

**APLICACIÓN DEL CÓDIGO AASHTO/AWS D 1.5 2002 EN LA SOLDADURA  
DE PUENTES VEHICULARES**

**MANUEL JOSÉ ANDRADE ROMERO**

**RAFAEL ANDRÉS DOMINGUEZ TÁMARA**

**WILMER PINZÓN OLARTE**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES  
BUCARAMANGA**

**2004**

**APLICACIÓN DEL CÓDIGO AASHTO/AWS D 1.5 2002 EN LA SOLDADURA  
DE PUENTES VEHICULARES**

**MANUEL JOSÉ ANDRADE ROMERO**

**RAFAEL ANDRÉS DOMINGUEZ TÁMARA**

**WILMER PINZÓN OLARTE**

**Tesis de grado para optar al título de: Ingeniero Metalúrgico**

**Director:**

**Ph D. Orlando José Gómez Moreno**

**Co-director:**

**Ing. Alirio Cárdenas**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES  
BUCARAMANGA**

**2004**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores desean expresar los más sinceros agradecimientos a las personas que con su apoyo, ayuda y sabiduría nos brindaron las pautas suficientes para emprender este camino y culminarlo con éxito.

Aunque las palabras nos quedan cortas...

De todo corazón GRACIAS:

A DIOS, padre y creador de nuestro ser.

A NUESTROS PADRES por su comprensión, paciencia y sacrificios y sobre todo por su AMOR.

A NUESTROS FAMILIARES Y AMIGOS por su confianza y tolerancia.

AL Dr. ORLANDO JOSÉ GÓMEZ MORENO director del proyecto por todas sus enseñanzas y tolerancia.

AL ING. ALIRIO CÁRDENAS codirector del proyecto, por el apoyo brindado.

AL ING. JORGE IVÁN BAEZ LARROTA por el apoyo.

A LA ING. MARIA LILIANA MENESES, por su apoyo incondicional.

AL ING. WILSON VESGA, por su apoyo técnico, colaboración en el desarrollo del proyecto y la amistad.

AL GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE SOLDADURA Y TECNOLOGÍAS DE UNIÓN por su colaboración incondicional.

AL GRUPO DE TÉCNICOS DE LA ESCUELA DE ING. METLÚRGICA: MARIO NAVARRETE, DANIEL GARAVITO, HECTOR GAITÁN, FERMIN GÓMEZ Y AMBROSIO CARRILLO.

A LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, por el espacio que nos brinda para ser parte activa de la sociedad, por su formación integral, por todo.

A HB SADELEC ESTRUCTURAS S.A, COOPERATIVA FORMAMOS, SENA, por su contribución para el desarrollo de esta investigación.

## **DEDICATORIA**

A DIOS todopoderoso por ser ese ser que me dio la vida y la sabiduría para estar en lugar donde estoy.

A mis padres BEATRIZ ROMERO y MANUEL ANDRADE por que me han guiado en la vida inculcándome los buenos valores y entregándome su amor, apoyo y sacrificio para que este sueño se haga realidad.

A mi hermana ANA MILENA por ser una de las gestoras y motor de mi vida.

A esa persona especial por la comprensión y cariño que posibilitaron la consecución de una de mis metas.

A todos mis amigos de la U y los de Santa Marta que siempre estuvieron ahí brindándome una voz de aliento así como muchas noches de parranda.

A mi caribe (en especial a SANTA MARTA) lleno de música, amor y alegría en cada uno de sus esquinas.

**MANUEL JOSÉ ANDRADE ROMERO**

## **DEDICATORIA**

A DIOS por todos los dones que me ha dado, los cuales me han llevado a ser una mejor persona cada día.

A mis padres NOEL PINZÓN y ESPERANZA OLARTE por su paciencia, esfuerzo y apoyo que me brindaron para lograr mis metas.

A mi hermano JHOSMAN PINZÓN por ser un amigo y alentarme siempre a seguir adelante.

A mi familia por su amor y confianza.

A mis compañeros y amigos que de una u otra manera me ofrecieron su apoyo y amistad sin esperar nada a cambio.

**WILMER PINZON OLARTE**

## **DEDICATORIA**

A DIOS por el maravilloso don de la vida, por darme sabiduría y por la oportunidad de ser alguien mejor.

A mi madre SARA TAMARA por su amor, confianza , apoyo y sacrificio para que este sueño se haga realidad.

A la memoria de mi padre RAFAEL DOMINGUEZ por todas sus enseñanzas y por ser el ejemplo a seguir en mi formación personal y profesional.

A mis hermanas MABEL, MARIA VICTORIA y en especial a JULIE por su cariño, confianza y apoyo en todo momento.

A mis sobrinos y demás familiares por todo su cariño y por ser un motivo más para salir adelante.

A JOHANA GARCIA por todo su amor y apoyo incondicional.

A mis amigos de la universidad en especial al viejo MANE y al viejo WILMER por su apoyo, colaboración y paciencia en los momentos de dificultades durante la realización de este trabajo.

Y a todas aquellas personas que me han extendido su mano y que de una u otra forma contribuido para el alcance de mis metas.

**RAFAEL ANDRES DOMINGUEZ TAMARA**

## **TABLA DE CONTENIDO**

	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1. HISTORIA DE LOS PUENTES</b>	<b>2</b>
<b>1.1 LA ESTRUCTURA METÁLICA EN LA INDUSTRIA CIVIL COLOMBIANA (PUENTES)</b>	<b>9</b>
<b>2. GENERALIDADES</b>	<b>14</b>
<b>2.1 OBJETIVO GENERAL</b>	<b>14</b>
<b>2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>14</b>
<b>3. GENERALIDADES DE LOS ACEROS</b>	<b>15</b>
<b>3.1 ALEACIONES HIERRO-CARBONO</b>	<b>15</b>
3.1.1 Generalidades sobre la solubilidad de los metales	16
3.1.2 Microestructuras típicas de los aceros estructurales	16
<b>4. CONSIDERACIONES TECNOLOGICAS PARA LAS CONSTRUCCIONES SOLDADAS</b>	<b>21</b>
<b>4.1 IMPORTANCIA DE LA SOLDADURA</b>	<b>21</b>
4.1.1 Ventajas de la soldadura	21
4.1.2 Desventajas de la soldadura	22
<b>5. METALURGIA DE LA SOLDADURA</b>	<b>23</b>
<b>5.1 ZONAS METALÚRGICAS DE UNA SOLDADURA EN FUNCIÓN DE LOS CAMBIOS DE TEMPERATURA</b>	<b>24</b>

<b>5.2</b>	<b>ESTRUCTURAS METALÚRGICAS DEL METAL DE SOLDADURA</b>	<b>29</b>
<b>5.3</b>	<b>SOLDABILIDAD</b>	<b>31</b>
5.3.1	Factores que influyen en la soldabilidad	31
<b>6.</b>	<b>CODIGO AASHTO/AWS D1.5 2002: CODIGO PARA SOLDADURA DE PUNTES</b>	<b>37</b>
<b>6.1</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>37</b>
6.1.1	Disposiciones Generales	37
6.1.2	Diseño de conexiones soldadas	38
6.1.3	Mano de obra	39
6.1.4	Técnica	39
6.1.5	Calificación	41
6.1.6	Inspección	46
6.1.7	Soldadura de esparragos	51
6.1.8	Plan de control de fractura (FCP) AASHTO/AWS para miembros no redundantes	52
<b>6.2</b>	<b>DEFINICIONES</b>	<b>52</b>
6.2.1	Variables esenciales.	52
6.2.2	Variables esenciales suplementarias.	52
6.2.3	Variables no esenciales.	53
6.2.4	WPS, WPQ y PQR	53
<b>6.3</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>53</b>
6.3.1	Parte A: Calificación de la especificación del procedimiento de soldadura	54
6.3.1.1	Responsabilidad de la calificación.	54
6.3.1.2	Duración	54
6.3.1.3	Metal base	55

6.3.1.4	Consumibles para soldadura	55
6.3.1.5	Espesor de placa de prueba	56
6.3.1.6	Requisitos generales para calificación del WPS	56
6.3.1.7	Posiciones de pruebas de soldadura	57
6.3.1.8	Opciones para la calificación o precalificación del WPS	57
6.3.1.9	Calificación del WPS de soldadura de filete	57
6.3.1.10	WPS precalificado	60
6.3.1.11	Entrada de calor en el WPS	60
6.3.1.12	WPS de producción	62
6.3.1.13	Procesos ESW y EGW	64
6.3.1.14	Tipos de pruebas y propósitos	65
6.3.1.15	Muestras de soldadura, número, tipo y preparación	65
6.3.1.16	Pruebas no destructivas	66
6.3.1.17	Método de ensayo de muestras	66
6.3.1.18	Resultados requeridos en los ensayos	66
6.3.1.19	Reprueba	69
6.3.2	Parte B. Calificación del soldador, operario de soldadura y punteador.	69
6.3.2.1	Calificación de la posición de la soldadura de producción	70
6.3.2.2	Requisitos de la prueba de calificación	71
<b>7.</b>	<b>ANÁLISIS TEÓRICO COMPARATIVO ENTRE LOS CÓDIGOS AWS D 1.1 2000 Y AASHTO/AWS D 1.5 2002</b>	<b>72</b>
<b>7.1</b>	<b>RESEÑA HISTORICA DE LOS CÓDIGOS</b>	<b>72</b>
<b>7.2</b>	<b>PRESENTACIÓN GENERAL DEL CÓDIGO AWS D1.1/2000: PARA SOLDADURA DE ACERO ESTRUCTURAL</b>	<b>74</b>
<b>7.3</b>	<b>PRESENTACIÓN GENERAL DEL CÓDIGO AASHTO/AWS D 1.5 2002</b>	<b>75</b>
<b>7.4</b>	<b>APLICABILIDAD DE LOS CÓDIGOS AASHTO/AWS D 1.5 2002 (Bridge Welding Code) Y AWS D 1.1 2000 (Estructural Welding Code Steel)</b>	<b>77</b>

<b>7.5 DIFERENCIAS DE LAS VARIABLES ESENCIALES ENTRE LOS CÓDIGOS AWS D1.1 2000 Y AASHTO/AWS D 1.5 2002</b>	<b>79</b>
<b>7.6 COMENTARIOS GENERALES DE LA DIFERENCIACIÓN ENTRE LOS CÓDIGOS AASHTO/AWS D 1.5 2002 (<i>Bridge Welding Code</i>) Y AWS D 1.1 2000 (<i>Estructural Welding Code Steel</i>)</b>	<b>82</b>
<b>8. MATERIALES Y EQUIPOS</b>	<b>85</b>
<b>9. DESARROLLO EXPERIMENTAL</b>	<b>90</b>
<b>9.1. ELABORACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b>	<b>90</b>
<b>9.2. CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b>	<b>93</b>
<b>9.3. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LA SOLDADURA</b>	<b>99</b>
<b>10. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS</b>	<b>101</b>
<b>10 .1. RESULTADOS</b>	<b>101</b>
<b>10.2. ANALISIS DE RESULTADOS</b>	<b>141</b>
10.2.1 Evaluación de la soldabilidad operativa	141
10.2.2. Evaluación de la soldabilidad metalúrgica	144
<b>11. SECUENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN DE UN PUENTE VEHICULAR (REGISTRO FOTOGRÁFICO)</b>	<b>151</b>
<b>11.1. DISEÑO (PLANOS)</b>	<b>151</b>
<b>11.2. ELABORACIÓN Y CALIFICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS, Y PERSONAL DE SOLDADURA SEGÚN CÓDIGO AASHTO/AWS D1.5 2002.</b>	<b>151</b>

<b>11.3. IMPORTE DE MATERIA PRIMA</b>	<b>152</b>
<b>11.4. MARCADO, CORTE, PREPARACIÓN</b>	<b>153</b>
<b>11.5. MONTAJE (APLICACIÓN DE SOLDADURA).</b>	<b>154</b>
<b>11.6. INSPECCIÓN DE CAJONES POR ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS</b>	<b>157</b>
<b>12. CONCLUSIONES</b>	<b>158</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>160</b>
<b>ANEXO 1</b>	<b>162</b>
<b>ANEXO 2</b>	<b>165</b>
<b>ANEXO 3</b>	<b>166</b>
<b>ANEXO 4</b>	<b>169</b>
<b>ANEXO 5</b>	<b>172</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág
<b>Figura 1 Foto del Puente de Occidente</b>	<b>9</b>
<b>Figura 2. Foto del Puente ferroviario de Girardot el día de su prueba de carga</b>	<b>9</b>
<b>Figura 3. Foto del Puente sobre el río Magdalena: Puerto Salgar-La Dorada</b>	<b>10</b>
<b>Figura 4. Foto del Puente sobre el río Cocorná</b>	<b>11</b>
<b>Figura 5. Foto del Puente Mariano Ospina Perez</b>	<b>11</b>
<b>Figura 6. Foto del Puente Caño limón</b>	<b>12</b>
<b>Figura 7. Foto del Puente sobre la Quebrada Colorada</b>	<b>12</b>
<b>Figura 8. Foto del Puente Chirajará</b>	<b>13</b>
<b>Figura 9. Diagrama Hierro Carbono</b>	<b>16</b>
<b>Figura 10. Microestructura del acero al carbono, cristales blancos de ferrita</b>	<b>17</b>
<b>Figura 11. Microestructura del acero 1%C, red blanca de cementita</b>	<b>18</b>
<b>Figura 12. Microestructura del acero al carbono, cristales oscuros de perlita</b>	<b>18</b>
<b>Figura 13. Microestructura de la austenita</b>	<b>19</b>
<b>Figura 14. Microestructura de la martensita</b>	<b>19</b>
<b>Figura 15. Zonas metalúrgicas de la soldadura</b>	<b>25</b>
<b>Figura 16. Relación entre las temperaturas experimentadas en varias regiones de una soldadura y su correlación con el diagrama Fe-Fe<sub>3</sub>C</b>	<b>28</b>
<b>Figura 17. Susceptibilidad al agrietameinto de HAZ como una función del contenido de carbono y el carbono equivalente</b>	<b>33</b>
<b>Figura 18. Requisitos de calidad de la soldadura para discontinuidades que ocurren en soldaduras a tensión (Limitaciones de porosidad y discontinuidades de fusión)</b>	<b>50</b>

<b>Figura 19. Requisitos de calidad de la soldadura para discontinuidades que ocurren en soldaduras a compresión (Limitaciones de porosidad y discontinuidades de fusión)</b>	<b>51</b>
<b>Figura 20. Placa de prueba A para calificación o preprueba del WPS</b>	<b>58</b>
<b>Figura 21. Placa de prueba B para verificación del WPS</b>	<b>59</b>
<b>Figura 22. Placa de prueba para la calificación del WPS de una soldadura de filete por medio del ensayo de sanidad (macroataque)</b>	<b>61</b>
<b>Figura 23. Ensayo de doblez guiado</b>	<b>67</b>
<b>Figura 24. Foto de los discos para corte, desbaste y pulido de las probetas</b>	<b>85</b>
<b>Figura 25. Foto de la máquina universal de ensayo de doblez y tensión</b>	<b>86</b>
<b>Figura 26. Foto del embolo de doblez Guiado</b>	<b>86</b>
<b>Figura 27. Foto de la máquina de soldadura Idealarc 250 SAW</b>	<b>87</b>
<b>Figura 28. Foto de la máquina de soldadura Idealarc 250 SMAW</b>	<b>87</b>
<b>Figura 29. Cortadora mecánica con disco de carborundum.</b>	<b>88</b>
<b>Figura 30. Desbastadoras manuales.</b>	<b>88</b>
<b>Figura 31. Pulidora rotatoria</b>	<b>88</b>
<b>Figura 32. Microscopio Binocular OLYMPUS TH3 34380</b>	<b>89</b>
<b>Figura 33. Lupa óptica</b>	<b>89</b>
<b>Figura 34. Microscopio Versamet</b>	<b>89</b>
<b>Figura 35. Escleroscopio Leitz Durimet con penetrador de diamante para dureza Vickers.</b>	<b>89</b>
<b>Figura 36. Analizador de imágenes Leica. Q500MC</b>	<b>89</b>
<b>Figura 37. Esquema de la secuencia del desarrollo experimental</b>	<b>91</b>
<b>Figura 38. Especificación del procedimiento de soldadura.</b>	<b>92</b>
<b>Figura 39. Foto de la preparación de cupón de calificación del WPS</b>	<b>93</b>

<b>Figura 40. Foto de soldadura con proceso SMAW en posición 3G ascendente.</b>	<b>93</b>
<b>Figura 41. Foto de soldadura con proceso SAW Automático en posición 1G</b>	<b>94</b>
<b>Figura 42. Foto de soldadura con proceso SAW Semi-Automático en posición 1G</b>	<b>94</b>
<b>Figura 43. Foto del ensayo de gammagrafía industrial</b>	<b>94</b>
<b>Figura 44. Foto del cupón de prueba cortado y probetas de ensayos mecánicos</b>	<b>95</b>
<b>Figura 45. Foto de la prueba de tensión de sección reducida</b>	<b>96</b>
<b>Figura 46. Prueba de dobléz</b>	<b>96</b>
<b>Figura 47. Prueba de macroataque</b>	<b>96</b>
<b>Figura 48. Registro de calificación del procedimiento (PQR)</b>	<b>97</b>
<b>Figura 49. (continuación) Registro de calificación del procedimiento (PQR)</b>	<b>97</b>
<b>Figura 50. Distribución de los barridos en la determinación de microdurezas</b>	<b>99</b>
<b>Figura 51. Procedimiento de soldadura (WPS) 001</b>	<b>102</b>
<b>Figura 52. Registro de calificación del procedimiento (PQR) 001</b>	<b>103</b>
<b>Figura 53. (Continuación) Registro de calificación del procedimiento (PQR) 001</b>	<b>104</b>
<b>Figura 54. Micrografía detallada del procedimiento 001</b>	<b>105</b>
<b>Figura 55. Metal base 50X del WPS 001</b>	<b>106</b>
<b>Figura 56. Metal base 100X del WPS 001</b>	<b>106</b>
<b>Figura 57. Metal base-ZAT 50X del WPS 001</b>	<b>106</b>
<b>Figura 58. Metal base-ZAT 100X del WPS 001</b>	<b>106</b>
<b>Figura 59. ZAT 50X del WPS 001</b>	<b>106</b>
<b>Figura 60. ZAT 100X del WPS 001</b>	<b>106</b>
<b>Figura 61. ZAT-Metal de soldadura 50X del WPS 001</b>	<b>107</b>
<b>Figura 62. ZAT-Metal de soldadura 100X del WPS 001</b>	<b>107</b>

<b>Figura 63. Metal de soldadura 50X del WPS 001</b>	<b>107</b>
<b>Figura 64. Metal de soldadura 100X del WPS 001</b>	<b>107</b>
<b>Figura 65. Barridos de microdurezas WPS 001</b>	<b>108</b>
<b>Figura 66. Gráfica de microdureza del WPS 001</b>	<b>111</b>
<b>Figura 67. Procedimiento de soldadura (WPS) 002</b>	<b>112</b>
<b>Figura68. Registro de calificación del procedimiento (PQR) 002</b>	<b>113</b>
<b>Figura 69. (Continuación) Registro de calificación del procedimiento (PQR) 002</b>	<b>114</b>
<b>Figura 70. Micrografía detallada del procedimiento 002</b>	<b>115</b>
<b>Figura 71. Metal base 50X del WPS 002</b>	<b>116</b>
<b>Figura 72. Metal base 100X del WPS 002</b>	<b>116</b>
<b>Figura 73.Metal base-ZAT 50X del WPS 002</b>	<b>116</b>
<b>Figura 74. Metal base-ZAT 100X del WPS 002</b>	<b>116</b>
<b>Figura 75. ZAT 50X del WPS 002</b>	<b>116</b>
<b>Figura 76. ZAT 100X del WPS 002</b>	<b>116</b>
<b>Figura 77. ZAT-Metal de soldadura 50X del WPS 002</b>	<b>117</b>
<b>Figura 78. ZAT-Metal de soldadura 100X del WPS 002</b>	<b>117</b>
<b>Figura 79. Metal de soldadura 50X del WPS 002</b>	<b>117</b>
<b>Figura 80. Metal de soldadura 100X del WPS 002</b>	<b>117</b>
<b>Figura 81.Barridos de microdurezas WPS 002</b>	<b>118</b>
<b>Figura 82. Gráfica de microdureza del WPS 002</b>	<b>120</b>
<b>Figura 83. Procedimiento de soldadura (WPS) 003</b>	<b>121</b>
<b>Figura 84. Registro de calificación del procedimiento (PQR) 003</b>	<b>122</b>
<b>Figura 85. (Continuación) Registro de calificación del procedimiento (PQR) 003</b>	<b>123</b>

<b>Figura 86. Micrografía detallada del procedimiento 003</b>	<b>124</b>
<b>Figura 87. Metal base 50X del WPS 003</b>	<b>125</b>
<b>Figura 88. Metal base 100X del WPS 003</b>	<b>125</b>
<b>Figura 89. Metal base-ZAT 50X del WPS 003</b>	<b>125</b>
<b>Figura 90. Metal base-ZAT 100X del WPS 003</b>	<b>125</b>
<b>Figura 91. ZAT 50X del WPS 003</b>	<b>125</b>
<b>Figura 92. ZAT 100X del WPS 003</b>	<b>125</b>
<b>Figura 93. ZAT-Metal de soldadura 50X del WPS 003</b>	<b>126</b>
<b>Figura 94. ZAT-Metal de soldadura 100X del WPS 003</b>	<b>126</b>
<b>Figura 95. Metal de soldadura 50X del WPS 003</b>	<b>126</b>
<b>Figura 96. Metal de soldadura 100X del WPS 003</b>	<b>126</b>
<b>Figura 97. Barridos de microdurezas WPS 003</b>	<b>127</b>
<b>Figura 98. Gráfica de microdureza del WPS 003</b>	<b>130</b>
<b>Figura 99. Procedimiento de soldadura (WPS) 004</b>	<b>131</b>
<b>Figura 100. Registro de calificación del procedimiento (PQR) 004</b>	<b>132</b>
<b>Figura 101. (Continuación) Registro de calificación del procedimiento (PQR) 004</b>	<b>133</b>
<b>Figura 102. Micrografía detallada del procedimiento 004</b>	<b>134</b>
<b>Figura 103. Metal base 50X del WPS 004</b>	<b>135</b>
<b>Figura 104. Metal base 100X del WPS 004</b>	<b>135</b>
<b>Figura 105. Metal base-ZAT 50X del WPS 004</b>	<b>135</b>
<b>Figura 106. Metal base-ZAT 100X del WPS 004</b>	<b>135</b>
<b>Figura 107. ZAT 50X del WPS 004</b>	<b>135</b>
<b>Figura 108. ZAT 100X del WPS 004</b>	<b>135</b>

<b>Figura 109. ZAT-Metal de soldadura 50X del WPS 004</b>	<b>136</b>
<b>Figura 110. ZAT-Metal de soldadura 100X del WPS 004</b>	<b>136</b>
<b>Figura 111. Metal de soldadura 50X del WPS 004</b>	<b>136</b>
<b>Figura 112. Metal de soldadura 100X del WPS 004</b>	<b>136</b>
<b>Figura 113. Barridos de microdurezas WPS 004</b>	<b>137</b>
<b>Figura 114. Gráfica de microdureza del WPS 004</b>	<b>140</b>
<b>Figura 115. Gráfica de las zonas del cordón de soldadura</b>	<b>149</b>
<b>Figura 116. Plano del cajón del puente vehicular de Cambao</b>	<b>151</b>
<b>Figura 117. Foto del almacenamiento de la materia prima</b>	<b>152</b>
<b>Figura 118. Foto del transporte de la materia prima al lugar de corte</b>	<b>152</b>
<b>Figura 119. Foto marcado de la materia prima para el corte</b>	<b>153</b>
<b>Figura 120. Foto del corte de la materia prima por plasma</b>	<b>153</b>
<b>Figura 121. Foto del proceso de oxicorte</b>	<b>154</b>
<b>Figura 122. Foto de la aplicación del proceso SMAW en las láminas</b>	<b>154</b>
<b>Figura 123. Foto de la lámina soldada según el diseño</b>	<b>155</b>
<b>Figura 124. Foto del cajón soldado (vista superior)</b>	<b>155</b>
<b>Figura 125. Foto del cajón soldado (vista frontal 1)</b>	<b>156</b>
<b>Figura 126. Foto de los rigidizadores (ASTM A36)</b>	<b>156</b>
<b>Figura 127. Foto del cajón soldado (vista frontal 2)</b>	<b>157</b>
<b>Figura 128. Foto de la inspección por ensayos no destructivos al puente</b>	<b>157</b>

## **LISTA DE CUADROS**

	<b>Pág</b>
<b>Cuadro 1. Distribución de microdurezas del procedimiento 001</b>	<b>101</b>
<b>Cuadro 2. Distribución de microdurezas del procedimiento 002</b>	<b>118</b>
<b>Cuadro 3. Distribución de microdurezas del procedimiento 003</b>	<b>127</b>
<b>Cuadro 4. Distribución de microdurezas del procedimiento 004</b>	<b>137</b>

## LISTA DE TABLAS

	Pág
<b>Tabla 1. Distinta utilización de los materiales en las sucesivas épocas de la historia</b>	<b>7</b>
<b>Tabla 2. Efecto del carbono equivalente sobre la soldabilidad</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 3. Condiciones de soldadura relacionadas con la energía de entrada</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 4 Temperatura de precalentamiento</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 5. Requisitos del metal de aporte para WPSs calificados en acuerdo con la entrada de calor</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 6. Requisitos del metal de aporte para WPSs calificados en acuerdo con el WPS de producción</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 7. Mínimo precalentamiento y temperatura entre pases</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 8. Guía de control de calidad de técnicas de soldadura</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 9. Requisitos del metal base para su calificación</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 10. Cambios en las variables esenciales que requieren recalificación</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 11. Limitaciones en el tipo y posición de la soldadura para la calificación de soldadores</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 12. Diferencias de variables esenciales entre códigos</b>	<b>79</b>
<b>Tabla 13. Composición química para aceros estructurales</b>	<b>85</b>
<b>Tabla 14. Resultados metalográficos, de microdureza y tamaño de grano del acero ASTM A537 clase 1 de los procedimientos 001 y 002</b>	<b>145</b>
<b>Tabla 15. Resultados metalográficos, de microdureza y tamaño de grano del acero ASTM A572 grado 50 de los procedimientos 003 y 004</b>	<b>148</b>

## ABSTRACT

**TITLE:** APPLICABILITY OF THE CODE AASHTO/AWS D 1.5 2002 IN THE WELDING VEHICULAR BRIDGES.

**AUTHORS:** MANUEL JOSÉ ANDRADE ROMERO\*  
RAFAEL ANDRÉS DOMINGUEZ TÁMARA\*  
WILMER PINZÓN OLARTE\*

**KEY WORDS:** Code AASHTO/AWS D 1.5, Welding, Bridge, Metallurgical Weldability, Structural Steels, WPS Calification, Destructive Testing, Non Destructive Testing.

## DESCRIPCIÓN

The little dependability of the welding like a method of union in the construction of metallic vehicular bridges, as well as the unknowing of the code AASHTO/AWS D 1.5 2002 (Bridge Welding Code) on the part of designers and builders have caused a stagnation of constructions of this type in our country with regard to the world indexes. It is for it that reason becomes necessary the divulgation of the technological, economic and environmental advantages of the welding, creating an atmosphere of trust by means of investigations that allow to evaluate the steels weldability for specific uses applying the respective welding codes.

The present investigation goes directed to evaluate the weldability of the structural steels ASTM A537 Class 1 (I steel to the carbon - manganese) and ASTM A572 Degree 50 (steel of high resistance and low alloy) implementing the content of the code AASHTO/AWS D 1.5 2002. This investigation was developed in three stages: elaboration of the welding procedure specification (WPS), qualification and evaluation. This evaluation was carried out from two points of view: operative weldability by means of non destructive testing (visual inspection and industrial x-ray) and destructive (reduced section tension, side-bend and macroetch) contemplated by the code and metallurgical weldability by means of the metallographic analysis and of hardness.

Additionally, a comparative analysis is presented among the codes AASHTO/AWS D 1.5 2002 (Bridge Welding Code) and AWS D1.1 2000 (Structural Welding Code-Steel), allowing to establish the action fields of each one of them.

## RESUMEN

**TITULO:** APLICACIÓN DEL CÓDIGO AASHTO/AWS D 1.5 2002 EN LA SOLDADURA DE PUENTES VEHICULARES.

**AUTORES:** MANUEL JOSÉ ANDRADE ROMERO  
RAFAEL ANDRÉS DOMINGUEZ TÁMARA  
WILMER PINZÓN OLARTE

**PALABRAS CLAVES:** Código AASHTO/AWS D 1.5, Soldadura, Puente, Soldabilidad Metalúrgica, Aceros Estructurales, Calificación WPS, Ensayos Destructivos, Ensayos No Destructivos.

## DESCRIPCIÓN

La poca confiabilidad de la soldadura como método de unión en la construcción de puentes vehiculares metálicos, así como el desconocimiento del código AASHTO/AWS D 1.5 2002 (código de soldadura de puentes), por parte de diseñadores y constructores ha ocasionado un estancamiento de construcciones de este tipo en nuestro país con respecto a los índices mundiales. Es por ello que se hace necesario la divulgación de las ventajas tecnológicas, económicas y ambientales de la soldadura, creando un ambiente de confianza por medio de investigaciones que permitan evaluar la soldabilidad de aceros para usos específicos aplicando los códigos de soldadura respectivos.

