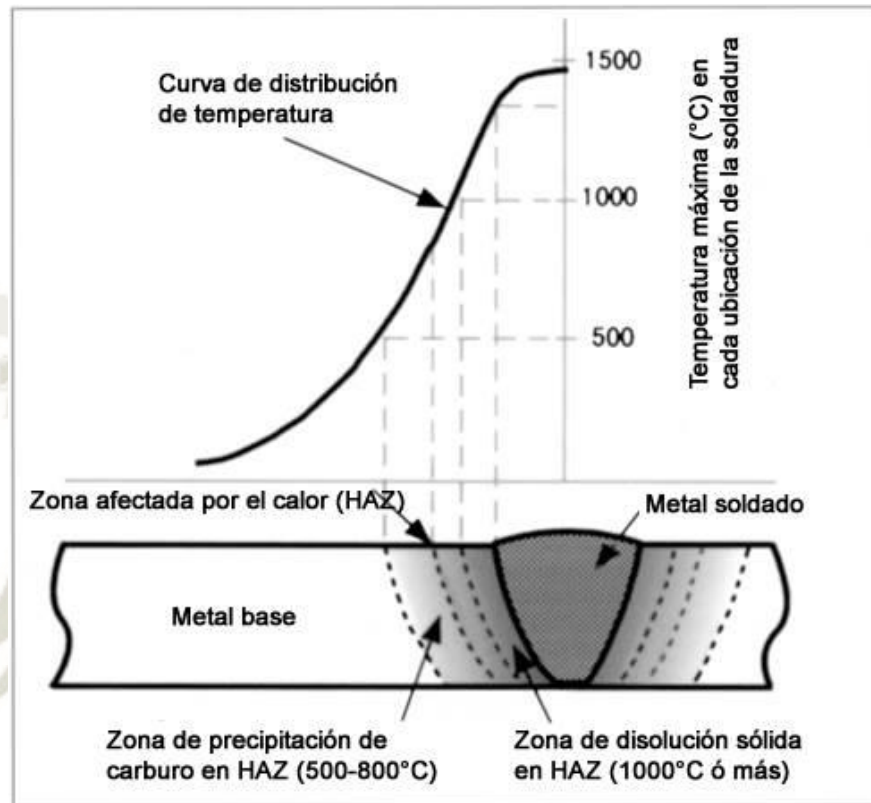


Ilustración 9. Zona de unión soldada [20].

2.5.4. Fisuración

Las fisuras o también llamadas grietas, son fracturas que se producen en el material que se utilizó en la soldadura y son inaceptables, pueden ser tan pequeñas que no sea visible a la vista. Se puede dar en el material base, en el cordón de soldadura o ambas partes, esto se debe a varios factores como el electrodo, material base, precalentamiento (si lo requiere), tipo de enfriamiento, etc.

Haremos enfoque en la fisuración en caliente y frío.

2.5.4.1. Fisuración en caliente

La fisuración en caliente se produce en el cordón de soldadura cuando esta se encuentra todavía caliente, las fisuras pueden ser microscópicas o incluso macroscópicas identificables a simple vista.

La superficie de fractura presenta apariencia mate por la formación de una capa de óxido superficial debido a las altas temperaturas.

Las fisuras se pueden iniciar en el depósito de soldadura o en la zona afectada por el calor (ZAC). Cuando ocurre en el depósito de soldadura el defecto se le conoce como “fisura de solidificación”, mientras que si aparece en la ZAC o región límite entre la zona solidificada y la ZAC se le denomina “fisura de licuación”.

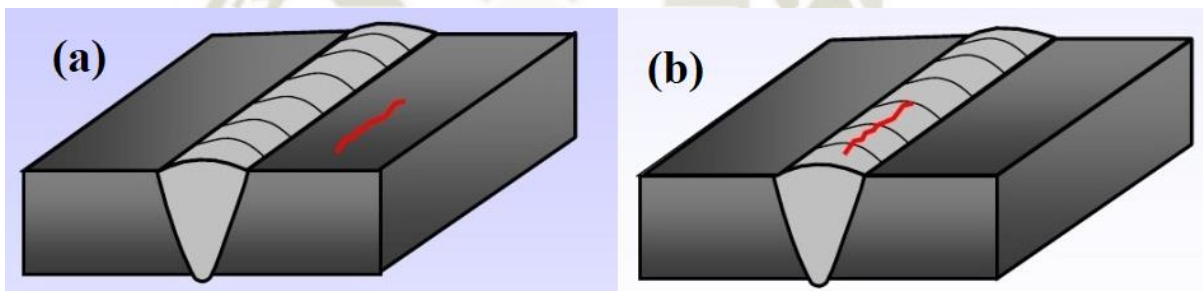


Ilustración 10. (a) Agrietamiento en ZAC (b) Agrietamiento longitudinal o central [21].

2.5.4.2. Fisuración en frío

La fisuración en frío se produce cuando el metal soldado está en proceso de enfriamiento, a diferencia de la fisuración en caliente se produce debajo de los 300°C o cuando el material ya se encuentra frío. El agrietamiento puede aparecer inmediatamente, transcurridos minutos, incluso se puede presentar después de horas o días después del proceso de soldadura.

En las uniones soldadas de aceros al carbono y de baja aleación, las causas más importantes son: Fragilización por endurecimiento de la zona afectada por el calor (ZAC), Fragilización por hidrógeno, formación de tensiones residuales en el cordón de soldadura [22].

2.5.4.2.1. *Fragilización por endurecimiento de la ZAC*

Aparece por consecuencia del ciclo término y en la etapa de enfriamiento, se produce microconstituyentes frágiles en ella; el más peligroso es la martensita.

La martensita en la ZAC disminuye la tenacidad del acero en esta región y favorece su rotura frágil.

Un acero alcanza mayor riesgo de fisuración en la ZAC cuando es más alto sea su porcentaje de carbono (%C), elevado contenido de elementos aleantes (CE) y elevada velocidad de enfriamiento del cordón de soldadura [22].

Es posible predecir la dureza máxima que se alcanzaría en la ZAC en una unión soldada por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Dureza Máxima en la ZAC (HV)} = 1200 * CE - 200$$

La relación entre la dureza máxima en la ZAC, el porcentaje de martensita presente y el riesgo de fisuración en frío en la ZAC lo vemos mediante la siguiente tabla:

Tabla 7. *Criterios para evaluar el riesgo de fisuración en frío por endurecimiento de la ZAC.*

Dureza máxima en la ZAC	Máximo % martensita presente	Riesgo de fisuración en frío
> 450 HV	> 70 %	Muy probable
De 350 HV a 450 HV	50 % - 70 %	Probable
De 280 HV a 350 HV	30 % - 50 %	Poco probable
< 280 HV	< 30 %	Sin riesgo alguno (no hay necesidad de tratamiento post-soldadura)

Para reducir el riesgo de fisuración por endurecimiento del ZAC se debe seleccionar un acero con menor CE (CE < 0.4) y menor %C (C < 0.2%), precalentar la soldadura antes y durante la soldadura, efectuar tratamientos post-soldadura.

2.5.4.2.2. *Fragilización por hidrógeno*

La fragilización por hidrógeno puede provocar fracturas retardadas en el tiempo, es decir, aparecer tiempo después de haber soldado la pieza debido al hidrógeno presente en la unión soldada. Se pueden manifestarse de diferentes formas: pueden ser superficiales, transversales, longitudinales, internas o en suma [22].

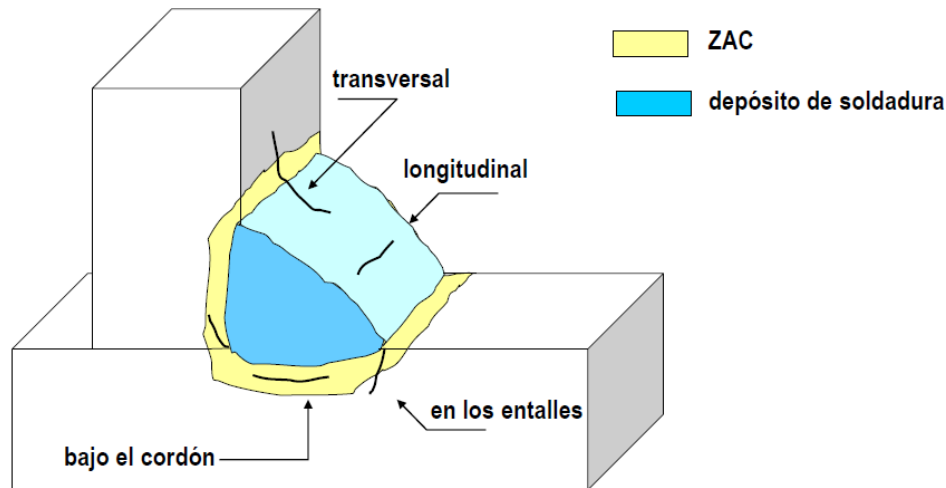


Ilustración 11. Formas de fisuras debidas a fragilización por hidrógeno [22].

El hidrógeno puede penetrar al cordón de soldadura desde diferentes fuentes [22]:

- La humedad del ambiente, del material de aporte y del metal base.
- Películas de grasa, aceite o pinturas sobre la superficie a soldar pueden provocar hidrógeno atómico al vaporizarse por efecto del calor durante la soldadura.
- Los parámetros de soldadura también influyen en la cantidad de hidrógeno que se puede generar durante el proceso.

2.5.5. Diagrama de Graville 40

El diagrama de Graville resulta una herramienta útil para evaluar la necesidad de pre calentamiento o tratamiento térmico post soldadura basada en conceptos de composición química (no considera espesor), en el mismo se grafica la relación entre Carbono y el CE del metal base y considera 3 zonas [23].

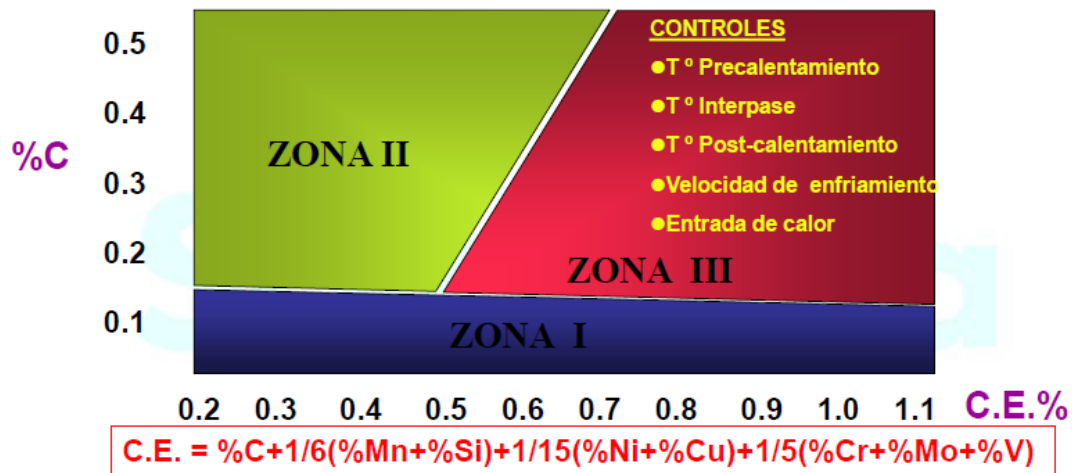


Ilustración 12. Diagrama de Graville [24].

Zona I: Aceros de bajo carbono y bajo endurecimiento no susceptibles a fisuras; fácil soldabilidad.

Zona II: Aceros con mayor porcentaje de Carbono y bajo endurecimiento, el riesgo a fisuras en la ZAC puede ser evitado mediante el control de la velocidad de enfriamiento por medio de un aporte térmico después de la soldadura o un precalentamiento previo.

Zona III: Aceros con elevado porcentaje de carbono y alto endurecimiento y en todas las condiciones de soldadura pueden producir micro estructuras susceptibles a fisuras; es la zona más difícil de soldar. Se debe aplicar procesos de bajo hidrógeno, precalentamiento y tratamientos térmicos post-soldadura.

2.5.6. Precalentamiento

El precalentamiento del acero a soldar frena la velocidad de enfriamiento en la zona de la soldadura. Esto puede ser necesario para evitar el agrietamiento en el metal de la soldadura o en la zona afectada por el calor. La necesidad de aumentar el precalentamiento va en relación a diferentes variables como el espesor del acero, las restricciones de soldadura, el contenido de carbono/aleación del acero, y el hidrógeno de difusible del metal de soldadura. El precalentamiento se aplica comúnmente con sopletes de gas o calentadores de resistencia eléctrica [25].

La Norma AWS D1.4/D1.4:2015 nos dice que, para todas las barras de acero, excepto aquellas designadas como ASTM A 706, el equivalente de carbono se calculara mediante la fórmula:

$$C.E = \%C + \frac{\%Mn}{6}$$

Y para el Acero ASTM A706 se calculará mediante la fórmula:

$$C.E = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cu}{40} + \frac{\%Ni}{20} + \frac{\%Cr}{10} - \frac{\%Mo}{50} - \frac{\%V}{10}$$

El carbono equivalente no debe exceder de 0.55%.

Con el carbono equivalente sacamos la temperatura mínima de precalentamiento.

Tabla 8. Mínima Temperatura de Precalentamiento Interpases (1), (2) [24].

Carbón Equivalente (C.E) Rango, % ^{(3), (4)}	Tamaño de la Barra Reforzada	SMAW con Electrodo de Bajo Hidrógeno, GMAW o FCAW	
		Temperatura Mínima	
		°F	°C
Hasta 0.40	Hasta 11 [36] inclusive 14 y 18 [43 y 57]	ninguna ⁽⁵⁾ 50	ninguna ⁽⁵⁾ 10
Más de 0.40 hasta 0.45 inclusive	Hasta 11 [36] inclusive 14 y 18 [43 y 57]	ninguna ⁽⁵⁾ 50	ninguna ⁽⁵⁾ 10
Más de 0.45 hasta 0.55 inclusive	Hasta 6 [19] inclusive 7 a 11 [22 a 36] 14 a 18 [43 a 57]	ninguna ⁽⁵⁾ 50 200	ninguna ⁽⁵⁾ 10 90
Más de 0.55 hasta 0.65 inclusive	Hasta 6 [19] inclusive 7 a 11 [22 a 36] 14 a 18 [43 a 57]	100 200 300	40 90 150
Más de 0.65 hasta 0.75	Hasta 6 [19] inclusive 7 a 18 [22 a 57] inclusive	300 400	150 200
Más de 0.75	Hasta 6 [19] inclusive 7 a 18 [22 a 57] inclusive	300 500	150 260

¹ Cuando el acero reforzado será soldado con un acero al carbono, los requerimientos de precalentamiento del acero estructural deben ser considerados (ver AWS D1.1, tabla titulada Temperatura Mínima de Precalentamiento e Interpases Precalificada).

² Las soldaduras no deben ser hechas cuando la temperatura ambiente este por debajo de 0°F [-18°C].

³ Después de que la soldadura es completada, las barras deberán seguir un enfriamiento natural hasta la temperatura ambiente. Enfriamientos acelerados están prohibidos.

⁴ Cuando no se cuenta con el análisis químico, el carbono equivalente debe ser asumido por encima de 0.75%.

⁵ Cuando el metal base está por debajo de 32°F [0°C], el metal base debe ser precalentado hasta al menos 70°F [20°C], o más, y mantenido a esta temperatura mínima durante la soldadura.

2.5.7. Nomograma de Coe [26]

Este método de predicción utilizando el nomograma de Coe está basada en el ensayo de severidad térmica controlada (CTS) sobre aceros al Carbono-Manganeso con CE_{IIW} en el rango 0,40 - 0,54 y contenidos de C de 0,15 - 0,25 %.

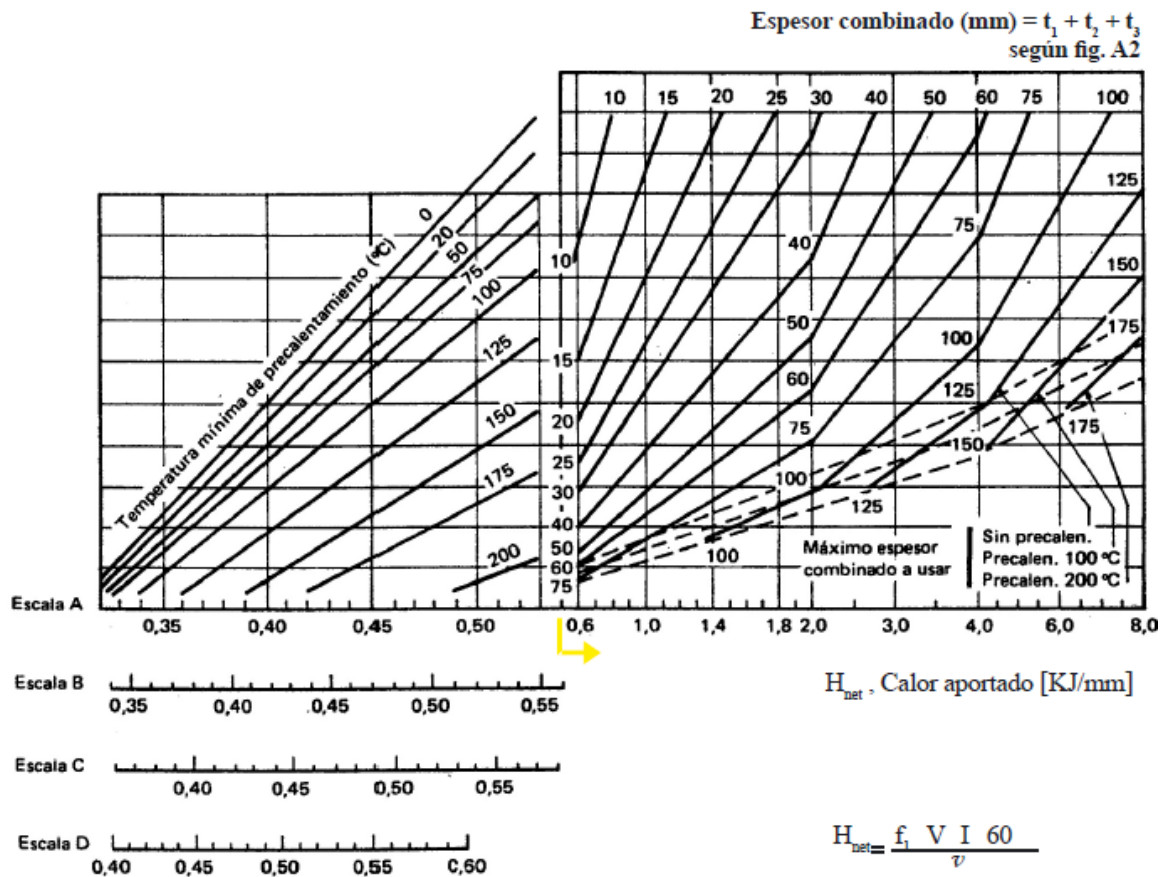
La escala de CE_{IIW} se selecciona en función del tipo de consumible, teniendo en cuenta el nivel de hidrogeno que deposita en la soldadura, preparación y grado de restricción de la junta. Se asignan cuatro letras cuyo criterio de selección puede asignarse de la siguiente forma:

Escala A: Consumibles que aporten un metal de soldadura con tenores de Hidrógeno difusible mayor de 15 ml/100 gr luego de un adecuado secado.

Escala B: Consumibles que aporten un metal de soldadura con tenores de Hidrógeno difusible entre 10 y 15 ml/100 gr luego de un adecuado secado.

Escala C: Consumibles que aporten un metal de soldadura con tenores de Hidrógeno difusible entre 5 y 10 ml/100 gr luego de secado.

Escala D: Consumibles que aporten un metal de soldadura con tenores de Hidrógeno difusible menor de 5 ml/100 gr luego de un adecuado secado



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

Ilustración 13. Monograma de Coe. Determinación de la temperatura de precalentamiento para aceros C-Mn (válido hasta C= 0,25%) [26].

Para el diagrama de Coe necesitamos el valor del calor aportado neto (H_{net}), considerando el factor $f_1=0.7$ para SMAW.

$$H_{net} = \frac{f_1 * V * I * 60}{v}$$

H_{net} = Calor aportado neto.

$f_1 = 0.7$ para SMAW.

V = Voltaje.

I = Corriente.

v = Velocidad de pasada en mm/seg.

El espesor combinado se determina utilizando el criterio de cálculo de la figura:

Cálculo del espesor combinado	
Espesor combinado = $t_1 + t_2 + t_3$	
Espesor variable = t_1 , es el espesor promedio correspondiente a una longitud de 75 mm	
Doble filete: el espesor combinado se calcula como	$\frac{1}{2} (t_1 + t_2 + t_3)$
Filete	

Ilustración 14. Cálculo del espesor combinado [26].

2.5.8. Biseles

La norma AWS D1.4 nos indica que las barras de refuerzo se pueden soldar con juntas a tope directo o indirecto, juntas traslapadas o juntas en T; sin embargo, las juntas a tope directo son preferibles para barras mayores que No. 6.

Las juntas a tope directo se deben soldar con soldaduras de ranura de penetración de juntas completas. La tabla 9 y la ilustración 15 describen el tipo de juntas soldadas requeridas.

Tabla 9. CJP Requisitos de soldadura de ranura para juntas de tope directo [27].

Bar Axis Orientation	Optional Types of CJP Groove Weld	Optional Figure 3.2 Detail
Horizontal	Single-V	A
	Double-V	B
	Single-V with Split Pipe Backing	C ⁽¹⁾
Vertical	Single-Bevel	D
	Double-Bevel	E
	Single-Bevel with Split Pipe Backing	C ⁽¹⁾

(1) Las barras deben ser de igual diámetro.

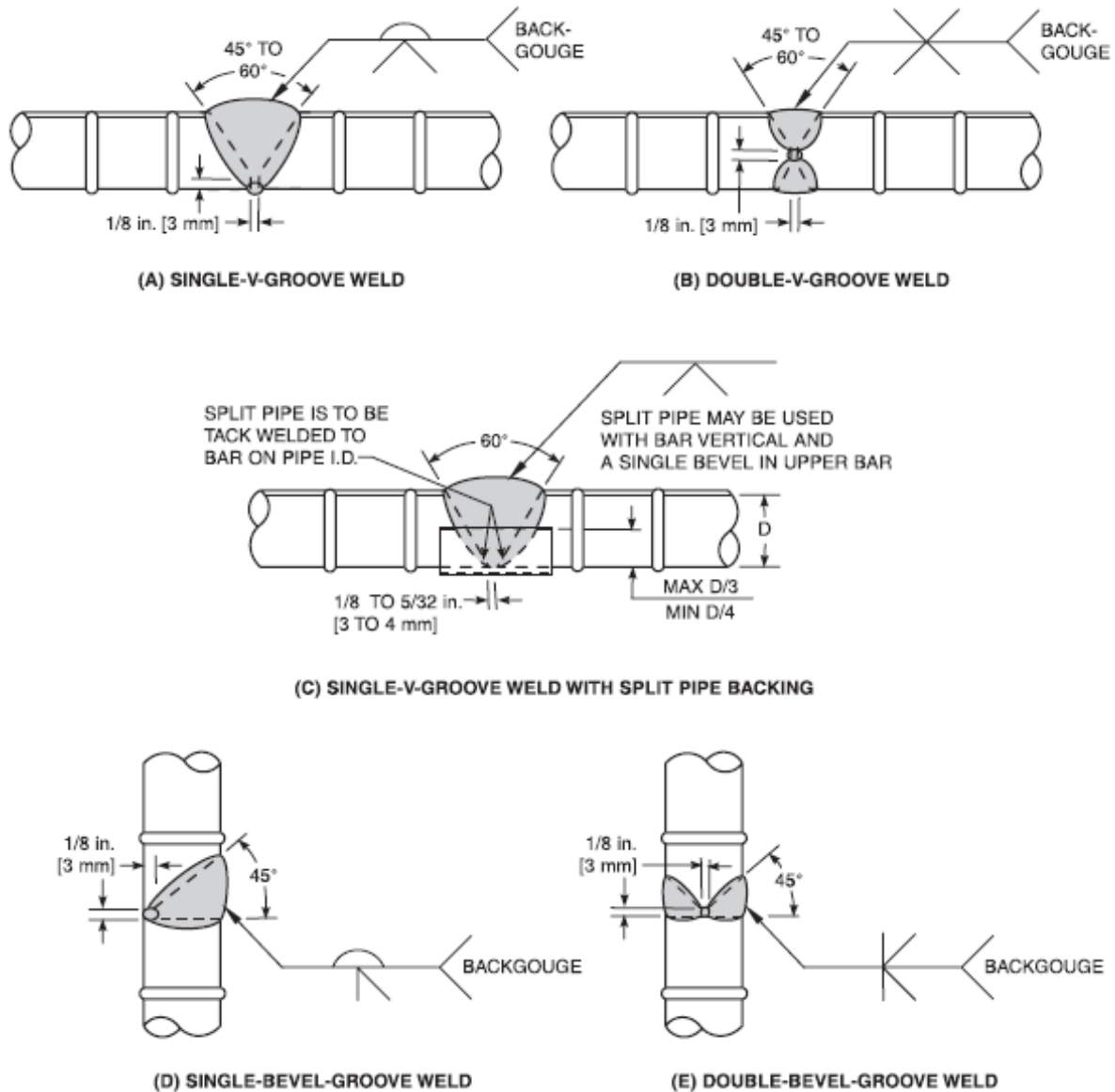


Ilustración 15. Juntas a tope directo [27].

El tipo de junta es el de canal en “V” con ángulos que oscilan entre 45° y 60° por ser el más empleado en nuestro mercado y la distancia entre el borde inferior del miembro de la probeta es de 3 milímetros como se muestra en la ilustración 16.

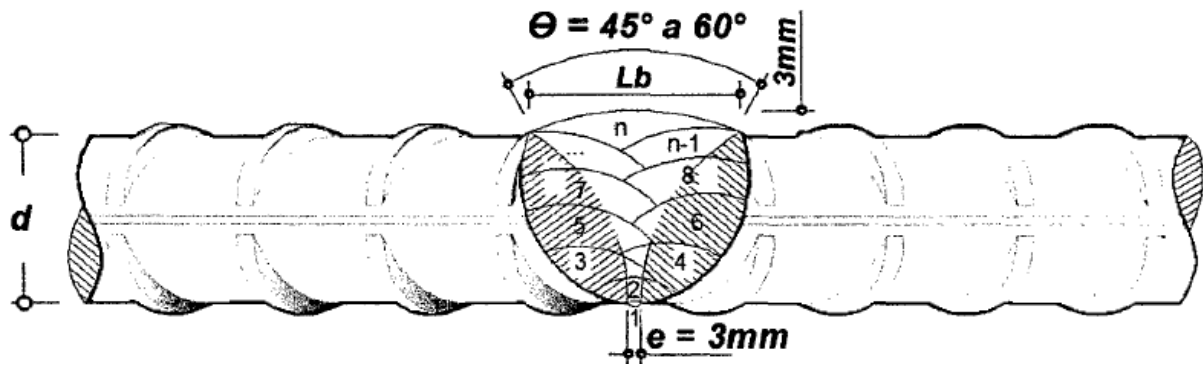


Ilustración 16. Soldadura de canal en "V" y el número de pasadas "n".

El ángulo que escogemos para nuestro estudio es de 60° y la longitud de bisel (L_b) está en función del ángulo escogido (Θ), el espacio entre bordes inferiores (e) y el diámetro de barra (d) mediante la siguiente formula:

$$L_b = 2d * tg\left(\frac{\theta}{2}\right) + e$$

2.5.9. Requerimientos ACI para uniones soldadas [28]

El ACI (American Concrete Institute) en la sección 12.14.3 – Empalmes soldados y mecánicos nos indica:

12.14.3.1 — Debe permitirse el uso de empalmes soldados o mecánicos.

12.14.3.2 — Un empalme mecánico completo debe desarrollar en tracción o compresión, según sea requerido, al menos $1.25f_y$ de la barra.

El esfuerzo máximo del refuerzo usado para el diseño dentro del reglamento es la resistencia especificada a la fluencia. Para asegurar la suficiente resistencia en los empalmes de manera que se pueda producir la fluencia en el elemento y evitarse así la falla frágil, se seleccionó el 25% de incremento sobre la resistencia a la fluencia tanto como un valor mínimo por seguridad y un valor máximo por economía.

12.14.3.3 — Excepto en lo dispuesto por este reglamento, toda soldadura debe estar de acuerdo con “Structural Welding Code—Reinforcing Steel” (AWS D1.4/D1.4M:2005).

2.6. Ensayos Mecánicos

Los ensayos utilizados para medir las propiedades mecánicas son los ensayos destructivos de propiedades mecánicas. Los ensayos destructivos son aquellos que deterioran la pieza que se inspecciona, pero esta depende del tipo de ensayo, puede ser una ligera marca, una deformación permanente o su rotura total.

2.6.1. Ensayo de tracción

El ensayo de tracción consiste en someter a una probeta a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la probeta, con el objetivo de determinar las siguientes propiedades mecánicas: la resistencia mecánica, el límite de elasticidad, el alargamiento y la rotura [29]. Se coloca la probeta en una máquina universal de ensayo que consiste de dos mordazas, una fija y otra móvil. Se procede a medir la carga mientras se aplica el desplazamiento de la mordaza móvil.



Ilustración 17. Máquina Universal de ensayos de tracción [30].

El diagrama esfuerzo deformación nos permite determinar el límite elástico, resistencia a rotura, capacidad de alargamiento y procesos de estricción.

En la siguiente figura se distinguen las diferentes zonas.

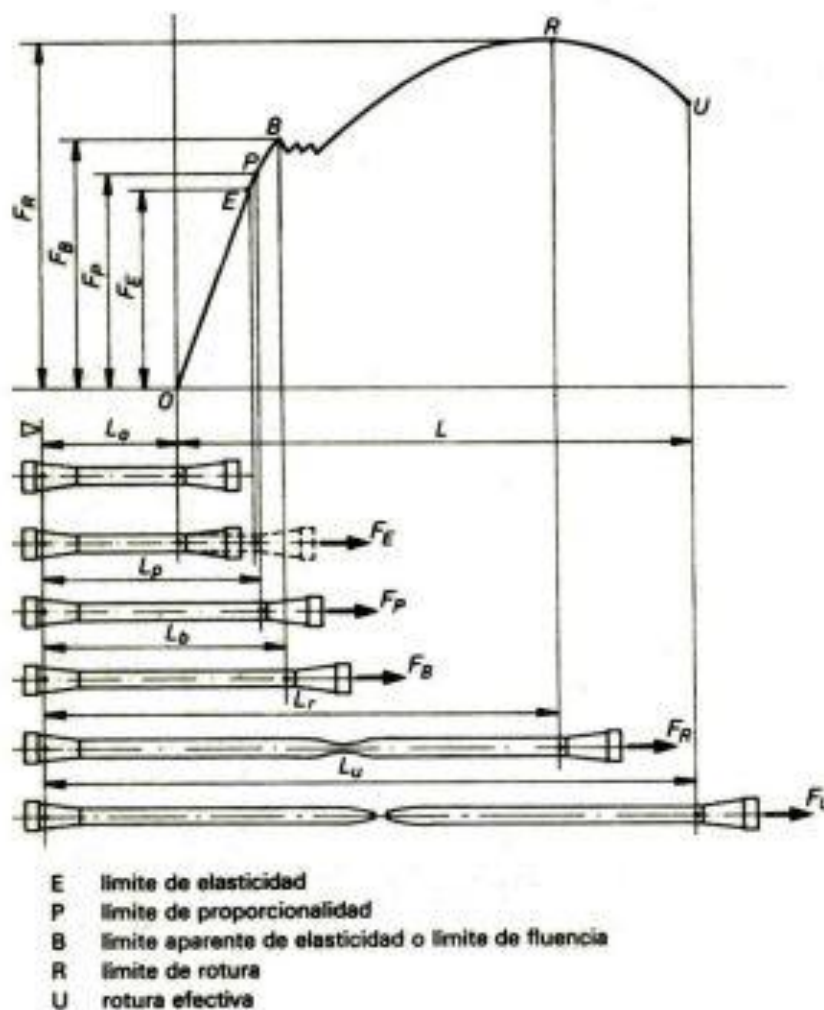


Ilustración 18. Diagrama esfuerzo-deformación del ensayo de tracción [31].

Mediante este ensayo se califica el proceso de soldadura, verificamos el comportamiento de la soldadura, que no tenga discontinuidad y que su resistencia sea mayor o igual a la del material base.

2.6.2. Ensayo de impacto

Cuando un material se somete a un golpe repentino y violento, donde la velocidad de deformación es extremadamente rápida, se puede comportar en una forma mucho más frágil que la que se observa en el ensayo de tensión [32].

Consta en dejar caer un péndulo con una masa conocida que se encuentra en reposo a una altura determinada para que impacte en una pieza normalizada.

La pieza en ruptura nos indicara el área de zona frágil y dúctil para obtener datos como resiliencia, expansión lateral y porcentaje de zona dúctil del material.

2.6.2.1. Ensayo Charpy

Emplea el péndulo de Charpy y es usado para determinar la tenacidad de un material, frecuentemente metales, aleaciones y cerámicos. Son ensayos de impacto de una probeta entallada y ensayada a flexión sobre tres puntos. La diferencia entre la h_0 y la h_f tras el impacto permite medir la energía absorbida [32].

2.6.2.2. Ensayo de Izod

Es un ensayo destructivo que utiliza el péndulo de Charpy. Es usado para ensayar la tenacidad de un material y su resistencia, frecuentemente en materiales plásticos [32].

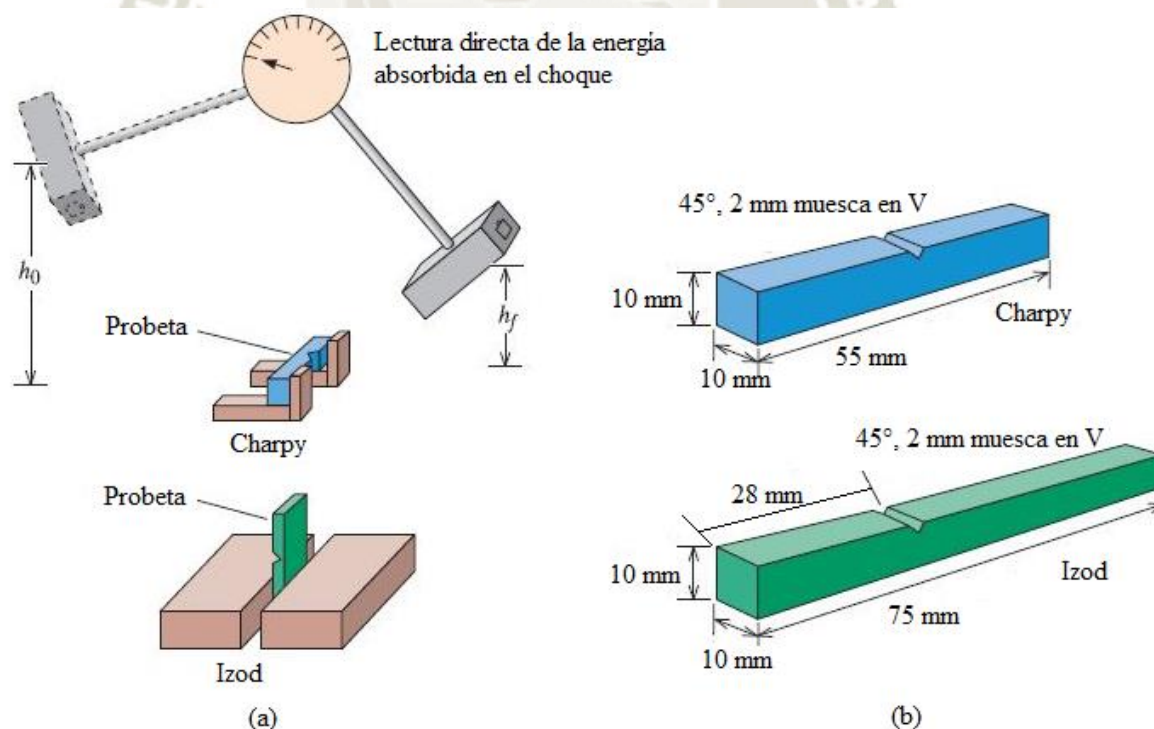


Ilustración 19. (a) Ensayo de Charpy y Ensayo de Izod, (b) Dimensiones de muestras normales [32].

Para determinar la energía que absorbe la probeta se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$T = P(h_o - h_f)g = Pl(\cos\beta - \cos\alpha)g$$

Donde:

T = Energía para romper la probeta

P = Masa del péndulo (kg)

h_o = Altura Inicial

h_f = Altura final

l = Longitud del péndulo (m)

α = Angulo inicial

β = Angulo final

2.6.3. Ensayo de dureza

La dureza es la resistencia que opone un material a ser penetrado superficialmente por otro cuerpo más duro. La resistencia se determina introduciendo un penetrador, de forma y dimensiones fijas, contra una superficie preparada a ensayar, con una carga suficientemente grande para asegurar la deformación permanente localizada. Se mide la dimensión de la huella causada por el penetrador o la recuperación de la superficie después de retirada la carga aplicada. La dureza se obtiene numéricamente como función de esa dimensión o recuperación experimentada por el material [33]. Podemos mencionar 3 ensayos de dureza más importantes.

2.6.3.1. Dureza Brinell

El ensayo de dureza Brinell utiliza un penetrador de bola de acero endurecido o carburo de tungsteno que es aplicado sobre una superficie del material cuya estructura de grano es grande o irregular [34]. Al retirar la fuerza aplicada a la pieza, se observa una huella producida por el penetrador, la cual se mide el diámetro de la impresión mediante un dispositivo óptico (proyector de imagen en la máquina de ensayo, o por medio de un microscopio) [35].

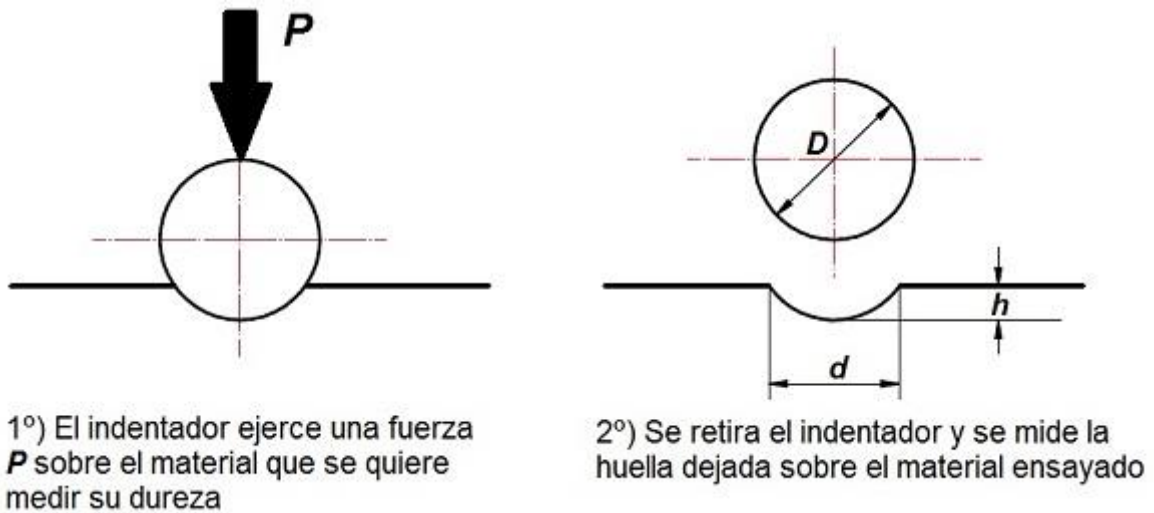


Ilustración 20. Esquema del ensayo de dureza Brinell [36].

La dureza Brinell se designa por HB (Hardness Brinell) y se aplica la siguiente formula:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

En donde:

P = Carga utilizada (N)

D = Diámetro del balón (mm)

d = Diámetro medio de la huella (mm)

2.6.3.2. Dureza Rockwell

El ensayo de dureza Rockwell suele usarse como "ensayo rápido" en los talleres de fabricación o en los laboratorios, principalmente con materiales metálicos [37].

Utiliza un penetrador cónico de diamante de vértice de 120° y punta redonda con radio de 0.2 – 0.01 mm para materiales duros el cual se denomina Rockwell-C (ilustración 21); o una bola de tungsteno de diámetro $1/16''$, $1/8''$, $1/4''$ o $1/2''$ para materiales blandos y se denomina Rockwell-B (ilustración 22).

En el ensayo actúan dos cargas diferentes, el primero se aplica una carga pequeña de 10 kg y luego actúa otra carga de 100 o 150 kg, dependiendo del penetrador si es bola de tungsteno o un cónico de diamante.

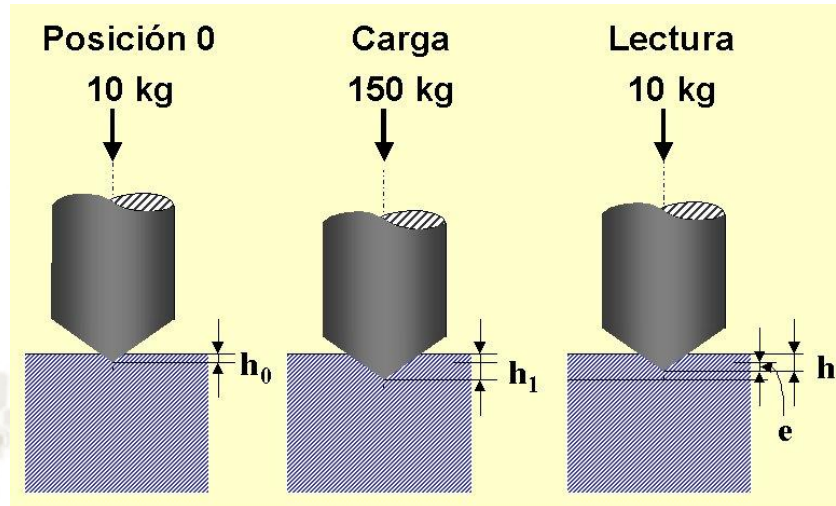


Ilustración 21. Principio de medición del número de dureza del ensayo de Rockwell-C [38].

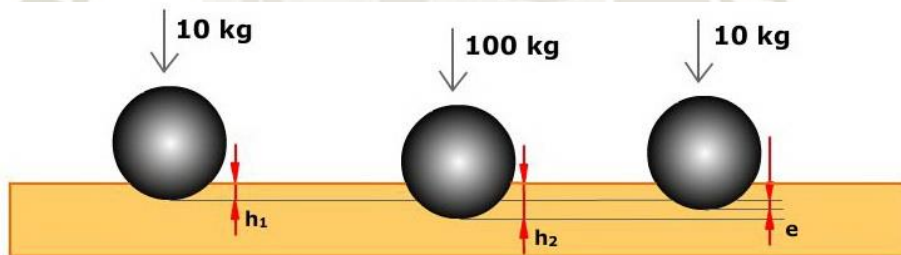


Ilustración 22. Principio de medición del número de dureza del ensayo de Rockwell-B [39].

La dureza Rockwell se aplica la siguiente fórmula:

$$HR = N - 500e$$

En donde:

N = 100 para penetrador cónico de diamante y 130 para penetradores esféricos de tungsteno.

e = Profundidad de la huella

2.6.3.3. Ensayo Vickers

El ensayo de dureza Vickers es un método versátil, utilizado para macro y micro ensayos de dureza. Abarca un amplio rango de carga, y es idóneo para múltiples aplicaciones y materiales [40].

Se emplea como elemento indentador una pirámide regular de diamante, de base cuadrada, cuyas caras laterales forman un ángulo de 136°. En la penetración del indentador contra la probeta, éste dejará una impresión cuadrada sobre el material de la probeta, que resulta más fácil de medir (más precisa) en este tipo de ensayo [41].

La carga que se utiliza son de 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 100 y 120 kgf y teniendo un tiempo de indentación de 10 a 15 segundos. Se calcula partiendo de la fuerza (P) en Newton y de la diagonal en mm² de la huella de la pirámide (ilustración 23).

Se aplica la siguiente fórmula:

$$HV = 1.8544 \frac{P}{d^2}$$

En donde:

P = Carga aplicada en N.

d = Diagonal media de la huella en mm.

La diagonal (d) es el valor medio de las diagonales de la huella (d1) y (d2).

$$d = \frac{d1 + d2}{2}$$

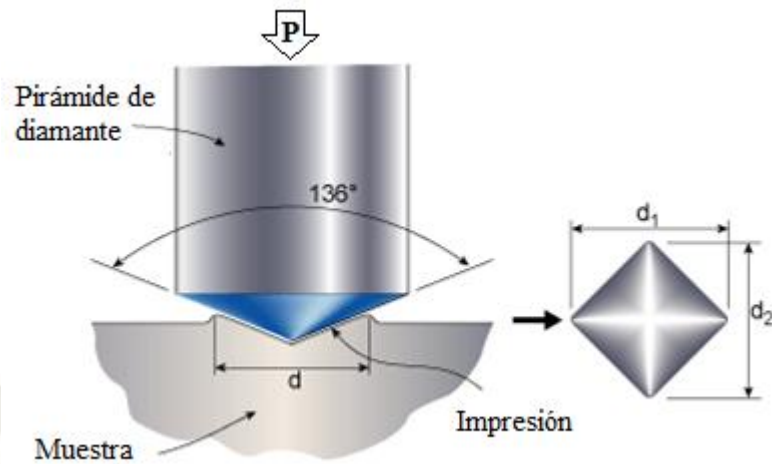


Ilustración 23. Esquema del ensayo de dureza Vickers.

2.6.4. Ensayo de doblado

El ensayo de doblado también conocido como plegado nos permite conocer la capacidad de deformación de un material al ser doblado con el fin de prevenir roturas al ser sometido a una carga sin agrietarse.

El ensayo se realiza colocando la probeta sobre dos apoyos (rodillos), cuya separación está normalizada. Se aplica luego una fuerza con otro rodillo que va aumentando progresivamente hasta que el material se dobla completamente o comienzan a aparecer las primeras grietas (ilustración 24) [42].

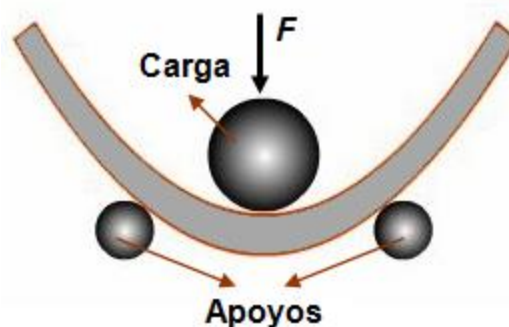


Ilustración 24. Ensayo de doblado [43].

Existen diferentes tipos de ensayo de doblado que se emplean para evaluar la ductilidad y detectar la posible presencia de defectos en las uniones soldadas que son: el de cara, el de raíz y el lateral.

La cara de la soldadura ya terminada se ubica en el exterior y se dobla lo más posible para deformarla al máximo. El doblado de raíz imprime el mayor esfuerzo en la pasada de raíz y es, probablemente la más importante de todas las pruebas. El doblado lateral imprime el mayor esfuerzo a uno u otro lado de la soldadura; se efectúa principalmente para poner a prueba placas de placas gran espesor (1 pulgada o más); sin embargo la prueba de doblado lateral también se puede aplicar a planchas delgadas [44].

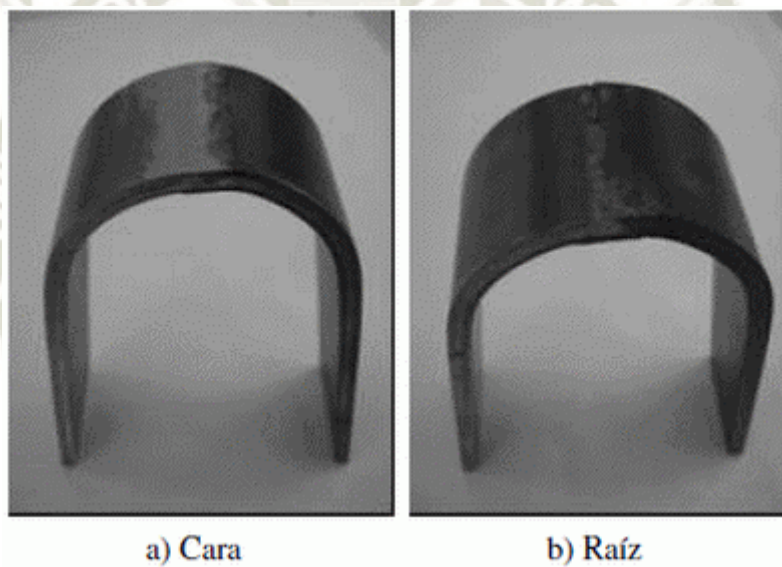


Ilustración 25. a) Doble de cara, b) doble de raíz [45].

2.7. Ensayos metalográficos

La metalografía es la disciplina que estudia microscópicamente las características estructurales de un metal o de una aleación, buscando microestructura, inclusiones, tratamientos térmicos a los que haya sido sometido, microrechupes, con el fin de determinar si dicho material cumple con los requisitos para los cuales ha sido diseñado; además podemos hallar la presencia de material fundido, forjado y laminado. Podremos conocer la distribución

de fases que componen la aleación y las inclusiones no metálicas, así como la presencia de segregaciones y otras irregularidades [46].

El principal instrumento para realizar un ensayo metalográfico es el microscopio metalográfico como se muestra en la ilustración 26; con él es posible determinar el tamaño de grano, forma y distribución de varias fases e inclusiones que tienen gran efecto sobre las propiedades mecánicas del metal. La microestructura revelará el tratamiento mecánico y térmico del metal y, bajo un conjunto de condiciones dadas, se podrá predecirse su comportamiento esperado [46].



Ilustración 26. Microscopio metalográfico [47].

2.7.1. Etapas de preparación de muestras

2.7.1.1. Muestreo

La muestra se puede realizar con sierra manual o disco de corte abrasivo dependiendo el material, se debe lubricar continuamente para evitar el calentamiento del material y facilitar el corte. Es recomendable hacer un corte transversal y longitudinal especialmente en acero, aleaciones de cobre y aluminio.

2.7.1.2.Desbaste grosero

Se aplica una vez extraída la probeta con la finalidad de reducir las irregularidades producto del muestreo con el fin de obtener una cara lo más plana posible y libre de imperfecciones. Se puede realizar con cinta de desbaste lubricando frecuentemente con agua o aceite (materiales propensos a oxidarse) durante el proceso.

2.7.1.3.Desbaste final:

Después del desbaste grosero, la muestra se pule sobre una serie de hojas con abrasivos de 150, seguido del 250, 400 y para terminar de 600 o 1000. La dirección del desbaste se gira 90° al pasar de una hoja abrasiva a otra y se lubricación debe ser con agua.

2.7.1.4.Pulido

El pulido tiene por objeto eliminar las rayas finas producidas en el desbaste final y producir una superficie con características especulares. Esta operación por lo general se realiza en forma mecánica y se utiliza un paño impregnado con partículas de algún abrasivo en solución acuosa. Se pueden utilizar dos tipos de paños: con pelo (pana, terciopelo, lanas) y sin pelo (seda natural), en cuanto a los abrasivos pueden ser: pasta de diamante, alúmina, alundum, etc.

2.7.1.5.Ataque químico

El ataque químico pondrá de manifiesto la característica estructura del metal o aleación ya que atacará los bordes de los granos y afectará de manera diferente a las distintas fases presentes en el metal. Hay gran variedad de ataques químicos para diferentes tipos de metales y situaciones. En general, el ataque es hecho por inmersión o fregado con algodón embebido en el líquido escogido por la región a ser observada, durante algunos segundos hasta que la estructura o defectos sea revelada. Uno de los más usados es el NITAL (ácido nítrico y alcohol) para la gran mayoría de los metales ferrosos.

2.7.1.6.Microscopia

Se observa el material preparado a través del microscopio metalográfico.

2.8. Ensayos no destructivos

Los ensayos no destructivos (END) o en inglés nondestructive testing (NDT) son aquellos ensayos que no alteran la forma ni las propiedades de un objeto. No producen ningún tipo de daño en él o el daño es prácticamente imperceptible. Este tipo de ensayos sirven para estudiar propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensiones de algunos materiales [48].

La aplicación de END en materiales es resumida en 3 grupos:

- **Defectología:** Permite la detección de discontinuidades e impurezas, evaluación de la corrosión y deterioro por agentes ambientales, determinación de tensiones, detección de fugas.
- **Caracterización:** Evaluación de las propiedades mecánicas, físicas, químicas y estructurales.
- **Metrología:** Control de espesores [49].

A continuación, veremos de 3 pruebas no destructivas que aplicaremos:

2.8.1. Líquidos penetrantes

El ensayo de líquidos penetrantes identifica y detecta discontinuidades presentes en la superficie de materiales examinados.

El procedimiento consiste en aplicar un líquido coloreado o fluorescente a la superficie en estudio, el cual penetra en cualquier discontinuidad que pudiera existir debido al fenómeno de capilaridad. Después de un determinado tiempo se elimina el exceso de líquido y se aplica un revelador, el cual absorbe el líquido que ha penetrado en las discontinuidades y sobre la capa del revelador se delinea el contorno de estas [50].

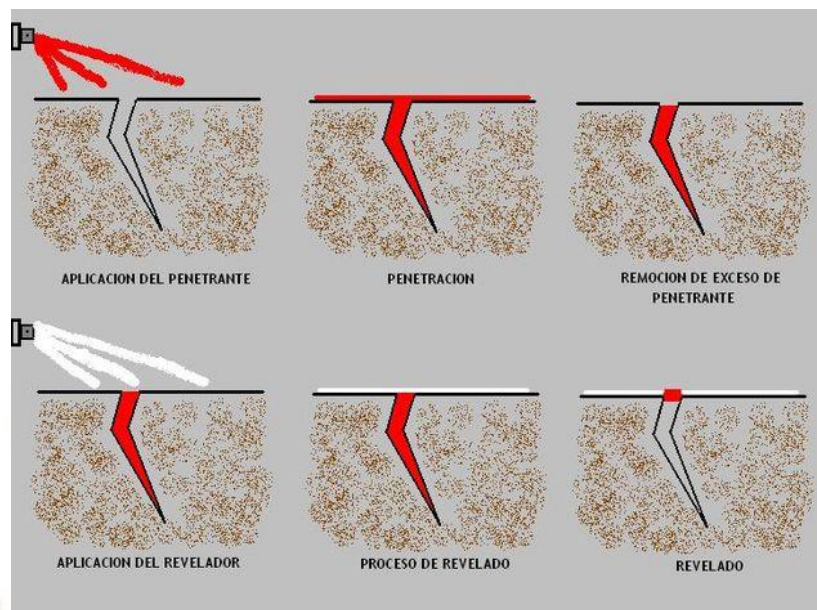


Ilustración 27. Proceso de los líquidos penetrantes [51].

Entre sus limitaciones de este método es que solo se aplica en superficies abiertas y en materiales no porosos. La ventaja de este método son los resultados inmediatos y fáciles de interpretar.

2.8.2. Partículas magnéticas

El ensayo de partículas magnéticas detecta grietas o discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos, es decir, aquellos que no afloran a la superficie, pero están cercanos a ella. La peculiaridad de este ensayo puede realizarse en piezas pintadas o con imprimación.

El método se basa en la atracción de un polvo metálico aplicado sobre la superficie hacia las discontinuidades presentes en el material bajo la acción de un campo magnético. La acumulación de este polvo metálico en torno a las discontinuidades revelará la localización de las mismas.

El ensayo tiene aplicación en procesos de fabricación e inspección en servicios como la inspección de soldadura, inspección de componentes metálicos (forjas, fundiciones, etc.) [52].

Los equipos de magnetización a utilizar son:

- Yugo magnético
- Bobina o solenoide
- Puntas y cabezales

Y las partículas magnéticas a utilizar son:

- Partículas coloreadas
- Partículas fluorescentes
- Partículas secas
- Partículas húmedas

El procedimiento consiste en limpiar integra de la pieza, para no tener indicaciones falsas en la inspección, inducir magnetismo a la pieza y a su vez aplicar las partículas magnéticas. Después eliminamos el exceso de partículas magnéticas de la superficie y por último tenemos la interpretación y evaluación de los resultados.



Ilustración 28. Ensayo de partículas magnéticas [53].

Entre sus limitaciones es que solo se aplica en materiales ferromagnéticos, no detecta discontinuidades internas profundas. Se utiliza cuando se requiere una inspección más rápida que la de líquidos penetrantes.

2.8.3. Ultrasonido

El ensayo por ultrasonido utiliza la transmisión de ondas de sonido de alta frecuencia dentro de una materia para detectar discontinuidades o cambios dentro del material. Las ondas ultrasónicas se propagan dentro de un medio elástico como es el sólido, un líquido o un gas, pero no en el vacío.



Ilustración 29. Diagrama del ensayo por ultrasonido [54].

Estos ensayos tienen un alto poder de penetración, el cual detecta discontinuidades profundas, tiene alta sensibilidad para detectar discontinuidades extremadamente pequeñas, es aplicable en cualquier material y tiene mayor precisión que otros ensayos no destructivos. Entre sus limitaciones está que requiere personal técnico con experiencia en evaluación e interpretación de resultados y en piezas rugosas, pequeñas o delgadas son difíciles de examinar.

CAPITULO III

3. PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

3.1. Equipo a utilizar

Los equipos que utilizaremos en este estudio son:

- Máquina de soldar



Ilustración 30. Máquina de soldar MILLER XMT 350 CC/CV [55].

Tabla 10. Especificaciones de Maquina de soldar MILLER XMT 370 CC/CV [56].

Entrada de poder	Salida nominal	Gama de voltaje en Modo VC	Gama de amperaje en modo CD	Máx Voltaje de circuito abierto	Entrada de amperios RMS a la salida de carga nominal, 50/60 Hz, trifásicos a los voltajes de carga NEMA y tazación de Clase 1				KVA	KW
					230 V	380 V	400 V	460 V		
Trifásico	350 A a 34 VCD, 60% ciclo de trabajo	10-38 V	5-425 A	75 VCD	36,1	22,3	20,6	17,8	14,2	13,6

- Amoladora y disco de corte



Ilustración 31. Amoladora Bosch GWS 26-230 Professional [55].

Tabla 11. Especificaciones de Amoladora Bosch GWS 26-230 Professional [57].

Velocidad de giro en vacío	Potencia absorbida	Diámetro de disco	Peso	Rosca del husillo portamuela	Empuñadura perfilada
0 – 6.500 rpm	2,600 W	230 mm	5.9 kg	M 14	M 14

- Pirómetro



Ilustración 32. Pirómetro Digital de -30~530 °C TENMARS TM-300

- Cepillo de alambre



Ilustración 33. Cepillo de cerdas metálicas WIRE BRUSH

- Horno para electrodos Revestidos



Ilustración 34. Horno para electrodo ARC FORCE 100kg [55].

- Protractor



Ilustración 35. Regla con Transportador UYUSTOOLS 90X150B [55].

3.2. Composición química de las barras corrugadas

La barra corrugada que utilizaremos en el presente estudio son de 1/2" y 5/8" de acero A615 Grado 60 y A706 Grado 60. La tabla nos muestra los resultados del ataque químicos de las probetas que se va utilizar.

Tabla 12. Composición química de las barras corrugadas ASTM A615 de ϕ 1/2" [55].

GRADO	ϕ	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%Cu	%Sn
A615 G60	1/2	0.42	0.7	0.15	0.05	0.04	0.07	0.04	0.04	0.12	0.025

Tabla 13. Composición química de las barras corrugadas ASTM A615 de $\phi 5/8''$ [55].

GRADO	ϕ	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%Cu	%Sn
A615 G60	5/8	0.45	0.7	0.15	0.05	0.04	0.08	0.08	0.04	0.08	0.025

Tabla 14. Composición química de las barras corrugadas ASTM A706 de $1/2''$ [55].

GRADO	ϕ	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Cu
A706 G60	1/2	0.25	1.3	0.2	0.025	0.035	-	0.22

Tabla 15. Composición química de las barras corrugadas ASTM A706 de $5/8''$ [55].

GRADO	ϕ	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Cu
A706 G60	5/8	0.28	1.35	0.35	0.03	0.038	-	0.25

3.3. Composición química de los electrodos a utilizar de acuerdo a la norma AWS

A5.5/A5.5M: 2006

Las composiciones químicas de los electrodos se realizaron siguiendo la norma ANSI/AWS D1.4/D1.4M:2005 (ver Anexo) y las recomendaciones que nos da el fabricante de material de aporte, SOLDEXA S.A. (ver Anexo).

El electrodo que utilizaremos para el ASTM A706 Grado60 es el E8018-C3.



Ilustración 36. Electrodo E8018-C3 [55].

Su composición química del electrodo E8018-C3 según la norma AWS A5.5 es la siguiente:

Tabla 16. Análisis Químico del Metal Depositado (valores típicos) [%] del E8018-C3.

ELECTRODO	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Mo	%Ni	%Cr
E8018-C3	0.06	1.2	0.3	máx 0.020	máx 0.020	0.1	1.1	0.05

Y para el ASTM A615 Grado60 el E9018-G.

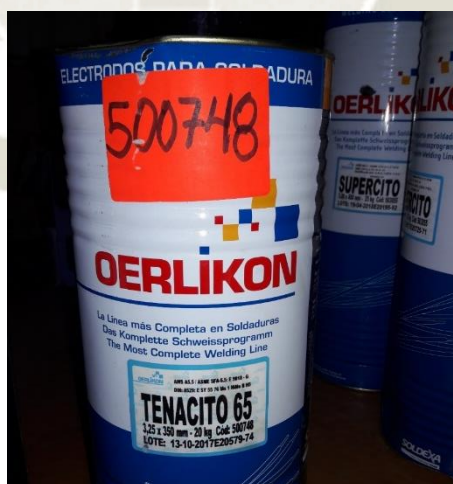


Ilustración 37. Electrodo E9018-G [55].

Su composición química del electrodo E8018-C3 según la norma AWS A5.5 es la siguiente:

Tabla 17. Análisis Químico del Metal Depositado (valores típicos) [%] del E9018-G

ELECTRODO	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Mo	%Ni	%Cr	%Cu
E9018-G	0.05	1.5	0.3	máx 0.030	máx 0.030	0.4	1.1	-	máx 0.010

3.4. Determinación del carbono equivalente y soldabilidad

La Norma ANSI/AWS D1.4/D1.4M:2005 nos indica que para las barras de ASTM A615 Grado 60 se calculará el carbono equivalente mediante la fórmula:

$$C.E = \%C + \frac{\%Mn}{6}$$

- Para el ASTM A615 $\phi 1/2''$

$$C.E = 0.42 + \frac{0.7}{6} = 0.54$$

- Para el ASTM A615 $\phi 5/8''$

$$C.E = 0.45 + \frac{0.7}{6} = 0.57$$

Y para la barra ANSI/ASTM A706 Grado se calculará mediante la fórmula:

$$C.E = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cu}{40} + \frac{\%Ni}{20} + \frac{\%Cr}{10} - \frac{\%Mo}{50} - \frac{\%V}{10}$$

- Para el ASTM A706 $\phi 1/2''$

$$C.E = 0.25 + \frac{1.3}{6} + \frac{0.22}{40} = 0.47$$

- Para el ASTM A706 $\phi 5/8''$

$$C.E = 0.28 + \frac{1.35}{6} + \frac{0.25}{40} = 0.51$$

Utilizaremos el diagrama de Gravill, que relaciona el carbono equivalente y el porcentaje de carbono para definir la soldabilidad e las barrillas.

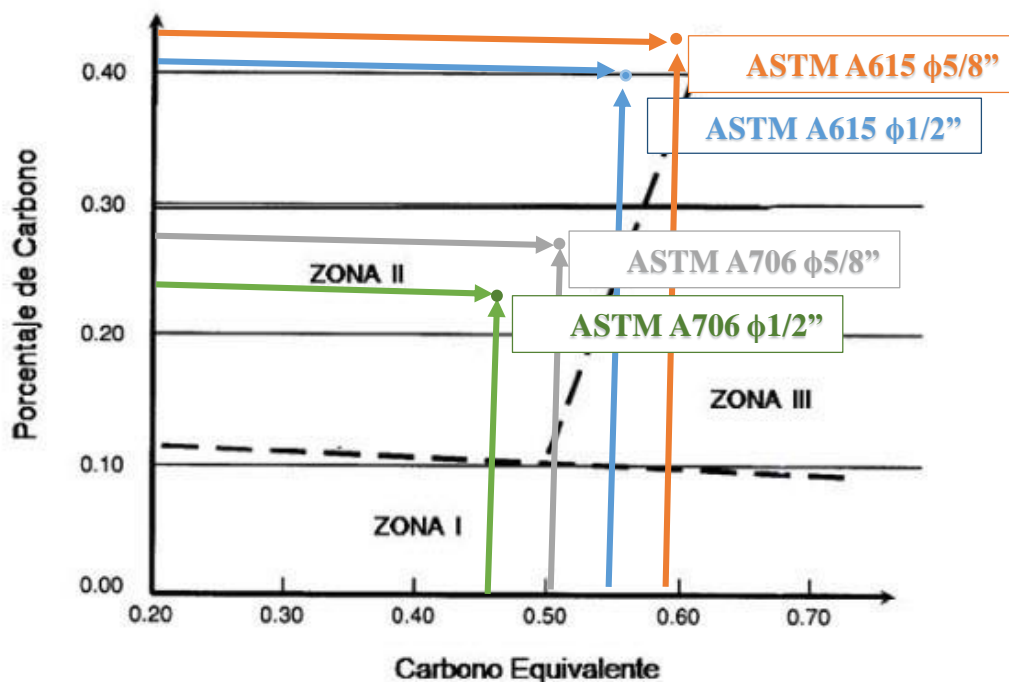


Ilustración 38. Determinando soldabilidad del ASTM A706 y A615 Grado 60 en el diagrama de Gravill [55].

Los aceros ASTM A615 de $\phi 1/2$ y $\phi 5/8$ se encuentran en la zona II cerca de la zona III por lo que se debe aplicar procesos de bajo hidrógeno, precalentamiento y tratamientos térmicos post-soldadura; en el caso de la ASTM A706 de $\phi 1/2$ y $\phi 5/8$ se encuentran bien definidos en la Zona II donde no hay que tomar medidas de precalentamiento adecuadas.

3.5. Determinación de la temperatura de precalentamiento

La temperatura mínima de precalentamiento se tomará la tabla 16, utilizando el cálculo del carbono equivalente más alto del metal base.

Tabla 18. Mínima Temperatura de Pre calentamiento e Interpases de los Aceros ASTM A706 y ASTM A615 [55].

Carbón Equivalente (C.E) Rango, % ^{(3), (4)}	Tamaño de la Barra Reforzada	SMAW con Electrodo de Bajo Hidrógeno, GMAW o FCAW	
		Temperatura Mínima	
		°F	°C
Hasta 0.40	Hasta 11 [36] inclusive 14 y 18 [43 y 57]	ninguna ⁽⁵⁾	ninguna ⁽⁵⁾
		50	10
Más de 0.40 hasta 0.45 inclusive	Hasta 11 [36] inclusive 14 y 18 [43 y 57]	ninguna ⁽⁵⁾	ninguna ⁽⁵⁾
		50	10
Más de 0.45 hasta 0.55 inclusive	Hasta 6 [19] inclusive 7 a 11 [22 a 36] 14 a 18 [43 a 57]	ninguna ⁽⁵⁾	ninguna ⁽⁵⁾
		50	10
		200	90
Más de 0.55 hasta 0.65 inclusive	Hasta 6 [19] inclusive 7 a 11 [22 a 36] 14 a 18 [43 a 57]	100	40
		200	90
		300	150
Más de 0.65 hasta 0.75	Hasta 6 [19] inclusive 7 a 18 [22 a 57] inclusive	300	150
		400	200
Más de 0.75	Hasta 6 [19] inclusive 7 a 18 [22 a 57] inclusive	300	150
		500	260

Para los aceros ASTM A615 utilizaremos un calentamiento de 40 °C para su correcta soldadura; para el ASTM A706 no requiere pre calentamiento.

3.6. Elaboración del bisel

El tipo de junta para este estudio es tomado por la norma ANSI/AWS D1.4/D1.4M:2005, será con una unión de tope directo, soldadura de canal en V simple y la posición 1G como se muestra en la ilustración 39 y 41 para aceros los ASTM A7615 y A706.

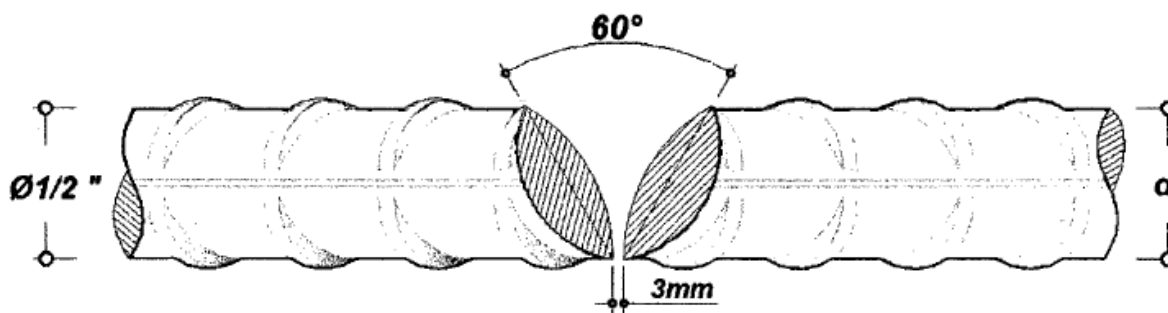


Ilustración 39. Probeta para soldar a tope directo con canal en "V" de barra $\phi 1/2$ " [55].



Ilustración 40. Bisel en V realizado a la barra ASTM A615 y A706 con $\phi 1/2''$ [55].

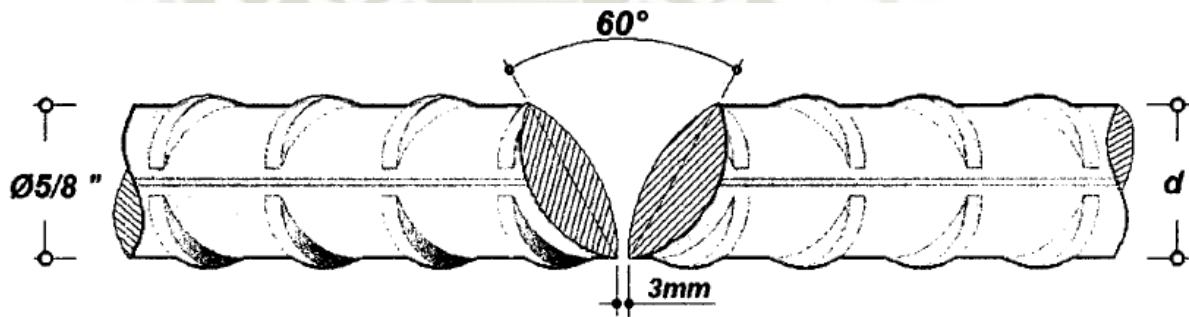


Ilustración 41. Probeta para soldar a tope directo con canal en "V" de barra $\phi 5/8''$ [55].