La presente investigación va dirigida a evaluar la soldabilidad de los aceros estructurales ASTM A537 Clase 1 (acero al carbono- manganeso) y ASTM A572 Grado 50 (acero de alta resistencia y baja aleación) implementando el contenido del código AASHTO/AWS D 1.5 2002. Esta investigación se desarrolló en tres etapas: elaboración de las especificaciones de los procedimientos de soldadura (WPS), calificación y evaluación. Dicha evaluación fue realizada desde dos puntos de vista: soldabilidad operativa determinada por medio de ensayos no destructivos (inspección visual y radiografía industrial) y destructivos (tensión de sección reducida, doblez de lado y macroataque) contemplados por el código y soldabilidad metalúrgica por medio de análisis metalográficos y de microdurezas.

Adicionalmente, se presenta un análisis comparativo entre los códigos AASHTO/AWS D 1.5 2002 y AWS D1.1 2000 (código de soldadura de aceros estructurales), permitiendo establecer los campos de acción de cada uno de ellos.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la tendencia en el ámbito nacional en cuanto al uso de aceros y diseños estructurales utilizando métodos de soldadura en la industria de la construcción de obras civiles y enfocadas más específicamente a puentes vehiculares, va aumentando lentamente comparada con los índices mundiales.

La ingeniería actual propone alternativas estructurales que permiten reducir costos de construcción, costos de mantenimiento, disminución en el impacto ambiental, mayor durabilidad (vida útil); siendo esto posible, mediante el uso de materiales más livianos y resistentes, empleando una técnica de unión (**Soldadura**) que permita realizar construcciones con mayor rapidez y libertad de diseño, ofreciendo una alta resistencia, menor peso y disminución en la mano de obra, obteniendo una mayor viabilidad desde el punto de vista económico. Aunque teóricamente las condiciones de trabajo de una construcción soldada presentan muchas ventajas comparadas con otros métodos, se aprecia la poca aplicabilidad y confiabilidad en el ámbito nacional para construcción de puentes vehiculares.

Este proyecto pretende incentivar el uso del acero ASTM A572 Grado 50 (sin llegar a prescindir del uso del acero ASTM A 36), empleando como técnica de unión la soldadura en la construcción de puentes vehiculares, presentando un estudio de la soldabilidad de los aceros propuestos, evaluado bajo el código AASHTO/AWS D1.5 2002, demostrando así a la industria nacional que la aplicación de la soldadura a los aceros propuestos, es fácil y segura, siempre y cuando se aplique adecuadamente el código correspondiente (AWS D1.5 2002), lográndose así una estructura resistente, confiable y de bajo costo. Como complemento de este trabajo se presenta un análisis comparativo de las variables esenciales entre los códigos **AASHTO/AWS D 1.5 2002 (Bridge Welding Code)** y **AWS D 1.1 2000 (Structural Welding Code Steel)**, que permiten establecer los límites en los campos de acción de cada uno de ellos.

## 1. HISTORIA DE LOS PUENTES

A lo largo de la Historia se han empleado cuatro materiales básicos para construir puentes: **la madera, la piedra, el hierro y el hormigón**. A estos cuatro hay que añadir otros dos que se han empleado con menor frecuencia: **el ladrillo**, hecho de arcilla cocida; y **el aluminio**, que se ha utilizado excepcionalmente para construir puentes o partes de ellos. Actualmente se están utilizando también **materiales compuestos**, formados por fibras de materiales muy resistentes incluidos en una matriz de resina, pero todavía estamos lejos de que estos materiales puedan competir en los puentes con los materiales actuales. Los dos primeros, la **madera** y la **piedra**, se pueden considerar naturales porque se obtienen directamente de la naturaleza y se utilizan sin ninguna transformación, únicamente es necesario darles forma. Los otros dos, el **hierro** y el **hormigón**, son artificiales, porque las materias primas extraídas de la naturaleza requieren transformaciones más o menos complejas que cambian sus propiedades físicas.

Los cuatro materiales básicos han dado lugar a variantes y elementos compuestos que, extrapolando el significado de la palabra *material*, podemos considerarlos nuevos materiales.

Los materiales han tenido y tienen una importancia decisiva en la configuración de las estructuras y por tanto de los puentes. Por ello, la historia de éstos se puede dividir en dos grandes períodos: **el período de los puentes de piedra y madera y el período de los puentes de hierro y hormigón**.

En el primer período se utilizaron los dos materiales que hemos considerado naturales, la piedra y la madera. Se utilizó también el ladrillo, pero los puentes de este material se pueden incluir como subgrupo de lo de la piedra; el ladrillo, para el constructor de puentes, es un pequeño sillar con el que se pueden hacer arcos de dovelas yuxtapuestas;

por tanto la morfología de los puentes de ladrillo es la misma que la de los puentes de piedra.

Con piedra y madera se construyeron muchos puentes; de piedra se conservan muchos porque es un material durable, pero en cambio de madera se conservan muy pocos porque es un material que se degrada con facilidad si no se cuida, y es muy vulnerable al fuego y a las avenidas de los ríos. En este primer período, la tecnología de los puentes estaba poco desarrollada, y por ello los materiales tenían una influencia decisiva en su configuración.

En el segundo período, el de los puentes metálicos y de hormigón, los materiales también tuvieron gran importancia en la configuración de los puentes, pero tanto o más que ello han tenido las distintas estructuras, que tuvieron un espectacular desarrollo en el siglo XIX, y ello dio lugar a procesos cuasi-independientes de cada equipo; por ello su evolución y desarrollo lo hemos estudiado según las diferentes estructuras, subdividiéndolos en los distintos materiales.

El **hierro fundido** se empezó a utilizar como material de construcción a finales del siglo XVIII y ello supuso una auténtica revolución en los puentes; puede establecerse que este hecho dio lugar a un nuevo período de su historia. Se utilizó inicialmente en forma de piezas fundidas que se ensamblaban en obra mediante pernos. Del hierro dulce fundido se pasó a mediados de siglo XIX al **hierro forjado**, de mayor resistencia y a finales del mismo siglo al acero, que superó a los dos anteriores en resistencia y calidad. El nuevo material, el hierro, fue la causa primera, aunque no la única, del espectacular, desarrollo que se produjo en los puentes durante el siglo XIX.

A finales del siglo XIX apareció el **hormigón**, piedra artificial, más concretamente un conglomerado, que permitió hacer arcos mayores que los de piedra natural. Este nuevo material dio lugar muy pronto a un nuevo sistema de hacer estructuras: el **hormigón armado**, una colaboración entre el hierro y el hormigón, que permite construir vigas de luces considerables y afinar las dimensiones de los arcos, lo que no es posible con el hormigón en masa ni con la piedra. El hormigón armado se puede

considerar un nuevo material, se le da a esta palabra un sentido más amplio que el que define el Diccionario de la Real Academia.

Posteriormente, al terminar la primera mitad del siglo XX, apareció el **hormigón pretensado**, una forma de colaboración más perfecta entre el acero y el hormigón, que amplió extraordinariamente las posibilidades del hormigón armado. Contemporáneas del hormigón pretensado son las **estructuras mixtas**, otra forma de colaboración del acero y el hormigón, pero en este caso los dos materiales no se mezclan tan íntimamente, sino que se yuxtaponen.

Se han hecho muchas tentativas de utilizar aleaciones de **aluminio** en la construcción de puentes por su mayor resistencia específica (fuerza resistida por unidad de peso y longitud) que el acero, debido a su ligereza, y de hecho se han construido puentes de este material; pero son casos aislados a causa de su precio, de las dificultades que plantea la unión de las piezas, y los problemas que han causado. Su ligereza lo ha hecho siempre atractivo, especialmente en los puentes móviles que es en los que más se ha utilizado este material; uno de ellos es el de *Banbury*, un pequeño puente móvil en Oxfordshire, Inglaterra. El puente de *Hendon Dock* en Inglaterra es el primer puente móvil cuya estructura es toda de aluminio; es un puente basculante de doble hoja, de 27 m de luz; se terminó en 1948. Su vida ha sido corta, porque se sustituyó en 1976 a causa de la corrosión que se había producido en el aluminio. En 1950 se terminó en Canadá el puente arco de *Arvida*, la ciudad de la industria del aluminio, sobre la garganta del río Saguenay, hecho totalmente de aluminio. Tiene 91,5 m de luz y es, seguramente, el mayor puente de este material que se ha hecho en el mundo. En otros puentes se ha utilizado el aluminio únicamente en la plataforma de la calzada, con vigas principales de acero; así es el puente de la esclusa de *Zandvliet* en Bélgica de 63 m de luz. También es de aluminio una pasarela en *Düsseldorf* de 52 m de luz, construida en 1953. En 1933 se sustituyó la plataforma del puente de *Smithfield* sobre el río Monongahela en Pittsburgh por una estructura de vigas de aluminio para reducir su peso y mejorar su capacidad de carga. Pero en 1936 se descubrieron fisuras en las vigas de aluminio, atribuidas a problemas de fatiga. Actualmente en los Estados Unidos se está volviendo a estudiar la posibilidad de sustituir plataformas de puentes con

estructuras de aluminio, y recientemente se ha sustituido la de un puente colgante de 97 m de luz, el *Corbin Bridge* en el estado de Pensylvania, que se hizo hace 60 años. En Tennessee hay un programa de cinco años de investigaciones sobre plataformas de aluminio, porque se considera que pueden ser competitivas con las de hormigón o metálicas.

Los nuevos materiales que han ido apareciendo a lo largo de la Historia, han dado lugar a innovaciones en los puentes, y a evoluciones de su tipología para adaptarse a sus características. Al aparecer un nuevo material, los primeros puentes que se construyen con él se proyectan con los tipos y formas de los anteriores, que se habían hecho con otros materiales. Toda innovación tecnológica produce desorientación inicial, pero al irse desarrollando la tecnología del nuevo material, los puentes van evolucionado hasta llegar a su madurez, y en ella se consigue una adecuación de materiales, estructuras y formas.

Los primeros puentes de hierro imitaron a los de piedra y madera, y los primeros de hormigón a los metálicos; muchos de los primeros puentes de hormigón armado se hicieron con vigas trianguladas, pero pronto se dejaron de utilizar porque se impusieron las vigas de alma llena, más adecuadas a este material.

El material es fundamental en la concepción de un puente, porque sus posibilidades resistentes son la que determinan las dimensiones de cada uno de los elementos que lo componen, e influye decisivamente en la organización de su estructura. Además de ello, el material tiene unas posibilidades tecnológicas determinadas en lo que se refiere a fabricación, uniones, formas de los elementos básicos, etc., que son fundamentales a la hora de proyectar un puente.

Pero lo expuesto anteriormente no nos debe llevar a la idea de que los materiales determinan unívocamente los tipos de puentes; dentro de las posibilidades de cada uno de ellos cabe distintos tipos y distintas formas, como fácilmente se puede comprobar si observamos un conjunto de puentes de un mismo material, hechos en diferentes épocas, con diferentes condiciones del medio, o proyectados por distintas personas.

Excepcionalmente, en los puentes de piedra sólo cabe un tipo de estructura: el arco de dovelas yuxtapuestas; pero entre ellos hay diferencias sustanciales de forma, y esto se puede comprobar también si observamos unos cuantos de ellos de distintos períodos, tamaños, morfologías del cauce, etc.

El desarrollo de las tecnologías de los distintos materiales ha hecho que las estructuras de los puentes tengan cada vez más posibilidades, lo que ha permitido una mayor diversidad de formas y hacer puentes de hormigón y acero, hasta el grado de que a veces es difícil a distancia saber de qué material están hechos, especialmente en las vigas continuas con sección en cajón de alma llena, metálicas o de hormigón, que se pueden confundir con facilidad si su color es análogo. Un ejemplo muy ilustrativo de esta similitud, es el puente *Colonia-Deutz*, sobre el Rin, Alemania, una viga metálica continua de canto variable de 185 m de luz máxima, construida en 1948. Años después, en 1980, el puente se ensanchó, con una viga continua igual a la anterior pero de hormigón.

Cronológicamente los puentes metálicos han ido siempre por delante de los de hormigón, porque se iniciaron aproximadamente un siglo antes. También han ido siempre por delante en dimensiones, es decir, en sus posibilidades para salvar luces mayores, porque el acero es un material con mayor resistencia específica que el hormigón.

La resistencia específica del material es la que determina en mayor medida las posibilidades de las estructuras. De ella dependen las luces máximas que se pueden alcanzar en los puentes de cada tipo de estructura; en primer lugar porque la luz límite, es decir la máxima que puede soportar su propio peso, es función de esta resistencia; y en segundo lugar porque influye decisivamente en los procedimientos de construcción. A igualdad de luz, cuanto mayor sea la resistencia específica del material, más ligera será la estructura, y por tanto menos pesarán las partes en que se divida. Esto facilita la construcción, porque los pesos de las piezas a montar o a fabricar serán menores, y por tanto se puede llegar a estructuras más grandes.

Hay otros factores que intervienen en la construcción de un puente, pero básicamente las posibilidades de construcción dependen de la *resistencia específica* del material, y por ello los puentes de mayor luz han sido y serán siempre metálicos, hasta que se desarrollen nuevos materiales.

En el momento actual se están empezando a probar nuevos materiales para construir puentes con mayor *resistencia específica* que el acero. Son los **materiales compuestos**, formados por fibras unidas con una matriz de resina, que se utilizan ya desde hace muchos años en la industria aeroespacial, aeronáutica y del automóvil, pero que, por diversas razones, todavía no se ha desarrollado su empleo en la construcción, aunque ya se han utilizado en algunos puentes como armadura activa, y se ha construido alguna pasarela con estos materiales. La mayor *resistencia específica* de los materiales compuestos hará que en un futuro llegue a haber materiales competitivos con el acero y el hormigón para hacer puentes, pero tiene que pasar tiempo hasta que se resuelvan todos los problemas que estos materiales plantean en la construcción de los puentes y, sobre todo, hacerlos asequibles económicamente.

**Tabla 1. Distinta utilización de los materiales en las sucesivas épocas históricas**

PERIODO	COMPRESIÓN	FLEXIÓN	TRACCIÓN
PREHISTORIA	Arcilla (tapial, adobe, ladrillo)	Madera	Cuerdas
HISTORIA CLÁSICA	Piedra	Madera	Madera Grapas metálicas
siglo XIX	Fundición	Madera	Cadenas de hierro
siglo XX ( 1ª 1/2 )	Hormigón en masa Acero laminado	Hormigón armado Acero laminado	Cables de acero
siglo XX ( 2ª 1/2 )	Hormigones especiales Acero laminado	Maderas laminadas Hormigón pretensado Acero laminado Aleaciones ligeras	Cables de acero de alta resistencia, alto límite elástico y baja relajación

La distinta utilización de los materiales es una de las más evidentes manifestaciones de las capacidades tecnológicas de las sucesivas épocas históricas.

El cambio de los materiales orgánicos por inorgánicos, la posterior incorporación de la piedra y su pugna con la metalurgia y la más reciente sustitución de los materiales monorresistentes (tracción o compresión) por birresistentes (tracción y compresión) que aparecen reflejados en el cuadro marcan las pautas de un devenir que, por supuesto no ha concluido más aún, parece acelerarse.

## 1.1 LA ESTRUCTURA METÁLICA EN LA INDUSTRIA CIVIL COLOMBIANA (PUENTES)

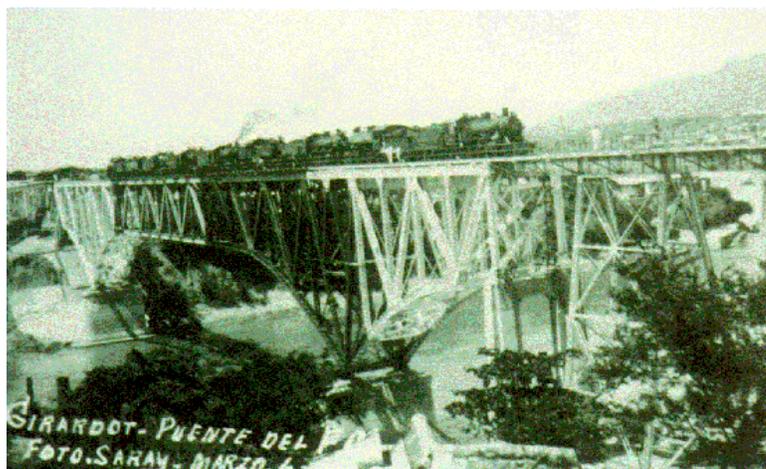
El origen de los puentes metálicos data del año 1887 con la obra del *Puente de Occidente* sobre el río Cauca, figura 1.

**Fig. 1. Foto del Puente de Occidente**



El desarrollo de la red ferroviaria condujo, lo mismo que en otros países, al empleo de puentes de acero importados de Europa o de los Estados Unidos. El más importante de ellos es quizás el de Girardot, hoy convertido en puente peatonal, construido en 1929, Figura 2.

**Figura 2. Foto del Puente ferroviario de Girardot el día de su prueba de carga**

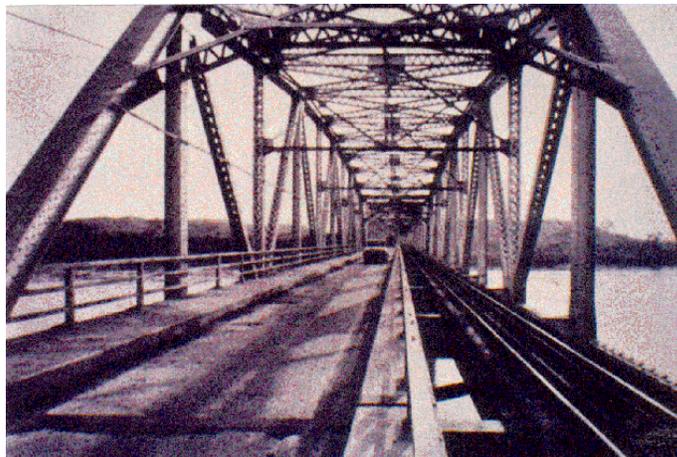


La construcción del Ferrocarril del Atlántico, inaugurado en 1961, demandó la construcción de 109 puentes con un total de 7181 metros. Los 6 principales están constituidos por vigas en celosía como el de Puerto Salgar-La Dorada sobre el río Magdalena, Figura 3 y los 103 restantes por vigas de alma llena como el puente sobre el río Cocorná, Figura 4. Fueron adjudicados a firmas francesas y alemanas con excepción de un tramo adicional para el puente en Puerto Berrío que se contrató con una firma colombiana.

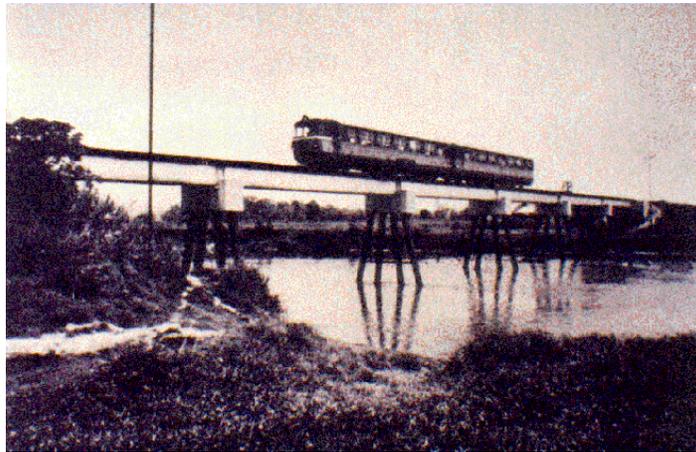
En el último de los ferrocarriles construidos en Colombia, el que va desde las minas del Cerrejón hasta Puerto Bolívar en la Guajira, que recorren trenes de alta velocidad sobre trocha ancha, igualmente jugaron un papel preponderante los puentes metálicos.

En cuanto a puentes de carretera se hicieron varios colgantes como el Mariano Ospina Pérez, Figura 5, también en Girardot y algunos más sobre los ríos Cauca y Magdalena. Los primeros de estos puentes fueron importados pero desde 1949 empezaron a producirse en el país de tal manera que ya se encuentran esparcidos por nuestra agreste topografía más de 400 puentes netamente colombianos.

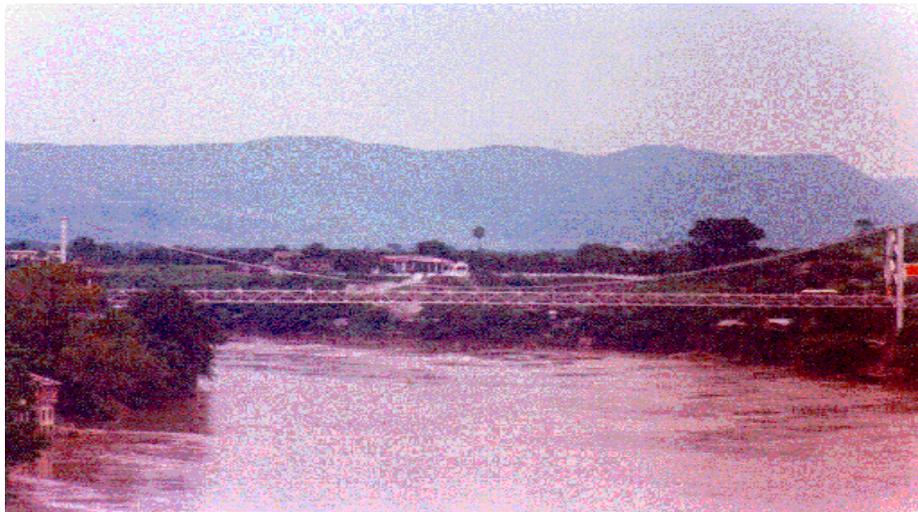
**Figura 3. Foto del Puente sobre el río Magdalena: Puerto Salgar – La Dorada**



**Figura 4. Foto del Puente sobre el río Cocorná**



**Figura 5. Foto del Puente Mariano Ospina Pérez**



Además hay muchos puentes en vigas o arcos de alma llena como los del Sisga, Caño Limón, Figura 6, o La Colorada, Figura 7 y otros con armaduras espaciales como el Chirajara, Figura 8.

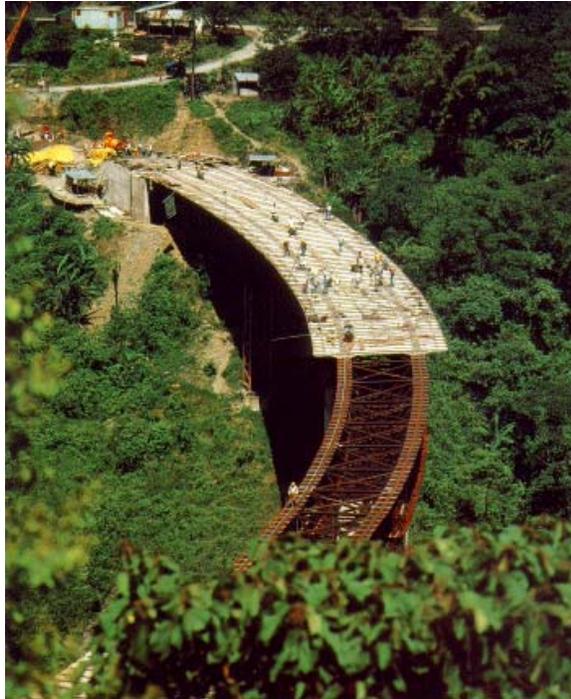
**Figura 6. Foto del Puente Caño Limón**



**Figura 7. Foto del Puente sobre la quebrada Colorada**



**Figura 8. Foto del Puente Chirajara**



Otros como el Samaná, el Guillermo León Valencia sobre el río Ariari y el de Pescadero han pagado con su colapso el precio de sobrecargas sin control y la falta de mantenimiento.

## **2 GENERALIDADES**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Implementar el contenido del código AASHTO/AWS D 1.5 2002 y los aspectos tecnológicos fundamentales en la soldadura de puentes vehiculares en aceros estructurales ASTM A 572 Grado 50 y ASTM A 537 Clase 1.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar los WPSs (Especificación de los Procedimientos de Soldadura), según el código AASHTO/AWS D 1.5 2002 para los aceros ASTM A 537 Clase 1 y ASTM A 572 Grado 50.
- Elaborar los PQRs (Registro de Calificación del Procedimiento), según el código AASHTO/AWS D 1.5 2002 para los aceros ASTM A 537 Clase 1 y ASTM A 572 Grado 50.
- Evaluar a través de Ensayos Destructivos y No Destructivos la Soldabilidad operativa y metalúrgica, de los aceros estructurales ASTM A 537 Clase 1 y ASTM A 572 Grado 50.
- Realizar análisis teórico comparativo de las variables esenciales entre los códigos AASHTO/AWS D 1.5 2002 y AWS D 1.1 2000.

### 3. GENERALIDADES DE LOS ACEROS

Los aceros usados para estructuras en ingeniería civil son predominantemente los aceros al carbono de bajo carbono y los aceros de alta resistencia baja aleación, los aceros ordinarios al carbono de bajo carbono se llaman aceros suaves y las adiciones de aleantes en estos últimos se hacen con propósitos específicos de aumentar la resistencia mecánica o la resistencia a la corrosión.

Esta clase de aceros son los usados en las industrias de la construcción para vías, edificios, puentes y cañerías. Ellos suelen encontrarse en forma de barras, láminas y varios perfiles estructurales. Por esta razón, se les llama aceros estructurales y principalmente son laminados en caliente, a continuación se presentan algunos datos que reafirman la actual demanda en la utilización de estructuras en acero.

#### 3.1. ALEACIONES HIERRO-CARBONO

Los componentes fundamentales del acero, cualquiera que sea su estado de tratamiento, son el hierro y el carburo de hierro.

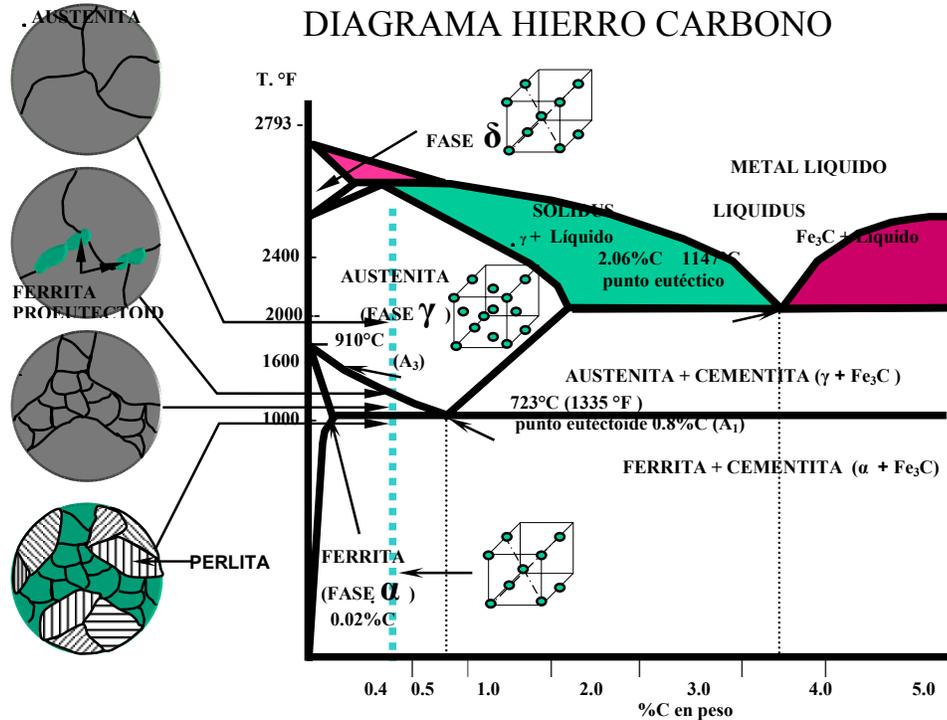
**Hierro  $\alpha$ : (Ferrita)** Cristaliza en un sistema cúbico centrado en el cuerpo. Cada cubo o redícula lleva un átomo en los vértices y en el centro.

**Hierro  $\gamma$ : (Austenita)** La red cristalina ha cambiado al pasar de los 910°C. Hay un átomo en cada vértice y otro en cada cara. Sistema cúbico de caras centradas. La distancia entre átomos es de 3,60 Å. No es magnético.

**Hierro  $\delta$ :** Pertenece al sistema cúbico centrado en el cuerpo como el Fe  $\gamma$ . Es no magnético.

A la temperatura ambiente, los constituyentes fundamentales de estas aleaciones son: la ferrita, (hierro casi puro) y la cementita (carburo de hierro) y el eutectoide llamado perlita, el cual esta compuesto por láminas paralelas de ferrita y cementita (86.5 % de ferrita y 13.5 % de cementita). Ver figura 9.

**Figura 9. Diagrama Hierro-Carbono**



### 3.1.1. Generalidades Sobre la Solubilidad de los Metales.

Se puede establecer que en estado líquido, el hierro y el carbono son totalmente solubles uno en otro, en estado sólido a temperaturas superiores a  $A_1$  son parcialmente solubles y a temperaturas inferiores son prácticamente insolubles.

### 3.1.2 Microestructuras Típicas de los Aceros Estructurales

Los constituyentes metálicos que pueden presentarse en los aceros al carbono son: ferrita, cementita, perlita, martensita, bainita, y rara vez austenita, aunque nunca como

único constituyente. También pueden estar presentes constituyentes no metálicos como óxidos, silicatos, sulfuros y aluminatos.

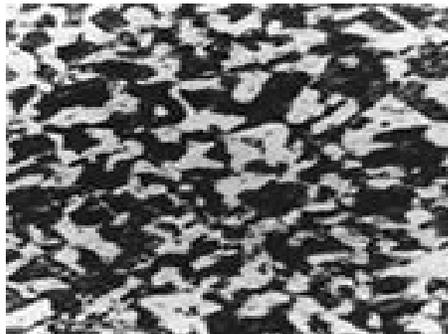
El análisis de las microestructuras de los aceros al carbono recocidos y fundiciones blancas deben realizarse en base al diagrama metaestable Hierro-carburo de hierro o cementita.

Las microestructuras que presenta el diagrama de equilibrio para los aceros al carbono son:

- **Ferrita (Hierro  $\alpha$ )**

Es una solución sólida de carbono en hierro alfa, su solubilidad a la temperatura ambiente es del orden de 0.008% de carbono, por esto se considera como hierro puro, la máxima solubilidad de carbono en el hierro alfa es de 0,02% a 723 °C.

**Figura 10. Microestructura del acero al carbono, cristales blancos de ferrita**

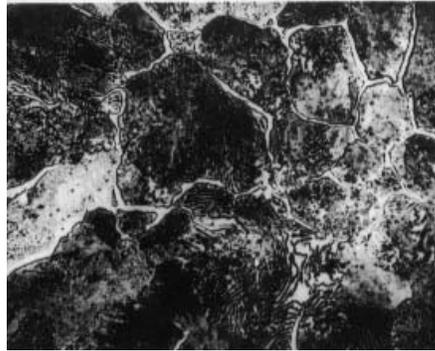


La ferrita es la fase más blanda y dúctil de los aceros, cristaliza en la red cúbica centrada en el cuerpo, tiene una dureza de 90 Brinell y una resistencia a la tracción de 28 Kg./mm<sup>2</sup>, llegando hasta un alargamiento del 40%. La ferrita se observa al microscopio como granos equiaxiales claros. La ferrita también aparece como elemento eutectoide de la perlita formando láminas paralelas separadas por otras láminas de cementita.

- **Cementita Fe<sub>3</sub>C,**

Es el carburo de hierro de fórmula Fe<sub>3</sub>C contiene 6.67 %C y 93.33 % de hierro, es el microconstituyente más duro y frágil de los aceros al carbono, alcanzando una dureza Brinell de 700 (68 Rc) y cristaliza en la red ortorrómbica.

**Figura 11. Microestructura del acero 1% C, red blanca de cementita**



- **Perlita**

Es el microconstituyente eutectoide (Ver Figura 12) formado por capas alternadas de ferrita y cementita, compuesta por el 88 % de ferrita y 12 % de cementita, contiene el 0.80 % C. Tiene una dureza de 250 Brinell, resistencia a la tracción de 80 Kg. /mm<sup>2</sup> y un alargamiento del 15%. La perlita aparece en general en el enfriamiento lento de la austenita y por la transformación isotérmica de la austenita en el rango de 650 a 723°C.

**Figura 12. Microestructura del acero al carbono, perlita.**

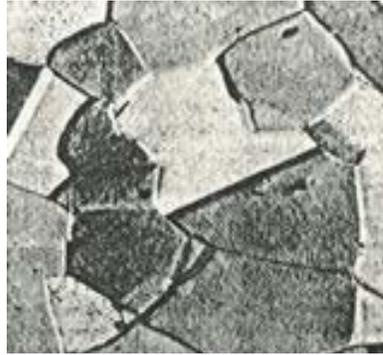


- **Austenita**

Es el constituyente más denso de los aceros y está formado por una solución sólida por inserción de carbono en hierro gamma. La cantidad de carbono disuelto, varía de 0.08 al 2.11 % C que es la máxima solubilidad a la temperatura de 1130 °C. La austenita no es estable a la temperatura ambiente, excepto algunos aceros al cromo-níquel. Está

formada por cristales FCC, con una dureza de 300 Brinell, una resistencia a la tracción de 100 Kg. /mm<sup>2</sup> y un alargamiento del 30 %, no es magnética.

**Figura 13. Microestructura de la austenita.**



- **Martensita**

Es el constituyente de los aceros templados, está conformado por una solución sólida sobresaturada de carbono en ferrita y se obtiene por enfriamiento rápido de los aceros desde su estado austenítico a altas temperaturas.

**Figura 14. Microestructura de la martensita**



La martensita tiene una dureza de 50 a 68 Rc, resistencia a la tracción de 170 a 250 Kg. /mm<sup>2</sup> y un alargamiento del 0.5 al 2.5 %, muy frágil y presenta un aspecto acicular formando grupos en zigzag con ángulos de 60 grados.

- **Bainita**

Es un constituyente de los aceros que se obtiene de la transformación isotérmica de la austenita, en un rango de temperaturas localizado entre el Ms (Campo de formación de la Martensita) y el Campo de formación de ferrita y perlita. Este constituyente consiste en un agregado de ferrita acicular y carburos. Se diferencian dos tipos de estructuras bainíticas, en muchos de los aceros la transición entre los dos tipos de estructuras está alrededor de los 350 °C. La bainita superior se forma por encima de los 350 °C, su aspecto es arborescente, compuesta de una matriz ferrítica conteniendo carburos. La bainita inferior se forma a temperaturas por debajo de 350 °C, tiene un aspecto acicular similar a la martensita y constituida por agujas alargadas de ferrita que contienen placas delgadas de carburos. La bainita posee una dureza variable de 40-60 Rc, comprendida entre las correspondientes a la perlita y a la martensita.

Los constituyentes que pueden presentarse en los aceros aleados son los mismos de los aceros al carbono, aunque la austenita puede ser único constituyente y además pueden aparecer otros carburos simples y dobles o complejos.

La determinación del tamaño de grano austenítico o ferrítico, puede hacerse por la norma ASTM E112-99 o por comparación de las microfotografías de la probeta a 100X, con las retículas patrón numeradas desde el 1 para el grano más grueso hasta el 8 para el grano más fino.

## **4. CONSIDERACIONES TECNOLÓGICAS PARA LAS CONSTRUCCIONES SOLDADAS.**

### **4.1 IMPORTANCIA DE LA SOLDADURA.**

Se puede afirmar que: “la soldadura es el método más económico de unir en forma permanente partes de metal”. Para fusionar dos partes mediante pernos o remaches se requiere de orificios en ambas a efecto de acomodarlos. Estos orificios reducen el área transversal 10 por ciento. La junta puede requerir también el uso de una o dos placas de hierro angular, incrementándose así el peso del material requerido y el costo.

La soldadura es un concepto de diseño que permite libertad y flexibilidad, que no son posibles en la construcción de piezas de fundición. En este caso, pueden usarse placas pesadas cuando se requiere de resistencia y delgadas cuando es posible usarlas.

La soldadura es la mejor forma de proteger y conservar los materiales, protegiendo su superficie con recubrimientos especiales metálicos. Al efectuar uniones soldadas se depositan aleaciones especiales sobre los metales básicos para proporcionar superficies resistentes a la corrosión. Por medio de la soldadura se pueden hacer recubrimientos que endurecen la superficie para proporcionar a ciertas piezas resistencia al desgaste.

El empleo de soldadura como técnica de unión ha sido una alternativa que ha reducido los costos de construcción, costos de mantenimiento, disminuye el impacto ambiental y aumenta la vida útil de la estructura; esto debido, a que dicha técnica de unión ofrece una mayor resistencia, un menor peso y menores concentradores de esfuerzo, además de una mayor velocidad de construcción, así como una completa libertad de diseño.

#### **4.1.1 Ventajas de la Soldadura**

- La soldadura requiere menor mano de obra (un soldador puede reemplazar una cuadrilla de remachadores).

- La soldadura permite una gran variedad de conexiones, cosa que no se puede con remaches o tornillos; además; posee una gran versatilidad de operación, in situ o en taller garantizando tiempos mínimos de ejecución y montaje.
- Las conexiones soldadas son más rígidas que las demás, lo cual permite una verdadera continuidad en la transmisión de elementos mecánicos entre miembros.
- Debido a la mayor resistencia del metal de aportación las conexiones soldadas permiten una gran resistencia a la fatiga.
- Las estructuras soldadas pueden repararse muy fácilmente a diferencia del resto.
- Las conexiones soldadas han permitido la construcción de estructuras soldadas y "limpias".
- Las conexiones soldadas permiten mayor libertad de diseño que cualquier otro tipo de conexiones.
- El trabajo de soldadura es silencioso comparado con el remachado.
- Hay un ahorro considerable en el cálculo, detallado y montaje de las estructuras.
- Se puede reducir en un 15% el peso de la superestructura en acero, ya que por medio de la soldadura no son necesarios los pernos de alta resistencia y además, se pueden combinar aceros de diferentes grupos (I, II, III y IV), según lo especificado por la norma, aumentando la relación: resistencia / peso.

#### **4.1.2 Desventajas de la Soldadura**

- Es necesario el control de las variables antes, durante y después del proceso de soldadura, para garantizar las propiedades finales de la unión soldada; por ello se requerirá la inspección y aplicación de las soldaduras por personal certificado y capacitado, aumentando costos en la mano de obra.
- Al manejar grandes volúmenes y toneladas de acero, se requerirá de una maquinaria especial para el montaje.
- Las conexiones rígidas pueden no ser óptimas en el diseño.
- La revisión de las conexiones soldadas no es muy sencillo con respecto al resto.
- La creencia de la baja resistencia a la fatiga en conexiones soldadas.

## 5. METALURGIA DE LA SOLDADURA

La ciencia de unir metales por soldadura se relaciona estrechamente con el campo de la metalurgia. La metalurgia de la soldadura se puede considerar una rama especial, puesto que una reacción se lleva a cabo en segundos o fracciones de segundos, mientras que en otras ramas las reacciones se efectúan en segundos, minutos y horas.

Cuando se hace una soldadura ocurren una serie de fenómenos tales como cambios de temperatura, cambios de dimensiones, crecimiento de cristales y granos, transformaciones de fases y otros. La estructura cristalina de los metales es responsable de las principales propiedades de los mismos. A medida que el metal en estado líquido se solidifica, se forman pequeños grupos de átomos, que van formando las redes o cadenas cristalinas creando los granos a través de toda la masa del metal y se orientan en diferentes direcciones; la superficie de contacto entre un cristal y otro se le denomina "limite" o "Borde" del grano.

Algunos metales modifican su distribución cristalográfica por cambios de temperatura, este cambio en la estructura cristalina se conoce como transformación de fase o alotrópica. Otro tipo de transformación se lleva a cabo cuando el metal se funde o se solidifica. Si el metal se funde la distribución de los átomos cristalinamente ordenados desaparece y entonces se presenta un movimiento aleatorio de átomos. Cuando el metal se solidifica la distribución cristalina se restablece por sí misma. El cambio en estructura cristalina o la modificación de líquido a sólido se conoce como cambio de fase. Los metales puros se funden o se solidifican a una misma temperatura, mientras que las aleaciones se solidifican o se funden a ciertos grados de temperatura.

Los cambios de fase pueden relacionarse con la composición de la aleación y la temperatura cuando están en equilibrio, y se muestran sobre un diagrama. Tales diagramas se denominan diagramas de fases, de equilibrio o de constitución. Estos diagramas se basan en condiciones de equilibrio. Esto significa que el metal es estable en determinado punto sobre el diagrama, basándose en un calentamiento o en un enfriamiento relativamente lento. En la soldadura esto no sucede, puesto que los cambios de temperatura son extremadamente rápidos y casi nunca existe equilibrio. Aun

así, el diagrama de constitución es la mejor herramienta de que se dispone para determinar las fases.

En cualquier proceso de arco, en el que el metal se trasfiere a través del mismo, el metal alcanza una temperatura muy por arriba de la temperatura de fusión, inmediatamente, el metal de la soldadura empieza a solidificarse, el calor contenido en el metal fundido se transmite al metal base. A lo lejos de la soldadura el metal presenta una temperatura más baja. A medida que el metal se solidifica, los cristales forman granos, los cuales se enfrían rápidamente hasta que ya no haya metal líquido. La velocidad de enfriamiento es mucho más rápida de lo que sucede en una pieza fundida o lingote, y por consiguiente, el equilibrio tal como se representa en diagrama de fase, realmente no se efectúa.

Además de las complicaciones originadas por el rápido enfriamiento también surge complicación en relación con las variaciones de la composición. A medida que el metal de la soldadura se deposita sobre el metal base parte de éste se funde y se mezcla con el metal de soldadura, produciendo la dilución de este último. A menos que la composición del metal de aporte depositado y la composición del metal base sean idénticas, habrá una variación de la composición del metal en la superficie de separación. Las variaciones tanto en composición como en las velocidades de enfriamiento darán lugar a variaciones en la microestructura. Cada microestructura tiene sus características particulares. Una de las características más importantes es la dureza de la microestructura a través de toda el área de la soldadura.

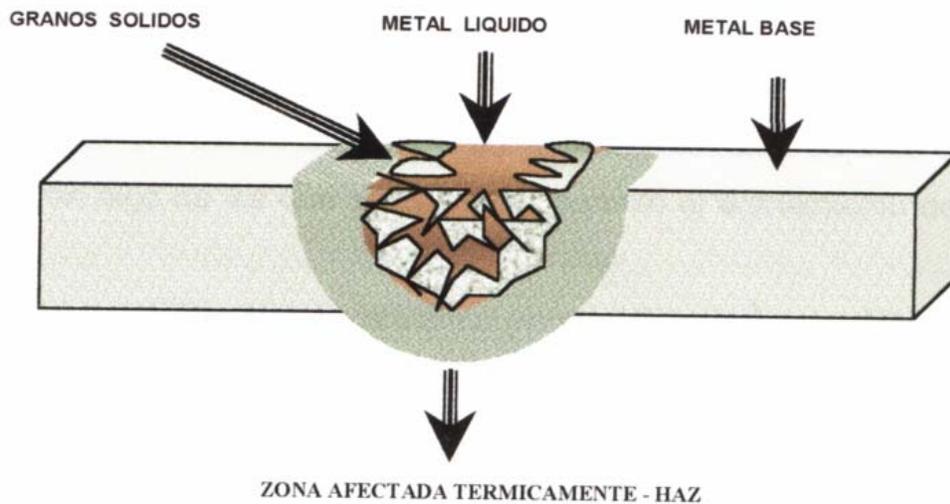
### **5.1 Zonas metalúrgicas de una soldadura en función a los cambios de temperatura.**

Dado que durante la soldadura pueden suceder cambios significativos tanto en la temperatura del metal como en la velocidad de enfriamiento, es importante entender los

cambios metalúrgicos que pueden resultar de la operación de soldadura. En una unión soldada se pueden presentar tres zonas claramente definidas (véase figura 15) en las cuales ocurre una serie de cambios físicos y químicos, estas se conocen como:

- Zona del metal base.
- Zona de fusión.
- Zona afectada Térmicamente.

**Figura 15. Zonas Metalúrgicas de la Soldadura**



**Zona del metal base.** Constituida por el metal que no ha sido afectado térmicamente por el calor de la soldadura, en forma significativa, aunque haya sido ligeramente calentada durante la soldadura. En esta zona no ocurren transformaciones físicas y químicas, ya que en ella el metal no alcanza la temperatura necesaria para dar lugar a estos fenómenos, por lo cual su metalurgia está determinada por las condiciones previas del material a soldar.

**Zona de fusión** es la parte de una soldadura que se ha fundido y vuelto a solidificar durante la operación de soldadura; puede estar compuesta de metal base fundido, metal de aporte, o una mezcla de ambos. En esta zona se presentan cambios químicos

como son la pérdida o ganancia de elementos aleantes, ya sea que se utilice o no, metal de aporte. Se producen pérdidas debido a la volatilización de ciertos elementos debida a las altas temperaturas alcanzadas, de igual modo al utilizarse metal de aporte se genera una mezcla entre este y el metal base, dando, por consiguiente, una diferencia en la composición química. No obstante, la utilización de metal de aporte permite proveer al metal de soldadura de aleantes que mejoran las propiedades de la unión, tales como Ni, Cr, Mn, Si, Mo, Cu, y demás elementos que pueden estar presentes tanto en el revestimiento como en el metal de aporte los cuales mejoraran propiedades tales como la resistencia mecánica, la resistencia a la corrosión, la limpieza o el grado de desoxidación del metal de soldadura. Otros fenómenos químicos de gran importancia son las posibles reacciones que se dan entre el metal de soldadura y el ambiente circundante entre las cuales están la formación de óxidos por la presencia indeseable de oxígeno, los cuales pueden ser atrapados por la escoria formada o pueden quedar inmersos dentro del cordón de soldadura representando un problema para la unión soldada ya que es en esencia una inclusión no metálica que disminuye la resistencia de la soldadura. Del mismo modo pueden presentarse reacciones con otros elementos no metálicos como el N y H que darán lugar a la formación de compuestos perjudiciales así como a posibles reacciones de difusión dentro del metal que terminan fragilizándolo.

En cuanto a los cambios físicos podemos mencionar a nivel general que los aspectos metalúrgicos que tienen lugar en la zona de la soldadura durante el enfriamiento difieren algo de los que se observan durante el enfriamiento de una pieza colada.

**La zona afectada térmicamente**, es aquella parte del metal base adyacente al metal de soldadura, la cual ha sido calentada durante la soldadura a una temperatura suficientemente alta como para sufrir algún cambio físico significativo y detectable, pero que en general no se ha fundido. La estructura de esta zona es alterada por el calor del proceso de soldadura. Estas alteraciones varían dependiendo de las condiciones iniciales del metal base y de la ubicación dentro de la zona misma. La zona afectada térmicamente por el calor en los aceros al carbono y aleados es particularmente importante con relación a las propiedades de la junta soldada.

En las áreas cercanas al límite de fusión se presenta un crecimiento de grano tan drástico como lo sea la entrada de energía hacia el metal durante el proceso. Este fenómeno disminuye las características mecánicas de la unión soldada tales como resistencia al impacto y la ductilidad. No obstante, el crecimiento de los granos decrece a medida que nos alejamos del límite de fusión encontrándose diversas respuestas mecánicas en diferentes puntos de esta zona.

Otro fenómeno importante de analizar tiene que ver con las condiciones en las que se encuentra el metal base antes de realizar la soldadura. En los metales que han sufrido endurecimiento por deformación, debido a las temperaturas alcanzadas cerca de la zona de fusión, se suele presentar la recrystalización de los granos, perdiéndose así la previa orientación o deformación que tenían y, por consiguiente, las propiedades asociadas a dicho tratamiento. Por otro lado se tiene también que en la soldadura de metales con tratamientos térmicos previos el efecto de los mismos puede verse destruido en la zona afectada por el calor lográndose con esto una peligrosa sección de la unión soldada con propiedades mecánicas inferiores al resto de la unión; de igual modo los aceros con alta templeabilidad pueden fragilizarse en esta zona por motivo de las temperaturas alcanzadas durante el calentamiento y al posterior enfriamiento relativamente rápido, característico de los procesos de soldadura.

Otros factores importantes relacionados con la zona afectada térmicamente son la posible difusión del hidrógeno atómico dentro de la estructura del acero lo cual permite la formación de microgrietas que fragilizan la estructura del material. Así mismo deben tenerse en cuenta las llamadas tensiones residuales que tienen lugar en la ZAT, producto de la distribución no uniforme de temperaturas en la junta soldada lo cual origina los diferentes grados de dilatación y contracciones estructurales no uniformes en todo el material produciéndose ya sea una acumulación de esfuerzos residuales en las cercanías del cordón ó la deformación de la pieza soldada.

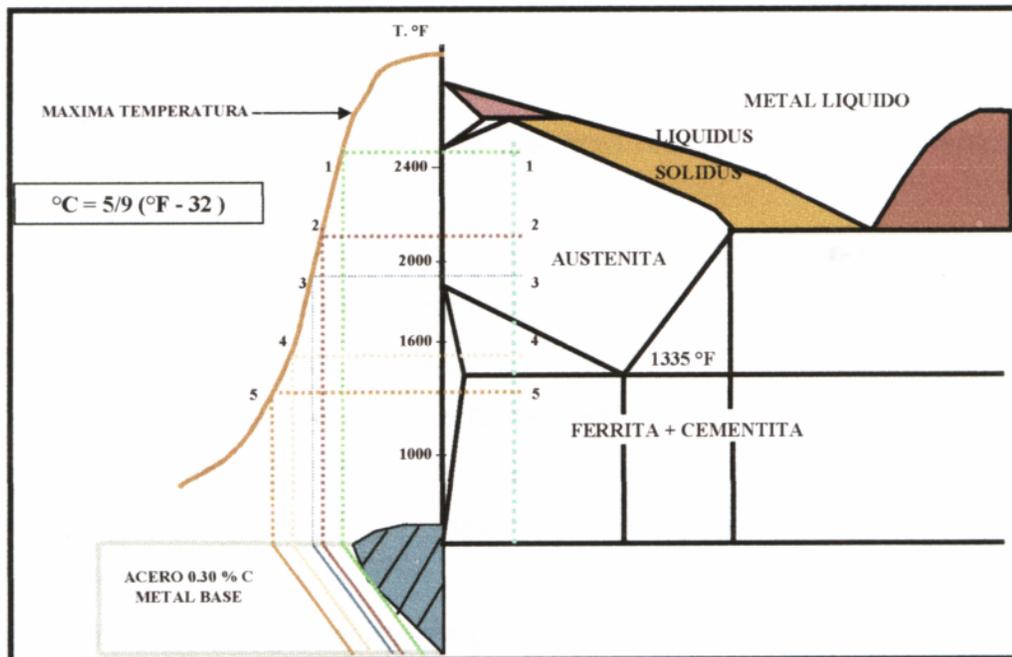
La figura 16 muestra los cambios que se presentan en estas zonas, la cual indica el perfil de la temperatura máxima alcanzada en varios puntos en la zona afectada térmicamente

de una junta de acero de 0.30% de carbono. La mayoría de esta zona es calentada a temperaturas por encima de A1.

Cuando el contenido de aleación del metal base es menor que el contenido de aleación del metal de aporte se presenta una reducción en el contenido de aleación del depósito.

En este proceso se produce un fenómeno de miscibilidad que se ve afectado por la forma de deposición, el número de capas y la temperatura de fusión del metal base y las dimensiones de la pieza.

**Figura 16. Relación entre las temperaturas experimentadas en varias regiones de una soldadura y su correlación con el diagrama Fe- Fe<sub>3</sub>C.**



La dilución es la relación de mezcla del metal de aporte con el metal base que hay en el metal de soldadura. Esta se expresa ordinariamente como el porcentaje de composición del metal base que hay en el depósito de metal de aporte. La dilución se define generalmente por la cantidad de metal base fundido (B), dividido por la suma del metal de aporte (A), mas el metal base (B) como lo expresado en la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de dilución} = \frac{B}{A + B} * 100$$

A partir del porcentaje de dilución podemos determinar la composición química del metal depositado en la zona adyacente a ambos lados o regiones del metal de soldadura.

## 5.2 ESTRUCTURAS METALÚRGICAS DEL METAL DE SOLDADURA

Durante el enfriamiento, los productos de la descomposición de la austenita aparecen en distintas proporciones dependiendo tanto del estado inicial de la austenita-composición, tamaño de grano, microsegregación y estado de deformaciones-como el tratamiento termomecánico a que está sometida durante la transformación. Estos elementos sumados a los que provienen de la estructura primaria y que no se transforman constituyen la estructura metalúrgica del metal de soldadura.

Los productos resultantes de la transformación en estado sólido son básicamente: ferrita, cementita, martensita, austenita retenida, y precipitados (carburos, nitruros). Como resultado de la acción de los diferentes mecanismos de transformación en estas fases adoptan una serie de morfologías que pueden clasificarse como:

**Ferrita en borde de grano.** Estos cristales de ferrita nuclean y crecen preferencialmente a lo largo de los bordes de grano austeníticos. Estos son los primeros cristales de ferrita formados. Crecen generalmente desde los bordes de granos hacia ambos granos de austenita con interfaz ligeramente curvada. La ferrita en borde de grano tiene un tamaño de grano grande, teniendo poca resistencia al clivaje. También pueden observarse entre estos nódulos de perlita e impurezas segregadas que reducen la resistencia a la fractura. Una alta

cantidad de ferrita en borde de grano disminuye la resistencia al impacto por su tamaño de grano grueso en comparación con la ferrita acicular. Las grietas en soldadura se pueden propagar a lo largo de la ferrita en borde de grano, lo que puede ser más crítico si hay presencia de estructuras perlíticas frágiles a lo largo de los bordes de grano.

Por lo general, la ferrita en borde de grano es llamada **ferrita proeutectoide**, pero, este nombre no es el más indicado ya que otros microconstituyente son también proeutectoides. Este elemento estructural no es conveniente en el metal de soldadura por sus bajas propiedades mecánicas.

**Placas laterales de ferrita.** Su apariencia se caracteriza por la presencia de agujas con una relación de largo a ancho de 20:1. Este constituyente crece de la ferrita en borde de grano en los granos de austenita primaria como paquetes de placas paralelas. Así como la ferrita en borde de grano, esta estructura está asociada con la presencia de carburos precipitados, austenita retenida y martensita a lo largo de las placas de ferrita, desmejora notoriamente la resistencia al impacto. Este constituyente se conoce con el nombre de ferrita alineada con M-A-C (martensita, austenita y o carburos).

**Ferrita acicular.** Tipo de ferrita precipitada en el centro del grano de austenita primaria. Al aumentar el grado de sobreenfriamiento de la austenita durante el enfriamiento continuo se incrementa la velocidad de nucleación. Una alta velocidad significa que se generan muchas partículas de ferrita por unidad de volumen. De este modo resulta una fina estructura acicular (0.5 a 5  $\mu\text{m}$  con una relación largo ancho de 3:1 a 10:1), que ocupa todo el centro del grano austenítico. El comportamiento mecánico de esta estructura resulta el más conveniente por el excelente balance entre la resistencia a la tracción y al

impacto ocasionado por su tamaño de grano fino. Aunque el mecanismo de formación de la ferrita acicular no es bien conocido, esta puede ser nucleada por inclusiones de óxidos muy finos.

**Ferrita poligonal.** Aparece en forma de grandes islas de ferrita dentro de los granos de la austenita primaria. Si el diámetro de los granos austeníticos es suficientemente grande respecto a los cristales de ferrita que crecen desde el borde de grano, el carbono reyectado no podrá alcanzar por difusión el centro de los granos. Aún cuando la velocidad de nucleación sea menor en el interior de los granos, debido al suficiente tiempo disponible, pueden formarse algunos núcleos que pueden ser de dos tipos: ferrita poligonal o acicular. La ferrita poligonal llamada también ferrita en bloques o idiomórfica es la menos frecuente debido a que las bajas temperaturas favorecen el

crecimiento de placas o agujas, ya que la gran energía libre disponible para crear la interfase austenita-ferrita y las cortas distancias requeridas bajo estas condiciones corresponden a esta última morfología de crecimiento. Así como la ferrita en borde de grano, esta estructura desmejora la tenacidad por su tamaño.

### **5.3 SOLDABILIDAD**

La American Welding Society define la soldabilidad como “la capacidad de un material para ser soldado bajo las condiciones de fabricación impuesta dentro de una estructura específica y convenientemente diseñada y para tener un rendimiento satisfactorio en el servicio que se pretende”

El concepto de soldabilidad se puede analizar desde 3 puntos de vista:

- Soldabilidad Estructural: Concepto que hace intervenir la rigidez de la unión y depende del espesor del metal a soldar.
- Soldabilidad Operativa: Es aquella que tiene en cuenta las condiciones de operación durante la soldadura para obtener de manera satisfactoria la unión de los metales en cuestión, de acuerdo a las especificaciones del procedimiento de soldadura. De manera tal que este tipo de soldabilidad se evalúa mediante ensayos destructivos (ensayo de tensión, dobléz) y no destructivos (radiografía industrial, inspección visual y ultrasonido).
- Soldabilidad Metalúrgica: Esta depende de las transformaciones de fase que sufre el metal durante el proceso de soldadura, las cuales son evaluadas mediante el análisis de las microestructuras presentes en las zonas de interés metalúrgico complementado con el análisis de microdureza.

#### **5.3.1 Factores que Influyen en la Soldabilidad**

La soldabilidad no es puramente una propiedad del material, sino que depende de factores externos, tales como la realización del método de soldadura deseado y del diseño de la construcción, etc. En el caso de los aceros la soldabilidad depende fundamentalmente del contenido de carbono y los elementos de aleación que se

comportan en forma similar a este, ya que son ellos los que determinan la posibilidad de endurecimiento de la zona adyacente al cordón de soldadura, el cual se debe al temple o al crecimiento de grano. El primero es consecuencia del enfriamiento rápido que experimenta la zona crítica por conducción de calor y se puede evitar precalentando el área de soldadura o toda la pieza si es posible, para reducir la velocidad de flujo de calor manteniendo esa temperatura durante el proceso de soldadura. El segundo se debe a la exposición a altas temperaturas, lo cual favorece la formación de estructuras gruesas que presentan menor ductilidad.