Ilustración 42. Bisel en V realizado a las barras ASTM A615 y A706 con $\phi 5/8''$ [55].

3.7. Especificación del procedimiento de Soldadura (WPS)

El procedimiento de soldadura según las especificaciones AWS D1.4/D1.4M:2005 es Shielded Metal Arc Welding (SMAW) y considerando el material de porte el Tenacito 80 y Tenacito 65 según AWS A5.5/A5.5M:2006 para las probetas de ASTM A615 y ASTM A706 de diámetros $\phi 1/2''$ y $\phi 5/8''$. A continuación, los procedimientos para cada barra y diámetro.



3.7.1. Procedimiento de soldadura para barra de 1/2" ASTM A615

SOLDEXA		ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)				Página 1 de 1																
		Según Código AWS D1.1/D1.1M Edición 2015																				
Proceso (s) de Soldadura <u>SMAW (Shielded Metal Arc Welding)</u>		Tipo	Manual <input checked="" type="checkbox"/>	Semi-Automático <input type="checkbox"/>																		
			Máquina <input type="checkbox"/>	Automático <input type="checkbox"/>																		
DISEÑO (S) DE JUNTA				POSICIÓN																		
Tipo: <u>Junta a Tope - Soldadura de Ranura en V</u>				Posición de Ranura <u>1G (Horizontal)</u> Filete <u>---</u>																		
Simple <input checked="" type="checkbox"/> Soldadura Doble <input type="checkbox"/>				Progresión Vertical Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>																		
Respaldo: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>				CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS																		
Material de respaldo: _____				Modo de Transferencia (GMAW)																		
Abertura de Raíz <u>3 mm +2, -0</u> Dimensión de Cara de Raíz <u>0 mm</u>				Corto Circuito <input type="checkbox"/> Globular <input type="checkbox"/> Rocío "Spray" <input type="checkbox"/>																		
Angulo de Ranura <u>60° +10°, -0°</u> Radio (J - U) <u>---</u>				Corriente																		
Remoción de Raíz: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>				AC <input type="checkbox"/> DC EP <input checked="" type="checkbox"/> DC EN <input type="checkbox"/> Pulsada <input type="checkbox"/>																		
Método <u>---</u>				Fuente de Alimentación CC <input checked="" type="checkbox"/> CV <input type="checkbox"/>																		
METALES BASE				Otro <u>---</u>																		
Espec. de Material <u>ASTMA615</u>				Electrodo de Tungsteno (GTAW)																		
Tipo o Grado <u>60°</u>				Tamaño <u>---</u>																		
Espesor (es) Ranura <u>Mínimo 3 hasta Ilimitado</u> Filete <u>---</u>				Tipo <u>---</u>																		
Diámetro (Tubería) <u>N°04 (ø 1/2")</u>				TÉCNICA																		
METALES DE APORTE				Cordón Estrecho u Oscilado <u>Estrecho u Oscilado, según sea requerido</u>																		
Especificación AWS <u>ANSI/AWS A5.5-96</u>				Pase Simple o Multipase (Por Lado) <u>Ambos, según se requiera</u>																		
Clasificación AWS <u>E9018-G</u>				Número de Electrodo <u>---</u>																		
Nombre comercial <u>TENACITO 65</u>				Separación de Electrodo																		
PROTECCIÓN				Longitudinal <u>---</u>																		
Fundente <u>---</u>				Lateral <u>---</u>																		
Electrodo-Fundente (Clase) <u>---</u>				Angulo <u>---</u>																		
Gas <u>---</u>				Distancia del Tubo de Contacto a la Pieza de Trabajo <u>---</u>																		
Composición <u>---</u>				Martilleo <u>---</u>																		
Tasa de Flujo <u>---</u>				Limpieza entre pases <u>Raíz: Limpieza mecánica con disco abrasivo y escobilla.</u>																		
Tamaño de Copa de Gas <u>---</u>				<u>Resto de pases: Limpieza mecánica con escobilla circular.</u>																		
PRECALENTAMIENTO				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA																		
Mínima temperatura de _____				Temperatura <u>---</u>																		
Precalentamiento e Interpase (Según tabla 3.3 Categoría B)				Tiempo <u>---</u>																		
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;"></th> <th style="width: 35%;">Espesor</th> <th style="width: 50%;">Temperatura (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>Desde 3 mm a 20 mm incluido</td> <td>0 °C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Mayor a 20 hasta 38 mm incluido</td> <td>10 °C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Mayor a 38 mm hasta 65 mm incluido</td> <td>65 °C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Mayor a 65 mm</td> <td>110 °C</td> </tr> </tbody> </table>					Espesor	Temperatura (°C)		Desde 3 mm a 20 mm incluido	0 °C		Mayor a 20 hasta 38 mm incluido	10 °C		Mayor a 38 mm hasta 65 mm incluido	65 °C		Mayor a 65 mm	110 °C				
	Espesor	Temperatura (°C)																				
	Desde 3 mm a 20 mm incluido	0 °C																				
	Mayor a 20 hasta 38 mm incluido	10 °C																				
	Mayor a 38 mm hasta 65 mm incluido	65 °C																				
	Mayor a 65 mm	110 °C																				
Cuando el metal base esta a una temperatura inferior a los 0°C, el metal base debe ser precalentado a 20°C. Esta temperatura mínima de precalentamiento, debe mantenida durante toda la operación de soldadura.																						
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA																						
Pase o Capa (s) de Soldadura	Proceso	Metal (es) de aporte		Corriente		Voltios	Velocidad de Avance	Detalle de Junta														
		Clase	Diámetro	Tipo y Polaridad	Amperios o Velocidad de alimentación de alambre																	
1	SMAW	E9018-G	3.25 mm	DC EP	90 - 140	50 - 70	68 - 90 mm/min															
2 - n	SMAW	E9018-G	3.25 mm	DC EP	90 - 140	50 - 70	80-120 mm/min															

3.7.2. Procedimiento de soldadura para barra de 5/8" ASTM A615

SOLDEXA		ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)				Página 1 de 1		
		Según Código AWS D1.1/D1.1M Edición 2015						
Proceso (s) de Soldadura	SMAW (Shielded Metal Arc Welding)			Tipo	Manual <input checked="" type="checkbox"/>	Semi-Automático <input type="checkbox"/>		
				Máquina	<input type="checkbox"/>	Automático <input type="checkbox"/>		
DISEÑO (S) DE JUNTA				POSICIÓN				
Tipo:	Junta a Tope - Soldadura de Ranura en V			Posición de Ranura	1G (Horizontal)		Filete ---	
Simple <input checked="" type="checkbox"/>	Soldadura Doble <input type="checkbox"/>			Progresión Vertical	Ascendente <input type="checkbox"/>	Descendente <input type="checkbox"/>		
Respaldo:	Si <input type="checkbox"/>	No <input checked="" type="checkbox"/>		CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS				
Material de respaldo:	---			Modo de Transferencia (GMAW)	Corto Circuito <input type="checkbox"/>	Globular <input type="checkbox"/>	Rocío "Spray" <input type="checkbox"/>	
Abertura de Raíz	3 mm +2, -0		Dimensión de Cara de Raíz	0 mm				
Angulo de Ranura	60° +10°, -0°		Radio (J - U)	---				
Remoción de Raíz:	Si <input type="checkbox"/>	No <input checked="" type="checkbox"/>		Corriente	AC <input type="checkbox"/>	DC EP <input checked="" type="checkbox"/>	DC EN <input type="checkbox"/>	
Método	---			Fuente de Alimentación	CC <input checked="" type="checkbox"/>	CV <input type="checkbox"/>		
METALES BASE				TÉCNICA				
Espec. de Material	ASTMA615			Otro	---			
Tipo o Grado	60°			Electrodo de Tungsteno (GTAW)	---			
Espesor (es) Ranura	Mínimo 3 hasta Ilimitado		Filete	---				
Diámetro (Tubería)	N°05 (ø 5/8")			Tamaño	---			
METALES DE APORTE				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA				
Especificación AWS	ANSI/AWS A5.5-96			Cordón Estrecho u Oscilado	Estrecho u Oscilado, según sea requerido			
Clasificación AWS	E9018-G			Pase Simple o Multipase (Por Lado)	Ambos, según se requiera			
Nombre comercial	TENACITO 65			Número de Electrodo	---			
PROTECCIÓN				Separación de Electrodo	Longitudinal	---		
Fundente	---				Lateral	---		
Electrodo-Fundente (Clase)	---				Angulo	---		
Gas	---			Distancia del Tubo de Contacto a la Pieza de Trabajo	---			
Composición	---			Martilleo	---			
Tasa de Flujo	---			Limpeza entre pases	Raíz: Limpieza mecánica con disco abrasivo y escobilla. Resto de pases: Limpieza mecánica con escobilla circular.			
Tamaño de Copa de Gas	---			PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA				
PRECALENTAMIENTO				Temperatura	---			
Minima temperatura de	Espesor		Temperatura (°C)		Tiempo	---		
Precalentamiento e Interpase (Según tabla 3.3 Categoría B)	Desde 3 mm a 20 mm incluido		0 °C					
	Mayor a 20 hasta 38 mm incluido		10 °C					
	Mayor a 38 mm hasta 65 mm incluido		65 °C					
	Mayor a 65 mm		110 °C					
<p>Cuando el metal base esta a una temperatura inferior a los 0°C, el metal base debe ser precalentado a 20°C. Esta temperatura mínima de precalentamiento, debe mantenida durante toda la operación de soldadura.</p>								
Pase o Capa (s) de Soldadura	Proceso	Metal (es) de aporte		Corriente		Voltios	Velocidad de Avance	Detalle de Junta
		Clase	Diámetro	Tipo y Polaridad	Amperios o Velocidad de alimentación de alambre			
1	SMAW	E9018-G	3.25 mm	DC EP	90 - 140	50 - 70	68 - 90 mm/min	
2 - n	SMAW	E9018-G	3.25 mm	DC EP	90 - 140	50 - 70	80-120 mm/min	

3.7.3. Procedimiento de soldadura para barra de 1/2" ASTM A706

SOLDEXA		ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)				Página 1 de 1		
		Según Código AWS D1.1/D1.1M Edición 2015						
Proceso (s) de Soldadura <u>SMAW (Shielded Metal Arc Welding)</u>		Tipo	Manual <input checked="" type="checkbox"/>	Semi-Automático <input type="checkbox"/>				
			Máquina <input type="checkbox"/>	Automático <input type="checkbox"/>				
DISEÑO (S) DE JUNTA				POSICIÓN				
Tipo: <u>Junta a Tope - Soldadura de Ranura en V</u>				Posición de Ranura <u>1G (Horizontal)</u> Filete <u>---</u>				
Simple <input checked="" type="checkbox"/> Soldadura Doble <input type="checkbox"/>				Progresión Vertical Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>				
Respaldo: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>				CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS				
Material de respaldo: _____				Modo de Transferencia (GMAW)				
Abertura de Raíz <u>3 mm +2, -0</u> Dimensión de Cara de Raíz <u>0 mm</u>				Corto Circuito <input type="checkbox"/> Globular <input type="checkbox"/> Rocío "Spray" <input type="checkbox"/>				
Angulo de Ranura <u>60° +10°, -0°</u> Radio (J - U) <u>---</u>				Corriente				
Remoción de Raíz: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>				AC <input type="checkbox"/> DC EP <input checked="" type="checkbox"/> DC EN <input type="checkbox"/> Pulsada <input type="checkbox"/>				
Método <u>---</u>				Fuente de Alimentación CC <input checked="" type="checkbox"/> CV <input type="checkbox"/>				
METALES BASE				Otro <u>---</u>				
Espec. de Material <u>ASTMA706</u>				Electrodo de Tungsteno (GTAW)				
Tipo o Grado <u>60°</u>				Tamaño <u>---</u>				
Espesor (es) Ranura <u>Mínimo 3 hasta Ilimitado</u> Filete <u>---</u>				Tipo <u>---</u>				
Diámetro (Tubería) <u>N°04 (ø 1/2")</u>				TÉCNICA				
METALES DE APORTE				Cordón Estrecho u Oscilado <u>Estrecho u Oscilado, según sea requerido</u>				
Especificación AWS <u>ANSI/AWS A5.5-96</u>				Pase Simple o Multipase (Por Lado) <u>Ambos, según se requiera</u>				
Clasificación AWS <u>E8018-C3</u>				Número de Electrodo <u>---</u>				
Nombre comercial <u>TENACITO 80</u>				Separación de Electrodo				
PROTECCIÓN				Longitudinal <u>---</u>				
Fundente <u>---</u>				Lateral <u>---</u>				
Electrodo-Fundente (Clase) <u>---</u>				Angulo <u>---</u>				
Gas <u>---</u>				Distancia del Tubo de Contacto a la Pieza de Trabajo <u>---</u>				
Composición <u>---</u>				Martilleo <u>---</u>				
Tasa de Flujo <u>---</u>				Limpieza entre pases <u>Raíz: Limpieza mecánica con disco abrasivo y escobilla.</u>				
Tamaño de Copa de Gas <u>---</u>				<u>Resto de pases: Limpieza mecánica con escobilla circular.</u>				
PRECALENTAMIENTO				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA				
Mínima temperatura de _____				Temperatura <u>---</u>				
				Tiempo <u>---</u>				
Prealemtamiento e Interpase (Según tabla 3.3 Categoría B)								
		Espesor		Temperatura (°C)				
		Desde 3 mm a 20 mm incluido		0 °C				
		Mayor a 20 hasta 38 mm incluido		10 °C				
		Mayor a 38 mm hasta 65 mm incluido		65 °C				
		Mayor a 65 mm		110 °C				
Cuando el metal base esta a una temperatura inferior a los 0°C, el metal base debe ser prealemtado a 20°C. Esta temperatura mínima de prealemtamiento, debe mantenida durante toda la operación de soldadura.								
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								
Pase o Capa (s) de Soldadura	Proceso	Metal (es) de aporte		Corriente		Voltios	Velocidad de Avance	Detalle de Junta
		Clase	Diámetro	Tipo y Polaridad	Amperios o Velocidad de alimentación de alambre			
1	SMAW	E8018-C3	3.25 mm	DC EP	90 - 140	50 - 70	68 - 90 mm/min	
2 - n	SMAW	E8018-C3	3.25 mm	DC EP	90 - 140	50 - 70	80-120 mm/min	

3.7.4. Procedimiento de soldadura para barra de 5/8" ASTM A706

SOLDEXA		ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)				Página 1 de 1		
		Según Código AWS D1.1/D1.1M Edición 2015						
Proceso (s) de Soldadura <u>SMAW (Shielded Metal Arc Welding)</u>		Tipo	Manual <input checked="" type="checkbox"/>	Semi-Automático <input type="checkbox"/>				
			Máquina <input type="checkbox"/>	Automático <input type="checkbox"/>				
DISEÑO (S) DE JUNTA				POSICIÓN				
Tipo: <u>Junta a Tope - Soldadura de Ranura en V</u>				Posición de Ranura <u>1G (Horizontal)</u> Filete <u>---</u>				
Simple <input checked="" type="checkbox"/> Soldadura Doble <input type="checkbox"/>				Progresión Vertical Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>				
Respaldo: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>				CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS				
Material de respaldo: <u>---</u>				Modo de Transferencia (GMAW)				
Abertura de Raíz <u>3 mm +2, -0</u> Dimensión de Cara de Raíz <u>0 mm</u>				Corto Circuito <input type="checkbox"/> Globular <input type="checkbox"/> Rocío "Spray" <input type="checkbox"/>				
Angulo de Ranura <u>60° +10°, -0°</u> Radio (J - U) <u>---</u>				Corriente				
Remoción de Raíz: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>				AC <input type="checkbox"/> DC EP <input checked="" type="checkbox"/> DC EN <input type="checkbox"/> Pulsada <input type="checkbox"/>				
Método <u>---</u>				Fuente de Alimentación CC <input checked="" type="checkbox"/> CV <input type="checkbox"/>				
METALES BASE				Otro <u>---</u>				
Espec. de Material <u>ASTMA706</u>				Electrodo de Tungsteno (GTAW)				
<u>---</u>				Tamaño <u>---</u>				
<u>---</u>				Tipo <u>---</u>				
Tipo o Grado <u>60°</u>								
Espesor (es) Ranura <u>Mínimo 3 hasta ilimitado</u> Filete <u>---</u>								
Diámetro (Tubería) <u>N°05 (ø 5/8")</u>								
METALES DE APORTE				TÉCNICA				
Especificación AWS <u>ANSI/AWS A5.5-96</u>				Cordón Estrecho u Oscilado <u>Estrecho u Oscilado, según sea requerido</u>				
Clasificación AWS <u>E8018-C3</u>				Pase Simple o Multipase (Por Lado) <u>Ambos, según se requiera</u>				
Nombre comercial <u>TENACITO 80</u>				Número de Electrodo <u>---</u>				
				Separación de Electrodo				
				Longitudinal <u>---</u>				
				Lateral <u>---</u>				
				Angulo <u>---</u>				
				Distancia del Tubo de Contacto a la Pieza de Trabajo <u>---</u>				
				Martilleo <u>---</u>				
				Limpieza entre pases <u>Raíz: Limpieza mecánica con disco abrasivo y escobilla.</u>				
				<u>Resto de pases: Limpieza mecánica con escobilla circular.</u>				
PROTECCIÓN				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA				
Fundente <u>---</u>				Temperatura <u>---</u>				
Electrodo-Fundente (Clase) <u>---</u>				Tiempo <u>---</u>				
Gas <u>---</u>								
Composición <u>---</u>								
Tasa de Flujo <u>---</u>								
Tamaño de Copa de Gas <u>---</u>								
PRECALENTAMIENTO								
Mínima temperatura de Prealentamiento e Interpase (Según tabla 3.3 Categoría B)	Espesor		Temperatura (°C)					
	Desde 3 mm a 20 mm incluido		0 °C					
	Mayor a 20 hasta 38 mm incluido		10 °C					
	Mayor a 38 mm hasta 65 mm incluido		65 °C					
Mayor a 65 mm		110 °C						
Cuando el metal base esta a una temperatura inferior a los 0°C, el metal base debe ser prealentado a 20°C. Esta temperatura mínima de prealentamiento, debe mantenida durante toda la operación de soldadura.								
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								
Pase o Capa (s) de Soldadura	Proceso	Metal (es) de aporte		Corriente		Voltios	Velocidad de Avance	Detalle de Junta
		Clase	Diámetro	Tipo y Polaridad	Amperios o Velocidad de alimentación de alambre			
1	SMAW	E8018-C3	3.25 mm	DC EP	90 - 140	50 - 70	68 - 90 mm/min	
2 - n	SMAW	E8018-C3	3.25 mm	DC EP	90 - 140	50 - 70	80-120 mm/min	

CAPITULO IV

4. EVALUACION DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

4.1. Ensayo a tensión de barras soldadas

4.1.1. Ensayos de tracción en máquina universal

Para los ensayos de tracción se utilizó una maquina universal de ensayo controlada por PC EMIC GR012 con capacidad máxima de 100kN.



Ilustración 43. Maquina universal EMIC GR012 de la UNSA [55].

Probetas de acero corrugado ASTM A706 y ASTM A615 previo a su ensayo.

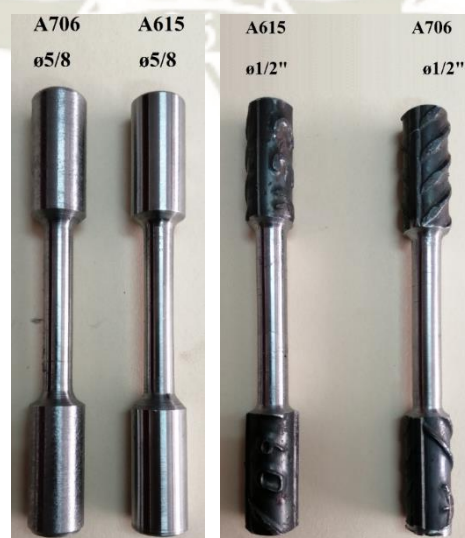


Ilustración 44. Probetas identificadas ASTM A615 y A706 [55].

Probeta colocada en la máquina de universal de tracción para la aplicación de carga.



Ilustración 45. Probeta ASTM A615 sometido al ensayo de tracción [55].

Probeta cuando alcanza su punto de ruptura.



Ilustración 46. Probeta ASTM A615 en su momento de ruptura [55].

4.1.2. Resultados de los ensayos

Los resultados de las probetas sometidas al ensayo de tracción se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 19. Resultado de ensayo de tracción de la probeta ASTM A615 $\phi 5/8''$ [55].

PROBETA ASTM A615 $\phi 5/8''$					PROPIEDAD MECANICAS ASTM A615 - FABRICANTE				
Límite de Fluencia (fy)		Resistencia a la Tracción (R)		Relación R/fy	Límite de Fluencia (fy)		Resistencia a la Tracción (R)		Relación R/fy
KN/mm2	MPa	KN/mm2	MPa		Kg/cm2	MPa	Kg/cm2	MPa	
0.52	524.47	0.61	612.96	1.17	4280	419.72	6320	619.78	≥ 1.25
Longitud entre marcas (mm)		Longitud final entre marcas (mm)		Elongación	Alargamiento en diámetros: 6 mm, 8 mm, 3/8", 1/2", 5/8" y 3/4"				
33.26		38.94			9% mínimo				

Tabla 20. Resultado de ensayo de tracción de la probeta ASTM A706 $\phi 5/8''$ [55].

PROBETA ASTM A706 $\phi 5/8''$					PROPIEDAD MECANICAS ASTM A706 - FABRICANTE				
Límite de Fluencia (fy)		Resistencia a la Tracción (R)		Relación R/fy	Límite de Fluencia (fy)		Resistencia a la Tracción (R)		Relación R/fy
KN/mm2	MPa	KN/mm2	MPa		Kg/cm2	MPa	Kg/cm2	MPa	
0.42	418.86	0.57	572.37	1.37	4280 - 5510	419.72 - 540.35	5610	550.15	≥ 1.25
Longitud entre marcas (mm)		Longitud final entre marcas (mm)		Elongación	Alargamiento en diámetros: 6 mm, 8 mm, 3/8", 1/2", 5/8" y 3/4"				
33.26		40.60			14% mínimo				

Tabla 21. Resultado de ensayo de tracción de la probeta ASTM A706 $\phi 1/2''$ [55].

PROBETA ASTM A706 $\phi 1/2''$					PROPIEDAD MECANICAS ASTM A706 - FABRICANTE				
Límite de Fluencia (fy)		Resistencia a la Tracción (R)		Relación R/fy	Límite de Fluencia (fy)		Resistencia a la Tracción (R)		Relación R/fy
KN/mm2	MPa	KN/mm2	MPa		Kg/cm2	MPa	Kg/cm2	MPa	
0.45	452.70	0.57	567.56	1.25	4280 - 5510	419.72 - 540.35	5610	550.15	≥ 1.25
Longitud entre marcas (mm)		Longitud final entre marcas (mm)		Elongación	Alargamiento en diámetros: 6 mm, 8 mm, 3/8", 1/2", 5/8" y 3/4"				
33.38		39.76			14% mínimo				

Tabla 22. Resultado de ensayo de tracción de la probeta ASTM A615 $\phi 1/2''$ [55].

PROBETA ASTM A615 $\phi 1/2''$					PROPIEDAD MECANICAS ASTM A615 - FABRICANTE				
Límite de Fluencia (fy)		Resistencia a la Tracción (R)		Relación R/fy	Límite de Fluencia (fy)		Resistencia a la Tracción (R)		Relación R/fy
KN/mm2	MPa	KN/mm2	MPa		Kg/cm2	MPa	Kg/cm2	MPa	
0.49	487.81	487.81	624.12	1.28	4280	419.72	6320	619.78	≥ 1.25
Longitud entre marcas (mm)		Longitud final entre marcas (mm)		Elongación	Alargamiento en diámetros: 6 mm, 8 mm, 3/8", 1/2", 5/8" y 3/4"				
32.52		38.22			9% mínimo				

4.1.3. Análisis y comparación de resultados entre distintas probetas

La ilustración 47 muestra la representación Esfuerzo-Deformación de las 04 probetas ensayadas realizadas en la UNSA por la maquina universal INSTRON según los datos obtenidos en los resultados.

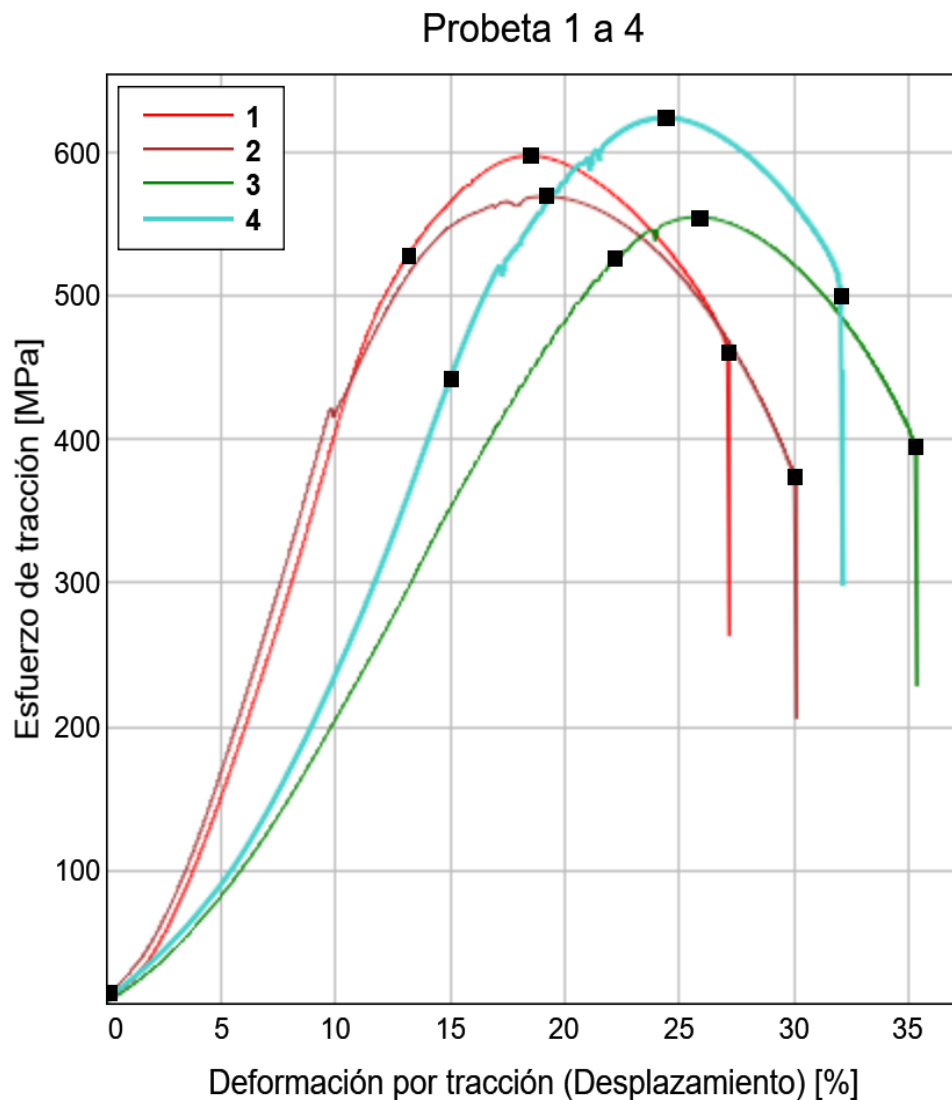


Ilustración 47. Esfuerzo – Deformación P1-P4 [55].

Las probetas de los $\phi 1/2''$ y $\phi 5/8''$ realizadas muestran que cumplen los esfuerzos de fluencia, esfuerzo de tracción, elongación y la relación entre la resistencia de tracción y límite de fluencia especificados en las normas ASTM A706 y ASTM A615.

4.2. Ensayos de doblado realizados a las probetas

Se realizó el ensayo de doblado a las probetas soldadas ASTM A615 con electrodo E9018-G y ASTM A706 con electrodo E8018-C3 para ver la ductilidad de las uniones soldadas en la maquina universal de marca INSTRON de 10 TN.



Ilustración 48. Ensayo de doblado de fierro corrugado ASTM A706 ϕ 1/2" [55].



Ilustración 49. Ensayo de doblado de hierro corrugado ASTM A615 ϕ 1/2" [55].



Ilustración 50. Probetas de doblado de barra ϕ 1/2" de ASTM A706 y ASTM A615 [55].

El ensayo de doblado de la probeta ASTM A706 de diámetro 1/2" se obtuvo una superficie libre de fisuración en la cara exterior de doblado teniendo una ductilidad como una barra virgen.

En ensayo de doblado de la probeta ASTM A615 de diámetro 1/2" se presentó en la superficie una fisuración en la cara exterior de doblado en la unión de soldadura.

4.3. Análisis de las propiedades metalográficas

4.3.1. Ensayo Macrográfico

4.3.1.1. Preparación de muestras

Se realizó de acuerdo a los protocolos de preparación de muestras metalográficas que incluyen las siguientes etapas:

- **Montaje de probetas:** Se trabajó con resina acrílica dental.



Ilustración 51. Probeta #02. ASTM A706 $\phi 5/8$ " soldadura con electrodo E8018-C3 [55].



Ilustración 52. Probeta #09. ASTM A706 $\phi 1/2$ " soldadura con electrodo E8018-C3 [55].



Ilustración 53. Probeta #04. ASTM A615 ϕ 5/8" soldadura con electrodo E9018-G [55].



Ilustración 54. Probeta #04. ASTM A615 ϕ 1/2" soldadura con electrodo E9018-G [55].

- **Desbaste grueso:** Se trabajó papel lijar al agua, marca ABRALIT: Lijar #100, #220, #400, #600.
- **Desbaste fino:** Se trabajó papel lijar al agua, marca ABRALIT: Lijar #1000, #1200, #20000.
- **Pulido fino:** En una pulidora de disco con paño de pulido, con pasta de alúmina 0,5 micrones.

4.3.1.2. Ataque Químico

Se utilizó Solución de Nital al 3%, con un tiempo de contacto de 30 segundos.

4.3.1.3. Macrografías

Macrografía en barra ASTM A706 de $\phi 5/8$ ".

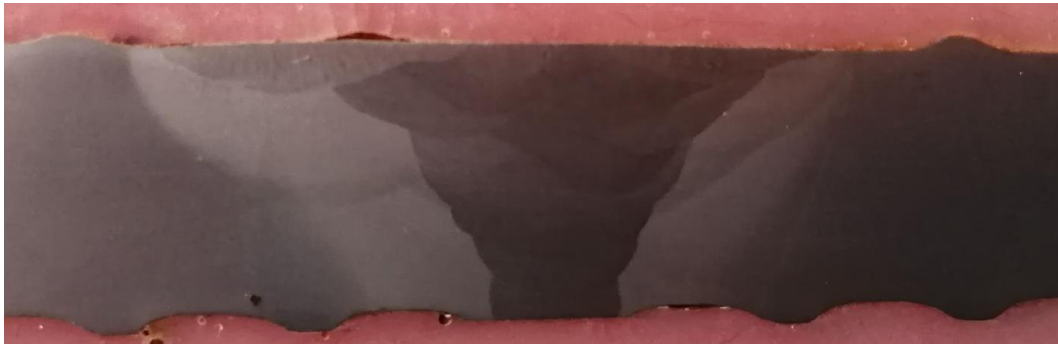


Ilustración 55. Macrografía de Probeta #02. ASTM A706 $\phi 5/8$ " soldadura con electrodo E8018-C3 [55].

Macrografía en barra ASTM A706 de $\phi 1/2$ ".



Ilustración 56. Macrografía de Probeta #09. ASTM A706 $\phi 1/2$ " soldadura con electrodo E8018-C3 [55].

Macrografía en barra ASTM A615 de $\phi 5/8$ ".



Ilustración 57. Macrografía de Probeta #04. ASTM A615 $\phi 5/8$ " soldadura con electrodo E9018-G [55].

Macrografía en barra ASTM A615 de $\phi 1/2$ ".



Ilustración 58. Macrografía de Probeta #10. ASTM A615 $\phi 5/8$ " soldadura con electrodo E9018-G [55].

4.3.2. Análisis Micrográfico

El análisis estructural se realizó en el laboratorio de Ingeniería de Materiales de la UCSM con un Microscopio Metalúrgico Invertido Óptico, Time Group INC, DX70A con una resolución de 50X.

Micrografía en barra ASTM A706 de $\phi 5/8$ ".

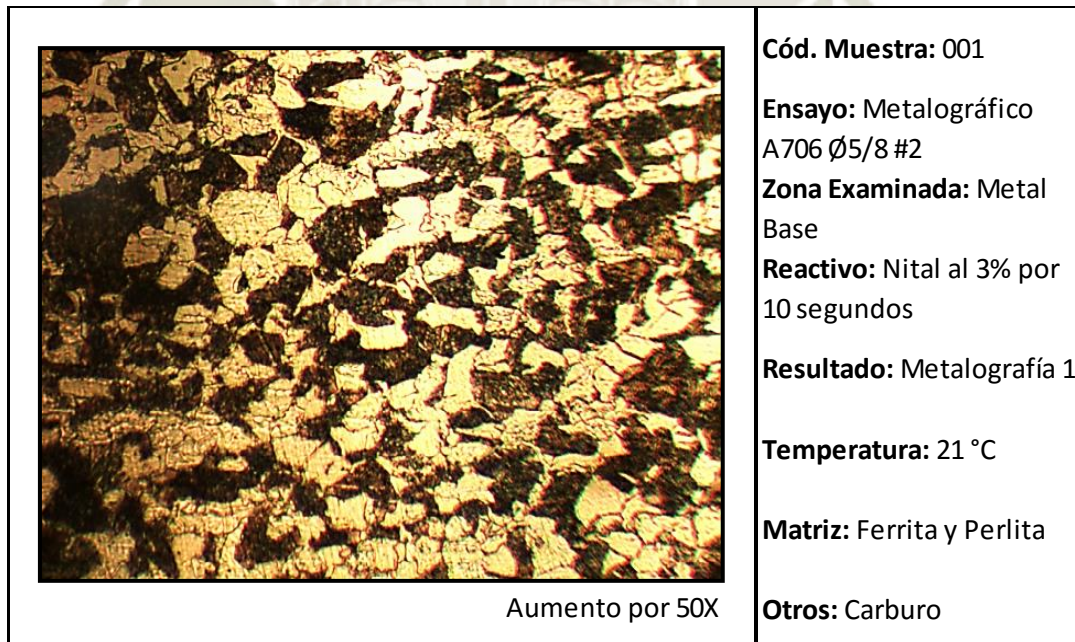


Ilustración 59. Micrografía en Metal Base de Probeta #02. ASTM A706 $\phi 5/8$ " soldadura con electrodo E8018-C3 [55].



Ilustración 60. Micrografía en ZAC de Probeta #02. ASTM A706 ϕ 5/8" soldadura con electrodo E8018-C3.



Ilustración 61. Micrografía en Soldadura de Probeta #02. ASTM A706 ϕ 5/8" soldadura con electrodo E8018-C3.

Micrografía en barra ASTM A706 de $\phi 1/2$ ".



Ilustración 62. Micrografía en Metal Base de Probeta #09. ASTM A706 $\phi 1/2$ " soldadura con electrodo E8018-C3.

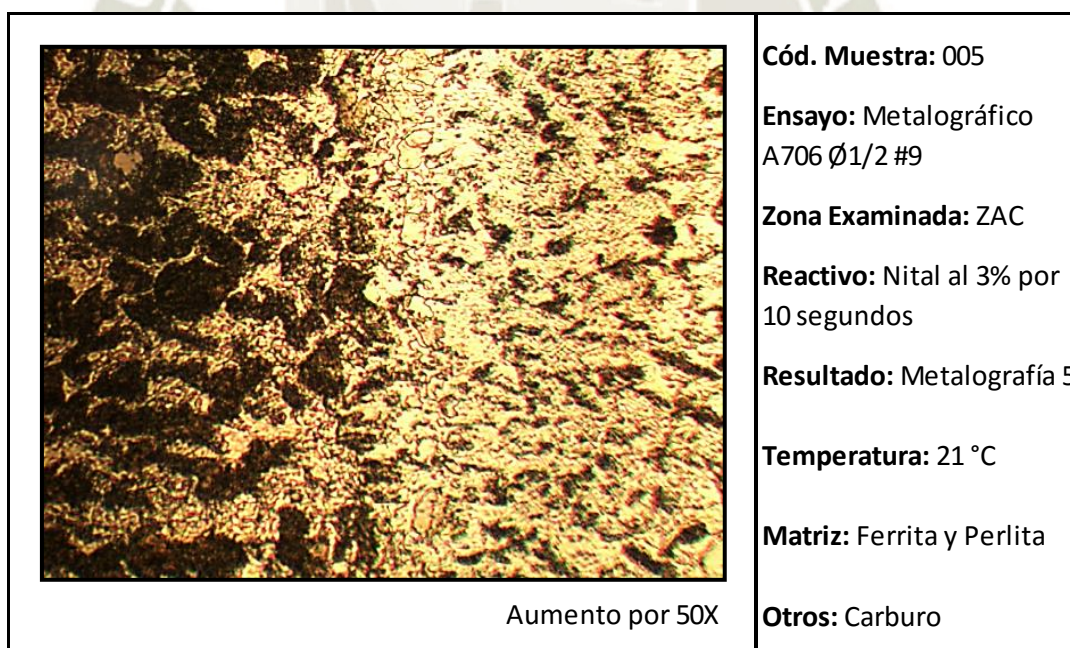
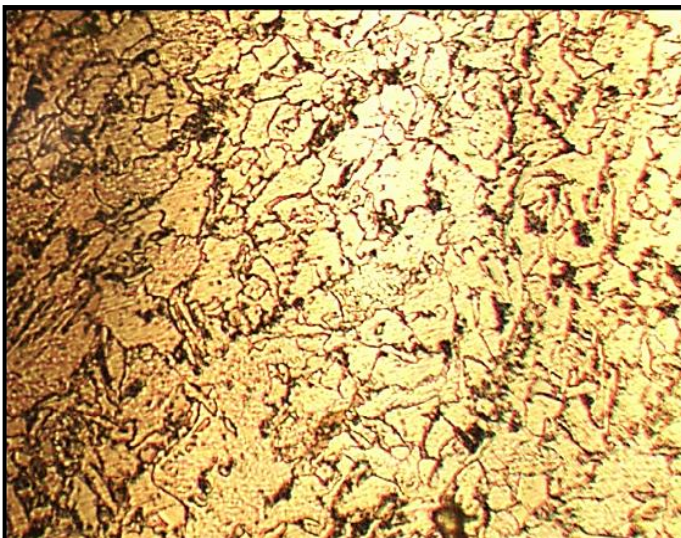


Ilustración 63. Micrografía en ZAC de Probeta #09. ASTM A706 $\phi 1/2$ " soldadura con electrodo E8018-C3



Aumento por 50X

Cód. Muestra: 006

Ensayo: Metalográfico
A706 Ø1/2 #9

Zona Examinada:

Soldadura

Reactivo: Nital al 3% por
10 segundos

Resultado: Metalografía 6

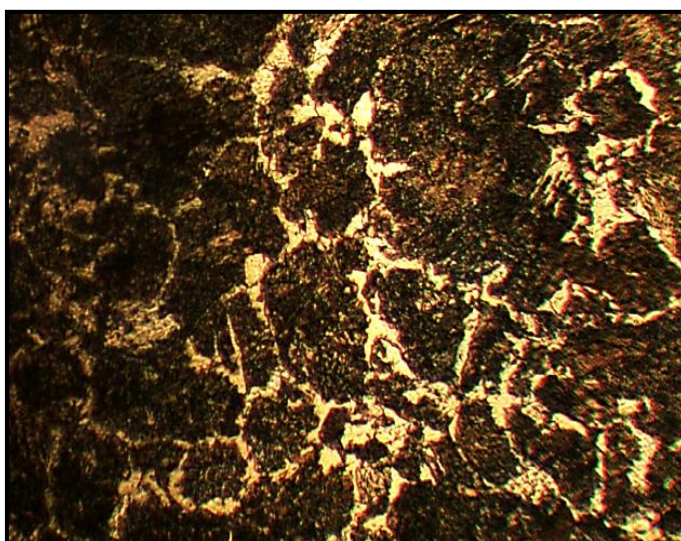
Temperatura: 21 °C

Matriz: Ferrita acicular

Otros: Carburo globular
fino

Ilustración 64. Micrografía en Soldadura de Probeta #09. ASTM A706 ϕ 1/2" soldadura con electrodo E8018-C3.

Micrografía en barra ASTM A615 de ϕ 5/8".



Aumento por 50X

Cód. Muestra: 007

Ensayo: Metalográfico
A615 Ø5/8 #4

Zona Examinada: Metal
Base

Reactivo: Nital al 3% por
10 segundos

Resultado: Metalografía 7

Temperatura: 21 °C

Matriz: Ferrita y Perlita

Otros: Carburo

Ilustración 65. Micrografía en Metal Base de Probeta #04. ASTM A615 ϕ 5/8" soldadura con electrodo E9018-G.

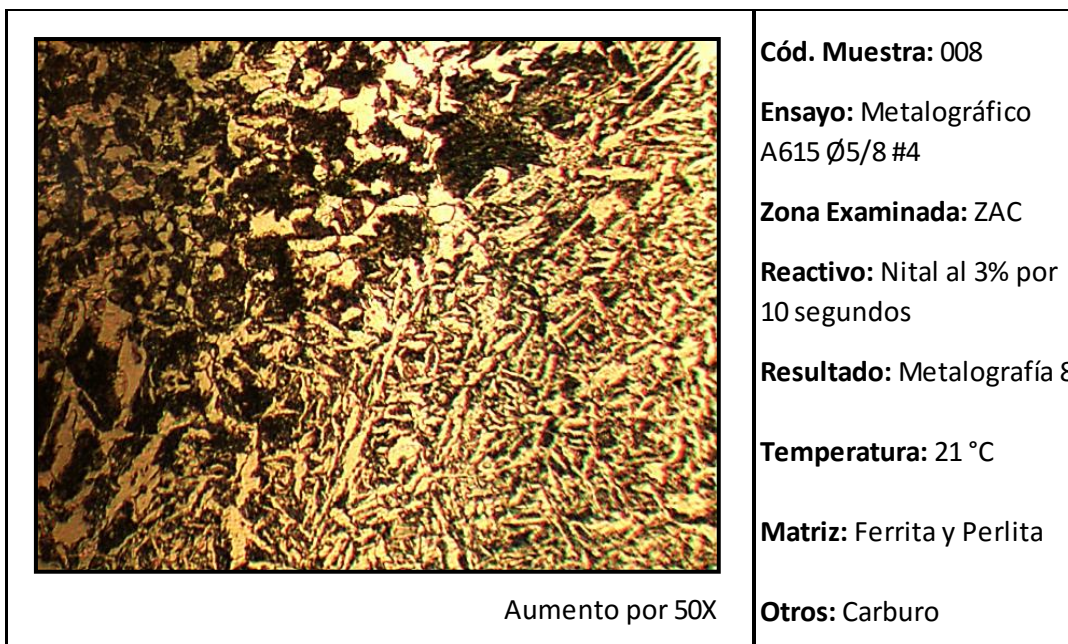


Ilustración 66. Micrografía en ZAC de Probeta #04. ASTM A615 ϕ 5/8" soldadura con electrodo E9018-G.

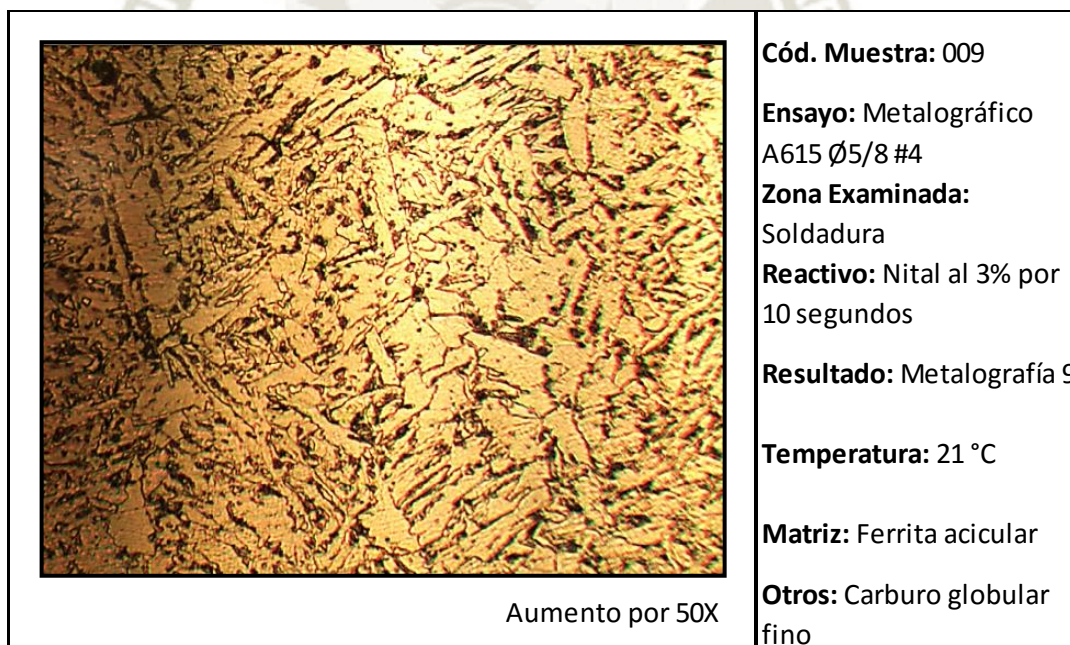


Ilustración 67. Micrografía en Soldadura de Probeta #04. ASTM A615 ϕ 5/8" soldadura con electrodo E9018-G.

Micrografía en barra ASTM A615 de $\phi 1/2$ ".



Ilustración 68. Micrografía en Metal Base de Probeta #10. ASTM A615 $\phi 1/2$ " soldadura con electrodo E9018-G.

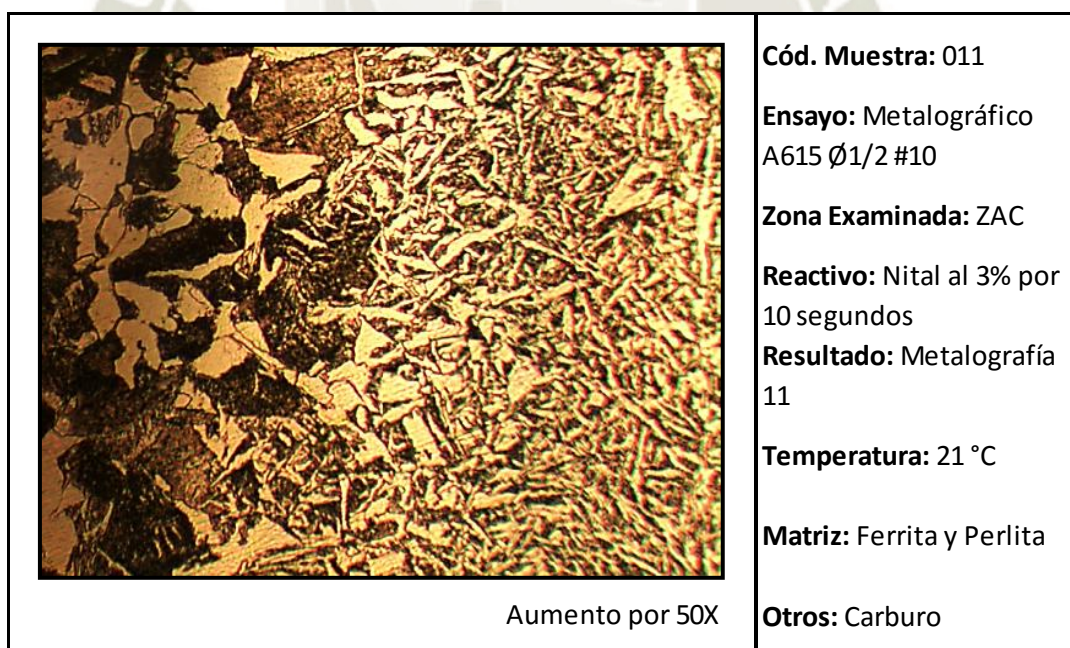
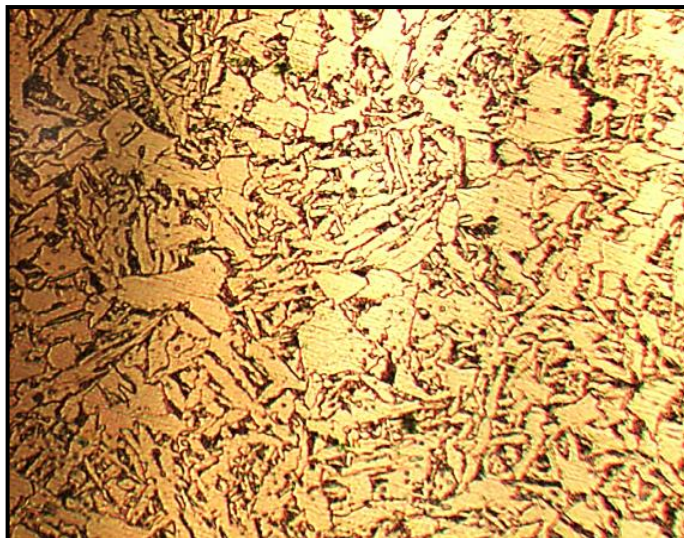


Ilustración 69. Micrografía en ZAC de Probeta #10. ASTM A615 $\phi 1/2$ " soldadura con electrodo E9018-G.



Aumento por 50X

Cód. Muestra: 012

Ensayo: Metalográfico
A615 Ø1/2 #10

Zona Examinada:

Soldadura

Reactivo: Nital al 3% por
10 segundos

Resultado: Metalografía
12

Temperatura: 21 °C

Matriz: Ferrita acicular

Otros: Carburo globular
fino

Ilustración 70. Micrografía en Soldadura de Probeta #10. ASTM A615 ϕ 1/2" soldadura con electrodo E9018-G.

4.3.3. Ensayo de Dureza

En ensayo de dureza se realiza en el laboratorio de Ingeniería de Materiales de la UCSM debidamente preparadas. Se toma la dureza en el metal base, metal de aporte y la zona afectada por el calor, utilizando la norma ASTM E92-82 con una carga de 10 kg tomando en total 11 puntos para el barrido de dureza.

Prueba de ensayo de dureza en barra ASTM A706 de $\phi 5/8$ ".

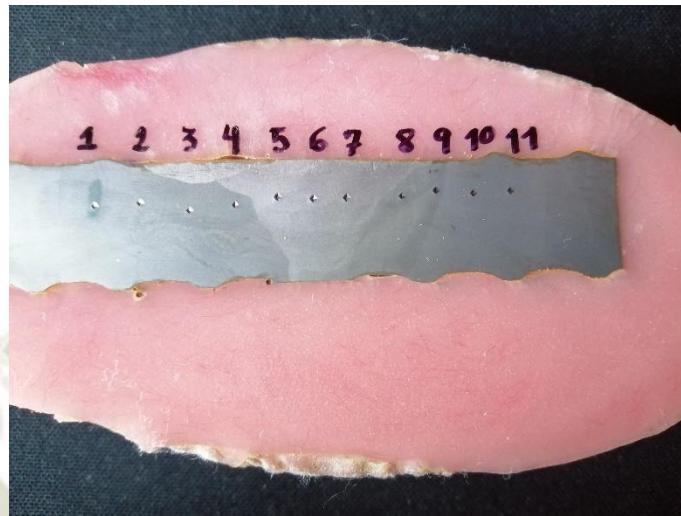


Ilustración 71. Probeta #02 – Ensayo de Dureza - ASTM A706 de $\phi 5/8$ " soldadura con electrodo E8018-C3 [55].

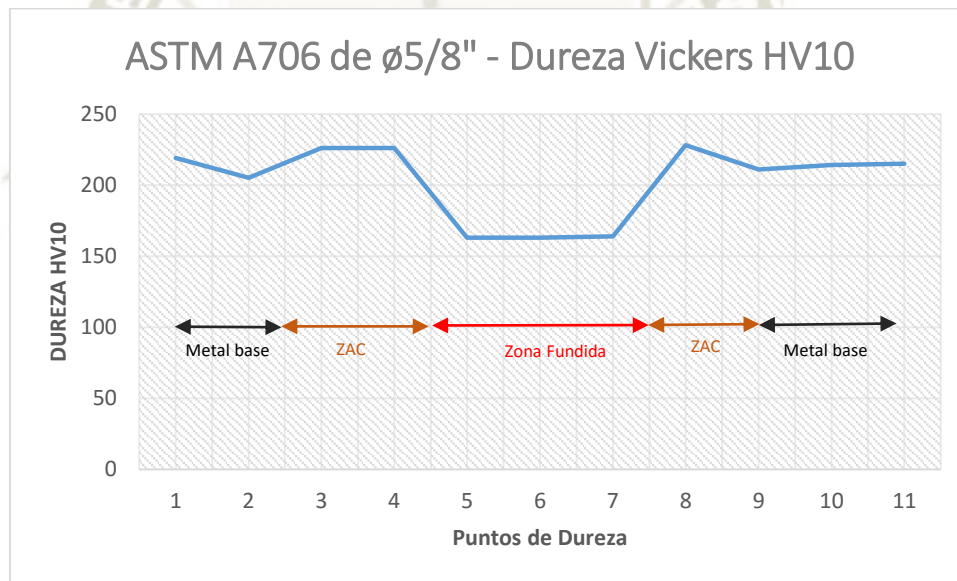


Ilustración 72. Resultado de la Probeta #02 – Ensayo de Dureza - ASTM A706 de $\phi 5/8$ " soldadura con electrodo E8018-C3 [55].

Prueba de ensayo de dureza en barra ASTM A706 de $\phi 1/2$ ".



Ilustración 73. Probeta #09 – Ensayo de Dureza - ASTM A706 de $\phi 1/2$ " soldadura con electrodo E8018-C3 [55].

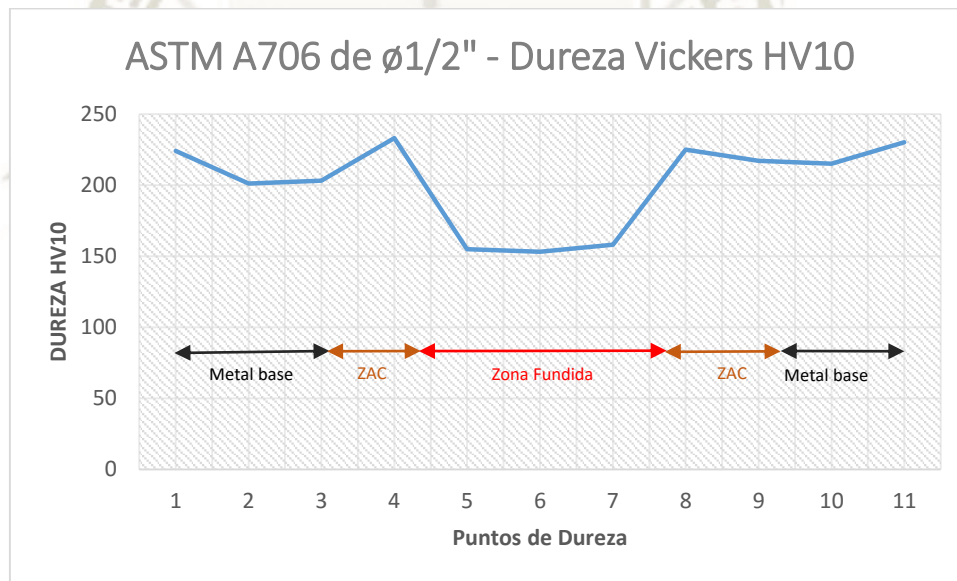


Ilustración 74. Resultado de la Probeta #09 – Ensayo de Dureza- ASTM A706 de $\phi 1/2$ " soldadura con electrodo E8018-C3 [55].

Prueba de ensayo de dureza en barra ASTM A615 de $\phi 5/8$ ".



Ilustración 75. Probeta #04 – Ensayo de Dureza - ASTM A615 de $\phi 5/8$ " soldadura con electrodo E9018-G [55].

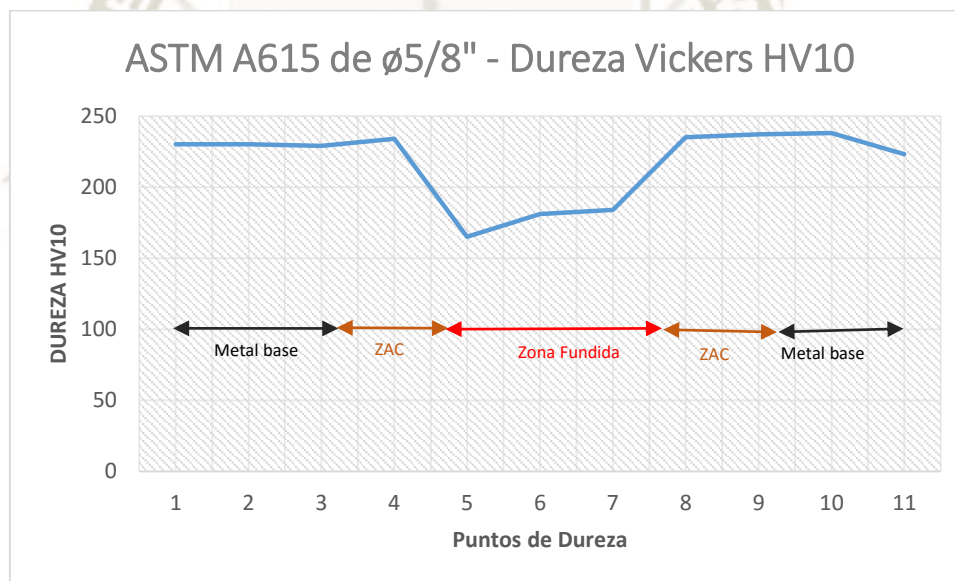


Ilustración 76. Resultado de la Probeta #04 – Ensayo de Dureza - ASTM A615 de $\phi 5/8$ " soldadura con electrodo E9018-G [55].

Prueba de ensayo de dureza en barra ASTM A615 de $\phi 1/2$ ".



Ilustración 77. Probeta #10 – Ensayo de Dureza - ASTM A615 de $\phi 1/2$ " soldadura con electrodo E9018-G [55].

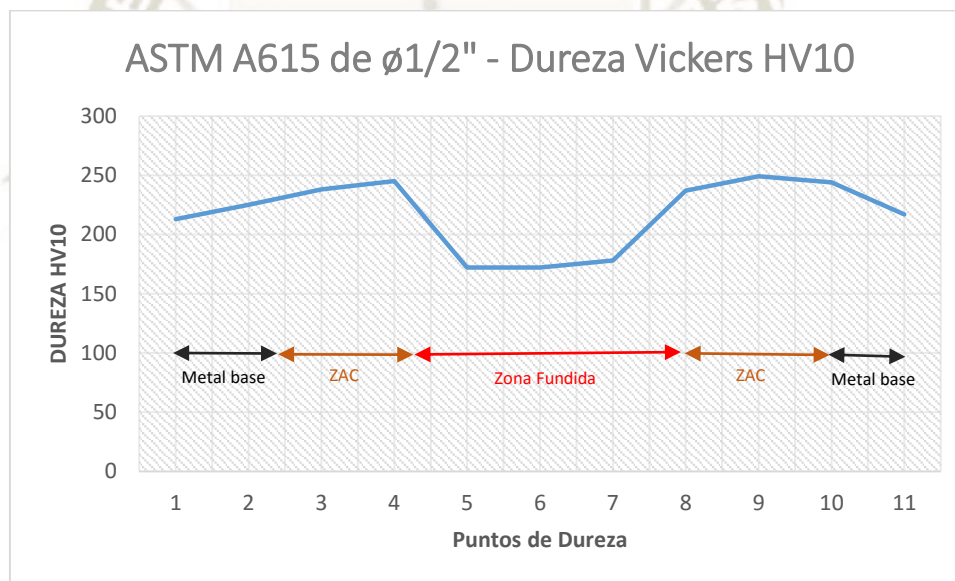


Ilustración 78. Resultados de la Probeta #10 – Ensayo de Dureza - ASTM A615 de $\phi 1/2$ " soldadura con electrodo E9018-G [55].

4.1. Ejecución de ensayos no destructivos

4.1.1. Ensayo de líquidos penetrantes

El proceso de la inspección de líquidos penetrantes será bajo la norma ASTM E-165.

Tabla 23. Descripción del método para el ensayo de partículas magnéticas [55].

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO / CONSUMIBLES			
TIPO II: EXAMINACIÓN CON PENETRANTE VISIBLE		MÉTODO C: REMOVIBLE CON SOLVENTE	
Contraste de color	X	Penetrante: MAGNAFLUX / SKL-SP2	X
Removible con solvente	X	Limpiador: MAGNAFLUX / SKC-S	X
Solvente no acuoso	X	Revelador: MAGNAFLUX/SKD-S2	X



Ilustración 79. Kit de Tintas Penetrantes- MAGNAFLUX [55].



Ilustración 80. Aplicación del penetrante a las barras de ASTM A615 y ASTM A706 de ϕ 1/2" y ϕ 5/8" [55].

4.1.1.1. Resultado de los ensayos

Los resultados de las probetas sometidas al ensayo de líquidos penetrantes se muestran en las siguientes tablas:

Prueba de Líquidos Penetrantes en barra ASTM A706 de ϕ 5/8".

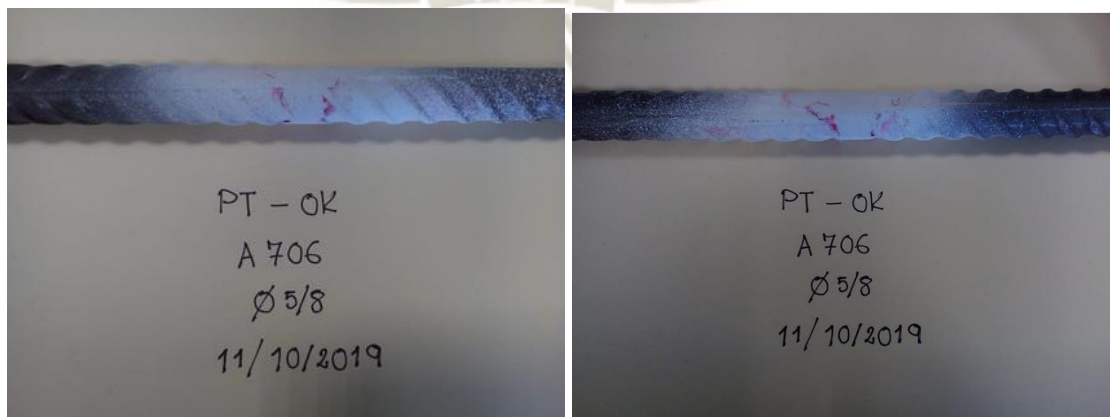


Ilustración 81. Probeta #02 - Líquidos Penetrantes- ASTM A706 de 5/8" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].

Tabla 24. Resultado de la Probeta #02 – Líquidos Penetrantes - ASTM A706 de 5/8" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].

CÓDIGO DE MUESTRA	IDENTIFICACION DE LA ZONA	INDICACIÓN	RESULTADO	OBSERVACIONES
001	A706 #02 - Perfil de soldadura de ranura en V (ambos lados A y B) - Ø 5/8	-	Aceptado	Hacer seguimiento mediante inspecciones por NDT.

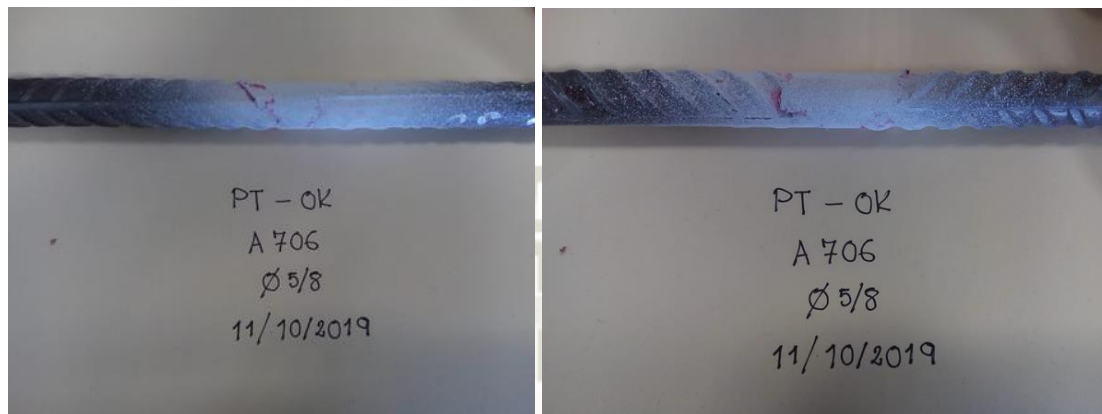


Ilustración 82. Probeta #03 – Líquidos Penetrantes- ASTM A706 de 5/8" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].

Tabla 25. Resultado de la Probeta #03 – Líquidos Penetrantes- ASTM A706 de 5/8" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].

CÓDIGO DE MUESTRA	IDENTIFICACION DE LA ZONA	INDICACIÓN	RESULTADO	OBSERVACIONES
002	A706 #03 - Perfil de soldadura de ranura en V (ambos lados A y B) - Ø 5/8	-	Aceptado	Hacer seguimiento mediante inspecciones por NDT.

Prueba de Líquidos Penetrantes en barra ASTM A706 de Ø1/2".

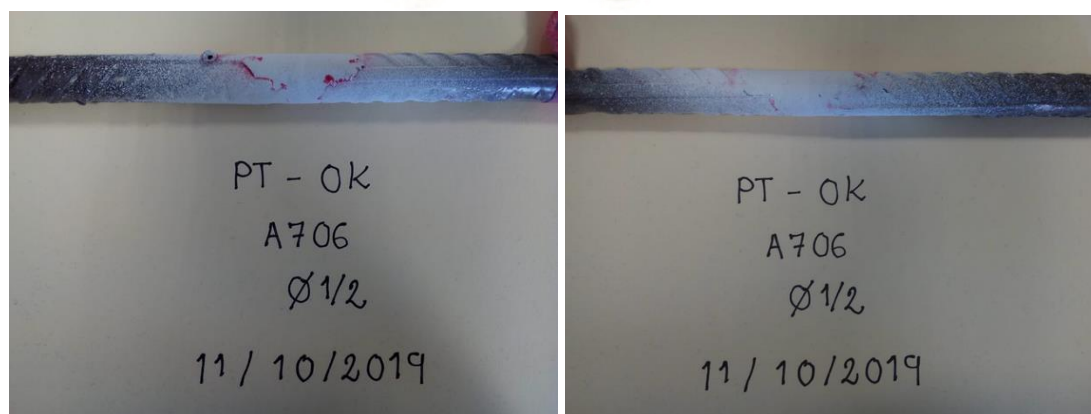


Ilustración 83. Probeta #07 – Líquidos Penetrantes - ASTM A706 de 1/2" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].

Tabla 26. Resultado de la Probeta #07 –Líquidos Penetrantes - ASTM A706 de 1/2" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].

CÓDIGO DE MUESTRA	IDENTIFICACION DE LA ZONA	INDICACIÓN	RESULTADO	OBSERVACIONES
003	A706 #07 - Perfil de soldadura de ranura en V (ambos lados A y B) - Ø 1/2	Presencia de Salpicaduras.	Aceptado	Limpiar salpicaduras y hacer seguimiento mediante inspecciones por NDT.

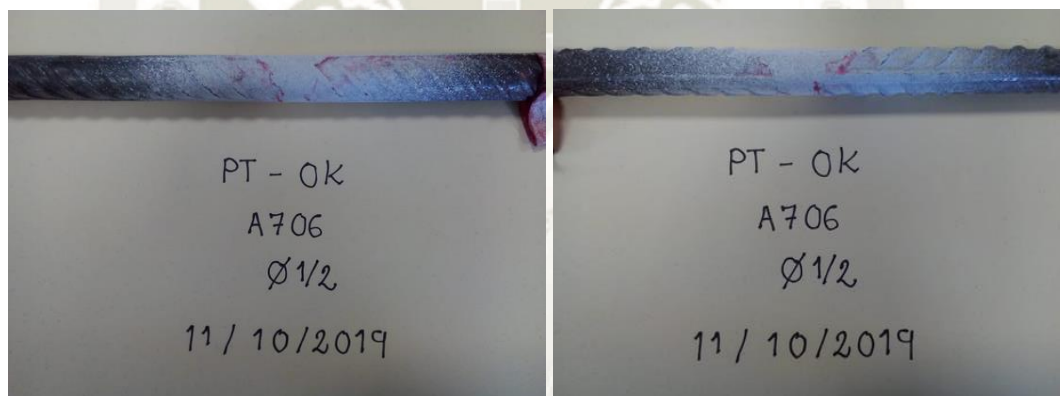


Ilustración 84. Probeta #09 – Líquidos Penetrantes - ASTM A706 de 1/2" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].

Tabla 27. Resultado de la Probeta #09 – Líquidos Penetrantes - ASTM A706 de 1/2" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].

CÓDIGO DE MUESTRA	IDENTIFICACION DE LA ZONA	INDICACIÓN	RESULTADO	OBSERVACIONES
004	A706 #09 - Perfil de soldadura de ranura en V (ambos lados A y B) - Ø 1/2	-	Aceptado	Hacer seguimiento mediante inspecciones por NDT.

Prueba de Líquidos Penetrantes en barra ASTM A615 de $\phi 5/8''$.

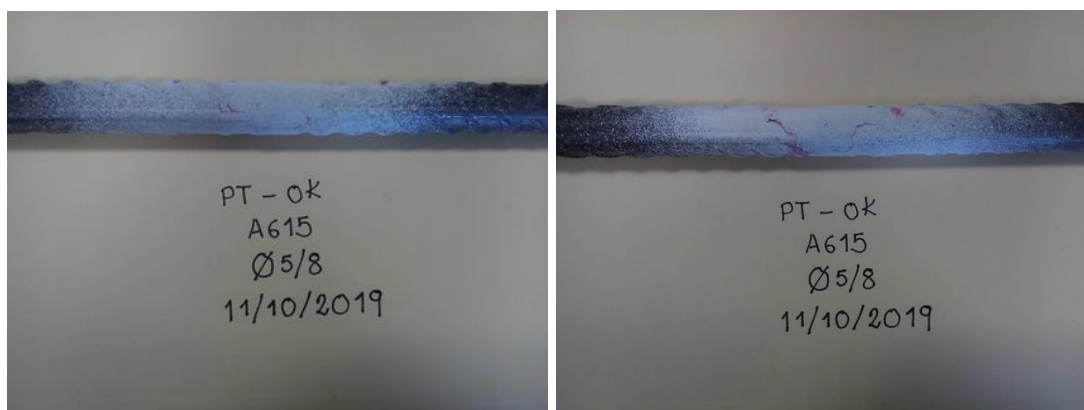


Ilustración 85. Probeta #04 – Líquidos Penetrantes - ASTM A615 de 5/8" soldadura con electrodo E9018-G [55].