En general los aceros con carbono equivalente bajo presentan alta soldabilidad; sin embargo hay otros factores importantes como el espesor de la sección y el diseño de la junta, en la selección de los aceros para soldadura y en el proceso de soldadura adecuada.

Los dos factores más importantes para la soldabilidad son la capacidad de endurecimiento y la susceptibilidad a las fracturas de la estructura endurecida. Ambas se incrementan usando un contenido de carbono más alto y de aleación más alta en el metal base. Ciertos elementos de aleación incrementan la capacidad de endurecimiento sin un incremento significativo en la susceptibilidad a las fracturas. En este aspecto el carbono equivalente del metal base se vuelve importante.

- **Carbono Equivalente**

Otro factor importante para la soldadura de los aceros es el carbono equivalente. Además del carbono otros elementos de aleación también promoverán el endurecimiento en varios grados. El contenido de carbono equivalente es por lo tanto una expresión empírica que se usa para determinar cual es el efecto combinado que los elementos de aleación tienen en el endurecimiento del acero, siendo esta una indicación de cómo la soldadura afectará la zona adyacente (zona afectada térmicamente).

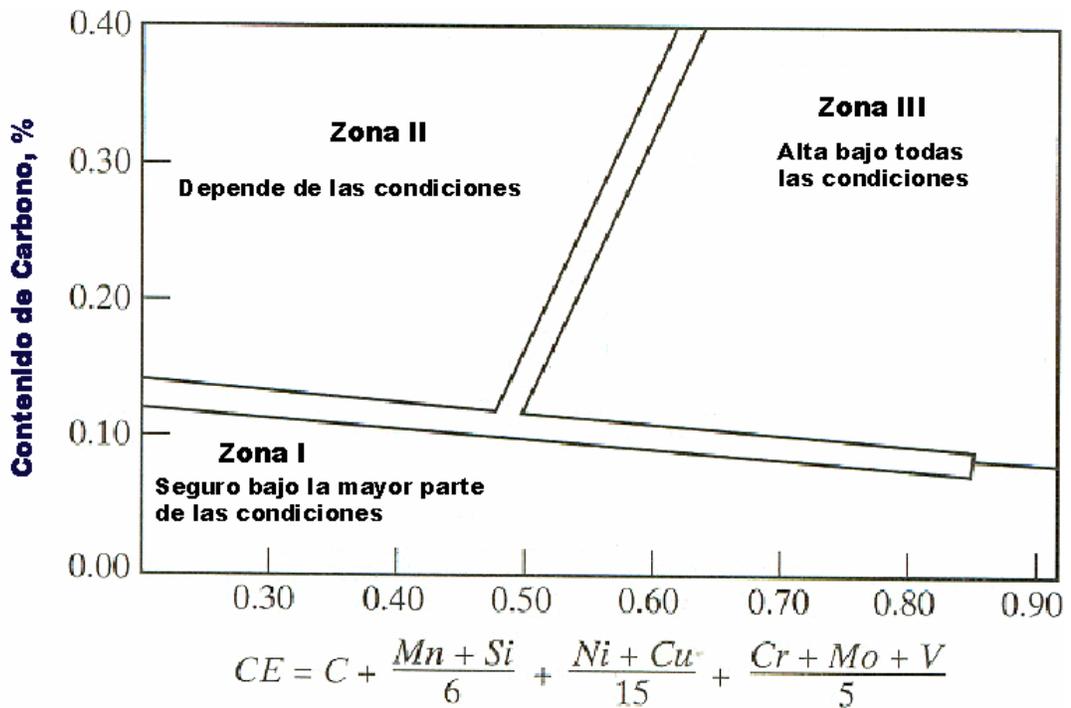
Por conocimiento del carbono equivalente del metal, el soldador puede ajustar el proceso de soldadura para controlar problemas con el ZAT. Los ajustes más comunes al proceso de soldadura son: pre y/o postcalentamiento, selección de electrodo, tamaño del electrodo, tipo de electrodo y corriente. Usando la siguiente fórmula de carbono

equivalente un soldador puede hacer los ajustes propios en el proceso de soldadura para aceros al carbono:

$$CE = \%C + (\%Mn + \%Si)/6 + (\%Cr + \%Mo + \%V)/5 + (\%Ni + \%Cu)/15$$

Determinando el carbono equivalente, se puede predecir la soldabilidad (Ver Tabla 2).

**Figura 17. Susceptibilidad al agrietamiento de HAZ como una función del contenido de carbono y del carbono equivalente.**



- **Entrada de calor**

A medida que la entrada de calor se incrementa, la rata de enfriamiento disminuye. El uso de electrodos de diámetro pequeño, corrientes bajas y velocidades de avance más rápidas, tenderán a disminuir la entrada de calor y por lo tanto incrementarán la rata de enfriamiento. La entrada de calor se puede calcular fácilmente, pues depende solamente de la corriente, el voltaje y la velocidad de avance de la soldadura medida o a lo largo del eje longitudinal de la junta. La fórmula para la entrada de calor, expresada en julios/in, es la siguiente:

$$H(\text{Julios por pulgada}) = \frac{E(\text{voltios}) * I(\text{amperios}) * 60}{S(\text{Velocidad en pulgadas por minuto})}$$

El término más empleado es Julios por pulgada, el cual describe la energía por pulgada necesaria para hacer una soldadura.

**Tabla 2. Efecto del carbono equivalente sobre la soldabilidad**

CARBONO EQUIVALENTE	FACILIDAD DE SOLDADURA	RECOMENDACIONES
Los aceros al carbono sin mezcla que tienen un carbono equivalente de no más del 0.40%	Fáciles de soldar	Este carbono equivalente puede incrementarse hasta 0.45%, siempre y cuando el carbono no exceda del 0.22%, el fósforo no exceda del 0.06% y el espesor del acero no tenga más de ¾ de in. (19.1 mm).
Excede de 0.40%	Se requieren controles especiales	Se debe usar el proceso de bajo hidrógeno o metales de aporte especiales.
Cuando el carbono equivalente excede de 0.60%	Se requieren controles especiales	Se requieren procesos de bajo hidrógeno; si el grosor excede de ¾ de in. (19.1 mm) hay que emplear calentamiento previo.

**Tabla 3. Condiciones de soldadura relacionadas con la energía de entrada**

Factor del procedimiento de soldadura	Efecto sobre la entrada de energía	Razones del efecto
Electrodo más grueso	Incrementa	Requiere corrientes más altas para quemarse.
Trenzado	Incrementa	Disminuye la velocidad efectiva de avance de la soldadura.
Arco más corto	Disminuye	Baja el voltaje de operación del arco.

- **Temperatura de precalentamiento**

En ciertos aceros es necesario precalentar el metal base a fin de controlar la velocidad de enfriamiento para eliminar o minimizar el riesgo de formación de estructuras duras y frágiles especialmente en la zona afectada térmicamente.

La fórmula para determinar la temperatura de precalentamiento es:

$$T_p = 350 * (CE - 0.25)^{1/2}$$

$$CE = C_{eq} * (1 + 0.005 * e)$$

Donde:

$T_p$  = temperatura de precalentamiento en grados centígrados ( $^{\circ}$  C).

$C_{eq}$  = es el carbono equivalente en función de la composición.

$e$  = es el espesor de la pieza a soldar en milímetros (mm).

$CE$  = es el carbono equivalente en función de la composición y el espesor del metal.

En el caso de aceros de alta aleación no son válidas las temperaturas de precalentamiento obtenidas por el método anterior ya que dados los elementos de aleación presentes en dichos aceros, las temperaturas obtenidas por la fórmula de  $T_p$  resultan excesivamente elevadas en algunos casos y en otros casos porque el precalentamiento resulta perjudicial.

A continuación se muestran algunas temperaturas sugeridas de precalentamiento para varios rangos de carbono equivalente (Ver Tabla 4).

**Tabla 4. Temperatura de precalentamiento sugerido.**

Carbono Equivalente	Temperatura de Precalentamiento
Hasta 0.45	Opcional
0.45 a 0.60	200 a 400 $^{\circ}$ F
Por encima de 0.60	400 a 700 $^{\circ}$ F

- **El espesor del metal base.**

El espesor del metal base también tiene un efecto en la tasa de enfriamiento; generalmente, las soldaduras en los metales base más gruesos se enfrían más rápidamente que en las secciones delgadas. La capacidad calorífica más grande asociada con las secciones más gruesas produce enfriamientos más rápidos del cordón de soldadura. Por lo tanto, cuando se sueldan secciones gruesas, algunos requerimientos tales como el precalentamiento, se especifican para reducir la tasa de enfriamiento y de esta manera mejorar las propiedades mecánicas resultantes en la zona afectadas por el calor.

## 6. CÓDIGO AASHTO/AWS D 1.5 2002: CÓDIGO DE SOLDADURA PARA PUENTES

### 6.1 CÓDIGO

El contenido del código AASHTO/AWS D1.5 2002 en términos generales es el siguiente:

**6.1.1 Disposiciones generales.** La premisa fundamental de este código es la de suministrar estipulaciones generales aplicables para cubrir cualquier situación rutinaria en puentes. Los criterios de aceptación para producir soldaduras diferentes a las descritas en este código, pueden ser empleados para una aplicación particular siempre y cuando estén adecuadamente documentados por el proponente y aprobado por el ingeniero. Tales alternativas de criterios de aceptación pueden basarse en la evaluación de la factibilidad para el servicio empleando experiencias pasadas, evidencia experimental, o análisis ingenieril considerando el tipo de material, los efectos de la carga de servicio, y los factores ambientales. La mayoría de las disposiciones de este código son obligatorias cuando se especifique el uso del mismo. Algunas disposiciones son opcionales y únicamente se aplican cuando son especificadas en el documento del contrato para un proyecto particular. Los procesos de soldadura que están contemplados en este código son los siguientes:

- Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW)
- Soldadura por arco sumergido (SAW)
- Soldadura por arco eléctrico con gas de protección (GMAW)
- Soldadura por arco eléctrico con fundente en el núcleo (FCAW)
- Soldadura por electroescoria (ESW)
- Soldadura por electrogas (EGW)
- Soldadura Plug (Tapón) y Slot (Ranura Alargada)

Otros procesos de soldadura no descritos en este código pueden ser usados con la aprobación del ingeniero. Estos procesos serán calificados por los ensayos descritos en el WPS de producción y por cualquier otro ensayo requerido por el ingeniero.

El rango de las variables esenciales estará basado en evidencias documentadas de la experiencia con los procesos, o una serie de ensayos que conduzcan a establecer los límites de las variables. Cualquier cambio en las variables esenciales fuera de este rango requerirá recalificación.

Los WPS de los procesos SMAW, SAW, GMAW y FCAW se consideran precalificados y no requerirán calificación, siempre y cuando cumplan con las disposiciones del código.

**6.1.2 Diseño de conexiones soldadas.** El diseño de conexiones soldadas comprende 3 secciones:

PARTE A Disposiciones Generales: Se dispone de una completa información de la localización, tipo, tamaño y extensión de todas las soldaduras, estas deben ser mostradas claramente a través de diagramas. En los diagramas se distinguirá claramente si la soldadura se hace en campo o en planta. A menos que sea especificado en el diseño, toda soldadura de ranura (en campo o en planta) serán soldaduras de juntas de penetración completa.

PARTE B Detalles Estructurales: Se deben evitar concentraciones de esfuerzos. Esto se logrará clasificando por partes y organizando los componentes para minimizar las fuerzas que van en contra del comportamiento dúctil, y evitando las concentraciones innecesarias de soldaduras, particularmente donde haya pequeñas porciones de metal base sin soldar entre soldaduras. El exceso de metal de soldadura aumenta los esfuerzos residuales, y si son llevados al extremo resultará una distorsión inaceptable, grietas o rasgaduras laminares (lamellar tears). La organización de las partes en un ensamble soldado y los detalles de la junta soldada proporcionará un amplio acceso para la deposición de todos los pases de soldadura que se requieran. La soldadura de ranura de juntas de penetración parcial (PJP) no serán usadas donde la aplicación de esfuerzos

tensiles sea normal a la garganta efectiva de la soldadura. La soldadura de ranura PJP hechas de un solo lado, serán restringidas para prevenir la rotación.

PARTE C. Detalles de las Juntas Soldadas: Describe minuciosamente los detalles que se deben tener en cuenta a la hora de realizar la unión por soldadura, a través de los distintos diseños (CJP, PJP) y procesos de soldadura.

**6.1.3 Mano de Obra:** Todos los párrafos de esta sección serán observados en la fabricación de la soldadura de puentes bajo este código. La soldadura no será hecha cuando la temperatura ambiente es menor que  $-20^{\circ}$  C, o cuando las superficies están húmedas o expuestas a la lluvia, nieve, o altas velocidades de viento, o cuando la soldadura es expuesta a condiciones inclementes. En cuanto a la preparación del metal base, las superficies y bordes de la soldadura será lisa, y estarán libres de grietas, rebabas, desgarres y otras discontinuidades que podrían afectar desfavorablemente la calidad o la resistencia de la soldadura. La superficie a ser soldada y la superficie adyacente a la soldadura estarán igualmente libres de escoria, óxido, humedad, grasa y otros materiales extraños que podrían estorbar la propia soldadura o producir gases indeseables. Este capítulo también hace referencia a las tolerancias dimensionales de las juntas, perfiles de soldadura, ensamble, control de distorsión, reparaciones, proceso de limpieza de la soldadura, proceso final de soldadura y soldadura de respaldo.

**6.1.4 Técnica:** Este aparte posee seis (6) secciones referentes a los requisitos y procedimientos necesarios para efectuar la soldadura bajo este código:

PARTE A Requisitos Generales: Se enuncian todas las condiciones y precauciones esenciales a la hora de realizar la unión soldada, para los distintos procedimientos de soldadura, tales como: el metal de llenado, la temperatura de precalentamiento y entrepasadas, el control en la entrada de calor y el tratamiento térmico para aliviar tensiones (relevo de esfuerzos).

- El metal de llenado: En las tablas 5 y 6 se enumeran los electrodos recomendados por el código AASHTO/AWS D1.5 2002 para cada proceso de soldadura y metal base.

- La temperatura de precalentamiento y entrepasadas: La temperatura de precalentamiento y entrepasada debe ser la suficiente para prevenir el agrietamiento, estas serán especificadas en la Tabla 7. El control en la temperatura estará basado en el espesor y el grado del metal base.
- Control de la entrada de calor: El control se efectuará dependiendo de los espesores de acero que van a ser unidos y de la temperatura de precalentamiento y entrepasadas.
- Tratamiento térmico para aliviar tensiones: el relevo de tensiones puede ser necesario para algunas aplicaciones donde la soldadura deba mantener la estabilidad dimensional durante el maquinado o donde los esfuerzos por corrosión puedan estar comprometidos.

PARTE B Soldadura por Arco Eléctrico con Electrodo Revestido (SMAW): Se exponen los requisitos para realizar el procedimiento de soldadura SMAW como: tipo y diámetro de los electrodos, longitud del arco, el voltaje y amperaje necesario, velocidad de desplazamiento, tamaño máximo de soldadura.

PARTE C Soldadura por Arco Sumergido (SAW): Se especifican los argumentos para realizar el proceso de soldadura SAW como: tipo y diámetro de los electrodos, combinaciones de electrodos simples y paralelos, espaciamiento entre los electrodos, tipo de fundente, el voltaje y amperaje necesario, velocidad de desplazamiento y los procedimientos al emplear electrodo simple, electrodos en paralelo y electrodos múltiples.

PARTE D Soldadura por arco eléctrico con gas de protección (GMAW) y soldadura por arco eléctrico con electrodo tubular (FCAW): Se detallan las especificaciones para efectuar los procedimientos de soldadura GMAW y FCAW como: tipo y diámetro de los electrodos, el gas o mezcla de gases de protección y los procedimientos al usar electrodo simple.

PARTE E Soldadura por electroescoria (ESW) y soldadura por electrogas (EGW): Se enumeran los juicios para hacer los procedimientos de soldadura ESW y EGW como: calificación de los procesos y procedimientos, detalles de la junta, propiedades mecánicas, condiciones de los electrodos y del fundente, el gas o mezcla de gases de protección.

PARTE F Soldadura Slot (Ranura Alargada) y Plug (Tapón): La técnica para efectuar la soldadura Slot (Ranura Alargada) y Plug (Tapón).

PARTE G Control De las Variables de Producción de Soldaduras: El control de las variables de soldadura de producción estará basado en los resultados del WPS calificado (corriente, voltaje, velocidad de desplazamiento, velocidad de flujo del gas de protección, calibración del equipo, etc.).

### **6.1.5 Calificación**

**Alcance:** Los requisitos para ensayos de calificación de las especificaciones del procedimiento de soldadura (WPS) y personal de soldadura (WPQ) se describen a continuación:

**PARTE A. Calificación de la especificación del procedimiento de soldadura.** Esta parte cubre las pruebas de calificación de los WPSs requeridas por el código, las cuales son designadas a proveer aseguramiento de la soldadura en acuerdo con los requisitos de este código produciendo soldadura resistente, dúctil y tenaz.

**Parte B. Calificación del soldador, operario de soldadura y punteador.** Esta parte cubre los ensayos de calificación de desempeño requeridos por el código, para determinar la habilidad de soldadores, operarios de soldadura o punteadores para producir soldaduras sanas.

**Tabla 5. Requisitos del metal de aporte para WPSs calificados en acuerdo con la entrada de calor**

Metal Base	Especificación del Electrodo (AWS)	Requisitos de Calificación, Pre-ensayo y Verificación de Ensayo				
		Esfuerzo Mínimo de Cedencia	Esfuerzo Mínimo Tensil	Elongación Mínima en 50 mm (2 in)	Zonas de Temperatura AASHTO CVN, Joules ( ft- lb )	
Designación AASHTO (ASTM)		Mpa (Ksi)	Mpa (Ksi)	Porcentaje	I y II	III
M 270M(M 270) (A 709M (A 709) Gr. 250 (36)	SMAW AWS A 5,1 E7016, E7018, E7028 A 5,5 E7016-X, E7018-X	PRECALIFICADO - EXCEPTO DE PRUEBAS (VER 5,11)				
	SAW AWS A 5,17/A 5,17M F6A0-EXXX F7A0-EXXX	300 (45)	400 (60)	22	27 a -20 °C (20 a 0 °F)	27 a -30 °C (20 a -20 °F)
	FCAW-G AWS A 5,20 E6XT-1,5 E7XT-1,5	300 (45)	400 (60)	22	27 a -20 °C (20 a 0 °F)	27 a -30 °C (20 a -20 °F)
	GMAW AWS A 5,18/A 5,18M E70C-3C, E70C-3M, E70C-6C, E70C-6M	300 (45)	400 (60)	22	27 a -20 °C (20 a 0 °F)	27 a -30 °C (20 a -20 °F)
M 270M(M 270) (A 709M (A 709) Gr. 345 (50) Tipo 1, 2 o 3	SMAW AWS A 5,1 E7016, E7018, E7028 A 5,5 E7016-X, E7018-X	PRECALIFICADO - EXCEPTO DE PRUEBAS (VER 5,11)				
	SAW AWS A 5,17/A 5,17M F7A0-EXXX AWS A 5,23/A 5,23M F7A0-EXXX-XX	345 (50)	450 (65)	22	27 a -20 °C (20 a 0 °F)	27 a -30 °C (20 a -20 °F)
	FCAW-G AWS A 5,20 E7XT-1,5 AWS A 5,29 EX1T1-X, EX1T1- XM EX1T5-X, EX1T5- XM	345 (50)	450 (65)	22	27 a -20 °C (20 a 0 °F)	27 a -30 °C (20 a -20 °F)
	GMAW AWS A 5,18/A 5,18M E70C-3C, E70C-3M, E70C-6C, E70C-6M	345 (50)	450 (65)	22	27 a -20 °C (20 a 0 °F)	27 a -30 °C (20 a -20 °F)

**Tabla 5. (Continuación) Requisitos del metal de aporte para WPSs calificados en acuerdo con la entrada de calor**

Metal Base	Especificación del Electrodo (AWS)	Requisitos de Calificación, Pre-ensayo y Verificación de Ensayo				
		Esfuerzo Mínimo de Cedencia	Esfuerzo Mínimo Tensil	Elongación Mínima en 50 mm (2 in)	Zonas de Temperatura AASHTO CVN, Joules ( ft- lb )	
Designación AASHTO (ASTM)		Mpa (Ksi)	Mpa (Ksi)	Porcentaje	I y II	III
M 270M(M 270) (A 709M (A 709) Gr. 345W (50W) 100 mm (4 in) y Menores	SMAW AWS A 5,1 E7016, E7018, E7028 A 5,5 E7016-X, E7018-X E7018-W E7015, 16, 18 C1L, C2L E8016, 18 C1, C2 E8016, 18 C3 E8018-W	PRECALIFICADO - EXCEPTO DE PRUEBAS (VER 5,11)				
	SAW AWS A 5,17/A 5,17M o AWS A 5,23/A 5,23M F7A0-EXXX F8A0-EXXX	345 (50)	470 (67)	22 20	27 a -20 °C (20 a 0 °F)	27 a -30 °C (20 a -20 °F)
	FCAW-G AWS A 5,20 o 5,29 E7XT-1,5 E8XT-1,5-NiX, w	345 (50)	470 (67)	22 20	27 a -20 °C (20 a 0 °F)	27 a -30 °C (20 a -20 °F)
	GMAW AWS A 5,28 E80C-Ni1	345 (50)	470 (67)	22	27 a -20 °C (20 a 0 °F)	27 a -30 °C (20 a -20 °F)
M 270M(M 270) (A 709M (A 709) Gr. 485 (70 W)	SMAW AWS A 5,5 E9018-M	PRECALIFICADO - EXCEPTO DE PRUEBAS (VER 5,11)				
	SAW A 5,23/A 5,23M F9A0-EXXX-X	485 (70)	610 (90)	17	34 a -25 °C (25 a -10 °F)	34 a -30 °C (25 a -25 °F)
	FCAW-G AWS A 5,29 E9XT1-X E9XT5-X	485 (70)	610 (90)	17	34 a -25 °C (25 a -10 °F)	34 a -30 °C (25 a -25 °F)
M 270M(M 270) (A 709M (A 709) Gr. 690/690 W (100/100 W) Sobre 60 mm (2 1/2 in) de Espesor	SMAW AWS A 5,5 E10018-M	PRECALIFICADO - EXCEPTO DE PRUEBAS (VER 5,11)				

**Tabla 6. Requisitos del metal de aporte para WPSs calificados en acuerdo con el WPS de producción**

Metal Base	Especificación del Electrodo (AWS)	Requisitos de Calificación de Ensayo						
		Esfuerzo Mínimo de Cedencia	Esfuerzo Mínimo Tensil	Elongación Mínima en 50 mm (2 in)	Zonas de Temperatura AASHTO			
					CVN, Joules ( ft- lb )			
Designación AASHTO (ASTM)		Mpa (Ksi)	Mpa (Ksi)	Porcentaje	I y II	III		
M 270M(M 270) (A 709M (A 709) Gr. 250 (36)	FCAW-S AWS A 5,20 E6XT-6, 8 E7XT-6, 8 AWS A 5,29 E6XT-8, 8 E7XT-8, 8	300 (45)	400 (60)	22	27 a -20 °C (20 a 0 °F)	27 a -30 °C (20 a -20 °F)		
	GMAW AWS A 5,18/A 5,18M ER 70S-2, 3, 6, 7 E70C-3C, E70C-3M E70C-6C, E70C-6M	300 (45)	400 (65)	22	27 a -20 °C (20 a 0 °F)	27 a -30 °C (20 a -20 °F)		
	ELECTROESCORIADO - No Autorizado para Miembros a Tensión y Compresión							
	AWS A 5,25 FES60-XXXX FES70-XXXX FES72-XXXX	300 (45)	400 (65)	24 22 22	27 a -20 °C (20 a 0 °F)	Lo Aprobado por el Ingeniero		
	ELECTROGAS- No Autorizado para Miembros a Tensión y Compresión							
	A 5,26 EG 60XXXX EG 62XXXX EG 70XXXX EG 72XXXXZ	300 (45)	400 (65)	24 22 22 22	20 a -20 °C (15 a 0 °F)	Lo Aprobado por el Ingeniero		
	M 270M(M 270) (A 709M (A 709) Gr. 345 (50)	GMAW AWS A 5,18/A 5,18M ER 70S-2, 3, 6, 7 E70C-3C, E70C-3M E70C-6C, E70C-6M	345 (50)	450 (65)	24	27 a -20 °C (20 a 0 °F)	27 a -30 °C (20 a -20 °F)	
		FCAW-S AWS A 5,20 E7XT-6, 8 AWS A 5,29 E7XT8-X	345 (50)	450 (65)	22	27 a -20 °C (20 a 0 °F)	27 a -30 °C (20 a -20 °F)	
		ELECTROESCORIADO - No Autorizado para Miembros a Tensión y Compresión						
		A 5,25 FES70-XXXX FES72-XXXX	345 (50)	450 (65)	22	27 a -20 °C (20 a 0 °F)	Lo Aprobado por el Ingeniero	
ELECTROGAS- No Autorizado para Miembros a Tensión y Compresión								
	AWS A 5,26 EG 70XXXX EG 72XXXX	345 (50)	450 (65)	22	27 a -20 °C (20 a 0 °F)	Lo Aprobado por el Ingeniero		

**Tabla 6. (Continuación) Requisitos del metal de aporte para WPSs calificados en acuerdo con el WPS de producción**

Metal Base	Especificación del Electrodo (AWS)	Requisitos de Calificación de Ensayo				
		Esfuerzo Mínimo de Cedencia	Esfuerzo Mínimo Tensil	Elongación Mínima en 50 mm (2 in)	Zonas de Temperatura AASHTO CVN, Joules ( ft- lb )	
Designación AASHTO (ASTM)		Mpa (Ksi)	Mpa (Ksi)	Porcentaje	I y II	III
M 270M(M 270) (A 709M (A 709) Gr. 345W (50W) 100 mm (4 in) y Menores	FCAW-S AWS A 5,20 E7XT-6, 8 AWS A 5,29 E6XT-8, 8	345 (50)	470 (70)	22	27 a -20 °C (20 a 0 °F)	27 a -30 °C (20 a -20 °F)
	GMAW AWS A 5,18/A 5,18M ER 70S-2, 3, 6, 7 AWS A 5,28 ER80S-NiX E80C-Ni1	345 (50)	470 (70)	22 20 20	27 a -20 °C (20 a 0 °F)	27 a -30 °C (20 a -20 °F)
	AWS A 5,25 FES70-XXXX FES72-XXXX	345 (50)	470 (70)	22	27 a -20 °C (20 a 0 °F)	Lo Aprobado por el Ingeniero
	AWS A 5,26 EG 70XXXX EG 72XXXX	345 (50)	470 (70)	22	20 a -20 °C (15 a 0 °F)	Lo Aprobado por el Ingeniero
	SEGÚN LO APROBADO POR EL INGENIERO (VER TABLA 9)					
M 270M(M 270) (A 709M (A 709) Gr. 690/690 W (100/100 W) Sobre 60 mm (2 1/2 in) de Espesor	SAW AWS A 5,23 F10A4-EM2-M2	600 (90)	675 (95)	16	27 a -40 °C (20 a -40 °F)	Lo Aprobado por el Ingeniero
	FCAW-G AWS A 5,29 E100 T5-K3 E100 T1-K7	600 (90)	675 (95)	16	27 a -40 °C (20 a -40 °F)	Lo Aprobado por el Ingeniero
	GMAW AWS A 5,28 ER 100S-1 ER 100S-2	600 (90)	675 (95)	16	27 a -40 °C (20 a -40 °F)	Lo Aprobado por el Ingeniero
M 270M(M 270) (A 709M (A 709) Gr. 690/690 W (100/100 W) Sobre 60 mm (2 1/2 in) de Espesor o Menores	SMAW AWS A 5,5 E11018-M	670 (95)	745 (110)	20	27 a -40 °C (20 a -40 °F)	Lo Aprobado por el Ingeniero
	SAW AWS A 5,23/A 5,23 M F11A4-EM3-M3	670 (95)	745 (110)	20	27 a -40 °C (20 a -40 °F)	Lo Aprobado por el Ingeniero
	FCAW-G AWS A 5,29 E100 T5-K3, K4 E111 T1-K4	670 (95)	745 (110)	20	27 a -40 °C (20 a -40 °F)	Lo Aprobado por el Ingeniero
	GMAW AWS A 5,28 ER 110S-1	670 (95)	745 (110)	20	27 a -40 °C (20 a -40 °F)	Lo Aprobado por el Ingeniero
	SEGÚN LO APROBADO POR EL INGENIERO (VER TABLA 9)					

**Tabla 7. Mínimo precalentamiento y temperatura entre pases °C (°F)**

PROCESO DE SOLDADURA (MB)	RANGO DE ESPESOR EN EL PUNTO DE LA SOLDADURA mm (in)			
	X <= 20 (3/4)	20(3/4) < X <= 40(1 1/2)	40(1 1/2) < X <= 60(2 1/2)	60(2 1/2) < X
SAW, SMAW, GMAW, FCAW (Acero 709 Grado 50/50W)	10 (50)	20 (70)	65 (150)	110 (225)
SAW, SMAW, GMAW, FCAW (Acero 709 Grado 70W/100/100W)	10 (50)	50 (125)	80 (175)	110 (225)

### 6.1.6 Inspección:

**Parte A: Requisitos generales.** Esta sección del código hace referencia a todos aquellos aspectos relacionados con el control y aseguramiento de la calidad antes, durante y después de las operaciones de soldadura. Describiendo bases para la calificación del inspector, materiales de inspección, inspección de WPSs, inspección de procedimientos, inspección de trabajo e informes. Como complemento a esta parte del código se especifican los ensayos no destructivos a ser realizados los cuales incluyen radiografía, ultrasonido, partículas magnéticas y tintas penetrantes de acuerdo al tipo de junta y al miembro estructural analizado, especificando la frecuencia con la cual deben ser realizados y la extensión. Ver tabla 8.

**Parte B: Ensayo por Radiografía a soldaduras de ranura en juntas a tope.** En esta sección del código se describen los requisitos específicos y las normas técnicas para realizar el ensayo por radiografía a soldaduras de ranuras en juntas a tope de placas, perfiles y barras utilizando fuente de rayos x o rayos gamma. Adicionalmente se describe el procedimiento del ensayo, aceptabilidad de soldaduras, examen, reporte y disposición de las radiografías.

**Parte C: Ensayo por Ultrasonido de soldaduras de ranura.** En esta sección del código se describen los requerimientos específicos que rigen la realización del ensayo por ultrasonido, incluyendo el rango de espesor que pueden ser inspeccionados por esta técnica, las zonas y dimensiones a inspeccionar. Como complemento a esta sección los párrafos siguientes hacen referencia a todos aquellos aspectos concernientes al equipo de ultrasonido e instrumentos auxiliares (referencias estándares, calificación del equipo y calibración para el ensayo). Posteriormente se describe la manera de realizar el reporte

de resultados (preparación y disposición).

#### **Parte D: Criterios de aceptación de las soldaduras.**

##### **Inspección visual**

La inspección visual de la soldadura en todos los aceros se realizara inmediatamente después de completada la soldadura estando a temperatura ambiente. Todas las soldaduras serán inspeccionas visualmente y serán aceptadas conforme a los siguientes requisitos:

- Soldaduras libres de grietas.
- Fusión completa en capas adyacentes del metal de soldadura y entre metal de soldadura y metal base.
- Cráteres completamente llenos en la sección transversal de la soldadura. Excepto en el extremo terminal de la longitud efectiva en soldaduras de filetes intermitentes cuando estas aparecen en el diseño.
- Perfiles de soldaduras conformes con el numeral 3.6 del código AASHTO/AWS D 1.5 2002.
- Socavaduras no mayores que 0.25mm (0.01 in) de profundidad en miembros primarios cuando la soldadura es diseñada bajo condiciones de carga de esfuerzos transversales o tensiles. Las socavaduras no serán mayores de 1mm (1/32 in) de profundidad para otros casos.
- La frecuencia de la porosidad tubular en la superficie de soldaduras de filete no excederá de una en 100mm (4 in) o de seis en 1200mm (4ft) de longitud de soldadura y el máximo diámetro no excederá de 2.4mm (3/32 in).
- Soldaduras de ranura a tope directo en juntas de penetración completa no deben presentar porosidad tubular en dirección transversal a la de los esfuerzos tensiles calculados. Para todas las otras soldaduras de ranura la frecuencia de porosidad tubular no excederá una en 100mm ( 4 in ) de longitud, y el máximo diámetro no excederá 2.4mm ( 3/32 in ).

## Inspección por tintas penetrantes

Soldaduras sujetas a inspección por tintas penetrantes en adición a la inspección visual, serán evaluadas bajo los requerimientos de inspección visual.

**Tabla 8. Guía de control de calidad de técnicas de soldadura.**

Técnica de Examen	Equipo	Defectos Detectados	Ventajas	Desventajas	Otras Consideraciones
Visual (VT)	Lente de bolsillo, careta para soldar, calibrador de soldaduras, regla, etc.	Preparación de la soldadura, ajuste, limpieza, aspereza, salpicadura, socavado, traslape, contorno y tamaño de las soldaduras, procedimientos de soldadura.	Fácil de usar, rápido, barato, útil en todas las etapas, de producción.	Sólo para superficies, depende de la opinión subjetiva del inspector.	El método que se usa más universalmente.
Color penetrante o fluorescente (DPT, FPT)	Líquidos colorantes fluorescentes o visibles, penetrantes y reveladores. Para el tipo fluorescente luz ultravioleta.	Sólo defectos abiertos a la superficie, bueno para detectar fugas.	Detecta imperfecciones muy pequeñas y estrechas, fácil de aplicar y de interpretar, barato, se emplea en materiales magnéticos y no magnéticos.	Los pasos del proceso son muy lentos, generalmente no hay registro permanente.	A menudo se usa en el paso de raíz de soldaduras de tubos muy críticas, si el material no se limpia bien, algunos resultados pueden ser falsos.
Partículas magnéticas (MT)	Partículas de hierro, simples o fluorescentes, secas o suspendidas, fuente de poder especial, luz ultravioleta para el tipo fluorescente.	Discontinuidades superficiales y subsuperficiales, fisuras, etc.; porosidad, escoria, etc.	Indica discontinuidades invisibles al ojo, útil para revisar bordes antes de soldar, también reparaciones, sin límite de tamaño.	Sólo se puede usar con materiales magnéticos; la aspereza superficial puede distorsionar al campo magnético; generalmente no hay registro permanente.	El examen debe hacerse desde dos direcciones perpendiculares para localizar discontinuidades que puedan ser paralelas a un conjunto de líneas magnéticas de fuerza.

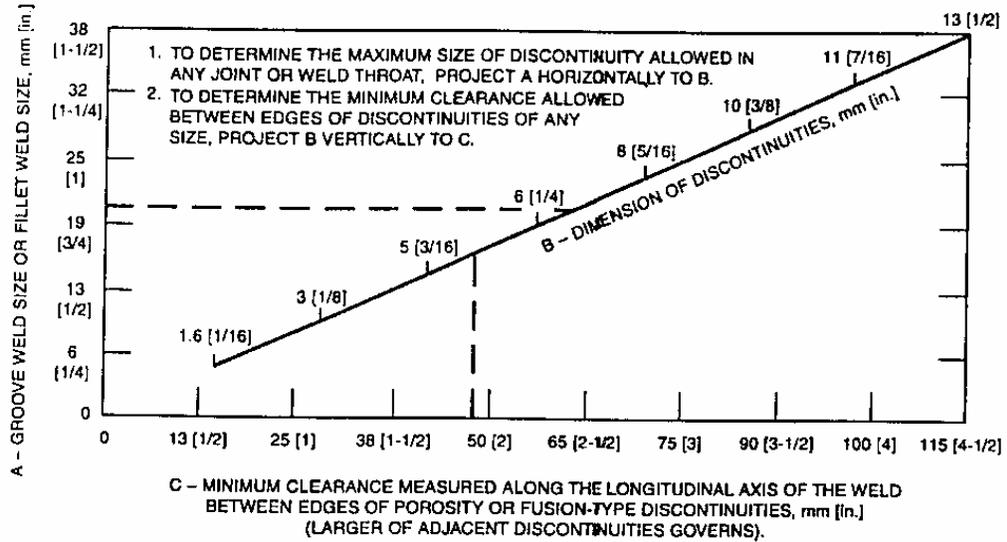
**Tabla 8. (Continuación) Guía de control de calidad de técnicas de soldadura.**

Radiografía (RT)	Fuente de rayos X o gamma, equipo de revelado; equipo visor de película, penetrómetros.	La mayoría de discontinuidades y defectos internos; limitado por la dirección de la discontinuidad.	Proporciona un registro permanente; señala defectos tanto superficiales como internos; aplicable a todos los materiales.	Generalmente no se recomienda para examen de chaflanes; son críticos la exposición y el revelado de la película; lento y caro.	La técnica más popular para la inspección subsuperficial; es solicitado por algunos códigos y especificaciones.
Ultrasónica (UT)	Unidades ultrasónicas y transductores; modelos de referencia y comparación.	Pueden descubrir defectos internos localizados por otros métodos, y además defectos extremadamente pequeños.	Extremadamente sensible; su uso solo está restringido en construcciones muy complejas; se puede emplear en todos los materiales.	Requiere de gran habilidad de interpretación.	Es solicitado por algunos códigos y especificaciones.

**Inspección por Radiografía y Partículas magnéticas.**

- Las soldaduras sujetas a ensayos por Radiografía y Partículas Magnéticas adicional a la inspección visual no deben presentar grietas y no serán aceptadas si los ensayos muestran algún tipo de discontinuidades descritas en los numerales 6.26.2.1, 6.26.2.2, 6.26.2.3, o 6.26.2.4 del código AASHTO/AWS D1.5 2002.
- Para soldaduras sujetas a esfuerzos tensiles, la mayor dimensión de alguna porosidad o discontinuidad tipo fusión es 1.6mm (1/16 in) o extensiones de mayores dimensiones no excederán el tamaño B indicado en la figura 16 para la garganta efectiva o tamaños de soldadura implicados. La distancia entre alguna porosidad o discontinuidad tipo fusión no será menor que la mínima separación mostrada en C, indicada en la figura 18.

**Figura 18. Requisitos de calidad de soldadura para discontinuidades que ocurren en soldaduras a tensión (limitaciones de porosidad y discontinuidades de fusión)**



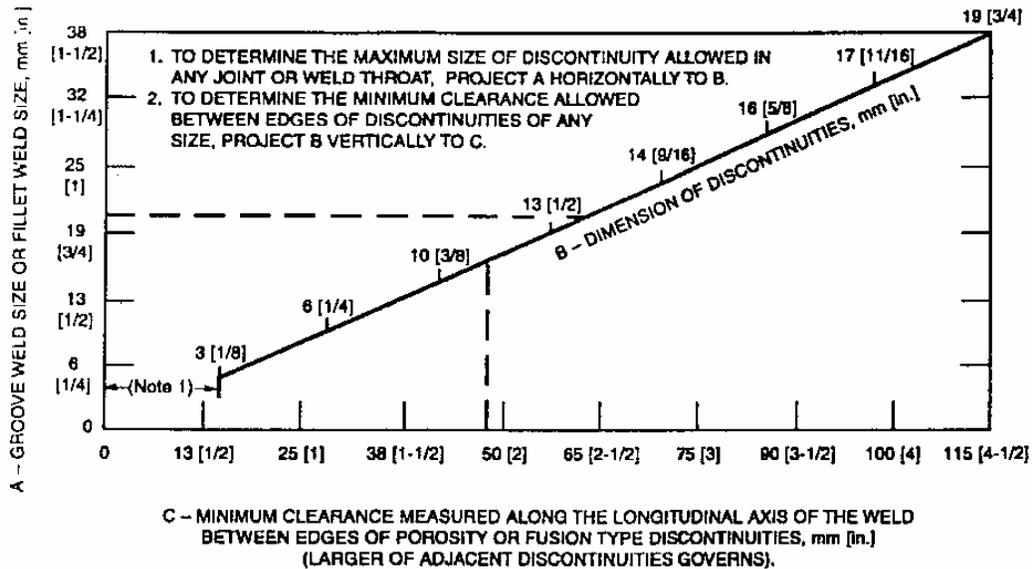
- Para soldaduras sujetas solo a esfuerzos de compresión, la mayor dimensión de porosidad o discontinuidad tipo fusión es de 3mm (1/8 in) o extensiones de mayores dimensiones no excederán el tamaño B, el espaciamiento entre discontinuidades adyacentes no será menor que la mínima separación mostrada en C, indicadas en la figura 19.
- Independientemente de los requerimientos anteriores, discontinuidades cuya mayor dimensión es menor 1.6mm (1/16 in) no serán aceptadas si la suma de sus dimensiones mayores excede 10mm (3/8 in) en 25mm (1 in) de extensión de soldadura.

### Inspección por ultrasonido.

Las soldaduras sujetas a ensayo por ultrasonido adicional a la inspección visual serán aceptadas si cumplen los siguientes requerimientos:

- Soldaduras sujetas a esfuerzos tensiles conformes a los requisitos de la tabla 6.3 del código AASHTO/AWS D 1.5 2002.
- Soldaduras sujetas a esfuerzos de compresión conforme a los requerimientos de la tabla 6.4 del código AASHTO/AWS D 1.5 2002.

**Figura 19. Requisitos de soldadura para discontinuidades que ocurren en soldaduras a compresión (Limitaciones de porosidad o discontinuidades del tipo de fusión)**



**6.1.7 Soldadura de espárragos:** Esta sección del código contiene los requisitos generales para la soldadura de espárragos de acero a acero. En adición, se estipulan las condiciones específicas para lo siguiente:

- Mano de obra, pruebas de pre-producción, calificación del operador y aplicación de las pruebas de calificación, cuando se requiera, todo será ejecutado por el contratista.
- Control de calidad y seguridad en la soldadura de espárragos durante la soldadura de producción.
- Propiedades mecánicas de los espárragos de acero y requisitos para la calificación de las bases de los espárragos, todos los ensayos y documentación serán suministrados por el fabricante de los espárragos.

### **6.1.8 Plan de control de fractura (FCP) AASHTO/AWS para miembros no redundantes:**

Esta sección se aplicará a miembros críticos no redundantes. Todos los miembros de acero del puente y los componentes diseñados en los planos y que posean fractura crítica, estarán sujetos a las disposiciones adicionales de este código. Los Miembros Críticos de Fractura (MCFs), los cuales son miembros o componentes unidos sometidos a tensión (la falla de la cual se esperaría resultará el colapso del puente). Las uniones que se considerarán como MCF serán todas aquellas que excedan en 100mm (4 in) en la dirección paralela a los esfuerzos tensiles calculados en MCF. Cabe anotar que todas las soldaduras que se encuentren en miembros a compresión no serán definidas como miembros de fractura crítica. En este capítulo se determinan los requisitos del metal base, proceso de soldadura, del metal de aporte o consumible, WPSs, condiciones en el punteo de las soldaduras, control de la temperatura de precalentamiento e entre pasadas, tratamientos térmicos de post-soldadura, la inspección en soldaduras, y condiciones de reparación de soldaduras.

## **6.2 DEFINICIONES**

### **6.2.1 Variables esenciales.**

Las variables esenciales de un procedimiento de soldadura son aquellas en las que un cambio con respecto a lo descrito específicamente en el código afectan las propiedades mecánicas de la soldadura obtenida y por lo tanto requiere recalificación.

### **6.2.2 Variables Esenciales Suplementarias.**

Las variables esenciales suplementarias de un procedimiento de soldadura son las que al cambiarse afectan las propiedades de tenacidad de los materiales a bajas temperaturas, estas variables deben tenerse en cuenta cuando alguna sección del código o de la especificación exija prueba de impacto de los materiales.

### **6.2.3 Variables no esenciales.**

Las variables no esenciales de un procedimiento de soldadura son las que al cambiarse no ocasionan efectos apreciables en las soldaduras. Estas variables tienen que ser incluidas en todo WPS y se deben registrar. Las variables no esenciales se pueden cambiar, revisando el WPS, sin necesidad de recalificar el procedimiento de soldadura.

### **6.2.4 WPS, WPQ Y PQR**

**WPS Especificación del procedimiento de soldadura** (Welding Procedure Specification). Un WPS es un documento preparado y calificado por un departamento técnico o de ingeniería, para dar instrucciones al personal que realiza e inspecciona las soldaduras de producción.

**PQR: Registro de calificación del procedimiento** (Procedure Qualification Record). Es un documento que valida y respalda el WPS. El PQR contiene las variables reales de soldadura utilizadas en la prueba y los resultados del ensayo realizado sobre la soldadura, para propósitos de calificar las especificaciones del procedimiento de soldadura. El PQR es el registro que documenta los resultados de soldar y ensayar las probetas.

**WPQ Calificación de soldadores** (Welding Performance Qualification). En este documento debe registrarse como mínimo, las variables esenciales para soldadores, el tipo de pruebas realizadas y sus resultados, y los rangos calificados de acuerdo con la forma establecida en cada código para cada soldador u operario de soldadura.

## **6.3 CALIFICACIÓN**

En esta sección del código se relaciona los requerimientos de calificación del WPS y personal de soldadura WPQ.

**Alcance:** Los requisitos para ensayos de calificación de las especificaciones del procedimiento de soldadura (WPS) y personal de soldadura (WPQ) se describen a continuación:

### **6.3.1 PARTE A. Calificación de la especificación del procedimiento de soldadura.**

**Aprobación.** La aprobación de los WPSs serán basados sobre los resultados de pruebas mecánicas que demostrarán que el proceso y el WPS usados producirán una soldadura sana con requerimientos de ductilidad, tenacidad y resistencia. Las propiedades mecánicas de soldaduras de filete y ranura serán determinadas usando una prueba estándar de soldadura de ranura. La sanidad en las pruebas de la soldadura de filete y ranura serán determinadas por pruebas radiográficas, mecánicas y Macroataque. La sanidad de soldaduras en producción será establecida por pruebas visuales y no destructivas requeridas por este código.

- Propósito de las pruebas de calificación del WPS. Las pruebas de calificación del WPS requeridas por este código son designadas para proveer seguridad en la unión del metal producido por soldadura en acuerdo con los requisitos mecánicos de este código.

6.3.1.1 Responsabilidad de la calificación. Cada contratista guiará las pruebas de calificación o verificación del WPS como sea requerido por el código.

- Contratista. El contratista preparará los WPSs basados sobre la entrada de calor y los controles eléctricos impuestos por los WPSs y dentro de estos límites, especificarán las variables de soldadura que producirán las condiciones de soldadura características, tamaño de soldadura y los perfiles requeridos en el trabajo.
- Ingeniero. El ingeniero aceptará pruebas debidamente documentadas de calificación previa del soldador, operario de soldadura y punteador.
- Pruebas adicionales. Estas serán pagadas por el dueño, en acuerdo con el contratista a no ser que lo especifiquen en el contrato. El ingeniero puede ordenar pruebas de soldadores, operarios, punteadores, WPS, siempre que haya evidencia de una soldadura no aceptada.
- Registro. El registro de los resultados de las pruebas serán mantenidos por el contratista, fabricante y constructor.

6.3.1.2 Duración. Todos los WPSs estarán basados sobre pruebas las cuales serán ejecutadas no más de 60 meses antes de la producción de soldadura. Estos requisitos aplican a las pruebas de calificación de WPS, prepruebas y verificación de pruebas.

6.3.1.3 Metal base. Los siguientes requisitos serán usados para calificación del WPS, preprueba y verificación de prueba del metal base. Ver tabla 9.

- Requisitos de calificación de metal base. El metal base de producción calificado por el PQR estará conforme a lo dispuesto en la tabla.
- Requisitos químicos para las placas de prueba del acero M270M (M270) grado 35W o A709M(A709) grado 50W: Cuando este acero es usado como placa de prueba o respaldo para calificar todos los aceros de la AASHTO teniendo un esfuerzo de cedencia mínimo de 345 MPa (50 ksi) o menor, dicho acero tendrá la siguiente composición química.

Elemento	% de Composición Mínima
C	0.15
Mn	1
Si	0.25
Cr	0.5
V	0.03

Las placas de prueba y respaldo que no tengan una composición química conforme a los límites descritos anteriormente pueden ser usados siempre y cuando el acero tenga una templabilidad equivalente determinada por uno de los siguientes items:

- a) El carbono equivalente será de 0.45 % Mínimo, determinado por la formula y el porcentaje de carbono será de 0.12 % Mínimo.

$$C_{eq} = \%C + (\%Mn + \%Si) / 6 + (\%Cr + \%Mo + \%V) / 5 + (\%Ni + \%Cu) / 15$$

- b) Diámetro crítico ideal, calculado o experimental.

- CMTRs (Copias de los reportes de pruebas del fabricante). Los certificados de calidad de todas las placas y refuerzos serán suministradas por el fabricante.

6.3.1.4 Consumibles para soldadura. Las pruebas del metal de aporte serán dirigidas por el fabricante como lo requieren las especificaciones. Las pruebas serán conducidas anualmente.

6.3.1.5 Espesor de placas de prueba. Los WPSs para SMAW, FCAW, GMAW y SAW estarán basados sobre las placas de prueba del PQR con espesores mayores o iguales a 25mm (1 in.) y calificarán los WPSs para uso de todos los espesores de aceros cubiertos por este código.

**Tabla 9. Requisitos del Metal Base para su Calificación**

ESPECIFICACIÓN Y GRADO DEL METAL BASE PARA PLACAS EN PQR (Ver Nota 1)	ESPECIFICACIÓN Y GRADO DEL METAL BASE CALIFICADO PARA LA PRODUCCIÓN
M 270M (M270) A 709 M (A 709)	M 270M (M 270) (A 709M (A 709))
Grado 250 (Grado 36)	Grado 250 (Grado 36)
M 270M (M270) A 709 M (A 709)	M 270M (M 270) (A 709M (A 709))
Grado 345 (Grado 50)	Grado 250, 345 (Grado 36, 50)
M 270M (M270) A 709 M (A 709)	M 270M (M 270) (A 709M (A 709))
Grado 345W (Grado 50W)	Grado 250, 345, 345W
Nota 2	(Grado 36, 50, 50W)
Cualquier acero con un mínimo esfuerzo de fluencia > <b>345 Mpa (50 ksi)</b>	Especificación y grado del metal base de la placa en el PQR

**Nota 1.** Todo material de metal base deberá tener un valor mínimo de ensayo de impacto Charpy Muesca en V (CVN) de **27 J (20 ft-lb) a 4 °C (40 °F)**

**Nota 2.** De acuerdo a los requisitos del numeral 5.4.2 del código AASHTO/AWS D 1.5 20022

6.3.1.6 Requisitos generales para calificación del WPS. Una prueba de calificación del WPS será ejecutada por el contratista de acuerdo con los requisitos de entrada de calor y procedimientos de producción. La figura 20 será usada para toda prueba de calificación del WPS.

- Verificación de pruebas del PQR. Una prueba de verificación del WPS es una versión simplificada de una prueba de calificación del WPS. Las pruebas de calificación ejecutadas bajo los requisitos de entrada de calor y procedimientos de producción no requieren pruebas de verificación. La figura 21 será usada para toda prueba de verificación.

- Combinación de WPSs. Una combinación de WPSs de SMAW precalificado y calificado o preprobado y verificado puede ser usado para completar una junta soldada sin pruebas adicionales, teniendo en cuenta las limitaciones de variables esenciales y limitaciones de máximas y mínimas entradas de calor aplicable a cada WPS.
- Ediciones previas al código. WPSs calificados con ediciones previas de este código serán aceptadas haciendo una ligera conversión del WPS. Los datos del PQR no requieren transformación si los ensayos fueron realizados en ediciones previas a este código.

6.3.1.7 Posiciones de soldadura para pruebas. Cada WPS será probado en la posición en la cual la soldadura será ejecutada en el trabajo, excepto que la prueba de soldadura hecha en la posición plana califica para soldadura plana y horizontal.

- Las posiciones en soldadura de ranura: plana (1G), horizontal (2G), vertical (3G) y sobrecabeza (4G).
- Posiciones en la soldadura de filete. Cuando la soldadura de filete es hecha la prueba de Macroataque determinará la sanidad para la calificación del WPS. Las posiciones son: plana (1F), horizontal (2F), vertical (3F) y sobrecabeza (4F).

6.3.1.8 Opciones para la calificación o precalificación del WPS

- Soldadura de ranura de junta de penetración parcial (PJP). Los WPSs calificados para uso como soldadura de ranura de junta de penetración completa (CJP) puede ser usado a ser soldadura de ranura de junta de penetración parcial (PJP) sin pruebas adicionales. El ingeniero puede requerir al contratista a proveer tres especímenes para la prueba de Macroataque para evaluar la sanidad de la soldadura y verificar que el tamaño de grano de la soldadura producida es el requerido.

6.3.1.9 Calificación del WPS de soldadura de filete.

- PQRs de soldadura de ranura. Los WPSs de soldadura de filete pueden ser escritos basados en los PQRs apropiados de soldadura de ranura.

Figura 20. Placa de prueba A para calificación o preprueba del WPS

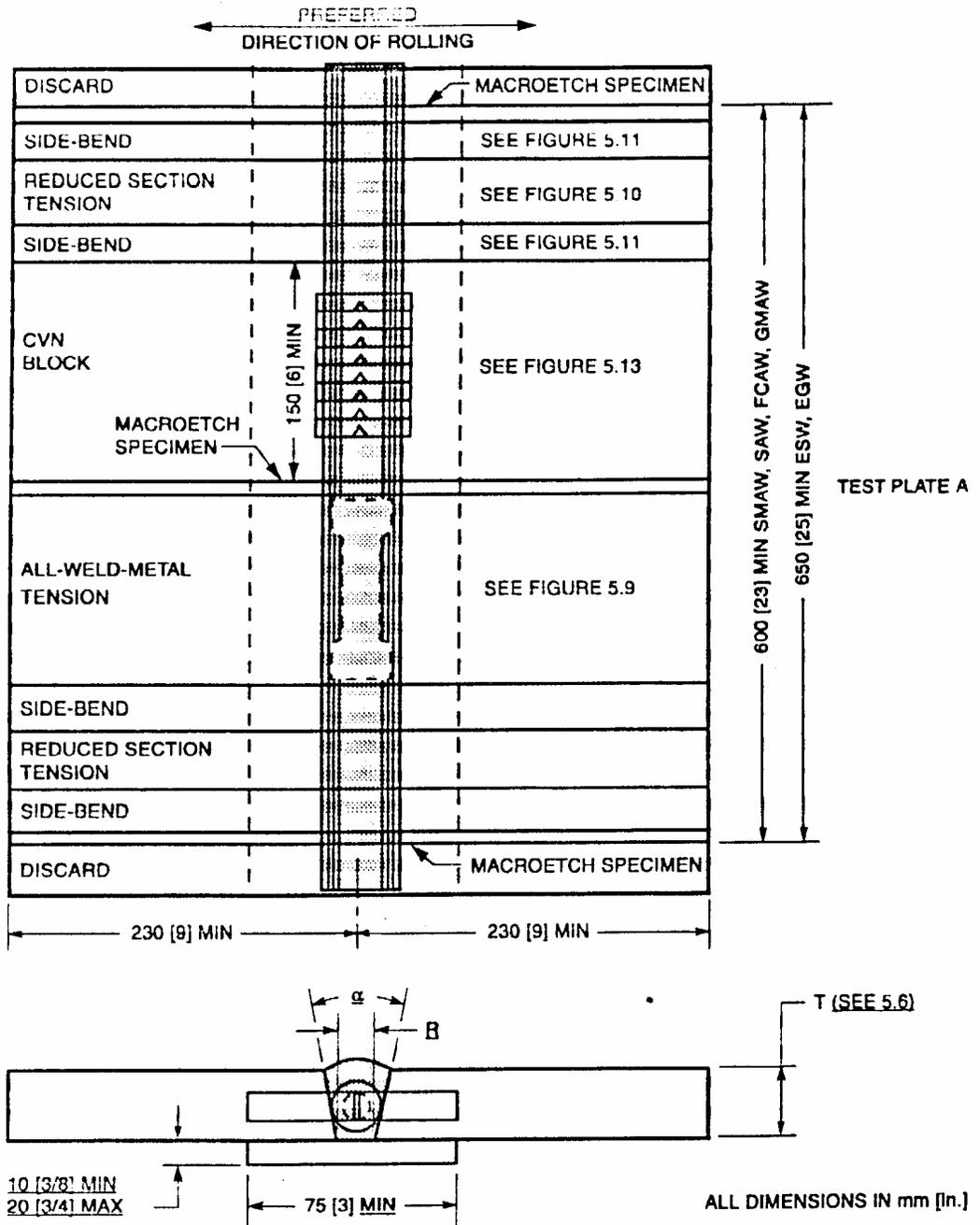
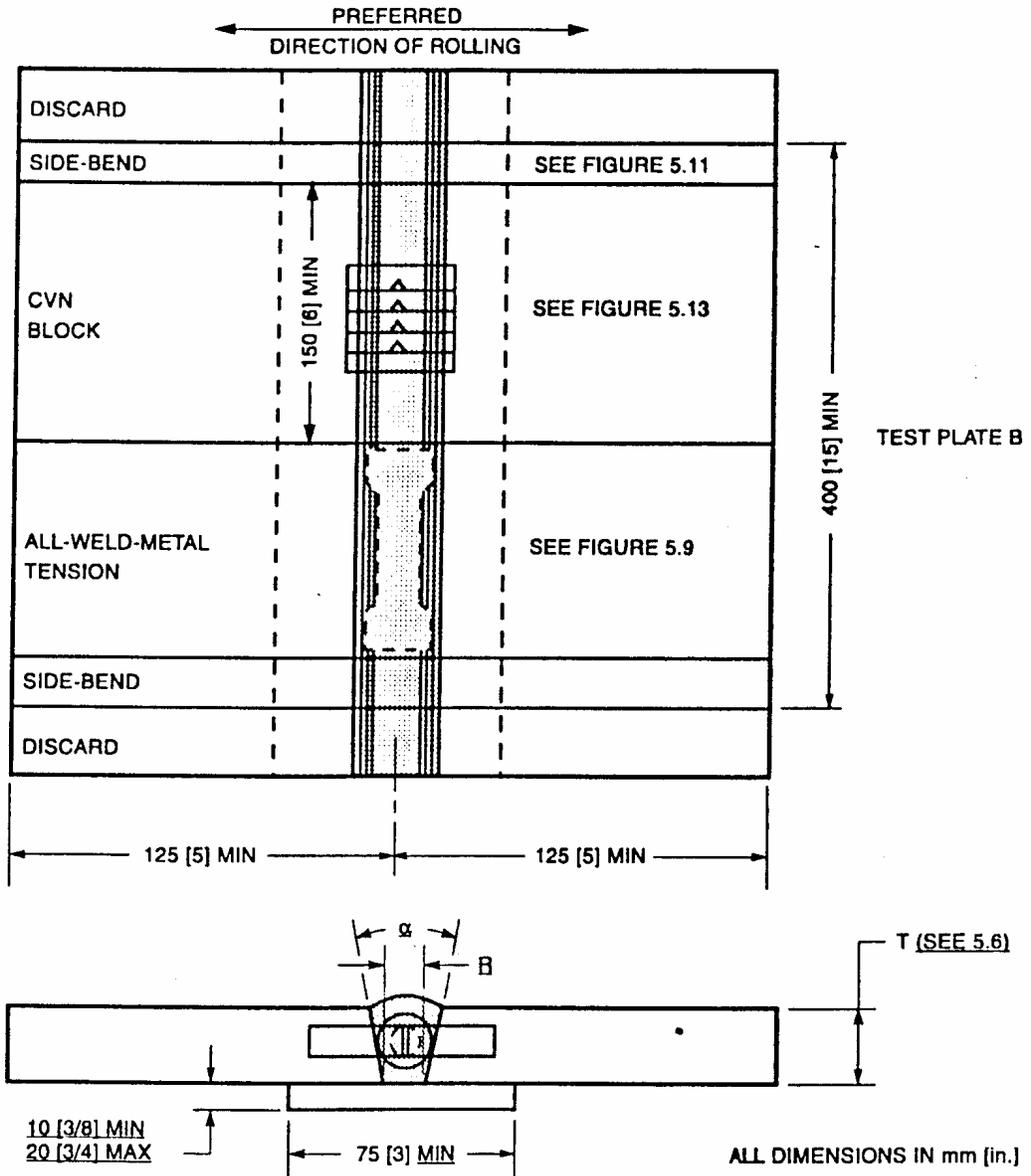


Figura 21. Placa de prueba B para verificación del WPS



- Propiedades de soldadura de filete. Las propiedades mecánicas de soldadura de filete serán determinadas por pruebas mecánicas de soldadura de ranura. Una prueba de propiedades de soldadura de filete por separado no es requerida a menos que se especifique en el contrato.