Tabla 28. Resultado de la Probeta #04 – Líquidos Penetrantes - ASTM A615 de 5/8" soldadura con electrodo E9018-G [55].

CÓDIGO DE MUESTRA	IDENTIFICACION DE LA ZONA	INDICACIÓN	RESULTADO	OBSERVACIONES
005	A615 #04 - Perfil de soldadura de ranura en V (ambos lados A y B) - $\phi 5/8$	-	Aceptado	Hacer seguimiento mediante inspecciones por NDT.

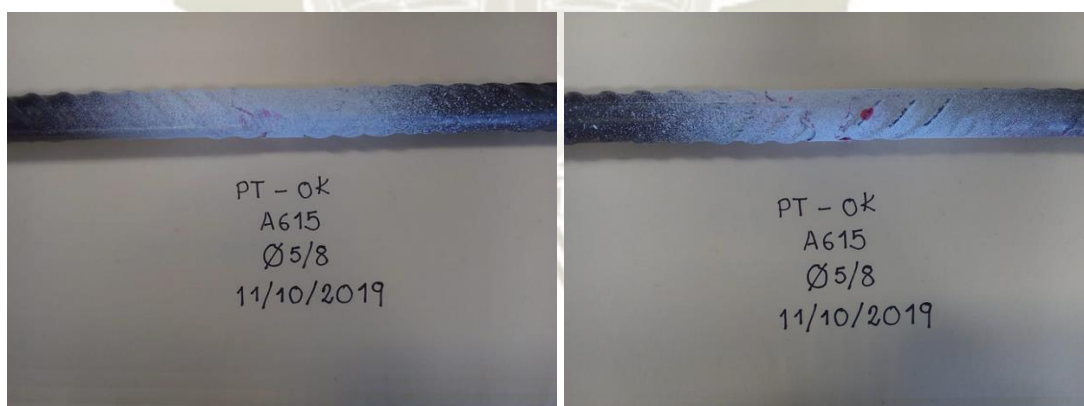


Ilustración 86. Probeta #06 – Líquidos Penetrantes -ASTM A615 de 5/8" soldadura con electrodo E9018-G [55].

Tabla 29. Resultado de la Probeta #06 – Líquidos Penetrantes - ASTM A615 de 5/8" soldadura con electrodo E9018-G [55].

CÓDIGO DE MUESTRA	IDENTIFICACION DE LA ZONA	INDICACIÓN	RESULTADO	OBSERVACIONES
006	A615 #06 - Perfil de soldadura de ranura en V (ambos lados A y B) - Ø 5/8	-	Aceptado	Hacer seguimiento mediante inspecciones por NDT.

Prueba de Líquidos Penetrantes en barra ASTM A615 de ϕ 1/2".

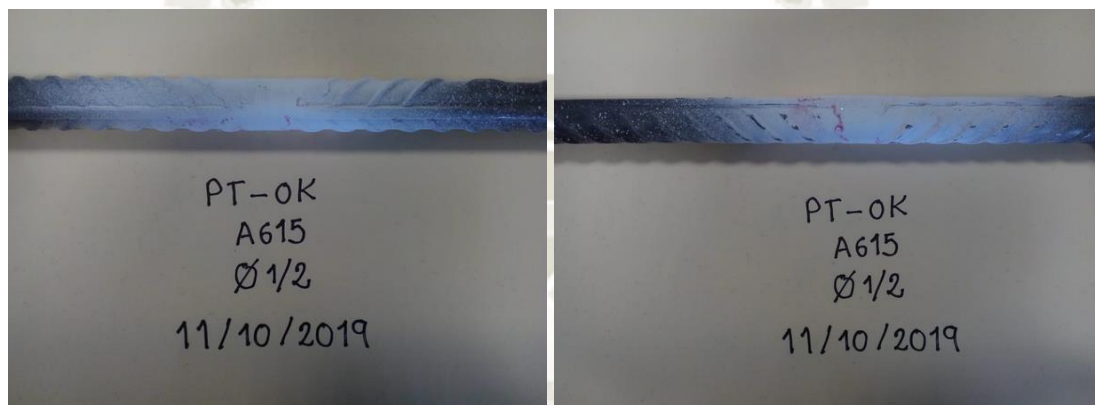


Ilustración 87. Probeta #11 –Líquidos Penetrantes - ASTM A615 de 1/2" soldadura con electrodo E9018-G [55].

Tabla 30. Resultado de la Probeta #11 – Líquidos Penetrantes - ASTM A615 de 1/2" soldadura con electrodo E9018-G [55].

CÓDIGO DE MUESTRA	IDENTIFICACION DE LA ZONA	INDICACIÓN	RESULTADO	OBSERVACIONES
007	A615 #11 - Perfil de soldadura de ranura en V (ambos lados A y B) - Ø 1/2	-	Aceptado	Hacer seguimiento mediante inspecciones por NDT.

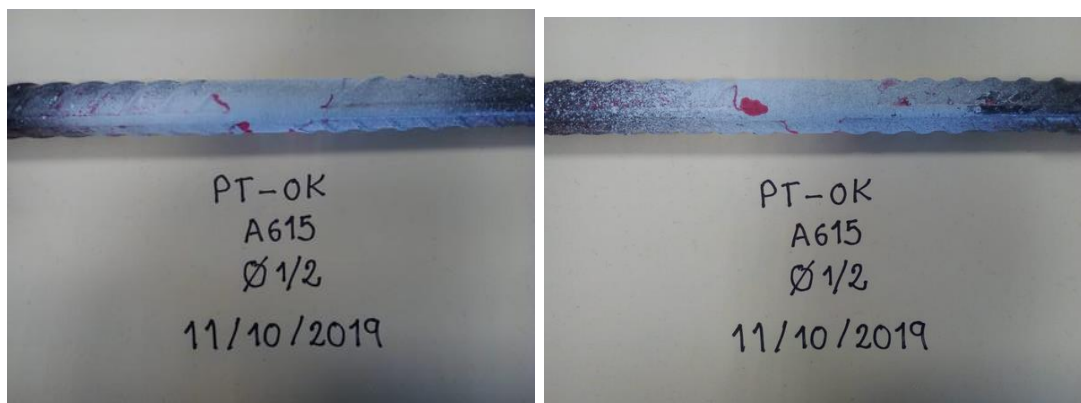


Ilustración 88. Probeta #10 – Líquidos Penetrantes - ASTM A615 de 1/2" soldadura con electrodo E9018-G [55].

Tabla 31. Resultado de la Probeta #10 – Líquidos Penetrantes - ASTM A615 de 1/2" soldadura con electrodo E9018-G [55].

CÓDIGO DE MUESTRA	IDENTIFICACION DE LA ZONA	INDICACIÓN	RESULTADO	OBSERVACIONES
008	A615 #10 - Perfil de soldadura de ranura en V (ambos lados A y B) - Ø 1/2	-	Aceptado	Hacer seguimiento mediante inspecciones por NDT.

4.1.2. Ensayo de partículas magnéticas

El proceso de la inspección de partículas magnéticas será bajo las normas ASTM E1444 / E709-80 / ASME Sección V - Art. 7 (MT).

Tabla 32. Descripción del método para el ensayo de partículas magnéticas [55].

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO / CONSUMIBLES									
EQUIPO MAGNÉTICO				PARTICULAS: SECAS MAGNAFLUX					
MARCA: MAGNAFLUX		MODELO: Y7		APLICACIÓN DEL MEDIO: SECO					
MÉTODO DE INSPECCIÓN			MAGNETIZACIÓN REALIZADA						
Seco	<input checked="" type="checkbox"/>	Visible	<input checked="" type="checkbox"/>	Residual	<input type="checkbox"/>	Continuo	<input checked="" type="checkbox"/>	Continuo/Residual	<input checked="" type="checkbox"/>
Húmedo	<input type="checkbox"/>	Fluorescente	<input type="checkbox"/>	CA	<input checked="" type="checkbox"/>	CC	<input type="checkbox"/>	HWDC	<input type="checkbox"/>
MAGNETIZACIÓN MEDIANTE			DIRECCIÓN DE CAMPO		FUERZA DE CAMPO		REQUIERE DESMAGNETIZACIÓN		
Electrodo	<input type="checkbox"/>	Bobina	<input type="checkbox"/>	Circular	<input checked="" type="checkbox"/>	Si (±3 Gauss)	Si (±3 Gauss)		<input checked="" type="checkbox"/>
Yugo	<input checked="" type="checkbox"/>	Otros	<input type="checkbox"/>	Longitudinal	<input type="checkbox"/>		No requiere		<input checked="" type="checkbox"/>



Ilustración 89. Aplicación de partículas secas en zona magnetizada de las barras de ASTM A615 y ASTM A706 de ϕ 1/2" y ϕ 5/8" [55].

4.1.2.1. Resultados de los ensayos

Los resultados de las probetas sometidas al ensayo de partículas magnéticas se muestran en las siguientes ilustraciones y tablas:

Prueba de Partículas Magnéticas en barra ASTM A706 de ϕ 5/8".



Ilustración 90. Probeta #02 – Partículas Magnéticas - ASTM A706 de 5/8" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].

Tabla 33. Resultado de la Probeta #02 – Partículas Magnéticas - ASTM A706 de 5/8" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].

CÓDIGO DE MUESTRA	IDENTIFICACION DE LA ZONA	INDICACIÓN	RESULTADO	OBSERVACIONES
001	A706 #02 - Perfil de soldadura de ranura en V (ambos lados A y B) - Ø 5/8	-	Aceptado	Hacer seguimiento mediante inspecciones por NDT.



Ilustración 91. Probeta #03 – Partículas Magnéticas - ASTM A706 de 5/8" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].

Tabla 34. Resultado de la Probeta #03 – Partículas Magnéticas - ASTM A706 de 5/8" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].

CÓDIGO DE MUESTRA	IDENTIFICACION DE LA ZONA	INDICACIÓN	RESULTADO	OBSERVACIONES
002	A706 #03 - Perfil de soldadura de ranura en V (ambos lados A y B) - Ø 5/8	-	Aceptado	Hacer seguimiento mediante inspecciones por NDT.

Prueba de Partículas Magnéticas en barra ASTM A706 de ϕ 1/2".

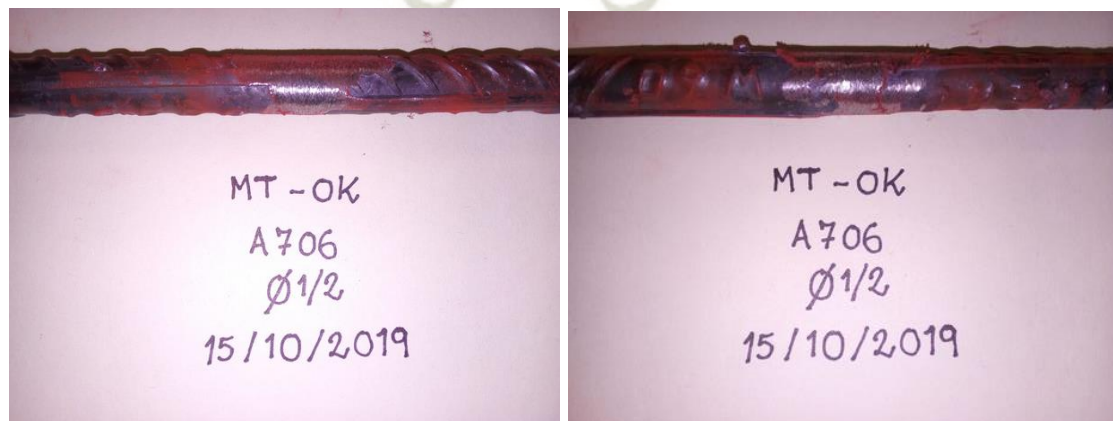


Ilustración 92. *Probeta #07 – Partículas Magnéticas - ASTM A706 de 1/2" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].*

Tabla 35. *Resultado de la Probeta #07 – Partículas Magnéticas - ASTM A706 de 1/2" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].*

CÓDIGO DE MUESTRA	IDENTIFICACION DE LA ZONA	INDICACIÓN	RESULTADO	OBSERVACIONES
003	A706 #07 - Perfil de soldadura de ranura en V (ambos lados A y B) - Ø 1/2	Fisura sub superficial con una longitud de 5 mm	Rechazado	Reparar y hacer limpieza de salpicaduras.



Ilustración 93. *Probeta #09 – Partículas Magnéticas - ASTM A706 de 1/2" soldadura con electrodo E8018-C3.*

Tabla 36. *Resultado de la Probeta #09 – Partículas Magnéticas - ASTM A706 de 1/2" soldadura con electrodo E8018-C3 [55].*

CÓDIGO DE MUESTRA	IDENTIFICACION DE LA ZONA	INDICACIÓN	RESULTADO	OBSERVACIONES
004	A706 #09 - Perfil de soldadura de ranura en V (ambos lados A y B) - Ø 1/2	-	Aceptado	Hacer seguimiento mediante inspecciones por NDT.

Prueba de Partículas Magnéticas en barra ASTM A615 de $\phi 5/8''$.



Ilustración 94. Probeta #04 – Partículas Magnéticas - ASTM A615 de 5/8" soldadura con electrodo E9018-G [55].

Tabla 37. Resultado de la Probeta #04 – Partículas Magnéticas - ASTM A65 de 5/8" soldadura con electrodo E9018-G [55].

CÓDIGO DE MUESTRA	IDENTIFICACION DE LA ZONA	INDICACIÓN	RESULTADO	OBSERVACIONES
005	A615 #04 - Perfil de soldadura de ranura en V (ambos lados A y B) - Ø 5/8	-	Aceptado	Hacer seguimiento mediante inspecciones por NDT.



Ilustración 95. Probeta #06 – Partículas Magnéticas - ASTM A615 de 5/8" soldadura con electrodo E9018-G [55].

Tabla 38. Resultado de la Probeta #06 – Partículas Magnéticas - ASTM A615 de 5/8" soldadura con electrodo E9018-G [55].

CÓDIGO DE MUESTRA	IDENTIFICACION DE LA ZONA	INDICACIÓN	RESULTADO	OBSERVACIONES
006	A615 #06 - Perfil de soldadura de ranura en V (ambos lados A y B) - Ø 5/8	Falta de material de aporte con material base.	Rechazado	Reparar.

Prueba de Partículas Magnéticas en barra ASTM A615 de ϕ 1/2".

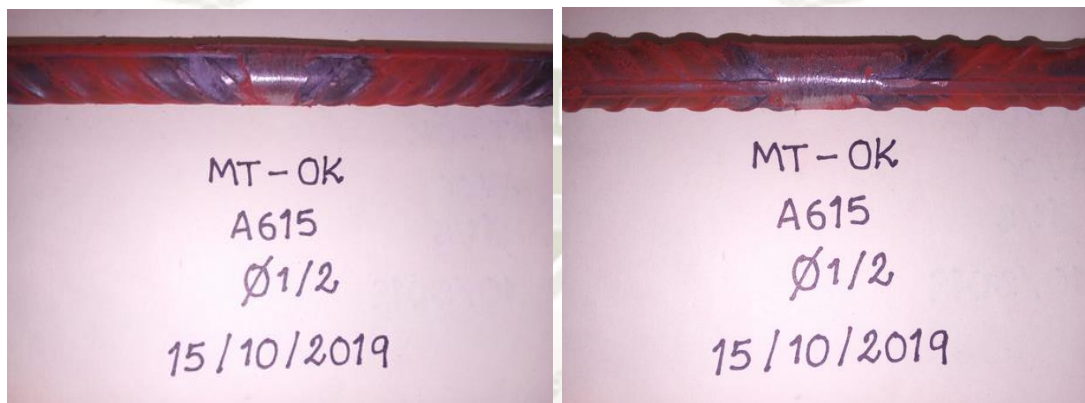


Ilustración 96. Probeta #11 – Partículas Magnéticas - ASTM A615 de 1/2" soldadura con electrodo E9018-G [55].

Tabla 39. Resultado de la Probeta #11 – Partículas Magnéticas - ASTM A156 de 1/2" soldadura con electrodo E9018-G [55].

CÓDIGO DE MUESTRA	IDENTIFICACION DE LA ZONA	INDICACIÓN	RESULTADO	OBSERVACIONES
007	A615 #11 - Perfil de soldadura de ranura en V (ambos lados A y B) - Ø 1/2	-	Aceptado	Hacer seguimiento mediante inspecciones por NDT.

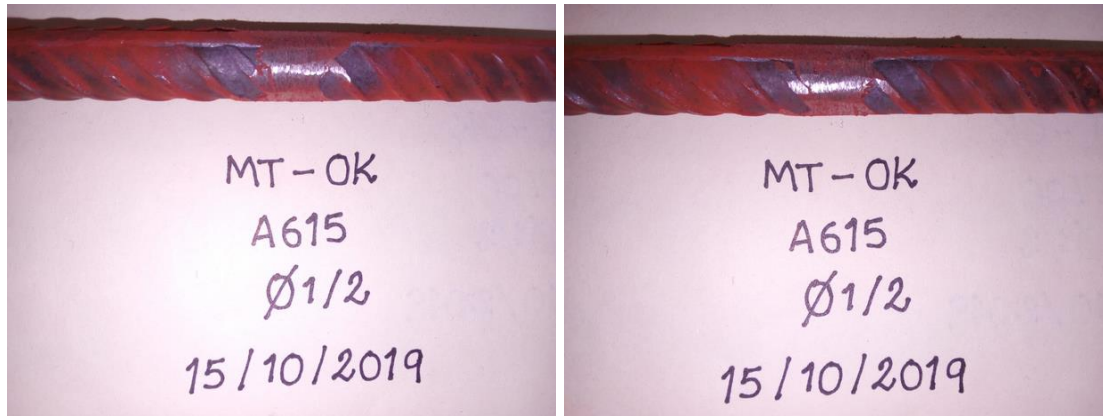


Ilustración 97. Probeta #10 – Partículas Magnéticas - ASTM A615 de 1/2" soldadura con electrodo E9018-G [55].

Tabla 40. Resultado de la Probeta #10 – Partículas Magnéticas - ASTM A615 de 1/2" soldadura con electrodo E9018-G [55].

CÓDIGO DE MUESTRA	IDENTIFICACION DE LA ZONA	INDICACIÓN	RESULTADO	OBSERVACIONES
008	A615 #10 - Perfil de soldadura de ranura en V (ambos lados A y B) - Ø 1/2	-	Aceptado	Hacer seguimiento mediante inspecciones por NDT.

CONCLUSIONES

- a) Para la determinación de los parámetros se utilizamos la Norma AWS D1.4/D1.4M:2006 teniendo como proceso SMAW con una junta a Tope con ranura en “V” y el metal de aporte para el ASTM A615 se utilizó el Tenacito 65 (E9018-G) y para el ASTM A706 utilizamos en Tenacito 80 (E8018-C3).
- b) El código ACI 318S-05 y AWS D1.4/D1.4M:2005 nos indica que el valor obtenido en el esfuerzo de tracción no debe ser menor que el 1.25 veces al esfuerzo de fluencia mínimo (525Mpa), donde nuestras probetas soldadas ASTM A706 y ASTM 615 fueron sometidas al ensayo de Tracción obteniendo como valor mínimo de esfuerzo de fluencia 567.56 Mpa., cumpliendo con los requisitos del ACI y AWS.
- c) Para determinar los criterios de dureza utilizaremos el código AWS D1.1/1.1M:2005 el cual nos indica que la zona afectada por el calor de junta de filete no ocurre si esta presenta dureza por debajo de 350HV para electrodos de alto hidrógeno y de bajo hidrogeno dureza por debajo de los 400HV, teniendo en nuestro caso dureza por debajo de los 250 HV en ambas uniones soldadas, asumiendo que no existiría problemas de fisuración.
- d) Se realizaron dos ensayos no destructivos en las uniones soldadas ASTM A706 con E8018-C3 y ASTM A615 con E9018-G donde los resultados en los ensayos de Líquidos Penetrantes nos indican que no presentan discontinuidad superficial en ambos casos y los ensayos de Partículas Magnéticas el 75% de las probetas cumplen los requisitos de la norma.
- e) Los análisis macrográficos en las uniones soldadas del acero ASTM A615 presentan porosidad en la zona de la soldadura, mientras que la unión soldada del acero ASTM A706 no se encuentra porosidad. Los análisis micrográficos de ambos aceros

estructurales realizados en metal base y la zona afectada por el calor muestra la presencia de las estructuras Ferrítico-Perlítico y en el cordón de soldadura constituido por ferrita acicular, lo que nos indican ausencia de estructuras frágiles en las uniones soldadas de ambos aceros corrugados.

- f) Si bien la norma no indica el ensayo de doblado para uniones soldadas de fierro corrugado ASTM A706 y ASTM A615 se toma la distancia del diámetro de doblado de la tablas 3 y 4 para conocer la ductilidad de las uniones soldadas, teniendo como resultado que la unión soldada del acero ASTM A706 con Tenacito 80 (E8018-C-3) presenta una buena ductilidad como si fuera una barra virgen sin presentar fisuras y la unión soldada del acero ASTM A615 con Tenacito 65 (E9018-G) presenta una fisura en la cara exterior doblado, pero no llega a quebrarse, teniendo una buena calidad de soldadura en ambos casos.

RECOMENDACIONES

1. Realizar limpieza de las juntas de las barras corrugas ASTM A615 y ASTM A706, antes y durante el proceso de soldadura para la prevención de escoria, salpicadura y gases atrapados.
2. La técnica de soldeo para la soldadura de las barras corrugadas es impórtate para garantizar un gran aporte de calor y menor número de pasadas, se recomienda soldeo oscilante.
3. Tener en cuenta el amperaje de los electrodos E8018-C3 y E9018-G para la prevención de salpicaduras en la barra corrugada y aporte.
4. Los electrodos E8018-C3 y E9018-G son de bajo hidrogeno, se recomienda realizar el secado correspondiente a las indicaciones del proveedor.
5. Utilizar el precalentamiento de las barras ASTM A706 y ASTM A615 según norma AWS D1.4/D1.4M:2005 para evitar grietas en las barras corrugadas o en la zona afectada por el calor.
6. Reducir la velocidad de enfriamiento de las barras corrugadas soldadas para prevenir estructuras duras y porosidades.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] CAP S.A., «¿Qué es el Acero?,» 2000. [En línea]. Available: http://www.infoacero.cl/acero/que_es.htm. [Último acceso: Diciembre 2017].
- [2] SOLDEXA S.A., Manual de Soldadura y Catálogos de Productos..
- [3] Wikipedia. La enciclopedia libre, «Acero,» 26 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Acero>. [Último acceso: Diciembre 2017].
- [4] T. D. C. R. DENGRA, «CARACTERISTICAS DEL ACERO,» [En línea]. Available: <http://webfacil.tinet.cat/rdengra/12169>. [Último acceso: Diciembre 2017].
- [5] All studies Estudios Universitarios, «Acero Estructural,» 2017. [En línea]. Available: <http://allstudies.com/acero-estructural.html>. [Último acceso: Enero 2018].
- [6] CONSTRUMATICA, «Propiedades del Acero Aleado,» [En línea]. Available: http://www.construmatica.com/construpedia/Propiedades_del_Acero_Aleado. [Último acceso: Enero 2018].
- [7] Aceros Arequipa, «Proceso de Producción,» [En línea]. Available: <http://www.acerosarequipa.com/procesos-de-produccion.html>. [Último acceso: Marzo 2018].
- [8] Aceros Arequipa, «Reciclaje: Aprovechando el Acero en Desuso,» [En línea]. Available: <http://www.acerosarequipa.com/sistema-integrado-gestion-reciclaje.html>.
- [9] Aceros Arequipa, «Proceso de Acería,» [En línea]. Available: <http://www.acerosarequipa.com/proceso-de-aceria.html>. [Último acceso: Marzo 2018].
- [10] Aceros Arequipa, «Proceso de Laminación,» [En línea]. Available: <http://www.acerosarequipa.com/proceso-de-laminacion.html>. [Último acceso: Marzo 2018].

- [11] RUBRO MINERO, «ESTRUCTURAS METÁLICAS : EFICIENCIA DE ACERO,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.rumbominero.com/revista/informes/estructuras-metalicas/>. [Último acceso: Marzo 2018].
- [12] Perú País Minero, «CERRO VERDE INAUGURA PLANTA CONCENTRADORA DE COBRE MÁS GRANDE DE LATINOAMÉRICA,» 24 mayo 2016. [En línea]. Available: <http://www.perupaisminero.org/2016/05/cerro-verde-inaugura-planta-concentradora-de-cobre-mas-grande-de-latinoamerica/>.
- [13] Aceros Arequipa, «Fierro Corrugado ASTM A615-GRADO 60 / NTP 341.031-GRADO60,» p. 2.
- [14] Aceros Arequipa, «Fierro Corrugado ASTM A706-GRADO 60 / NTP 339.186-GRADO60,» vol. 2.
- [15] J. G. MacGregor y J. k. Wight, Reinforced Concrete - Mechanics and Design, 6ta. ed., Pearson, 2012.
- [16] ESAB, «Proceso de Soldadura - SMAW,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.esab.com.ar/ar/sp/education/blog/proceso-soldadura-smaw.cfm>.
- [17] Universidad de Santiago de Compostela, «NORMA DE SEGURIDAD - SOLDADURA,» 03 Marzo 2018. [En línea]. Available: <http://www.usc.es/export9/sites/webinstitucional/gl/servizos/spr1/descargas/NPR-08-ES-Ed-3-Soldadura.pdf>.
- [18] INDURA, «Protección Personal,» *Medidas de Seguridad Personal para Soldar*, n° 1.
- [19] AMADA MIYACHI AMERICA, «Zona afectada por el calor (HAZ),» 2016. [En línea]. Available: <http://spanish.amadamiyachi.com/glossary/glosshaz>. [Último acceso: Abril 2018].

- [20] METFUSION, «SOLDADURA CON ELECTRODOS REVESTIDOS SMAW/MMA 111.,» [En línea]. Available: <https://metfusion.wordpress.com/2013/08/08/soldadura-con-electrodos-revestidos/>.
- [21] A. S. M., «Agrietamiento en soldaduras,» 26 febrero 2012. [En línea]. Available: <http://www.alexandersaavedra.com/2012/02/agrietamiento-en-soldaduras.html>.
- [22] DOKUMEN, «Tema 4 Fisuración en Frio y en Caliente,» [En línea]. Available: <https://dokumen.tips/documents/tema-4-fisuracion-en-frio-y-en-caliente.html>.
- [23] METFUSION, «SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS,» 10 Agosto 2013. [En línea]. Available: <https://metfusion.wordpress.com/2013/08/10/soldabilidad-de-los-aceros/>. [Último acceso: Abril 2018].
- [24] SlideShare, «Soldexa Secuencia De Soldeo,» [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/joe99999/soldexa-secuencia-de-soldeo>.
- [25] Lincoln Electric, «Precalentamiento Antes de la Soldadura,» 1999-2018. [En línea]. Available: <http://www.lincolnelectric.com/es-mx/support/welding-solutions/Pages/preheat-before-welding-detail.aspx>. [Último acceso: Abril 2018].
- [26] ESAB, «Electricidad-Soldadura,» de *Fundamentos de la Soldadura por Arco Eléctrico*, Buenos Aires, 2006, p. 32.
- [27] American Welding Society, «Structural Welding Code - Reinforcing Steel,» de *AWS D1.4/D1.4M:2005*, 2005, p. 82.
- [28] American Concrete Institute, *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentario (ACI 318SR-05)*, Farmington Hills, Michigan - USA, 2005.
- [29] Federación de Enseñanza de CC.OO de Andalucía, «ENSAYOS DESTRUCTIVOS EN LA SOLDADURA,» Julio 2011. [En línea]. Available: <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8566.pdf>. [Último acceso: 20 Octubre 2019].

- [30] IBERTEST, «Máquina de ensayo universal hidráulica – Serie IBMU4,» [En línea].
Available: <https://www.ibertest.es/products/maquina-de-ensayos-universal-hidraulica-serie-ibmu4/>.
- [31] WordPress, «Resistencia de materiales,» [En línea]. Available:
<https://ibiguridp3.wordpress.com/res/esf/>.
- [32] «Mecatrónica S1,» 10 Agosto 2015. [En línea]. Available: <http://mecatronica-ipns1.blogspot.com/2015/08/ensayos-de-impacto-charpy-e-izod.html>.
- [33] ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE SOLDADURA Y TECNOLOGÍAS DE UNIÓN, «ENSAYOS MECÁNICOS Y SU APLICACIÓN A LA CARACTERIZACIÓN DE UNIONES SOLDADAS,» p. 18, 2016.
- [34] Copyright © 2019 Struers, «Ensayo de dureza Brinell (HB),» 2019. [En línea].
Available: <https://www.struers.com/es-ES/Knowledge/Hardness-testing/Brinell#findoutmore>. [Último acceso: 25 octubre 2019].
- [35] A. E. Ramírez, «Trazabilidad y Unificación de las escalas de Dureza en México,» *CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA*, p. 2, 1998.
- [36] IngeMecanica, «Medición de la Dureza de los Materiales,» [En línea]. Available:
https://ingemecanica.com/tutoriales/tabla_dureza.html.
- [37] Copyright © 2019 Struers, «Ensayo de dureza Rockwell (HR),» 2019. [En línea].
Available: <https://www.struers.com/es-ES/Knowledge/Hardness-testing/Rockwell#>.
[Último acceso: 2019 octubre 25].
- [38] Universitat Politècnica de València, «ENSAYOS DE DUREZA,» [En línea].
Available: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/ptrb2_2_6.html.

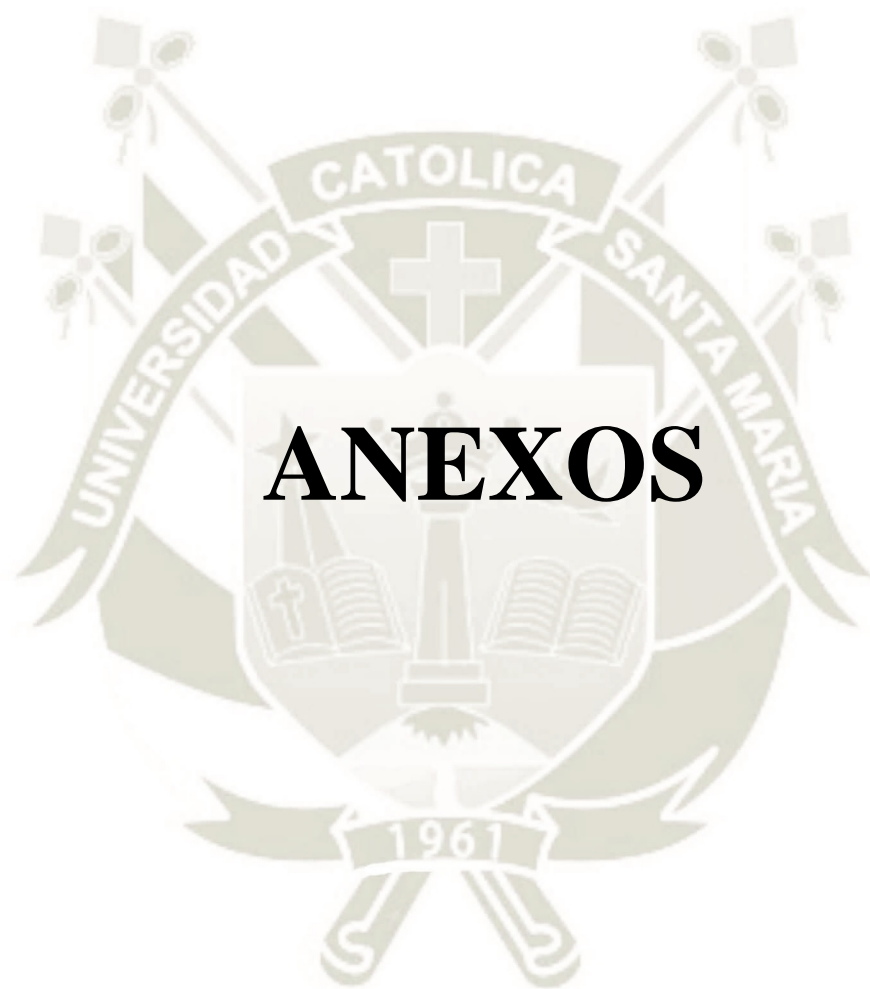
- [39] E-educativa, «Ensayo Rockwell,» [En línea]. Available: http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4913/html/143_ensayo_rockwell.html.
- [40] Copyright © 2019 Struers, «Ensayo de dureza Vickers (HV),» 2019. [En línea]. Available: <https://www.struers.com/es-ES/Knowledge/Hardness-testing/Vickers#>. [Último acceso: 2019 octubre 25].
- [41] H. R. Galbarro, «Ensayos de Dureza en los Materiales - Ingemecánica,» [En línea]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn218.html>. [Último acceso: 2019 octubre 25].
- [42] EcuRed, «Ensayo de doblado,» 23 julio 2019. [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Ensayo_de_doblado.
- [43] EcuRed, «Ensayo de doblado,» [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Ensayo_de_doblado.
- [44] NON DESTRUCTIVE EVALUATION SERVICES, «Ensayos de Doble en Probetas,» [En línea]. Available: http://nde-predictivo.com/servicios-ensayos_destructivos-ensayos_de_doble_de_probetas.html#servicios. [Último acceso: 27 octubre 2019].
- [45] MATERIALES y ENSAYOS, «ENSAYO DE PLEGADO,» [En línea]. Available: <https://matensayos.webcindario.com/ensayos/plegado.htm>.
- [46] Federación de Enseñanza de CC.OO. de Andalucía, «METALOGRAFÍA,» noviembre 2011. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Metalograf%C3%ADa>.
- [47] NEXO, «Microscopio trinocular metalográfico de investigación,» [En línea]. Available: <https://nes.pe/microscopio-trinocular-metalografico-de-investigacion/>.

- [48] SCI. CONTROL & INSPECCION, «ENSAYO NO DESTRUCTIVO: TIPOS Y FUNCIONES,» 2017. [En línea]. Available: <https://scisa.es/ensayo-no-destructivo/>. [Último acceso: Abril 2018].
- [49] Wikipedia. La enciclopedia libre, «Ensayo no destructivo,» 19 Marzo 2018. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo_no_destructivo. [Último acceso: Abril 2018].
- [50] Wikipedia. La enciclopedia libre, «Inspección por líquidos penetrantes,» 6 Marzo 2018. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Inspección_por_líquidos_penetrantes. [Último acceso: Abril 2018].
- [51] Endases, «LÍQUIDOS PENETRANTES,» [En línea]. Available: http://endases.mex.tl/photo_26975_L-QUIDOSPENETRANTES.html.
- [52] INTERTERK, «ENSAYO NO DESTRUCTIVOS,» n° 6, p. 3.
- [53] Llog S.A. de C.V., «Principios de inspección por Partículas Magnéticas,» Mayo 2012. [En línea]. Available: http://www.llogsa.com/Descargas/Ultratips/Ediciones/Utipsed_166.php.
- [54] L. B. Andrade, «Ultrasonido Industrial,» [En línea]. Available: <https://monitoreocondicion.es.tl/Ultrasonido-Industrial.htm>.
- [55] T. W. Arcos Huillca, ESTUDIO COMPARATIVO DE LA SOLDABILIDAD, PROPIEDADES MECÁNICAS Y METALOGRÁFICAS DE LOS ACEROS ESTRUCTURALES DE GRADO 60, A615 Y A706 PRODUCIDOS EN EL PERÚ, Arequipa, 2019.
- [56] MILLER, XMT 350 CC/CV Auto-Line IEC, EE.UU., 2005.

[57] Robert Bosch GmbH, «Amoladora angular GWS 26-230 Professional,» [En línea].

Available: <https://www.bosch-professional.com/pe/es/products/gws-26-230-06018A60E0>.





ANEXOS

A large, faint watermark of the Universidad Católica de Santa María logo is centered in the background. It features a shield with a cross, a book, and a scale, surrounded by a banner with the year 1961.

ANEXO 1

FIERRO CORRUGADO

ASTM A706-GRADO 60

Fierro Corrugado

ASTM A706-GRADO 60 / NTP 339.186-GRADO 60

DENOMINACIÓN:

Fierro Corrugado ASTM A706-Grado 60.

DESCRIPCIÓN:

Barras de acero microaleado de alta ductilidad, rectas de sección circular, con resaltes Hi-bond de alta adherencia con el concreto.

USOS:

El acero A706 se usa como refuerzo para concreto armado, en estructuras sismorresistentes - según lo especificado en el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú (Norma E.060) y el Reglamento del American Concrete Institute (ACI 318, sección 21) - y donde se requiera el soldado de las estructuras.

NORMAS TÉCNICAS:

Composición Química, Propiedades Mecánicas y Tolerancias Dimensionales:
ASTM A706 Grado 60 y Norma Técnica Peruana NTP 339.186 Grado 60.

PRESENTACIÓN:

Se produce en barras de 9 m y 12 m de longitud en los siguientes diámetros: 6mm, 8mm, 3/8", 12mm, 1/2", 5/8", 3/4", 1", 1 1/4" y 1 3/8". Previo acuerdo, se puede producir en otros diámetros y longitudes requeridos por los clientes. Se suministra en paquetes de 2 toneladas, en varillas y como Acero Dimensionado.

DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES:

DIÁMETRO DE BARRA		SECCIÓN (mm ²)	PERÍMETRO (mm)	PESO NOMINAL (kg/m)
Pulg.	mm			
-	6.0	28.0	18.8	0.220
-	8.0	50.0	25.1	0.395
3/8"	9.52	71.0	29.9	0.560
-	12.0	113.0	37.7	0.888
1/2"	12.7	129.0	39.9	0.994
5/8"	15.9	199.0	49.9	1.552
3/4"	19.1	284.0	59.8	2.235
1"	25.4	510	79.8	3.973
1 1/4"	32.3	819	101.3	6.404
1 3/8"	35.8	1006	112.5	7.907

COMPOSICIÓN QUÍMICA EN LA CUCHARA (%):

Por su bajo contenido de carbono, es un material con mayor soldabilidad que las barras de construcción ASTM A615 Grado 60.

C = 0.30 máx. Mn = 1.50 máx. Si = 0.50 máx.

P = 0.035 máx. S = 0.045 máx.

Carbono Equivalente (CE) = 0.55 máx., para garantizar buena soldabilidad. Es calculado con la siguiente fórmula:

$$CE = \%C + \%Mn/6 + \%Cu/40 + \%Ni/20 + \%Cr/10 - \%Mo/50 - \%V/10$$

PROPIEDADES MECÁNICAS:

Límite de Fluencia (fy) = 4,280 - 5,510 kg/cm² mínimo

Resistencia a la Tracción (R) = 5,610 kg/cm² mínimo

Relación R/fy ≥ 1.25

Alargamiento en 200 mm:

Diámetros:

6mm, 8mm, 3/8",

12mm, 1/2", 5/8" y 3/4" = 14% mínimo

1", 1 1/4" y 1 3/8" = 12% mínimo

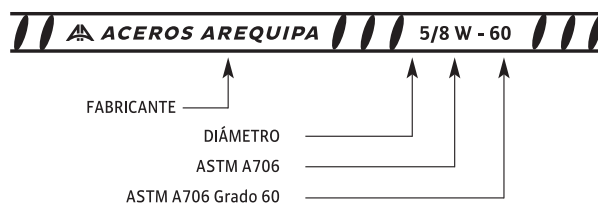
Doblado a 180° = Bueno en todos los diámetros.

Los diámetros de doblado especificados por las Normas Técnicas para la prueba de doblado son:

DIÁMETRO BACO (d)	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	1"	1 1/4"	1 3/8"
DIÁMETRO DOBLADO	3d	3d	3d	4d	4d	6d	6d
mm	28.6	38.1	47.6	76.2	101.6	193.6	214.8

IDENTIFICACIÓN:

Los fierros son identificados por marcas de laminación en alto relieve que indican el fabricante, el diámetro, la norma y el grado del acero. Se le reconoce por la letra "W".



QCQA01-F119 / 02 / ABR 16

ISO 9001
ISO 14001
OHSAS 18001
BUREAU VERITAS
Certification



LIMA: Av. Antonio Miró Quesada N° 425, Piso 17, Magdalena del Mar (Ex Juan de Aliaga), Lima 17-Perú. Tlf. (51)(1) 517-1800 / Fax Central (51)(1) 452-0059.

AREQUIPA: Calle Jacinto Ibáñez 111, Pque. Industrial. Arequipa-Perú. Tlf.(51)(54) 23-2430 / Fax.(51)(54) 21-9796.

PISCO: Panamericana Sur Km.240. Ica-Perú. Tlf.(51)(56) 58-0830 / Fax.(51)(56) 58-0858.

www.acerosarequipa.com

Encuétranos en:

"Este producto fue manufacturado bajo los controles establecidos por Bureau Veritas Certification aprobando el Sistema Integrado de Gestión que confirma con los certificados: ISO 9001:2015 No. AR16.10045 U, ISO 14001:2015 No. AR16.10046 U y OHSAS 1801:2007 No. PE17.0088"

**ACEROS
AREQUIPA**

ANEXO 2

FIERRO CORRUGADO

ASTM A615-GRADO 60

Fierro Corrugado

ASTM A615-GRADO 60 / NTP 341.031-GRADO 60

DENOMINACIÓN:

Fierro Corrugado ASTM A615-Grado 60.

DESCRIPCIÓN:

Barras de acero rectas de sección circular, con resaltes Hi-bond de alta adherencia con el concreto.

USOS:

Se utiliza en la construcción de edificaciones de concreto armado de todo tipo: en viviendas, edificios, puentes, obras industriales, etc.

NORMAS TÉCNICAS:

Composición Química, Propiedades Mecánicas y Tolerancias dimensionales:

- ASTM A615 Grado 60.
- Norma Técnica Peruana NTP 341.031 Grado 60.
- Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú.

PRESENTACIÓN:

Se produce en barras de 9 m y 12 m de longitud en los siguientes diámetros: 6 mm, 8 mm, 3/8", 12 mm, 1/2", 5/8", 3/4", 1" y 1 3/8". Previo acuerdo, se puede producir en otros diámetros y longitudes requeridos por los clientes.

Se suministra en paquetes de 2 toneladas y en varillas. Las barras de 6 mm también se comercializan en rollos de 550 Kg.

DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES:

DIÁMETRO DE BARRA		SECCIÓN (mm ²)	PERÍMETRO (mm)	PESO MÉTRICO NOMINAL (kg/m)
Pulg.	mm			
-	6	28	18.8	0.220
-	8	50	25.1	0.395
3/8	-	71	29.9	0.560
-	12	113	37.7	0.888
1/2	-	129	39.9	0.994
5/8	-	199	49.9	1.552
3/4	-	284	59.8	2.235
1	-	510	79.8	3.973
1 3/8	-	1,006	112.5	7.907

PROPIEDADES MECÁNICAS:

Límite de Fluencia (fy) = 4,280 kg/cm² mínimo.
Resistencia a la Tracción (R) = 6,320 kg/cm² mínimo.
Relación R/fy ≥ 1.25

Alargamiento en 200 mm:

Diámetros:

6 mm, 8 mm, 3/8", 12 mm, 1/2", 5/8" y 3/4" = 9% mínimo
1" = 8% mínimo
1 3/8" = 7% mínimo

Doblado a 180°= Bueno en todos los diámetros.

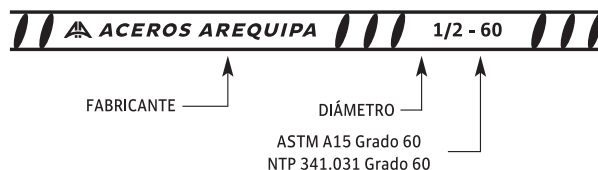
Los diámetros de doblado especificados por las Normas Técnicas para la prueba de doblado son:

DIÁMETRO BARRA (d)	6 mm	8 mm	3/8"	12 mm	1/2"	5/8"	3/4"	1"	1 3/8"
DIÁMETRO DOBLADO	3.5d	3.5d	3.5d	3.5d	3.5d	3.5d	5.0d	5.0d	7.0d
mm	21.0	28.0	33.3	42.0	44.5	55.6	95.3	127.0	250.7

"d" .- se considera el diámetro nominal de la barra establecido por la norma ASTM A615

IDENTIFICACIÓN:

Los fierros son identificados por marcas de laminación en alto relieve que indican el fabricante, el diámetro y el grado del acero.



QCQA01-F100/02/ABR 16

ISO 9001
ISO 14001
OHSAS 18001
BUREAU VERITAS
Certification



"Este producto fue manufacturado bajo los controles establecidos por Bureau Veritas Certification aprobando el Sistema Integrado de Gestión que confirma con los certificados: ISO 9001:2015 No. AR16.10045 U, ISO 14001:2015 No. AR16.10046 U y OHSAS 1801:2007 No. PE17.0088"

LIMA: Av. Antonio Miró Quesada N° 425, Piso 17, Magdalena del Mar (Ex Juan de Aliaga), Lima 17-Perú. Tlf. (51)(1) 517-1800 / Fax Central (51)(1) 452-0059.

AREQUIPA: Calle Jacinto Ibáñez 111, Pque. Industrial. Arequipa-Perú. Tlf.(51)(54) 23-2430 / Fax.(51)(54) 21-9796.

PISCO: Panamericana Sur Km.240. Ica-Perú. Tlf.(51)(56) 58-0830 / Fax.(51)(56) 58-0858.

www.acerosarequipa.com

Encuétranos en:

**ACEROS
AREQUIPA**



ANEXO 3

PROPIEDADES

TENACITO 80

REPOSITORIO DE

TESIS



 UNIVERSIDAD
 CATÓLICA
 DE SANTA MARÍA

TESIS 10300 revestido de tipo básico para soldar acero de alta resistencia, cuyo depósito es un acero de baja aleación al níquel (1% Ni). El metal depositado posee muy buena resistencia a los fenómenos de fisuración en frío y en caliente, además de tener muy buena tenacidad. Ideal para aplicaciones que implican alta resistencia a bajas temperaturas hasta -40°C.

Clasificación

AWS A5.5 / ASME-SFA 5.5 E8018-C3

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

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,06	1,20	0,30	máx. 0,020	máx. 0,020	0,10	1,10	0,05	-	-

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida ISO-V [°C (°F)] [J (Ft-Lbf)]
Sin tratamiento	560 – 650 (81 200 – 94 250)	mín. 470 (68 150)	mín. 24	[-40°C (-40°F)] mín. 70 (53)

Conservación del Producto

- Mantener en un lugar seco y evitar humedad.
- Almacenamiento en horno: 125 a 150°C.
- Resecado de 400°C a 420°C por 1 hora.

Posiciones de Soldadura

P, H, Va, Sc.



Parámetros de Soldeo Recomendados

Para corriente alterna(AC) o continua (DC): Electrodo al polo positivo DCEP

Diámetro	[mm]	1,60	2,50	3,25	4,00	5,00	6,30
	[pulgadas]	1/16	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo	-	60	90	120	180	-	-
Amperaje máximo	-	100	140	180	270	-	-

Aplicaciones

- Para soldar aceros tipo T1; T1A; T1B en ciertas aplicaciones.
- Aceros de construcción de grano fino y altamente resistente (hasta 550 MPa de resistencia a la tracción).
- Aceros COR-TEN en sus diferentes grados.
- Aceros N-A-XTRA 30, N-A-XTRA 75; HSB 77 V.
- Como cojín amortiguador o capa de base para recubrimiento protectores.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis.

Nota: El precalentamiento está en función al tipo y espesor del material a soldar.



ANEXO 4

PROPIEDADES

TENACITO 65

REPOSITORIO DE

TESIS UCOM



UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE SANTA MARÍA

Acero revestido de tipo básico de alta resistencia a la fisuración, diseñado para soldar aceros estructurales de grano fino y alta resistencia mecánica. Presenta un arco estable, lo que le permite realizar con facilidad pases de raíz y soldaduras en posiciones forzadas.

Clasificación

AWS A5.5 / ASME-SFA 5.5	E9018-G
-------------------------	---------

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

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,05	1,50	0,30	máx. 0,03	máx. 0,03	0,40	1,10	-	máx. 0,10	-

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida ISO-V [°C (°F)] [J (Ft-Lbf)]
Sin tratamiento	630 - 750 (91 350 - 108 750)	mín. 560 (81 200)	mín. 17	[-50°C (-58°F)] mín. 50 (37)

Conservación del Producto

- Mantener en un lugar seco y evitar humedad.
- Almacenamiento en horno: 120 a 150°C.
- Resecado de 340°C a 360°C por 2 horas.

Posiciones de Soldadura

P, H, Va, Sc.



Parámetros de Soldeo Recomendados

Para corriente alterna(AC) o continua (DC): Electrodo al polo positivo DCEP

Diámetro	[mm]	1,60	2,50	3,25	4,00	5,00	6,30
	[pulgadas]	1/16	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo	-	65	90	130	180	-	-
Amperaje máximo	-	95	140	180	240	-	-

Tratamiento Térmico

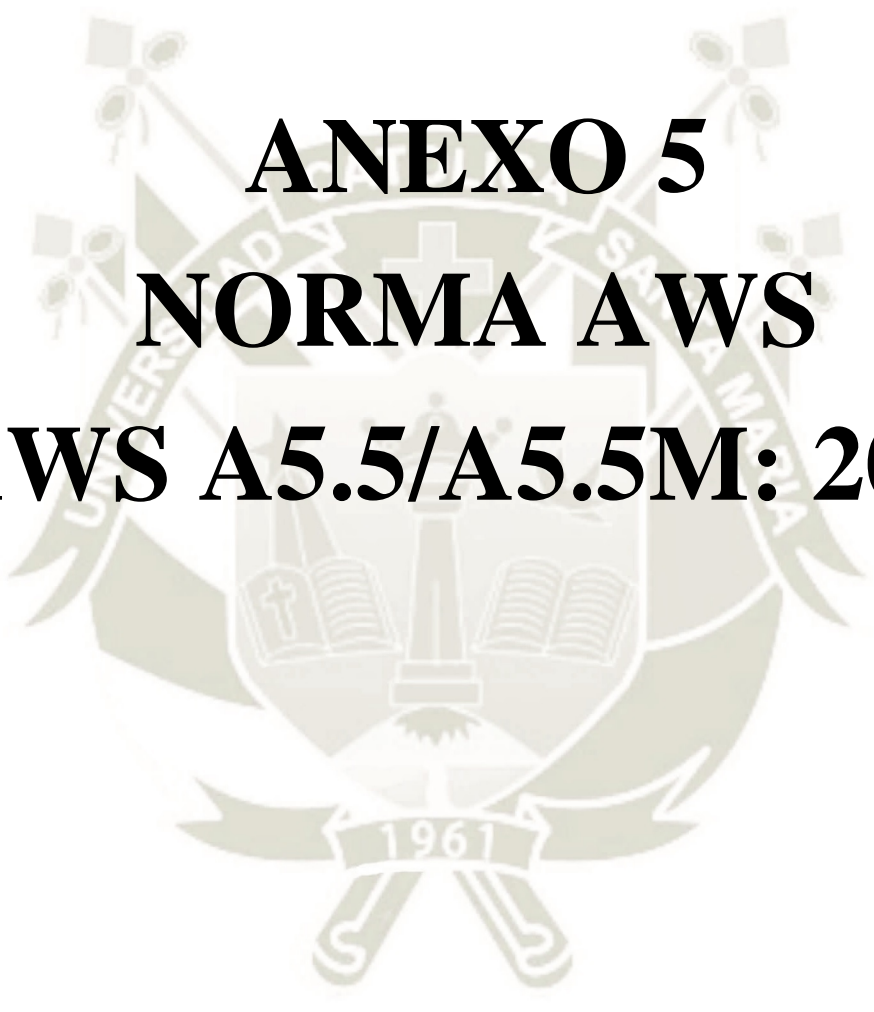
- Tratamiento térmico en función al tipo de aplicación.

Aplicaciones

- Para soldar aceros estructurales de grano fino, aceros de mediano carbono, aceros de baja aleación y alta resistencia p.e. ASTM A615 Gr 60 (Barras de Construcción).
- Para soldar aceros al carbono resultanzado del tipo C1110, C1112, C1113, C1115, C1117, C1132.

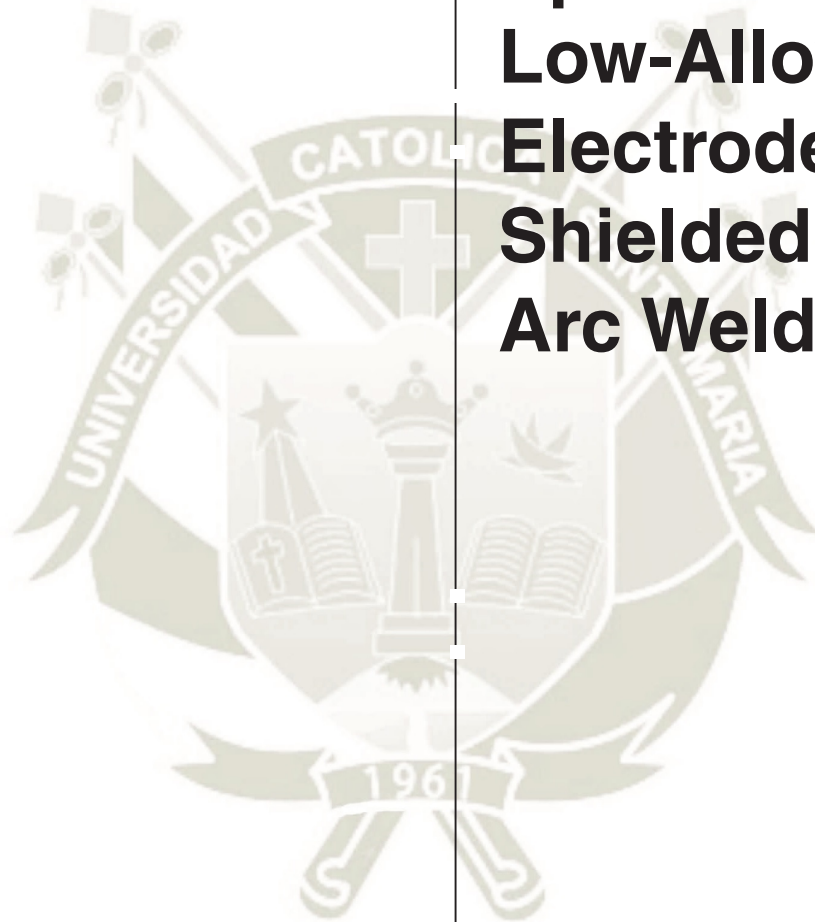
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos. En su investigación no olvide referenciar esta tesis.

Nota: El precalentamiento está en función al tipo y espesor del material a soldar.



ANEXO 5
NORMA AWS
AWS A5.5/A5.5M: 2006

Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding



American Welding Society



AWS A5.5/A5.5M:2006
An American National Standard

Approved by the
American National Standards Institute
March 22, 2006

Specification for **Low-Alloy Steel Electrodes for** **Shielded Metal Arc Welding**

Supersedes ANSI/AWS A5.5-96

Prepared by the
American Welding Society (AWS) A5 Committee on Filler Metals and Allied Materials

Under the Direction of the
AWS Technical Activities Committee

Approved by the
AWS Board of Directors

Abstract

This specification prescribes the requirements for classification of low-alloy steel covered electrodes used for shielded metal arc welding. The requirements include chemical composition and mechanical properties of weld metal, weld metal soundness, usability tests of electrodes, and moisture tests of the low-hydrogen electrode covering. Requirements for standard sizes and lengths, marking, manufacturing, and packaging are also included.

Optional supplemental requirements include tests for absorbed moisture in the electrode covering and for diffusible hydrogen in the weld metal.

This specification makes use of both U.S. Customary Units and the International System of Units (SI). Since these are not equivalent, each system must be used independently of the other.



American Welding Society

550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126



International Standard Book Number: 0-87171-671-2
American Welding Society
550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126
© 2006 by American Welding Society
All rights reserved
Printed in the United States of America

Photocopy Rights. No portion of this standard may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form, including mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the copyright owner.

Authorization to photocopy items for internal, personal, or educational classroom use only or the internal, personal, or educational classroom use only of specific clients is granted by the American Welding Society provided that the appropriate fee is paid to the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, tel: (978) 750-8400; Internet: <www.copyright.com>.

Statement on the Use of American Welding Society Standards

All standards (codes, specifications, recommended practices, methods, classifications, and guides) of the American Welding Society (AWS) are voluntary consensus standards that have been developed in accordance with the rules of the American National Standards Institute (ANSI). When AWS American National Standards are either incorporated in, or made part of, documents that are included in federal or state laws and regulations, or the regulations of other governmental bodies, their provisions carry the full legal authority of the statute. In such cases, any changes in those AWS standards must be approved by the governmental body having statutory jurisdiction before they can become a part of those laws and regulations. In all cases, these standards carry the full legal authority of the contract or other document that invokes the AWS standards. Where this contractual relationship exists, changes in or deviations from requirements of an AWS standard must be by agreement between the contracting parties.

AWS American National Standards are developed through a consensus standards development process that brings together volunteers representing varied viewpoints and interests to achieve consensus. While AWS administers the process and establishes rules to promote fairness in the development of consensus, it does not independently test, evaluate, or verify the accuracy of any information or the soundness of any judgments contained in its standards.

AWS disclaims liability for any injury to persons or to property, or other damages of any nature whatsoever, whether special, indirect, consequential or compensatory, directly or indirectly resulting from the publication, use of, or reliance on this standard. AWS also makes no guaranty or warranty as to the accuracy or completeness of any information published herein.

In issuing and making this standard available, AWS is not undertaking to render professional or other services for or on behalf of any person or entity. Nor is AWS undertaking to perform any duty owed by any person or entity to someone else. Anyone using these documents should rely on his or her own independent judgment or, as appropriate, seek the advice of a competent professional in determining the exercise of reasonable care in any given circumstances.

This standard may be superseded by the issuance of new editions. Users should ensure that they have the latest edition.

Publication of this standard does not authorize infringement of any patent or trade name. Users of this standard accept any and all liabilities for infringement of any patent or trade name items. AWS disclaims liability for the infringement of any patent or product trade name resulting from the use of this standard.

Finally, AWS does not monitor, police, or enforce compliance with this standard, nor does it have the power to do so.

On occasion, text, tables, or figures are printed incorrectly, constituting errata. Such errata, when discovered, are posted on the AWS web page (www.aws.org).

Official interpretations of any of the technical requirements of this standard may only be obtained by sending a request, in writing, to the Managing Director, Technical Services Division, American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126 (see Annex B). With regard to technical inquiries made concerning AWS standards, oral opinions on AWS standards may be rendered. However, such opinions represent only the personal opinions of the particular individuals giving them. These individuals do not speak on behalf of AWS, nor do these oral opinions constitute official or unofficial opinions or interpretations of AWS. In addition, oral opinions are informal and should not be used as a substitute for an official interpretation.

This standard is subject to revision at any time by the AWS A5 Committee on Filler Metals and Allied Materials. It must be reviewed every five years, and if not revised, it must be either reaffirmed or withdrawn. Comments (recommendations, additions, or deletions) and any pertinent data that may be of use in improving this standard are required and should be addressed to AWS Headquarters. Such comments will receive careful consideration by the AWS A5 Committee on Filler Metals and Allied Materials and the author of the comments will be informed of the Committee's response to the comments. Guests are invited to attend all meetings of the AWS A5 Committee on Filler Metals and Allied Materials to express their comments verbally. Procedures for appeal of an adverse decision concerning all such comments are provided in the Rules of Operation of the Technical Activities Committee. A copy of these Rules can be obtained from the American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126.



This page is intentionally blank.

Personnel

AWS A5 Committee on Filler Metals and Allied Materials

D. A. Fink, Chair	<i>The Lincoln Electric Company</i>
J. S. Lee, 1st Vice Chair	<i>CB&I</i>
H. D. Wehr, 2nd Vice Chair	<i>Arcos Industries LLC</i>
R. Gupta, Secretary	<i>American Welding Society</i>
*R. L. Bateman	<i>Electromanufacturas, S. A.</i>
J. M. Blackburn	<i>Department of the Navy</i>
R. S. Brown	<i>Consultant</i>
J. C. Bundy	<i>ITW Hobart Brothers</i>
R. J. Christoffel	<i>Consultant</i>
D. D. Crockett	<i>The Lincoln Electric Company</i>
*R. A. Daemen	<i>Consultant</i>
D. A. Del Signore	<i>Consultant</i>
J. DeVito	<i>ESAB Welding and Cutting Products</i>
H. W. Ebert	<i>Consultant</i>
D. M. Fedor	<i>The Lincoln Electric Company</i>
J. G. Feldstein	<i>Foster Wheeler North America</i>
S. E. Ferree	<i>ESAB Welding and Cutting Products</i>
G. L. Franke	<i>Naval Surface Warfare Center</i>
R. D. Fuchs	<i>Bohler Thyssen Welding USA, Incorporated</i>
C. E. Fuerstenau	<i>Lucas-Milhaupt, Incorporated</i>
J. A. Henning	<i>Consultant</i>
*J. P. Hunt	<i>Consultant</i>
M. Q. Johnson	<i>Los Alamos National Laboratory</i>
S. D. Kiser	<i>Special Metals</i>
P. J. Konkol	<i>Concurrent Technologies Corporation</i>
D. J. Kotecki	<i>The Lincoln Electric Company</i>
L. G. Kvidahl	<i>Northrop Grumman Ship Systems</i>
A. S. Laurenson	<i>Consultant</i>
K. F. Longden	<i>Canadian Welding Bureau</i>
W. A. Marttila	<i>Daimler Chrysler Corporation</i>
R. Menon	<i>Stoody Company</i>
M. T. Merlo	<i>Edison Welding Institute</i>
D. R. Miller	<i>ABS Americas</i>
C. L. Null	<i>Consultant</i>
M. P. Parekh	<i>Consultant</i>
R. L. Peaslee	<i>Wall Colmonoy Corporation</i>
*M. A. Quintana	<i>The Lincoln Electric Company</i>
S. D. Reynolds, Jr.	<i>Consultant</i>
P. K. Salvesen	<i>Det Norske Veritas (DNV)</i>
K. Sampath	<i>Consultant</i>
W. S. Severance	<i>ESAB Welding and Cutting Products</i>
*E. R. Stevens	<i>Stevens Welding Consulting</i>
M. J. Sullivan	<i>NASSCO—National Steel and Shipbuilding</i>
*E. S. Surian	<i>National University of Lomas de Zamora</i>
R. C. Sutherlin	<i>ATI Wah Chang</i>

*Advisor

AWS A5 Committee on Filler Metals and Allied Materials (Continued)

R. A. Swain	<i>Euroweld, Limited</i>
R. D. Thomas, Jr.	<i>R. D. Thomas and Company</i>
K. P. Thornberry	<i>Care Medical, Inc.</i>
L. T. Vernam	<i>AlcoTec Wire Corporation</i>
*F. J. Winsor	<i>Consultant</i>

AWS A5A Subcommittee on Carbon and Low Alloy Steel Electrodes

G. L. Franke, Chair	<i>Naval Surface Warfare Center</i>
R. A. Swain, Vice Chair	<i>Euroweld, Limited</i>
R. K. Gupta, Secretary	<i>American Welding Society</i>
*R. M. Burt	<i>The Lincoln Electric Company</i>
J. J. DeLoach, Jr.	<i>Naval Surface Warfare Center</i>
H. W. Ebert	<i>Consultant</i>
A. L. Gombach	<i>Champion Welding Products, Incorporated</i>
K. K. Gupta	<i>Westinghouse Electric Corporation</i>
K. F. Longden	<i>Canadian Welding Bureau</i>
*D. J. Kotecki	<i>The Lincoln Electric Company</i>
*A. H. Miller	<i>Miller Associates</i>
D. R. Miller	<i>ABS Americas</i>
M. P. Parekh	<i>Consultant</i>
L. J. Privoznik	<i>Consultant</i>
M. A. Quintana	<i>The Lincoln Electric Company</i>
**L. F. Roberts	<i>CWB Group</i>
P. K. Salvesen	<i>Det Norske Veritas (DNV)</i>
K. Sampath	<i>Consultant</i>
M. S. Sierdzinski	<i>ESAB Welding & Cutting Products</i>
*R. D. Thomas, Jr.	<i>R. D. Thomas & Company</i>
*S. Tsutsumi	<i>Kobe Steel, Limited</i>
*M. D. Tumuluru	<i>U.S. Steel Technical Center</i>
*G. Vytanovych	<i>Consultant</i>

*Advisor

**Special Contributor

Foreword

This foreword is not a part of AWS A5.5/A5.5M:2006, *Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding*, but is included for informational purposes only.

This document is the first revision of the A5.5 specification which makes use of both U.S. Customary Units and the International System of Units (SI). The measurements are not exact equivalents; therefore each system must be used independently of the other, without combining values in any way. In selecting rational metric units, AWS A1.1, *Metric Practice Guide for the Welding Industry*, and International Standard, ISO 544, *Welding consumables—Technical delivery conditions for welding filler metals—Type of product, dimensions, tolerances, and markings* are used where suitable. Tables and figures make use of both U.S. Customary and SI Units, which, with the application of the specified tolerances, provides for interchangeability of products in both the U.S. Customary and SI Units.

In addition, this 2006 revision includes the following new classifications specifically for the pipe welding industry: E9010-P1, E8018-P2, E9018-P2, E8045-P2, E9045-P2, and E10045-P2. Such significant changes are shown in *italic* font. Provisions have also been added to allow use of appropriate alloyed base metal in the preparation of the test assemblies.

The initial 1948 document and the three subsequent revisions were prepared by a joint committee of the American Society for Testing and Materials and the American Welding Society. These documents carried a dual ASTM and AWS designation. The 1969 revision of this specification was the first to be issued without the ASTM designation. An Addendum to the 1969 revised specification was issued in 1977. The 1981 revision was the first to be issued as a combination ANSI/AWS standard. It was revised and reissued in 1996.

The current document is the eighth revision of this very popular specification and the fourth prepared entirely by the AWS A5 Committee on Filler Metals and Allied Materials.

Document Development

ASTM A 316-48T AWS A5.5-48T	<i>Tentative Specifications for Low-Alloy Steel Arc-Welding Electrodes</i>
ASTM A 316-54T AWS A5.5-54T	<i>Tentative Specifications for High Tensile and Low-Alloy Steel Covered Arc-Welding Electrodes</i>
AWS A5.5-58T ASTM A 316-58T	<i>Tentative Specification for Low-Alloy Steel Covered Arc-Welding Electrodes</i>
AWS A5.5-64T ASTM A 316-64T	<i>Tentative Specification for Low-Alloy Steel Covered Arc-Welding Electrodes</i>
AWS A5.5-69 ANSI W3.5-1973	<i>Specification for Low-Alloy Steel Covered Arc-Welding Electrodes</i>
AWS A5.5-69 Add. 1-77	<i>1977 Addenda to Specification for Low-Alloy Steel Covered Arc-Welding Electrodes</i>
ANSI/AWS A5.5-81	<i>Specification for Low-Alloy Steel Covered Arc Welding Electrodes</i>
ANSI/AWS A5.5-96	<i>Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding</i>

Comments and suggestions for the improvement of this standard are welcome. They should be sent to the Secretary, AWS A5 Committee on Filler Metals and Allied Materials, American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126.

Official interpretations of any of the technical requirements of this standard may only be obtained by sending a request, in writing, to the Managing Director, Technical Service Division, American Welding Society. A formal reply will be issued after it has been reviewed by the appropriate personnel following established procedures.



This page is intentionally blank.

Table of Contents

	Page No.
<i>Personnel</i>	v
<i>Foreword</i>	vii
<i>List of Tables</i>	x
<i>List of Figures</i>	x
1. Scope	1
2. Normative References	1
3. Classification	2
4. Acceptance	12
5. Certification	12
6. Rounding-Off Procedure	12
7. Summary of Tests	12
8. Retest	12
9. Weld Test Assemblies	12
10. Chemical Analysis	15
11. Radiographic Test	17
12. Tension Test	20
13. Impact Test	24
14. Fillet Weld Test	26
15. Moisture Test	26
16. Absorbed Moisture Test	29
17. Diffusible Hydrogen Test	32
18. Method of Manufacture	32
19. Standard Sizes and Lengths	32
20. Core Wire and Covering	32
21. Exposed Core	33
22. Electrode Identification	33
23. Packaging	35
24. Marking of Packages	35
Annex A (Informative)—Guide to AWS Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding.....	37
Annex B (Informative)—Guidelines for the Preparation of Technical Inquiries.....	51
AWS Filler Metal Specifications by Material and Welding Process.....	53
AWS Filler Metal Specifications and Related Documents.....	55

List of Tables

Table	Page No.
1 Electrode Classification	3
2 Chemical Composition Requirements for Weld Metal	4
3 Tension Test Requirements	9
4 Charpy V-Notch Impact Requirements	11
5 Required Tests	13
6 Base Metal for Weld Test Assemblies	21
7 Preheat, Interpass, and Postweld Heat Treatment Temperatures	22
8 Requirements for Preparation of Fillet Weld Test Assemblies	25
9 Radiographic Soundness Requirements	29
10 Dimensional Requirements for Fillet Weld Usability Test Specimens	30
11 Moisture Content Limits in Low-Hydrogen Electrode Coverings	31
12 Diffusible Hydrogen Requirements for Weld Metal and Optional Supplemental Designators	32
13 Standard Sizes and Lengths	33
A.1 Comparison of Equivalent Classifications	40
A.2 Typical Storage and Drying Conditions for Covered Arc Welding Electrodes	43
A.3 Typical Amperage Ranges	44
A.4 Discontinued Electrode Classifications	49

List of Figures

Figure	Page No.
1 Pad for Chemical Analysis of Undiluted Weld Metal	15
2 Groove Weld Test Assembly for Mechanical Properties and Soundness of Weld Metal Produced by Using All Electrode Classifications Except E(X)XX18M(1)	16
3 Fillet Weld Test Assembly	18
4 Groove Weld Test Assembly for Mechanical Properties and Soundness of Weld Metal Produced by Using E(X)XX18M(1)	19
5 Welding Positions for Fillet Weld Test Assemblies	26
6A Radiographic Acceptance Standards for Rounded Indications (Grade 1)	27
6B Radiographic Acceptance Standards for Rounded Indications (Grade 2)	28
7 Dimensions of Fillet Welds	30
8 Alternate Methods for Facilitating Fracture of the Fillet Weld	31
9 Order of Electrode Mandatory and Optional Supplemental Designators	34

Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding

1. Scope

1.1 This specification prescribes requirements for the classification of low-alloy steel electrodes for shielded metal arc welding of carbon and low-alloy steels. These electrodes include steel alloys in which no single alloying element exceeds 10.5 percent.

1.2 Safety and health issues and concerns are beyond the scope of this standard and, therefore, are not fully addressed herein. Some safety and health information can be found in Informative Annex Clauses A5 and A10. Safety and health information is available from other sources, including, but not limited to, ANSI Z49.1, *Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes*, and applicable federal and state regulations.

1.3 This specification makes use of both U.S. Customary Units and the International System of Units (SI). The measurements are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other without combining in any way when referring to material properties. The specification designated A5.5 uses U.S. Customary Units; and the specification designated A5.5M uses SI Units. The latter units are shown within brackets [] or in appropriate columns in tables and figures. Standard dimensions based on either system may be used for sizing of filler metal or packaging or both under A5.5 or A5.5M specification.

2. Normative References

2.1 The following standards contain provisions that, through reference in this text, constitute provisions of this AWS standard. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreement based on this AWS standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent edition of the documents shown below. For undated references, the latest edition of the standard referred to applies.

2.2 The following AWS standards¹ are referenced in the normative sections of this document:

1. AWS A5.01, *Filler Metal Procurement Guidelines*
2. AWS A4.3, *Standard Methods for Determination of the Diffusible Hydrogen Content of Martensitic, Bainitic, and Ferritic Steel Weld Metal Produced by Arc Welding*
3. AWS A4.4M, *Standard Procedures for Determination of Moisture Content of Welding Fluxes and Welding Electrode Flux Coverings*
4. AWS B4.0 [B4.0M], *Standard Methods for Mechanical Testing of Welds*

2.3 The following ANSI standard² is referenced in the normative sections of this document:

1. ANSI Z49.1, *Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes*

2.4 The following ASTM standards³ are referenced in the normative sections of this document:

1. ASTM A 29/A 29M, *Standard Specification for Steel Bars, Carbon and Alloy, Hot-Wrought, General Requirements for*
2. ASTM A 36/A 36M, *Standard Specification for Carbon Structural Steel*
3. ASTM A 203/A 203M, *Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Nickel*
4. ASTM A 204/A 204M, *Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Molybdenum*
5. ASTM A 283/A 283M, *Standard Specification for Low and Intermediate Tensile Strength Carbon Steel Plates*

¹ AWS standards are published by the American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126.

² This ANSI standard is published by the American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126.

³ ASTM standards are published by the American Society for Testing and Materials, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959.

6. ASTM A 302/A 302M, *Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Manganese-Molybdenum, and Manganese-Molybdenum-Nickel*

7. ASTM A 387/A 387M, *Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Chromium-Molybdenum*

8. ASTM A 514/A 514M, *Standard Specification for High-Yield-Strength, Quenched and Tempered Alloy Steel Plate, Suitable for Welding*

9. ASTM A 516/A 516M, *Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Moderate- and Lower-Temperature Service*

10. ASTM A 517/A 517M, *Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, High-Strength, Quenched and Tempered*

11. ASTM A 533/A 533M, *Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Quenched and Tempered, Manganese-Molybdenum and Manganese-Molybdenum-Nickel*

12. ASTM A 537/A 537M, *Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Heat-Treated, Carbon-Manganese-Silicon Steel*

13. ASTM A 543/A 543M, *Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Quenched and Tempered Nickel-Chromium-Molybdenum*

14. ASTM A 588/A 588M, *Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel with 50 ksi [345 MPa] Minimum Yield Point to 4-in. [100-mm] Thick*

15. ASTM A 709/A 709M, *Standard Specification for Structural Steel for Bridges*

16. ASTM E 29, *Standard Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications*

17. ASTM E 350, *Standard Test Methods for Chemical Analysis of Carbon Steel, Low-Alloy Steel, Silicon Electrical Steel, Ingot Iron, and Wrought Iron*

18. ASTM E 1032, *Standard Test Method for Radiographic Examination of Weldments*

2.5 The following ISO standard⁴ is referenced in the normative sections of this document:

1. ISO 544, *Welding consumables—Technical delivery conditions for welding filler metals—Type of product, dimensions, tolerances, and markings*

⁴ ISO standards are published by the International Organization of Standardization, 1, rue de Varembe, Case postale 56, CH-1211 Geneva 20, Switzerland.

2.6 The following DOD specification⁵ is referenced in the normative sections of this document:

1. NAVSEA Technical Publication T9074-BD-GIB-010/0300, *Base Materials for Critical Applications: Requirements for Low Alloy Steel Plate, Forgings, Castings, Shapes, Bars, and Heads of HY-80/100/130 and HSLA-80/100*

2.7 The following API specification⁶ is referenced in the normative sections of this document:

1. API Spec 5L, *Specification for Line Pipe*

3. Classification

3.1 The welding electrodes covered by this A5.5 specification utilize a classification system, shown in Figure 9, based upon U.S. Customary Units and are classified according to:

1. Type of current (Table 1)
2. Type of covering (Table 1)
3. Welding position (Table 1)
4. Chemical composition of the weld metal (Table 2)
5. Mechanical properties of the weld metal in the as-welded or postweld heat-treated condition (Tables 3 and 4)

3.1M The welding electrodes covered by this A5.5M specification utilize a classification system, shown in Figure 9, based upon the International System of Units (SI) and are classified according to:

1. Type of current (Table 1)
2. Type of covering (Table 1)
3. Welding position (Table 1)
4. Chemical composition of the weld metal (Table 2)
5. Mechanical properties of the weld metal in the as-welded or postweld heat-treated condition (Tables 3 and 4).

3.2 Material classified under one classification shall not be classified under any other classification in the same specification. However, material may be classified under both A5.5 and A5.5M specifications.

⁵ DOD standards are published by the Department of Defense (DODSSP), Standardization Documents Order Desk, 700 Robbins Avenue, Bldg. 4D, Philadelphia, PA 19111-5094.

⁶ API specifications are published by the American Petroleum Institute, 1220 L Street, NW, Washington, DC 20005-4070.

No reproduction or reworking permitted without license from IHS

Table 1
Electrode Classification

AWS Classification ^a		Type of Covering	Welding Positions for Classification ^b	Type of Current ^c
A5.5	A5.5M			
E7010-X	E4910-X	High cellulose sodium	F, V, OH, H	dcep
E7011-X	E4911-X	High cellulose potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E7015-X ^{d,e}	E4915-X ^{d,e}	Low hydrogen sodium	F, V, OH, H	dcep
E7016-X ^{d,e}	E4916-X ^{d,e}	Low hydrogen potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E7018-X ^{d,e}	E4918-X ^{d,e}	Low hydrogen potassium, iron powder ^f	F, V, OH, H	ac or dcep
E7020-X	E4920-X	High iron oxide	{ H-fillets F	ac or dcep ac, dcep, or dcen
E7027-X	E4927-X	High iron oxide, iron powder ^f	{ H-fillets F	ac or dcep ac, dcep, or dcen
E8010-X	E5510-X	High cellulose sodium	F, V, OH, H	dcep
E8011-G	E5511-G	High cellulose potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E8013-G	E5513-G	High titania potassium	F, V, OH, H	ac, dcep, or dcen
E8015-X ^{d,e}	E5515-X ^{d,e}	Low hydrogen sodium	F, V, OH, H	dcep
E8016-X ^{d,e}	E5516-X ^{d,e}	Low hydrogen potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E8018-X ^{d,e}	E5518-X ^{d,e}	Low hydrogen potassium, iron powder ^f	F, V, OH, H	ac or dcep
E8045-P2 ^{d,e}	E5545-P2 ^{d,e}	Low hydrogen sodium	F, OH, H, V-down	dcep
E9010-G	E6210-G	High cellulose sodium	F, V, OH, H	dcep
E9010-X	E6210-X	High cellulose potassium	F, V, OH, H	dcep
E9011-G	E6211-G	High cellulose potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E9013-G	E6213-G	High titania potassium	F, V, OH, H	ac, dcep, or dcen
E9015-X ^{d,e}	E6215-X ^{d,e}	Low hydrogen sodium	F, V, OH, H	dcep
E9016-X ^{d,e}	E6216-X ^{d,e}	Low hydrogen potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E9018-X ^{d,e}	E6218-X ^{d,e}	Low hydrogen potassium, iron powder ^f	F, V, OH, H	ac or dcep
E9018M ^{d,e}	E6218M ^{d,e}	Iron powder, low hydrogen ^f	F, V, OH, H	dcep
E9045-P2 ^{d,e}	E6245-P2 ^{d,e}	Low hydrogen sodium	F, OH, H, V-down	dcep
E10010-G	E6910-G	High cellulose sodium	F, V, OH, H	dcep
E10011-G	E6911-G	High cellulose potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E10013-G	E6913-G	High titania potassium	F, V, OH, H	ac, dcep, or dcen
E10015-X ^{d,e}	E6915-X ^{d,e}	Low hydrogen sodium	F, V, OH, H	dcep
E10016-X ^{d,e}	E6916-X ^{d,e}	Low hydrogen potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E10018-X ^{d,e}	E6918-X ^{d,e}	Low hydrogen potassium, iron powder ^f	F, V, OH, H	ac or dcep
E10018M ^{d,e}	E6918M ^{d,e}	Iron powder, low hydrogen ^f	F, V, OH, H	dcep
E10045-P2 ^{d,e}	E6945-P2 ^{d,e}	Low hydrogen sodium	F, OH, H, V-down	dcep
E11010-G	E7610-G	High cellulose sodium	F, V, OH, H	dcep
E11011-G	E7611-G	High cellulose potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E11013-G	E7613-G	High titania potassium	F, V, OH, H	ac, dcep, or dcen
E11015-G ^{d,e}	E7615-G ^{d,e}	Low hydrogen sodium	F, V, OH, H	dcep
E11016-G ^{d,e}	E7616-G ^{d,e}	Low hydrogen potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E11018-G ^{d,e}	E7618-G ^{d,e}	Low hydrogen potassium, iron powder ^f	F, V, OH, H	ac or dcep
E11018M ^{d,e}	E7618M ^{d,e}	Iron powder, low hydrogen ^f	F, V, OH, H	dcep
E12010-G	E8310-G	High cellulose sodium	F, V, OH, H	dcep
E12011-G	E8311-G	High cellulose potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E12013-G	E8313-G	High titania potassium	F, V, OH, H	ac, dcep, or dcen
E12015-G ^{d,e}	E8315-G ^{d,e}	Low hydrogen sodium	F, V, OH, H	dcep
E12016-G ^{d,e}	E8316-G ^{d,e}	Low hydrogen potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E12018-G ^{d,e}	E8318-G ^{d,e}	Low hydrogen potassium, iron powder ^f	F, V, OH, H	ac or dcep
E12018M ^{d,e}	E8318M ^{d,e}	Iron powder, low hydrogen ^f	F, V, OH, H	dcep
E12018M1 ^{d,e}	E8318M1 ^{d,e}	Iron powder, low hydrogen ^f	F, V, OH, H	dcep

^a The letter "X" as used in this table, and elsewhere in this specification, stands for any allowable value of the designator it replaces in the classification (see Figure 9).

^b The abbreviations, F, V, V-down, OH, H, and H-fillets indicate the welding position, as follows:

F = Flat; H = Horizontal; H-fillets = Horizontal fillets; V = Vertical (for electrodes 3/16 in [5.0 mm] and under, except 5/32 in [4.0 mm] and under for classification E(X)XX15-X, E(X)XX16-X, E(X)XX18-X, and E(X)XX18M(1)); V-down = vertical, with downward progression; OH = overhead (for electrodes 3/16 in [5.0 mm] and under, except 5/32 in [4.0 mm] and under for classifications E(X)XX15-X, E(X)XX16-X, E(X)XX18-X, and E(X)XX18M(1)).

^c The term "dcep" refers to direct current, electrode positive (dc, reverse polarity). The term "dcen" refers to direct current, electrode negative (dc, straight polarity).

^d Electrodes classified as E(X)XX15-X, E(X)XX16-X, E(X)XX18-X, and E(X)XX18M(1), or E(X)XX45-P2 which meet supplemental absorbed moisture requirements in Table 11 may be further identified as shown in Table 11 and Figure 9.

^e Electrodes classified as E(X)XX15-X, E(X)XX16-X, E(X)XX18-X, and E(X)XX18M(1), or E(X)XX45-P2 which produce weld metal that meets the maximum average level of diffusible hydrogen in Table 12 may be further identified as specified in Table 12 and Figure 9.

^f Use of the term "iron powder" is intended to include other metal powders added to the covering for alloying of the weld metal (see A6.14).

Table 2
Chemical Composition Requirements for Weld Metal

AWS Classification ^c		Weight Percent ^{a, b}									Additional Elements	
		UNS Number ^d	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Type	Amt.
Carbon-Molybdenum Steel Electrodes												
E7010-A1	E4910-A1	W17010	0.12	0.60	0.40	0.03	0.03	—	—	0.40–0.65	—	—
E7011-A1	E4911-A1	W17011	0.12	0.60	0.40	0.03	0.03	—	—	0.40–0.65	—	—
E7015-A1	E4915-A1	W17015	0.12	0.90	0.60	0.03	0.03	—	—	0.40–0.65	—	—
E7016-A1	E4916-A1	W17016	0.12	0.90	0.60	0.03	0.03	—	—	0.40–0.65	—	—
E7018-A1	E4918-A1	W17018	0.12	0.90	0.80	0.03	0.03	—	—	0.40–0.65	—	—
E7020-A1	E4920-A1	W17020	0.12	0.60	0.40	0.03	0.03	—	—	0.40–0.65	—	—
E7027-A1	E4927-A1	W17027	0.12	1.00	0.40	0.03	0.03	—	—	0.40–0.65	—	—
Chromium-Molybdenum Steel Electrodes												
E8016-B1	E5516-B1	W51016	0.05–0.12	0.90	0.60	0.03	0.03	—	0.40–0.65	0.40–0.65	—	—
E8018-B1	E5518-B1	W51018	0.05–0.12	0.90	0.80	0.03	0.03	—	0.40–0.65	0.40–0.65	—	—
E8016-B2	E5516-B2	W52016	0.05–0.12	0.90	0.60	0.03	0.03	—	1.00–1.50	0.40–0.65	—	—
E8018-B2	E5518-B2	W52018	0.05–0.12	0.90	0.80	0.03	0.03	—	1.00–1.50	0.40–0.65	—	—
E7015-B2L	E4915-B2L	W52115	0.05	0.90	1.00	0.03	0.03	—	1.00–1.50	0.40–0.65	—	—
E7016-B2L	E4916-B2L	W52116	0.05	0.90	0.60	0.03	0.03	—	1.00–1.50	0.40–0.65	—	—
E7018-B2L	E4918-B2L	W52118	0.05	0.90	0.80	0.03	0.03	—	1.00–1.50	0.40–0.65	—	—
E9015-B3	E6215-B3	W53015	0.05–0.12	0.90	1.00	0.03	0.03	—	2.00–2.50	0.90–1.20	—	—
E9016-B3	E6216-B3	W53016	0.05–0.12	0.90	0.60	0.03	0.03	—	2.00–2.50	0.90–1.20	—	—
E9018-B3	E6218-B3	W53018	0.05–0.12	0.90	0.80	0.03	0.03	—	2.00–2.50	0.90–1.20	—	—
E8015-B3L	E5515-B3L	W53115	0.05	0.90	1.00	0.03	0.03	—	2.00–2.50	0.90–1.20	—	—
E8018-B3L	E5518-B3L	W53118	0.05	0.90	0.80	0.03	0.03	—	2.00–2.50	0.90–1.20	—	—
E8015-B4L	E5515-B4L	W53415	0.05	0.90	1.00	0.03	0.03	—	1.75–2.25	0.40–0.65	—	—
E8016-B5	E5516-B5	W51316	0.07–0.15	0.40–0.70	0.30–0.60	0.03	0.03	—	0.40–0.60	1.00–1.25	V	0.05
E8015-B6 ^e	E5515-B6 ^e	W50215	0.05–0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	4.0–6.0	0.45–0.65	—	—
E8016-B6 ^e	E5516-B6 ^e	W50216	0.05–0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	4.0–6.0	0.45–0.65	—	—
E8018-B6 ^e	E5518-B6 ^e	W50218	0.05–0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	4.0–6.0	0.45–0.65	—	—
E8015-B6L ^e	E5515-B6L ^e	W50205	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	4.0–6.0	0.45–0.65	—	—
E8016-B6L ^e	E5516-B6L ^e	W50206	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	4.0–6.0	0.45–0.65	—	—
E8018-B6L ^e	E5518-B6L ^e	W50208	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	4.0–6.0	0.45–0.65	—	—

(Continued)

Table 2 (Continued)
Chemical Composition Requirements for Weld Metal

AWS Classification ^c		Weight Percent ^{a, b}									Additional Elements	
		UNS Number ^d	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Type	Amt.
Chromium-Molybdenum Steel Electrodes (Continued)												
E8015-B7 ^e	E5515-B7 ^e	W50315	0.05–0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	6.0–8.0	0.45–0.65	—	—
E8016-B7 ^e	E5516-B7 ^e	W50316	0.05–0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	6.0–8.0	0.45–0.65	—	—
E8018-B7 ^e	E5518-B7 ^e	W50318	0.05–0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	6.0–8.0	0.45–0.65	—	—
E8015-B7L ^e	E5515-B7L ^e	W50305	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	6.0–8.0	0.45–0.65	—	—
E8016-B7L ^e	E5516-B7L ^e	W50306	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	6.0–8.0	0.45–0.65	—	—
E8018-B7L ^e	E5518-B7L ^e	W50308	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	6.0–8.0	0.45–0.65	—	—
E8015-B8 ^e	E5515-B8 ^e	W50415	0.05–0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	8.0–10.5	0.85–1.20	—	—
E8016-B8 ^e	E5516-B8 ^e	W50416	0.05–0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	8.0–10.5	0.85–1.20	—	—
E8018-B8 ^e	E5518-B8 ^e	W50418	0.05–0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	8.0–10.5	0.85–1.20	—	—
E8015-B8L ^e	E5515-B8L ^e	W50405	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	8.0–10.5	0.85–1.20	—	—
E8016-B8L ^e	E5516-B8L ^e	W50406	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	8.0–10.5	0.85–1.20	—	—
E8018-B8L ^e	E5518-B8L ^e	W50408	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	8.0–10.5	0.85–1.20	—	—
E9015-B9 ^j	E6215-B9 ^j	W50425	0.08–0.13	1.20	0.30	0.01	0.01	0.80	8.0–10.5	0.85–1.20	V Cu Al Nb(Cb) N	0.15–0.30 0.25 0.04 0.02–0.10 0.02–0.07
E9016-B9 ^j	E6216-B9 ^j	W50426	0.08–0.13	1.20	0.30	0.01	0.01	0.80	8.0–10.5	0.85–1.20	V Cu Al Nb(Cb) N	0.15–0.30 0.25 0.04 0.02–0.10 0.02–0.07
E9018-B9 ^j	E6218-B9 ^j	W50428	0.08–0.13	1.20	0.30	0.01	0.01	0.80	8.0–10.5	0.85–1.20	V Cu Al Nb(Cb) N	0.15–0.30 0.25 0.04 0.02–0.10 0.02–0.07
Nickel Steel Electrodes												
E8016-C1	E5516-C1	W22016	0.12	1.25	0.60	0.03	0.03	2.00–2.75	—	—	—	—
E8018-C1	E5518-C1	W22018	0.12	1.25	0.80	0.03	0.03	2.00–2.75	—	—	—	—

(Continued)

Table 2 (Continued)
Chemical Composition Requirements for Weld Metal

AWS Classification ^c		UNS Number ^d	Weight Percent ^{a, b}								Additional Elements	
			C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Type	Amt.
Nickel Steel Electrodes (Continued)												
E7015-C1L	E4915-C1L	W22115	0.05	1.25	0.50	0.03	0.03	2.00–2.75	—	—	—	—
E7016-C1L	E4916-C1L	W22116	0.05	1.25	0.50	0.03	0.03	2.00–2.75	—	—	—	—
E7018-C1L	E4918-C1L	W22118	0.05	1.25	0.50	0.03	0.03	2.00–2.75	—	—	—	—
E8016-C2	E5516-C2	W23016	0.12	1.25	0.60	0.03	0.03	3.00–3.75	—	—	—	—
E8018-C2	E5518-C2	W23018	0.12	1.25	0.80	0.03	0.03	3.00–3.75	—	—	—	—
E7015-C2L	E4915-C2L	W23115	0.05	1.25	0.50	0.03	0.03	3.00–3.75	—	—	—	—
E7016-C2L	E4916-C2L	W23116	0.05	1.25	0.50	0.03	0.03	3.00–3.75	—	—	—	—
E7018-C2L	E4918-C2L	W23118	0.05	1.25	0.50	0.03	0.03	3.00–3.75	—	—	—	—
E8016-C3	E5516-C3	W21016	0.12	0.40–1.25	0.80	0.03	0.03	0.80–1.10	0.15	0.35	V	0.05
E8018-C3	E5518-C3	W21018	0.12	0.40–1.25	0.80	0.03	0.03	0.80–1.10	0.15	0.35	V	0.05
E7018-C3L	E4918-C3L	W20918	0.08	0.40–1.40	0.50	0.03	0.03	0.80–1.10	0.15	0.35	V	0.05
E8016-C4	E5516-C4	W21916	0.10	1.25	0.60	0.03	0.03	1.10–2.00	—	—	—	—
E8018-C4	E5518-C4	W21918	0.10	1.25	0.80	0.03	0.03	1.10–2.00	—	—	—	—
E9015-C5L	E6215-C5L	W25018	0.05	0.40–1.00	0.50	0.03	0.03	6.00–7.25	—	—	—	—
Nickel-Molybdenum Steel Electrodes												
E8018-NM1	E5518-NM1	W21118	0.10	0.80–1.25	0.60	0.02	0.02	0.80–1.10	0.10	0.40–0.65	V Cu Al	0.02 0.10 0.05
Manganese-Molybdenum Steel Electrodes												
E8018-D1	E5518-D1	W18118	0.12	1.00–1.75	0.80	0.03	0.03	0.90	—	0.25–0.45	—	—
E9015-D1	E6215-D1	W19015	0.12	1.00–1.75	0.60	0.03	0.03	0.90	—	0.25–0.45	—	—
E9018-D1	E6218-D1	W19018	0.12	1.00–1.75	0.80	0.03	0.03	0.90	—	0.25–0.45	—	—
E10015-D2	E6915-D2	W10015	0.15	1.65–2.00	0.60	0.03	0.03	0.90	—	0.25–0.45	—	—
E10016-D2	E6916-D2	W10016	0.15	1.65–2.00	0.60	0.03	0.03	0.90	—	0.25–0.45	—	—
E10018-D2	E6918-D2	W10018	0.15	1.65–2.00	0.80	0.03	0.03	0.90	—	0.25–0.45	—	—

(Continued)

Table 2 (Continued)
Chemical Composition Requirements for Weld Metal

AWS Classification ^c		UNS Number ^d	Weight Percent ^{a, b}								Additional Elements	
			C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Type	Amt.
A5.5	A5.5M											
Manganese-Molybdenum Steel Electrodes (Continued)												
E8016-D3	E5516-D3	W18016	0.12	1.00–1.80	0.60	0.03	0.03	0.90	—	0.40–0.65	—	—
E8018-D3	E5518-D3	W18018	0.12	1.00–1.80	0.80	0.03	0.03	0.90	—	0.40–0.65	—	—
E9018-D3	E6218-D3	W19118	0.12	1.00–1.80	0.80	0.03	0.03	0.90	—	0.40–0.65	—	—
General Low-Alloy Steel Electrodes												
E(X)XX10-G ^f	EXX10-G ^f	—	—	1.00 min. ^g	0.80 min. ^g	0.03	0.03	0.50 min. ^g	0.30 min. ^g	0.20 min. ^g	V Cu	0.10 min. ^g 0.20 min. ^g
E(X)XX11-G ^f	EXX11-G ^f	—	—	1.00 min. ^g	0.80 min. ^g	0.03	0.03	0.50 min. ^g	0.30 min. ^g	0.20 min. ^g	V Cu	0.10 min. ^g 0.20 min. ^g
E(X)XX13-G ^f	EXX13-G ^f	—	—	1.00 min. ^g	0.80 min. ^g	0.03	0.03	0.50 min. ^g	0.30 min. ^g	0.20 min. ^g	V Cu	0.10 min. ^g 0.20 min. ^g
E(X)XX15-G ^f	EXX15-G ^f	—	—	1.00 min. ^g	0.80 min. ^g	0.03	0.03	0.50 min. ^g	0.30 min. ^g	0.20 min. ^g	V Cu	0.10 min. ^g 0.20 min. ^g
E(X)XX16-G ^f	EXX16-G ^f	—	—	1.00 min. ^g	0.80 min. ^g	0.03	0.03	0.50 min. ^g	0.30 min. ^g	0.20 min. ^g	V Cu	0.10 min. ^g 0.20 min. ^g
E(X)XX18-G ^f	EXX18-G ^f	—	—	1.00 min. ^g	0.80 min. ^g	0.03	0.03	0.50 min. ^g	0.30 min. ^g	0.20 min. ^g	V Cu	0.10 min. ^g 0.20 min. ^g
E7020-G	E4920-G	—	—	1.00 min. ^g	0.80 min. ^g	0.03	0.03	0.50 min. ^g	0.30 min. ^g	0.20 min. ^g	V Cu	0.10 min. ^g 0.20 min. ^g
E7027-G	E4927-G	—	—	1.00 min. ^g	0.80 min. ^g	0.03	0.03	0.50 min. ^g	0.30 min. ^g	0.20 min. ^g	V Cu	0.10 min. ^g 0.20 min. ^g
Military-Similar Electrodes												
E9018M ^h	E6218M ^h	W21218	0.10	0.60–1.25	0.80	0.030	0.030	1.40–1.80	0.15	0.35	V	0.05
E10018M ^h	E6918M ^h	W21318	0.10	0.75–1.70	0.60	0.030	0.030	1.40–2.10	0.35	0.25–0.50	V	0.05
E11018M ^h	E7618M ^h	W21418	0.10	1.30–1.80	0.60	0.030	0.030	1.25–2.50	0.40	0.25–0.50	V	0.05
E12018M ^h	E8318M ^h	W22218	0.10	1.30–2.25	0.60	0.030	0.030	1.75–2.50	0.30–1.50	0.30–0.55	V	0.05
E12018M1 ^h	E8318M1 ^h	W23218	0.10	0.80–1.60	0.65	0.015	0.012	3.00–3.80	0.65	0.20–0.30	V	0.05

(Continued)

Table 2 (Continued)
Chemical Composition Requirements for Weld Metal

AWS Classification ^c		Weight Percent ^{a, b}									Additional Elements	
		UNS Number ^d	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Type	Amt.
A5.5	A5.5M											
Pipeline Electrodes												
E7010-P1	E4910-P1	W17110	0.20	1.20	0.60	0.03	0.03	1.00	0.30	0.50	V	0.10
E8010-P1	E5510-P1	W18110	0.20	1.20	0.60	0.03	0.03	1.00	0.30	0.50	V	0.10
<i>E9010-P1</i>	<i>E6210-P1</i>	<i>W19110</i>	<i>0.20</i>	<i>1.20</i>	<i>0.60</i>	<i>0.03</i>	<i>0.03</i>	<i>1.00</i>	<i>0.30</i>	<i>0.50</i>	V	<i>0.10</i>
<i>E8018-P2</i>	<i>E5518-P2</i>	<i>W18218</i>	<i>0.12</i>	<i>0.90–1.70</i>	<i>0.80</i>	<i>0.03</i>	<i>0.03</i>	<i>1.00</i>	<i>0.20</i>	<i>0.50</i>	V	<i>0.05</i>
<i>E9018-P2</i>	<i>E6218-P2</i>	<i>W19218</i>	<i>0.12</i>	<i>0.90–1.70</i>	<i>0.80</i>	<i>0.03</i>	<i>0.03</i>	<i>1.00</i>	<i>0.20</i>	<i>0.50</i>	V	<i>0.05</i>
<i>E8045-P2</i>	<i>E5545-P2</i>	<i>W18245</i>	<i>0.12</i>	<i>0.90–1.70</i>	<i>0.80</i>	<i>0.03</i>	<i>0.03</i>	<i>1.00</i>	<i>0.20</i>	<i>0.50</i>	V	<i>0.05</i>
<i>E9045-P2</i>	<i>E6245-P2</i>	<i>W19245</i>	<i>0.12</i>	<i>0.90–1.70</i>	<i>0.80</i>	<i>0.03</i>	<i>0.03</i>	<i>1.00</i>	<i>0.20</i>	<i>0.50</i>	V	<i>0.05</i>
<i>E10045-P2</i>	<i>E6945-P2</i>	<i>W10245</i>	<i>0.12</i>	<i>0.90–1.70</i>	<i>0.80</i>	<i>0.03</i>	<i>0.03</i>	<i>1.00</i>	<i>0.20</i>	<i>0.50</i>	V	<i>0.05</i>
Weathering Steel Electrodes												
E7018-W1 ⁱ	E4918-W1 ⁱ	W20018	0.12	0.40–0.70	0.40–0.70	0.025	0.025	0.20–0.40	0.15–0.30	—	V Cu	0.08 0.30–0.60
E8018-W2 ⁱ	E5518-W2 ⁱ	W20118	0.12	0.50–1.30	0.35–0.80	0.03	0.03	0.40–0.80	0.45–0.70	—	Cu	0.30–0.75

^a Single values are maximum, except where specified otherwise.

^b Weld metal shall be analyzed for those elements for which specific values are shown. Other elements listed without specified values shall be reported, if intentionally added. The total of these latter unspecified elements and all other elements not intentionally added shall not exceed 0.50%.

^c The suffixes A1, B3, C3, etc. designate the chemical composition of the electrode classification.

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

^e The E8015-B6 [E5515-B6] and E8015-B6L [E5515-B6L] electrodes were formerly classified as E502-15 in AWS A5.4-92, *Specification for Stainless Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding*. The E8016-B6 [E5516-B6] and E8016-B6L [E5516-B6L] were formerly classified as E502-16 in A5.4-92. The E8018-B6 [E5518-B6] and E8018-B6L [E5518-B6L] were not formerly classified, but were produced to the E502 composition ranges in A5.4-92 and with the EXX18 covering of this specification. Similarly, the E80XX-B7(L) [E55XX-B7(L)] classifications were formerly classified as E7Cr-XX in A5.4-92; and the E80XX-B8(L) [E55XX-B8(L)] classifications were formerly classified as E505-XX in A5.4-92.

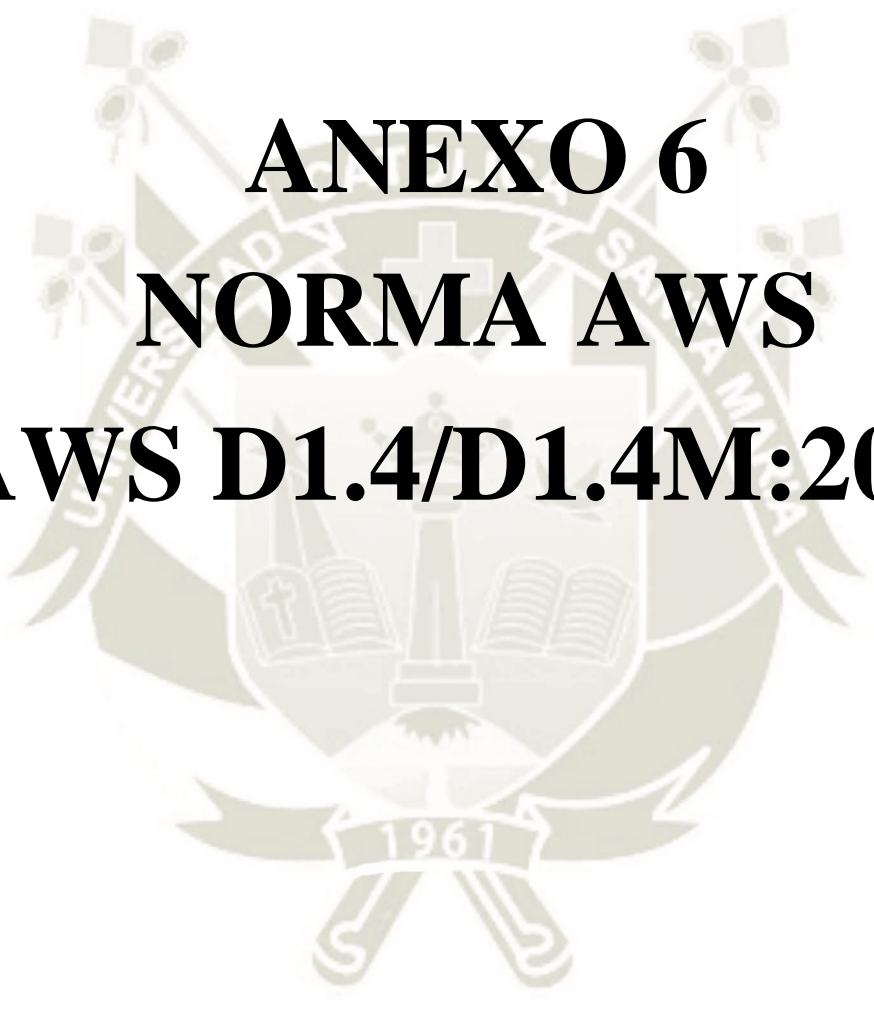
^f The letters "XX" used in the classification designations for all electrodes in this table stand for the various tensile strength levels (70, 80, 90, 100, 110, and 120 ksi [49, 55, 62, 69, 76, and 83 MPa × 10]) of weld metals.

^g In order to meet the alloy requirements of the "G" group, the undiluted weld metal shall have the minimum of at least one of the elements listed in this table. Additional chemical requirements may be agreed to between supplier and purchaser.

^h These classifications are intended to be similar to types of electrodes covered by MIL-E-22200/1 and MIL-E-22200/10.

ⁱ In AWS A5.5-81, E7018-W1 [E4918-W1] was designated E7018-W and E8018-W2 [E5518-W2] was designated E8018-W.

^j Mn + Ni shall be 1.50% max.



ANEXO 6
NORMA AWS
AWS D1.4/D1.4M:2005

Structural Welding Code— Reinforcing Steel



American Welding Society



Key Words—Allowable stress, inspection,
qualification, reinforcing steel,
structural details, welded joint details

AWS D1.4/D1.4M:2005
An American National Standard

Approved by
American National Standards Institute
July 8, 2005

Structural Welding Code— Reinforcing Steel

Including
Metal Inserts and Connections
in Reinforced Concrete
Construction

Sixth Edition

Supersedes ANSI/AWS D1.4-98

Prepared by
AWS D1 Structural Welding Committee

Under the Direction of
AWS Technical Activities Committee

Approved by
AWS Board of Directors

Abstract

This code covers the requirements for welding reinforcing steel in most reinforced concrete applications. It contains a body of rules for the regulations of welding reinforcing steel and provides suitable acceptance criteria for such welds.



American Welding Society

550 N.W. LeJeune Road, Miami, Florida 33126

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

Copyright American Welding Society
Provided by IHS under license with AWS

No reproduction or networking permitted without license from IHS; referenciar esta tesis

Licensee=Shell Services International B.V./5924979112
Not for Resale, 09/16/2005 12:32:12 MDT

Statement on Use of AWS American National Standards

All standards (codes, specifications, recommended practices, methods, classifications, and guides) of the American Welding Society (AWS) are voluntary consensus standards that have been developed in accordance with the rules of the American National Standards Institute (ANSI). When AWS standards are either incorporated in, or made part of, documents that are included in federal or state laws and regulations, or the regulations of other governmental bodies, their provisions carry the full legal authority of the statute. In such cases, any changes in those AWS standards must be approved by the governmental body having statutory jurisdiction before they can become a part of those laws and regulations. In all cases, these standards carry the full legal authority of the contract or other document that invokes the AWS standards. Where this contractual relationship exists, changes in or deviations from requirements of an AWS standard must be by agreement between the contracting parties.

International Standard Book Number: 0-87171-004-8

American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126

© 2005 by American Welding Society. All rights reserved

Printed in the United States of America

AWS American National Standards are developed through a consensus standards development process that brings together volunteers representing varied viewpoints and interests to achieve consensus. While AWS administers the process and establishes rules to promote fairness in the development of consensus, it does not independently test, evaluate, or verify the accuracy of any information or the soundness of any judgments contained in its standards.

AWS disclaims liability for any injury to persons or to property, or other damages of any nature whatsoever, whether special, indirect, consequential or compensatory, directly or indirectly resulting from the publication, use of, or reliance on this standard. AWS also makes no guaranty or warranty as to the accuracy or completeness of any information published herein.

In issuing and making this standard available, AWS is not undertaking to render professional or other services for or on behalf of any person or entity. Nor is AWS undertaking to perform any duty owed by any person or entity to someone else. Anyone using these documents should rely on his or her own independent judgment or, as appropriate, seek the advice of a competent professional in determining the exercise of reasonable care in any given circumstances.

This standard may be superseded by the issuance of new editions. Users should ensure that they have the latest edition.

Publication of this standard does not authorize infringement of any patent or trade name. Users of this standard accept any and all liabilities for infringement of any patent or trade name items. AWS disclaims liability for the infringement of any patent or product trade name resulting from the use of this standard.

Finally, AWS does not monitor, police, or enforce compliance with this standard, nor does it have the power to do so.

On occasion, text, tables, or figures are printed incorrectly, constituting errata. Such errata, when discovered, are posted on the AWS web page (www.aws.org).

Official interpretations of any of the technical requirements of this standard may only be obtained by sending a request, in writing, to the Managing Director, Technical Services Division, American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126 (see Annex C). With regard to technical inquiries made concerning AWS standards, oral opinions on AWS standards may be rendered. However, such opinions represent only the personal opinions of the particular individuals giving them. These individuals do not speak on behalf of AWS, nor do these oral opinions constitute official or unofficial opinions or interpretations of AWS. In addition, oral opinions are informal and should not be used as a substitute for an official interpretation.

This standard is subject to revision at any time by the AWS D1 Committee on Structural Welding. It must be reviewed every five years, and if not revised, it must be either reaffirmed or withdrawn. Comments (recommendations, additions, or deletions) and any pertinent data that may be of use in improving this standard are required and should be addressed to AWS Headquarters. Such comments will receive careful consideration by the AWS D1 Committee on Structural Welding and the author of the comments will be informed of the Committee's response to the comments. Guests are invited to attend all meetings of the AWS D1 Committee on Structural Welding to express their comments verbally. Procedures for appeal of an adverse decision concerning all such comments are provided in the Rules of Operation of the Technical Activities Committee. A copy of these Rules can be obtained from the American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126.

Photocopy Rights

Authorization to photocopy items for internal, personal, or educational classroom use only, or the internal, personal, or educational classroom use only of specific clients, is granted by the American Welding Society (AWS) provided that the appropriate fee is paid to the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: 978-750-8400; online: <http://www.copyright.com>.

Personnel

AWS D1 Committee on Structural Welding

<i>D. D. Rager, Chair</i>	Rager Consulting, Incorporated
<i>D. K. Miller, 1st Vice Chair</i>	The Lincoln Electric Company
<i>A. W. Sindel, 2nd Vice Chair</i>	Sindel and Associates
<i>J. L. Gayler, Secretary</i>	American Welding Society
<i>*W. G. Alexander</i>	WGAPE
<i>N. J. Altebrando</i>	Hardesty and Hanover, LLP
<i>F. G. Armao</i>	The Lincoln Electric Company
<i>E. M. Beck</i>	MACTEC Engineering & Consulting
<i>E. L. Bickford</i>	J. Ray McDermott, Incorporated
<i>*O. W. Blodgett</i>	The Lincoln Electric Company
<i>F. C. Breismeister</i>	Strocal, Incorporated
<i>B. M. Butler</i>	Walt Disney World Company
<i>H. H. Campbell III</i>	Pazuzu Engineering
<i>L. E. Collins</i>	Team Industries, Incorporated
<i>R. B. Corbit</i>	Amer Gen
<i>M. V. Davis</i>	Consultant
<i>R. A. Dennis</i>	Consultant
<i>*A. R. Fronduti</i>	Rex Fronduti and Associates
<i>M. A. Grieco</i>	Massachusetts Highway Department
<i>C. R. Hess</i>	High Steel Structures, Incorporated
<i>*G. J. Hill</i>	G. J. Hill and Associates, Incorporated
<i>M. L. Hoitomt</i>	Hoitomt Consulting Services
<i>C. W. Holmes</i>	Modjeski and Masters, Incorporated
<i>*A. J. Julicher</i>	A. J. Julicher and Associates
<i>J. H. Kiefer</i>	ConocoPhillips, Incorporated
<i>D. R. Lawrence II</i>	Butler Manufacturing Company
<i>S. L. Luckowski</i>	Department of the Army
<i>P. W. Marshall</i>	MHP Systems Engineering
<i>M. J. Mayes</i>	Mayes Testing Engineers, Incorporated
<i>D. L. McQuaid</i>	D L McQuaid and Associates, Incorporated
<i>R. D. Medlock</i>	Texas Department of Transportation
<i>*W. A. Milek, Jr.</i>	Consultant
<i>J. L. Munnerylyn</i>	Consultant
<i>J. E. Myers</i>	Consultant
<i>T. Niemann</i>	Minnesota Department of Transportation
<i>D. C. Phillips</i>	ITW, Hobart Brothers Company
<i>J. W. Post</i>	J. W. Post and Associates, Incorporated
<i>T. Schlafly</i>	American Institute of Steel Construction
<i>*D. A. Shapira</i>	Washington Group International
<i>R. E. Shaw, Jr.</i>	Steel Structures Technology Center, Incorporated
<i>*D. L. Sprow</i>	Consultant
<i>R. W. Stieve</i>	Greenman-Pederson, Incorporated
<i>P. J. Sullivan</i>	Massachusetts Highway Department (Retired)
<i>M. M. Tayarani</i>	Massachusetts Turnpike Authority
<i>K. K. Verma</i>	Federal Highway Administration
<i>B. D. Wright</i>	Advantage Aviation Technologies

*Advisor

AWS D11 Subcommittee 9 on Reinforcing Steel

<i>M. J. Mayes, Chair</i>	Mayes Testing Engineers, Incorporated
<i>J. K. Merrill, Vice Chair</i>	MACTEC Engineering & Consulting
<i>D. Gustafson</i>	Concrete Reinforcing Steel
<i>K. Landwehr</i>	Schuff Steel Company
<i>R. Miller</i>	State of Alaska DOT and PF
<i>J. Myers</i>	Consultant
<i>D. Scott</i>	PSI (retired)



Foreword

(This Foreword is not a part of AWS D1.4/D1.4M:2005, *Structural Welding Code—Reinforcing Steel*, but is included for informational purposes only.)

In 1961, the American Welding Society published its first reinforcing steel welding standard, AWS D12.1-61, *Recommended Practices for Welding Reinforcing Steel, Metal Inserts and Connections in Reinforced Concrete Construction*. The D12 Committee was disbanded some time after publication of the 1961 code and before publication of the 1975 edition.

The 1961 document was replaced with a greatly revised version, AWS D12.1-75, *Reinforcing Steel Welding Code*, with the format patterned after the AWS D1.1-72, *Structural Welding Code*. The 1975 code was produced by the AWS Structural Welding Committee but was not renumbered to reflect this committee change. As with ANSI/AWS D1.1, AWS D12.1-75 was designed as a self-contained code, including within it the qualification of welders and procedures, and requirements for workmanship, quality, and inspection.

The listings of materials and welding processes were revised in the D12.1-75 code. Items newly introduced were the carbon equivalent method for determining preheat, the parenthetical inclusion of metric (SI) conversions, and the two different methods of joint strength determination.

The AWS D12.1-75 document was revised and the title changed to ANSI/AWS D1.4-79, *Structural Welding Code—Reinforcing Steel*. Since the 1979 edition of ANSI/AWS D1.4, *Structural Welding Code—Reinforcing Steel*, was issued, further use by designers, engineers, and fabricators has necessitated a number of changes to the requirements; the 1992 and 1998 editions reflected these changes. This edition, AWS D1.4/D1.4M:2005, has additional revisions.

The following is a summary of the significant technical revisions in this edition:

Subsection 1.3.1—Deleted ASTM specifications from listed steels: ASTM A 184, A 185, A 497, A 616, and A 617.

Table 5.2—Addresses bar sizes up to and including #6 [19] for C.E. over 0.75.

Section 5.4—New section added on weld cleaning.

Subsections to Section 6.3—Several subsections added to address welder qualification requirements and testing for fillet welds.

Subsection 7.7.3 and Section 7.9—Comprehensive approach for radiographic testing of reinforcing steel was added.

Annex A—Sample welding, testing, and inspection forms were updated.

Changes in Code Requirements. Technical and editorial changes in the text are indicated by underlining; changes to tables and figures are indicated by a single vertical line in the adjacent margin. Tables and figures have been revised, and two tables and one figure have been added.

Errata. It is the Structural Welding Committee's Policy that all errata should be made available to users of the code. Therefore, in the Society News Section of the *AWS Welding Journal*, any errata (major changes) that have been noted will be published in the July and November issues of the *Welding Journal* and posted on the AWS website at: <http://www.aws.org/technical/d1/>.

Suggestions. Comments and suggestions for the improvement of this standard are welcome. They should be sent to the Secretary, AWS D1 Structural Welding Committee, American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126.

Interpretations. Official interpretations of any of the technical requirements of this standard may only be obtained by sending a request, in writing, to the Managing Director, Technical Services Division, American Welding Society (see Annex C). A formal reply will be issued after it has been reviewed by the appropriate personnel following established procedures.



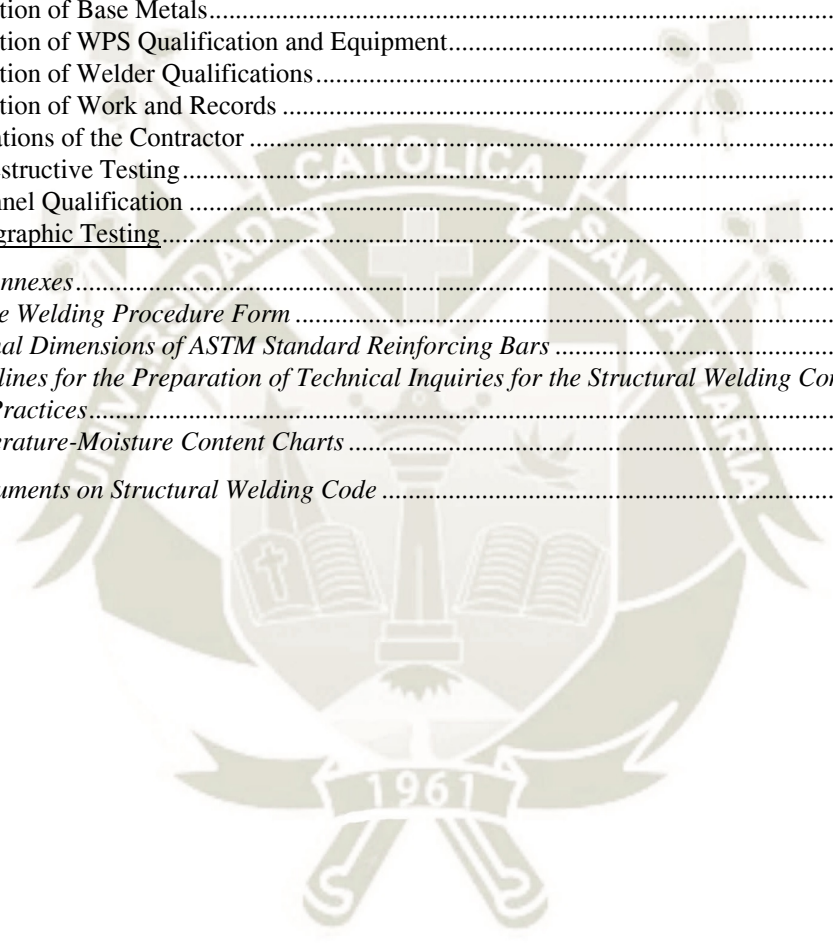
This page is intentionally blank.

Table of Contents

	Page No.
<i>Personnel</i>	iii
<i>Foreword</i>	v
<i>List of Tables</i>	ix
<i>List of Figures</i>	ix
1. General Provisions	1
1.1 Scope.....	1
1.2 Application	1
1.3 Reinforcing Steel Base Metal	1
1.4 Welding Processes	2
1.5 Definitions	2
1.6 Welding Symbols	2
1.7 Safety Precautions	2
1.8 Standard Units of Measurement	2
1.9 <u>Reference Documents</u>	2
2. Allowable Stresses	5
2.1 Base-Metal Stresses	5
2.2 Allowable Stresses in Welds	5
2.3 Effective Weld Areas, Lengths, Throats, and Sizes	5
3. Structural Details.....	9
3.1 Transition in Bar Size	9
3.2 Eccentricity	9
3.3 Joint Types.....	9
3.4 Direct Butt Joints	9
3.5 Indirect Butt Joints.....	9
3.6 Lap Joints.....	9
3.7 Interconnection of Precast Members	9
4. Workmanship	17
4.1 Preparation of Base Metal	17
4.2 Assembly	17
4.3 Control of Distortion, Shrinkage, and Heat	17
4.4 Quality of Welds.....	17
5. Technique.....	21
5.1 Filler Metal Requirements	21
5.2 Minimum Preheat and Interpass Temperature Requirements	21
5.3 Arc Strikes	21
5.4 <u>Weld Cleaning</u>	21
5.5 Tack Welds	21
5.6 Progression of Welding	22
5.7 Welding of Coated Base Metal.....	22
5.8 SMAW Electrodes	22
5.9 Electrodes and Shielding Gas for Gas Metal Arc Welding (GMAW) and Flux Cored Arc Welding (FCAW)	23

Page No.

6. Qualification.....	29
6.1 General.....	29
6.2 WPS Qualification.....	29
6.3 Welder Qualification	30
6.4 Retests.....	32
6.5 Period of Effectiveness	32
6.6 Records	32
7. Inspection.....	43
7.1 General Requirements	43
7.2 Inspection of Base Metals.....	43
7.3 Inspection of WPS Qualification and Equipment.....	43
7.4 Inspection of Welder Qualifications.....	43
7.5 Inspection of Work and Records	43
7.6 Obligations of the Contractor	44
7.7 Nondestructive Testing	44
7.8 Personnel Qualification	44
7.9 Radiographic Testing.....	45
<i>Nonmandatory Annexes.....</i>	<i>51</i>
<i>Annex A—Sample Welding Procedure Form</i>	<i>51</i>
<i>Annex B—Nominal Dimensions of ASTM Standard Reinforcing Bars</i>	<i>57</i>
<i>Annex C—Guidelines for the Preparation of Technical Inquiries for the Structural Welding Committee.....</i>	<i>59</i>
<i>Annex D—Safe Practices.....</i>	<i>61</i>
<i>Annex E—Temperature-Moisture Content Charts</i>	<i>65</i>
<i>List of AWS Documents on Structural Welding Code</i>	<i>69</i>

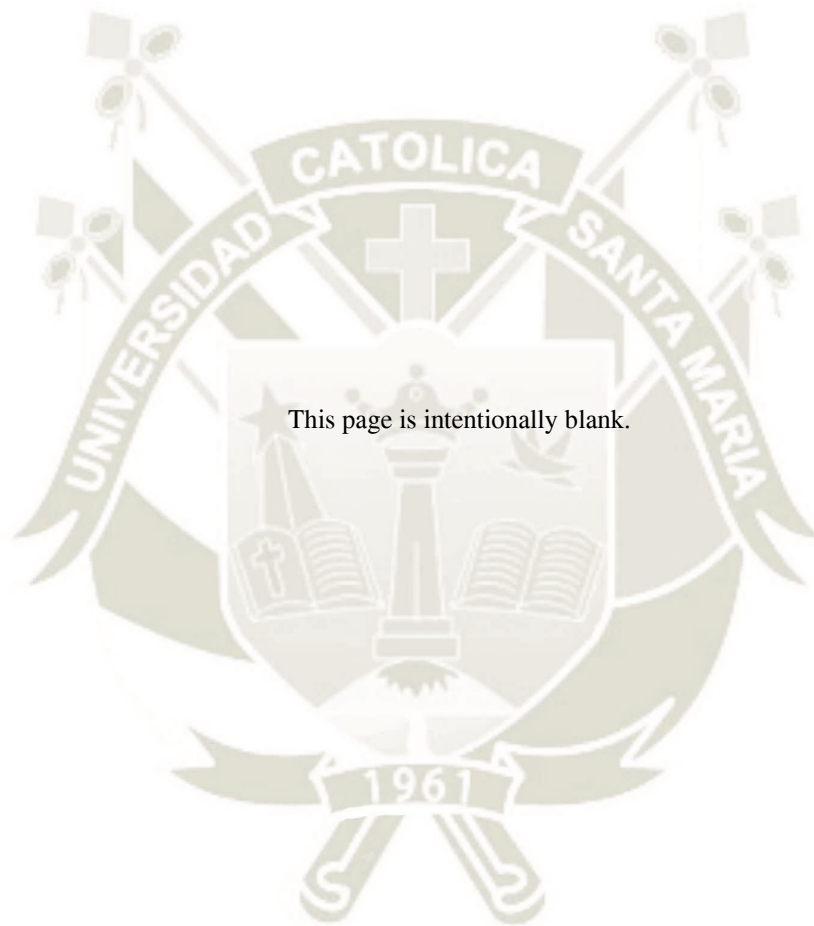


List of Tables

Table	Page No.
2.1 Allowable Stresses in Welds	6
3.1 CJP Groove Weld Requirements for Direct Butt Joints	10
4.1 Radiographic Acceptance Criteria	18
5.1 Matching Filler Metal Requirements	24
5.2 Minimum Preheat and Interpass Temperatures	26
5.3 Permissible Atmospheric Exposure of Low-Hydrogen Electrodes	27
6.1 PQR Essential Variable Changes Requiring WPS Requalification for SMAW, GMAW, and FCAW	33
6.2 Number and Type of Tests for WPS Qualification	34
6.3 <u>Welder Qualification—Number, Type of Test, Production Welds, and Positions Qualified</u>	35
7.1 <u>Hole-Type Image Quality Indicator (IQI) Requirements</u>	48

List of Figures

Figure	Page No.
2.1 Effective Weld Sizes for Flare-Groove Welds	7
3.1 Direct Butt Joints Showing Transition Between Bars of Different Sizes	10
3.2 Direct Butt Joints	11
3.3 Indirect Butt Joints	12
3.4 Lap Joints	13
3.5 Details of Joints of Anchorages, Base Plates, and Inserts	14
4.1 Acceptable and Unacceptable Weld Profiles	19
4.2 Minimum Distance to Cold Bending Radius Tangent Points	20
6.1 Direct Butt Joint Test Positions for Groove Welds	36
6.2 Indirect Butt Joint Test Positions for Flare-Groove Welds or Fillet Welds	37
6.3 Positions of Groove Welds	38
6.4 Positions of Fillet Welds	39
6.5 Full Section Tension Test Specimens for WPS Qualification Tests	40
6.6 Full Section Tension Test and Macroetch Test Specimens for Welder Qualification Tests	42
7.1 <u>Source Position</u>	49
7.2 <u>Film Placement</u>	50
E-1 Temperature-Moisture Content Chart to be Used in Conjunction with Testing Program to Determine Extended Atmospheric Exposure Time of Low-Hydrogen Electrodes	66
E-2 Application of Temperature-Moisture Content Chart in Determining Atmospheric Exposure Time of Low-Hydrogen Electrodes	67



This page is intentionally blank.

Structural Welding Code— Reinforcing Steel

1. General Provisions

1.1 Scope

The code shall apply to the welding of:

- (1) Reinforcing steel to reinforcing steel, and
- (2) Reinforcing steel to carbon or low-alloy structural steel.

When the code is stipulated in contract documents, conformance with all provisions shall be required, except for those provisions that the Engineer or contract documents specifically modifies or exempts.

1.2 Application

1.2.1 This code shall be used in conjunction with the prescribed general building code requirements and is applicable to all welding of reinforcing steel, using the processes listed in 1.4, and performed as a part of reinforced concrete construction.

1.2.2 The weldments specified in this code shall not be used where impact properties are a requirement of the general specification. Impact testing requirements of welded reinforcing bars are not included in this code.

1.2.3 All references to the need for approval shall be interpreted to mean approval by the Engineer.

1.3 Reinforcing Steel Base Metal

1.3.1 Reinforcing steel base metal in this code shall conform to the requirements of the latest edition of one of the ASTM specifications listed within this paragraph. Combinations of any of these reinforcing steel base metals, when welded, shall use a WPS (welding procedure specification) qualified in conformance with Section 6.

- (1) ASTM A 82/A 82M
- (2) ASTM A 496/A 496M
- (3) ASTM A 615/A 615M
- (4) ASTM A 706/A 706M
- (5) ASTM A 767/A 767M
- (6) ASTM A 775/A 775M
- (7) ASTM A 934/A 934M

Manufacturing and testing requirements for mats and fabric are covered by the respective ASTM specification. For joining the ASTM A 82/A 82M and A 496/A 496M to other reinforcing wires, reinforcing bars, or structural steels, the Engineer shall specify filler metal and the provisions of this code shall apply.

1.3.2 When a reinforcing steel not listed in 1.3.1 is approved under the provisions of the general building code or by the Engineer, its chemical composition and carbon equivalent shall be provided and its weldability established by qualification in accordance with the requirements of 6.2 and all other requirements prescribed by the Engineer.

1.3.3 Base metal, other than those previously listed, shall be one of the structural steels listed in the latest edition of AWS D1.1, *Structural Welding Code—Steel*, or any steel stipulated in the contract documents or approved by the Engineer.

1.3.4 The carbon equivalent of reinforcing steel bars shall be calculated as shown in 1.3.4.1 or 1.3.4.2, as applicable.

1.3.4.1 For all steel bars, except those designated as ASTM A 706, the carbon equivalent shall be calculated using the chemical composition, as shown in the mill test report, by the following formula:

$$C.E = \%C + \%Mn/6 \quad (\text{Eq. 1})$$

1.3.4.2 For steel bars designated ASTM A 706/ A 706M, the carbon equivalent shall be calculated using the chemical composition, as shown in the mill test report, by the following formula:

$$\text{C.E.} = \%C + \%Mn/6 + \%Cu/40 + \%Ni/20 + \%Cr/10 - \%Mo/50 - \%V/10 \quad (\text{Eq. 2})$$

The carbon equivalent shall not exceed 0.55%.

1.3.4.3 If mill test reports are not available, chemical analysis may be made on bars representative of the bars to be welded. If the chemical composition is not known or obtained:

(1) For bars number 6 [19] or less, use a minimum preheat of 300°F [150°C].

(2) For bars number 7 [22] or larger, use a minimum preheat of 500°F [260°C].

(3) For all ASTM A 706/A 706M bar sizes, use Table 5.2 C.E. values of “over 0.45% to 0.55% inclusive.”

1.4 Welding Processes

1.4.1 Welding shall be performed with shielded metal arc welding (SMAW), gas metal arc welding (GMAW), or flux cored arc welding (FCAW).

1.4.2 Other welding processes may be used when approved by the Engineer, provided that any special qualification test requirements not covered here are met to ensure that welds satisfactory for the intended application will be obtained.

1.5 Definitions

The welding terms used in this code shall be interpreted in accordance with the definitions given in the latest edition of AWS A3.0, *Standard Welding Terms and Definitions*.

1.6 Welding Symbols

Welding symbols shall be those designated to the latest edition of AWS A2.4, *Standard Symbols for Welding, Brazing, and Nondestructive Examination*. Special conditions shall be fully explained by additional notes or details.

1.7 Safety Precautions

This technical document does not address all welding and health hazards. However, pertinent information can be found in the following documents:

(1) ANSI Z49.1, *Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes*

(2) Manufacturer’s safety literature on equipment and materials

(3) Other pertinent documents as appropriate.

These documents shall be referred to and followed as required (also see Annex D, Safe Practices).

Note: This code may involve hazardous materials, operations, and equipment. The code does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user to establish appropriate safety and health practices. The user should determine the applicability of any regulatory limitations prior to use.

1.8 Standard Units of Measurement

This standard makes use of both U.S. Customary Units and the International System of Units (SI). The measurements may not be exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other without combining in any way. The standard with the designation D1.4:2005 uses U.S. Customary Units. The standard designation D1.4M:2005 uses SI Units. The latter are shown within brackets [].

1.9 Reference Documents

The following standards contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this AWS standard. For undated references, the latest edition of the referenced standard in use at the date of the contract bid submission shall apply. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply.

ASNT Standards¹

(1) ASNT Recommended Practice No. SNT-TC-1A, *Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing*

1. ASNT standards are published by the American Society for Nondestructive Testing, 1711 Arlingate Lane, Columbus, OH 43228-0518.

ASME Standards²

- (1) ASME B46.1, Surface Texture
- (2) ASME Boiler and Pressure Vessel Code

ASTM Standards³

- (1) ASTM A 82/A 82M, Specification for Steel Wire, Plain, for Concrete Reinforcement
- (2) ASTM A 496/A 496M, Specification for Steel Wire, Deformed, for Concrete Reinforcement
- (3) ASTM A 615/A 615M, Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement
- (4) ASTM A 706/A 706M, Specification for Low-Alloy Steel Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement
- (5) ASTM A 767/A 767M, Specification for Zinc-Coated (Galvanized) Steel Bars for Concrete Reinforcement
- (6) ASTM A 775/A 775M, Specification for Epoxy-Coated Steel Reinforcing Bars
- (7) ASTM A 934/A 934M, Specification for Epoxy-Coated Prefabricated Steel Reinforcing Bars
- (8) ASTM E 94, Standard Guide for Radiographic Examination
- (9) ASTM E 165, Standard Test Method for Liquid Penetrant Examination
- (10) ASTM E 709, Standard Guide for Magnetic Particle Examination
- (11) ASTM E 1032, Standard Test Method for Radiographic Examination of Weldments

2. ASME standards are published by the American Society of Mechanical Engineers, 3 Park Avenue, New York, NY 10017.
3. ASTM standards are published by the American Society for Testing and Materials, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959.

AWS Standards⁴

- (1) ANSI Z49.1:1999, Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes
- (2) AWS A2.4-98, Standard Symbols for Welding, Brazing, and Nondestructive Examination
- (3) AWS A3.0:2001, Standard Welding Terms and Definitions
- (4) AWS A5.1:2004, Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding Electrodes
- (5) AWS A5.5-96, Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding Electrodes
- (6) AWS A5.18:2001, Specification for Carbon Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding
- (7) AWS A5.20:2005, Specification for Carbon Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding
- (8) AWS A5.28-96, Specification for Low Alloy Steel Filler Metals for Gas Shielded Arc Welding
- (9) AWS A5.29:1998, Specification for Low Alloy Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding
- (10) AWS D1.1:2004, Structural Welding Code—Steel
- (11) AWS D12.1-75, Reinforcing Steel Welding Code (obsolete, superseded by D1.4-79)
- (12) AWS QC1-96, Standard for AWS Certification of Welding Inspectors

CSA Standards⁵

- (1) CSA Standard W178.2, Certification of Welding Inspectors

4. AWS standards are published by the American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126.
5. CSA standards are published by the Canadian Standards Association, 178 Rexdale Boulevard, Toronto, Ontario, Canada, M9W 1R3.



This page is intentionally blank.

2. Allowable Stresses

2.1 Base-Metal Stresses

The allowable base-metal stresses shall be those specified in the applicable code or general specification for reinforced concrete construction.

2.2 Allowable Stresses in Welds

2.2.1 Except as modified by Table 2.1, the allowable stresses for complete joint penetration bevel and V-groove welds in direct butt joints subject to tension or compression shall be the same as the corresponding allowable stresses for the reinforcing steel base metal, provided the filler metal used has a strength classification at least equal to the tensile strength of the base metal being welded.

2.2.2 The allowable stresses for fillet welds, flare-bevel-, and flare-V-groove welds shall be in accordance with Table 2.1.

2.3 Effective Weld Areas, Lengths, Throats, and Sizes

2.3.1 Complete Joint Penetration Groove Welds in Direct Butt Joints. The effective weld area shall be the nominal cross-sectional area of the bar being welded (see Figure 3.2). If different size bars are being welded, the weld area shall be based on the smaller bar.

2.3.2 Flare-Bevel- and Flare-V-Groove Welds. The effective weld area shall be the effective weld length multiplied by the effective weld size (see Figure 2.1).

2.3.2.1 The effective weld length shall be the weld length of the specified weld size.

2.3.2.2 The minimum effective weld length shall not be less than two times the bar diameter for equal size bars or two times the smaller bar diameter for two unequal size bars.

2.3.2.3 The effective weld size, when filled flush to the solid section of the reinforcing steel bar, shall be 0.4 of the bar radius for flare-bevel-groove welds and 0.6 of the bar radius for flare-V-groove welds. Larger effective weld sizes may be used to determine allowable stresses provided, the WPS qualifies the larger weld size. When bars of unequal diameter are being joined, the effective weld size shall be based on the radius of the smaller bar. See 6.2.6.2 for macroetch test requirements for determining weld size.

2.3.3 Fillet Welds. The effective weld area shall be the effective weld length multiplied by the effective throat. (Stress in a fillet weld shall be considered as applied to this effective weld area, for any direction of applied load.)

2.3.3.1 The effective weld length of a curved fillet weld shall be measured along the weld axis.

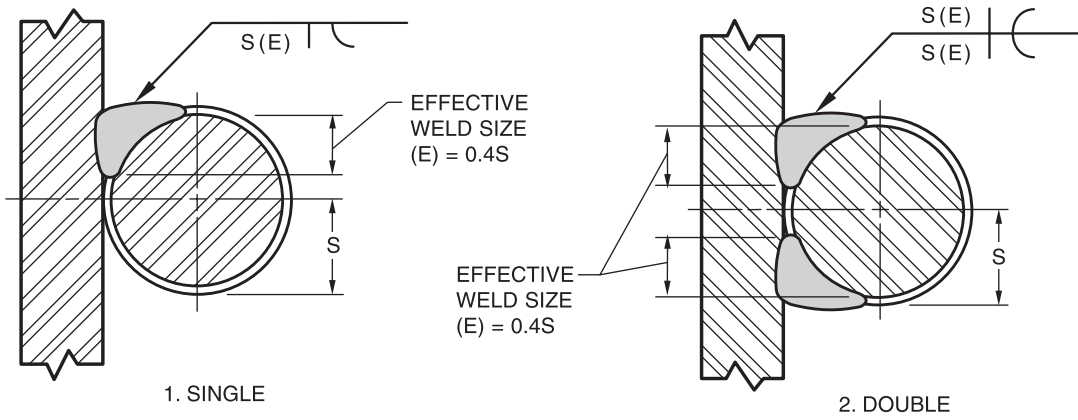
2.3.3.2 The effective throat shall be calculated as the minimum distance from the weld root to the face of the fillet weld, minus convexity.

Table 2.1
Allowable Stresses in Welds (see 2.2.1)

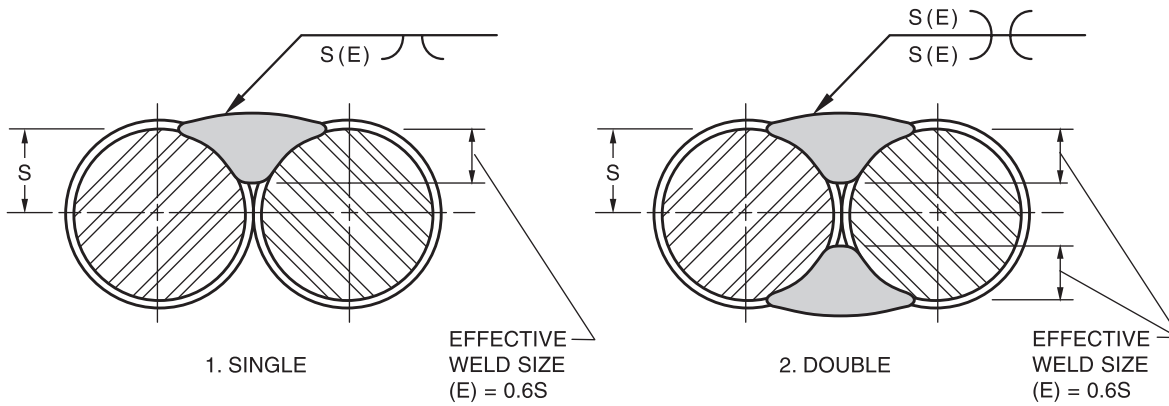
Type of Weld	Stress in Weld ⁽¹⁾		Allowable Stress ^{(2),(3)}	Required Filler Metal Strength Level ⁽⁴⁾
Complete joint penetration groove welds	Tension normal to the effective area		Same as base metal	Matching filler metal shall be used. See Table 5.1
	Compression normal to the effective area		Same as base metal	Filler metal with a strength level equal to or one classification (10 ksi [70 MPa]) less than matching filler metal may be used
	Shear on the effective areas		0.30 × nominal tensile strength of filler metal, except shear stress on base metal shall not exceed 0.40 × yield strength of base metal	Filler metal with a strength level equal to or less than matching filler metal may be used
Flare-bevel and flare-V-groove welds	Compression normal to effective area	Joint not designed to bear	0.50 × nominal tensile strength of filler metal, except stress on base metal shall not exceed 0.60 × yield strength of base metal	Filler metal with a strength level equal to or less than matching filler metal may be used
		Joint designed to bear	Same as base metal	
	Shear on the effective area		0.30 × nominal tensile strength of filler metal, except shear stress on base metal shall not exceed 0.40 × yield strength of base metal	
	Tension normal to the effective area		0.30 × nominal tensile strength of filler metal, except tensile stress on base metal shall not exceed 0.60 × yield strength of base metal	
Fillet welds	Shear on the effective area		0.30 × nominal tensile strength of filler metal	Filler metal with a strength level equal to or less than matching filler metal may be used

Notes:

- (1) For definition of effective area, see 2.3.1, 2.3.2, and 2.3.3.
- (2) For fatigue or dynamic loading refer to the applicable construction code or specification for allowable stress values.
- (3) The Engineer should be aware that the strength of cold drawn wire may be reduced when welded.
- (4) For matching filler metal, see Table 5.1.



(A) FLARE-BEVEL-GROOVE WELD

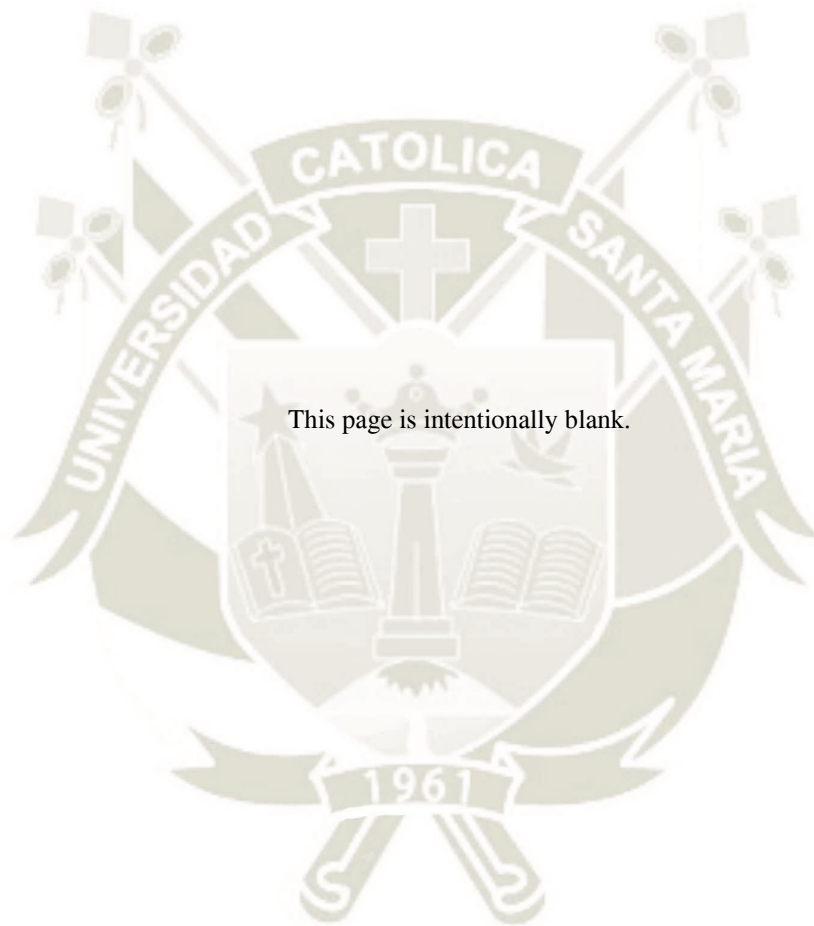


(B) FLARE-V-GROOVE WELD

General Notes:

- (a) Radius of reinforcing bar = S.
- (b) These are sectional views. Bar deformations are shown only for illustrative purposes.