- Prueba de sanidad de soldadura de filete. Los WPSs de la soldadura de filetes estarán sujetos a la calificación de la sanidad de la soldadura por Macroataque como se muestra en la figura 22. Las pruebas serán conducidas usando la polaridad del WPS, baja corriente y bajo voltaje. Una prueba de Macroataque de soldadura de filete será hecho por cada WPS y la posición a ser usada en construcción.

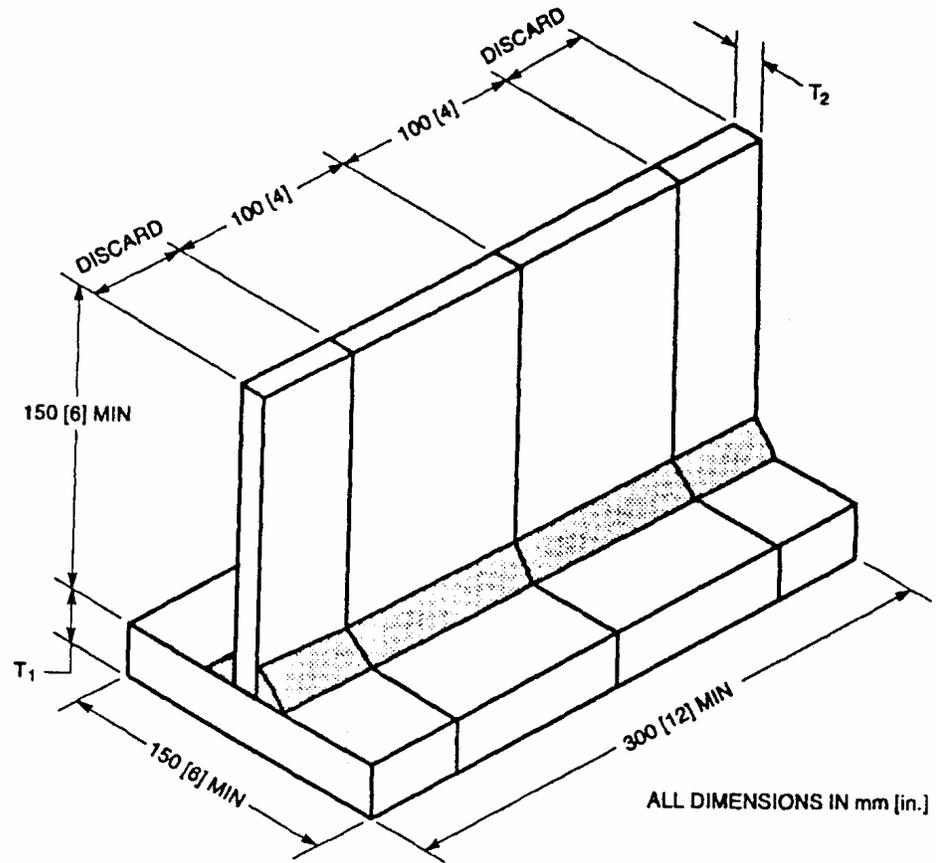
6.3.1.10 WPS precalificado. Los WPSs de SMAW usando electrodos listados en la tabla 9 y que están conforme a los requisitos de este código serán considerados precalificados y exentos de pruebas de WPS.

6.3.1.11 Entrada de calor en el WPS. El calor de entrada será determinado usando la formula:

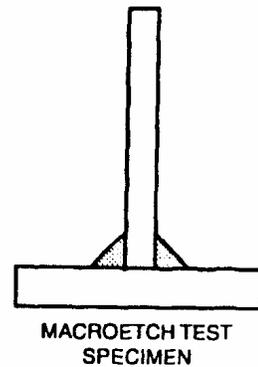
$$\text{Entrada de calor (KJ/in)} = (\text{amperaje} * \text{voltaje} * 0.06) / \text{velocidad de avance (in/min)}$$

- Máxima entrada de calor. Para calificar los WPSs GMAW, SAW o FCAW-G para metales de aporte aceptados, las pruebas serán conducidas de acuerdo a la figura 20 con un WPS que produce la más alta entrada de calor y por esto la más baja rata de enfriamiento de la soldadura y en la ZAT.
- Parámetros eléctricos. Tipo de corriente, polaridad, especificaciones eléctricas será como se describe en el WPS.
- Mínimo precalentamiento y mínima temperatura entre pasadas. El mínimo precalentamiento y mínima temperatura entre pasadas será de 100° C para obtener una máxima entrada de calor.
- Mínima entrada de calor. La mínima temperatura de precalentamiento será de 10° C y la máxima temperatura de precalentamiento será 40° C. La máxima temperatura entre pasadas no excederá los 50° C. Las placas de prueba pueden ser enfriadas artificialmente entre pases.

Figura 22. Placa de prueba para la calificación del WPS de una soldadura de filete por medio del ensayo de sanidad (macroataque)



WELD SIZE	T <sub>1</sub> MIN	T <sub>2</sub> MIN
5 [3/16]	12 [1/2]	5 [3/16]
6 [1/4]	20 [3/4]	6 [1/4]
8 [5/16]	25 [1]	8 [5/16]
10 [3/8]	25 [1]	10 [3/8]
12 [1/2]	25 [1]	12 [1/2]
16 [5/8]	25 [1]	16 [5/8]
20 [3/4]	25 [1]	20 [3/4]
>20 [>3/4]	25 [1]	25 [1]



- Limitaciones en la soldadura de producción. La máxima entrada de calor empleada será operada entre el 60 y 100% de la máxima entrada de calor del PQR calificado. Cuando la calificación del WPS es basada bajo la máxima entrada de calor, en los WPSs de producción, la corriente y el voltaje no excederán los valores registrados en el PQR. Después de que la corriente y el voltaje han sido seleccionados la velocidad de avance será ajustada entre el 60 y 100% de la máxima entrada de calor. La corriente y el voltaje no serán reducidas por más de 20 y 14% respectivamente desde los máximos valores registrados en el PQR.

6.3.1.12 WPS de producción. La calificación de los WPSs con metal de aporte no listado en la tabla 5 y si el WPS no está calificado, con los requisitos de entrada de calor, el WPS será calificado observando las limitaciones de variables descritas en la tabla 10.

- Limitaciones. Cambios a las variables del PQR, mostradas en la tabla 10, requerirán recalificación del WPS. Cuando una combinación de WPSs es usado, las variables aplicadas a cada WPS aplicará.

**Tabla 10. Cambio en variables esenciales que requieren recalificación**

Cambios en las Variable Esenciales en los Requisitos de Pre-Calificación del PQR	PROCESOS DE SOLDADURA		
	Soldadura de Arco con Electrodo Revestido SMAW	Soldadura de Arco Sumergido SAW	Soldadura de Arco con Gas de Protección GMAW
<b>METAL DE APORTE</b>			
1. Adición o disminución de metal de llenado en polvo, granular o alambre.		<b>X</b>	
2. Incremento o Disminución en la cantidad de metal de llenado (polvo, granular o alambre)		<b>X</b>	
3. El contenido de aleantes del metal de soldadura depende del polvo de hierro, cualquier cambio del WPS que resulte en un depósito de soldadura con elementos de aleación importante no conocidos en los requisitos de la composición química del WPS		<b>X</b>	
<b>ELECTRODO</b>			
4. Aumento o disminución en el diámetro del electrodo por uno mayor que el tamaño estándar	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
5. Cambio en el número de electrodos	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
6. Un cambio en el Amperaje por:	Un valor no recomendado por el fabricante del electrodo	Aumento o Disminución Mayor al 10 %	Aumento o Disminución Mayor al 10 %
7. Un cambio en el tipo de corriente (AC o DC) o polaridad	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
8. Un cambio en el modo de transferencia de corriente (ver 5,12 y el anexo C del Código AWS D 1,5 2002)			<b>X</b>
9. Un cambio en el Voltaje por:		Aumento o Disminución Mayor al 7 %	Aumento o Disminución Mayor al 7 %
10. Incremento del voltaje máximo para aleación o fundente activo		<b>X</b>	
11. Cambio de velocidad de desplazamiento		Aumento o Disminución Mayor al 15 %	Aumento o Disminución Mayor al 10 %
12. Incremento en la entrada de calor mayor a 10% o Disminución mayor a 30 %	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>GAS DE PROTECCIÓN</b>			
13. Incremento mayor o igual a 25% o disminución mayor o igual a 10 % en el flujo total del gas de protección			<b>X</b>

**Tabla 10. (Continuación) Cambio en variables esenciales que requieren recalificación**

Cambios en las Variable Esenciales en los Requisitos de Pre-Calificación del PQR	PROCESOS DE SOLDADURA		
	Soldadura de Arco con Electrodo Revestido SMAW	Soldadura de Arco Sumergido SAW	Soldadura de Arco con Gas de Protección GMAW
<b>ELECTRODOS MÚLTIPLES EN SAW</b>			
14. Cambio mayor a 10% o 3 mm (1/8 in) cualquiera que sea mayor, en el espaciamiento longitudinal de los arcos		X	
15. Cambio mayor a 10% o 2 mm (1/16 in) cualquiera que sea mayor, en el espaciamiento lateral de los arcos		X	
16. Un incremento o disminución de más de 10° en la orientación angular de cualquier electrodo en paralelo.		X	
17. Para SAW automático o manual; un incremento o disminución de más de 3° a la dirección de desplazamiento		X	
18. Para SAW automático o manual; un incremento o disminución de más de 5° normal a la dirección de desplazamiento		X	
<b>GENERAL</b>			
19. Para el PQR en el área de ranura; incremento o disminución mayor 25% en el número de pases.	X	X	X
20. Cambio desde ranura en “U” a ranura en “V” (pero no viceversa)	X	X	X
21. Cambio en el tipo de ranura a ranura cuadrada y viceversa	X	X	X
22. Un cambio que exceda las tolerancias 2.12, 2.13, o 3.3.4 en las chapas de algún tipo de ranura implica : a. Una disminución de ángulo de ranura b. Una disminución en abertura de raíz c. Un incremento en la cara de raíz el cual no será subsecuentemente removido por cordón de respaldo	X	X	X
23. Omisión pero no inclusión de platina de respaldo o cordón de respaldo	X	X	X
24. Adición u omisión del PWHT	X	X	X
25. Para grado 100/100W incremento en el espesor placa mayor 12mm o disminución 25mm o más	X	X	X

6.3.1.13 Procesos ESW y EGW. Los WPSs de ESW y EGW serán calificados según el WPS de producción, usando la figura 20.

- Figura 20. Las placas de prueba usadas a calificar los WPSs de ESW o EGW de acuerdo a la figura 20 las placas de prueba tendrán suficiente longitud de soldadura para permitir el maquinado y las ocho muestras de prueba para el ensayo de impacto (Charpy con muesca en V).

6.3.1.14 Tipo de pruebas y propósito. Las pruebas mecánicas verificarán que los WPSs produzcan la resistencia, ductilidad y tenacidad requeridas por el código.

- Soldadura de Chaflán. Las siguientes son las pruebas para la soldadura de chaflán:
  - a) Prueba de Tensión a todo el metal de soldadura: se mide el esfuerzo tensil, el esfuerzo de cedencia y la ductilidad.
  - b) Prueba de Impacto Charpy V Notch (CVN): se determina la tenacidad a la fractura.
  - c) Prueba de Macroataque: se evalúa la sanidad, y se mide la garganta efectiva o el tamaño de soldadura; también, empleado en la medición del tamaño y distribución de las capas de soldadura y pases.
  - d) Prueba de Radiografía: se evalúa la sanidad de la soldadura.
  - e) Prueba de Tensión sección reducida: se mide el esfuerzo tensil.
  - f) Prueba de Dobleces. Se evalúa la sanidad y ductilidad.
- Soldadura de Filete: Las pruebas para soldadura de filete serán las siguientes:
  - a) Propiedades Mecánicas: Las propiedades mecánicas de las soldaduras de filete serán medidas por pruebas a la soldadura de ranura, a menos que se especifique en el contrato.
  - b) Macroataque: Se emplea para evaluar la sanidad de la soldadura y medir el tamaño, forma y distribución individual de los pases de soldadura.

6.3.1.15 Muestras de soldadura, número, tipo y preparación. El tipo y número de las muestras que serán ensayadas para calificar un WPS son mostradas en la figura 20.

- Pruebas Mecánicas. Las muestras para los ensayos serán tomadas de las placas de prueba por corte térmico o maquinado. Las muestras tomadas por corte térmico tendrán suficiente material permitiendo que toda la ZAT sea removida por un subsecuente maquinado. Tener cuidado al tomar pequeñas muestras sobrecalentadas.

6.3.1.16 Pruebas no destructivas. Antes de la preparación de las muestras para pruebas mecánicas, la calificación de las placas de prueba serán radiografiadas de acuerdo a los requisitos de la sección 6 del código AASHTO/AWS D 1.5 2002.

6.3.1.17 Método de ensayo de muestras.

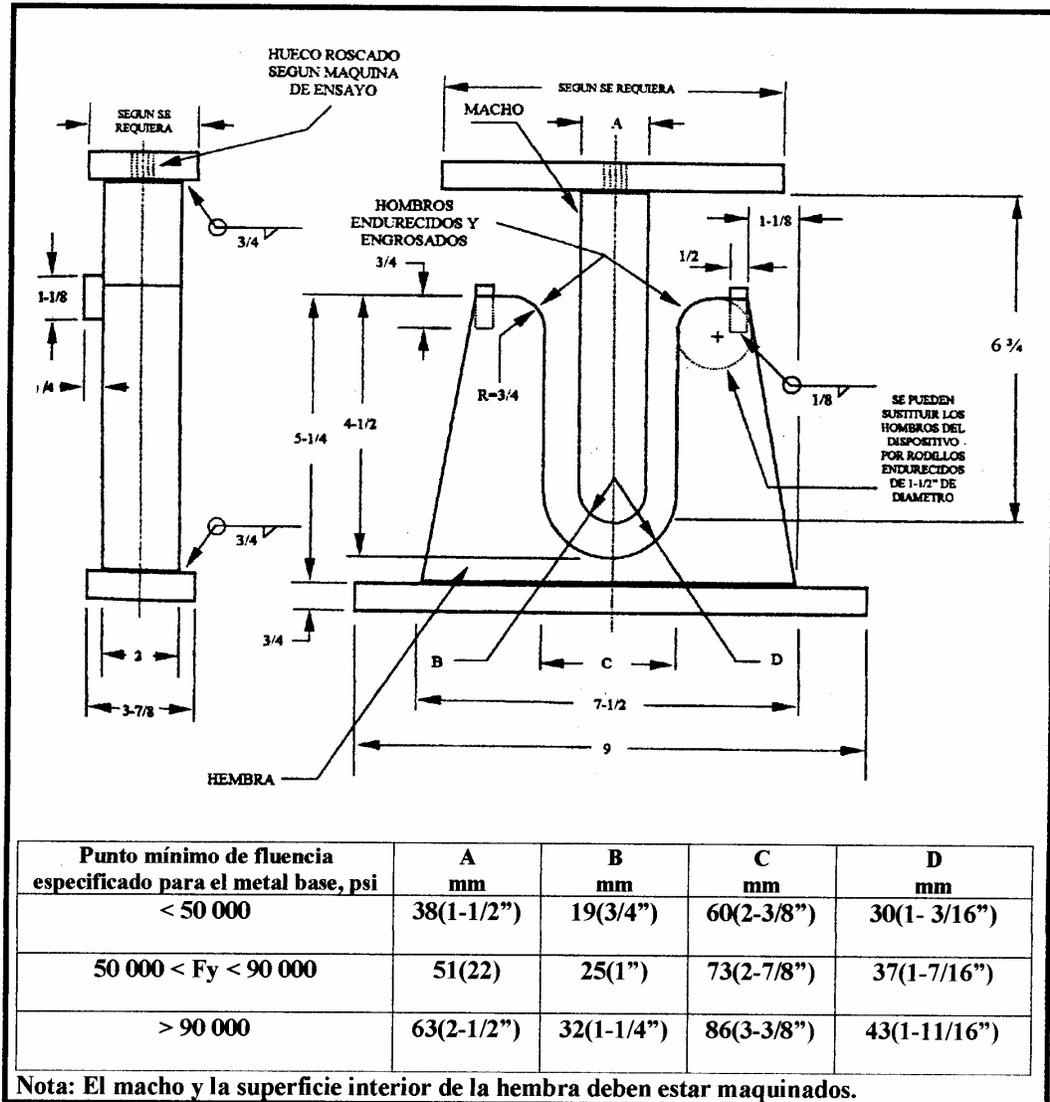
- Muestras de tensión de sección reducida. Antes de la prueba, el menor ancho y correspondiente espesor de la sección reducida será medida en pulgadas o en milímetros. La muestra será ensayada bajo carga tensil y la máxima carga (libra) será determinada. El área de la sección transversal será obtenida por la multiplicación del ancho por el espesor. El esfuerzo tensil será obtenido por la división de la carga máxima por el área de la sección transversal.
- Prueba de Macroataque. Una solución química conveniente será usada para atacar y dar una limpieza, definición de la soldadura en función de la interfase (metal de soldadura / interfase metal base), pases individuales de soldadura y el ZAT.
- Muestras de Doble de raíz, cara y lado. Cada muestra será ensayada en una guía de prueba de doblez que encontrará los requisitos mostrados en la figura 23.
- Prueba de tensión de todo el metal de soldadura. Las muestras para pruebas serán ensayadas, de acuerdo con la norma ASTM A 360 “pruebas mecánicas de productos de acero” o la última edición de la AWS B 4.0 / B 4.0M “métodos estándares para ensayos mecánicos de soldadura”.
- Prueba de Impacto Charpy V Notch (CVN). La prueba de tenacidad será ejecutada bajo la norma ASTM A 370 (AASHTO T 244).

6.3.1.18 Resultados requeridos en los ensayos. Los resultados requeridos en los ensayos serán los siguientes:

- Las pruebas de tensión de sección reducida. El esfuerzo tensil no será menor que el mínimo del rango tensil especificado para el metal base usado en el PQR.
- Pruebas de doblez de raíz, cara y lado. La superficie convexa de la muestra será examinada visualmente. Para aceptación, la superficie no deberá tener discontinuidades que excedan las siguientes dimensiones:
  - a) 3 mm (1/8”) en cualquier dirección sobre la superficie.

- b) 10 mm (3/8") para la suma de las mayores dimensiones de todas las discontinuidades que excedan en 1 mm (1/32") pero menor o igual a 3 mm (1/8").

Figura 23. Ensayo de doblez guiado



- c) 6 mm (1/4 ") máximo ángulo de grieta, excepto:
- Cuando el ángulo de grieta resulta de una inclusión de escoria visual u otra discontinuidad de tipo, se aplicará un máximo de 1/8" de pulgada (3 mm)

- Las muestras con ángulo de grieta que excedan 6 mm (1/4") con ninguna evidencia de inclusión de escoria u otras discontinuidades de tipo fusión será rechazada y reemplazado por otra muestra de la soldadura original.
- Prueba de Macroataque. Para calificación aceptable la muestra conformará los siguientes requisitos.
  - a) Soldadura de chaflán en junta de penetración parcial y soldadura de filete. Toda soldadura sujeta a prueba de Macroataque estarán conforme a los siguientes requisitos:
    - Ninguna grieta.
    - Fusión completa entre las capas adyacentes del metal de soldadura y entre el metal de soldadura y el metal base.
    - Perfiles de soldadura conforme a los detalles de diseño, pero con ninguna de las variaciones prohibidas en la sección 3.6 del código AWS D1.5 2002.
    - Socavaduras que no excedan 1 mm (1/32").
    - La designación del tamaño de soldadura (PJP en soldadura de chaflán).
  - b) Fusión y tamaño de la soldadura de filete.
    - El mínimo tamaño del pie de la soldadura reunirá los tamaños específicos de soldadura de filete.
    - La soldadura de filete tendrá fusión en la raíz de la junta, pero no necesariamente más allá.
- Pruebas de tensión a todo el metal de soldadura. Las propiedades mecánicas se harán conformes a los valores especificados en la tabla 5 ó 6 descrita en el contrato.
- Prueba de Impacto Charpy V Notch (CVN). Los resultados de la prueba de impacto igualarán o excederán los valores especificados en la tabla 5 ó 6.
- Inspección visual. Para calificación aceptable, la soldadura de las placas de prueba estará conforme a los requisitos de la inspección visual en la sección 6.26 del código AWS D1.5 2002, excepto que la socavadura no exceda 1 mm (1/32").

#### 6.3.1.19 Reprueba.

- Tensión y dobléz. Si alguna de las muestras de los ensayos de tensión o de dobléz fallan en reunir los requisitos de las pruebas, dos repruebas particulares puede ser cortadas y ejecutadas desde la misma placa de prueba de calificación del WPS o una nueva placa conforme a las mismas especificaciones. Los resultados de ambas muestras de prueba reunirán los requisitos de ensayo.
- Prueba de Impacto Charpy V Notch (CVN). Cuando los resultados del ensayo no reúnen los requisitos requeridos, una reprueba puede ser hecha. El valor de cada energía de impacto requerida en la muestra prueba, después de despreciado los valores más altos y bajos de la prueba, igualarán o excederán la mínima energía especificada en el ensayo.

**6.3.2 Parte B. Calificación del soldador, operario de soldadura y punteador.** Las pruebas de calificación descritas en esta sección son especialmente ideadas para determinar la habilidad del soldador, operario de soldadura y punteador para producir soldaduras sanas. Las pruebas de calificación no son designadas a ser usadas como guía para la soldadura durante la construcción real. La soldadura de construcción será ejecutada en acuerdo con los requisitos de los WPSs.

- Periodo de efectividad. La calificación de soldadores, operarios de soldadura y punteadores como se especifica en este código será considerado como indefinido a menos que:
  - a) El soldador, operario de soldadura o punteador no se ha desempeñado en un proceso de soldadura dado, para el cual está calificado por un periodo que excede los 6 meses.
  - b) Si hay una razón específica a cuestionar la habilidad del soldador, operario de soldadura o punteador.

En caso de a) la prueba de recalificación necesita solo ser hecha en un espesor de 10mm (3/8”).

- Limpieza de la soldadura. La limpieza entre pases de soldadura será limitado a esmerilado manual y cepillado de alambre manual. La posición de limpieza de soldadura será hecha con la prueba de soldadura en la misma posición que está siendo calificada.

- Responsabilidad. Cada contratista conducirá las pruebas o verificaciones que los soldadores, operarios de soldadura o punteadores están calificados según lo requerido por este código.

Los registros de los resultados de las pruebas serán mantenidas por el fabricante o contratista y serán útiles a aquellos autorizados a examinarlos.

6.3.2.1 Calificación de la posición de la soldadura de producción. Ver tabla 11.

**Tabla 11. Limitaciones en el tipo y posición de la soldadura para la calificación de soldadores**

Ensayos de Calificación		Tipo de Soldadura y Posiciones de Soldadura Calificadas	
		Placas	
Soldadura	Posiciones	Ranura	Filete
Placa - Ranura	1G	Plana	Plana, Horizontal
	2G	Plana, Horizontal	Plana, Horizontal
	3G	Plana, Horizontal, Vertical	Plana, Horizontal, Vertical
	4G	Plana, SobreCabeza	Plana, SobreCabeza
	3G y 4G	TODAS	TODAS
Placa - Filete	1F		Plana
	2F		Plana, Horizontal
	3F		Plana, Horizontal, Vertical
	4F		Plana, SobreCabeza
	3F y 4F		TODAS
Placa – Tapón	1F		Plana
	3F		Vertical
	4F		SobreCabeza

#### 6.3.2.2 Requisitos de la prueba de calificación.

- Calificación del soldador. Un soldador puede también ser calificado por una soldadura satisfactoria de las placas de pruebas en la calificación de los WPSs. De este modo el soldador es calificado con el proceso y en la posición usada por la calificación del WPS.

## **7. ANÁLISIS TEÓRICO COMPARATIVO ENTRE LOS CÓDIGOS AWS D 1.1 2000 Y AASHTO/AWS D 1.5 2002**

### **7.1 RESEÑA HISTORICA DE LOS CÓDIGOS**

La primera edición del “Código para Soldadura por Fusión y Corte con Gas en la Construcción de Edificios” fue publicada por la AWS 1928. En 1934 fue nombrado un comité a preparar las especificaciones para el diseño, construcción, cambio y reparación de puentes vehiculares y de trenes. La primera especificación para puentes soldados fue publicada en 1936. Hasta 1963, hubo una separación de los comités de la AWS de puentes y edificios. Estos dos comités se unieron en 1963 para formar el “Código de Soldadura Estructural” de la AWS. El comité ha promulgado normas para la aplicación de soldadura a los diseños y construcción de estructuras.

De acuerdo con la especificación para soldaduras de puentes vehiculares y ferroviarios AWS fue especificado por primera vez en la tercera edición de la AASHTO (especificaciones estándar para puentes vehiculares) en 1941. En 1962, la oficina de carreteras públicas llamada ahora FHWA (administración federal de carreteras) estableció las disposiciones adicionales para la soldadura del acero A36 que estaba pendiente. En 1965 se especificaron los requisitos para los ensayos Charpy muesca en V (CVN).

En 1974 la AASHTO publicó la primera edición de la especificación estándar para la soldadura de aceros estructurales en puentes vehiculares. La segunda y tercera edición de este fue publicada en 1977 y 1981 respectivamente. Todas las especificaciones de la AASHTO fueron requeridas para ser parte de los documentos como modificaciones o adiciones al código para soldadura de aceros estructurales.

En 1982 un subcomité fue formado conjuntamente con la AASHTO y la AWS, con una representación equitativa de ambas organizaciones, para pretender la adaptación de los requisitos solicitados por los dueños de puentes y las provisiones existentes en el código AWS D1.1.

El inicio del código AASHTO/AWS D 1.5, fue la combinación de la ANSI/AASHTO D 1.1-88 “Código para Soldadura de Acero Estructural” y el AASHTO “Especificación Estándar para Soldadura de Aceros Estructurales en Puentes Vehiculares”, tercera edición 1981. Antes de la aceptación del primer código de puentes soldados, diseñado por la ANSI/AASHTO D 1.1-88, todos los estados empleaban la “Federal Highway Funds” (Reserva Federal de carreteras); para construir puentes de acero era requerido usar las especificaciones de la AWS y AASHTO conjuntamente, como cualquier aplicación de las disposiciones especiales de la FHWA (Federal Highway Welding Association”).

En 1988 la versión del código para soldadura de puentes dispuso para la calificación de los procedimientos de soldadura por medio de ensayos que aseguren que la soldadura tenga resistencia, ductilidad y tenacidad necesaria para usarla en estructuras redundantes. La fractura crítica en miembros no redundantes no se encontraba en la primera edición de este código.

La publicación de la AASHTO/AWS D 1.5 del 2002 fue justificada por la necesidad de monitorear, revisar y actualizar el código basado en las necesidades de la AASHTO y de la industria. La siguiente es una lista de las mayores revisiones en la edición del 2002:

- La adición de uniones habituales
- La adición de un comentario para las secciones 1, 2, 3, 5, 6, 7 y 12.
- La omisión de la sección 9 y la incorporación de esta información dentro de otras partes del código (ver anexo F del código AASHTO/AWS D 1.5 2002 para una descripción de los cambios).
- La revisión de los métodos de prueba de calificación del WPS.