Figure 2.1—Effective Weld Sizes for Flare-Groove Welds (see 2.3.2)



This page is intentionally blank.

3. Structural Details

3.1 Transition in Bar Size

Direct butt joints in tension in axially aligned bars of different size shall be made as shown in Figure 3.1 (see Annex B for bar sizes).

3.2 Eccentricity

3.2.1 Where welded lap or indirect butt joints are used (Figures 3.3 and 3.4, respectively), the concrete surrounding the joint in the finished structure shall be sufficiently strengthened with transverse reinforcement (splice plate) to prevent splitting of the concrete caused by the tendency of the joint to flex during eccentric loading.

3.2.2 Welded lap joints shall be limited to bar size No. 6 [19] and smaller.

3.3 Joint Types

Reinforcing bars may be welded with direct or indirect butt joints, lap joints, or T-joints (Figures 3.2, 3.3, 3.4, and 3.5); however, direct butt joints are preferable for bars greater than No. 6 [19].

3.4 Direct Butt Joints

Direct butt joints shall be welded with complete joint penetration groove welds. Table 3.1 and Figure 3.2 describe the type of welded joints required.

3.5 Indirect Butt Joints

An indirect butt joint shall be made with either single- or double-flare-groove welds between the bars and the splice member. See Figure 3.3.

3.6 Lap Joints

3.6.1 A lap joint shall be made with double-flare-V-groove welds [see Figure 3.4(A)], except that single-flare-V-groove welds may be used when the joint is accessible from only one side, and approved by the Engineer.

3.6.2 An indirect lap joint shall be made with single-flare-bevel groove welds between the bars and the splice plate, with the bars being separated [see Figure 3.4(B)].

3.7 Interconnection of Precast Members

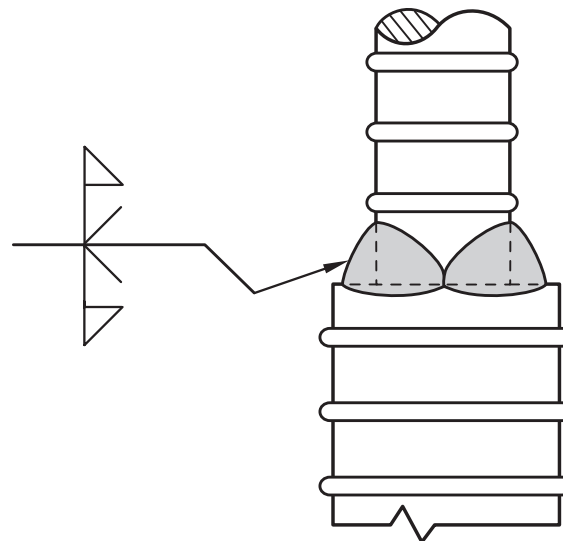
Precast members may be interconnected by welding reinforcing bars that project through the ends of the precast members or by welding together insert plates which have been cast into the precast members. The welding of reinforcing steel for precast concrete structures shall conform to the requirements of this code.

Table 3.1
CJP Groove Weld Requirements for Direct Butt Joints (see 3.4)

Bar Axis Orientation	Optional Types of CJP Groove Weld	Optional Figure 3.2 Detail
Horizontal	Single-V	A
	Double-V	B
	Single-V with Split Pipe Backing	C ⁽¹⁾
Vertical	Single-Bevel	D
	Double-Bevel	E
	Single-Bevel with Split Pipe Backing	C ⁽¹⁾

Note:

(1) Bars shall be of equal diameter.



**Figure 3.1—Direct Butt Joint Showing
Transition Between Bars of Different Sizes
(see 3.1)**

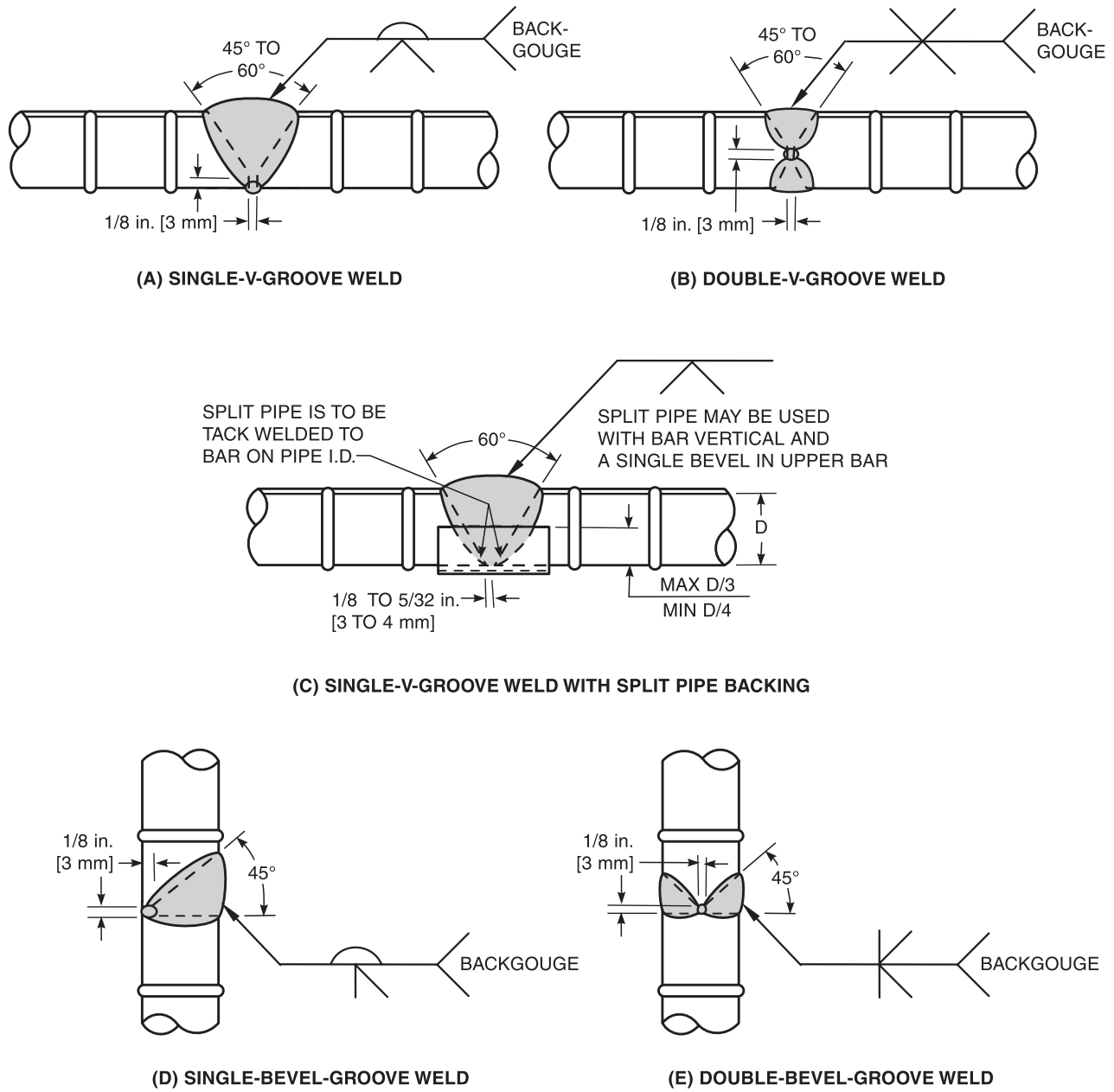
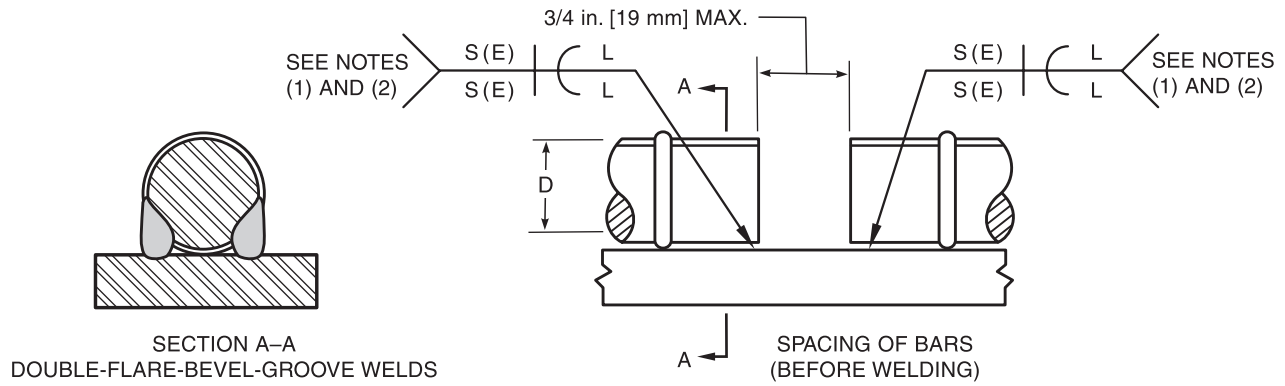
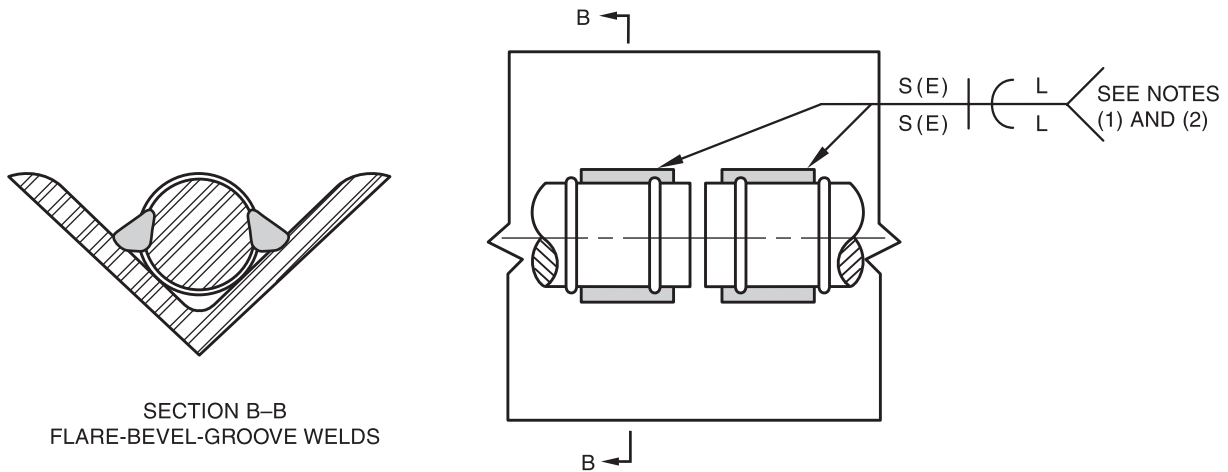


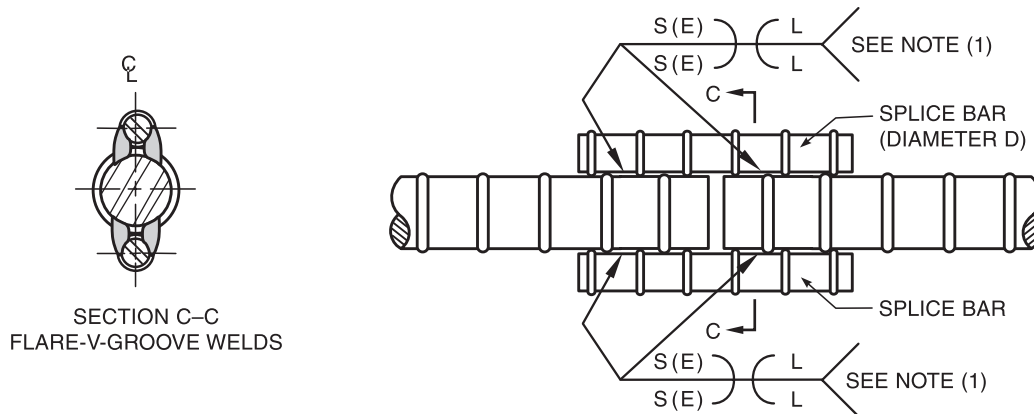
Figure 3.2—Direct Butt Joints (see Table 3.1)



(A) INDIRECT BUTT JOINT WITH A SPLICE PLATE



(B) INDIRECT BUTT JOINT WITH A SPLICE ANGLE



(C) INDIRECT BUTT JOINT TWO SPLICE BARS

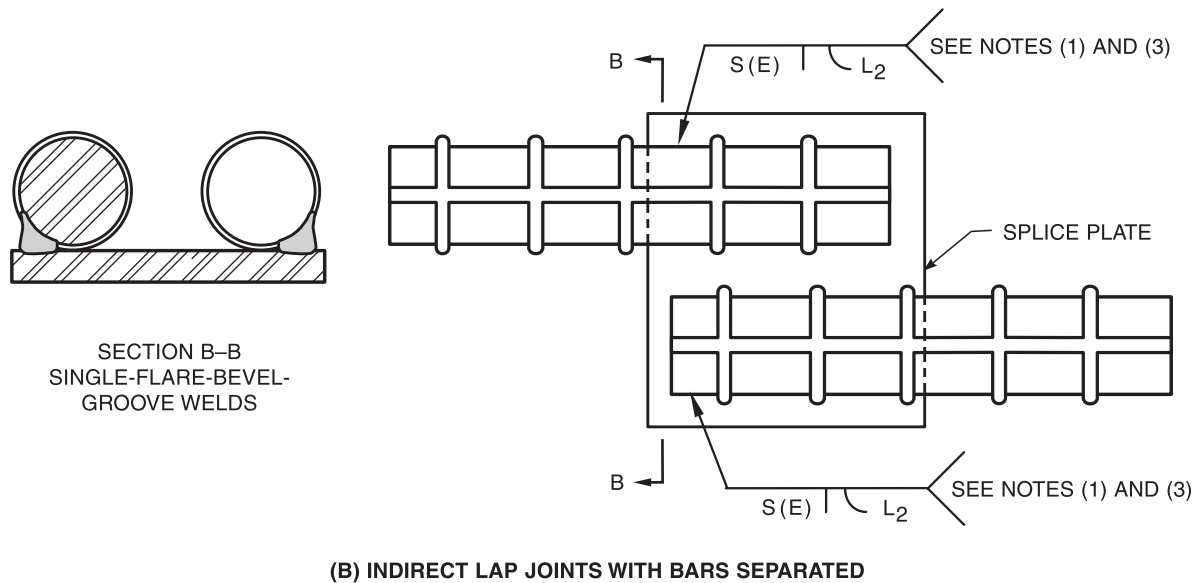
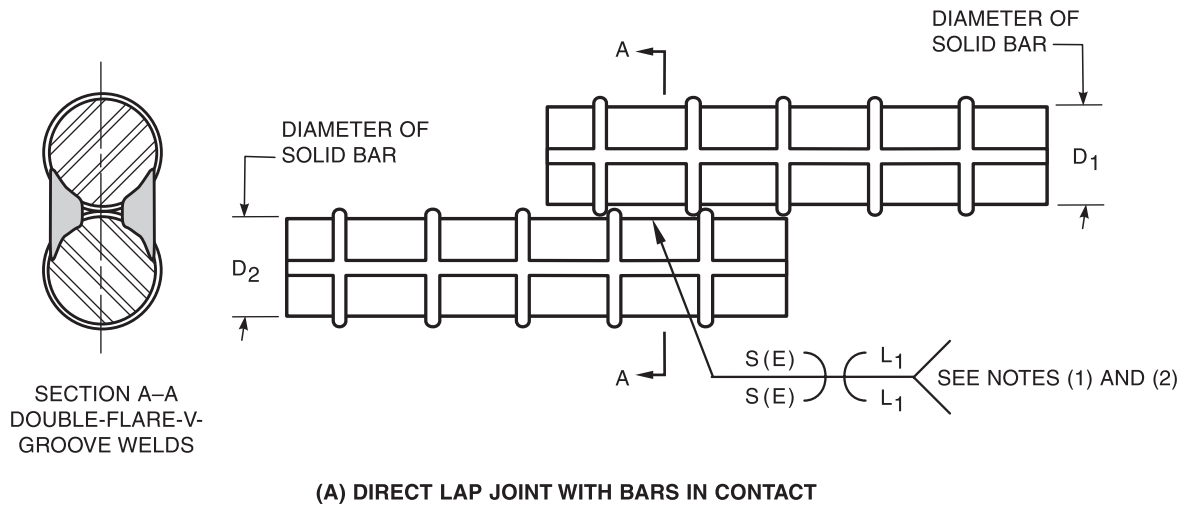
General Notes:

- (a) Gaps between bars and plate will vary depending on height of deformations.
- (b) Deformations shown on sectional views are for illustrative purposes only.

Notes:

- (1) $L = 2D$ (min.)
- (2) Variation of this weld using single flare-V welds is permitted provided eccentricity is considered or restraint provided in the design of the joint.

Figure 3.3—Indirect Butt Joints (see 3.5)



General Note: Gaps between bars and plate will vary depending on height of deformations.

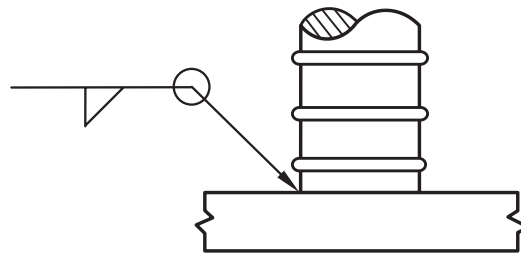
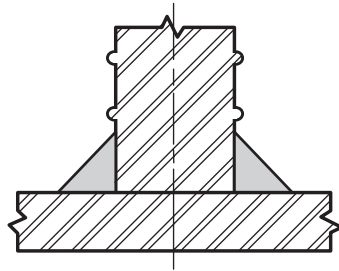
Notes:

(1) The effects of eccentricity shall be considered or restraint provided in the design of the joint.

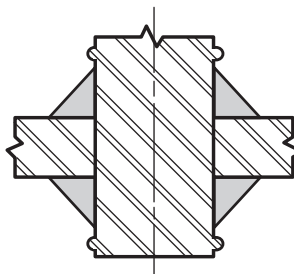
(2) $L_1 = 2 D_1$ (min); $D_1 \leq D_2$.

(3) $L_2 = 2 \times$ diameter of bar (min.).

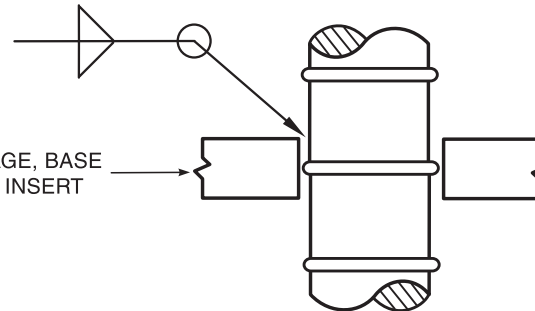
Figure 3.4—Lap Joints (see 3.2.1)



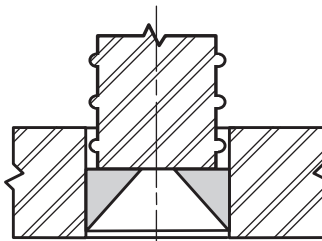
(A) EXTERNAL FILLET WELD



ANCHORAGE, BASE
PLATE OR INSERT

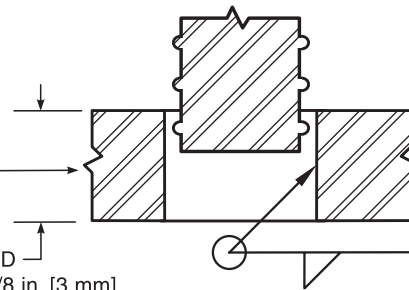


(B) EXTERNAL FILLET WELD



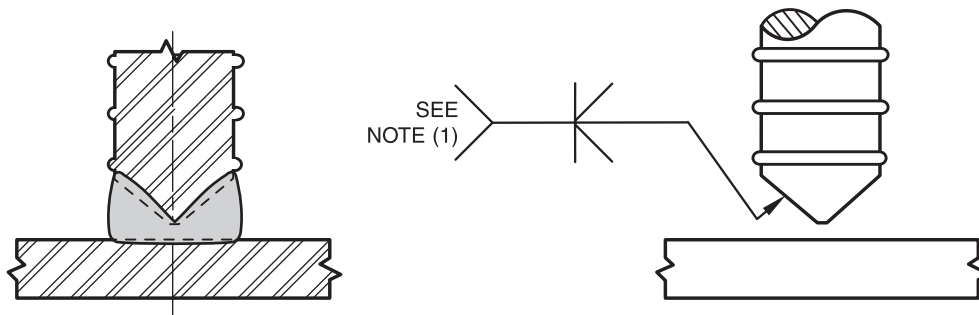
ANCHORAGE, BASE
PLATE OR INSERT

NOT TO EXCEED
WELD SIZE + 1/8 in. [3 mm]

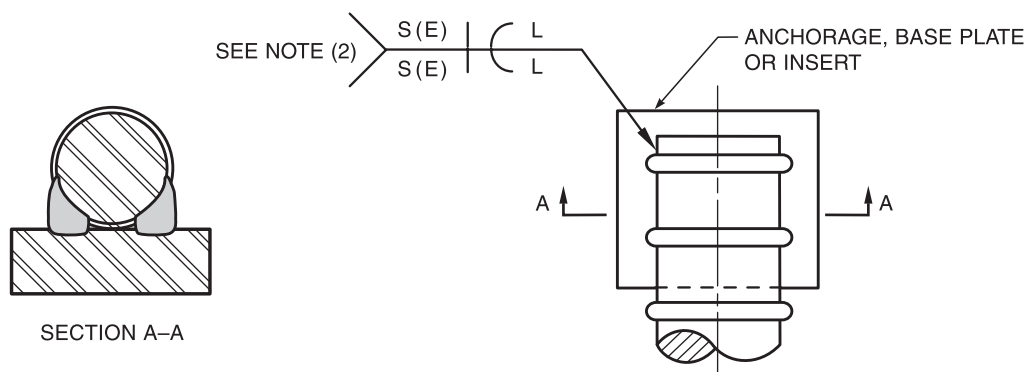


(C) INTERNAL FILLET WELD

Figure 3.5—Details of Joints of Anchorages, Base Plates, and Inserts (see 3.3)



(D) COMPLETE JOINT PENETRATION
GROOVE WELD — T-JOINT



(E) LAP JOINTS IN AN ANCHORAGE
USING FLARE-BEVEL-GROOVE WELDS

Notes:

- (1) Backgouge to sound metal before welding other side. For bar sizes 8 [25] or smaller, the single-bevel weld with backgouging and back welding is recommended.
- (2) $L = 2 \times$ bar diameter (min.).

Figure 3.5 (Continued)—Details of Joints of Anchorages, Base Plates, and Inserts (see 3.3)



This page is intentionally blank.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

4. Workmanship

4.1 Preparation of Base Metal

4.1.1 Surfaces to be welded shall be free from fins, tears, cracks, or other defects that would adversely affect the quality or strength of weld. Surfaces to be welded, and surfaces adjacent to a weld, shall also be free from loose or thick scale, slag, rust, moisture, grease, epoxy coating, or other foreign material that would prevent proper welding or produce objectionable fumes. Mill scale that withstands vigorous wire brushing, a thin rust inhibitive coating, or antispatter compound may remain.

4.1.2 The ends of reinforcing bars in direct butt joints shall be shaped to form the weld groove by oxygen cutting, air carbon arc cutting, sawing, or other mechanical means. Roughness of oxygen cut surfaces shall be no greater than the 2000 μin . [50 μm] limit defined in ANSI/ASME B46.1, *Surface Texture*. Roughness exceeding this value and occasional notches or gouges not more than 3/16 in. [5 mm] deep, on otherwise satisfactory surfaces, shall be removed by machining or grinding. Bars for direct butt joints that have sheared ends shall be trimmed back beyond the area deformed by shearing.

4.2 Assembly

4.2.1 The joint members shall be aligned so as to minimize eccentricities. Welded direct butt joints shall not be offset at the joint by more than the following:

Bar sizes No. 10 [32] or smaller	1/8 in. [3 mm]
Bar sizes No. 11 [36] and No. 14 [43]....	3/16 in. [5 mm]
Bar size No. 18 [57]	1/4 in. [6 mm]

4.2.2 For indirect butt joints with splice plates, the maximum joint clearance between the bars shall not be more than 3/4 in. [19 mm]. See Figure 3.3(A).

4.2.3 For direct lap joints, if the bar deviates by more than one-half of the bar diameter, or by no more than 1/4 in. [6 mm] from each other while the bars remain in approximately the same plane, the joint shall be made

through a splice bar or plate, and the requirements for an indirect lap joint shall apply (see 3.6.2).

4.2.4 For indirect lap joints [see Figure 3.4(B)], the maximum separation between the bar and the splice plate shall be no more than one-quarter of the bar diameter, but not more than 3/16 in. [5 mm].

4.2.5 Welding of bars which cross shall not be permitted unless authorized by the Engineer.

4.2.6 Welds made on the unbent portion of cold bent reinforcing steel shall be terminated or initiated at a minimum distance of two bar diameters from the points of tangency for the radius created by cold bending. See Figure 4.2.

4.3 Control of Distortion, Shrinkage, and Heat

4.3.1 In assembling and joining parts of a structure or precast member, the procedure and sequence followed shall minimize distortion and shrinkage.

4.3.2 When welding is performed on bars or other structural components that are already embedded in concrete, allowance shall be made for thermal expansion of the steel to prevent spalling or cracking of the concrete or significant destruction of the bond between the concrete and the steel. The heat of welding may cause localized damage to the concrete.

4.4 Quality of Welds

Welds that do not meet the quality requirements of 4.4.1 through 4.4.8, inclusive, shall be repaired by removal of unacceptable portions or by rewelding, whichever is applicable.

4.4.1 The fillet weld faces shall be slightly convex or slightly concave as shown in Figures 4.1(A) and 4.1(B) or flat, and with none of the unacceptable profiles exhibited in Figure 4.1(C). Groove weld profiles shall conform to Figure 4.1(D).

4.4.2 Welds shall have no cracks in either the weld metal or heat-affected zone (HAZ).

4.4.3 There shall be complete fusion between weld metal and base metal and between successive passes in the weld.

4.4.4 All weld craters shall be filled to a cross section that meets the minimum specified weld size.

4.4.5 Welds shall be free from overlap.

4.4.6 Undercut depth greater than 1/32 in. [1 mm] in the solid section of the bar or structural member shall not be allowed.

4.4.7 The sum of diameters of piping porosity in flare-groove welds and fillet welds shall not exceed 3/8 in. [10 mm] in any linear inch [25 mm] of weld and shall not exceed 9/16 in. [14 mm] in any 6 in. [150 mm] length of weld.

4.4.8 When radiographic inspection of direct butt joints is required, the maximum dimension of any single porosity or fusion-type discontinuity, or the sum of the maximum dimensions of all porosity or fusion-type discontinuities, shall not exceed the limits given in Table 4.1. For radiographic inspection, see 7.7.3.

4.4.9 Repairs to welds made with the shielded metal arc welding (SMAW), gas metal arc welding (GMAW), or flux cored arc welding (FCAW) processes shall be made in accordance with a qualified WPS approved by the Engineer applicable to these processes.

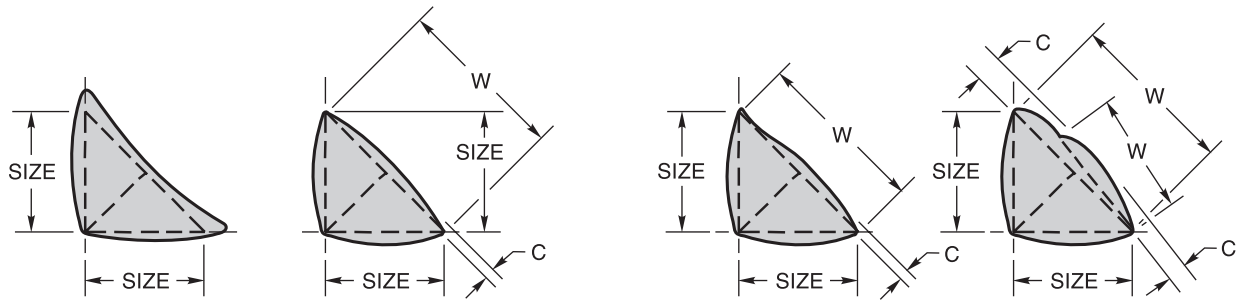
4.4.10 The weld size shall be equal to or greater than the weld size specified. The length of weld containing this weld size shall be equal to or greater than the weld length specified. Any portion of the length, including starts or stops, that contain a smaller weld size shall not be measured in the weld length.

Table 4.1
Radiographic Acceptance Criteria⁽¹⁾ (see 4.4.8)

Bar Size	Sum of Discontinuity Dimensions		Single Discontinuity Dimension	
	in.	mm	in.	mm
8 [25]	3/16	5	1/8	3
9 [29]	3/16	5	1/8	3
10 [32]	1/4	6	1/8	3
11 [36]	1/4	6	3/16	5
14 [43]	5/16	8	3/16	5
18 [57]	7/16	11	1/4	6

Note:

(1) Acceptance criteria for bar sizes less than No. 8 [25] shall be established by the Engineer.

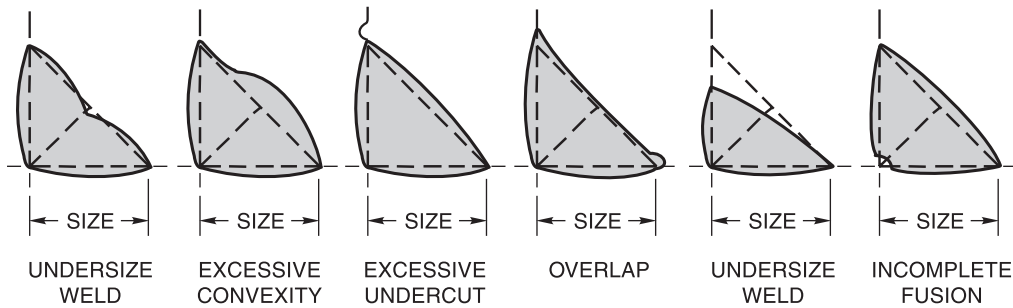


(A) DESIRABLE FILLET WELD PROFILES

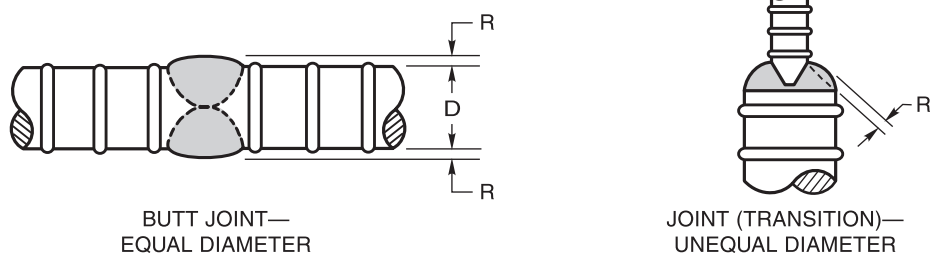
(B) ACCEPTABLE FILLET WELD PROFILES

Note: Convexity, C, of a weld or individual surface bead with dimension W shall not exceed the value of the following table:

WIDTH OF WELD FACE OR INDIVIDUAL SURFACE BEAD, W	MAX CONVEXITY, C
$W \leq 5/16$ in. [8 mm]	1/16 in. [2 mm]
$W > 5/16$ in. [8 mm] TO $W < 1$ in. [25 mm]	1/8 in. [3 mm]
$W \geq 1$ in. [25 mm]	3/16 in. [5 mm]

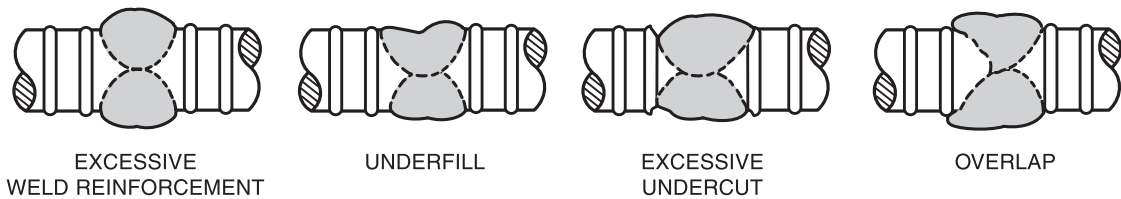


(C) UNACCEPTABLE FILLET WELD PROFILES



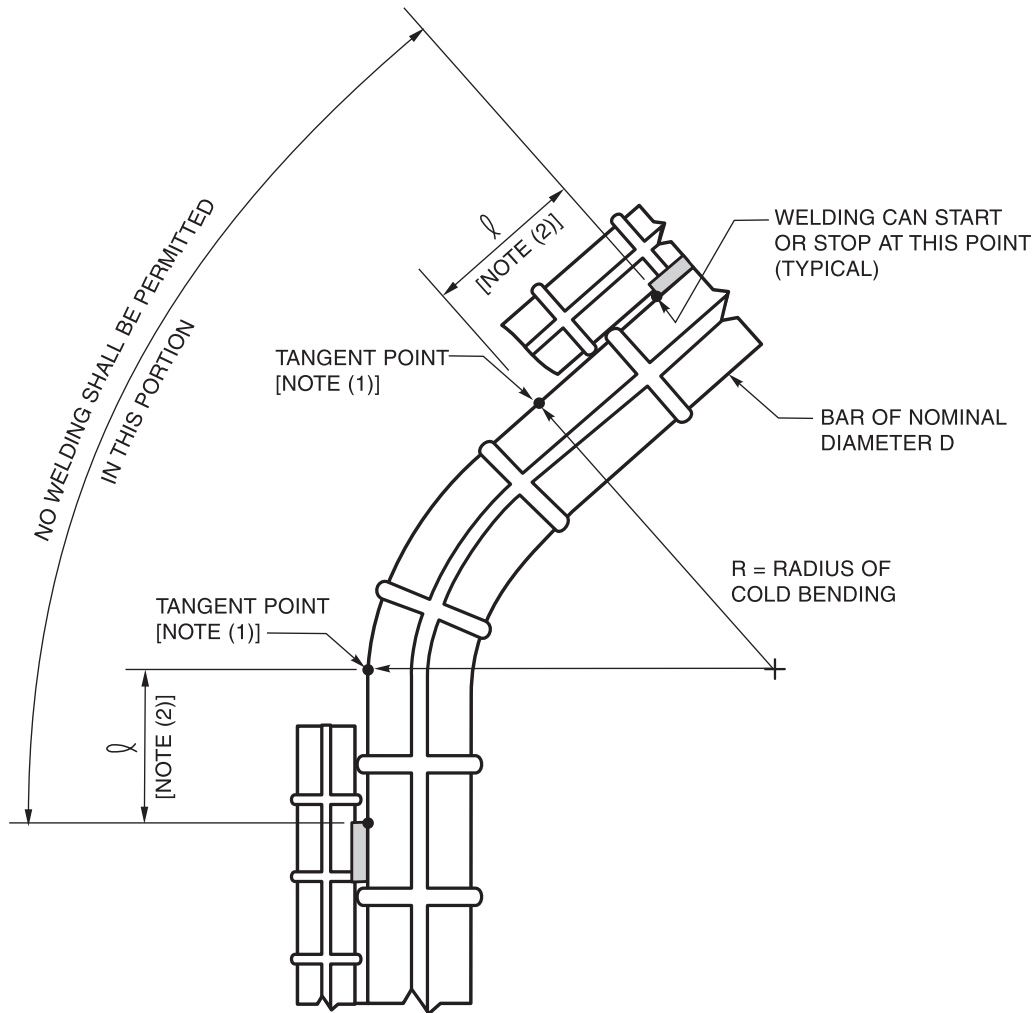
Note: Reinforcement R shall not exceed 1/8 in. [3 mm].

(D) ACCEPTABLE GROOVE WELD PROFILE IN BUTT JOINT



(E) UNACCEPTABLE GROOVE WELD PROFILES IN BUTT JOINTS

Figure 4.1—Acceptable and Unacceptable Weld Profiles (see 4.4.1)



General Note: This figure is for illustration only.

Notes:

- (1) For welding on inside radius, use tangent points on inside radius.
- (2) $l \geq 2D$.

Figure 4.2—Minimum Distance to Cold Bending Radius Tangent Points¹ (see 4.2.6)

5. Technique

5.1 Filler Metal Requirements

5.1.1 For any connections welded to this code, the base metal–filler metal strength relationship below shall be used in conjunction with Table 5.1 to determine whether matching or undermatching filler metals are required.

Relationship	Base Metal	Filler Metal Strength Required
Matching	Any reinforcing steel to itself or any reinforcing steel to any other steel with a comparable minimum tensile strength.	Any filler metal listed in the same Table 5.1 strength group.
	Any reinforcing steel in one group to any reinforcing steel or other steel with a lower minimum tensile strength.	Any filler metal listed for the same Table 5.1 strength group as the steel with the lower minimum tensile strength.
Under-matching	Any reinforcing steel to a reinforcing steel or other steel with a comparable minimum tensile strength.	Any filler metal listed for the next lower Table 5.1 strength group.

Note: See Table 2.1 to determine the filler metal strength requirements to match or undermatch base metal strength.

5.1.2 When joining different grades of steels, the filler metal shall be selected for the lower tensile strength base metal.

5.2 Minimum Preheat and Interpass Temperature Requirements

5.2.1 Minimum preheat and interpass temperatures shall be in accordance with Table 5.2 using the highest carbon equivalent number of the base metal as determined in accordance with 1.3.4.

5.2.2 Welding shall not be done when ambient temperature is lower than 0°F [–18°C], or when surfaces to be welded are exposed to rain or snow. For the GMAW and FCAW-G processes, welding shall not be performed when wind velocities exceed 5 mph [8 km/h].

5.3 Arc Strikes

Arc strikes outside the area of permanent welds shall be avoided, especially on reinforcing bars.

5.4 Weld Cleaning

5.4.1 In-Process Cleaning. Before welding over previously deposited metal, all slag shall be removed and the weld and adjacent base metal shall be brushed clean. This requirement shall apply not only to successive layers but also to successive beads and to the crater area when welding is resumed after any interruption.

5.4.2 Cleaning of Completed Welds. Slag shall be removed from all completed welds, and the weld and adjacent base metal shall be cleaned by brushing or other suitable means. Tightly adherent spatter remaining after the cleaning operation is acceptable, unless its removal is required for the purpose of NDT. Welded joints shall not be painted until after welding has been completed and the weld accepted.

5.5 Tack Welds

Tack welds that do not become a part of permanent welds shall be prohibited unless authorized by the Engineer. Tack welds shall be subject to the welding requirements of the code, including preheat, electrode selection, and discontinuity acceptance criteria.

5.6 Progression of Welding

Welds made in the vertical position [Figure 6.1(C), Position 3G or Figure 6.2(C), Position 3G], shall use uphill progression.

5.7 Welding of Coated Base Metal

5.7.1 Preparation for welding on coated base metal shall preferably be made after coating. After welding to a qualified WPS, suitable coating protection shall be applied to the finished joint to restore the corrosion-resistant properties of the coated bars.

5.7.2 When welding galvanized base metal, one of the following options shall be met:

5.7.2.1 Option 1. Welding of galvanized base metal, without prior removal of the coating, shall be performed in accordance with a WPS qualified to the requirements of this code. Note that the WPS will normally involve larger root openings in joints, electrodes with lower silicon content, and slower welding speeds.

5.7.2.2 Option 2. Welding of galvanized base metal may be done after removing all coating from within 2 in. [50 mm] of the weld joint. In this option, the welding shall be performed using a WPS for uncoated reinforcing bar qualified in accordance with this code. The galvanized coating may be removed with oxyfuel gas flame, abrasive shot blasting, or other suitable means.

5.7.3 When welding galvanized surfaces, suitable ventilation shall be provided to prevent the concentration of fumes. See ANSI Z49.1 and Annex D.

5.7.4 When welding or preheating epoxy coated base metal, the epoxy coating shall be removed from the surfaces to be heated.

5.8 SMAW Electrodes

Electrodes for SMAW shall conform to the requirements of the latest edition of AWS A5.1, *Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding Electrodes*, or to the requirements of AWS A5.5, *Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding*.

5.8.1 Low-Hydrogen Electrode Storage Conditions. All electrodes having low-hydrogen coverings conforming to AWS A5.1 and AWS A5.5 shall be purchased in hermetically sealed containers or shall be rebaked prior to use. Immediately after opening the hermetically sealed container, electrodes shall be stored in ovens held at a temperature of at least 250°F [120°C].

5.8.2 Approved Atmospheric Time Periods. After hermetically sealed containers are opened or after electrodes are removed from baking or storage ovens, the electrode exposure to the atmosphere shall not exceed the values shown in column A, Table 5.3, for the specific electrode classification with optional supplemental designators, where applicable. Electrodes exposed to the atmosphere for periods less than those permitted by column A, Table 5.3 may be returned to a holding oven maintained at 250°F [120°C] min; after a minimum hold period of four hours at 250°F [120°C] min., the electrodes may be reissued. Electrodes that have been wet shall not be used.

5.8.3 Alternative Atmospheric Exposure Time Periods Established by Tests. The alternative exposure time values shown in column B in Table 5.3 may be used, provided testing establishes the maximum allowable time. The testing shall be performed in conformance with AWS A5.5, subsection 3.10, for each electrode classification and each electrode manufacturer. Such tests shall establish that the maximum moisture-content values of AWS A5.5 (Table 9) are not exceeded. Additionally, E70XX or E70XX-X (AWS A5.1 or A5.5) low-hydrogen electrode coverings shall be limited to a maximum moisture content not exceeding 0.4% by weight. These electrodes shall not be used at relative humidity-temperature combinations that exceed either the relative humidity or moisture content in the air that prevailed during the testing program.

For proper application to this provision, see Annex E for the temperature-moisture content chart and its examples. The chart shown in Annex E, or any standard psychrometric chart, shall be used in the determination of temperature-relative humidity limits.

5.8.4 Rebaking Electrodes. Electrodes exposed to the atmosphere for periods greater than those permitted in Table 5.3 shall be rebaked as follows:

(1) All electrodes having low-hydrogen coverings conforming to AWS A5.1 shall be baked for at least two hours between 500°F [260°C] and 800°F [430°C], or

(2) All electrodes having low-hydrogen coverings conforming to AWS A5.5 shall be baked for at least one hour at temperatures between 700°F [370°C] and 800°F [430°C].

Electrode shall be rebaked no more than once.

5.8.5 Electrode Restrictions for ASTM A 514 or A 517 Steels. When used for welding ASTM A 514 or A 517 steels, electrodes of any classification lower than E100XX-X, except for E7018M and E70XXH4R, shall be baked at least one hour at temperatures between 700 and 800°F [370 and 430°C] before being used, whether furnished in hermetically sealed containers or otherwise.

5.9 Electrodes and Shielding Gas for Gas Metal Arc Welding (GMAW) and Flux Cored Arc Welding (FCAW)

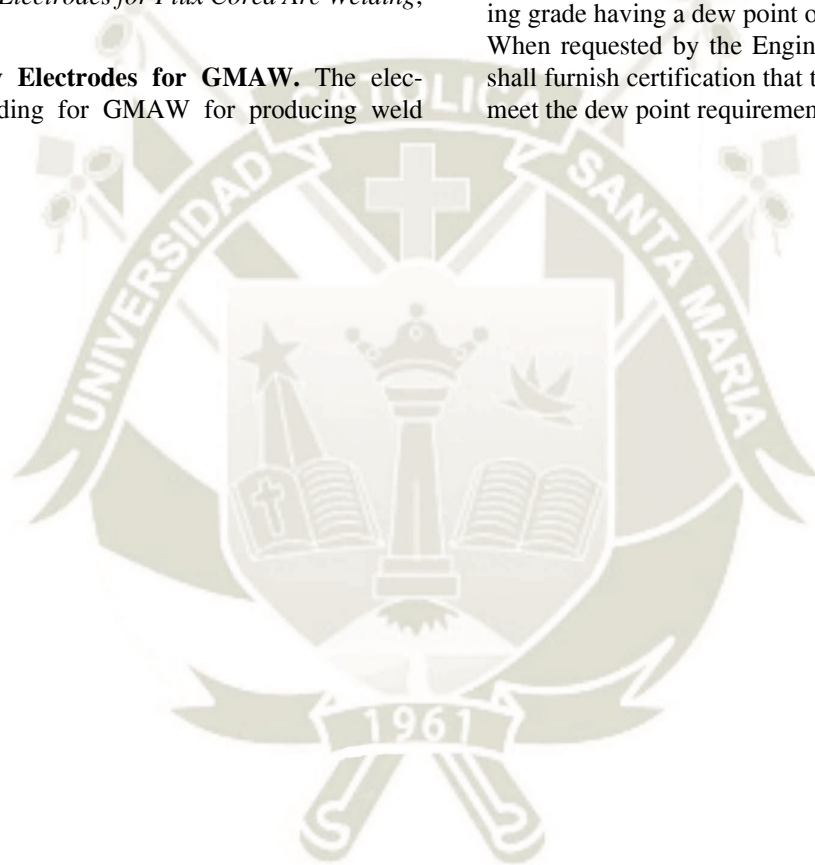
The electrodes and shielding for gas metal arc welding (GMAW) or flux cored arc welding (FCAW) for producing weld metal with minimum specified yield strengths of 60 000 psi [420 MPa] or less, shall conform to the requirements of the latest edition of AWS A5.18, *Specification for Carbon Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding*, or AWS A5.20, *Specification for Carbon Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding*, as applicable.

5.9.1 Low-Alloy Electrodes for GMAW. The electrodes and shielding for GMAW for producing weld

metal with a minimum specified yield strength greater than 60 000 psi [420 MPa] shall conform with the latest edition of AWS A5.28, *Specification for Low-Alloy Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding*.

5.9.2 Low-Alloy Electrodes for FCAW. The electrodes and shielding gas for FCAW for producing weld metal with a minimum specified yield strength greater than 60 000 psi [415 MPa] shall conform to the latest edition of AWS A5.29, *Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding*.

5.9.3 Shielding Gas. When a gas or gas mixture is used for shielding in GMAW or FCAW, it shall be of a welding grade having a dew point of -40°F [-40°C] or lower. When requested by the Engineer, the gas manufacturer shall furnish certification that the gas or gas mixture will meet the dew point requirement.



**Table 5.1
Matching Filler Metal Requirements (see 5.1)**

Group	Steel Specification Requirements						Filler Metal Requirements				
	Steel Specification	Minimum Yield Point/Strength		Minimum Tensile Strength		Electrode Specification ⁽¹⁾	Yield Point/Strength ⁽²⁾		Tensile Strength ⁽²⁾		
		ksi	MPa	ksi	MPa		ksi	MPa	ksi	MPa	
I	ASTM A615 Grade 40 ASTM A615M Grade 300	40	—	70	—	SMAW AWS A5.1 and A5.5					
						E7015, E7016, E7018, E7028		53–72	365–496	70	482
						E7015-X, E7016-X, E7018-X		57–60	390–415	70–75	480–520
						GMAW AWS A5.18					
						ER70S-X, E70C-3, E70C-6		58	400	70	480
						FCAW AWS A5.20 and A5.29					
II	ASTM A706 Grade 60 ASTM A706M Grade 420	60	—	80	—	SMAW AWS A5.5					
						E8015-X, E8016-X, E8018-X		67	460	80	550
						GMAW AWS A5.28					
						ER80S-X, E80C-X, E90C-X		68	470	80	550
						FCAW AWS A5.29					
						E8XTX-X		68	470	80–100	550–690
III	ASTM A615 Grade 60 ASTM A615M Grade 420	60	—	90	—	SMAW AWS A5.5					
						E9015-X, E9016-X, E9018-X		77	530	90	620
						GMAW AWS A5.28					
						ER90S-X		78	540	90	620
						FCAW AWS A5.29					
						E9XTX-X		78	540	90–110	620–760

(continued)

Table 5.1 (Continued)
Matching Filler Metal Requirements (see 5.1)

G r o u p	Steel Specification Requirements						Filler Metal Requirements			
	Steel Specification		Minimum Yield Point/Strength		Minimum Tensile Strength		Yield Point/Strength ⁽²⁾		Tensile Strength ⁽²⁾	
			ksi	MPa	ksi	MPa				
IV	ASTM A615	Grade 75 ⁽³⁾	75	—	100	—	SMAW AWS A5.5			
			—	520	—	700	E10015-X, E10016-X,	87	600	100
	E10018-X									
	E10018-M	88–100					610–690	100	690	
	GMAW AWS A5.28									
	ASTM A615M	Grade 520 ⁽⁴⁾	—	520	—	700	ER100S-X, E100C-X	88	610	100
FCAW AWS A5.29										
						E10XTX-X	88	610	100–120	690–830

Notes:

- (1) Filler metals of alloy group B3, B3L, B4L, B5, B5L, B6, B6L, B7, B7L, B8, B8L, or B9 in AWS A5.5, A5.28, or A5.29 may be used when given prior approval by the Engineer. Consideration shall be made of the differences in tensile strength, ductility, and hardness between the PWHT versus as-welded conditions.
- (2) This table is based on filler metal as-welded properties. Single values are minimums. Hyphenated values indicate minima and maxima.
- (3) Applicable to bar sizes Nos. 6 through 18.
- (4) Applicable to bar sizes Nos. 19 through 57.

Table 5.2
Minimum Preheat and Interpass Temperatures^{(1), (2)} (see 5.2.1)

Carbon Equivalent (C.E.) Range, % ^{(3), (4)}	Size of Reinforcing Bar	SMAW with Low-Hydrogen Electrodes, GMAW, or FCAW	
		Minimum Temperature	
		°F	°C
Up to 0.40	Up to 11 [36] inclusive	none ⁽⁵⁾	none ⁽⁵⁾
	14 and 18 [43 and 57]	50	10
Over 0.40 to 0.45 inclusive	Up to 11 [36] inclusive	none ⁽⁵⁾	none ⁽⁵⁾
	14 and 18 [43 and 57]	50	10
Over 0.45 to 0.55 inclusive	Up to 6 [19] inclusive	none ⁽⁵⁾	none ⁽⁵⁾
	7 to 11 [22 to 36]	50	10
	14 to 18 [43 to 57]	200	90
Over 0.55 to 0.65 inclusive	Up to 6 [19] inclusive	100	40
	7 to 11 [22 to 36]	200	90
	14 to 18 [43 to 57]	300	150
Over 0.65 to 0.75	Up to 6 [19] inclusive	300	150
	7 to 18 [22 to 57] inclusive	400	200
Over 0.75	Up to 6 [19] inclusive	300	150
	7 to 18 [22 to 57] inclusive	500	260

Notes:

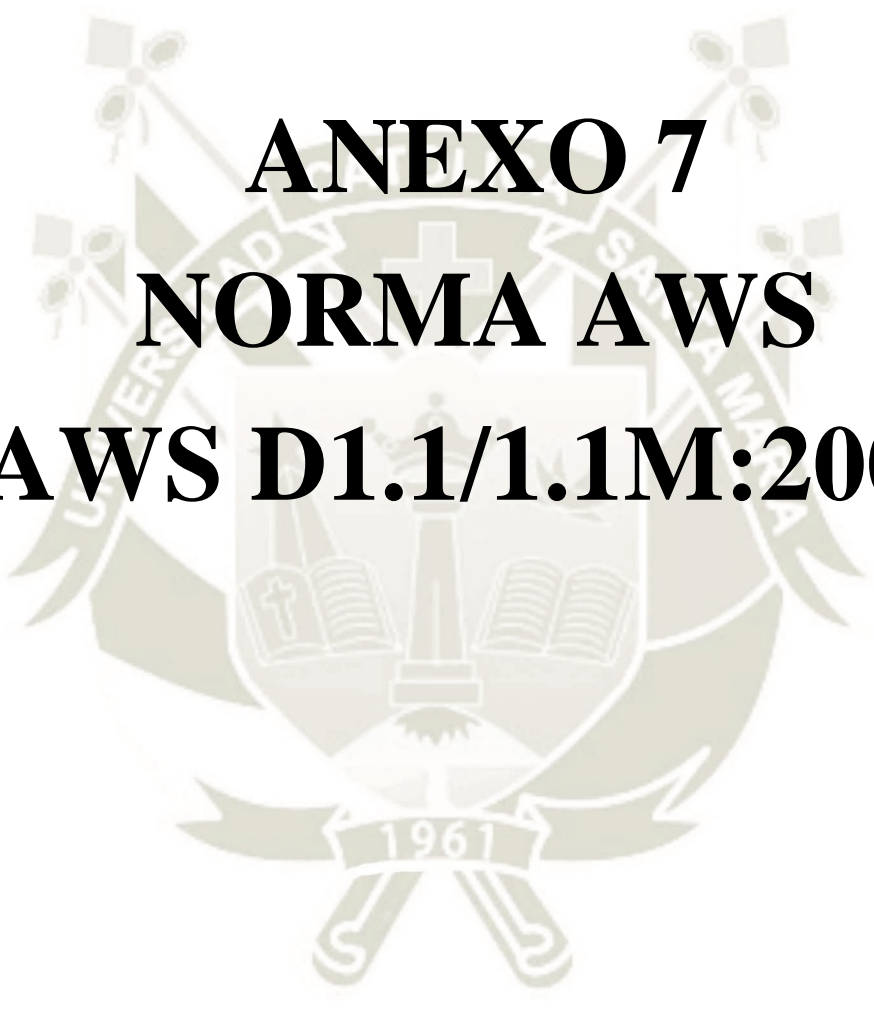
- (1) When reinforcing steel is to be welded to main carbon steel, the preheat requirements of the structural steel shall also be considered (see AWS D1.1, table titled "Prequalified Minimum Preheat and Interpass Temperature.") The minimum preheat requirement to apply in this situation shall be the higher requirement of the two tables. However, extreme caution shall be exercised in the case of welding reinforcing steel to quenched and tempered steels, and such measures shall be taken as to satisfy the preheat requirements for both. If not possible, welding shall not be used to join the two base metals.
- (2) Welding shall not be done when the ambient temperature is lower than 0°F [-18°C]. When the base metal is below the temperature listed for the welding process being used and the size and carbon equivalent range of the bar being welded, it shall be preheated (except as otherwise provided) in such a manner that the cross section of the bar for not less than 6 in. [150 mm] on each side of the joint shall be at or above the specified minimum temperature. Preheat and interpass temperatures shall be sufficient to prevent crack formation.
- (3) After welding is complete, bars shall be allowed to cool naturally to ambient temperature. Accelerated cooling is prohibited.
- (4) Where it is impractical to obtain chemical analysis, the carbon equivalent shall be assumed to be above 0.75%. See also 1.3.4.3.
- (5) When the base metal is below 32°F [0°C], the base metal shall be preheated to at least 70°F [20°C], or above, and maintained at this minimum temperature during welding.

Table 5.3
Permissible Atmospheric Exposure of Low-Hydrogen Electrodes (see 5.7.2 and 5.7.3)

Electrode	Column A (hours)	Column B (hours)
A5.1		
E70XX	4 max	
E70XXR	9 max	Over 4 to 10 max
E70XXHZR	9 max	
E7018M	9 max	
A5.5		
E70XX-X	4 max	Over 4 to 10 max
E80XX-X	2 max	Over 2 to 10 max
E90XX-X	1 max	Over 1 to 5 max
E100XX-X	1/2 max	Over 1/2 to 4 max
E110XX-X	1/2 max	Over 1/2 to 4 max

General Notes:

- (a) Column A: Electrodes exposed to atmosphere for longer periods than shown shall be redried before use.
- (b) Column B: Electrodes exposed to atmosphere for longer periods than those established by testing shall be redried before use.
- (c) Entire table: Electrodes shall be issued and held in quivers, or other small open containers. Heated containers are not mandatory.
- (d) The optional supplemental designator, R, designates a low-hydrogen electrode, which has been tested for covering moisture content after exposure to a moist environment for 9 hours and has met the maximum level permitted in AWS A5.1, *Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding*.



ANEXO 7
NORMA AWS
AWS D1.1/1.1M:2006

Structural Welding Code— Steel



American Welding Society



**AWS D1.1/D1.1M:2006
An American National Standard**

**Approved by the
American National Standards Institute
November 29, 2005**

Structural Welding Code— Steel

20th Edition

Supersedes AWS D1.1/D1.1M:2004

Prepared by the
American Welding Society (AWS) D1 Committee on Structural Welding

Under the Direction of the
AWS Technical Activities Committee

Approved by the
AWS Board of Directors

Abstract

This code covers the welding requirements for any type of welded structure made from the commonly used carbon and low-alloy constructional steels. Sections 1 through 8 constitute a body of rules for the regulation of welding in steel construction. There are ten normative and twelve informative annexes in this code. A Commentary of the code is included with the document.



American Welding Society

550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

Copyright American Welding Society
Provided by IHS under license with AWS

No reproduction or networking permitted without license from IHS; referenciar esta tesis

Not for Resale



International Standard Book Number: 0-87171-025-0

American Welding Society

550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126

© 2006 by American Welding Society

All rights reserved

Printed in the United States of America

Reprinted March 2006

Photocopy Rights. No portion of this standard may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form, including mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the copyright owner.

Authorization to photocopy items for internal, personal, or educational classroom use only or the internal, personal, or educational classroom use only of specific clients is granted by the American Welding Society provided that the appropriate fee is paid to the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, tel: (978) 750-8400; Internet: <www.copyright.com>.

Statement on the Use of American Welding Society Standards

All standards (codes, specifications, recommended practices, methods, classifications, and guides) of the American Welding Society (AWS) are voluntary consensus standards that have been developed in accordance with the rules of the American National Standards Institute (ANSI). When AWS American National Standards are either incorporated in, or made part of, documents that are included in federal or state laws and regulations, or the regulations of other governmental bodies, their provisions carry the full legal authority of the statute. In such cases, any changes in those AWS standards must be approved by the governmental body having statutory jurisdiction before they can become a part of those laws and regulations. In all cases, these standards carry the full legal authority of the contract or other document that invokes the AWS standards. Where this contractual relationship exists, changes in or deviations from requirements of an AWS standard must be by agreement between the contracting parties.

AWS American National Standards are developed through a consensus standards development process that brings together volunteers representing varied viewpoints and interests to achieve consensus. While AWS administers the process and establishes rules to promote fairness in the development of consensus, it does not independently test, evaluate, or verify the accuracy of any information or the soundness of any judgments contained in its standards.

AWS disclaims liability for any injury to persons or to property, or other damages of any nature whatsoever, whether special, indirect, consequential or compensatory, directly or indirectly resulting from the publication, use of, or reliance on this standard. AWS also makes no guaranty or warranty as to the accuracy or completeness of any information published herein.

In issuing and making this standard available, AWS is not undertaking to render professional or other services for or on behalf of any person or entity. Nor is AWS undertaking to perform any duty owed by any person or entity to someone else. Anyone using these documents should rely on his or her own independent judgment or, as appropriate, seek the advice of a competent professional in determining the exercise of reasonable care in any given circumstances.

This standard may be superseded by the issuance of new editions. Users should ensure that they have the latest edition.

Publication of this standard does not authorize infringement of any patent or trade name. Users of this standard accept any and all liabilities for infringement of any patent or trade name items. AWS disclaims liability for the infringement of any patent or product trade name resulting from the use of this standard.

Finally, AWS does not monitor, police, or enforce compliance with this standard, nor does it have the power to do so.

On occasion, text, tables, or figures are printed incorrectly, constituting errata. Such errata, when discovered, are posted on the AWS web page (www.aws.org).

Official interpretations of any of the technical requirements of this standard may only be obtained by sending a request, in writing, to the Managing Director, Technical Services Division, American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126 (see Annex O). With regard to technical inquiries made concerning AWS standards, oral opinions on AWS standards may be rendered. However, such opinions represent only the personal opinions of the particular individuals giving them. These individuals do not speak on behalf of AWS, nor do these oral opinions constitute official or unofficial opinions or interpretations of AWS. In addition, oral opinions are informal and should not be used as a substitute for an official interpretation.

This standard is subject to revision at any time by the AWS D1 Committee on Structural Welding. It must be reviewed every five years, and if not revised, it must be either reaffirmed or withdrawn. Comments (recommendations, additions, or deletions) and any pertinent data that may be of use in improving this standard are required and should be addressed to AWS Headquarters. Such comments will receive careful consideration by the AWS D1 Committee on Structural Welding and the author of the comments will be informed of the Committee's response to the comments. Guests are invited to attend all meetings of the AWS D1 Committee on Structural Welding to express their comments verbally. Procedures for appeal of an adverse decision concerning all such comments are provided in the Rules of Operation of the Technical Activities Committee. A copy of these Rules can be obtained from the American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126.



This page is intentionally blank.

www.theses.ucsm.edu.pe

Personnel

AWS D1 Committee on Structural Welding

D. D. Rager, Chair	<i>Rager Consulting, Incorporated</i>
D. K. Miller, 1st Vice Chair	<i>The Lincoln Electric Company</i>
A. W. Sindel, 2nd Vice Chair	<i>Sindel and Associates</i>
J. L. Gayler, Secretary	<i>American Welding Society</i>
*W. G. Alexander	<i>WGAPE</i>
N. J. Altebrando	<i>STV, Incorporated</i>
F. G. Armao	<i>The Lincoln Electric Company</i>
*E. M. Beck	<i>MACTEC, Incorporated</i>
E. L. Bickford	<i>Willbros USA, Incorporated</i>
*O. W. Blodgett	<i>The Lincoln Electric Company</i>
F. C. Breismeister	<i>Strocal, Incorporated</i>
B. M. Butler	<i>Walt Disney World Company</i>
H. H. Campbell III	<i>Pazuzu Engineering</i>
L. E. Collins	<i>Team Industries, Incorporated</i>
R. B. Corbit	<i>Amer Gen</i>
M. V. Davis	<i>Consultant</i>
R. A. Dennis	<i>Consultant</i>
*A. R. Fronduti	<i>Rex Fronduti and Associates</i>
M. A. Grieco	<i>Massachusetts Highway Department</i>
C. R. Hess	<i>High Steel Structures, Incorporated</i>
*G. J. Hill	<i>G. J. Hill and Associates, Incorporated</i>
*M. L. Hoitomt	<i>Hoitomt Consulting Services</i>
C. W. Holmes	<i>Modjeski and Masters, Incorporated</i>
J. H. Kiefer	<i>ConocoPhillips Company</i>
J. Lawmon	<i>Edison Welding Institute</i>
D. R. Lawrence II	<i>Butler Manufacturing Company</i>
D. R. Luciani	<i>Canadian Welding Bureau</i>
S. L. Luckowski	<i>Department of the Army</i>
P. W. Marshall	<i>MHP Systems Engineering</i>
M. J. Mayes	<i>Mayes Testing Engineers, Incorporated</i>
D. L. McQuaid	<i>D L McQuaid and Associates, Incorporated</i>
R. D. Medlock	<i>Texas Department of Transportation</i>
J. Merrill	<i>MACTEC, Incorporated</i>
*W. A. Milek, Jr.	<i>Consultant</i>
*J. E. Myers	<i>Consultant</i>
T. Niemann	<i>Minnesota Department of Transportation</i>
D. C. Phillips	<i>ITW, Hobart Brothers Company</i>
J. W. Post	<i>J. W. Post and Associates, Incorporated</i>
T. Schlafly	<i>American Institute of Steel Construction</i>
D. A. Shapira	<i>Washington Group International</i>
R. E. Shaw, Jr.	<i>Steel Structures Technology Center, Incorporated</i>
*D. L. Sprow	<i>Consultant</i>
R. W. Stieve	<i>Greenman-Pederson, Incorporated</i>
P. J. Sullivan	<i>Massachusetts Highway Department (Retired)</i>
M. M. Tayarani	<i>Massachusetts Turnpike Authority</i>
K. K. Verma	<i>Federal Highway Administration</i>
B. D. Wright	<i>Advantage Aviation Technologies</i>

*Advisor

D1X—Executive Committee/General Requirements

D. D. Rager, Chair	<i>Rager Consulting, Incorporated</i>
D. K. Miller, Vice Chair	<i>The Lincoln Electric Company</i>
A. W. Sindel, Vice Chair	<i>Sindel and Associates</i>
J. L. Gayler, Secretary	<i>American Welding Society</i>
N. J. Altebrando	<i>STV, Incorporated</i>
F. G. Armao	<i>The Lincoln Electric Company</i>
B. M. Butler	<i>Walt Disney World Company</i>
R. A. Dennis	<i>Consultant</i>
J. H. Kiefer	<i>ConocoPhillips Company</i>
D. R. Lawrence II	<i>Butler Manufacturing Company</i>
S. L. Luckowski	<i>Department of the Army</i>
R. D. Medlock	<i>Texas Department of Transportation</i>
J. Merrill	<i>MACTEC, Incorporated</i>
T. Niemann	<i>Minnesota Department of Transportation</i>
D. C. Phillips	<i>ITW, Hobart Brothers Company</i>
T. Schlafly	<i>American Institute of Steel Construction</i>
D. A. Shapira	<i>Washington Group International</i>
P. J. Sullivan	<i>Massachusetts Highway Department (Retired)</i>
M. M. Tayarani	<i>Massachusetts Turnpike Authority</i>

D1A—Subcommittee 1 on Design

T. J. Schlafly, Chair	<i>American Institute of Steel Construction</i>
B. M. Butler, Vice Chair	<i>Walt Disney World Company</i>
N. J. Altebrando	<i>STV, Incorporated</i>
*O. W. Blodgett	<i>The Lincoln Electric Company</i>
W. Jaxa-Rozen	<i>Bombardier Transportation</i>
M. J. Jordan	<i>Bergen Southwest Steel</i>
L. A. Kloiber	<i>LeJeune Steel Company</i>
P. W. Marshall	<i>MHP Systems Engineering</i>
*W. A. Milek, Jr.	<i>Consultant</i>
*L. Muir	<i>Cives Steel Company</i>
J. A. Packer	<i>University of Toronto</i>
F. J. Palmer	<i>Steel Tube Institute</i>
J. B. Pearson, Jr.	<i>LTK Engineering Services</i>
J. D. Ross	<i>US Army Corps of Engineers</i>
R. E. Shaw, Jr.	<i>Steel Structures Technology Center, Incorporated</i>
J. G. Shaw	<i>Mountain Enterprises</i>
*D. L. Sprow	<i>Consultant</i>
S. J. Thomas	<i>VP Buildings, Incorporated</i>
W. A. Thornton	<i>Cives Corporation</i>
R. H. R. Tide	<i>Wiss, Janney, Elstner Associates</i>

D1B—Subcommittee 2 on Qualification

R. A. Dennis, Chair	<i>Consultant</i>
J. H. Kiefer, Vice Chair	<i>ConocoPhillips Company</i>
E. L. Bickford	<i>Willbros USA, Incorporated</i>
F. C. Breismeister	<i>Strocal, Incorporated</i>
R. B. Corbit	<i>Amer Gen</i>
*A. R. Fronduti	<i>Rex Fronduti and Associates</i>
M. A. Grieco	<i>Massachusetts Highway Department</i>

*Advisor

D1B—Subcommittee 2 on Qualification (Cont'd)

M. J. Harker	<i>Idaho National Engineering and Environment Laboratory</i>
*M. L. Hoitomt	<i>Hoitomt Consulting Services</i>
V. Kuruvilla	<i>Genesis Quality Systems</i>
K. Landwehr	<i>Schuff Steel Company</i>
D. R. Lawrence II	<i>Butler Manufacturing Company</i>
H. W. Ludewig	<i>Caterpillar, Incorporated</i>
*J. K. Mieske	<i>Consultant</i>
D. K. Miller	<i>The Lincoln Electric Company</i>
J. C. Nordby	<i>Nuclear Management Company</i>
D. C. Phillips	<i>ITW, Hobart Brothers Company</i>
J. W. Post	<i>J. W. Post and Associates, Incorporated</i>
D. A. Shapira	<i>Washington Group International</i>
A. W. Sindel	<i>Sindel and Associates</i>
*D. L. Sprow	<i>Consultant</i>
C. R. Stuart	<i>Shell</i>
M. M. Tayarani	<i>Massachusetts Turnpike Authority</i>
J. L. Uebele	<i>Waukesha County Technical College</i>
K. K. Verma	<i>Federal Highway Administration (DOT)</i>
*B. D. Wright	<i>Advantage Aviation Technologies</i>
*O. Zollinger	<i>AME-Refrigeration Copeland Corporation</i>

D1C—Subcommittee 3 on Fabrication

R. D. Medlock, Chair	<i>Texas Department of Transportation</i>
V. Kuruvilla, Vice Chair	<i>Genesis Quality Systems, Incorporated</i>
*W. G. Alexander	<i>WGAPÉ</i>
*F. R. Beckmann	<i>Consultant</i>
*E. L. Bickford	<i>Willbros USA, Incorporated</i>
F. C. Breismeister	<i>Strocal, Incorporated</i>
J. W. Cagle	<i>C P Buckner Steel Erection, Incorporated</i>
H. H. Campbell III	<i>Pazuzu Engineering</i>
L. E. Collins	<i>Team Industries, Incorporated</i>
R. A. Dennis	<i>Consultant</i>
*G. L. Fox	<i>Consultant</i>
M. A. Grieco	<i>Massachusetts Highway Department</i>
C. R. Hess	<i>High Steel Structures, Incorporated</i>
G. J. Hill	<i>G J Hill and Associates</i>
C. W. Holmes	<i>Modjeski and Masters, Incorporated</i>
K. Landwehr	<i>Schuff Steel Company</i>
W. A. Milek, Jr.	<i>Consultant</i>
D. K. Miller	<i>The Lincoln Electric Company</i>
*J. E. Myers	<i>Consultant</i>
J. W. Post	<i>J. W. Post and Associates, Incorporated</i>
D. D. Rager	<i>Rager Consulting</i>
T. J. Schlafly	<i>American Institute of Steel Construction</i>
D. A. Shapira	<i>Washington Group International</i>
A. W. Sindel	<i>Sindel and Associates</i>
R. H. R. Tide	<i>Wiss, Janney, Elstner Associates</i>
K. K. Verma	<i>Federal Highway Administration (DOT)</i>

*Advisor

D1D—Subcommittee 4 on Inspection

J. H. Kiefer, Chair	<i>ConocoPhillips Company</i>
C. W. Hayes, Vice Chair	<i>The Lincoln Electric Company</i>
*W. G. Alexander	<i>WGAPE</i>
U. W. Aschemeier	<i>H C Nutting</i>
*E. M. Beck	<i>MACTEC, Incorporated</i>
*F. R. Beckmann	<i>Consultant</i>
H. H. Campbell III	<i>Pazuzu Engineering</i>
L. E. Collins	<i>Team Industries, Incorporated</i>
D. A. Dunn	<i>PSI</i>
*G. L. Fox	<i>Consultant</i>
*G. J. Hill	<i>G J Hill and Associates</i>
*M. L. Hoitomt	<i>Hoitomt Consulting Services</i>
S. W. Kopp	<i>High Steel Structures</i>
N. Lindell	<i>Oregon Iron Works</i>
P. W. Marshall	<i>MHP Systems Engineering</i>
G. S. Martin	<i>GE Energy</i>
D. M. Marudas	<i>Washington Group International</i>
D. L. McQuaid	<i>D L McQuaid and Associates, Incorporated</i>
J. Merrill	<i>MACTEC Engineering and Consulting</i>
*W. A. Milek, Jr.	<i>Consultant</i>
J. B. Pearson, Jr.	<i>LTK Engineering Services</i>
D. R. Scott	<i>Professional Service Industries, Incorporated (Retired)</i>
R. W. Stieve	<i>Greenman-Pedersen Incorporated</i>
P. J. Sullivan	<i>Massachusetts Highway Department (Retired)</i>
*W. A. Svekric	<i>Welding Consultants, Incorporated</i>
B. M. Urbany	<i>NW Pipe Company</i>
K. K. Verma	<i>Federal Highway Administration (DOT)</i>

D1E—Subcommittee 5 on Stud Welding

M. M. Tayarani, Chair	<i>Massachusetts Turnpike Authority</i>
D. R. Luciani, Vice Chair	<i>Canadian Welding Bureau</i>
U. W. Aschemeier	<i>H C Nutting</i>
H. A. Chambers	<i>Nelson Stud Welding</i>
*C. B. Champney	<i>Nelson Stud Welding</i>
D. A. Dunn	<i>PSI</i>
*A. R. Fronduti	<i>Rex Fronduti and Associates</i>
J. Guili	<i>Stud Welding Associates</i>
J. E. Koski	<i>Stud Welding Products, Incorporated</i>
S. Moran	<i>Miller Electric Manufacturing Company</i>
*C. C. Pease	<i>Consultant</i>
S. Swartz	<i>New Age Fastening Systems, Incorporated</i>
R. Teal	<i>Roy Teal, Incorporated</i>
P. Workman	<i>Tru-Weld</i>

D1F—Subcommittee 6 on Strengthening and Repair

N. J. Altebrando, Chair	<i>STV, Incorporated</i>
S. W. Kopp, Vice Chair	<i>High Steel Structures</i>
*E. M. Beck	<i>MACTEC, Incorporated</i>
*C. R. Hess	<i>High Steel Structures, Incorporated</i>
*G. J. Hill	<i>G J Hill and Associates</i>

*Advisor

D1F—Subcommittee 6 on Strengthening and Repair (Cont'd)

C. W. Holmes	<i>Modjeski and Masters, Incorporated</i>
M. J. Mayes	<i>Mayes Testing Engineers, Incorporated</i>
J. W. Post	<i>J. W. Post and Associates, Incorporated</i>
P. Rimmer	<i>Department of Transportation</i>
J. D. Ross	<i>US Army Corps of Engineers</i>
R. E. Shaw, Jr.	<i>Steel Structures Technology Center, Incorporated</i>
*D. L. Sprow	<i>Consultant</i>
R. W. Stieve	<i>Greenman-Pedersen, Incorporated</i>
*W. A. Thornton	<i>Cives Corporation</i>
R. H. R. Tide	<i>Wiss, Janney, Elstner Associates</i>

D1M—Standing Task Group on New Materials

D. C. Phillips, Chair	<i>ITW, Hobart Brothers Company</i>
T. J. Schlafly, Vice Chair	<i>American Institute of Steel Construction</i>
F. C. Breisemeister	<i>Strocal, Incorporated</i>
B. M. Butler	<i>Walt Disney World Company</i>
C. W. Hayes	<i>The Lincoln Electric Company</i>
*M. L. Hoitomt	<i>Hoitomt Consulting Services</i>
R. D. Medlock	<i>Texas Department of Transportation</i>
J. W. Post	<i>J. W. Post and Associates, Incorporated</i>
D. Rees-Evans	<i>Steel Dynamics</i>
D. A. Shapira	<i>Washington Group International</i>
*A. W. Sindel	<i>Sindel and Associates</i>

D1P—Standing Task Group on General Requirements/Scope

P. J. Sullivan, Chair	<i>Massachusetts Highway Department (Retired)</i>
N. J. Altebrando	<i>STV, Incorporated</i>
E. L. Bickford	<i>Willbros USA, Incorporated</i>
F. C. Breisemeister	<i>Strocal, Incorporated</i>

*Advisor

D1G—Subcommittee 7 on Aluminum Structures

F. G. Armao, CH.	D. R. Luciani
T. Anderson, V.C.	G. Mercier
R. C. Briden*	R. C. Minor
M. V. Davis	C. Nicholson
D. Haydock	P. J. Sullivan
C. W. Hayes	J. L. Uebele
J. R. Kissell	K. L. Williams

D1H—Subcommittee 8 on Sheet Steel

R. D. Lawrence II, CH.	W. Jaxa-Rozen
D. R. Luciani, V.C.	J. B. Pearson, Jr.
U. W. Aschemeier	T. Pekoz*
O. W. Blodgett*	C. W. Pinkham*
R. B. Corbit	J. L. Uebele
J. D. Duncan*	B. D. Wright
J. A. Grewe	

D1I—Subcommittee 9 on Reinforcing Bars

J. K. Merrill, CH.	M. J. Mayes
N. Lindell, V.C.	J. E. Myers*
D. P. Gustafson	D. R. Scott
K. Landwehr	

**D1J—Subcommittee 10 on
AASHTO/AWS Bridge Welding**

T. Niemann, CH., AASHTO
D. L. McQuaid, V.C., AWS

AWS D1 Representatives

C. R. Hess	T. J. Schlafly
D. K. Miller	R. G. Stobaugh
D. C. Phillips	M. M. Tayarani
B. Roberds	K. K. Verma

AASHTO Representatives

S. J. Cook	R. D. Fry
W. Doukas	H. Gilmer
J. J. Edwards	M. A. Grieco
J. L. Ellerman	S. Walton

Advisors

N. J. Altebrando*	N. Lindell*
S. Camo*	R. D. Medlock*
L. E. Collins*	J. Merrill*
C. W. Holmes*	P. Rimmer*
B. Kavicky*	R. W. Stieve*
S. Kopp*	R. Teal*

D1K—Subcommittee 11 on Stainless Steel Welding

B. M. Butler, Co-CH.	M. J. Harker
D. A. Shapira, Co-CH.	G. J. Hill
W. Jaxa-Rozen, V.C.	M. L. Hoitomt*
U. W. Aschemeier	E. R. Holby*
R. E. Avery	D. Kotecki
D. K. Baird	D. R. Luciani
F. C. Breismeister	J. Merrill*
H. Chambers	J. B. Pearson, Jr.
R. B. Corbit	A. W. Sindel
J. D. Duncan*	B. D. Wright
J. Grewe	O. Zollinger

D1L—Subcommittee 12 on Seismic Welding Issues

D. K. Miller, CH.	D. L. McQuaid*
R. Hamburger, V.C.	J. K. Merrill*
N. J. Altebrando*	W. A. Milek*
G. Axmann*	D. C. Phillips
E. M. Beck*	J. W. Post*
F. C. Breismeister	D. Rees-Evans
S. Camo	T. Schlafly
L. E. Collins	R. E. Shaw, Jr.
M. L. Hoitomt*	S. Thomas
K. Landwehr	R. H. R. Tide
D. L. Long*	C. M. Uang*
J. O. Malley	K. K. Verma*
M. J. Mayes	

D1N—Subcommittee 13 on Titanium Welding

S. L. Luckowski, CH.	T. A. Higgins
J. Lawmon, V.C.	J. Horner*
M. Beard*	Y. Komizo*
D. Bolser	B. Krueger
B. Buchholz	M. McCann*
G. Campbell*	J. A. McMaster*
T. W. Caouette*	W. C. Mohr
N. Cooper	J. C. Monsees
D. Cottle	B. Roopchand
M. Davis	R. Rush
J. Dorsch	A. W. Sindel*
M. Foos	G. Theodorski
P. Gonthier-Maurin	M. E. Wells*
D. D. Harwig, Jr.*	

*Advisor

Foreword

This foreword is not a part of AWS D1.1/D1.1M:2006, *Structural Welding Code—Steel*, but is included for informational purposes only.

The first edition of the *Code for Fusion Welding and Gas Cutting in Building Construction* was published by the American Welding Society in 1928. The first bridge welding specification was published separately in 1936. The two documents were consolidated in 1972 into the D1.1 document but were once again separated in 1988 when the joint AASHTO/AWS D1.5, *Bridge Welding Code*, was published to address the specific requirements of State and Federal Transportation Departments. Coincident with this, the D1.1 code changed references of buildings and bridges to statically loaded and dynamically loaded structures, respectively, in order to make the document applicable to a broader range of structural configurations.

Underlined text in the subsections, tables, or figures indicates an editorial or technical change from the 2004 edition. A vertical line in the margin next to a figure drawing indicates a revision from the 2004 edition.

The following is a summary of the most significant technical revisions contained in D1.1/D1.1M:2006:

Section 2.3.1.4 and Table 2.1—Revised and clarified the requirements for the effective size of flare-groove welds.

Table 2.4, Case 4.1—A correction was made to base metal thickness.

Table 3.1 and Table 3.2—New prequalified steels were added to the table.

Figure 3.3—New prequalified joint for flare-V-groove welds was added.

Section 4.1.2.1 and C-4.1.2.1—Section was revised and commentary was added.

Section 4.18 and Table 4.9—Revisions were made to address qualification of welding operators for all positions.

Section 4.8.1—The visual inspection acceptance criteria for welding procedure and welder performance tests was revised to differentiate between fillet and groove weld tests.

Table 4.5—Changes were made to essential variables regarding constant voltage, constant current, voltage, heat input, travel speed, and mode of transfer.

Table 4.11—Table was revised to allow for qualification on pipe grooves less than 4 inches in diameter. A new figure was added.

Section 5.3.1.3—Requirement for dew point was referenced back to source standard.

Section 5.4.1—Limitation on the use of ESW and EGW was revised.

Sections 5.15.2 and 5.14.4—Section was revised to clarify use of plasma arc gouging.

Section 5.30—The allowable equipment used for interpass cleaning was clarified.

Sections 6.2, 6.3, and 6.5—Sections were reorganized to clarify inspector's duties. Sections 6.3.2, 6.5.2, and 6.5.3 were deleted; however, issues addressed in those sections are now addressed in 6.2 and 6.3.

Section 6, Part G—Entire section on advanced NDT techniques was reorganized and revised.

Table 6.2—Table was revised to clarify requirements.

Section 7.4.5—Spacing requirements for stud shear connectors was clarified.

Table 7.1—Type B stud diameter was added to Note b.

Annexes—Annexes were renumbered (see page 276).

Annex III—Content was moved to Section 4, Part D.

Annex IV—Annex on WPS Requirements was deleted.

Annex I, Table I.2—A new note was added to clarify table's intent.

Annex A—Content was moved to commentary, C-3.2.1.

Annex M—Annex on code approved base metals was moved into Section 4 of the code.

Section C-4.7—New commentary was added to this section.

AWS B4.0, *Standard Methods for Mechanical Testing of Welds*, provides additional details of test specimen preparation and details of test fixture construction.

Commentary. The Commentary is nonmandatory and is intended only to provide insightful information into provision rationale.

Normative Annexes. These annexes address specific subjects in the code and their requirements are mandatory requirements that supplement the code provisions.

Informative Annexes. These annexes are not code requirements but are provided to clarify code provisions by showing examples, providing information, or suggesting alternative good practices.

Index. As in previous codes, the entries in the Index are referred to by subsection number rather than by page number. This should enable the user of the Index to locate a particular item of interest in minimum time.

Errata. It is the Structural Welding Committee's Policy that all errata should be made available to users of the code. Therefore, in the Society News Section of the *AWS Welding Journal*, any errata (major changes) that have been noted will be published in the July and November issues of the *Welding Journal* and posted on the AWS web site at: <http://www.aws.org/technical/d1/>.

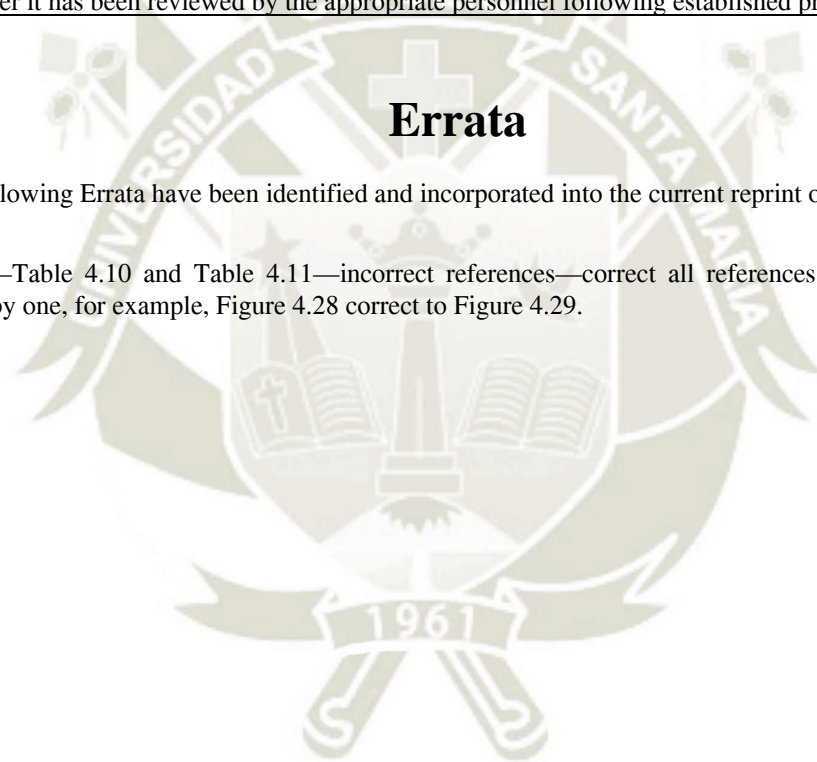
Suggestions. Your comments for improving *AWS D1.1/D1.1M:2006, Structural Welding Code—Steel* are welcome. Submit comments to the Managing Director, Technical Services Division, American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126; telephone (305) 443-9353; fax (305) 443-5951; e-mail info@aws.org; or via the AWS web site <<http://www.aws.org>>.

Interpretations. Official interpretations of any of the technical requirements of this standard may only be obtained by sending a request, in writing, to the Managing Director, Technical Services, American Welding Society. A formal reply will be issued after it has been reviewed by the appropriate personnel following established procedures (see Annex O).

Errata

The following Errata have been identified and incorporated into the current reprint of this document.

Pages 145–149—Table 4.10 and Table 4.11—incorrect references—correct all references to Figures 4.28–4.36 by increasing each by one, for example, Figure 4.28 correct to Figure 4.29.



www.aws.org

Table of Contents

	Page No.
<i>Personnel</i>	v
<i>Foreword</i>	xi
<i>List of Tables</i>	xviii
<i>List of Figures</i>	xx
1. General Requirements	1
1.1 Scope.....	1
1.2 Limitations.....	1
1.3 Definitions.....	1
1.4 Responsibilities.....	2
1.5 Approval.....	2
1.6 Welding Symbols.....	3
1.7 Safety Precautions.....	3
1.8 Standard Units of Measurement.....	3
1.9 Reference Documents.....	3
2. Design of Welded Connections	5
2.0 Scope of Section 2.....	5
Part A—Common Requirements for Design of Welded Connections (Nontubular and Tubular Members).....	5
2.1 Scope of Part A.....	5
2.2 Contract Plans and Specifications.....	5
2.3 Effective Areas.....	6
Part B—Specific Requirements for Design of Nontubular Connections (Statically or Cyclically Loaded).....	8
2.4 General.....	8
2.5 Stresses.....	8
2.6 Joint Configuration and Details.....	9
2.7 Joint Configuration and Details—Groove Welds.....	10
2.8 Joint Configuration and Details—Fillet Welded Joints.....	10
2.9 Joint Configuration and Details—Plug and Slot Welds.....	11
2.10 Filler Plates.....	11
2.11 Built-Up Members.....	11
Part C—Specific Requirements for Design of Nontubular Connections (Cyclically Loaded).....	12
2.12 General.....	12
2.13 Limitations.....	12
2.14 Calculation of Stresses.....	12
2.15 Allowable Stresses and Stress Ranges.....	12
2.16 Detailing, Fabrication, and Erection.....	14
2.17 Prohibited Joints and Welds.....	14
2.18 Inspection.....	15
Part D—Specific Requirements for Design of Tubular Connections (Statically or Cyclically Loaded).....	15
2.19 General.....	15
2.20 Allowable Stresses.....	15
2.21 Identification.....	16
2.22 Symbols.....	16

2.23	Weld Design.....	16
2.24	Limitations of the Strength of Welded Connections.....	17
2.25	Thickness Transition.....	22
2.26	Material Limitations.....	22
3.	Prequalification of WPSs.....	57
3.1	Scope.....	57
3.2	Welding Processes.....	57
3.3	Base Metal/Filler Metal Combinations.....	57
3.4	Engineer’s Approval for Auxiliary Attachments.....	58
3.5	Minimum Preheat and Interpass Temperature Requirements.....	58
3.6	Limitation of WPS Variables.....	58
3.7	General WPS Requirements.....	58
3.8	Common Requirements for Parallel Electrode and Multiple Electrode SAW.....	59
3.9	Fillet Weld Requirements.....	59
3.10	Plug and Slot Weld Requirements.....	59
3.11	Common Requirements of PJP and CJP Groove Welds.....	59
3.12	PJP Requirements.....	59
3.13	CJP Groove Weld Requirements.....	60
3.14	Postweld Heat Treatment.....	61
4.	Qualification.....	121
4.0	Scope.....	121
	Part A—General Requirements.....	121
4.1	General.....	121
4.2	Common Requirements for WPS and Welding Personnel Performance Qualification.....	122
	Part B—Welding Procedure Specification (WPS).....	122
4.3	Production Welding Positions Qualified.....	122
4.4	Type of Qualification Tests.....	122
4.5	Weld Types for WPS Qualification.....	122
4.6	Preparation of WPS.....	122
4.7	Essential Variables.....	123
4.8	Methods of Testing and Acceptance Criteria for WPS Qualification.....	123
4.9	CJP Groove Welds for Nontubular Connections.....	125
4.10	PJP Groove Welds for Nontubular Connections.....	125
4.11	Fillet Welds for Tubular and Nontubular Connections.....	125
4.12	CJP Groove Welds for Tubular Connections.....	126
4.13	PJP Tubular T-, Y-, or K-Connections and Butt Joints.....	127
4.14	Plug and Slot Welds for Tubular and Nontubular Connections.....	127
4.15	Welding Processes Requiring Qualification.....	127
4.16	WPS Requirement (GTAW).....	127
4.17	WPS Requirements (ESW/EGW).....	127
	Part C—Performance Qualification.....	128
4.18	General.....	128
4.19	Type of Qualification Tests Required.....	128
4.20	Weld Types for Welder and Welding Operator Performance Qualification.....	128
4.21	Preparation of Performance Qualification Forms.....	129
4.22	Essential Variables.....	129
4.23	CJP Groove Welds for Nontubular Connections.....	129
4.24	PJP Groove Welds for Nontubular Connections.....	129
4.25	Fillet Welds for Nontubular Connections.....	129

4.26	CJP Groove Welds for Tubular Connections	129
4.27	PJP Groove Welds for Tubular Connections	130
4.28	Fillet Welds for Tubular Connections	130
4.29	Plug and Slot Welds for Tubular and Nontubular Connections.....	130
4.30	Methods of Testing and Acceptance Criteria for Welder and Welding Operator Qualification	130
4.31	Method of Testing and Acceptance Criteria for Tack Welder Qualification.....	131
4.32	Retest.....	131
Part D—Requirements for CVN Testing		131
4.33	General	131
4.34	Test Locations	132
4.35	CVN Tests	132
4.36	Test Requirements.....	132
4.37	Retest.....	133
4.38	Reporting.....	133
5.	Fabrication.....	189
5.1	Scope.....	189
5.2	Base Metal.....	189
5.3	Welding Consumables and Electrode Requirements	189
5.4	ESW and EGW Processes	191
5.5	WPS Variables	191
5.6	Preheat and Interpass Temperatures	191
5.7	Heat Input Control for Quenched and Tempered Steels	192
5.8	Stress-Relief Heat Treatment	192
5.9	Backing, Backing Gas, or Inserts.....	192
5.10	Backing	193
5.11	Welding and Cutting Equipment.....	193
5.12	Welding Environment	193
5.13	Conformance with Design	193
5.14	Minimum Fillet Weld Sizes	193
5.15	Preparation of Base Metal.....	194
5.16	Reentrant Corners	195
5.17	Beam Copes and Weld Access Holes	195
5.18	Temporary and Tack Welds.....	196
5.19	Camber in Built-Up Members.....	196
5.20	Splices in Cyclically Loaded Structures	196
5.21	Control of Distortion and Shrinkage.....	196
5.22	Tolerance of Joint Dimensions	197
5.23	Dimensional Tolerance of Welded Structural Members.....	198
5.24	Weld Profiles.....	200
5.25	Technique for Plug and Slot Welds	200
5.26	Repairs	201
5.27	Peening.....	202
5.28	Caulking.....	202
5.29	Arc Strikes.....	202
5.30	Weld Cleaning.....	202
5.31	Weld Tabs	202
6.	Inspection.....	209
Part A—General Requirements.....		209
6.1	Scope.....	209
6.2	Inspection of Materials <u>and Equipment</u>	210

6.3	Inspection of WPSs.....	210
6.4	Inspection of Welder, Welding Operator, and Tack Welder Qualifications.....	210
6.5	Inspection of Work and Records.....	210
Part B—Contractor Responsibilities		211
6.6	Obligations of the Contractor.....	211
Part C—Acceptance Criteria		211
6.7	Scope.....	211
6.8	Engineer’s Approval for Alternate Acceptance Criteria.....	211
6.9	Visual Inspection.....	211
6.10	PT and MT	211
6.11	NDT	212
6.12	RT.....	212
6.13	UT	213
Part D—NDT Procedures		214
6.14	Procedures	214
6.15	Extent of Testing.....	215
Part E—Radiographic Testing (RT).....		215
6.16	RT of Groove Welds in Butt Joints.....	215
6.17	RT Procedures.....	215
6.18	Supplementary RT Requirements for Tubular Connections.....	217
6.19	Examination, Report, and Disposition of Radiographs.....	218
Part F—Ultrasonic Testing (UT) of Groove Welds.....		218
6.20	General.....	218
6.21	Qualification Requirements	218
6.22	UT Equipment.....	218
6.23	Reference Standards.....	219
6.24	Equipment Qualification	219
6.25	Calibration for Testing	220
6.26	Testing Procedures	220
6.27	UT of Tubular T-, Y-, and K-Connections	222
6.28	Preparation and Disposition of Reports	223
6.29	Calibration of the UT Unit with IIW or Other Approved Reference Blocks (Annex H)	223
6.30	Equipment Qualification Procedures	224
6.31	Discontinuity Size Evaluation Procedures.....	226
6.32	Scanning Patterns	226
6.33	Examples of dB Accuracy Certification	226
Part G—Other Examination Methods		226
6.34	General Requirements.....	226
6.35	Radiation Imaging Systems	227
6.36	<u>Advanced Ultrasonic Systems</u>	227
6.37	<u>Additional Requirements</u>	227
7.	Stud Welding	265
7.1	Scope.....	265
7.2	General Requirements.....	265
7.3	Mechanical Requirements.....	266
7.4	Workmanship.....	266
7.5	Technique.....	266
7.6	Stud Application Qualification Requirements	267

7.7	Production Control	268
7.8	Fabrication and Verification Inspection Requirements	269
8.	Strengthening and Repairing Existing Structures	273
8.1	General	273
8.2	Base Metal.....	273
8.3	Design for Strengthening and Repair	273
8.4	Fatigue Life Enhancement	273
8.5	Workmanship and Technique	274
8.6	Quality	274
<i>Annexes</i>		275
<u>Cross Reference for Renumbered Annexes from the 2004 Code to the 2006 Code</u>		276
Annex A	(Normative)—Effective Throat.....	277
Annex B	(Normative)—Effective Throats of Fillet Welds in Skewed T-Joints	279
Annex C	(Normative)—Weld Quality Requirements for Tension Joints in Cyclically Loaded Structures	281
Annex D	(Normative)—Flatness of Girder Webs—Statically Loaded Structures	283
Annex E	(Normative)—Flatness of Girder Webs—Cyclically Loaded Structures	287
Annex F	(Normative)—Temperature-Moisture Content Charts	293
Annex G	(Normative)—Manufacturers’ Stud Base Qualification Requirements	297
Annex H	(Normative)—Qualification and Calibration of UT Units with Other Approved Reference Blocks	301
Annex I	(Normative)—Guideline on Alternative Methods for Determining Preheat.....	305
Annex J	(Normative)—Symbols for Tubular Connection Weld Design	315
Annex K	(Informative)—Terms and Definitions	317
Annex L	(Informative)—Guide for Specification Writers.....	325
Annex M	(Informative)—UT Equipment Qualification and Inspection Forms	327
Annex N	(Informative)—Sample Welding Forms	337
Annex O	(Informative)—Guidelines for the Preparation of Technical Inquiries for the Structural Welding Committee.....	349
Annex P	(Informative)—Local Dihedral Angle	351
Annex Q	(Informative)—Contents of Prequalified WPS.....	357
Annex R	(Informative)—Safe Practices.....	359
Annex S	(Informative)—UT Examination of Welds by Alternative Techniques	363
Annex T	(Informative)—Ovalizing Parameter Alpha	379
Annex U	(Informative)—List of Reference Documents.....	381
Annex V	(Informative)—Filler Metal Strength Properties	383
<i>Commentary</i>		389
Foreword.....		391
Index		491
List of AWS Documents on Structural Welding		503

Annex I (Normative)

Guideline on Alternative Methods for Determining Preheat

This annex is a part of AWS D1.1/D1.1M:2006, *Structural Welding Code—Steel*, and includes mandatory elements for use with this standard.

I1. Introduction

The purpose of this guide is to provide some optional alternative methods for determining welding conditions (principally preheat) to avoid cold cracking. The methods are based primarily on research on small scale tests carried out over many years in several laboratories world-wide. No method is available for predicting optimum conditions in all cases, but the guide does consider several important factors such as hydrogen level and steel composition not explicitly included in the requirements of Table 3.2. The guide may therefore be of value in indicating whether the requirements of Table 3.2 are overly conservative or in some cases not sufficiently demanding.

The user is referred to the Commentary for more detailed presentation of the background scientific and research information leading to the two methods proposed.

In using this guide as an alternative to Table 3.2, careful consideration shall be given to the assumptions made, the values selected, and past experience.

I2. Methods

Two methods are used as the basis for estimating welding conditions to avoid cold cracking:

- (1) HAZ hardness control
- (2) Hydrogen control

I3. HAZ Hardness Control

I3.1 The provisions included in this guide for use of this method are restricted to fillet welds.

I3.2 This method is based on the assumption that cracking will not occur if the hardness of the HAZ is kept below some critical value. This is achieved by controlling the cooling rate below a critical value dependent on the hardenability of the steel. Hardenability of steel in welding relates to its propensity towards formation of a hard HAZ and can be characterized by the cooling rate necessary to produce a given level of hardness. Steels with high hardenability can, therefore, produce hard HAZ at slower cooling rates than a steel with lower hardenability.

Equations and graphs are available in the technical literature that relate the weld cooling rate to the thickness of the steel members, type of joint, welding conditions and variables.

I3.3 The selection of the critical hardness will depend on a number of factors such as steel type, hydrogen level, restraint, and service conditions. Laboratory tests with fillet welds show that HAZ cracking does not occur if the HAZ Vickers Hardness No. (Vh) is less than 350 Vh, even with high-hydrogen electrodes. With low-hydrogen electrodes, hardnesses of 400 Vh could be tolerated without cracking. Such hardness, however, may not be tolerable in service where there is an increased risk of stress corrosion cracking, brittle fracture initiation, or other risks for the safety or serviceability of the structure.

The critical cooling rate for a given hardness can be approximately related to the carbon equivalent (CE) of the steel (see Figure I.2). Since the relationship is only approximate, the curve shown in Figure I.2 may be conservative for plain carbon and plain carbon-manganese steels and thus allow the use of the high hardness curve with less risk.

Some low-alloy steels, particularly those containing columbium (niobium), may be more hardenable than Figure I.2 indicates, and the use of the lower hardness curve is recommended.

I3.4 Although the method can be used to determine a preheat level, its main value is in determining the minimum heat input (and hence minimum weld size) that prevents excessive hardening. It is particularly useful for determining the minimum size of single-pass fillet welds that can be deposited without preheat.

I3.5 The hardness approach does not consider the possibility of weld metal cracking. However, from experience it is found that the heat input determined by this method is usually adequate to prevent weld metal cracking, in most cases, in fillet welds if the electrode is not a high-strength filler metal and is generally of a low-hydrogen type [e.g., low-hydrogen (SMAW) electrode, GMAW, FCAW, SAW].

I3.6 Because the method depends solely on controlling the HAZ hardness, the hydrogen level and restraint are not explicitly considered.

I3.7 This method is not applicable to quenched and tempered steels [see I5.2(3) for limitations].

I4. Hydrogen Control

I4.1 The hydrogen control method is based on the assumption that cracking will not occur if the average quantity of hydrogen remaining in the joint after it has cooled down to about 120°F [50°C] does not exceed a critical value dependent on the composition of the steel and the restraint. The preheat necessary to allow enough hydrogen to diffuse out of the joint can be estimated using this method.

I4.2 This method is based mainly on results of restrained PJP groove weld tests; the weld metal used in the tests matched the parent metal. There has not been extensive testing of this method on fillet welds; however, by allowing for restraint, the method has been suitably adapted for those welds.

I4.3 A determination of the restraint level and the original hydrogen level in the weld pool is required for the hydrogen method.

In this guide, restraint is classified as high, medium, and low, and the category must be established from experience.

I4.4 The hydrogen control method is based on a single low-heat input weld bead representing a root pass and assumes that the HAZ hardens. The method is, therefore, particularly useful for high strength, low-alloy steels

having quite high hardenability where hardness control is not always feasible. Consequently, because it assumes that the HAZ fully hardens, the predicted preheat may be too conservative for carbon steels.

I5. Selection of Method

I5.1 The following procedure is recommended as a guide for selection of either the hardness control or hydrogen control method.

Determine carbon and carbon equivalent:

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

to locate the zone position of the steel in Figure I.1 (see I6.1.1 for the different ways to obtain chemical analysis).

I5.2 The performance characteristics of each zone and the recommended action are as follows:

(1) **Zone I.** Cracking is unlikely, but may occur with high hydrogen or high restraint. Use hydrogen control method to determine preheat for steels in this zone.

(2) **Zone II.** The hardness control method and selected hardness shall be used to determine minimum energy input for single-pass fillet welds without preheat.

If the energy input is not practical, use hydrogen method to determine preheat.

For groove welds, the hydrogen control method shall be used to determine preheat.

For steels with high carbon, a minimum energy to control hardness and preheat to control hydrogen may be required for both types of welds, i.e., fillet and groove welds.

(3) **Zone III.** The hydrogen control method shall be used. Where heat input is restricted to preserve the HAZ properties (e.g., some quenched and tempered steels), the hydrogen control method should be used to determine preheat.

I6. Detailed Guide

I6.1 Hardness Method

I6.1.1 The carbon equivalent shall be calculated as follows:

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

The chemical analysis may be obtained from:

- (1) Mill test certificates
- (2) Typical production chemistry (from the mill)
- (3) Specification chemistry (using maximum values)
- (4) User tests (chemical analysis)

I6.1.2 The critical cooling rate shall be determined for a selected maximum HAZ hardness of either 400 Vh or 350 Vh from Figure I.2.

I6.1.3 Using applicable thicknesses for “flange” and “web” plates, the appropriate diagram shall be selected from Figure I.3 and the minimum energy input for single-pass fillet welds shall be determined. This energy input applies to SAW welds.

I6.1.4 For other processes, minimum energy input for single-pass fillet welds can be estimated by applying the following multiplication factors to the energy estimated for the SAW process in I6.1.3:

<u>Welding Process</u>	<u>Multiplication Factor</u>
SAW	1
SMAW	1.50
GMAW, FCAW	1.25

I6.1.5 Figure I.4 may be used to determine fillet sizes as a function of energy input.

I6.2 Hydrogen Control Method

I6.2.1 The value of the composition parameter, P_{cm} , shall be calculated as follows:

$$P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

The chemical analysis shall be determined as in I6.1.1.

I6.2.2 The hydrogen level shall be determined and shall be defined as follows:

(1) **H1 Extra-Low Hydrogen.** These consumables give a diffusible hydrogen content of less than 5 ml/100g deposited metal when measured using ISO 3690-1976 or, a moisture content of electrode covering of 0.2% maximum in conformance with AWS A5.1 or A5.5. This may be established by testing each type, brand, or wire/flux combination used after removal from the package or container and exposure for the intended duration, with due consideration of actual storage conditions prior to immediate use. The following may be assumed to meet this requirement:

(a) Low-hydrogen electrodes taken from hermetically sealed containers, dried at 700°F–800°F [370°–430°C] for one hour and used within two hours after removal,

(b) GMAW with clean solid wires.

(2) **H2 Low Hydrogen.** These consumables give a diffusible hydrogen content of less than 10 ml/100g deposited metal when measured using ISO 3690-1976, or a moisture content of electrode covering of 0.4% maximum in conformance with AWS A5.1. This may be established by a test on each type, brand of consumable, or wire/flux combination used. The following may be assumed to meet this requirement:

(a) Low-hydrogen electrodes taken from hermetically sealed containers conditioned in conformance with 5.3.2.1 of the code and used within four hours after removal,

(b) SAW with dry flux.

(3) **H3 Hydrogen Not Controlled.** All other consumables not meeting the requirements of H1 or H2.

I6.2.3 The susceptibility index grouping from Table I.1 shall be determined.

I6.2.4 Minimum Preheat Levels and Interpass. Table I.2 gives the minimum preheat and interpass temperatures that shall be used. Table I.2 gives three levels of restraint. The restraint level to be used shall be determined in conformance with I6.2.5.

I6.2.5 Restraint. The classification of types of welds at various restraint levels should be determined on the basis of experience, engineering judgment, research, or calculation.

Three levels of restraint have been provided:

(1) **Low Restraint.** This level describes common fillet and groove welded joints in which a reasonable freedom of movement of members exists.

(2) **Medium Restraint.** This level describes fillet and groove welded joints in which, because of members being already attached to structural work, a reduced freedom of movement exists.

(3) **High Restraint.** This level describes welds in which there is almost no freedom of movement for members joined (such as repair welds, especially in thick material).

Table I.1
Susceptibility Index Grouping as Function of Hydrogen Level “H”
and Composition Parameter P_{cm} (see I6.2.3)

Hydrogen Level, H	Susceptibility Index ^b Grouping ^c				
	Carbon Equivalent = P _{cm} ^a				
	< 0.18	< 0.23	< 0.28	< 0.33	< 0.38
H1	A	B	C	D	E
H2	B	C	D	E	F
H3	C	D	E	F	G

$$^a P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

^b Susceptibility index— $12 P_{cm} + \log_{10} H$.

^c Susceptibility Index Groupings, A through G, encompass the combined effect of the composition parameter, P_{cm}, and hydrogen level, H, in conformance with the formula shown in Note b.

The exact numerical quantities are obtained from the Note b formula using the stated values of P_{cm} and the following values of H, given in ml/100g of weld metal [see I6.2.2, (1), (2), (3)]:

H1—5; H2—10; H3—30.

For greater convenience, Susceptibility Index Groupings have been expressed in the table by means of letters, A through G, to cover the following narrow ranges:

A = 3.0; B = 3.1–3.5; C = 3.6–4.0; D = 4.1–4.5; E = 4.6–5.0; F = 5.1–5.5; G = 5.6–7.0

These groupings are used in Table I.2 in conjunction with restraint and thickness to determine the minimum preheat and interpass temperature.

Table I.2
Minimum Preheat and Interpass Temperatures for Three Levels of Restraint (see I6.2.4)

Restraint Level	Thickness ^a in.	Minimum Preheat and Interpass Temperature (°F) ^b						
		Susceptibility Index Grouping						
		A	B	C	D	E	F	G
Low	< 3/8	< 65	< 65	< 65	< 65	140	280	300
	> 3/8–3/4 <u>incl.</u>	< 65	< 65	65	140	210	280	300
	> 3/4–1-1/2 <u>incl.</u>	< 65	< 65	65	175	230	280	300
	> 1-1/2–3 <u>incl.</u>	65	65	100	200	250	280	300
	> 3	65	65	100	200	250	280	300
Medium	< 3/8	< 65	< 65	< 65	< 65	160	280	320
	> 3/8–3/4 <u>incl.</u>	< 65	< 65	65	175	240	290	320
	> 3/4–1-1/2 <u>incl.</u>	< 65	65	165	230	280	300	320
	> 1-1/2–3 <u>incl.</u>	65	175	230	265	300	300	320
	> 3	200	250	280	300	320	320	320
High	< 3/8	< 65	< 65	< 65	100	230	300	320
	> 3/8–3/4 <u>incl.</u>	< 65	65	150	220	280	320	320
	> 3/4–1-1/2 <u>incl.</u>	65	185	240	280	300	320	320
	> 1-1/2–3 <u>incl.</u>	240	265	300	300	320	320	320
	> 3	240	265	300	300	320	320	320

(continued)

^a Thickness is that of the thicker part welded.

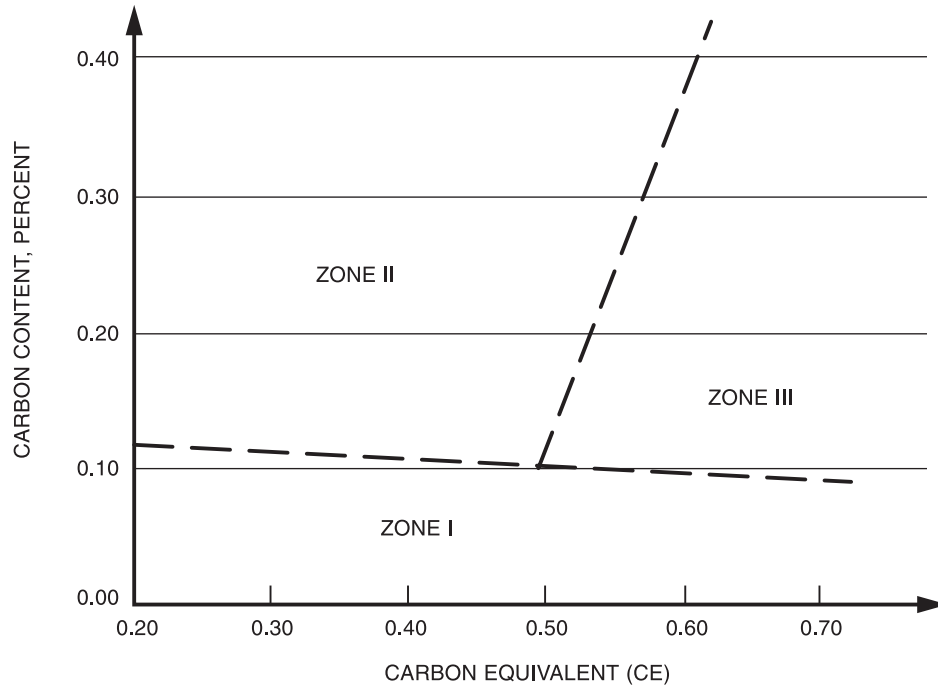
^b “<” indicates that preheat and interpass temperatures lower than the temperature shown may be suitable to avoid hydrogen cracking. Preheat and interpass temperatures that are both lower than the listed temperature and lower than Table 3.2 shall be qualified by test.

Table I.2 (Continued)

Restraint Level	Thickness ^a mm	Minimum Preheat and Interpass Temperature (°C) ^b						
		Susceptibility Index Grouping						
		A	B	C	D	E	F	G
Low	< 10	< 20	< 20	< 20	< 20	60	140	150
	> 10–20 <u>incl.</u>	< 20	< 20	20	60	100	140	150
	> 20–38 <u>incl.</u>	< 20	< 20	20	80	110	140	150
	> 38–75 <u>incl.</u>	20	20	40	95	120	140	150
	> 75	20	20	40	95	120	140	150
Medium	< 10	< 20	< 20	< 20	< 20	70	140	160
	> 10–20 <u>incl.</u>	< 20	< 20	20	80	115	145	160
	> 20–38 <u>incl.</u>	20	20	75	110	140	150	160
	> 38–75 <u>incl.</u>	20	80	110	130	150	150	160
	> 75	95	120	140	150	160	160	160
High	< 10	< 20	< 20	20	40	110	150	160
	> 10–20 <u>incl.</u>	< 20	20	65	105	140	160	160
	> 20–38 <u>incl.</u>	20	85	115	140	150	160	160
	> 38–75 <u>incl.</u>	115	130	150	150	160	160	160
	> 75	115	130	150	150	160	160	160

^a Thickness is that of the thicker part welded.

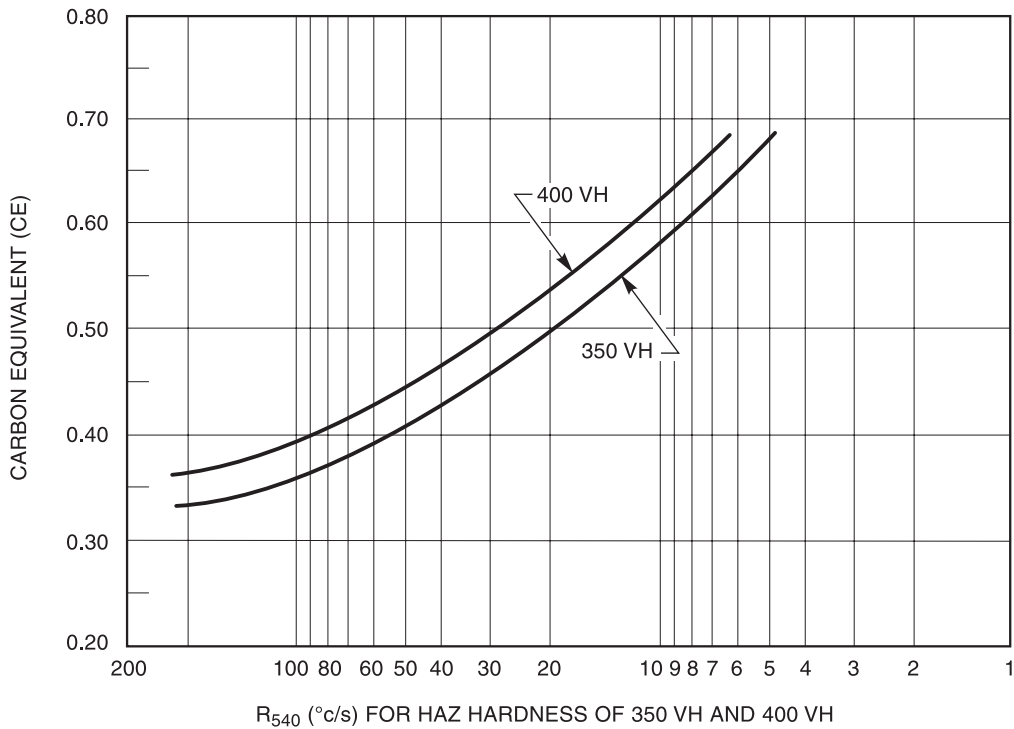
^b “<” indicates that preheat and interpass temperatures lower than the temperature shown may be suitable to avoid hydrogen cracking. Preheat and interpass temperatures that are both lower than the listed temperature and lower than Table 3.2 shall be qualified by test.



Notes:

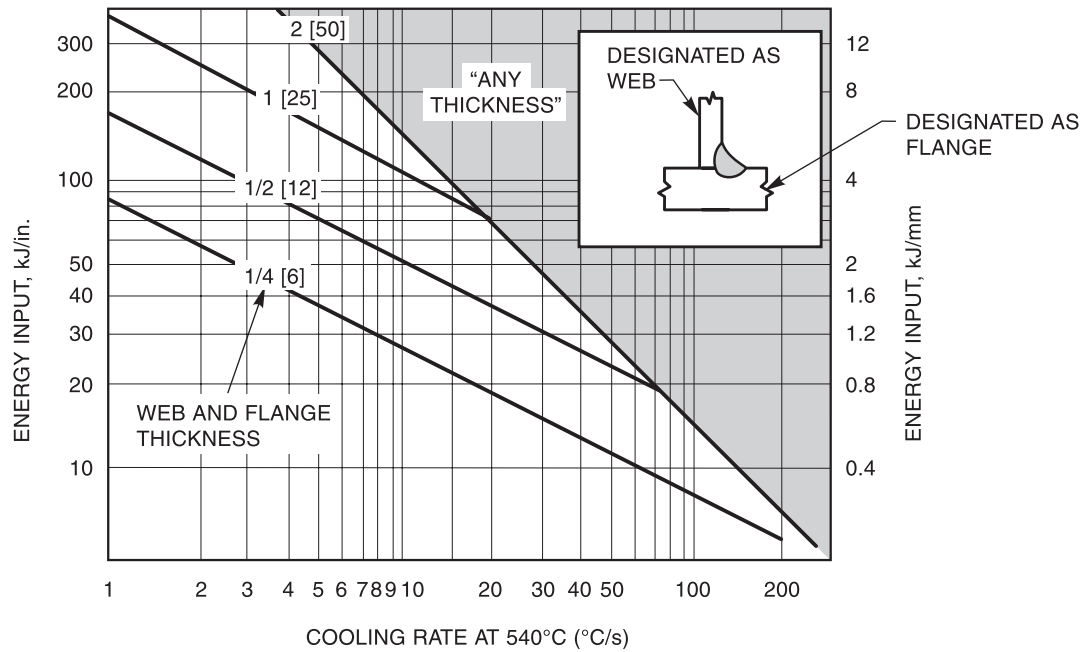
1. $CE = C + (Mn + Si)/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$.
2. See I.5.2(1), (2), or (3) for applicable zone characteristics.

Figure I.1—Zone Classification of Steels (see I.5.1)



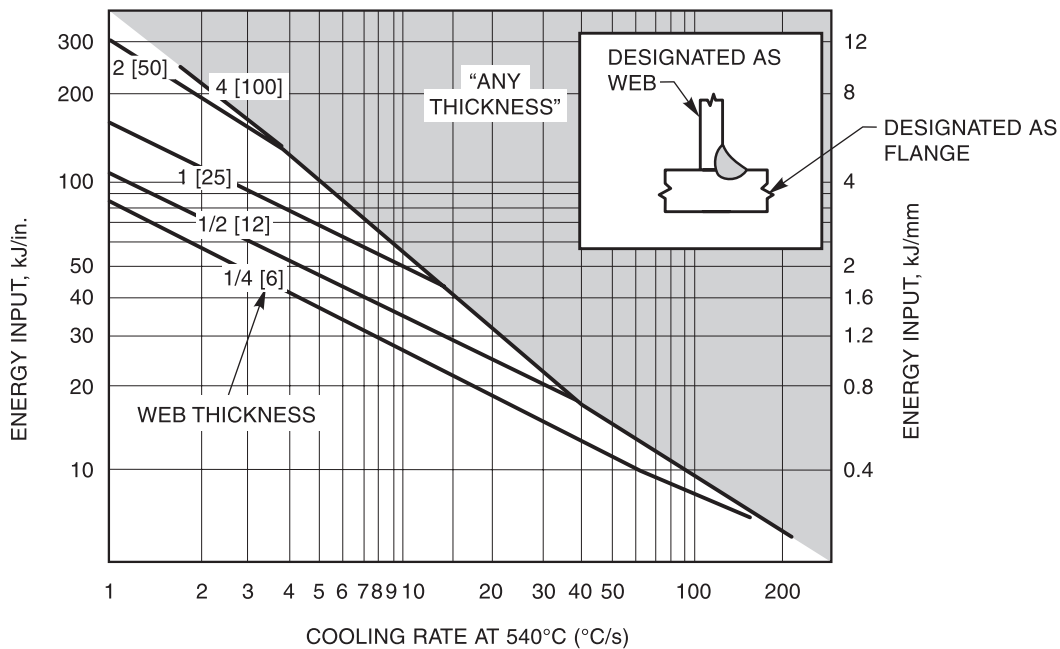
Note: $CE = C + (Mn + Si)/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$.

Figure I.2—Critical Cooling Rate for 350 VH and 400 VH (see I.3.3)



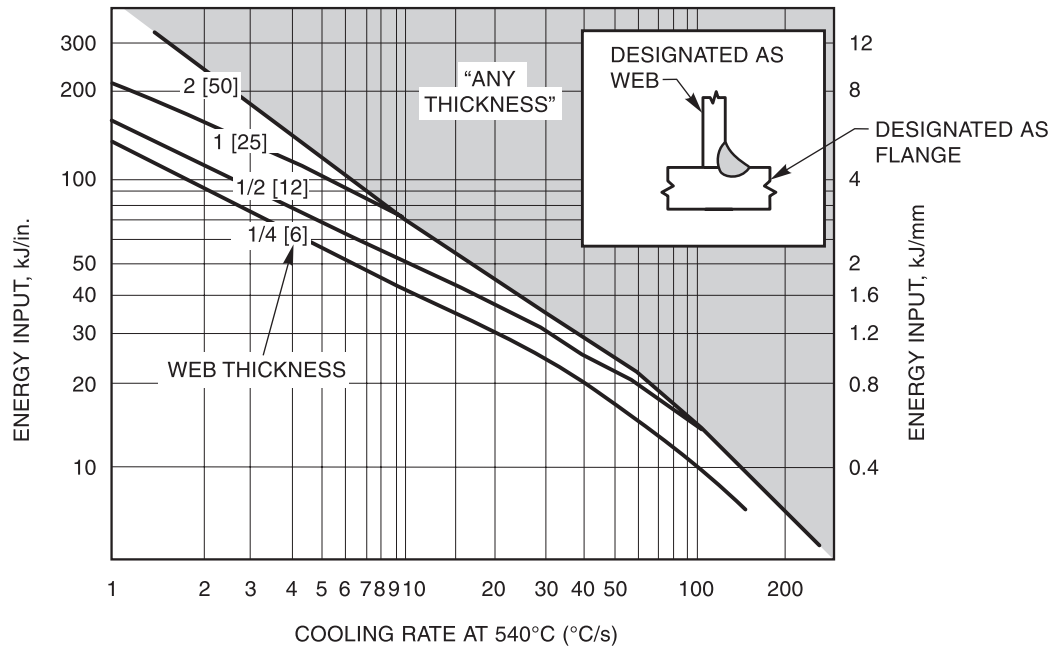
Note: Energy input determined from chart shall not imply suitability for practical applications. For certain combination of thicknesses melting may occur through the thickness.

(A) SINGLE-PASS SAW FILLET WELDS WITH WEB AND FLANGE OF SAME THICKNESS



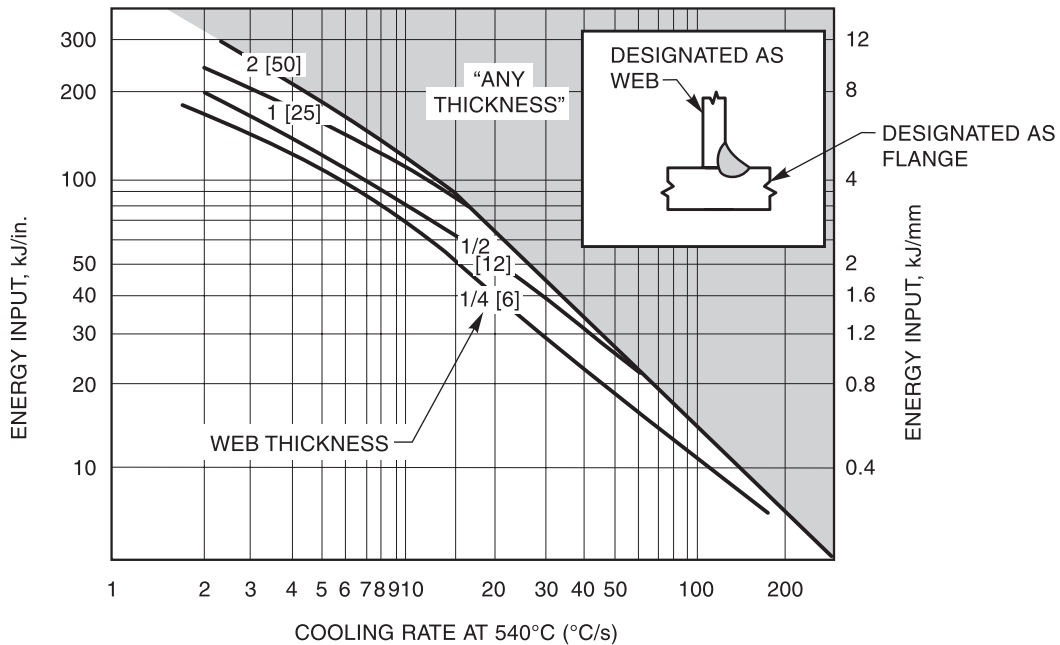
(B) SINGLE-PASS SAW FILLET WELDS WITH 1/4 in. [6 mm] FLANGES AND VARYING WEB THICKNESSES

Figure I.3—Graphs to Determine Cooling Rates for Single-Pass SAW Fillet Welds (see I6.1.3)



Note: Energy input determined from chart shall not imply suitability for practical applications. For certain combination of thicknesses melting may occur through the thickness.

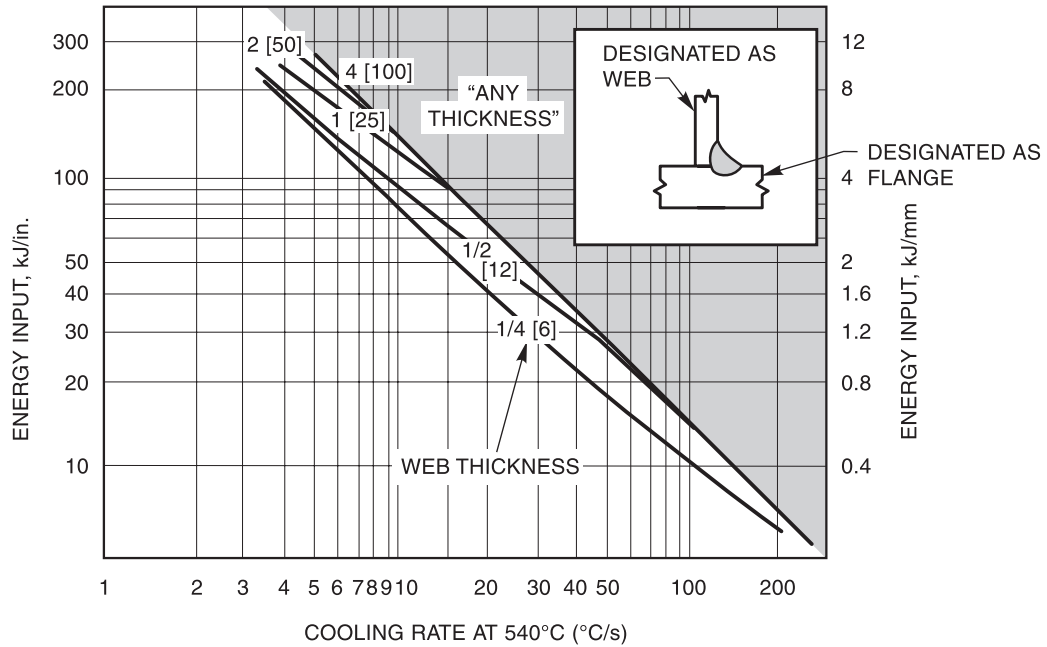
(C) SINGLE-PASS SAW FILLET WELDS WITH 1/2 in. [12 mm] FLANGES AND VARYING WEB THICKNESSES



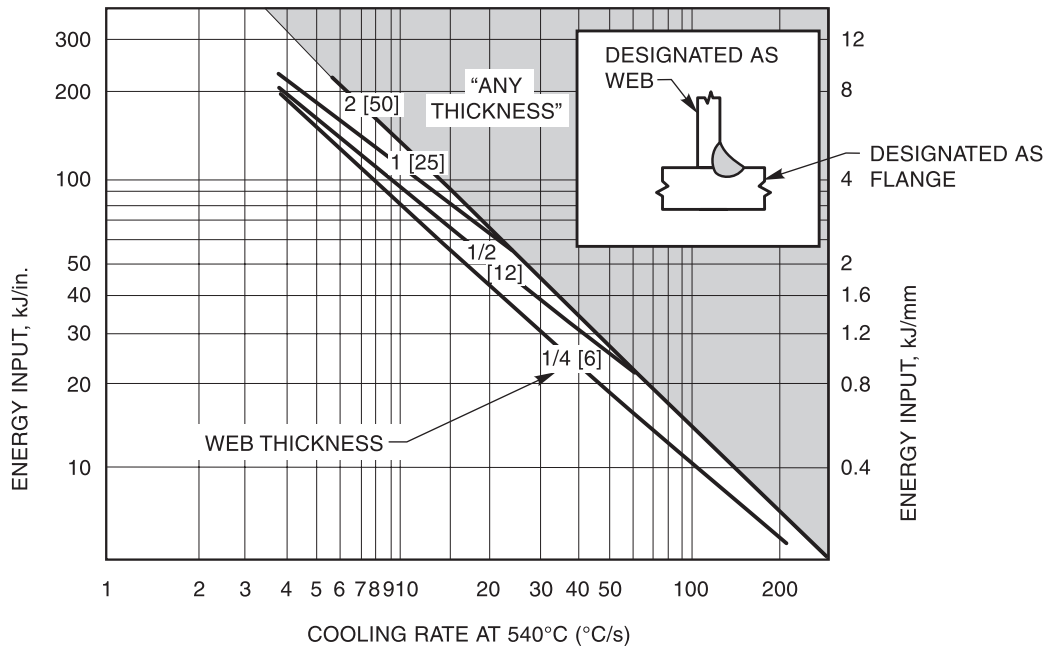
Note: Energy input determined from chart shall not imply suitability for practical applications. For certain combination of thicknesses melting may occur through the thickness.

(D) SINGLE-PASS SAW FILLET WELDS WITH 1 in. [25 mm] FLANGES AND VARYING WEB THICKNESSES

Figure I.3 (Continued)—Graphs to Determine Cooling Rates for Single-Pass SAW Fillet Welds (see I6.1.3)



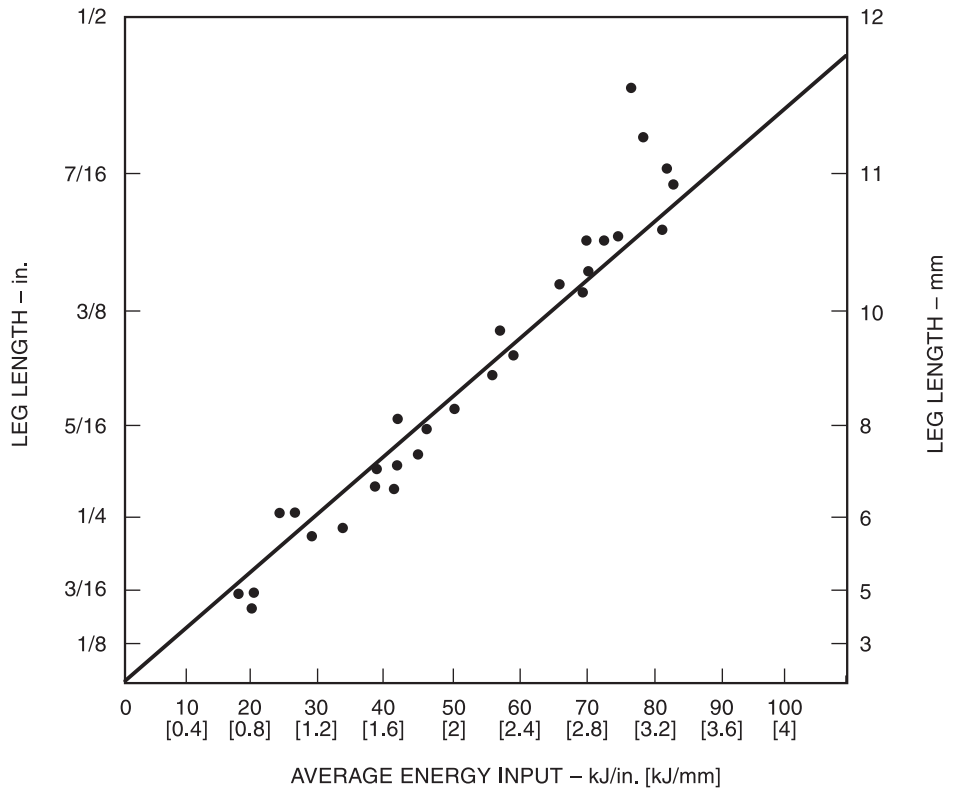
(E) SINGLE-PASS SAW FILLET WELDS WITH 2 in. [50 mm] FLANGES AND VARYING WEB THICKNESSES



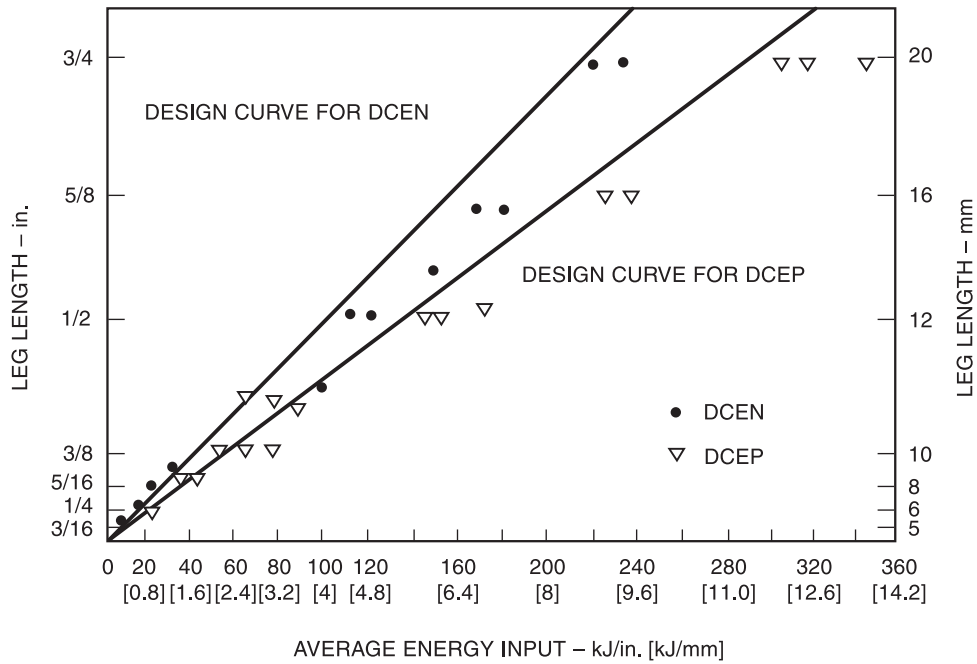
Note: Energy input determined from chart shall not imply suitability for practical applications. For certain combination of thicknesses melting may occur through the thickness.

(F) SINGLE-PASS SAW FILLET WELDS WITH 4 in. [100 mm] FLANGES AND VARYING WEB THICKNESSES

Figure I.3 (Continued)—Graphs to Determine Cooling Rates for Single-Pass SAW Fillet Welds (see I6.1.3)



(A) SHIELDED METAL ARC WELDING (SMAW)



(B) SUBMERGED ARC WELDING (SAW)

Figure I.4—Relation Between Fillet Weld Size and Energy Input (see I16.1.5)

Annex J (Normative)

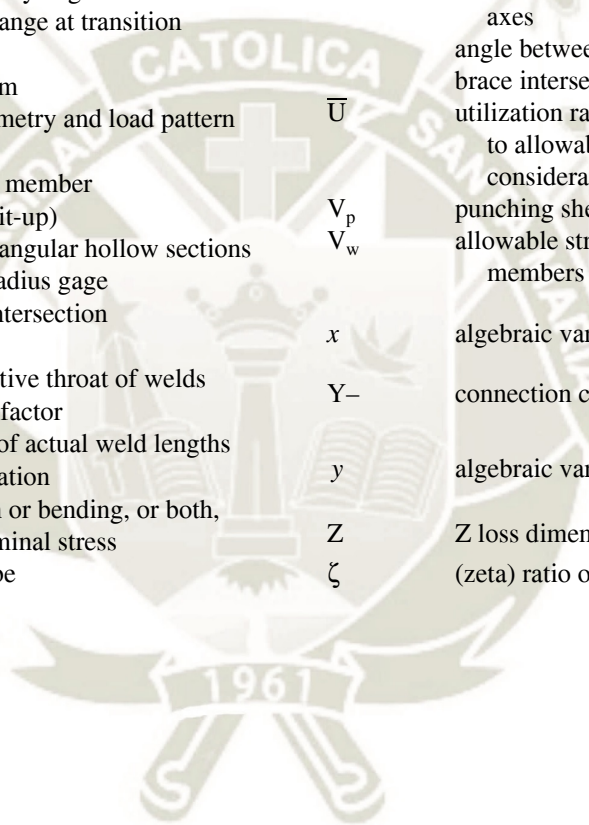
Symbols for Tubular Connection Weld Design

This annex is a part of AWS D1.1/D1.1M:2006, *Structural Welding Code—Steel*, and includes mandatory elements for use with this standard.

Symbols used in Section 2, Part D, are as follows:

Symbol	Meaning	Symbol	Meaning
α	(alpha) chord ovalizing parameter	f_b	bending stress in branch member
a	width of rectangular hollow section product	f_b	bending stress in main member
a_x	ratio of a to $\sin \theta$	f_{by}	nominal stress, in-plane bending
b	transverse width of rectangular tubes	f_{bz}	nominal stress, out-of-plane bending
b_{et} ($b_{e(ov)}$)	branch effective width at through member	f_n	nominal stress in branch member
b_{eo} (b_e)	branch effective width at chord	g	gap in K-connections
b_{eoi} (b_{ep})	branch effective width for outside punching	H	web depth (box chord) in plane of truss
b_{gap}	effective width at gap of K-connections	γ	(gamma) main member flexibility parameter; ratio R to t_c (circular sections); ratio of D to $2t_c$ (box sections)
β	(beta) diameter ratio of d_b to D ratio of r_b to R (circular sections) ratio of b to D (box sections)	γ_b	radius to thickness ratio of tube at transition
β_{gap}	dimensionless effective width at gap of K-connections	γ_i	thru member γ (for overlap conn.)
β_{eoi}	dimensionless ratio of b_{eoi} to the width of the main member	ID	inside diameter
β_{eop}	dimensionless effective width for outside punching	K-	connection configuration
β_{eff}	effective β for K-connection chord face plastification	K_a	relative length factor
c	corner dimension	K_b	relative section factor
D	outside diameter OD (circular tubes) or outside width of main member (box sections)	λ	(lambda) interaction sensitivity parameter
D	cumulative fatigue damage ratio, $\sum \frac{n}{N}$	L	size of fillet weld dimension as shown in Figure 2.14
d_b	diameter of branch member	L	length of joint can
η	(eta) ratio of a_x to D	LF	load factor (partial safety factor for load in LRFD)
ϵ_{TR}	(epsilon) total strain range	l_1	actual weld length where branch contacts main member
F	toe fillet weld size	l_2	projected chord length (one side) of overlapping weld
F_{EXX}	classified minimum tensile strength of weld deposit	M	applied moment
F_y	yield strength of base metal	M_c	moment in chord
F_{y0}	yield strength of main member	M_u	ultimate moment
f_a	axial stress in branch member	n	cycle of load applied
f_a	axial stress in main member	N	number of cycles allowed at given stress range
		OD	outside diameter
		P	axial load in branch member

<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>	<u>Symbol</u>	<u>Meaning</u>
P_c	axial load in chord	t_b	wall thickness of branch member
P_u	ultimate load		branch member for dimensioning of CJP groove welds
P_{\perp}	individual member load component perpendicular to main member axis		thinner member for dimensioning PJP groove welds and fillet welds
p	projected footprint length of overlapping member	t_c	wall thickness of main member joint can thickness
q	amount of overlap	t_w	weld size (effective throat)
ϕ	(phi) joint included angle	t'_w	t_w as defined in 2.24.1.6
π	(pi) ratio of circumference to diameter of circle	τ	(tau) branch-to-main relative thickness geometry parameter; ratio of t_b to t_c
Ψ	(psi) local dihedral angle. See definition Annex K	τ_t	$t_{overlap}/t_{thru}$
$\bar{\Psi}$	(psi bar) supplementary angle to the local dihedral angle change at transition	θ	(theta) acute angle between two member axes
Q_b	geometry modifier		angle between member center lines
Q_f	stress interaction term		brace intersection angle
Q_q	branch member geometry and load pattern modifier	\bar{U}	utilization ratio of axial and bending stress to allowable stress, at point under consideration in main member
R	outside radius, main member	V_p	punching shear stress
R	root opening (joint fit-up)	V_w	allowable stress for weld between branch members
r	corner radius of rectangular hollow sections as measured by radius gage	x	algebraic variable $\frac{1}{2\pi \sin \theta}$
r	effective radius of intersection	$Y-$	connection configuration
r_b	radius of branch	y	algebraic variable $\frac{1}{3\pi} \cdot \frac{3-\beta^2}{2-\beta^2}$
r_m	mean radius to effective throat of welds	Z	Z loss dimension
SCF	stress concentration factor	ζ	(zeta) ratio of gap to D
$\sum l_1$	(sigma) summation of actual weld lengths		
T-	connection configuration		
TCBR	tension/compression or bending, or both, total range of nominal stress		
t	wall thickness of tube		





ANEXO 8

ACI 318S-05



**Requisitos de Reglamento para
Concreto Estructural (ACI 318S-05)
y Comentario (ACI 318SR-05)**
(Versión en español y en sistema métrico)
Es un Estándar del ACI

Producido por el Comité ACI 318

american concrete institute
P.O. BOX 9094
FARMINGTON HILLS, MICHIGAN 48333-9094
USA

La mayoría de las normas e informes de los comités del ACI se recopilan en el "ACI Manual of Concrete Practice" el cual es revisado anualmente. Los diferentes volúmenes de este documento agrupan temáticamente el material y pueden ser adquiridos individualmente o en conjunto. También se puede adquirir en una versión en CD-ROM.