- La adición del uso de los bloques de borde para las pruebas radiográficas.
- La revisión de las tablas 4.1 y 4.2.

## **7.2 PRESENTACIÓN GENERAL DEL CÓDIGO AWS D1.1/2000: PARA SOLDADURA DE ACERO ESTRUCTURAL**

El contenido del código AWS D1.1 en términos generales es el siguiente:

- Personal: Contiene un listado de todo el personal que trabajo en los comités y subcomités responsables de la preparación y revisión del código.
- Preámbulo: Esta sección no hace parte del código pero fue incluida con fines informativos, allí encontramos una breve reseña sobre el código AWS D1.1 y una presentación resaltada de los cambios más significativos con respecto a las ediciones anteriores.
- Listado de tablas: Se encuentran relacionadas todas las tablas que aparecen en el código.
- Listado de figuras: Se encuentran relacionadas todas las figuras que aparecen en el código.
- Requisitos generales: Esta sección contiene la información básica sobre el alcance y las limitaciones del mismo.
- Diseño de conexiones soldadas: Esta sección contiene los requisitos para el diseño de conexiones soldadas de miembros no tubulares, (láminas).
- Precalificaciones: Esta sección del código contiene requisitos que debe cumplir una especificación de procedimiento de soldadura para ser exceptuada de los requerimientos de calificación de este código.
- Calificaciones: Esta sección contiene requisitos para la calificación de los procedimientos de soldadura y el personal de soldadura. para ejecutar trabajos de acuerdo con este código.
- Fabricación: Esta sección contiene los requisitos para la preparación, ensamble, ejecución y acabado final de estructuras soldadas en acero.

- Inspección: Esta sección contiene criterios para la calificación y responsabilidades de los inspectores, los criterios de aceptación para la producción de soldaduras y los procedimientos para inspección visual y los ensayos no destructivos.
- Soldadura de espárragos: Esta sección del código contiene los requisitos para la soldadura de espárragos y otros accesorios al acero estructural.
- Refuerzo y reparación de estructuras existentes: Esta sección del código contiene información básica pertinente a la modificación o reparación por soldadura de estructuras existentes en servicio.
- Anexos: Información no mandatoria, de carácter informativo y no son considerados como parte del código.

Comentarios: Esta sección del código contiene información que ha sido preparada para generar un mejor entendimiento en la aplicación del código

### **7.3 PRESENTACIÓN GENERAL DEL CÓDIGO AASHTO/AWS D 1.5 2002:**

El contenido del código AASHTO/AWS D1.5 2002 en términos generales es el siguiente:

- Personal: Contiene un listado de todo el personal que trabajo en los comités y subcomités responsables de la preparación y revisión del código.
- Preámbulo: Esta sección no hace parte del código pero fue incluida con fines informativos, allí encontramos una breve reseña sobre el código AWS D1.1 y una presentación resaltada de los cambios más significativos con respecto a las ediciones anteriores.
- Tabla de contenido: Se presenta de una forma general cada una de las secciones del código.
- Listado de tablas: Se encuentran relacionadas todas las tablas que aparecen en el código.
- Listado de figuras: Se encuentran relacionadas todas las figuras que aparecen en el código.

- Listado de formas: Se encuentran dispuestos los formatos guía o ejemplares, correspondientes a los WPSs, PQRs, WPQs, y reportes de pruebas no destructivas (Radiografía industrial y Partículas magnéticas).
- Disposiciones generales: Esta sección contiene la información básica sobre el alcance y las limitaciones del mismo.
- Diseño de conexiones soldadas: Esta sección contiene los requisitos para el diseño y detalles de las conexiones soldadas. Las conexiones precalificadas están detalladas en las figuras 2.4 y 2.5 del código AASHTO/AWS D 1.5 2002.
- Mano de obra: Esta sección contiene los requerimientos que debe cumplir el metal base para ser soldado, y si es posible efectuar las reparaciones en el metal base, de acuerdo a la presencia de discontinuidades. También hace mención de las tolerancias dimensionales y perfiles de soldadura en el ensamble, además de exponer la forma de realizar la limpieza, el terminado de esta y de las diferentes formas de controlar las distorsiones y contracciones que se presentan durante su ejecución.
- Técnica: Esta sección comprende las condiciones referentes a: El metal de aporte, la temperatura de precalentamiento y de entrepasadas, el tratamiento de relevo de esfuerzos, y los requisitos generales, electrodos, procedimientos, fundentes, gas de protección (correspondientes a los procesos SMAW, SAW, GMAW, FCAW, ESW y EGW), limitaciones de la soldadura PLUG (Tapón) y SLOT (ranura alargada), control de las variables de producción de soldaduras (Ensayos, Control de Variables, Calibración de los Equipos y Control de la Corriente).
- Calificaciones: Esta sección contiene requisitos para la calificación de los procedimientos de soldadura y el personal de soldadura. para ejecutar trabajos de acuerdo con este código.
- Inspección: Esta sección contiene criterios para la calificación y responsabilidades de los inspectores, los criterios de aceptación para la producción de soldaduras y los procedimientos para inspección visual y demás ensayos no destructivos.

- Soldadura de espárragos: Esta sección del código contiene los requisitos para la soldadura de espárragos y otros accesorios al acero estructural.
- Plan de control de fractura (FCP) AASHTO/AWS para miembros no redundantes: Esta sección se aplicará a miembros críticos no redundantes. Todos los miembros de acero del puente y los componentes diseñados en los planos y que posean fractura crítica, estarán sujetos a las disposiciones adicionales de esta sección.
- Anexos: Información no mandatoria, de carácter informativo y no son considerados como parte del código.
- Comentarios: Esta sección del código contiene información que ha sido preparada para generar un mejor entendimiento en la aplicación del código.

*NOTA: La seguridad de los puentes depende de la resistencia a la fractura frágil, la cual es mejorada minimizando o evitando concentraciones de esfuerzos en diseño y construcción, y para eliminar condiciones que puedan causar agrietamiento por hidrógeno inducido o por solidificación. La resistencia a la fractura frágil es significativamente mejorada por una buena soldadura y tenacidad del metal base. Este código va dirigido a mejorar la mano de obra, sanidad de la soldadura y tenacidad a la fractura para garantizar la seguridad en los miembros de acero del puente.*

#### **7.4 APLICABILIDAD DE LOS CÓDIGOS AASHTO/AWS D 1.5 2002 (*Bridge Welding Code*) Y AWS D 1.1 2000 (*Structural Welding Code Steel*)**

**CÓDIGO AASHTO/AWS D 1.5 2002** American Association of State Highway and Transportation Officials/American Welding Society (*Bridge Welding Code*)

Este código cubre los requerimientos de fabricación de soldadura aplicable a la soldadura de puentes vehiculares y ferroviarios. Esta normatividad será usada en conjunción con la AASHTO (*Standard Specification for Highway Bridges*) o la AASHTO LRFD (*Bridge Design Specification*).

Este código no fue diseñado para ser usado en las siguientes aplicaciones:

- Aceros con una resistencia mínima a la fluencia especificada mayor que 100 ksi (690Mpa).
- Recipientes a presión o tuberías a presión.
- Para metales bases diferentes a aceros al carbono o aceros de baja aleación.
- Estructuras compuestas de estructura tubular.
- Aceros con menos de 1/8 pulgada (3 mm) de espesor, para esto se aplica el código AWS D 1.3 *Structural Welding Code-Sheet Steel*.

### **CÓDIGO AWS D 1.1 2000 (*Estructural Welding Code Steel*)**

El código AWS D 1.1 2000 para Soldadura de Acero Estructural (*Estructural Welding Code Steel*) contempla conexiones tubulares y no tubulares cargadas estáticamente o cíclicamente.

El código AWS D1.1 contiene requisitos para la fabricación de estructuras de acero soldadas, no debe usarse en los siguientes casos:

- Aceros con una resistencia mínima a la fluencia especificada mayor que 100 ksi (690Mpa).
- Aceros con menos de 1/8 pulgada (3 mm) de espesor.
- Recipientes a presión o tuberías a presión.
- Para metales bases diferentes a aceros al carbono o aceros de baja aleación.

**7.5 DIFERENCIAS DE LAS VARIABLES ESENCIALES ENTRE LOS  
CÓDIGOS AWS D1.1 2000 y AASHTO AWS D1.5 2002.**

**Tabla 12. Diferencias de las variables esenciales entre los códigos AWS D1.1 2000 y AASHTO AWS D1.5 2002.**

CAMBIO DE VARIABLES ESENCIALES QUE REQUIEREN RECALIFICACIÓN	AWS D 1,1 2000			AASHTO/AWS D 1,5 2002		
	SMAW	SAW	GMAW	SMAW	SAW	GMAW
<b>METAL DE APORTE</b>						
1. Aumento en la clasificación, resistencia del metal de aporte	<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>
2. Cambio de electrodo de bajo hidrógeno a no bajo hidrógeno en SMAW	<b>X</b>			Nota 1		
3. Cambio de clasificación de un electrodo o fundente del electrodo a cualquier otra clasificación de electrodo o fundente del electrodo		<b>X</b>			<b>X</b>	
4. Cambio de clasificación de un electrodo o fundente del electrodo por uno no cubierto	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
5. Adición o disminución de metal de llenado en polvo, granular o alambre.		<b>X</b>			<b>X</b>	
6. Incremento en la cantidad de metal de llenado (polvo, granular o alambre)		<b>X</b>			<b>X</b>	
7. El contenido de aleantes del metal de soldadura depende del polvo de hierro, cualquier cambio del WPS que resulte en un depósito de soldadura con elementos de aleación importante no conocidos en los requisitos de la composición química del WPS		<b>X</b>			<b>X</b>	
<b>ELECTRODO</b>						
8. Cambio en el diámetro nominal	Nota 2	Nota 3	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
9. Cambio en el número de electrodos		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
10. Cambio en el tipo de electrodo de tungsteno						
<b>PARÁMETROS ELÉCTRICOS</b>						
11. Cambio en el amperaje por cada diámetro empleado	Nota 4	Nota 5	Nota 5	Nota 4	Nota 5	Nota 5
12. Cambio en el tipo de corriente AC/DC o polaridad y modo de transferencia (solamente en GMAW)		Nota 6	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
13. Cambio de voltaje para cada diámetro empleado	Nota 7	Nota 8	Nota 8		Nota 8	Nota 8
14. Aumento o disminución en la velocidad de alimentación del alambre para cada diámetro de electrodo		Nota 9	Nota 9		<b>X</b>	<b>X</b>
15. Cambio de velocidad de desplazamiento		Nota 10	Nota 11		Nota 10	Nota 12
16. Incremento en la entrada de calor	Nota 13	Nota 13	Nota 13	Nota 14	Nota 14	Nota 14
17. Incremento del voltaje máximo para aleación o fundente activo					<b>X</b>	

**Tabla 12. Diferencias de las variables esenciales entre los códigos AWS D1.1 2000 y AASHTO AWS D1.5 2002.**

CAMBIO DE VARIABLES ESENCIALES QUE REQUIEREN RECALIFICACIÓN	AWS D 1,1 2000			AASHTO/AWS D 1,5 2002		
	SMAW	SAW	GMAW	SMAW	SAW	GMAW
<b>GAS DE PROTECCIÓN</b>						
18. Cambio en el gas de protección de un solo gas o una mezcla o en el porcentaje de composición nominal especificado de una mezcla de gas, o ausencia de gas.			X			X
19. Incremento del 25% o mas, ó Una disminución del 0% o mas en el flujo total de gas			X			X
20. Cambio en el gas de protección no cubierto en AWS A 5,18 ó A 5,28			X			X
<b>PARÁMETRO SAW</b>						
21. Cambio > 10% o 1/8 in cualquiera que sea mayor, en el espaciamiento longitudinal de los arcos		X			X	
22. Cambio > 10% o 1/8 in cualquiera que sea mayor, en el espaciamiento lateral de los arcos		X			X	
23. Incremento o disminución > 10% en la orientación del ángulo de algunos electrodos paralelos		X			X	
24. Para SAW automático o manual; un incremento o disminución de más de 3° en el ángulo del electrodo		X			X	
25. Para SAW automático o manual; un incremento o disminución de más de 5° normal a la dirección de viaje		X			X	
<b>GENERAL</b>						
26. Para el PQR en el área de ranura; incremento o disminución > 25% en el número de pases.	X	X	X	X	X	X
27. Un cambio en la posición no calificada en la tabla 14	X	X	X	X	X	X
28. Un cambio en el diámetro o espesor no calificado ( <b>Nota 15</b> )	X	X	X	Nota 16	Nota 16	Nota 16
29. Un cambio en el metal base o combinación de metales base no listados en el PQR o calificados por la tabla 7.	X	X	X	X	X	X
30. Cambio en el tipo de ranura a ranura cuadrada y viceversa	X	X	X	X	X	X
31. Un cambio que exceda las tolerancias 2.12, 2.13, o 3.3.4 en las chapas de algún tipo de ranura implica: a. Una disminución del ángulo de ranura b. Una disminución en la abertura de raíz c. Un incremento en la cara de raíz el cual no será subsecuentemente removido por el cordón de respaldo	X	X	X	X	X	X
32. Omisión pero no inclusión de platina de respaldo o cordón de respaldo	X	X	X	X	X	X
33. Para grado 100/100W incremento en el espesor placa mayor 12mm (1/25 in) o disminución 25mm o más				X	X	X
34. Soldadura vertical: para cualquier pase de ascenso o descenso o viceversa	X		X	X		X
35. Cambio en el tipo de ranura (Ej. de una simple V a una doble V) calificación de algunas soldaduras de ranura CJP califica para algunos detalles de ranura cumpliendo con los requerimientos 3.12 o 3.13	X	X	X	Nota 17	Nota 17	Nota 17
36. Disminución de temperatura de precalentamiento > 15° C	X	X	X	X	X	X
37. Disminución de temperatura entre pasadas > 15° C	X	X	X	X	X	X
38. Adición u omisión de tratamiento térmico de post-soldadura	X	X	X	X	X	X

## Notas

1. En el código AASHTO/AWS D 1.5 2002, sólo se emplean electrodos de bajo hidrógeno.
2. Incremento en más de 1/32 in (0.8mm) del electrodo
3. Cualquier incremento en el tamaño del electrodo.
4. Cambio a valores de amperaje no recomendados por el fabricante del electrodo.
5. Un incremento o disminución del amperaje por más del 10%.
6. Solo usando un fundente aleado o un material templado y revenido.
7. Cambio a valores de voltaje no recomendados por el fabricante del electrodo.
8. Un incremento o disminución en el voltaje mayor del 7%.
9. Aumento en la velocidad de alimentación del alambre mayor del 10%.
10. Incremento o disminución en la velocidad de desplazamiento mayor del 15%.
11. Incremento o disminución en la velocidad de desplazamiento mayor del 25%.
12. Incremento o disminución en la velocidad de desplazamiento mayor del 10%.
13. Un incremento en la entrada de calor mayor del 10%.
14. Un incremento en la entrada de calor mayor del 10% o disminución mayor del 30%.
15. Remitirse al código AWS D 1,1 2000 Tabla 4,3 Calificación del WPS – Soldaduras de ranura en juntas de penetración completa; numero y tipo de ensayos de probetas, rango de espesores y diámetros a calificar (dimensiones en pulgadas).
16. En el código AASHTO/AWS D 1.5 2002, el espesor calificado debe ser mayor o igual de 1".
17. En el código AASHTO/AWS D 1.5 2002, cambio desde ranura en “U” a ranura en “V” pero no viceversa
  - Si el área de la soldadura de ranura en producción difiere del área de ranura del PQR, el número de pases puede ser cambiado en proporción al área sin requerir recalificación.
  - Según el código AASHTO/AWS D 1.5 2002, la temperatura entre pases y el precalentamiento está estipulado en los requisitos de la tabla 5.

## **7.6 COMENTARIOS GENERALES DE LA DIFERENCIACIÓN ENTRE LOS CÓDIGOS AASHTO/AWS D 1.5 2002 (*Bridge Welding Code*) Y AWS D 1.1 2000 (*Estructural Welding Code Steel*)**

- El código D 1.1 contempla conexiones tubulares y no tubulares cargadas estáticamente o cíclicamente (capítulo 2 parte A), mientras que el D 1.5 solo aplica a conexiones no tubulares, cargadas dinámicamente. Las normas necesarias para garantizar la seguridad contra la fractura en estructuras cargadas estáticamente, son menos restringidas que las normas necesarias aplicadas en estructuras cargadas cíclicamente. Las estructuras cargadas estáticamente, tales como edificios, son sometidos a esfuerzos con cargas variables a velocidades de tensión relativamente lentas. Cargas tales como el viento, y el peso del piso son denominadas cargas estáticas para propósitos de diseño. Los puentes son estructuras cargadas cíclicamente, también llamadas estructuras cargadas dinámicamente, y son sometidas a esfuerzos frecuentes con aplicaciones suficientes de cargas para inducir fatiga a los miembros o componentes. Las velocidades de esfuerzo también pueden ser altas en estructuras cargadas cíclicamente aunque con factor menor en vida a la fatiga. En puentes y otras estructuras cargadas cíclicamente, los esfuerzos de cargas vivas pueden iniciar o propagar grietas por fatiga. Esto es raramente un problema en estructuras cargadas estáticamente o en estructuras donde ni el número de ciclos de carga o de rangos de esfuerzos, es suficiente para producir el daño por fatiga.
- El código de soldadura AASHTO/AWS D 1.5 2002 posee como un objetivo primordial el de evitar la fractura, particularmente la fractura frágil, la cual es una herramienta de información acerca de las relaciones existentes entre la calidad de: la mano de obra, soldadura, discontinuidades del metal base, grietas por fatiga y tenacidad. Las grietas son completamente prohibidas por todas las especificaciones para soldaduras de estructuras metálicas. En adición a la prohibición de grietas y control de la calidad de la mano de obra, el código AASHTO/AWS D1.5 2002 controla el uso de soldadura temporal, que pueda ocasionar fractura frágil como un resultado de su dureza en la ZAT (Zona

Afectada Térmicamente). La prevención de grietas por fatiga dependen de una alta tenacidad a la fractura, un buen diseño, y una buena mano de obra que minimice la concentración de esfuerzos. La fractura es evitada minimizando o evitando las concentraciones de esfuerzos en diseño y construcción, y por eliminación de condiciones que puedan causar el agrietamiento inducido por hidrógeno o durante la solidificación. La resistencia a la fractura frágil es significativamente mejorada por una buena soldadura y tenacidad del metal base además, evitando las muescas y empleando un buen diseño y detalles adecuados. Este código está dirigido a mejorar la mano de obra, la sanidad de la soldadura y tenacidad a la fractura, garantizando la seguridad de miembros de acero de puentes.

- Las razón más importante por la cual se diferencian los códigos: el código de Soldadura de Puentes AASHTO/AWS D 1.5 2002 (*Bridge Welding Code*) y el código AWS D 1.1 2000 para Soldadura de Acero Estructural (*Estructural Welding Code Steel*), es que el propietario de los puentes vehiculares y ferroviarios, ha elegido tomar los pasos en la selección de materiales y en la calificación y control del WPS, asegurando que todo miembro de acero del puente y soldadura tengan la suficiente tenacidad a resistir la fractura frágil. Pasos adicionales son tomados en el diseño y construcción de puentes evitando las condiciones que puedan conducir al agrietamiento inducido por hidrógeno o por fatiga. Los métodos empleados para lograr estos objetivos son basados en el control de la entrada de calor de la soldadura, atender las velocidades de enfriamiento y evitando las concentraciones de esfuerzos de la soldadura o discontinuidades del metal base. El control de la transformación por las velocidades de enfriamiento, además del control de la composición química del metal de soldadura y el metal base, aseguran que las propiedades mecánicas requeridas sean obtenidas en la soldadura y ZAT. El control de entrada de calor, además del control de precalentamiento y temperatura de entrepasadas, asegura que el metal base no se degrade como resultado de soldaduras permanentes o temporales. Este mismo control provee garantías contra el agrietamiento inducido por hidrógeno. El AWS D 1.1 no ha incorporado métodos de control de entrada de calor en la soldadura.

- El código AASHTO/AWS D 1.5 2002 ha sido escrito para controlar la dureza y tenacidad de la soldadura y la ZAT. La dureza y la tenacidad en la soldadura y la ZAT dependen de la composición química del metal base y el de soldadura, el mecanismo de solidificación (el cual es afectado por las velocidades de enfriamiento) y los ciclos térmicos a los cuales la soldadura es sometida. Desde el punto de vista de composición química, el metal base frecuentemente es más duro que el metal de soldadura, la ZAT del metal base puede ser más sensible a altas velocidades de enfriamiento que causan una mayor dureza que la hallada en el metal de soldadura.

## 8. MATERIALES Y EQUIPOS

- **Preparación de probetas para ensayos mecánicos:**

Acero estructural ASTM A572 Grado 50 fabricado por HIGHVELD STEEL AND VANADIUM CORPORATION LIMITE y ASTM A537 CLASE 1 fabricado por AZOVSTAL IRON AND STEEL WORKS.

La composición química de los aceros empleados se muestra en la tabla 13 y sus certificados de calidad respectivos en el anexo 1.

**Tabla 13. Composición química para aceros estructurales**

ACEROS	% C	% Mn	% Si	% S	% P	% Cu	%Nb	%V	% Cr	% Ni
A537 Clase 1 Norma	0.24	0.64-1.26	0.13-0.55	0.04	0.035	0.38	----	----	0.29	0.28
A537 Clase 1	0.22	1.29	0.24	0.011	0.013	0.03	<0.01	<0.005	0.03	0.02
A572 Grado 50 Norma	0.23	1.35	0.40	0.05	0.04	----	----	0.01-0.15	----	----
A572 Grado 50	0.18	1.1	0.32	0.014	0.006	0.056	0.006	0.042	0.046	----

Metal de aporte. En la selección del metal de aporte se tuvo en cuenta las recomendaciones del código AASHTO/AWS D1.5 2002 en la sección 4.1.

Equipo de corte oxiacetilénico y por plasma.

Mecanizado: Fresadora Universal M6230, Multidril 2000, esmeril Bench Grinder y sierra sin fin.

**Figura 24. Fotos de los discos para corte, desbaste y pulido de las probetas**



- **Equipos de ensayos no destructivos y mecánicos:**

Equipo de Gammagrafia industrial, Kit de inspección visual AWS, máquina universal de ensayos marca Sabin ST (carga máxima 6000 lb).

**Figura 25. Foto de la Máquina Universal de Ensayo de Doble, Tensión.**



**Figura 26. Foto del Embolo de Doble Guiado.**



- **Equipos de soldadura:**

Equipo SAW IDEALARC MODEL DC1000: Marca LINCOLN electric. (ver Fig. 27).

Equipo IDEALARC 250 SMAW: Marca LINCOLN electric, Tipo rectificador, Amperaje noma 250 amp, Tipo de corriente continua y alterna (ver Fig. 28).

**Figura 27. Foto del Equipo de Soldadura IDEALARC SAW**



**Figura 28. Foto de la Máquina de soldadura IDEALARC SMAW**



- **Preparación de probetas para ensayo metalográfico:**

Cortadora mecánica con disco de carborundum marca Buehler, LTD (ver Fig. 29)

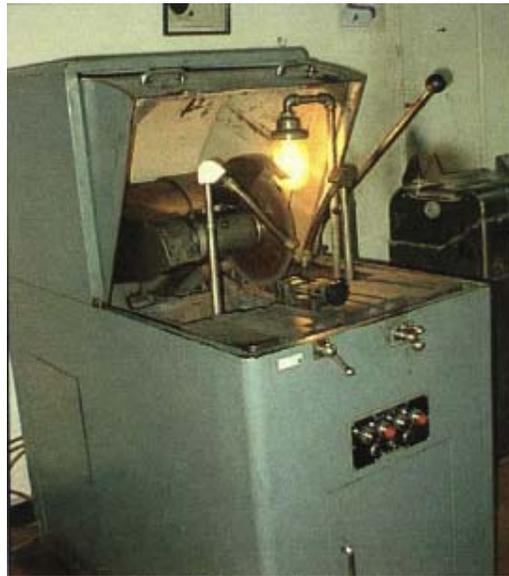
Desbastadora de cinta

Desbastadoras manuales, marca Buehler, LTD (ver Fig. 30)

Pulidora rotatoria, marca Metaserv (ver Fig. 31)

Papeles de lija números 80,120, 240, 320, 400 y 600

**Figura 29. Foto de la Cortadora mecánica con disco de carborundo.**



**Figura 30. Desbastadoras Manuales**



**Figura 31. Pulidora Rotatoria**



- **Equipos para análisis metalográfico:**

Microscopio Binocular OLYMPUS TH3 34380 (ver Fig. 32).

Lupas ópticas marca Carl Zeis. Jena (ver Fig. 33)

Microscopio Versamet Unitron 5240 (ver Fig. 34)

Escleroscopio Leitz durimet con penetrador de diamante, dureza Vickers (ver Fig. 35).

Analizador de imágenes Leica Q500MC (ver Fig. 36)

**Figura 32. Microscopio Binocular**



**Figura 33. Lupas ópticas**



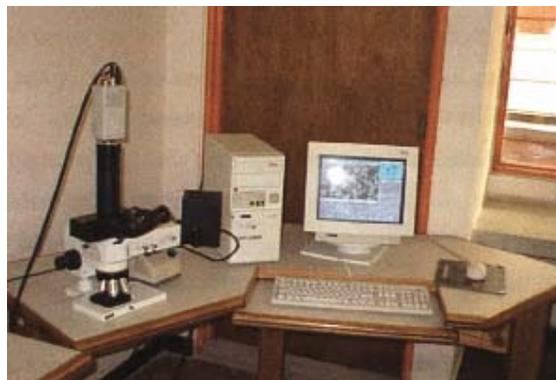
**Figura 34. Microscopio Versamet**



**Figura 35. Escleroscopio Leitz Durimet**



**Figura 36. Analizador de imágenes LEICA**



## 9. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En la presente investigación se evalúa la soldabilidad de los aceros estructurales ASTM A572 Grado 50 y ASTM A537 Clase 1, implementando los parámetros establecidos en el código AASHTO/AWS D1.5 2002. Empleando los procesos de soldadura SMAW y SAW, por ser estos los más utilizados en la industria nacional y adicionalmente por contar con personal calificado a diferencia de otros procesos.

La soldabilidad de estos aceros será determinada desde dos puntos de vista:

- Soldabilidad Operativa: por medio de ensayos no destructivos (inspección visual y gammagrafía) y destructivos (ensayos de doblez de lado, tensión de sección reducida y macroataque) evaluado bajo los criterios de aceptación del código AASHTO/AWS D1.5 2002.
- Soldabilidad Metalúrgica: el cual comprende análisis metalográfico y microdurezas a las diferentes zonas de interés, con el fin de analizar los posibles cambios estructurales originados por variaciones, tanto, en la composición química como en las velocidades de enfriamiento, debido a la aplicación de la soldadura.

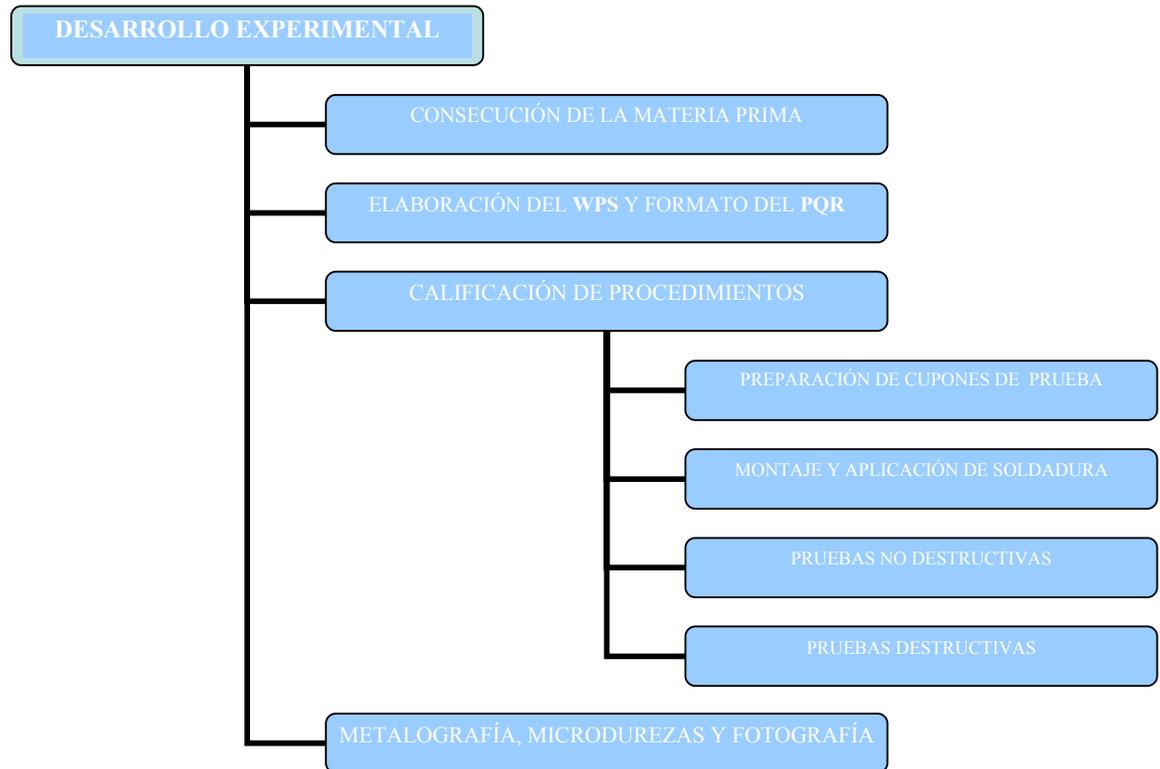
El esquema mostrado en la figura 37 ilustra la secuencia del desarrollo experimental.