Los comités del ACI preparan normas e informes relacionados con los siguientes temas

generales: materiales y propiedades del concreto, prácticas constructivas y supervisión, pavimentos y losas, diseño estructural y análisis, especificaciones para estructuras, y productos y procesos especiales.

El catálogo de todas las publicaciones se puede solicitar sin costo a:

**American Concrete Institute
P.O. Box 9094
Farmington Hills, MI 48333-9094
USA**

Programas de certificación del ACI

La calidad final de una estructura de concreto depende de que la construya personal calificado. Los programas de certificación del ACI permiten identificar obreros, técnicos e inspectores calificados. El ACI administra los siguientes programas de certificación con el fin de suplir la creciente demanda de personal calificado por parte de la industria:

*Técnico y terminador de pisos y pavimentos de concreto
(Concrete Flatwork Finisher)*

*Técnico en terminación de pisos y pavimentos de concreto
(Concrete Flatwork Technician)*

*Técnico en ensayos de concreto fresco en obra – Grado I
(Concrete Field Testing Technician – Grade I)*

*Técnico en ensayos de resistencia del concreto – Grado I
(Concrete Strength Testing Technician – Grade I)*

*Técnico en ensayos de concreto en el laboratorio – Grado I
(Concrete Laboratory Testing Technician – Grade I)*

*Técnico en ensayos de concreto en el laboratorio – Grado II
(Concrete Laboratory Testing Technician – Grade II)*

*Inspector técnico de obras de concreto en entrenamiento
(Concrete Construction Inspector In Training)*

*Inspector técnico de obras de concreto
(Concrete Construction Inspector)*

*Inspector técnico en obras de transporte en concreto en
entrenamiento
(Concrete Transportation Construction Inspector-In-Training)*

El presente documento puede ya contener referencia a estos programas de certificación del ACI, los cuales pueden adicionarse a las especificaciones del proyecto o a los procedimientos de control de calidad. Si no contiene referencia a ellos, puede pedirse al Departamento de Certificación del ACI especificaciones guías sugeridas.

Mejoramiento de los documentos del ACI

Los comités técnicos responsables de las normas e informes del ACI se esfuerzan en evitar ambigüedades, omisiones, y errores en estos documentos. A pesar de estos esfuerzos, los usuarios de los documentos del ACI ocasionalmente encuentran información o requisitos que pueden ser objeto de más de una interpretación, o estar incompletos o incorrectos.

Con el fin de obtener una mejor precisión y claridad el Comité de Actividades Técnicas del ACI solicita a los usuarios de las normas e informes del ACI su colaboración en identificar y eliminar eventuales problemas asociados con su uso.

A las personas que tengan sugerencias para el mejoramiento de los documentos del ACI se les pide el favor de dirigirse por escrito al Departamento de Ingeniería del ACI enviando la siguiente información:

1. Título y número del documento en que se haya detectado el problema, incluyendo la sección específica donde este aparezca,
2. Una descripción corta del problema, y
3. Si es posible, la sugerencia del texto que pueda resolver el problema.

Los empleados del Departamento de Ingeniería del Instituto tendrán en cuenta todos los comentarios y sugerencias recibidas y tomarán las medidas apropiadas. Se insiste a los socios del Instituto y a los particulares para que con su ayuda sea posible mejorar la exactitud y utilidad de los documentos del ACI.

REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL (ACI 318S-05) Y COMENTARIO (ACI 318SR-05)

(Versión en español y en sistema métrico)

PRODUCIDO POR EL COMITÉ ACI 318

Comité ACI 318 Reglamento Estructural para Edificaciones

James K. Wight
Director

Basile G. Rabbat
Secretario

Sergio M. Alcocer
Florian G. Barth
Roger J. Becker
Kenneth B. Bondy
John E. Breen
James R. Cagley
Michael P. Collins
W. Gene Corley
Charles W. Dolan
Anthony E. Fiorato
Catherine W. French

Luis E. García
S. K. Ghosh
Lawrence G. Griffis
David P. Gustafson
D. Kirk Harman
James R. Harris
Neil M. Hawkins
Terence C. Holland
Kenneth C. Hover
Phillip J. Iverson
James O. Jirsa

Dominic J. Kelly
Gary J. Klein
Roland Klemencic
Cary S. Koczynski
H. S. Lew
Colin L. Lobo
Leslie D. Martin
Robert F. Mast
Steven L. McCabe
W. Calvin McCall
Jack P. Moehle

Myles A. Murray
Julio A. Ramírez
Thomas C. Schaeffer
Stephen J. Seguirant
Roberto Stark
Eric M. Tolles
Thomas D. Verti
Sharon L. Wood
Loring A. Wyllie
Fernando V. Yañez

Miembros de subcomité con voto

Neal S. Anderson
Mark A. Aschheim
John F. Bonacci
JoAnn P. Browning
Nicholas J. Carino
Ned M. Cleland
Ronald A. Cook

Juan P. Covarrubias
Robert J. Frosch
Harry A. Gleich
Javier F. Horvilleurt†
R. Doug Hooton
L. S. Paul Johal

Michael E. Kreger
Daniel A. Kuchma
LeRoy A. Lutz
James G. MacGregor
Joe Maffei
Denis Mitchell

Vilas S. Mujumdar
Suzanne D. Nakaki
Theodore L. Neff
Andrzej S. Nowak
Randall W. Poston
Bruce W. Russell

Guillermo Santana
Andrew Scanlon
John F. Stanton
Fernando R. Stucchi
Raj Valluvan
John W. Wallace

Miembros consultores

C. Raymond Hays

Richard C. Meininger

Charles G. Salmon

†Fallecido.



REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL (ACI 318S-05) Y COMENTARIO (ACI 318SR-05)

(Versión en español y en sistema métrico)

PRODUCIDO POR EL COMITÉ ACI 318

PREFACIO

La parte correspondiente al reglamento en este documento cubre el diseño y construcción de concreto estructural en edificaciones y donde sea aplicable en otras construcciones.

Dentro de los temas tratados se encuentran: planos y especificaciones, supervisión, materiales, requisitos de durabilidad, calidad del concreto, mezclado y colocación, encofrados y cimbras, tuberías embebidas, juntas de construcción, detalles del refuerzo, análisis y diseño, resistencia y funcionamiento, flexión y fuerza axial, cortante y torsión, desarrollo y empalmes del refuerzo, sistemas de losa, muros, zapatas, concreto prefabricado, elementos compuestos a flexión, concreto preesforzado, cascarones y placas plegadas, evaluación de la resistencia de estructuras existentes, requisitos especiales para diseño sísmico, concreto simple estructural, modelos puntal-tensor en el Apéndice A, requisitos alternos de diseño en el Apéndice B, factores de carga y de reducción de resistencia alternos en el Apéndice C, y anclaje al concreto en el Apéndice D.

La calidad y los ensayos sobre los materiales utilizados en obra se incluyen por referencia a las normas ASTM apropiadas. La soldadura del refuerzo se incluye por referencia a las normas ANSI/AWS apropiadas.

Dentro de los usos del reglamento está su adopción, por referencia, dentro del reglamento general de construcción y ediciones anteriores han sido usadas ampliamente de esta forma. El reglamento se redacta en un formato que permite su adopción de esta forma sin necesidad de introducir cambios en su redacción. Por esta razón, no es apropiado que contenga detalles relacionados con su desarrollo o sugerencias para el cumplimiento de sus objetivos o requisitos. El objetivo del comentario es precisamente llenar este vacío. El comentario discute algunas de las consideraciones que el comité tuvo en cuenta al redactarlo, haciendo énfasis en explicar los requisitos nuevos, o que fueron modificados, con los cuales los usuarios del reglamento pueden no estar familiarizados. Se citan las referencias bibliográficas del material proveniente de investigaciones empleado en la redacción del reglamento con el fin de que las personas que deseen estudiar asuntos particulares en mayor detalle lo puedan hacer. Así mismo, se citan otros documentos que traen sugerencias acerca de cómo cumplir los requisitos del reglamento.

Palabras clave: aceros de preesforzado, aceros de refuerzo, aditivos, agregados, agua, análisis de resistencia, **análisis estructural**, anclaje (estructural), cargas (fuerzas), cascarones (formas estructurales), cementos, colocación, columnas (apoyos), columnas de tubo de acero, **concreto estructural**, concreto preesforzado, concreto prefabricado, **concreto reforzado**, concreto simple, concretos livianos, **concretos**, construcción compuesta (concreto con concreto), construcción compuesta (concreto y acero), construcción en clima cálido, construcción en clima frío, **construcción en concreto**, continuidad (estructural), control de calidad, cubiertas, curado, deflexiones, **diseño estructural**, dosificación de la mezcla, ductos embebidos de servicios, empalmes, encofrado y cimbra (construcción), esfuerzos combinados, esfuerzos, especificaciones, estructuras sismo resistentes, funcionamiento, integridad estructural, juntas (uniones), juntas de construcción, juntas de contracción, juntas de expansión, losas de concreto, luces (estructurales), materiales, mezclado, módulo de elasticidad, momentos, muros de corte, muros, pisos, placas plegadas, planos, pórticos viga-columna, pórticos, pruebas de carga (estructurales), recubrimiento, refuerzo electrosoldado de alambre, **reglamentos de construcción**, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, resistencia al cortante, resistencia, supervisión, torsión, tubería estructural, vigas (apoyos), vigas de gran altura, vigas T, viguetas, zapatas.

El ACI 318-05 fue adoptado como norma del American Concrete Institute el 27 de octubre del año 2004 y remplace a ACI 318-02 de acuerdo con el reglamento de normalización del Instituto.

Existen versiones en idioma inglés tanto en sistema de unidades inglesas (ACI 318/318R) como en sistema métrico (ACI 318M/318RM), por lo tanto no se incluyen conversiones de unidades en este documento. La versión en español (ACI 318S/318SR) está basada en la versión inglesa en sistema métrico.

Los informes, guías, procedimientos recomendados, y comentarios producidos por los comités del ACI tienen como fin orientar en la planificación, el diseño, la ejecución, y la supervisión de construcción. El Comentario se presenta para ser utilizado por personas capacitadas y competentes para identificar la relevancia y limitaciones en su contenido y recomendaciones, y quienes aceptan las responsabilidades inherentes a su uso. El American Concrete Institute se libera de cualquiera y todas las responsabilidades derivadas de su contenido. El Instituto no es responsable por cualquier pérdida o daño derivado de su uso. El Comentario no puede ser citado ni puede hacerse referencia a él en documentos contractuales. Si el

diseñador (ingeniero o arquitecto) desea incluir dentro de los documentos contractuales alguna parte del Comentario, ésta debe redactarse en modo imperativo.

Es propiedad © 2005, American Concrete Institute.

Todos los derechos reservados incluyendo los derechos de reproducción y uso en cualquier forma y medio, incluyendo copias por cualquier método de proceso fotográfico, o por medio de cualquier procedimiento electrónico o mecánico, impreso, escrito u oral, o grabado de sonido o reproducción visual, o para el uso en cualquier sistema de adquisición y archivo de información, a menos que se obtenga un permiso por escrito de los propietarios de la propiedad intelectual.

Copyright © 2005, American Concrete Institute.

All rights reserved including rights of reproduction and use in any form or by any means, including the making of copies by any photo process, or by any electronic or mechanical device, printed or written or oral, or recording for sound or visual reproduction or for use in any knowledge or retrieval system or device, unless permission in writing is obtained from the copyright proprietors.

El Reglamento del ACI y su Comentario (versión en castellano y en sistema métrico) se presenta en una diagramación de dos columnas, donde la columna del lado izquierdo corresponde al texto del reglamento y la del lado derecho al comentario al reglamento alineado con respecto a él. Para hacer la distinción entre el reglamento y su comentario se han empleado distintos tipos de letra, con el reglamento en tipo Helvético, igual al empleado en el presente párrafo. Por ser esta la primera versión oficial en español se han omitido las líneas verticales en los márgenes indicando cambios con respecto a la versión anterior que aparecen en la versión en inglés.

En el presente párrafo se ha empleado un tipo de letra Times Roman el cual es el utilizado en todas las partes del texto que corresponden a comentarios al reglamento. Los números de sección en el comentario están precedidos por la letra R para facilitar su distinción del texto del reglamento. En el comentario se han omitido también las líneas verticales en el margen indicando con respecto a la versión anterior que aparecen en la versión en inglés.

INTRODUCCIÓN

Este comentario introductorio discute algunas de las consideraciones del Comité 318 en la redacción de los requisitos contenidos en “Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-05)” el cual en adelante se llamará el reglamento o el reglamento del 2005. Se ha hecho énfasis en las explicaciones sobre el material nuevo o que fue revisado, acerca del cual los usuarios pueden no estar familiarizados. Además, se hacen comentarios sobre algunos aspectos que ya existían en versiones anteriores con el fin de independizar el presente comentario del comentario de las versiones anteriores. Los comentarios acerca de requisitos específicos se hacen en el capítulo y sección correspondiente.

El comentario no se redactó con el fin de dar una visión histórica del desarrollo del reglamento del ACI, ni la intención fue resumir detalladamente las investigaciones y estudios, ni los datos contenidos en ellos, que fueron estudiadas por el comité para redactar los requisitos contenidos en el reglamento. No obstante, en algunos casos se indican las referencias bibliográficas de las investigaciones con el fin de quienes deseen estudiar en detalle el material de respaldo, lo puedan hacer.

Tal como lo indica su título “Requisitos de reglamento para concreto estructural” el documento se redacta para ser incluido como parte de un reglamento de construcción adoptado legalmente y como tal difiere substancialmente de otros documentos que presentan especificaciones, procedimientos recomendados, o ayudas y manuales de diseño.

El reglamento se redacta para que cubra todos los tipos usuales de edificaciones, grandes y pequeñas. Puede ser deseable utilizar requisitos más estrictos que los contenidos en el reglamento para construcciones poco comunes. El reglamento y su comentario no pueden reemplazar los conocimientos de ingeniería, la experiencia, ni el buen criterio.

Un reglamento para edificaciones prescribe únicamente los requisitos mínimos para proteger la salud y la seguridad del público. El reglamento se sustenta sobre este principio. Para cualquier estructura, el propietario o el diseñador estructural pueden exigir materiales o procedimientos constructivos mejores que los mínimos requeridos por el reglamento para proteger al público en general; no obstante, no se permiten inferiores.

El comentario llama la atención acerca de documentos diferentes los cuales sugieren procedimientos para cumplir los requisitos y objetivos del reglamento. No obstante, estos documentos y el comentario no hacen parte del reglamento.

El reglamento no tiene ninguna fuerza legal a menos que sea adoptado por la autoridad competente que regula y vigila el diseño y construcción de edificaciones. Donde no se haya adoptado, el reglamento sirve como una referencia de buena práctica a pesar de que no tenga ninguna fuerza jurídica.

El reglamento establece una base por medio de la cual se pueden formular los procedimientos para que la autoridad competente apruebe los diseños y la construcción. El reglamento y su comentario no se redactaron para ser utilizados en la solución de diferencias entre propietario, ingeniero, arquitecto, contratista, o sus delegados, subcontratistas, suministradores de materiales, o laboratorios de ensayos de materiales. Por esta razón, el reglamento no puede definir las responsabilidades contractuales de todas las partes que intervienen en un proyecto de construcción. En las especificaciones del proyecto deben evitarse las referencias generales que exigen cumplimiento del reglamento dado que el contratista de construcción generalmente no está en la posición de aceptar responsabilidad sobre detalles de diseño o requisitos constructivos que dependen en un conocimiento íntimo del proceso de diseño. En los contratos de construcción de proyecto diseño-construcción, sin embargo, comúnmente se combinan las responsabilidades del diseño y la construcción. En general, los planos, especificaciones, y documentos contractuales deben contener, por si solos, todas las indicaciones necesarias para asegurar que el reglamento se cumpla. Esto se puede lograr, parcialmente, haciendo referencia en las especificaciones a requisitos específicos del reglamento. Otras publicaciones, tales como “Specifications for Structural Concrete (ACI 301)”, se redactan específicamente para ser incluidas en los documentos contractuales de construcción.

Es deseable que todos los participantes en un proyecto que deban realizar trabajos regulados por el reglamento definan programas de ensayos y certificación. Existen para este propósito los programas de certificación de plantas del Precast/Prestressed Concrete Institute y la National Ready Mixed Concrete Association, los programas de certificación de personal del American Concrete Institute y el Post-Tensioning Institute, y el programa de certificación voluntaria para plantas que aplican recubrimientos epóxicos adheridos por fusión del Concrete Reinforcing Steel Institute. Además, la norma “Standard Specification for Agencies Engaged in the Testing and/or Inspection of Materials Used in Construction” (ASTM E 329-03) especifica requisitos de desempeño para organizaciones que realicen supervisión y ensayos en las construcciones.

* La historia del reglamento del ACI se presenta en Kerekes, Frank, and Reid, Harold B., Jr., “Fifty Years of Development in Building Code Requirements for Reinforced Concrete,” ACI JOURNAL, Proceedings V. 50, No. 6, Feb. 1954, p. 441. La filosofía de reglamento se discute en: Siess, Chester P.,

“Research, Building Codes, and Engineering Practice,” ACI JOURNAL, Proceedings V. 56, No. 5, May 1960, p. 1105.

Se puede obtener material descriptivo acerca de la aplicación del reglamento en los siguientes documentos, los cuales pueden adquirirse en la organización que los publica.

Guías y ayudas de diseño:

“ACI Design Handbook,” ACI Committee 340, Publication SP-17(97), American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1997, 482 pp. (Contiene tablas y gráficos para el diseño por el método de diseño por resistencia de columnas cargadas excéntricamente. Incluye ayudas de diseño para ser utilizado en el diseño por parte de ingenieros de sistemas de losas en dos direcciones de concreto reforzado. Contiene ayudas de diseño para la selección del espesor de losa y del refuerzo requerido para controlar las deflexiones y asegurar una resistencia a la flexión y al cortante adecuada.)

“ACI Detailing Manual—2004,” ACI Committee 315, Publication SP-66(04), American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 2004, 212 pp. (Incluye la norma ACI 315-99 y el informe ACI 315R-04. Presenta métodos recomendados y las normas para preparar planos, detalles típicos, y planos de colocación del acero de refuerzo en estructuras de concreto reforzado. Los diferentes capítulos definen las responsabilidades tanto del ingeniero como de quien dobla y figura el acero de refuerzo.)

“Guide to Durable Concrete (ACI 201.2R-92),” ACI Committee 201, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1992, 41 pp. (Describe las clases de deterioro del concreto. Contiene una descripción de los mecanismos asociados con el deterioro y los requisitos recomendados para los componentes del concreto, consideraciones acerca de la calidad de las mezclas de concreto, procedimientos constructivos, y la influencia de la exposición al medio ambiente. La sección R4.4.1 discute la diferencia en los límites requeridos para el ión cloruro en ACI 201.2R-92 y el reglamento.)

“Guide for the Design of Durable Parking Structures (362.1R-97 (reapproved 2002)),” ACI Committee 362, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1997, 40 pp. (Resume información práctica para el diseño por durabilidad de estructuras de estacionamiento de vehículos. Incluye, además, información sobre asuntos relacionados con la construcción y el mantenimiento de estructuras de estacionamiento.)

“CRSI Handbook,” Concrete Reinforcing Steel Institute, Schaumburg, Ill., 9th Edition, 2002, 648 pp. (Contiene diseños tabulados de elementos estructurales y sistemas de losas. Incluye ejemplos de diseño que muestran las bases y la forma de utilizar la información tabulada. Contiene diseños tabulados de vigas; columnas de sección cuadradas, circular y rectangular; losas en una dirección; y sistemas de viguetas en una dirección. Las tablas de diseño de losas en dos direcciones incluyen placas planas, losas planas, y sistemas reticulares. Los capítulos para cimentaciones contienen tablas de diseño para zapatas cuadradas, zapatas con pilotes, pilas preexcavadas (caissons), y muros de contención en voladizo. Se presentan otras ayudas para control de la figuración, el desarrollo del refuerzo y los empalmes por traslapo.)

“Reinforcement Anchorages and Splices,” Concrete Reinforcing Steel Institute, Schaumburg, Ill., 4th Edition, 1997, 100 pp. (Describe la práctica aceptada para empalmar el refuerzo. Incluye el uso de empalmes por traslapo, empalmes mecánicos, y empalmes soldados. La información de diseño cubre el desarrollo y los empalmes del refuerzo.)

“Structural Welded Wire Reinforcement Manual of Standard Practice,” Wire Reinforcement Institute, Hartford, CT, 6th Edition, Apr. 2001, 38 pp. (Describe los refuerzos electrosoldados de alambre, la nomenclatura empleada, incluyendo tablas de diámetros de los alambres y peso de las mallas. Enumera las normas, las propiedades y las limitaciones de fabricación. Incluye los últimos requisitos del reglamento que afectan las mallas electro soldadas. Contiene tablas de longitud de desarrollo y empalmes por traslapo. (Contiene tanto unidades inglesas y métricas.)

“Structural Welded Wire Reinforcement Detailing Manual,” Wire Reinforcement Institute, Hartford, CT, 1994, 252 pp. (Actualizado con información técnica vigente en páginas sueltas adicionales.) Este manual, además de incluir los requisitos de ACI 318 y ayudas de diseño, contiene además: instrucciones detalladas para el uso de malla electrosoldada en losas en una y dos direcciones; componentes preesforzados y/o prefabricados; columnas y vigas; muros vaciados en sitio; y losas sobre el terreno. Además, contiene tablas que comparan áreas de refuerzo y espaciamiento de alambre de alta resistencia soldado con acero de refuerzo convencional.

“Strength Design of Reinforced Concrete Columns,” Portland Cement Association, Skokie, Ill., 1978, 48 pp. (Incluye tablas de diseño de resistencia de columnas en términos de carga axial en kips [miles de libras] vs. momentos en ft-kip [píe-miles de libras] para resistencias del concreto de 5000 psi y acero de refuerzo Grado 60. Incluye ejemplos de diseño. Debe notarse que las tablas de diseño de la PCA no incluyen el factor de reducción de resistencia ϕ en los valores tabulados. Debe emplearse M_u/ϕ y P_u/ϕ cuando se use este manual.)

“PCI Design Handbook—Precast and Prestressed Concrete,” Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, 5th Edition, 1999, 630 pp. (Incluye tablas de productos prefabricados y preesforzados industriales comunes, procedimientos de diseño y análisis para estos productos y para estructuras compuestas por ellos. Contiene ayudas de diseño y ejemplos.)

“Design and Typical Details of Connections for Precast and Prestressed Concrete,” Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, 2nd Edition, 1988, 270 pp. (Actualiza información disponible para el diseño de conexiones tanto para productos estructurales como arquitectónicos, y presenta una amplia gama de detalles típicos. Contiene ayudas de diseño y ejemplos.)

“PTI Post-Tensioning Manual,” Post-Tensioning Institute, Phoenix, 5th Edition, 1990, 406 pp. (Incluye un amplio cubrimiento de sistemas de postensado, especificaciones, ayudas de diseño de detalles constructivos.)

PARTE 1 – GENERALIDADES

CAPÍTULO 1 — REQUISITOS GENERALES 318-9

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1.1 — Alcance | 1.3 — Inspección |
| 1.2 — Planos y especificaciones | 1.4 — Aprobación de sistemas especiales de diseño o de construcción |

CAPÍTULO 2 — NOTACIÓN Y DEFINICIONES 318-21

- | | |
|-------------------------------|--------------------|
| 2.1 — Notación del Reglamento | 2.2 — Definiciones |
|-------------------------------|--------------------|

PARTE 2 – NORMAS PARA ENSAYOS Y MATERIALES

CAPÍTULO 3 — MATERIALES 318-43

- | | |
|-----------------------------|------------------------------------|
| 3.1 — Ensayos de materiales | 3.5 — Acero de refuerzo |
| 3.2 — Cementos | 3.6 — Aditivos |
| 3.3 — Agregados | 3.7 — Almacenamiento de materiales |
| 3.4 — Agua | 3.8 — Normas citadas |

PARTE 3 – REQUISITOS DE CONSTRUCCIÓN

CAPÍTULO 4 — REQUISITOS DE DURABILIDAD 318-55

- | | |
|---|---|
| 4.1 — Relación agua-material cementante | 4.3 — Exposición a sulfatos |
| 4.2 — Exposición a congelamiento y deshielo | 4.4 — Protección del refuerzo contra la corrosión |

CAPÍTULO 5 — CALIDAD DEL CONCRETO, MEZCLADO Y COLOCACIÓN 318-61

- | | |
|--|--|
| 5.1 — Generalidades | 5.6 — Evaluación y aceptación del concreto |
| 5.2 — Dosificación del concreto | 5.7 — Preparación del equipo y del lugar de colocación |
| 5.3 — Dosificación basada en la experiencia en obra y/o en mezclas de prueba | 5.8 — Mezclado |
| 5.4 — Dosificación cuando no se cuenta con experiencia en obra o mezclas de prueba | 5.9 — Transporte |
| 5.5 — Reducción de la resistencia promedio a la compresión | 5.10 — Colocación |
| | 5.11 — Curado |
| | 5.12 — Requisitos para clima frío |
| | 5.13 — Requisitos para clima cálido |

CAPÍTULO 6 — CIMBRAS, TUBERÍAS EMBEBIDAS Y JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN 318-79

- | | |
|--|--|
| 6.1 — Diseño de cimbras | 6.3 — Tuberías y ductos embebidos en el concreto |
| 6.2 — Descimbrado, puntales y reapuntalamiento | 6.4 — Juntas de construcción |

- | | |
|---|---|
| 7.1 — Ganchos estándar | 7.8 — Detalles especiales del refuerzo para columnas |
| 7.2 — Diámetros mínimos de doblado | 7.9 — Conexiones |
| 7.3 — Doblado | 7.10 — Refuerzo transversal para elementos a compresión |
| 7.4 — Condiciones de la superficie del refuerzo | 7.11 — Refuerzo transversal para elementos a flexión |
| 7.5 — Colocación del refuerzo | 7.12 — Refuerzo de retracción y temperatura |
| 7.6 — Límites del espaciamiento del refuerzo | 7.13 — Requisitos para la integridad estructural |
| 7.7 — Protección de concreto para el refuerzo | |

PARTE 4 – REQUISITOS GENERALES

CAPÍTULO 8 — ANÁLISIS Y DISEÑO — CONSIDERACIONES GENERALES 318-101

- | | |
|---|------------------------------------|
| 8.1 — Métodos de diseño | 8.7 — Longitud del vano |
| 8.2 — Cargas | 8.8 — Columnas |
| 8.3 — Métodos de análisis | 8.9 — Disposición de la carga viva |
| 8.4 — Redistribución de momentos negativos en elementos continuos sometidos a flexión | 8.10 — Sistemas de vigas T |
| 8.5 — Módulo de elasticidad | 8.11 — Viguetas en losas nervadas |
| 8.6 — Rigidez | 8.12 — Acabado de piso separado |

CAPÍTULO 9 — REQUISITOS DE RESISTENCIA Y FUNCIONAMIENTO 318-111

- | | |
|-----------------------------|--|
| 9.1 — Generalidades | 9.4 — Resistencia de diseño para el refuerzo |
| 9.2 — Resistencia requerida | 9.5 — Control de deflexiones |
| 9.3 — Resistencia de diseño | |

CAPÍTULO 10 — FLEXIÓN Y CARGAS AXIALES..... 318-125

- | | |
|---|--|
| 10.1 — Alcance | 10.10 — Efectos de esbeltez en elementos a compresión |
| 10.2 — Suposiciones de diseño | 10.11 — Momentos magnificados — Generalidades |
| 10.3 — Principios y requisitos generales | 10.12 — Momentos magnificados — Estructuras sin desplazamiento lateral |
| 10.4 — Distancia entre los apoyos laterales de elementos sometidos a flexión | 10.13 — Momentos magnificados — Estructuras con desplazamiento lateral |
| 10.5 — Refuerzo mínimo en elementos sometidos a flexión | 10.14 — Elementos cargados axialmente que soportan sistemas de losas |
| 10.6 — Distribución del refuerzo de flexión en vigas y losas en una dirección | 10.15 — Transmisión de cargas de las columnas a través de losas de entrepiso |
| 10.7 — Vigas de gran altura | 10.16 — Elementos compuestos sometidos a compresión |
| 10.8 — Dimensiones de diseño para elementos a compresión | 10.17 — Resistencia al aplastamiento |
| 10.9 — Límites para el refuerzo de elementos a compresión | |

CAPÍTULO 11 — CORTANTE Y TORSIÓN 318-155

- | | |
|--|--|
| 11.1 — Resistencia al cortante | 11.6 — Diseño para torsión |
| 11.2 — Concreto liviano | 11.7 — Cortante por fricción |
| 11.3 — Resistencia al cortante proporcionada por el concreto en elementos no preesforzados | 11.8 — Vigas altas |
| 11.4 — Resistencia al cortante proporcionada por el concreto en elementos preesforzados | 11.9 — Disposiciones especiales para ménsulas y cartelas |
| 11.5 — Resistencia al cortante proporcionada por el refuerzo de cortante | 11.10 — Disposiciones especiales para muros |
| | 11.11 — Transmisión de momentos a las columnas |
| | 11.12 — Disposiciones especiales para losas y zapatas |

12.1 — Desarrollo del refuerzo — Generalidades	12.11 — Desarrollo del refuerzo para momento positivo
12.2 — Desarrollo de barras corrugadas y de alambres corrugados a tracción	12.12 — Desarrollo del refuerzo para momento negativo
12.3 — Desarrollo de barras corrugadas y alambres corrugados a compresión	12.13 — Desarrollo del refuerzo del alma
12.4 — Desarrollo de paquetes de barras	12.14 — Empalmes del refuerzo — Generalidades
12.5 — Desarrollo de ganchos estándar en tracción	12.15 — Empalmes de alambres y barras corrugadas a tracción
12.6 — Anclaje mecánico	12.16 — Empalmes de barras corrugadas a compresión
12.7 — Desarrollo de refuerzo electrosoldado de alambre corrugado a tracción	12.17 — Requisitos especiales de empalmes para columnas
12.8 — Desarrollo de refuerzo electrosoldado de alambre liso a tracción	12.18 — Empalmes de refuerzo electrosoldado de alambre corrugado a tracción
12.9 — Desarrollo de torones de preesforzado	12.19 — Empalmes de refuerzo electrosoldado de alambre liso a tracción
12.10 — Desarrollo del refuerzo de flexión — Generalidades	

PARTE 5 – SISTEMAS O ELEMENTOS ESTRUCTURALES

CAPÍTULO 13 — SISTEMAS DE LOSA EN DOS DIRECCIONES 318-231

13.1 — Alcance	13.5 — Procedimientos de diseño
13.2 — Definiciones	13.6 — Método de diseño directo
13.3 — Refuerzo de la losa	13.7 — Método del pórtico equivalente
13.4 — Aberturas en los sistemas de losas	

CAPÍTULO 14 — MUROS 318-251

14.1 — Alcance	14.5 — Método empírico de diseño
14.2 — Generalidades	14.6 — Muros no portantes
14.3 — Refuerzo mínimo	14.7 — Muros empleados como vigas de cimentación
14.4 — Muros diseñados como elementos en compresión	14.8 — Diseño alternativo para muros esbeltos

CAPÍTULO 15 — ZAPATAS 318-257

15.1 — Alcance	15.6 — Desarrollo del refuerzo en zapatas
15.2 — Cargas y reacciones	15.7 — Altura mínima de las zapatas
15.3 — Zapatas que soportan columnas o pedestales de forma circular o de polígono regular	15.8 — Transmisión de fuerzas en la base de columnas, muros o pedestales reforzados
15.4 — Momentos en zapatas	15.9 — Zapatas inclinadas o escalonadas
15.5 — Cortante en zapatas	15.10 — Zapatas combinadas y losas de cimentación

CAPÍTULO 16 — CONCRETO PREFABRICADO 318-265

16.1 — Alcance	16.7 — Elementos embebidos después de la colocación del concreto
16.2 — Generalidades	16.8 — Marcas e identificación
16.3 — Distribución de fuerzas entre elementos	16.9 — Manejo
16.4 — Diseño de los elementos	16.10 — Evaluación de la resistencia de estructuras prefabricadas
16.5 — Integridad estructural	
16.6 — Diseño de las conexiones y apoyos	

- | | |
|-----------------------|---|
| 17.1 — Alcance | 17.4 — Resistencia al cortante vertical |
| 17.2 — Generalidades | 17.5 — Resistencia al cortante horizontal |
| 17.3 — Apuntalamiento | 17.6 — Estribos para cortante horizontal |

CAPÍTULO 18 — CONCRETO PREENFORZADO 318-277

- | | |
|---|--|
| 18.1 — Alcance | 18.12 — Sistemas de losas |
| 18.2 — Generalidades | 18.13 — Zona de anclaje de tendones postensados |
| 18.3 — Suposiciones de diseño | 18.14 — Diseño de las zonas de anclaje para tendones de un alambre o barras de 16 mm de diámetro |
| 18.4 — Requisitos de funcionamiento — Elementos sometidos a flexión | 18.15 — Diseño de las zonas de anclaje para tendones de varios torones |
| 18.5 — Esfuerzos admisibles en el acero de preesforzado | 18.16 — Protección contra la corrosión de tendones de preesforzado no adheridos |
| 18.6 — Pérdidas de preesfuerzo | 18.17 — Ductos para postensado |
| 18.7 — Resistencia a flexión | 18.18 — Mortero de inyección para tendones adheridos |
| 18.8 — Límites del refuerzo en elementos sometidos a flexión | 18.19 — Protección del acero de preesforzado |
| 18.9 — Refuerzo mínimo adherido | 18.20 — Aplicación y medición de la fuerza de preesfuerzo |
| 18.10 — Estructuras estáticamente indeterminadas | 18.21 — Anclajes y conectores para postensado |
| 18.11 — Elementos a compresión — Carga axial y flexión combinadas | 18.22 — Postensado externo |

CAPÍTULO 19 — CÁSCARAS Y LOSAS PLEGADAS 318-307

- | | |
|--|-------------------------------|
| 19.1 — Alcance y definiciones | 19.4 — Refuerzo de la cáscara |
| 19.2 — Análisis y diseño | 19.5 — Construcción |
| 19.3 — Resistencia de diseño de los materiales | |

PARTE 6 – CONSIDERACIONES ESPECIALES

CAPÍTULO 20 — EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DE ESTRUCTURAS EXISTENTES 318-315

- | | |
|---|---|
| 20.1 — Evaluación de la resistencia — Generalidades | 20.5 — Criterio de aceptación |
| 20.2 — Determinación de las dimensiones y propiedades de los materiales | 20.6 — Disposiciones para la aceptación de cargas de servicio menores |
| 20.3 — Procedimiento para la prueba de carga | 20.7 — Seguridad |
| 20.4 — Criterio de carga | |

CAPÍTULO 21 — DISPOSICIONES ESPECIALES PARA EL DISEÑO SÍSMICO..... 318-321

- | | |
|---|---|
| 21.1 — Definiciones | 21.8 — Muros estructurales especiales construidos usando concreto prefabricado |
| 21.2 — Requisitos generales | 21.9 — Diafragmas y cerchas estructurales |
| 21.3 — Elementos sometidos a flexión en pórticos especiales resistentes a momento | 21.10 — Cimentaciones |
| 21.4 — Elementos sometidos a flexión y carga axial pertenecientes a pórticos especiales resistentes a momento | 21.11 — Elementos no designados como parte del sistema resistente a fuerzas laterales |
| 21.5 — Nudos en pórticos especiales resistentes a momento | 21.12 — Requisitos para pórticos intermedios resistentes a momento |
| 21.6 — Pórticos especiales resistentes a momento construidos con concreto prefabricado | 21.13 — Muros estructurales intermedios de concreto prefabricado |
| 21.7 — Muros estructurales especiales de concreto reforzado y vigas de acople | |

CAPÍTULO 22 — CONCRETO ESTRUCTURAL SIMPLE 318-363

22.1 — Alcance	22.7 — Zapatas
22.2 — Limitaciones	22.8 — Pedestales
22.3 — Juntas	22.9 — Elementos prefabricados
22.4 — Método de diseño	22.10 — Concreto simple en estructuras resistentes a sismos
22.5 — Diseño por resistencia	
22.6 — Muros	

APÉNDICES

APÉNDICE A — MODELOS PUNTAL-TENSOR 318-373

A.1 — Definiciones	A.4 — Resistencia de los tensores
A.2 — Procedimiento de diseño del modelo puntal-tensor	A.5 — Resistencia de las zonas nodales
A.3 — Resistencia de los puntales	

APÉNDICE B — DISPOSICIONES ALTERNATIVAS DE DISEÑO PARA ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO Y PREEFORZADO SOMETIDOS A FLEXIÓN Y A COMPRESIÓN 318-387

B.1 — Alcance	B.18.1 — Alcance
B.8.4 — Redistribución de momentos negativos en elementos continuos no preeforzados en flexión	B.18.8 — Límites del refuerzo en elementos sometidos a flexión

APÉNDICE C — FACTORES DE CARGA Y REDUCCIÓN DE LA RESISTENCIA ALTERNATIVOS 318-395

C.1 — Generalidades	C.3 — Resistencia de diseño
C.2 — Resistencia requerida	

APÉNDICE D — ANCLAJE AL CONCRETO 318-401

D.1 — Definiciones	D.6 — Requisitos de diseño para solicitaciones de cortante
D.2 — Alcance	D.7 — Interacción de las fuerzas de tracción y cortante
D.3 — Requisitos generales	D.8 — Distancias al borde, espaciamientos y espesores requeridos para evitar las fallas por hendimiento
D.4 — Requisitos generales para la resistencia de los anclajes	D.9 — Instalación de los anclajes
D.5 — Requisitos de diseño para cargas de tracción	

APÉNDICE E — INFORMACIÓN ACERCA DEL ACERO DE REFUERZO 318-429

APÉNDICE F — EQUIVALENCIA ENTRE EL SISTEMA SI, EL SISTEMA MKS, Y EL SISTEMA INGLÉS DE LAS ECUACIONES NO HOMOGÉNEAS DEL REGLAMENTO 318-431

REFERENCIAS DEL COMENTARIO 318-437

GLOSARIO INGLÉS-ESPAÑOL 318-457

GLOSARIO ESPAÑOL-INGLÉS 318-471

ÍNDICE 318-485

CAPITULO 12 — LONGITUDES DE DESARROLLO Y EMPALMES DEL REFUERZO

REGLAMENTO

12.1 — Desarrollo del refuerzo — Generalidades

12.1.1 — La tracción o comprensión calculada en el refuerzo de cada sección de elementos de concreto estructural debe ser desarrollada hacia cada lado de dicha sección mediante una longitud embebida en el concreto, gancho o dispositivo mecánico, o una combinación de ellos. Los ganchos no se deben emplear para desarrollar barras en compresión.

12.1.2 — Los valores de $\sqrt{f'_c}$ usados en este capítulo no deben exceder de 8.3 MPa.

COMENTARIO

R12.1 — Desarrollo del refuerzo — Generalidades

El concepto de longitud de desarrollo para el anclaje del refuerzo se presentó por primera vez en la edición 1971 del ACI 318, con objeto de reemplazar la duplicidad de requisitos para adherencia por flexión y adherencia por anclaje de las anteriores ediciones. Ya no es necesario considerar el concepto de adherencia por flexión, que hacía hincapié en el cálculo del máximo esfuerzo nominal de adherencia. La consideración de una resistencia promedio a la adherencia sobre la longitud total de desarrollo del refuerzo es más significativa, debido, en parte, a que todos los ensayos de adherencia consideran una resistencia promedio a la adherencia sobre una longitud embebida del refuerzo y, en parte, porque existen variaciones extremas no calculadas en los esfuerzos locales de adherencia cerca de las grietas de flexión.^{12.1}

El concepto de longitud de desarrollo se basa en el esfuerzo de adherencia obtenible sobre la longitud embebida del refuerzo. Las longitudes de desarrollo especificadas se requieren, en gran medida, por la tendencia de las barras sometidas a esfuerzos altos a fisurar el concreto que retiene la barra cuando las secciones de concreto son relativamente delgadas. Una barra individual embebida en una masa de concreto no necesita una longitud de desarrollo tan grande; aunque una fila de barras, aun en concreto masivo, puede crear un plano débil con agrietamiento longitudinal a lo largo del plano de dichas barras.

En la práctica, el concepto de longitud de desarrollo requiere longitudes o extensiones mínimas del refuerzo más allá de todos los puntos de esfuerzo máximo en el refuerzo. Tales esfuerzos máximos generalmente ocurren en los puntos especificados en la sección 12.10.2.

El factor de reducción de resistencia ϕ no se usa en las ecuaciones de las longitudes de desarrollo y de empalme por traslapo. Las expresiones para determinar las longitudes de desarrollo y de empalme por traslapo incluyen una tolerancia por deficiencia de la resistencia.

Las unidades de medida se indican en la Notación para ayudar al usuario y no es la intención excluir el correcto uso de otras unidades para los mismos símbolos.

Desde el punto de esfuerzo máximo en el refuerzo, se necesita cierta longitud o anclaje de esta a través del cual se desarrolle el esfuerzo. Esta longitud de desarrollo o anclaje se necesita en ambos lados de los puntos de esfuerzo máximo. Con frecuencia, el refuerzo continúa a lo largo de una distancia considerable en un lado del punto de esfuerzos críticos, de modo que el cálculo requiere tratar sólo el otro lado, por

12.2 — Desarrollo de barras corrugadas y de alambres corrugados a tracción

12.2.1 — La longitud de desarrollo para barras corrugadas y alambre corrugado en tracción, ℓ_d , debe determinarse a partir de 12.2.2 ó 12.2.3, pero no debe ser menor que 300 mm.

12.2.2 — Para barras corrugadas o alambres corrugados, ℓ_d debe ser:

	Alambres corrugados o barras No. 19 y menores	Barras No. 22 y mayores
Espaciamiento libre entre barras o alambres que están siendo empalmados o desarrolladas no menor que d_b , recubrimiento libre no menor que d_b , y estribos a lo largo de ℓ_d no menos que el mínimo del reglamento o espaciamiento libre entre barras o alambres que están siendo desarrolladas o empalmadas no menor a $2d_b$ y recubrimiento libre no menor a d_b	$\left(\frac{12f_y \psi_t \psi_e \lambda}{25\sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{3f_y \psi_t \psi_e \lambda}{5\sqrt{f'_c}} \right) d_b$
Otros casos	$\left(\frac{18f_y \psi_t \psi_e \lambda}{25\sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{9f_y \psi_t \psi_e \lambda}{10\sqrt{f'_c}} \right) d_b$

12.2.3 — Para barras corrugadas y alambres corrugados ℓ_d debe ser:

$$\ell_d = \left(\frac{9 f_y \psi_t \psi_e \psi_s \lambda}{10 \sqrt{f'_c} \left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b \quad (12-1)$$

en donde el término $(c_b + K_{tr}/d_b)$ no debe tomarse mayor a 2.5 y

$$K_{tr} = \frac{A_{tr} f_{yt}}{10sn} \quad (12-2)$$

en donde n es el número de barras o alambres que se empalman o desarrollan dentro del plano de hendimiento. Se puede usar $K_{tr} = 0$ como una simplificación de diseño aún si hay refuerzo transversal presente.

ejemplo, el refuerzo por momento negativo continúa a través de un apoyo hasta la mitad del vano siguiente.

R12.2 — Desarrollo de barras corrugadas y alambres corrugados a tracción

La ecuación para determinar la longitud de desarrollo (ecuación (12-1)) se encuentra en 12.2.3. La ecuación se basa en la expresión para la longitud de desarrollo aprobada por el Comité 408.^{12.2, 12.3} En la ecuación (12-1), c_b es un factor que representa el menor valor entre el recubrimiento lateral, el recubrimiento de la barra o alambre (en ambos casos medido hasta el centro de la barra o alambre) y la mitad del espaciamiento medido entre los centros de las barras o alambres. K_{tr} es un factor que representa la contribución del refuerzo de confinamiento que atraviesa los planos potenciales de hendimiento. ψ_t es el factor tradicional de ubicación del refuerzo, que refleja los efectos adversos de la posición de las barras de la parte superior de la sección con respecto a la altura de concreto fresco colocado debajo de ellas. ψ_e es un factor de revestimiento, que refleja los efectos del revestimiento epóxico. Existe un límite para el producto $\psi_t \psi_e$. ψ_s es un factor por tamaño del refuerzo, que refleja el comportamiento más favorable del refuerzo de menor diámetro. λ es un factor que refleja la menor resistencia a la tracción del concreto liviano y la reducción resultante en la resistencia a hendimiento, lo cual incrementa la longitud de desarrollo en el concreto liviano. El término $(c_b + K_{tr})/d_b$ se limita a 2,5. Cuando $(c_b + K_{tr})/d_b$ es menor de 2,5, pueden ocurrir fallas por hendimiento. Para valores mayores que 2,5, se espera una falla de extracción por deslizamiento y un incremento en el recubrimiento o refuerzo transversal probablemente no aumenta la capacidad de anclaje.

La ecuación (12-1) permite que el diseñador pueda apreciar el efecto de todas las variables que controlan la longitud de desarrollo. Se permite que el diseñador elimine términos cuando dicha omisión produzca longitudes de desarrollo mayores y, por lo tanto, más conservadoras.

Las disposiciones de 12.2.2 y 12.2.3 dan dos enfoques. El usuario puede calcular el ℓ_d a partir del valor real de $(c_b + K_{tr})/d_b$ (12.2.3) o bien, calcular el ℓ_d usando 12.2.3, que a su vez se basa en dos valores preseleccionados de $(c_b + K_{tr})/d_b$.

La sección 12.2.2 reconoce que muchos casos prácticos corrientes en la construcción usan un espaciamiento y recubrimiento, además de refuerzo de confinamiento como estribos, que conduce a un valor de $(c_b + K_{tr})/d_b$ de al menos 1.5. Ejemplo de esto puede ser un recubrimiento efectivo mínimo de d_b junto a un espaciamiento libre de $2d_b$ o una combinación de un espaciamiento libre de d_b y estribos mínimos. Para estos casos de ocurrencia frecuente, la longitud de desarrollo para barras de gran diámetro puede

tomarse como $\ell_d = \left[\frac{3f_y \psi_t \psi_e \lambda}{5\sqrt{f'_c}} \right] d_b$. En el desarrollo del ACI 318-95, la comparación con las disposiciones pasadas y la verificación con un banco de datos experimentales que mantiene el Comité 408^{12.2} indicaron que para barras corrugadas No. 19 y menores, así como también para alambres corrugados, las longitudes de desarrollo podían reducirse en un 20 por ciento usando $\psi_s = 0.8$. Esto se convirtió en la base para la columna intermedia de la tabla en 12.2.2. Con menos recubrimiento y en ausencia de estribos mínimos, los límites del espaciamiento libre mínimo de 7.6.1 y los requisitos de recubrimiento mínimo de concreto de 7.7 conducen a valores mínimos del recubrimiento c_b iguales a d_b . Así, para “otros casos”, los valores se calculan usando $(c_b + K_{tr})/d_b = 1.0$ en la ecuación (12-5).

El usuario puede construir fácilmente expresiones simples y útiles. Por ejemplo, en todas las estructuras con concreto de peso normal ($\lambda = 1.0$), refuerzo sin revestimiento ($\psi_e = 1.0$), barras No. 22 o mayores localizadas en la parte inferior de la sección ($\psi_t = 1.0$) con $f'_c = 30$ MPa y acero Grado 420, las ecuaciones se reducen a:

$$\ell_d = \frac{3(420)(1.0)(1.0)(1.0)}{5\sqrt{30}} d_b = 46d_b$$

$$\ell_d = \frac{9(420)(1.0)(1.0)(1.0)}{10\sqrt{30}} d_b = 69d_b$$

Así, en la medida que se disponga un recubrimiento mínimo d_b junto con un espaciamiento efectivo mínimo $2d_b$, o un recubrimiento libre de d_b y un espaciamiento efectivo d_b junto con estribos mínimos, el diseñador sabe que $\ell_d = 46d_b$. El castigo por usar un espaciamiento de barras menor o proporcionar un recubrimiento menor es el requisito que $\ell_d = 69d_b$.

Existen muchas combinaciones prácticas de recubrimiento lateral, recubrimiento efectivo y refuerzo de confinamiento que pueden usarse en 12.2.3 para producir longitudes de desarrollo significativamente más cortas que las permitidas por 12.2.2. Por ejemplo: barras o alambres con un recubrimiento efectivo mínimo no menor a $2d_b$ y espaciamiento libre no menor a $4d_b$ y sin refuerzo de confinamiento tendrían un valor de $(c_b + K_{tr})/d_b$ igual a 2.5 y por lo tanto requerirían una longitud de desarrollo de sólo $28d_b$ para el ejemplo anterior.

12.2.4— Los factores a usar en las expresiones para la longitud de desarrollo de barras y alambres corrugados en tracción en 12.2 son los siguientes:

R12.2.4 — El factor por ubicación del refuerzo, ψ_t , toma en cuenta la posición del refuerzo en el concreto fresco. El factor fue reducido a 1.3 en la edición de 1989 del reglamento, para reflejar investigaciones.^{12.4,12.5}

(a) Cuando para el refuerzo horizontal se colocan más 300 mm de concreto fresco debajo de la longitud de desarrollo o un empalme, $\psi_t = 1.3$. Otras situaciones $\psi_t = 1.0$.

(b) Barras o alambres con recubrimiento epóxico con menos de $3d_b$ de recubrimiento, o separación libre menor de $6d_b$, $\psi_e = 1.5$. Para todas las otras barras o alambres con recubrimiento epóxico, $\psi_e = 1.2$. Refuerzo sin recubrimiento, $\psi_e = 1.0$.

No obstante, el producto $\psi_t\psi_e$ no necesita ser mayor de 1.7.

(c) Para barras No. 19 o menores y alambres corrugados, $\psi_s = 0.8$. Para barras No. 22 y mayores, $\psi_s = 1.0$.

(d) Donde se use concreto liviano, $\lambda = 1.3$. No obstante, cuando f_{ct} se especifica, λ puede tomarse como $0.56\sqrt{f'_c}/f_{ct}$ pero no menor que 1.0. Donde se utilice concreto de peso normal, $\lambda = 1.0$.

El factor λ para concreto con agregado liviano se hizo igual para todos los tipos de agregados en el reglamento de 1989. La investigación en barras ancladas con ganchos no apoyó las variaciones especificadas en las ediciones previas para “concreto liviano en todos sus componentes” y para “concreto liviano con arena de peso normal”, y se seleccionó un valor único de 1.3. La sección 12.2.4 permite usar un factor más bajo cuando se especifique la resistencia a hendimiento del concreto liviano. Véase 5.1.4.

Los estudios^{12.6-12.8} sobre el anclaje de barras revestidas con epóxico muestran que la resistencia a la adherencia se reduce debido a que el revestimiento evita la adherencia y fricción entre la barra y el concreto. El factor refleja el tipo de falla de anclaje probable de ocurrir. Cuando el recubrimiento o espaciamiento es pequeño, puede producirse una falla por hendimiento y el anclaje o la resistencia a la adherencia se reduce sustancialmente. Si el recubrimiento y espaciamiento entre barras es grande, se evita la falla por hendimiento y el efecto del revestimiento epóxico sobre la resistencia de anclaje no es tan grande. Los estudios^{12.9} han mostrado que a pesar de que el recubrimiento o espaciamiento puedan ser pequeños, la resistencia de anclaje puede incrementarse agregando acero transversal que cruce el plano de hendimiento, y restringiendo la grieta por hendimiento.

Debido a que la adherencia de barras revestidas con epóxico ya está reducida por la pérdida de adherencia entre la barra y el concreto, se establece un límite superior de 1.7 para el producto de los factores por refuerzo superior y por refuerzo revestido con epóxico.

Aunque no existen requisitos para el refuerzo transversal a lo largo de la longitud de desarrollo o de empalme por traslape en tracción, investigaciones recientes^{12.10,12.11} señalan que para concretos con muy alta resistencia a la compresión, se producen fallas frágiles de anclaje en las barras con refuerzo transversal inadecuado. En ensayos de barras No. 25 y No. 32 empalmadas por traslape en concreto con un f'_c de aproximadamente 105 MPa, el refuerzo transversal mejoró el comportamiento dúctil del anclaje.

12.2.5 — Refuerzo en exceso

Se permite reducir l_d cuando el refuerzo en un elemento sometido a flexión excede el requerido por análisis, excepto cuando se requiere específicamente anclaje o desarrollo para f_y o el refuerzo sea diseñado según 21.2.1.4 (A_s requerido) / (A_s suministrado).

R12.2.5 — Refuerzo en exceso

El factor de reducción basado en el área no se utiliza en aquellos casos donde se requiera desarrollo de anclaje para el total de f_y . Por ejemplo, el factor por refuerzo en exceso no se aplica para el desarrollo de refuerzo de momento positivo en los apoyos de acuerdo con 12.11.2, para el desarrollo del refuerzo por retracción y temperatura de acuerdo con 7.12.2.3, o para el desarrollo de refuerzo diseñado de acuerdo con 7.13 y 13.3.8.5.

12.3 — Desarrollo de barras corrugadas y alambres corrugados a compresión

12.3.1 — La longitud de desarrollo para barras corrugadas y alambre a compresión, l_{dc} , se debe calcular a partir de

R12.3 — Desarrollo de barras corrugadas y alambres corrugados a compresión

El efecto de debilitamiento que existe en las grietas de tracción por flexión no se da en las barras en compresión y, generalmente, el apoyo de los extremos de las barras en el

12.3.2 y de los factores de modificación de 12.3.3, pero l_{dc} no debe ser menor de 200 mm.

12.3.2 — Para las barras corrugadas y alambres corrugados, l_{dc} debe tomarse como el mayor entre $(0.24f_y / \sqrt{f'_c})d_b$ y $(0.043f_y)d_b$, donde la constante 0.043 tiene la unidad de mm^2/N

12.3.3 — Se permite multiplicar la longitud l_{dc} por los siguientes factores:

- a) El refuerzo excede lo requerido por el análisis $(A_s \text{ requerido}) / (A_s \text{ proporcionado})$
- b) El refuerzo está confinado por una espiral cuya barra tiene un diámetro no menor de 6 mm y no más que 100 mm de paso o dentro de estribos No. 13 de acuerdo con 7.10.5, y espaciadas a distancias no mayores que 100 mm medidos entre centros 0.75

12.4 — Desarrollo de paquetes de barras

12.4.1 — La longitud de desarrollo de cada barra individual dentro de un paquete de barras sometido a tracción o a compresión, debe ser aquella de la barra individual aumentada un 20% para un paquete de 3 barras y en un 33% para un paquete de 4 barras.

12.4.2 — Para determinar los factores de modificación en 12.2, un paquete de barras debe ser tratado como una sola barra de un diámetro derivado del área total equivalente.

12.5 — Desarrollo de ganchos estándar en tracción

12.5.1 — La longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción que terminen en un gancho estándar (véase 7.1), l_{dh} se debe calcular de 12.5.2 y los factores de modificación de 12.5.3, pero l_{hb} no debe ser menor que el menor de $8d_b$ y 150 mm.

concreto es benéfico. Por consiguiente, se han especificado longitudes de desarrollo menores para compresión que para tracción. La longitud de desarrollo puede reducirse 25%, cuando el refuerzo está confinado mediante espirales o estribos. También se permite una reducción en la longitud de desarrollo si se proporciona refuerzo en exceso.

R12.4 — Desarrollo de paquetes de barras

R12.4.1 — Cuando se forman paquetes de tres o cuatro barras, es necesario aumentar la longitud de desarrollo de las barras individuales. La extensión adicional es necesaria debido a que el agrupamiento hace más difícil generar resistencia de adherencia en el “núcleo” entre las barras.

El diseñador también debe tener en cuenta 7.6.6.4 respecto a los puntos de terminación de las barras individuales de un paquete, y 12.14.2.2 relativa a los empalmes de paquetes de barras. Los aumentos en la longitud de desarrollo de 12.4 se aplican en el cálculo de las longitudes de empalme por traslapo de paquetes de barras, de acuerdo con 12.14.2.2. El desarrollo de paquetes de barras por medio de un gancho estándar en el paquete no está cubierto por las disposiciones de 12.5.

R12.4.2 — Aunque los empalmes y las longitudes de desarrollo de barras en paquete se basan en el diámetro de las barras individuales incrementadas en 20 ó 33%, según sea apropiado, es necesario usar un diámetro equivalente del paquete completo, derivado del área total equivalente de barras, al determinar los factores en 12.2, los cuales consideran el recubrimiento y el espaciamiento libre, y representan la tendencia del concreto a partirse.

R12.5 — Desarrollo de ganchos estándar en tracción

Las disposiciones para anclaje de barras con ganchos fueron revisadas extensamente en el reglamento de 1983. El estudio de fallas de barras con gancho indica que la separación del recubrimiento de concreto en el plano del gancho es la causa principal de falla, y que la separación se origina en la parte interior del gancho, donde las concentraciones locales de

12.5.2 — Para las barras corrugadas, ℓ_{dh} debe ser $(0.24\psi_e\lambda f_y/\sqrt{f'_c})d_b$ con ψ_e igual a 1.2 para refuerzo con recubrimiento epóxico y, λ igual a 1.3 para concreto con agregados livianos. Para otros casos, ψ_e y λ deben tomarse igual a 1.0.

12.5.3 — La longitud ℓ_{dh} en 12.5.2 se puede multiplicar por los siguientes factores cuando corresponda:

a) Para barras No. 36 y ganchos menores, con recubrimiento lateral (normal al plano del gancho) no menor de 60 mm, y para ganchos de 90°, con recubrimiento en la extensión de la barra más allá del gancho no menor de 50 mm 0.7

b) Para ganchos de 90° de barras No. 36 y menores que se encuentran confinados por estribos perpendiculares a la barra que se está desarrollando, espaciados a lo largo de ℓ_{dh} a no más de $3d_b$; o bien, rodeado con estribos paralelos a la barra que se está desarrollando y espaciados a no más de $3d_b$ a lo largo de la longitud de desarrollo del extremo del gancho más el doblé 0.8

c) Para ganchos de 180° de barra No. 36 y menores que se encuentran confinados con estribos perpendiculares a la barra que se está desarrollando, espaciados a no más de $3d_b$ a lo largo de ℓ_{dh} 0.8

d) Cuando no se requiera específicamente anclaje o longitud de desarrollo para f_y , y se dispone de una cuantía de refuerzo mayor a la requerida por análisis $(A_s \text{ requerido}) / (A_s \text{ proporcionado})$.

En 12.5.3(b) y 12.5.3(c), d_b es el diámetro de la barra del gancho, y el primer estribo debe confinar la parte doblada del gancho, a una distancia menor a $2d_b$ del borde externo del gancho.

esfuerzo son muy elevadas. Por lo tanto, el desarrollo del gancho es función directa del diámetro de barras, d_b , que controla la magnitud de los esfuerzos de compresión sobre la cara interior del gancho. Sólo se consideran ganchos estándar (véase 7.1), y la influencia de radios mayores de doblado no puede ser evaluada mediante 12.5.

Las disposiciones de anclaje de barras con gancho proporcionan la longitud total embebida de la barra con gancho, como se muestra en la Fig. R12.5. La longitud de desarrollo ℓ_{dh} se mide desde la sección crítica hasta el extremo exterior (o borde) del gancho.

La longitud de desarrollo ℓ_{dh} de ganchos estándar dada en 12.5.2 se puede reducir por los factores de 12.5.3 según corresponda. Por ejemplo, si se cumplen las condiciones de 12.5.3(a) y (c), ambos factores se pueden aplicar.

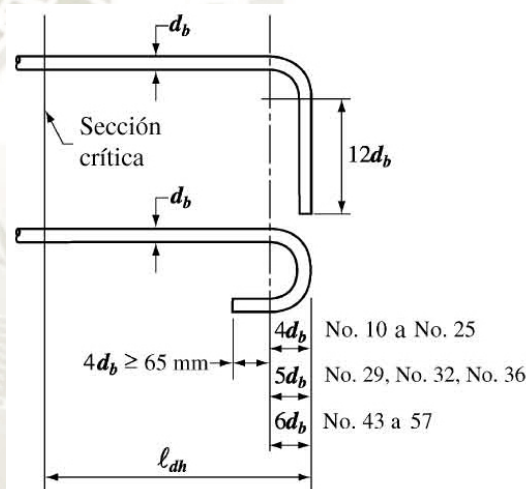


Fig. R12.5 — Detalles de barras dobladas para desarrollar el gancho estándar

Los factores de modificación debido al efecto de la resistencia a la fluencia de la barra, refuerzo en exceso, concreto liviano, así como factores que reflejan la resistencia al hendimiento proporcionado por el confinamiento con concreto o por estribos transversales se basan en recomendaciones de las referencias 12.2 y 12.3.

Ensayos^{12.12} indican que estribos poco espaciados colocados en las cercanías de la zona del doblé en barras con ganchos son muy efectivos para confinar la barra con gancho. En la práctica de la construcción esto no es siempre posible. Los casos en que se puede usar los factores de modificación dados en 12.5.3(b) se muestran en las Fig. R12.5.3(a) y (b). La Fig. R12.5.3(a) muestra la ubicación de estribos perpendiculares a la barra que se está desarrollando, espaciados a lo largo de la longitud de desarrollo, ℓ_{dh} , del gancho. La Fig. R12.5.3(b) muestra la ubicación de estribos paralelos a la barra que se está desarrollando, espaciados a lo largo del gancho y el doblé de la barra. Esta configuración es típica de una unión viga-columna.

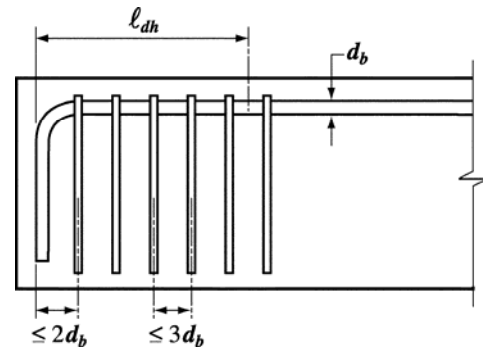


Fig. R12.5.3(a) — Estribos colocados perpendicularmente a la barra en desarrollo, espaciadas a lo largo de la longitud de desarrollo ℓ_{dh} .

El factor debido a refuerzo en exceso se aplica sólo cuando no se requiere específicamente de un anclaje o largo de desarrollo que permita alcanzar f_y . El factor λ para concreto liviano es una simplificación del procedimiento de 12.2.3.3 del ACI 318-83 en el cual el incremento varía de 18% a 33%, según la cantidad de agregado liviano utilizada. A diferencia de la longitud de desarrollo para una barra recta, no se hace distinción alguna entre las barras de la parte superior y las otras barras; en todo caso, esta distinción es difícil para barras con gancho. Se especifica un valor mínimo de ℓ_{dh} para evitar falla por extracción directa en casos en que el gancho esté situado muy cerca de la sección crítica. Los ganchos no pueden considerarse efectivos en compresión.

Los ensayos^{12,13} muestran que la longitud de desarrollo para barras con ganchos debe incrementarse en un 20% para tomar en consideración la reducción en la adherencia cuando el refuerzo está recubierto con epóxico.

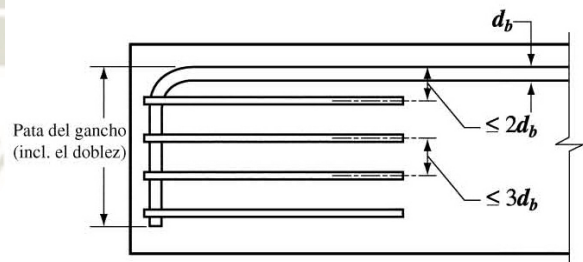


Fig. R12.5.3(b) — Estribos colocados paralelamente a la barra en desarrollo, espaciados a lo largo del gancho más el dobléz.

12.5.4 — Para barras que son desarrolladas mediante un gancho estándar en extremos discontinuos de elementos con recubrimiento sobre el gancho de menos de 65 mm en ambos lados y en el borde superior (o inferior), la barra con el gancho se debe confinar con estribos, perpendicular a la barra en desarrollo, espaciados en no más de $3d_b$ a lo largo de ℓ_{dh} . El primer estribo debe confinar la parte doblada del gancho dentro de $2d_b$ del exterior del dobléz, donde d_b es el diámetro de la barra

R12.5.4 — Los ganchos de barras son especialmente susceptibles a fallas por hendimiento del concreto, cuando los recubrimientos, tanto lateral (normal al plano del gancho) como superior o inferior (en el plano del gancho) son pequeños. Véase la Fig. R12.5.4. Cuando el confinamiento proporcionado por el concreto es mínimo, es esencial el confinamiento proporcionado por estribos, especialmente cuando debe desarrollarse la resistencia completa de una barra con gancho con un recubrimiento tan pequeño. Algunos casos típicos en que los ganchos requieren estribos para

con gancho. En este caso, no deben aplicarse los factores de 12.5.3. (b) y (c).

confinamiento son los extremos de vigas simplemente apoyadas, el extremo libre de voladizos y los extremos de elementos que concurren a un nudo, cuando esos elementos no continúan más allá del nudo. En contraste, cuando los esfuerzos calculados en las barras son bajos, de manera que no es necesario el gancho para anclaje, no son necesarios los estribos. Asimismo, para barras con gancho en extremos discontinuos de losas con confinamiento proporcionado por la losa continua a ambos lados normales al plano del gancho, no se aplican las disposiciones de 12.5.4

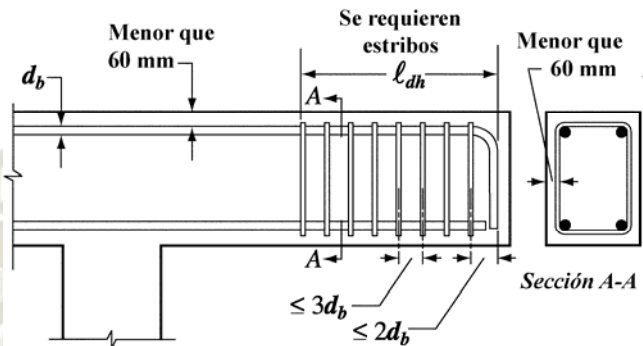


Fig. R12.5.4 — Recubrimiento del concreto según 12.5.4

12.5.5 — Los ganchos no deben considerarse efectivos para el desarrollo de barras en compresión.

R12.5.5 — En compresión, los ganchos no son efectivos y no se pueden utilizar como anclaje.

12.6 — Anclaje mecánico

R12.6 — Anclaje mecánico

12.6.1 — Puede usarse como anclaje cualquier dispositivo mecánico capaz de desarrollar la resistencia del refuerzo sin dañar al concreto.

R12.6.1 — El anclaje mecánico puede ser adecuado en cuanto a resistencia tanto para tendones como para barras de refuerzo.

12.6.2 — Se debe presentar a la Autoridad Competente los resultados de ensayos que muestren que tales dispositivos mecánicos son adecuados.

R12.6.3 — La longitud de desarrollo total de una barra consiste simplemente en la suma de todas las partes que contribuyen al anclaje. Cuando un anclaje mecánico no es capaz de desarrollar la resistencia requerida de diseño del refuerzo, debe proporcionarse una longitud adicional embebida del refuerzo entre el anclaje mecánico y la sección crítica.

12.6.3 — Se permite que el desarrollo del refuerzo consista en una combinación de anclaje mecánico más una longitud adicional de refuerzo embebido en el concreto entre el punto de esfuerzo máximo de la barra y el anclaje mecánico.

12.7 — Desarrollo de refuerzo electrosoldado de alambre corrugado a tracción

R12.7 — Desarrollo de refuerzo electrosoldado de alambre corrugado a tracción

12.7.1 — La longitud de desarrollo en tracción de refuerzo electrosoldado de alambre corrugado, l_d medida desde el punto de sección crítica hasta el extremo del alambre, debe calcularse como el producto de l_{d1} de 12.2.2 ó 12.2.3 multiplicado por un factor para refuerzo electrosoldado de alambre obtenido de 12.7.2 ó 12.7.3. Se permite reducir l_d de acuerdo con 12.2.5 cuando sea aplicable, pero l_d no debe ser menor a 200 mm, excepto para el cálculo de los empalmes por traslape de acuerdo

La Fig. R12.7 muestra los requisitos de desarrollo para refuerzo electrosoldado de alambre corrugado con un alambre transversal dentro de la longitud de desarrollo. En la especificación ASTM A 497 para refuerzo electrosoldado de alambre corrugado se establece la misma resistencia que la requerida para refuerzo electrosoldado de alambre liso (ASTM A 185). Por lo tanto, parte de la longitud de desarrollo se asigna a las soldaduras, y parte, a la longitud del alambre corrugado. Los cálculos de la longitud de desarrollo se han simplificado con respecto a disposiciones anteriores

con 12.18. Cuando se utilice el factor para refuerzo electrosoldado de alambre de 12.7.2, se permite usar un factor por revestimiento ψ_e igual a 1.0 para refuerzo electrosoldado de alambre revestido con epóxico en 12.2.2 y 12.2.3.

12.7.2— Para refuerzo electrosoldado de alambre corrugado con al menos un alambre transversal dentro de ℓ_d y a no menos de 50 mm de la sección crítica, el factor para refuerzo electrosoldado de alambre debe tomarse como el mayor de:

$$\frac{(f_y - 250)}{f_y}$$

o

$$\left(\frac{5d_b}{s_w} \right)$$

pero no necesita ser mayor a 1.0, donde s es la separación entre alambres que se desarrollan.

12.7.3 — Para refuerzo electrosoldado de alambre corrugado sin alambres transversales dentro de ℓ_d o con un alambre único a menos de 50 mm del punto de sección crítica, el factor para refuerzo electrosoldado de alambre debe tomarse como 1.0, y ℓ_d debe determinarse igual que para alambre corrugado.

12.7.4 — Cuando se presente algún alambre liso en el refuerzo electrosoldado de alambre corrugado en la dirección de la longitud de desarrollo, el refuerzo electrosoldado de alambre debe ser desarrollado de acuerdo con 12.8.

12.8 — Desarrollo de refuerzo electrosoldado de alambre liso a tracción

La resistencia a la fluencia del refuerzo electrosoldado de alambre liso, debe considerarse que se desarrolla mediante el embebido en el concreto de 2 alambres transversales, con el alambre transversal más próximo a no menos de 50 mm de la sección crítica. Sin embargo, ℓ_d no debe ser menor que:

$$\ell_d = 3.3 \left(\frac{A_b}{s} \right) \left(\frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \right) \lambda \quad (12-3)$$

donde ℓ_d se mide desde la sección crítica hasta el alambre transversal más alejado, y s es el espaciamiento entre alambres a desarrollarse. Cuando el refuerzo proporcionado excede del requerido, ℓ_d puede reducirse de acuerdo con 12.2.5. La longitud ℓ_d no debe ser menor a 150 mm excepto para el cálculo de empalmes por traslapeo de acuerdo con 12.19.

para la longitud de desarrollo de alambre, presuponiendo que sólo un alambre transversal está contenido en la longitud de desarrollo. Los factores de 12.7.2 son aplicados a la longitud de desarrollo del alambre corrugado calculada a partir de 12.2, pero tomando un mínimo absoluto de 200 mm. La disposición explícita de que el factor para refuerzo electrosoldado de alambre no se tome superior a 1.0 corrige una equivocación de las ediciones anteriores. Los multiplicadores fueron derivados usando las relaciones generales entre refuerzo electrosoldado de alambre corrugado y los alambres corrugados en los valores de ℓ_{db} del reglamento de 1983.

Los ensayos^{12,14} han indicado que el refuerzo electrosoldado de alambre recubierto con epóxico tiene esencialmente las mismas resistencias de desarrollo y empalme que refuerzo electrosoldado de alambre no recubierto, dado que el anclaje básico de los alambres lo proporcionan los alambres transversales. Por lo tanto, se usa un factor para recubrimiento epóxico de 1.0 para las longitudes de desarrollo y empalme de refuerzo electrosoldado de alambre con alambres transversales dentro de la longitud de desarrollo o de empalme por traslapeo.

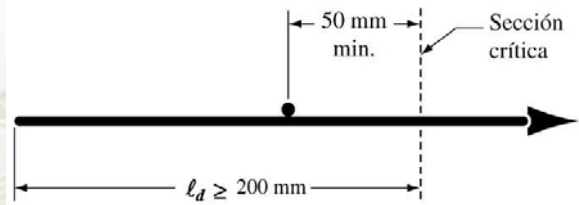


Fig. R12.7 — Longitud de desarrollo de refuerzo electrosoldado de alambre corrugado

R12.8 — Desarrollo de refuerzo electrosoldado de alambre liso a tracción

La Fig. R12.8 ilustra los requisitos de desarrollo para refuerzo electrosoldado de alambre liso los cuales dependen principalmente de la localización de los alambres transversales. Para refuerzo electrosoldado de alambre fabricados con los alambres más pequeños resulta adecuado, para alcanzar la totalidad de la resistencia a la fluencia de los alambres anclados, un anclaje de, por lo menos, dos alambres transversales a 50 mm o más del punto de sección crítica. Sin embargo, para refuerzo electrosoldado de alambre fabricados con alambres de mayor diámetro, con una separación menor, se requiere un anclaje más largo, y para ellos se proporciona una longitud de desarrollo mínima.

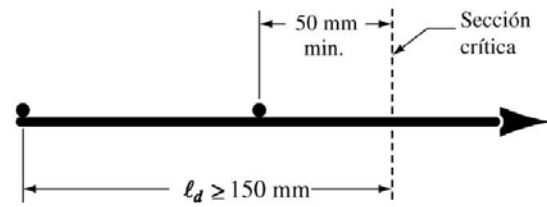


Fig. R12.8 — Longitud de desarrollo del refuerzo electrosoldado de alambre liso

12.9 — Desarrollo de torones de preesforzado

12.9.1 — Salvo como se dispone en 12.9.1.1, los torones de preesforzado de siete alambres deben adherirse más allá de la sección crítica en una distancia no menor que:

$$l_d = \left(\frac{f_{se}}{21} \right) d_b + \left(\frac{f_{ps} - f_{se}}{7} \right) d_b \quad (12-4)$$

Las expresiones entre paréntesis se utilizan como constantes sin unidades.

R12.9 — Desarrollo de torones de preesforzado

Los requisitos de desarrollo de torones de preesforzado pretenden proporcionar integridad a la adherencia para la resistencia del elemento. Las disposiciones se basan en ensayos efectuadas en elementos de concreto de peso normal, con un recubrimiento mínimo de 50 mm. Estos ensayos pueden no ser representativos del comportamiento del torón en concreto con baja relación agua-material cementante y sin asentamiento. Los métodos de fabricación deben asegurar la consolidación del concreto alrededor del torón, con un contacto total entre el acero y el concreto. Deben tomarse precauciones especiales cuando se usen concretos sin asentamiento y con baja relación agua-material cementante.

El primer término en la ecuación (12-4) representa la longitud de transferencia del torón, esto es, la distancia en la cual el torón debe adherirse al concreto para desarrollar el preesfuerzo efectivo en el acero de preesfuerzo f_{se} . El segundo término representa la longitud adicional en la que el torón debe adherirse, de tal forma que se pueda desarrollar un esfuerzo f_{ps} , para la resistencia nominal del elemento.

La adherencia del torón es función de varios factores, entre ellos, la configuración y la condición superficial del acero, el esfuerzo en el acero, la altura del concreto debajo del torón y del método empleado para transmitir la fuerza del torón al concreto. Para casos adheridos, se deben emplear procedimientos de control de calidad para confirmar que el torón es capaz de desarrollar una adherencia adecuada^{12.15, 12.16}. El fabricante de concreto prefabricado puede confiar en la certificación del fabricante del torón que el torón posee características de adherencia que cumplen con esta sección. Un torón con una superficie ligeramente oxidada puede tener una longitud de transmisión bastante menor que un torón limpio. Cuando el torón se libera gradualmente se permite una longitud de transferencia menor que si se corta bruscamente.

Las disposiciones de 12.9 no se aplican a alambres lisos ni a tendones anclados en los extremos. La longitud para un alambre liso puede ser considerablemente mayor debido a la ausencia de trabazón mecánica. Puede ocurrir una falla de adherencia en flexión con alambres lisos cuando ocurra el primer deslizamiento.

12.9.1.1 — Se permite un embebido menor que ℓ_d en una sección de un elemento siempre que el esfuerzo de diseño del torón para esa sección no exceda los valores obtenidos a partir de la relación bilineal de la ecuación (12-4).

12.9.2 — Se permite limitar el estudio a aquellas secciones transversales más cercanas a cada extremo del elemento que requieran desarrollar su resistencia total de diseño bajo las cargas mayoradas, salvo donde la adherencia de uno o más torones no se extiende hasta el extremo del elemento, o donde se aplican cargas concentradas dentro de la longitud de desarrollo del torón.

R12.9.1.1 — La Fig. 12.9 muestra la relación entre el esfuerzo en el acero y la distancia en la que el torón está adherido al concreto, representada por la ecuación (12-4). Esta variación idealizada del esfuerzo en el torón puede usarse para analizar las secciones dentro de las regiones de desarrollo.^{12.17,12.18} Las expresiones para la longitud de transferencia y para la longitud de adherencia adicional necesaria para desarrollar un incremento en el esfuerzo ($f_{ps} - f_{se}$), se basan en los ensayos de elementos preesforzados con torones limpios de 6, 9 y 12 mm. de diámetro para los que el valor máximo de f_{ps} era 1900 MPa. Véanse las referencias 12.19, 12.20 y 12.21.

R12.9.2 — Donde el anclaje de uno o más torones no se extiende hasta el extremo del elemento, las secciones críticas pueden encontrarse en ubicaciones distintas a donde se necesita que se desarrolle la resistencia de diseño máxima, y puede requerirse un análisis detallado. Las referencias 12.17 y 12.18 muestran un método que puede ser usado en el caso de torones con diferentes puntos de desarrollo total. De manera conservadora, sólo los torones que se desarrollan completamente en una sección pueden ser considerados como efectivos en esa sección. Si las secciones críticas ocurren en la región de transferencia, consideraciones especiales pueden ser necesarias. Ciertas condiciones de carga, como cargas concentradas grandes dentro de la longitud de desarrollo del torón, pueden dar origen a secciones críticas alejadas de la sección en que se exige que desarrolle la resistencia total de diseño.

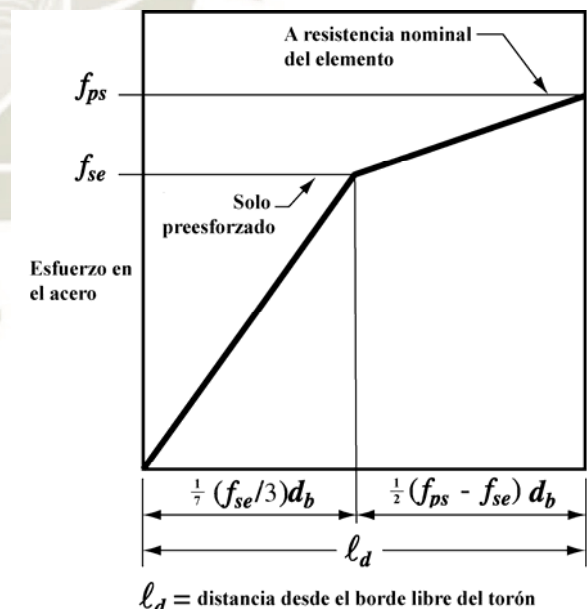


Fig. R12.9 — Relación bilineal idealizada entre el esfuerzo en el acero y la distancia del extremo libre del torón

12.9.3 — Cuando la adherencia del torón no se extienda hasta el extremo del elemento, y el diseño incluya tracciones para la carga de servicio en la zona precomprimada de tracción, como lo permite 18.4.2, se debe duplicar ℓ_d especificada en 12.9.1.

R12.9.3 — Las pruebas exploratorias realizadas en 1965^{12.19} para estudiar el efecto de torones de preesfuerzo no adheridos (sin permitir que la adherencia se extienda hasta los extremos de los elementos) sobre el comportamiento de vigas pretensadas, indicaron que el comportamiento de estas vigas,

con longitudes embebidas del doble de lo requerido por 12.9.1 casi igualaron el comportamiento de vigas pretensadas similares, con torones totalmente adheridos en los extremos de la viga. Por lo tanto, se requiere una longitud de desarrollo del doble para un torón de preesfuerzo no adherido totalmente hasta el extremo del elemento. Pruebas posteriores^{12.22} indicaron que en elementos preesforzados diseñados para tracción nula en el concreto para condiciones de carga de servicio (véase 18.4.2), no es necesario duplicar la longitud de desarrollo para torones de preesfuerzo no adheridos. Para el análisis de secciones con torones de preesfuerzo no adheridos en ubicaciones donde el torón no se encuentra completamente desarrollado, en general, se asume que tanto la longitud de transferencia como la longitud de desarrollo debe doblarse.

12.10 — Desarrollo del refuerzo de flexión — Generalidades

12.10.1 — Se permite desarrollar el refuerzo de tracción doblándolo dentro del alma para anclarlo o hacerlo continuo con el refuerzo de la cara opuesta del elemento.

12.10.2 — Las secciones críticas para el desarrollo del refuerzo en elementos sometidos a flexión son los puntos donde se presentan esfuerzos máximos y puntos del vano donde termina o se dobla el refuerzo adyacente. Las disposiciones de 12.11.3 deben cumplirse.

12.10.3 — El refuerzo se debe extender más allá del punto en el que ya no es necesario para resistir flexión por una distancia igual a d ó $12d_b$, la que sea mayor, excepto en los apoyos de vigas simplemente apoyadas y en el extremo libre de voladizos.

R12.10 — Desarrollo del refuerzo de flexión — Generalidades

R12.10.2 — Las secciones críticas para una viga continua típica se indican con una “ c ” o una “ x ” en la Fig. R12.10.2. Para carga uniforme, el refuerzo positivo que se extiende dentro del apoyo es probable que esté controlado por los requisitos de 12.11.3, en cambio de la consideración de la longitud de desarrollo medida a partir del punto de momento máximo o del punto de terminación de las barras.

R12.10.3 — Los diagramas de momento que se utilizan en el diseño son por lo general aproximados; pueden producirse algunas desviaciones en la ubicación de los momentos máximos debido a cambios en las cargas, asentamientos de los apoyos, cargas laterales u otras causas. Una grieta de tracción diagonal en un elemento en flexión sin estribos puede cambiar la ubicación del esfuerzo calculado de tracción, aproximadamente una distancia d , hacia un punto en que el momento es igual a cero. Cuando se colocan estribos, este efecto es menos severo, aunque en cierta medida sigue estando presente.

Para tomar en cuenta las variaciones en la localización de los momentos máximos, el reglamento requiere la extensión del refuerzo por una distancia d o $12d_b$ más allá del punto en el que teóricamente ya no es necesario para resistir la flexión, excepto en los casos indicados.

En la Fig. R12.10.2 se ilustran los puntos de terminación de las barras para cumplir con este requisito.

Cuando se usan barras de diferentes diámetros, la prolongación debe hacerse de acuerdo con el diámetro de la barra que se esté terminando. Una barra doblada hacia la cara lejana de la viga y continuada a partir de ahí, se puede considerar, de manera lógica, como efectiva para satisfacer las disposiciones de esta sección hasta el punto en el cual la barra cruza la mitad de la altura del elemento.

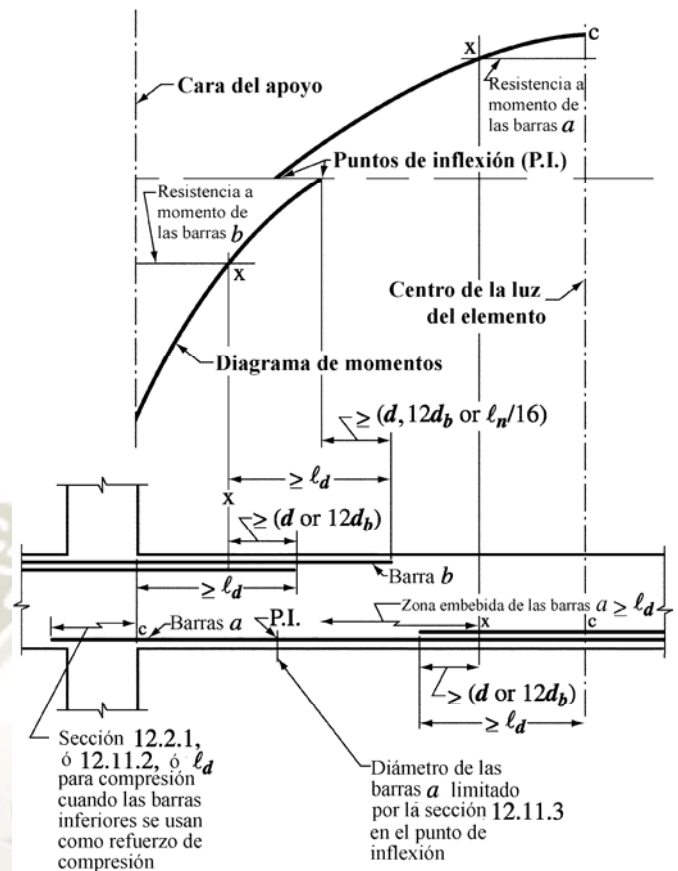


Fig. R12.10.2 — Longitud de desarrollo del refuerzo por flexión en una viga continua típica

12.10.4 — El refuerzo continuo debe tener una longitud embobada no menor que ℓ_d más allá del punto en donde no se requiere refuerzo de tracción para resistir la flexión.

R12.10.4 — En las zonas de tracción, se producen puntos de esfuerzos máximos en las barras restantes donde se terminan o doblan las barras adyacentes. En la Fig. R12.10.2 se usa la letra “x” para indicar los puntos de esfuerzo máximo en las barras que continúan después de que se ha cortado parte de las barras. Si las barras se dejan tan cortas como lo permita el diagrama de momentos, estos esfuerzos máximos llegan a tomar el total de f_y , lo cual requiere una prolongación de ℓ_d completa como se indica. Esta prolongación puede exceder la longitud requerida por flexión.

12.10.5 — El refuerzo por flexión no debe terminarse en una zona de tracción, a menos que se satisfaga 12.10.5.1, 12.10.5.2 ó 12.10.5.3.

R12.10.5 — Se han presentado evidencias de reducción de la resistencia por cortante y de pérdida de ductilidad cuando se terminan las barras en una zona en tracción, como se muestra en la Fig. R12.10.2.

12.10.5.1 — V_u en el punto terminal no excede $(2/3)\phi V_n$.

Como resultado, el reglamento no permite que el refuerzo por flexión termine en las zonas de tracción, a menos que se satisfagan ciertas condiciones especiales. En zonas de tracción, las grietas por flexión tienden a abrirse anticipadamente en donde se termina cualquier refuerzo. Si el esfuerzo en el refuerzo que continúa y la resistencia al cortante se aproximan ambos a sus valores límites, las grietas de tracción diagonal tienden a desarrollarse prematuramente a partir de grietas de flexión. Es poco probable que las grietas diagonales se formen en donde el esfuerzo de cortante es bajo (véase 12.10.5.1). Las grietas diagonales se pueden restringir

12.10.5.2 — Que se proporcione un área de estribos, que exceda lo requerido para la torsión y el cortante, a lo largo de cada barra o alambre que termina por una distancia a partir del punto de término del refuerzo igual a $(3/4)d$. El exceso de área de los estribos no debe ser menor que $0.42b_w s / f_{yt}$. El espaciamiento s no debe exceder de $d / (8\beta_b)$.

12.10.5.3 — Para barras No. 36 y menores, en las que el refuerzo que continúa proporciona el doble del área requerida por la flexión en el punto terminal y V_u no excede $(3/4)\phi V_n$.

12.10.6 — En elementos sometidos a flexión se debe proporcionar un anclaje adecuado para el refuerzo en tracción, cuando el esfuerzo en el refuerzo no es directamente proporcional al momento, como ocurre en las zapatas inclinadas, escalonadas o de sección variable; en ménsulas; en elementos de gran altura sometidos a flexión; o en elementos en los cuales el refuerzo de tracción no es paralelo a la cara de compresión. Véanse 12.11.4 y 12.12.4 sobre elementos de gran altura sometidos a flexión.

disminuyendo la separación de los estribos (véase 12.10.5.2). Un menor esfuerzo en el acero reduce la probabilidad de que dicho agrietamiento diagonal se presente (véase 12.10.5.3). Estos requisitos no se aplican a los empalmes sometidos a tracción, cubiertos totalmente por 12.2, 12.13.5 y la sección relacionada 12.15.

R12.10.6 — Los elementos tales como ménsulas, elementos de altura variable, y otros donde el esfuerzo calculado en el acero f_s para cargas de servicio no disminuya linealmente en proporción a una reducción de momento, se requiere de una especial consideración para el desarrollo apropiado del refuerzo sometido a flexión. Para la ménsula que se muestra en la Fig. R12.10.6, el esfuerzo último en el refuerzo es casi constante y aproximadamente igual a f_y desde la cara del apoyo hasta el punto de carga. En este caso, el desarrollo del refuerzo sometido a flexión depende en gran parte del anclaje proporcionado en el extremo cargado. La referencia 12.1 sugiere una barra transversal soldada como medio de proporcionar un anclaje efectivo en el extremo. Un gancho extremo, en el plano vertical, con el diámetro de doblado mínimo no resulta por completo efectivo, dado que en la esquina existe esencialmente concreto simple en la proximidad de las cargas aplicadas. Para ménsulas anchas (perpendiculares al plano de la figura) y cargas que no se apliquen en la proximidad de las esquinas, las barras en forma de U en un plano horizontal proporcionan ganchos extremos efectivos.

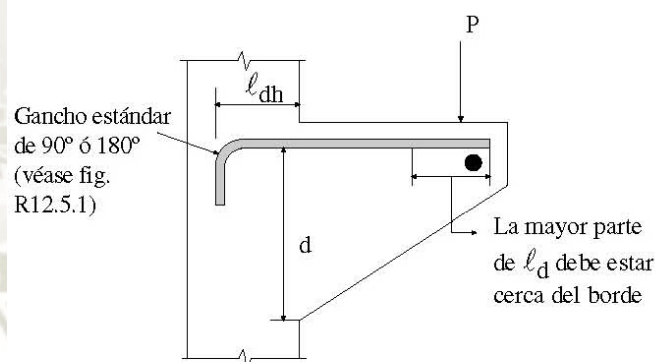


Fig. R12.10.6 — Elemento especial fuertemente dependiente del anclaje en el extremo

12.11 — Desarrollo del refuerzo para momento positivo

12.11.1 — Por lo menos 1/3 del refuerzo para momento positivo en elementos simplemente apoyados y 1/4 del refuerzo para momento positivo en elementos continuos, se debe prolongar a lo largo de la misma cara del elemento hasta el apoyo. En las vigas, dicho refuerzo se debe prolongar, por lo menos 150 mm dentro del apoyo.

12.11.2 — Cuando un elemento sometido a flexión sea parte fundamental de un sistema que resiste cargas laterales, el refuerzo para momento positivo que se requiere que se prolongue en el apoyo, de acuerdo con

R12.11 — Desarrollo del refuerzo para momento positivo

R12.11.1 — Se requiere que las cantidades especificadas de refuerzo por momento positivo se prolonguen hasta el apoyo, con el fin de tomar en cuenta cambios en los momentos debido a variaciones en la carga, al asentamiento de los apoyos y a cargas laterales.

R12.11.2 — Cuando un elemento en flexión es parte del sistema principal que resiste las cargas laterales, cargas mayores que las previstas en el diseño pueden provocar inversión de momentos en el apoyo; una parte del refuerzo

12.11.1, se debe anclar para que sea capaz de desarrollar f_y en tracción en la cara de apoyo.

12.11.3 — En los apoyos simples y en los puntos de inflexión, el refuerzo de tracción para momento positivo debe limitarse a un diámetro tal que ℓ_d calculado para f_y siguiendo 12.2 satisfaga la ecuación (12-5), excepto que la ecuación (12-5) no necesita satisfacerse para los refuerzos que terminan más allá del eje central de los apoyos simples mediante un gancho estándar o un anclaje mecánico equivalente, como mínimo, a un gancho estándar.

$$\ell_d \leq \frac{M_n}{V_u} + \ell_a \quad (12-5)$$

donde M_n se calcula suponiendo que todo el refuerzo de la sección está sometido a f_y .

V_u se calcula en la sección.

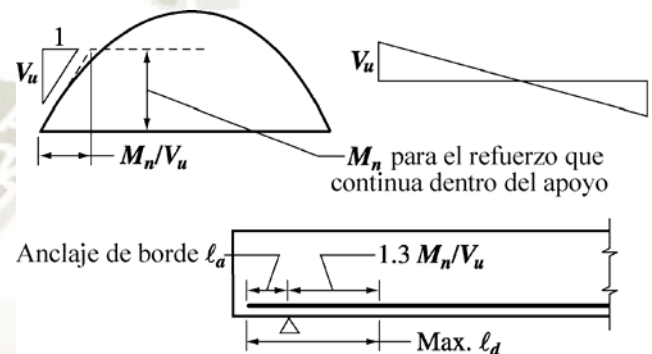
ℓ_a en el apoyo debe ser la longitud embebida más allá del centro del apoyo.

ℓ_a en el punto de inflexión debe limitarse a d ó $12d_b$, el que sea mayor.

Se permite aumentar el valor de M_n/V_u en un 30% cuando los extremos del refuerzo estén confinados por una reacción de compresión.

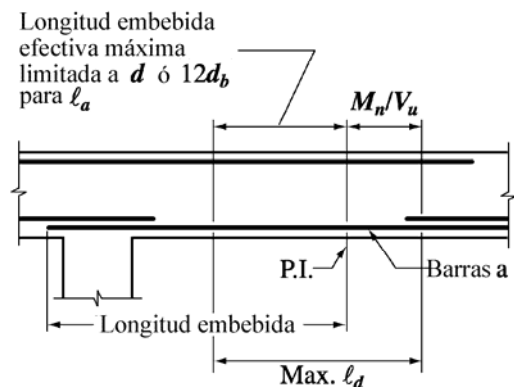
positivo debe estar bien anclado en el apoyo. Este anclaje se requiere para asegurar la ductilidad de la respuesta en caso de tener sobre esfuerzos, tales como explosiones o sismos. No es suficiente usar más refuerzo con esfuerzos más bajos.

R12.11.3 — En apoyos simples y en puntos de inflexión tales como los marcados “PI” en la Fig. R12.10.2, el diámetro del refuerzo positivo debe ser lo suficientemente pequeño para que la longitud de desarrollo de las barras, ℓ_d , no exceda de $M_n/V_u + \ell_a$ o en condiciones favorables de apoyo, a $1.3 M_n/V_u + \ell_a$. La Fig. R12.11.3 (a) ilustra el uso de esta disposición.



Nota: El factor 1.3 se puede usar solo si la reacción confina los extremos del refuerzo

(a) Tamaño máximo de la barra en un apoyo simple



(b) Tamaño máximo de la barra “a” en el punto de inflexión

Fig. R12.11.3 — Criterio para determinar el tamaño máximo de la barra de cuerdo con 12.11.3

En el punto de inflexión el valor de ℓ_d no debe exceder la extensión real de la barra utilizada más allá del punto de momento igual a cero. La porción M_n/V_u de la longitud disponible es una cantidad teórica que, por lo general, no se asocia con un punto obvio de esfuerzo máximo. M_n es la resistencia nominal a flexión de la sección transversal sin factor ϕ y no el momento mayorado aplicado.

La longitud M_n/V_u corresponde a la longitud de desarrollo para la barra de mayor diámetro obtenida de la ecuación de

adherencia por flexión previamente utilizada $\Sigma_o = V/ujd$, donde u es el esfuerzo de adherencia, y jd es el brazo de momento. En la edición de 1971 del ACI 318, este requisito de anclaje se hizo menos estricto en comparación con las ediciones anteriores, considerando la longitud de anclaje disponible en el extremo ℓ_a , e incluyendo un 30% de aumento para M_n/V_u cuando los extremos del refuerzo estén confinados por una reacción de compresión.

Como ejemplo, en el apoyo simple de una viga se coloca una barra de un diámetro tal que ℓ_d , calculado de acuerdo con 12.2, sea igual a $0.02A_b f_y / \sqrt{f'_c}$. El diámetro de barra proporcionado es satisfactorio solamente si $0.02A_b f_y / \sqrt{f'_c}$ no excede de $1.3M_n/V_u + \ell_a$.

El valor de ℓ_a que debe usarse en los puntos de inflexión está limitado por la altura efectiva del elemento d , o a 12 diámetros de la barra ($12d_b$), el que sea mayor. La Fig. R12.11.3(b) ilustra esta disposición en los puntos de inflexión. La limitación ℓ_a se incluye porque no existen datos de ensayos que demuestren que una gran longitud de anclaje en el extremo es completamente efectiva al desarrollar una barra donde hay una distancia corta entre un punto de inflexión y un punto de esfuerzo máximo.

12.11.4 — En apoyos simples de elementos de gran altura sometidos a flexión, el refuerzo de tracción por momento positivo debe anclarse para desarrollar f_y en tracción en la cara del apoyo, excepto que el diseño se realice utilizando el Apéndice A. En apoyos interiores de elementos de gran altura sometidos a flexión, el refuerzo de tracción por momento positivo debe ser continuo o estar empalmado con el del vano adyacente.

R12.11.4 — El uso de un modelo de puntal-tensor para el diseño de elementos de gran altura sometidos a flexión clarifica que existe una tracción significativa en el refuerzo en la cara del apoyo. Esto requiere que el refuerzo de tracción sea continuo o sea desarrollado a través y más allá del apoyo^{12.23}.

12.12 — Desarrollo del refuerzo para momento negativo

12.12.1 — El refuerzo para momento negativo en un elemento continuo, restringido, o en voladizo, o en cualquier elemento de un pórtico rígido, debe anclarse en o a través de los elementos de apoyo mediante una longitud embebida, ganchos o anclajes mecánicos.

12.12.2 — El refuerzo para momento negativo debe tener una longitud embebida en el vano según lo requerido en 12.1 y 12.10.3.

12.12.3 — Por lo menos 1/3 del refuerzo total por tracción en el apoyo proporcionado para resistir momento negativo debe tener una longitud embebida más allá del punto de inflexión, no menor que d , $12d_b$ ó $\ell_n/16$, la que sea mayor.

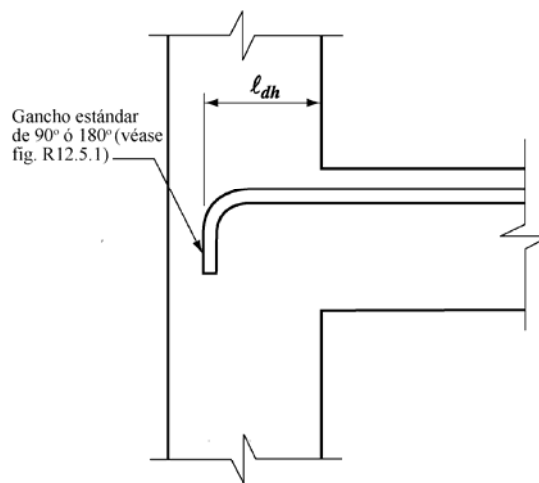
12.12.4 — En apoyos interiores de vigas de gran altura sometidas a flexión, el refuerzo de tracción por momento

R12.12 — Desarrollo del refuerzo para momento negativo

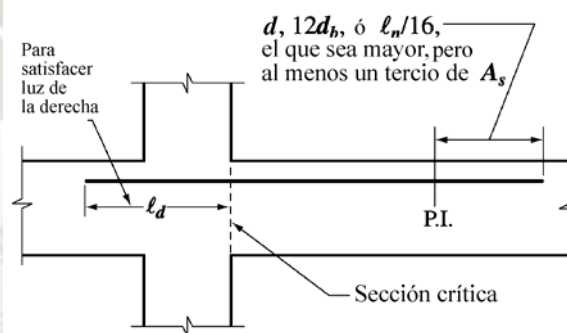
En la Fig. R12.12 se ilustran dos métodos para satisfacer los requisitos de anclaje del refuerzo en tracción más allá de la cara de apoyo. Para el anclaje del refuerzo por medio de ganchos, véase R12.5.

La sección 12.12.3 toma en consideración los posibles cambios del diagrama de momento en un punto de inflexión, como se explica en R12.10.3. Este requisito puede exceder al de 12.10.3 y controla el más estricto.

negativo debe ser continuo con el de los vanos adyacentes.



(a) Anclaje en una columna exterior



Nota: Normalmente este anclaje se transforma en parte del refuerzo de la viga adyacente.

(b) Anclaje dentro de la viga adyacente

Fig. R12.12 — Desarrollo del refuerzo por momento negativo

12.13 — Desarrollo del refuerzo del alma

12.13.1 — El refuerzo del alma debe colocarse tan cerca de las superficies de tracción y compresión del elemento como lo permitan los requisitos de recubrimiento y la proximidad de otros refuerzos.

12.13.2 — Los extremos de las ramas individuales de los estribos en U, simples o múltiples, deben anclarse de acuerdo con lo indicado en 12.13.2.1 a la 12.3.2.5.

12.13.2.1 — Para barras No. 16 y alambre MD200 (16 mm de diámetro) y menores y para barras No. 19, No. 22 y No. 25 con f_{yt} igual a 280 MPa o menos, un gancho estándar alrededor del refuerzo longitudinal.

R12.13 — Desarrollo del refuerzo del alma

R12.13.1 — Los estribos deben estar lo más cerca posible de la cara de compresión del elemento, debido a que cerca de la carga última las grietas de tracción por flexión penetran profundamente.

R12.13.2 — Los requisitos de anclaje o desarrollo para estribos compuestos de barras o alambre corrugado se cambiaron en la edición de 1989 del reglamento para simplificar los requisitos. Se suprimió el anclaje recto ya que este estribo es difícil de mantener en su lugar durante la colocación del concreto, y la ausencia de un gancho puede hacer inefectivo un estribo, dado que cruza grietas de cortante cerca del extremo del estribo.

R12.13.2.1 — Para una barra No. 16 o más pequeña, el anclaje se proporciona por medio de un gancho estándar de estribo, tal como se define en 7.1.3, enganchado alrededor de una barra longitudinal. La edición de 1989 del reglamento eliminó la necesidad de una longitud recta embebida además del gancho para estas barras pequeñas, pero 12.13.1 exige un

12.13.2.2 — Para estribos No. 19, No. 22 y No. 25 con f_{yt} mayor que 280 MPa, un gancho de estribo estándar abrazando una barra longitudinal más una longitud embebida entre el punto medio de la altura del elemento y el extremo exterior del gancho igual o mayor que $0.17d_b f_{yt} / \sqrt{f'_c}$.

12.13.2.3 — Para cada rama de refuerzo electrosoldado de alambre liso que forme un estribo en U sencillo, ya sea por:

(a) Dos alambres longitudinales colocados con un separación de 50 mm a lo largo del elemento en la parte superior de la U.

(b) Un alambre longitudinal colocado a no más de $d/4$ de la cara en compresión, y un segundo alambre más cercano a la cara en compresión y separado por lo menos 50 mm del primero. Se permite que el segundo alambre esté colocado en una rama del estribo después de un dobléz, o en un dobléz que tenga un diámetro interior de dobléz no menor de $8d_b$.

estribo de altura completa. Del mismo modo, estribos más grandes con f_{yt} igual o menor que 280 MPa están suficientemente anclados con un gancho estándar en el estribo alrededor del refuerzo longitudinal.

R12.13.2.2 — Dado que no es posible hacer un dobléz muy cerrado de estribos No. 19, No. 22, o No. 25 alrededor de una barra longitudinal, y debido a la fuerza en una barra con un esfuerzo de diseño mayor que 300 MPa, el anclaje de estribos depende tanto del gancho como de cualquier longitud de desarrollo que se proporcione. Una barra longitudinal dentro de un gancho en el estribo limita el ancho de cualquier grieta por flexión, aún en una zona de tracción. Dado que tal gancho en el estribo no puede fallar por hendimiento paralelo al plano de la barra con gancho, la resistencia del gancho tal como se utiliza en 12.5.2 ha sido ajustada para reflejar el recubrimiento y el confinamiento alrededor del gancho del estribo.

Para estribos con f_{yt} de sólo 280 MPa, un gancho de estribo proporciona suficiente anclaje, y estas barras están cubiertas en 12.13.2.1. Para barras con resistencias más altas se debe verificar la longitud embebida. Se prefiere un gancho de 135° ó 180°, pero se puede utilizar un gancho de 90° sí el extremo libre del gancho se prolonga 12 diámetros de la barra como se requiere en 7.1.3.

R12.13.2.3 — Los requisitos para el anclaje de estribos de refuerzo electrosoldado de alambre liso se ilustran en la Fig. R12.13.2.3.

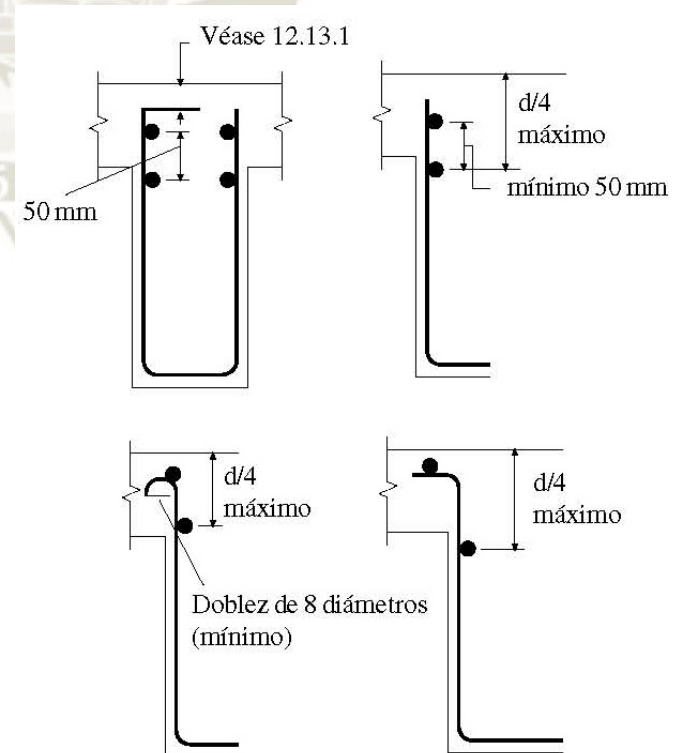


Fig. R12.13.2.3 — Anclajes de estribos U de refuerzo electrosoldado de alambre liso en la zona de compresión

12.13.2.4 — Para cada extremo de un estribo de una rama de refuerzo electrosoldado de alambre, liso o corrugado, dos alambres longitudinales con una separación mínima de 50 mm y con el alambre interior al menos a $d/4$ ó 50 mm, desde $d/2$. El alambre longitudinal exterior en la cara de tracción no debe estar más lejos de la cara que la porción del refuerzo primario de flexión más cercano a la cara.

R12.13.2.4 — El empleo de refuerzo electrosoldado de alambre como refuerzo por cortante se ha vuelto común en la industria de prefabricados y preesforzados de concreto. Las relaciones para aceptar láminas rectas de refuerzo electrosoldado de alambre como refuerzo por cortante se presentan en un informe conjunto del Comité ad hoc PCI/WRI sobre Malla de Alambre Electrosoldada para Refuerzo de Cortante.^{12.24}

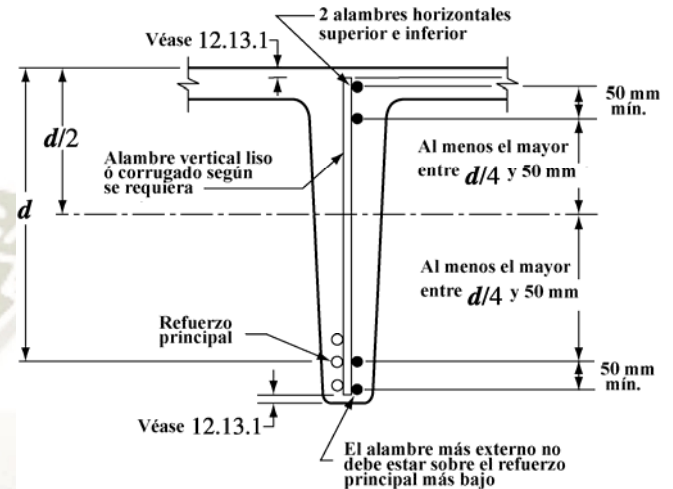


Fig. R12.13.2.4 — Anclaje del refuerzo de cortante formado por una rama de refuerzo electrosoldado de alambre

Las disposiciones para anclaje de refuerzo electrosoldado de alambre de una sola rama en la cara de tracción, subrayan la ubicación del alambre longitudinal a la misma altura que el refuerzo principal de flexión para evitar el problema de hendimiento a nivel del acero de tracción. La Fig. R12.13.2.4 ilustra los requisitos de anclaje para refuerzo electrosoldado de alambre de una sola rama. Para el anclaje de refuerzo electrosoldado de alambre de una sola rama, el reglamento permite ganchos y una longitud embebida en las caras de compresión y de tracción de los elementos (véase 12.13.2.1 y 12.13.2.3) y sólo la longitud embebida en la cara de compresión (véase 12.13.2.2). La sección 12.13.2.4 tiene disposiciones para anclaje de refuerzo electrosoldado de alambre recto, de una sola rama, donde se emplea el anclaje del alambre longitudinal con una longitud adecuada embebida en las caras de compresión y de tracción de los elementos.

12.13.2.5 — En viguetas, como se definen en 8.11, para barras No. 13 y alambres MD130 (12 mm de diámetro) o menores, un gancho estándar.

R12.13.2.5 — En viguetas, un alambre o barra pequeña puede ser anclada con un gancho estándar que no se abrace al refuerzo longitudinal, permitiendo que una barra doblada en forma continua forme una serie de estribos de una sola rama en la vigueta.

12.13.3 — Entre los extremos anclados, cada doblez en la parte continua de los estribos en U, sencillos o múltiples, debe abrazar una barra longitudinal.

12.13.4 — Las barras longitudinales dobladas para trabajar como refuerzo de cortante, si se extienden dentro de una zona de tracción, deben ser continuas con el

refuerzo longitudinal, y si se extienden dentro de una zona de compresión, deben anclarse más allá de la mitad de la altura útil, $d/2$, como se especifica para la longitud de desarrollo en 12.2 para la fracción de f_{yt} que se necesita para satisfacer la ecuación (11-17).

12.13.5 — Las parejas de estribos en U colocados para que formen una unidad cerrada deben considerarse adecuadamente empalmados cuando la longitud del empalme por traslapo sea de $1.3\ell_d$. En elementos con una altura útil de al menos 450 mm, los empalmes con $A_b f_{yt}$ no mayor que 40 kN por rama se pueden considerar adecuados si las ramas de los estribos se prolongan a lo largo de la altura total disponible del elemento.

12.14 — Empalmes del refuerzo — Generalidades

12.14.1 — En el refuerzo sólo se permite hacer empalmes cuando lo requieran o permitan los planos de diseño, las especificaciones, o si lo autoriza el ingeniero.

12.14.2 — Empalmes por traslapo

12.14.2.1 — Para las barras mayores de No. 36 no se deben utilizar empalmes por traslapo, excepto para los casos indicados en 12.16.2 y 15.8.2.3.

12.14.2.2 — Los empalmes por traslapo de paquetes de barras deben basarse en la longitud de empalme por traslapo requerida para las barras individuales del paquete, aumentada de acuerdo con 12.4. Los empalmes por traslapo de las barras individuales del paquete no deben superponerse. No deben empalmarse por traslapo paquetes enteros.

12.14.2.3 — En elementos sometidos a flexión las barras empalmadas por traslapo que no quedan en contacto entre si no deben separarse transversalmente a la menor de $1/5$ de la longitud de empalme por traslapo requerida ó 150 mm.

12.14.3 — Empalmes soldados y mecánicos

12.14.3.1 — Debe permitirse el uso de empalmes soldados o mecánicos.

12.14.3.2 — Un empalme mecánico completo debe desarrollarse en tracción o compresión, según sea requerido, al menos $1.25f_y$ de la barra.

R12.13.5 — Estos requisitos para el empalme por traslapo de estribos dobles en U, a fin de formar estribos cerrados, prevalecen sobre las disposiciones de 12.15.

R12.14 — Empalmes del refuerzo — Generalidades

Cuando sea posible, los empalmes deben estar ubicados lejos de los puntos de máximo esfuerzo de tracción. Los requisitos de empalmes por traslapo de 12.15 incentivan esta práctica.

R12.14.2 — Empalmes por traslapo

R12.14.2.1 — Debido a la carencia de datos experimentales adecuados sobre empalmes por traslapo de barras No. 43 y No. 57 en compresión y en tracción, el empalme por traslapo de estos tamaños de barras está prohibido, excepto en lo permitido por 12.16.2 y 15.8.2.3 para empalmes por traslapo de compresión de barras No. 43 y No. 57 con barras menores.

R12.14.2.2 — El incremento requerido en la longitud de los empalmes por traslapo para los paquetes de barras se basa en la reducción del perímetro expuesto de dichas barras. Las barras en paquete se empalman traslapando barras individuales a lo largo de la longitud del paquete.

R12.14.2.3 — Si las barras individuales en un empalme por traslapo sin contacto están demasiado separadas se crea una sección no reforzada. Entonces, como precaución mínima debe forzarse la grieta potencial para que siga una línea en zigzag (pendiente 5 a 1). El espaciamiento máximo de 150 mm se agrega debido a que la mayoría de los datos de ensayos sobre empalme por traslapo de barras corrugadas se obtuvieron con refuerzo que estuvo dentro de este espaciamiento.

R12.14.3 — Empalmes soldados y mecánicos

R12.14.3.2 — El esfuerzo máximo del refuerzo usado para el diseño dentro del reglamento es la resistencia especificada a la fluencia. Para asegurar la suficiente

12.14.3.3 — Excepto en lo dispuesto por este reglamento, toda soldadura debe estar de acuerdo con “Structural Welding Code—Reinforcing Steel” (ANSI/AWS D1.4).

12.14.3.4 — Un empalme totalmente soldado debe desarrollar, por lo menos, $1.25f_y$ de la barra.

12.14.3.5 — Los empalmes soldados o mecánicos que no cumplan con los requisitos de 12.14.3.2 ó 12.14.3.4 se permiten sólo para barras No. 16 y menores y de acuerdo con 12.15.4.

12.15 — Empalmes de alambres y barras corrugadas a tracción

12.15.1 — La longitud mínima del empalme por traslapeo en tracción debe ser la requerida para empalmes por traslapeo Clases A o B, pero no menor que 300 mm, donde:

Empalme por traslapeo Clase A $1.0l_d$

Empalme por traslapeo Clase B $1.3l_d$

donde l_d se calcula de acuerdo con 12.2 para desarrollar f_y sin el factor de modificación de 12.2.5.

resistencia en los empalmes de manera que se pueda producir la fluencia en el elemento y evitarse así la falla frágil, se seleccionó el 25% de incremento sobre la resistencia a la fluencia tanto como un valor mínimo por seguridad y un valor máximo por economía.

R12.14.3.3 — Véase en R3.5.2 una discusión sobre la soldadura.

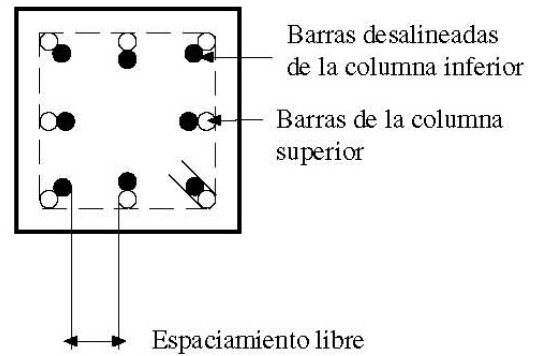
R12.14.3.4 — El empalme totalmente soldado se utiliza principalmente para barras grandes (No. 19 y mayores) en elementos principales. El requisito de resistencia a la tracción, de 125% de la resistencia a la fluencia especificada está pensado para lograr una soldadura apropiada, adecuada también para compresión. En R12.14.3.2. se puede encontrar una discusión sobre la resistencia. La edición de 1995 del reglamento eliminó el requisito que las barras sean unidas a tope dado que ANSI/AWS D 1.4 permite los empalmes a tope indirectos, pero además indica que donde sea práctico, los empalmes con apoyo directo son preferibles para barras No. 22 y superiores.

R12.14.3.5 — Se permite el empleo de empalmes soldados o mecánicos de resistencia menor al 125% de la resistencia a la fluencia, si se cumple con los criterios mínimos de diseño de 12.15.4. Por consiguiente, en ciertas condiciones se permiten los empalmes por traslapeo soldados de las barras, con o sin material de respaldo, la soldadura a platinas de conexión, y los empalmes por contacto en los extremos. La edición del reglamento de 1995 limitó estas soldaduras y conexiones de baja resistencia a barras No. 16 y menores, debido a la naturaleza potencialmente frágil de falla de estas soldaduras.

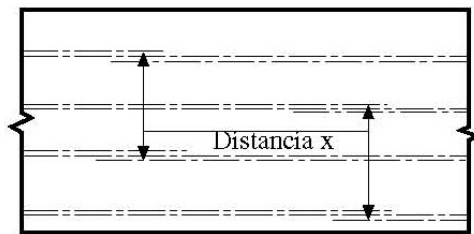
R12.15 — Empalmes de alambres y barras corrugadas a tracción

R12.15.1 — Los empalmes por traslapeo sometidos a tracción se clasifican como tipo A y B, en los cuales la longitud del empalme por traslapeo es un múltiplo de la longitud de desarrollo en tracción l_d . La longitud de desarrollo l_d empleada para obtener la longitud del empalme por traslapeo debe basarse en f_y porque las clasificaciones de empalmes ya reflejan cualquier exceso de refuerzo en el sitio del empalme; por lo tanto, no debe emplearse el factor para A_s en exceso de 12.2.5. Cuando muchas barras ubicadas en el mismo plano se empalman en la misma sección, el espaciamiento libre es la distancia mínima entre empalmes adyacentes. Para empalmes por traslapeo en columnas con barras desalineadas, la Fig. R12.15.1(a) ilustra el espaciamiento libre que debe usarse. Para empalmes por traslapeo escalonados, el espaciamiento libre se toma como la mínima distancia entre empalmes por traslapeo adyacentes [véase Fig. R12.15.1(b)].

La edición de 1989 del reglamento incluía varios cambios en la longitud de desarrollo en tracción, que eliminaron muchas de las inquietudes relacionadas con los empalmes a tracción debido a barras muy cercanas entre sí con un recubrimiento mínimo. Así pues, el empalme por traslapo de Clase C fue eliminado, aunque las longitudes de desarrollo en las cuales se basan las longitudes de empalme por traslapo, en algunos casos se han incrementado. El Comité 318 consideró las sugerencias de muchas fuentes, incluyendo el Comité 408, pero ha retenido una longitud de traslapo de dos niveles primordialmente para alentar a los diseñadores a empalmar las barras en puntos de esfuerzo mínimo, y a escalonar los empalmes para mejorar el comportamiento de detalles críticos.



(a) Barras desalineadas en columnas



(b) Empalmes escalonados

Fig. R12.15.1 – Espaciamiento libre de barras empalmadas

12.15.2 — Los empalmes por traslapo de alambres y barras corrugadas sometidas a tracción deben ser empalmes por traslapo Clase B, excepto que se admiten empalmes por traslapo de Clase A cuando:

- (a) el área de refuerzo proporcionada es al menos el doble que la requerido por análisis a todo lo largo del empalme por traslapo y
- (b) la mitad, o menos, del refuerzo total está empalmado dentro de la longitud de empalme por traslapo requerido.

R12.15.2 — Los requisitos para empalmes por traslapo en tracción de 12.15.2 fomentan la localización de los empalmes por traslapo fuera de las zonas de esfuerzos de tracción altos, hacia donde el área del acero proporcionado en la localización del empalme por traslapo sea por lo menos 2 veces la requerida por el análisis. La Tabla R12.15.2 muestra los requisitos para empalmes por traslapo tal y como presentaban en anteriores ediciones.

Tabla R12.15.2 — EMPALMES POR TRASLAPO EN TRACCIÓN

$\frac{A_s \text{ proporcionado}^*}{A_s \text{ requerido}}$	Porcentaje máximo de A_s empalmado en la longitud requerida para dicho empalme	
	50	100
Igual o mayor que 2	Clase A	Clase B
Menor que 2	Clase B	Clase B

* Relación entre el área de refuerzo proporcionado y la requerida por cálculo en la zona de empalme

12.15.3 — Los empalmes soldados o mecánicos utilizados donde el área de refuerzo proporcionada es menor del doble de la requerida por el análisis, deben cumplir con los requisitos de 12.14.3.2 o de 12.14.3.4.

12.15.4 — Los empalmes soldados o mecánicos que no cumplen con los requisitos de 12.14.3.2 ó 12.14.3.4 se permiten para barras No. 16 o menores si cumplen con 12.15.4.1. a 12.15.4.3:

12.15.4.1 — Los empalmes deben estar escalonados cuando menos 600 mm.

12.15.4.2 — Al calcular las fuerzas de tracción que pueden ser desarrolladas en cada sección, el esfuerzo en el refuerzo empalmado debe tomarse como la resistencia especificada del empalme, pero no mayor que f_y . El esfuerzo en el refuerzo no empalmado debe tomarse como f_y veces la relación entre la menor longitud anclada más allá de la sección y ℓ_d , pero no mayor que f_y .

12.15.4.3 — La fuerza de tracción total que puede ser desarrollada en cada sección debe ser de al menos el doble que la requerida por el análisis, y al menos 140 MPa veces el área total del refuerzo proporcionado.

12.15.5 — Los empalmes en elementos de amarre en tracción se deben hacer con un empalme soldado o mecánico completo, de acuerdo con 12.14.3.2 ó 12.14.3.4, y los empalmes en las barras adyacentes deben estar escalonados por lo menos a 750 mm.

R12.15.3 — Un empalme soldado o mecánico debe desarrollar, por lo menos, un 125% de la resistencia a la fluencia especificada cuando se encuentra localizado en regiones con tracciones en el refuerzo elevadas. Dichos empalmes no necesitan estar escalonados, aunque dicho escalonamiento es aconsejable donde el área de refuerzo es menos del doble de la requerida por cálculo.

R12.15.4 — Véase R12.14.3.5. La sección R12.15.4. describe la situación donde se puede utilizar empalmes soldados o uniones mecánicas de menor resistencia que el 125% de la resistencia a la fluencia especificada del refuerzo. Se relajan los requisitos para empalmes donde éstos están alternados y se dispone de un área de refuerzo en exceso. El criterio del doble de la fuerza de tracción calculada se emplea para incluir secciones que contengan empalmes parciales en tracción, con diversos porcentajes del acero total continuo. El empalme parcial usual en tracción debe consistir en un cordón de soldadura entre las barras o entre una barra y una pieza de acero estructural.

Para detallar este tipo de soldadura, su longitud debe estar especificada. Estas soldaduras están clasificadas como el producto de la longitud total de la soldadura y el tamaño de la soldadura de ranura (que se establece mediante el tamaño de la barra) por el esfuerzo de diseño permitido por el “**Structural Welding Code Reinforced Steel**” (ANSI/AWS D1.4).

Se puede usar un empalme soldado o mecánico total de acuerdo con 12.14.3.2. ó 12.14.3.4. sin el requisito de escalonamiento en vez de las soldaduras o conexiones mecánicas de baja resistencia.

R12.15.5 — Un elemento de amarre en tracción tiene las siguientes características: un elemento que tiene una fuerza de tracción axial suficiente para crear tracción sobre la sección transversal; un nivel tal de esfuerzo en el refuerzo que todas las barras deben ser completamente efectivas; y un recubrimiento limitado de concreto en todos sus lados. Algunos elementos que, como ejemplo, se pueden clasificar como elementos de amarre en tracción son tensores en arcos, tirantes que transmiten la carga a una estructura de soporte superior y elementos principales de tracción en una cercha.

Para determinar si un elemento debe clasificarse como elemento de amarre en tracción, debe prestarse atención a la importancia, función, proporciones y condiciones de esfuerzo del mismo en relación con las características antes mencionadas. Por ejemplo, un tanque circular grande de uso común con muchas barras y con empalmes bien escalonados con suficiente espaciamiento no debe clasificarse como un elemento de amarre en tracción, lo que permite el uso de empalmes por traslapo Clase B.

12.16 — Empalmes de barras corrugadas a compresión

12.16.1 — La longitud de un empalme por traslapeo en compresión debe ser de $0.07f_y d_b$, para f_y igual a 420 MPa o menor, o $(0.13f_y - 24)d_b$ para f_y mayor que 420 MPa, pero no debe ser menor que 300 mm. Para f'_c menor que 20 MPa, la longitud del empalme por traslapeo debe incrementarse en 1/3.

12.16.2 — Cuando se empalman por traslapeo barras de diferente diámetro en compresión, la longitud del empalme por traslapeo debe ser la mayor de l_{dc} de la barra de tamaño mayor, o la longitud del empalme por traslapeo de la barra de diámetro menor. Se permite empalmar por traslapeo barras No. 43 y No. 57 con barras de diámetro No. 36 y menores.

12.16.3 — Los empalmes soldados o mecánicos usados en compresión deben cumplir con los requisitos de 12.14.3.2 ó 12.14.3.4.

12.16.4 — Empalmes a tope

12.16.4.1 — En las barras que se requieren sólo para compresión, se permite transmitir el esfuerzo de compresión por apoyo directo a través de cortes a escuadra, mantenidos en contacto concéntrico por medio de un dispositivo adecuado.

R12.16 — Empalmes de barras corrugadas a compresión

La investigación sobre adherencia ha estado principalmente relacionada con barras en tracción. El comportamiento por adherencia de las barras en compresión no se dificulta por el problema del agrietamiento transversal de tracción, y por lo tanto, los empalmes en compresión no requieren de disposiciones tan estrictas como las especificadas para los empalmes en tracción. Las longitudes mínimas para los empalmes por traslapeo en columnas, originalmente incluidas en la edición 1956 del reglamento, se han conservado en ediciones posteriores extendiéndolas también a barras sometidas a compresión en vigas y a aceros de mayor resistencia. Desde la edición 1971 del reglamento no se ha hecho ningún cambio en las especificaciones para empalmes en compresión.

R12.16.1 — Esencialmente, los requisitos de empalmes por traslapeo para los empalmes en compresión han permanecido iguales desde la edición 1963 del reglamento.

Los valores dados en la edición de 1963 se modificaron en 1971 para reconocer diversos grados de confinamiento y para permitir diseños con refuerzo con una resistencia especificada a la fluencia hasta de 550 MPa. Ensayos^{12.1.12.25} han demostrado que la resistencia de los empalmes en compresión depende considerablemente del apoyo en el extremo y, por consiguiente, no aumentan de resistencia de manera proporcional cuando se duplica la longitud de dichos empalmes. Por lo tanto, para resistencias a la fluencia especificada de más de 420 MPa, las longitudes de empalmes por traslapeo en compresión se han incrementado de manera significativa, excepto cuando existe confinamiento por espirales (como en las columnas con espiral) donde el aumento es aproximadamente del 10% para un incremento en la resistencia a la fluencia especificada de 420 MPa hasta 520 MPa.

R12.16.2 — La longitud del empalme por traslapeo debe calcularse basada en la mayor entre: la longitud de empalme en compresión de la barra de tamaño menor, o la longitud de desarrollo en compresión de la barra de tamaño mayor. Por lo general, los empalmes por traslapeo están prohibidos para barras, No. 43 y No. 57; no obstante, sólo para compresión se permiten empalmes por traslapeo de barras No. 43 o No. 57 a barras No. 36 o menores.

R12.16.4 — Empalmes a tope

R12.16.4.1 — La experiencia con empalmes de tope ha sido casi exclusivamente con barras verticales en columnas. Cuando las barras están significativamente inclinadas con respecto a la vertical, se requiere atención especial para garantizar que se logre y se mantenga el contacto adecuado de apoyo en el extremo.

12.16.4.2 — Los extremos de las barras deben terminar en superficies planas que formen un ángulo recto con el eje de la barra, con una tolerancia de 1.5° , y deben ser ajustadas con una tolerancia de 3° respecto al apoyo completo después del ensamble.

12.16.4.3 — Los empalmes de tope se deben usar únicamente en elementos que tengan estribos cerrados o espirales.

12.17 — Requisitos especiales de empalmes para columnas

12.17.1 — Los empalmes por traslapo, empalmes mecánicos, empalmes soldados a tope, conexiones mecánicas, o empalmes de tope deben usarse, con las limitaciones de 12.17.2 a la 12.17.4. Los empalmes deben satisfacer los requisitos para todas las combinaciones de carga de la columna.

12.17.2 — Empalmes por traslapo en columnas

12.17.2.1 — Cuando el esfuerzo en las barras debido a las cargas mayoradas es de compresión, los empalmes por traslapo deben cumplir con 12.16.1, 12.16.2, y cuando sea aplicable 12.17.2.4 o 12.17.2.5.

12.17.2.2 — Cuando el esfuerzo en las barras debido a las cargas mayoradas es de tracción, y no excede $0.5f_y$ en tracción, los empalmes por traslapo por tracción deben ser Clase B si más de la mitad de las barras se empalman en cualquier sección, o empalmes por traslapo por tracción de Clase A si la mitad o menos de las barras están empalmadas por traslapo en cualquier sección, y los empalmes por traslapo tomados alternadamente están escalonados una distancia l_d .

12.17.2.3 — Cuando el esfuerzo en las barras debido a las cargas mayoradas es mayor que $0.5f_y$ en tracción, los empalmes por traslapo por tracción deben ser Clase B.

R12.16.4.2 — Estas tolerancias se incluyeron en la edición de 1971, representando la práctica basada en ensayos de elementos de tamaño natural con barras No. 57.

R12.16.4.3 — Esta limitación se incluyó en la edición de 1971 para garantizar una resistencia mínima al cortante en secciones con empalmes de tope.

R12.17 — Requisitos especiales de empalmes para columnas

En columnas sometidas a cargas axiales y de flexión, se pueden presentar esfuerzos por tracción en una cara de la columna con excentricidades grandes o moderadas, tal como se muestra en la Fig. R12.17. Cuando dichas tracciones se presentan, 12.17 especifica que deben utilizarse empalmes de tracción, o en su defecto, proporcionarse una resistencia a la tracción adecuada. Además, se requiere de una capacidad mínima a la tracción en cada cara de las columnas, aun cuando el análisis indique únicamente compresión.

La edición de 1989 clarificó esta sección considerando que un empalme por traslapo en compresión tiene una capacidad a tracción de por lo menos un cuarto de f_y , lo que simplifica los requisitos de cálculo sugeridos en las ediciones anteriores.

Debe notarse que el empalme en columnas debe satisfacer requisitos para todas las combinaciones de carga de la columna. Frecuentemente, la combinación básica de carga gravitacional tiene prioridad en el diseño de la columna misma, pero una combinación de carga que incluya viento o sismo puede inducir una tracción mayor en algunas barras de las columnas, y los empalmes para columnas deben diseñarse para esta tracción.

R12.17.2 — Empalmes por traslapo en columnas

R12.17.2.1 — La edición de 1989 del ACI 318 se simplificó para barras en columnas que están siempre en compresión, considerando que un empalme por traslapo en compresión tiene adecuada resistencia a tracción para excluir requisitos especiales.

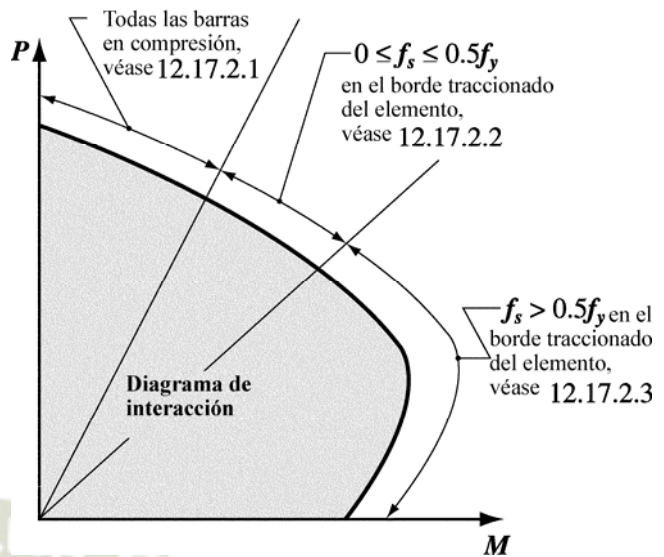


Fig. R12.17 — Requisitos especiales para empalmes en columnas

12.17.2.4 — En elementos sometidos a compresión en que los estribos a lo largo de toda la longitud del empalme por traslapeo tengan un área efectiva no menor que **0.0015hs**, se permite multiplicar la longitud del empalme por traslapeo por 0.83, pero la longitud del empalme por traslapeo no debe ser menor que 300 mm. Las ramas del estribo perpendicular a la dimensión **h** deben usarse para determinar el área efectiva.

R12.17.2.4 — Se permiten longitudes reducidas de empalme por traslapeo cuando el empalme está encerrado en toda su longitud por un número mínimo de estribos.

Las ramas del estribo perpendiculares a cada dirección se calculan por separado y el requisito debe ser satisfecho en cada dirección. Esto se ilustra en la Fig. R12.17.2, en donde cuatro ramas son efectivas en una dirección y dos ramas en la otra dirección. Este cálculo es crítico en una dirección que normalmente puede determinarse por inspección.

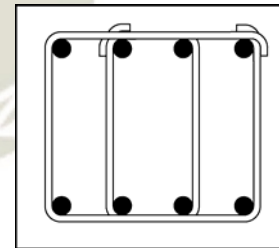


Fig. R12.17.2 — Para calcular el área efectiva se utilizan las ramas del estribo que cruzan el eje de flexión. En el caso mostrado son efectivas cuatro ramas

12.17.2.5 — En elementos sometidos a compresión con espirales, se permite multiplicar la longitud del empalme por traslapeo de las barras dentro de la espiral por 0.75, pero dicha longitud no debe ser menor de 300 mm.

R12.17.2.5 — Las longitudes de los empalmes por traslapeo en compresión pueden reducirse cuando el empalme por traslapeo está encerrado en toda su longitud por espirales, debido a la mayor resistencia al hendimiento. Las espirales deben cumplir con los requisitos de 7.10.4 y 10.9.3.

12.17.3 — Empalmes soldados o mecánicos en columnas

Los empalmes soldados o mecánicos en columnas deben cumplir con los requisitos de 12.14.3.2 ó 12.14.3.4.

R12.17.3 — Empalmes soldados o mecánicos en columnas

Se permiten empalmes soldados o mecánicos en columnas, pero deben estar diseñados como un empalme de soldadura completa o una conexión mecánica total que desarrolla 125% de f_y , tal como lo exigen 12.14.3.2 ó 12.14.3.4. Tradicionalmente se prueba la capacidad del empalme en tracción, y se exige la resistencia completa para reflejar las

12.17.4 — Empalmes a tope en columnas

Se permite usar empalmes a tope que cumplan con 12.16.4 para barras de columnas sometidas a esfuerzos de compresión con la condición de que los empalmes estén escalonados o que se especifiquen barras adicionales en las zonas de empalme. Las barras que continúan en cada cara de la columna deben tener una resistencia a la tracción, basada en f_y , no menor que $0.25f_y$ veces el área del refuerzo vertical en esa cara.

12.18 — Empalmes de refuerzo electrosoldado de alambre corrugado a tracción

12.18.1 — La longitud mínima del empalme por traslape de refuerzo electrosoldado de alambre corrugado, medida entre los extremos de cada refuerzo electrosoldado individual, no debe ser menor que la mayor de $1.3\ell_d$ y 200 mm, y la longitud de traslape medida entre los alambres transversales más alejados de cada refuerzo electrosoldado individual no debe ser menor que 50 mm, donde ℓ_d se calcula para desarrollar f_y de acuerdo con 12.7.

12.18.2 — Los empalmes por traslape de refuerzo electrosoldado de alambre corrugado, sin un alambre transversal dentro de la longitud del empalme por traslape, se deben determinar de manera similar a los del alambre corrugado.

12.18.3 — Cuando se presenta un alambre liso en el refuerzo electrosoldado de alambre corrugado en la dirección del empalme por traslape, o cuando se está empalmado por traslape un refuerzo electrosoldado de alambre corrugado con un refuerzo electrosoldado de alambre liso, el refuerzo electrosoldado debe ser empalmado por traslape de acuerdo con 12.19.

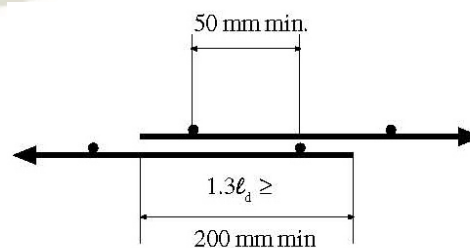
elevadas cargas de compresión posibles de alcanzar en el refuerzo de columnas debido a los efectos de flujo plástico. Si se usa un empalme mecánico que desarrolle menos que un empalme mecánico total, entonces el empalme debe cumplir todos los requisitos para un empalme de tope de 12.16.4 y 12.17.4.

R12.17.4 — Empalmes a tope en columnas

Los empalmes de tope usados para empalmar barras de columnas que están siempre sometidas a compresión deben tener una capacidad de tracción del 25% de la resistencia a la fluencia especificada del área de acero en cada cara de la columna, ya sea escalonando los empalmes de tope o agregando barras adicionales a lo largo del empalme. Los empalmes de tope deben cumplir con 12.16.4.

R12.18 — Empalmes de refuerzo electrosoldado de alambre corrugado a tracción

Las disposiciones de empalme para refuerzo electrosoldado de alambre corrugado se basan en los ensayos disponibles.^{12,26} Los requisitos se simplificaron (suplemento del reglamento de 1976) respecto a las disposiciones del reglamento de 1971, suponiendo que sólo un alambre transversal en cada refuerzo electrosoldado individual está superpuesto y calculando la longitud de empalme como $1.3\ell_d$. La longitud de desarrollo ℓ_d es la calculada de acuerdo con las disposiciones de 12.7, sin tomar en consideración el mínimo de 200 mm. Los 200 mm se aplican a la totalidad de la longitud del empalme. Véase la Fig. R12.18. Si no hay alambres transversales dentro de la longitud de empalme por traslape, se pueden aplicar las disposiciones para alambre corrugado.



(a) Sección 12.18.1



(b) Sección 12.18.2

Fig. R12.18 — Empalmes por traslape en refuerzo electrosoldado de alambre corrugado

12.19 — Empalmes de refuerzo electrosoldado de alambre liso a tracción

La longitud mínima de empalmes por traslape de refuerzo electrosoldado de alambre liso debe cumplir con 12.19.1 y 12.19.2

12.19.1 — Donde A_s suministrada es menor que 2 veces la requerida por el análisis en la zona del empalme, la longitud del traslape, medida entre los alambres transversales más alejados de cada refuerzo electrosoldado individual, no debe ser menor que el mayor de un espaciamiento de los alambres transversales más 50 mm, $1.5\ell_d$, y 150 mm. ℓ_d se calcularse de acuerdo con 12.8 para desarrollar f_y .

12.19.2 — Donde A_s suministrada es por lo menos el doble de la requerida por análisis en la ubicación del empalme, la longitud del traslape, medida entre los alambres transversales más alejados de cada hoja de refuerzo electrosoldado, no debe ser menor que la mayor de $1.5\ell_d$ y 50 mm. ℓ_d debe calcularse de acuerdo con 12.8 para desarrollar f_y .

R12.19 — Empalmes de refuerzo electrosoldado de alambre liso a tracción

La resistencia de los empalmes por traslape de refuerzo electrosoldado de alambre liso depende fundamentalmente del anclaje obtenido en los alambres transversales y no de la longitud del alambre en el empalme. Por esta razón, se especifica el empalme en términos de superposición de los alambres transversales y no en diámetros del alambre o en milímetros. El requisito de longitud traslapada adicional de 50 mm tiene el objeto de asegurar la superposición de los alambres transversales y proporcionar espacio para la compactación satisfactoria del concreto entre éstos. La investigación^{12,27} ha demostrado que se requiere una mayor longitud de traslape cuando se empalma un refuerzo electrosoldado de alambres de diámetro grande con poca separación, y como consecuencia, se proporcionan requisitos de longitud adicional del empalme para estos refuerzos electrosoldados, además de un mínimo adicional absoluto de 150 mm. La longitud de desarrollo ℓ_d , es la calculada de acuerdo con las disposiciones de 12.8, sin tomar en consideración el mínimo de 150 mm. Los requisitos para el empalme se ilustran en la Fig. R12.19.

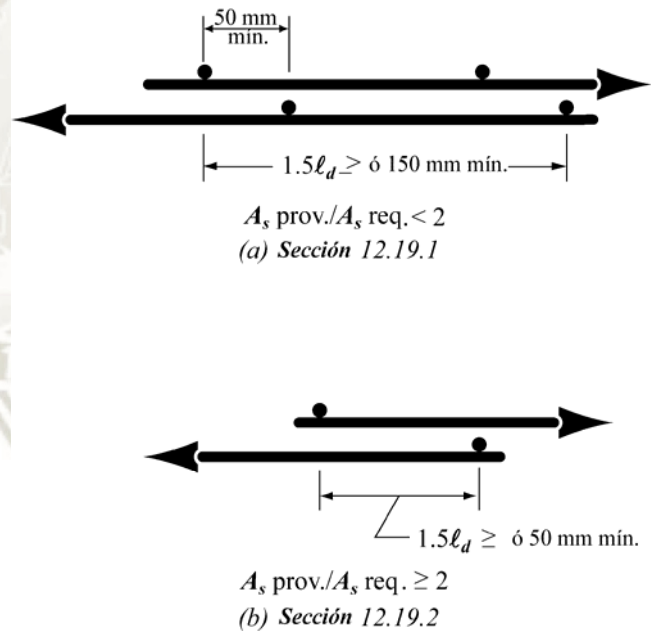


Fig. R12.19 — empalmes por traslape en refuerzo electrosoldado de alambre liso