### 9.1 Elaboración del procedimiento de soldadura.

El diseño de los procedimientos de soldadura (WPS) fue elaborado por los autores del proyecto teniendo en cuenta las disposiciones establecidas en el código AASHTO/AWS D1.5 2002, revisado y aprobado por el departamento de control de calidad de la empresa HB SADELEC S.A, el WPS es mostrado en la figura 38. En la elaboración WPS se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

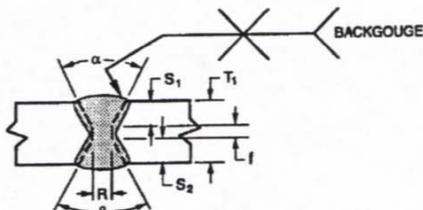
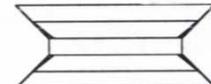
- **Proceso de Soldadura:** Se seleccionaron los siguientes procesos de soldadura: SMAW y SAW.

**Figura 37. Esquema de la secuencia del desarrollo experimental**



- **Diseño de la junta:** Teniendo en cuenta el proceso de conformado del metal base (platinas) con espesores de 1 ½ in y 1 in, en todos los procedimientos se usaron juntas a tope en X o V doble.
- **Posiciones de soldadura:** Las posiciones utilizadas fueron 1G para el proceso SAW, 2G y 3G para el proceso SMAW.
- **Metal de aporte:** Su selección se realizó a partir de la composición química y las propiedades mecánicas del metal base, disponibilidad en el mercado nacional, las recomendaciones del código AWS y el fabricante del metal de aporte, este parámetro determina las características eléctricas utilizadas en el proceso.

Figura 38. Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS)

	<b>ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) CÓDIGO AWS D 1.5 2002</b>																									
EMPRESA: <b>Universidad Industrial de Santander (UIS)</b> WPS No: <b>004</b> ELABORACIÓN: <b>Grupo de Proyecto UIS</b> FECHA: <b>09-12-03</b> SOPORTE DE CALIFICACIÓN (PQR) No: <b>004</b> FECHA: <b>30-01-04</b> SOPORTE DE CALIFICACIÓN (WPQ) No: <b>004</b> FECHA: _____ REVISIÓN: _____ POR: _____ FECHA: _____																										
PROCESO DE SOLDADURA: <b>SAW</b> TIPO: <b>AUTOMÁTICO</b>																										
<b>DISEÑO DE LA JUNTA</b> Tipo de Junta: <b>A Tope Directo</b> Preparación de la Junta: <b>Ranura Doble Bisel</b> Posición de Soldadura: <input checked="" type="checkbox"/> 1G <input type="checkbox"/> 2G <input type="checkbox"/> 3G <input type="checkbox"/> 4G Progresión: <input type="checkbox"/> Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente Pases: <input type="checkbox"/> Sencillo <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples Con Respaldo: <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No Material de Respaldo: <b>Metal de Soldadura</b> Abertura de Raíz (R): <b>0 + 1/16"</b> Cara de Raíz (F): <b>1/8" +/- 1/16"</b> Angulo de Ranura ( $\alpha$ ): <b>60° + 10° / - 0°</b> Limpieza entre Pases: <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No Método de Limpieza: <b>Disco de Grata Eléctrica</b>	<b>DETALLE DEL DISEÑO DE LA JUNTA</b> 																									
<b>METAL BASE</b> TIPO DE COMBINACIÓN De: <b>A 572</b> A: <b>A 572</b> Especificación: <b>ASTM</b> Especificación: <b>ASTM</b> Tipo: <b>A 572</b> Tipo: <b>A 572</b> Grado: <b>50</b> Grado: <b>50</b> Espesor Platina (T): <b>1"</b> Espesor Platina (T): <b>1"</b> C equivalente: <b>0.5136</b> C equivalente: <b>0.5136</b>	<b>METAL DE APORTE</b> Especificación AWS: <b>A 5.17 &amp; 5.23</b> Clasificación AWS: <b>EL - 12 / EM12K</b> Fabricante: <b>West Arco</b> Referencia: <b>WA60/WA61</b> Diámetro: <b>5/64" y 1/8"</b> Especificación del fundente AWS: <b>F-780 / 860</b> Clasificación fundente AWS: <b>F7A0-EXXX-XX</b> Fabricante: _____ Referencia: _____																									
<b>CARÁCTERÍSTICAS ELÉCTRICAS</b> Tipo de Corriente: <b>CC</b> Polaridad: <b>+</b> Tipo de Transferencia para GMAW: <b>NA</b>																										
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Pase No</th> <th>Diámetro Electrodo</th> <th>Amperaje</th> <th>Voltaje</th> <th>Velocidad de Avance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3 y Más</td> <td>5/64"</td> <td>300-400</td> <td>26-29</td> <td>17-22 (in/min)</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>3/32"</td> <td>350-450</td> <td>27-30</td> <td>17-22 (in/min)</td> </tr> <tr> <td>1*</td> <td>1/8"</td> <td>425-550</td> <td>27-30</td> <td>17-22 (in/min)</td> </tr> <tr> <td>Respaldo</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Pase No	Diámetro Electrodo	Amperaje	Voltaje	Velocidad de Avance	3 y Más	5/64"	300-400	26-29	17-22 (in/min)	2	3/32"	350-450	27-30	17-22 (in/min)	1*	1/8"	425-550	27-30	17-22 (in/min)	Respaldo				
Pase No	Diámetro Electrodo	Amperaje	Voltaje	Velocidad de Avance																						
3 y Más	5/64"	300-400	26-29	17-22 (in/min)																						
2	3/32"	350-450	27-30	17-22 (in/min)																						
1*	1/8"	425-550	27-30	17-22 (in/min)																						
Respaldo																										
* Saneado de Raíz con pulidora hasta metal sano. Pre calentamiento: <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No Temperatura Mín de Pre calentamiento: <b>70 °F</b> T. entre Pases: Mínima _____ Máxima <b>600°F</b> Entrada de Calor Calculado (KJ/in): Mínima <b>27</b> Máxima <b>45</b> Tratamiento de Postcalentamiento: _____ Arco: <input type="checkbox"/> Simple <input type="checkbox"/> Múltiple																										
PROYECTO: <b>Grupo de Proyecto UIS</b> AUTORIZADO POR: <b>Grupo de Proyecto UIS</b> FIRMA: _____ FECHA: <b>09-12-03</b>																										

## 9.2 Calificación del procedimiento de soldadura

Los procedimientos fueron desarrollados en la planta de HB SADELEC S.A, el ensayo no destructivo de Gammagrafia y ensayos mecánicos fueron realizados por las empresas TECNIENSAYOS y WEST ARCO respectivamente, la metalografía y microdureza fueron ejecutadas en los laboratorios de metalografía de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales de la Universidad Industrial de Santander.

- **Corte y preparación de cupones:** corte y mecanizado de las platinas según especificaciones de los WPS.

**Figura 39. Foto de la Preparación de Cupón de Calificación del WPS**



- **Ejecución del Procedimiento de Soldadura (WPS).**

**Figura 40. Foto de soldadura con proceso SMAW en posición 3G ascendente.**



**Figura 41. Foto de soldadura con proceso SAW Automático en posición 1G.**



**Figura 42. Foto de soldadura con proceso SAW Semi-Automático en posición 1G.**



➤ **Pruebas No Destructivas**

- **Inspección visual.** El objeto de este ensayo es caracterizar y evaluar los posibles defectos presentes detectables a simple vista, en la junta metálica.
- **Ensayo de gammagrafía industrial.** El ensayo fue realizado por TECNIENSAYOS LTDA. Utilizando un equipo de gammagrafía, isótopo de Ir 192 y actividad de 8 Ci, técnica de exposición EPS, tipo de película ST D7, indicador de calidad ASTM 1B (tipo hilos), y evaluados bajo los criterios de aceptación del código AASHTO/AWS D 1.5 2002 (Capítulo 6 sección 6.26.2), buscando descartar defectos internos, evaluarlos con los criterios de aceptación del código.

**Figura 43. Foto del Ensayo de Gammagrafía Industrial**



➤ **Ensayos Mecánicos**

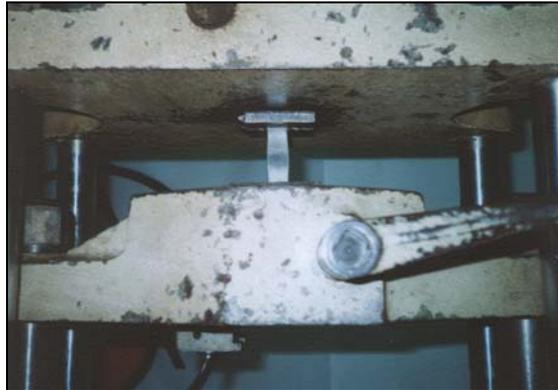
Según el código AASHTO/AWS D 1.5 2002 (Capítulo 5 sección 5.15) se requieren cuatro probetas para ensayos de doblez de lado, dos para ensayo de tensión de sección reducida y tres probetas de macroataque, para calificación del procedimiento (ver Fig. 44).

- **Probetas para ensayo de tensión de sección reducida.** Esta prueba tiene como finalidad determinar la resistencia a la tracción de la unión soldada evaluando así la soldabilidad operativa. (ver Fig. 45)
- **Probetas para ensayo de doblez.** Esta prueba tiene como finalidad determinar la sanidad y ductilidad de la unión soldada mediante el análisis de discontinuidades (ver Fig. 46).
- **Probetas para ensayo de Macroataque:** Esta prueba tiene como finalidad determinar la sanidad de la unión soldada y medir la garganta efectiva o tamaño de soldadura; también es utilizada para calibrar el tamaño y distribución de las capas y pases de soldadura, este ensayo se realizó de acuerdo a la norma ASTM 340-87. el reactivo empleado en esta prueba fue HCL en agua al 50% en volumen. (ver Fig. 47).

**Figura 44. Foto de cupón de prueba cortado y probetas de ensayo mecánicos**



**Figura 45. Foto de la Prueba de Tensión de Sección Reducida**



**Figura 46. Prueba de doblez**



**Figura 47. Prueba de macroataque**

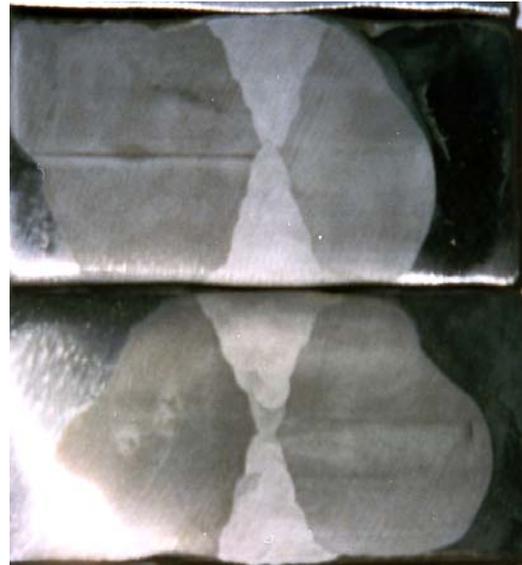


Figura 48. Registro de calificación del procedimiento (PQR)

	<b>REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR) CÓDIGO AWS D 1.5</b>						
PQR No: <u>004</u> ELABORADO: <u>Grupo de Proyecto UIS</u> FECHA: <u>30-01-04</u> REVISIÓN: _____ POR: _____ FECHA: _____ WPS No: <u>004</u> POR: <u>Grupo de Proyecto UIS</u> FECHA: <u>09-12-03</u> PROCESO DE SOLDADURA: <u>SAW</u> TIPO: <u>AUTOMÁTICO</u>							
<b>METAL BASE</b> Especificación: <u>ASTM A 572</u> Espesor: <u>1"</u> Tipo de Unión: <u>A Tope Directo</u> Diseño de la Unión: <u>Ranura Doble Bisel</u> Posición de Soldadura: <input checked="" type="checkbox"/> 1G <input type="checkbox"/> 2G <input type="checkbox"/> 3G <input type="checkbox"/> 4G Con Respaldo: <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Material de Respaldo: <u>Metal de Soldadura</u> C Equivalente: <u>0.5136</u>	<b>METAL DE APORTE</b> Especificación AWS: <u>A 5.17</u> Clasificación AWS: <u>EM 12K</u> Fabricante: <u>West Arco</u> Referencia: <u>WA - 61</u> Diámetro: <u>5/64"</u> Especificación fundente AWS: <u>FK-385 Special Flux</u> Clasificación fundente AWS: <u>F7A0-EM 12K</u> Fabricante: _____ Referencia: _____						
<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS</b>							
POSICIÓN: <u>1G</u>	PROC	ELECTRODO		OPERACIÓN			
PASE No:		Clasificación AWS	Diámetro	Amperaje	Voltaje	Tipo & Polaridad	Velocidad de Avance
<b>1. CARA</b>	<b>SAW</b>	<b>EM 12K</b>	<b>5/64 "</b>	<b>360-380</b>	<b>30</b>	<b>DCEP</b>	<b>22 IPM</b>
<b>2.3.4 CARA</b>	<b>SAW</b>	<b>EM 12K</b>	<b>5/64 "</b>	<b>380-410</b>	<b>29</b>	<b>DCEP</b>	<b>17 IPM</b>
<b>5.6.7.8.9 RAÍZ</b>	<b>SAW</b>	<b>EM 12K</b>	<b>5/64 "</b>	<b>380-410</b>	<b>29</b>	<b>DCEP</b>	<b>19 IPM</b>
<b>10.11 RAIZ</b>	<b>SAW</b>	<b>EM 12K</b>	<b>5/64 "</b>	<b>380-410</b>	<b>29</b>	<b>DCEP</b>	<b>17 IPM</b>
Limpieza entre Pases: <u>Disco abrasivo y/o Grata Circular</u> Pre calentamiento: <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Temperatura de Min Pre calentamiento: <u>143 °F</u> Temperatura entre Pases: Mínima <u>482 °F</u> Máxima <u>600 °F</u> Entrada de Calor Calculado (KJ/in): Mínima: <u>29</u> Máxima: <u>42</u>							
<b>PRUEBA DE DOBLEZ</b>							
ESPECIMEN No	DOBLEZ	RESULTADO	OBSERVACIONES				
<b>I.1-004</b>	<b>DE LADO</b>	<b>ACEPTABLE</b>	<b>NINGUNO</b>				
<b>I.2-004</b>	<b>DE LADO</b>	<b>ACEPTABLE</b>	<b>Discontinuidad de 0.036 in Dentro de Norma</b>				
<b>I.3-004</b>	<b>DE LADO</b>	<b>ACEPTABLE</b>	<b>NINGUNO</b>				
<b>I.4-004</b>	<b>DE LADO</b>	<b>ACEPTABLE</b>	<b>NINGUNO</b>				
PROYECTO: <u>Grupo de Proyecto UIS</u> FECHA: <u>26-01-04</u>				AUTORIZADO POR: <u>Grupo de Proyecto UIS</u>			



Los resultados de las pruebas descritas anteriormente se presentan en el PQR (Registro de calificación del procedimiento) (ver Fig. 48).

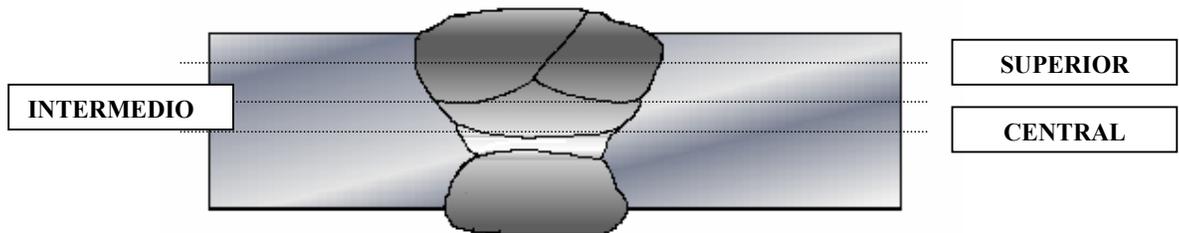
### 9.3 Caracterización Estructural de la Soldadura

El objeto del análisis metalográfico es proporcionar información acerca de las transformaciones o cambios presentes en la microestructura de la unión soldada con respecto al metal base original.

- **Análisis Metalográfico y Microdureza.**

La caracterización metalográfica de las fases presentes se realizó en el microscopio óptico, atacando las muestras con Nital al 4%, la junta soldada se puede dividir en tres zonas: metal base, metal de soldadura y de la zona afectada térmicamente (HAZ).

Para la prueba de microdureza se tomó como referencia la norma ASTM E 384-99. Las mediciones de los valores de microdureza, se tomaron en la zona transversal de las probetas bajo una carga de 100 gramos en tres barridos distribuidos de la siguiente manera: superior, intermedio y central (Ver Figura 50)



**Figura 50. Barridos de microdureza**

- **Determinación del tamaño de grano**

Para determinar el tamaño de grano promedio de las zonas estudiadas en cada probeta se utilizó como referencia la Norma ASTM E 112-96. Sin embargo se observó un afinamiento de grano considerable obteniéndose tamaños que no se encontraban disponibles en las cartas de comparación de la norma citada anteriormente, por esta razón, se empleó un programa de análisis de imágenes LEICA el cual suministró los datos del tamaño de grano.

## 10. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 10.1 Resultados

De acuerdo al desarrollo experimental expuesto se presentarán en esta sección los resultados obtenidos, los cuales nos permitirán evaluar la soldabilidad de los aceros estructurales propuestos.

Los resultados en mención estarán dispuestos por procedimiento, de la siguiente forma:

- Especificación del procedimiento (WPS).
- Calificación del procedimiento (PQR). Los reportes del ensayo de radiografía están dispuestos en el Anexo 4.
- Macroataque.
- Análisis metalográfico.
- Resultados de microdureza.

Figura 51. Especificación del Procedimiento de soldadura 001 (WPS 001)

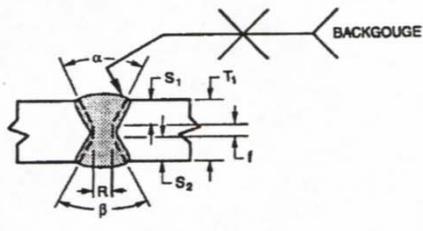
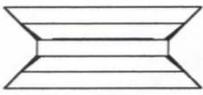
	<b>ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) CÓDIGO AWS D 1.5 2002</b>																									
EMPRESA: <b>Universidad Industrial de Santander (UIS)</b> WPS No: <b>001</b> ELABORACIÓN: <b>Grupo de Provento UIS</b> FECHA: <b>10-11-03</b> SOPORTE DE CALIFICACIÓN (PQR) No: <b>001</b> FECHA: <b>02-12-03</b> SOPORTE DE CALIFICACIÓN (WPO) No: <b>001</b> FECHA: _____ REVISIÓN: _____ POR: _____ FECHA: _____																										
PROCESO DE SOLDADURA: <b>SMAW</b> TIPO: <b>MANUAL</b>																										
<b>DISEÑO DE LA JUNTA</b> Tipo de Junta: <b>A Tope Directo</b> Preparación de la Junta: <b>Ranura Doble Bisel</b> Posición de Soldadura: <u>1G</u> <b>X 2G</b> <u>3G</u> <u>4G</u> Progresión: <u>Ascendente</u> <u>Descendente</u> Pases: <u>Sencillo</u> <b>X Múltiples</b> Con Respaldo: <b>X</b> Si <u>No</u> Material de Respaldo: <b>Metal de Soldadura</b> Abertura de Raíz (R): <b>1/8" +/- 1/16"</b> Cara de Raíz (F): <b>1/8" +/- 1/16"</b> Angulo de Ranura ( $\alpha$ ): <b>60° + 10° / - 0°</b> Limpieza entre Pases: <b>X</b> Si <u>No</u> Método de Limpieza: <b>Disco de Grata Eléctrica</b>	<b>DETALLE DEL DISEÑO DE LA JUNTA</b> 																									
<b>METAL BASE</b> TIPO DE COMBINACIÓN De: <b>A 537</b> A: <b>A 537</b> Especificación: <b>ASTM</b> Especificación: <b>ASTM</b> Tipo: <b>A 537</b> Tipo: <b>A 537</b> Clase: <b>1</b> Clase: <b>1</b> Espesor Platina (T): <b>1 1/2"</b> Espesor Platina (T): <b>1 1/2"</b> C equivalente: <b>0.4853</b> C equivalente: <b>0.4853</b>	<b>METAL DE APORTE</b> Especificación AWS: <b>A 5.1</b> Clasificación AWS: <b>E-7018 S</b> Fabricante: <b>West Arco</b> Referencia: <b>WIZ 18 S</b> Diámetro: <b>3/32" v 3/16"</b> Protección: <u>Si</u> <b>X No</b> Gas: <b>NA</b> Composición: <b>NA</b> Flujo: <b>NA</b> Técnica: <b>Oscilatorio</b>																									
<b>CARÁCTERÍSTICAS ELÉCTRICAS</b> Tipo de Corriente: <b>CC</b> Polaridad: <b>+</b> Tipo de Transferencia para GMAW: <b>NA</b>																										
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Pase No</th> <th>Diámetro Electrodo</th> <th>Amperaje</th> <th>Voltaje</th> <th>Velocidad de Avance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>3 y Más</b></td> <td>3/32-3/16"</td> <td>70-270</td> <td>18-35</td> <td>6-8 (in/min)</td> </tr> <tr> <td><b>2</b></td> <td>3/32-3/16"</td> <td>70-270</td> <td>18-35</td> <td>6-8 (in/min)</td> </tr> <tr> <td><b>1*</b></td> <td>3/32-3/16"</td> <td>70-270</td> <td>18-35</td> <td>6-8 (in/min)</td> </tr> <tr> <td><b>Respaldo</b></td> <td>3/32-3/16"</td> <td>70-270</td> <td>18-35</td> <td>6-8 (in/min)</td> </tr> </tbody> </table> <p>* Saneado de Raíz con pulidora hasta metal sano.</p> Pre calentamiento: <u>Si</u> <b>X No</b> Temperatura de Pre calentamiento: <b>70 °F</b> T. entre Pases: Mínima <b>NA</b> Máxima <b>450 °F</b> Entrada de Calor Calculado (KJ/in): Mínima: <b>13</b> Máxima: <b>71</b> Tratamiento de Post calentamiento: _____ Arco: <u>Simple</u> <u>Múltiple</u>	Pase No	Diámetro Electrodo	Amperaje	Voltaje	Velocidad de Avance	<b>3 y Más</b>	3/32-3/16"	70-270	18-35	6-8 (in/min)	<b>2</b>	3/32-3/16"	70-270	18-35	6-8 (in/min)	<b>1*</b>	3/32-3/16"	70-270	18-35	6-8 (in/min)	<b>Respaldo</b>	3/32-3/16"	70-270	18-35	6-8 (in/min)
Pase No	Diámetro Electrodo	Amperaje	Voltaje	Velocidad de Avance																						
<b>3 y Más</b>	3/32-3/16"	70-270	18-35	6-8 (in/min)																						
<b>2</b>	3/32-3/16"	70-270	18-35	6-8 (in/min)																						
<b>1*</b>	3/32-3/16"	70-270	18-35	6-8 (in/min)																						
<b>Respaldo</b>	3/32-3/16"	70-270	18-35	6-8 (in/min)																						
PROYECTO: <b>Grupo de Provento UIS</b> AUTORIZADO POR: <b>Ing. Alirio Cardenas</b> FIRMA: _____ FECHA: <b>10-11-03</b>																										

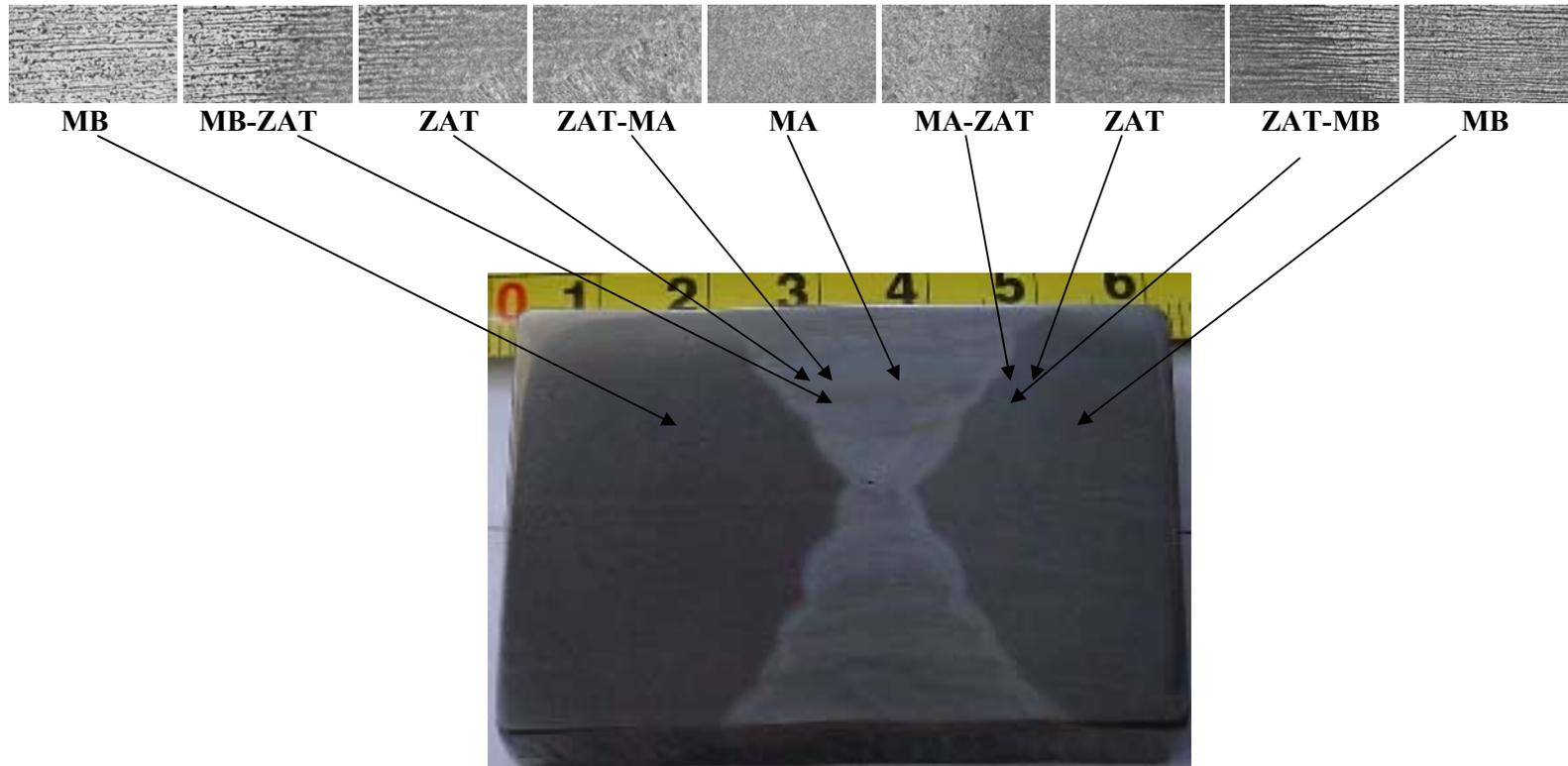
Figura 52. Registro de la calificación del procedimiento (PQR) 001

	<b>REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR) CÓDIGO AWS D 1.5</b>					
PQR No: <u>001</u> ELABORADO: <u>Grupo de Proyecto UIS</u> FECHA: <u>02-12-03</u> REVISIÓN: _____                      POR: _____                      FECHA: _____ WPS No: <u>001</u> POR: <u>Grupo de Proyecto UIS</u> FECHA: <u>10-11-03</u> PROCESO DE SOLDADURA: <u>SMAW</u> TIPO: <u>MANUAL</u>						
<b>PRUEBA DE TENSIÓN</b>						
Especimen No	Área (in <sup>2</sup> )	Carga máxima (lb)	Esfuerzo máximo (PSI)	Mínimo valor esperado (PSI)	Observación/ Rotura	Concepto
<b>T1- 001</b>	<b>0.969</b>	<b>70500</b>	<b>72755</b>	<b>70000</b>	Falla fuera de soldadura	<b>FAVORABLE</b>
<b>T2- 001</b>	<b>0.969</b>	<b>71000</b>	<b>73271</b>	<b>70000</b>	Falla fuera de soldadura	<b>FAVORABLE</b>
<b>INSPECCIÓN VISUAL</b>						
Pase de Raíz: <u>Acceptable</u>		Pase de Presentación: <u>Acceptable</u>		Socavado: <u>Ninguno</u>		
Porosidad: <u>Ninguno</u>		Grieta: <u>Ninguno</u>		Inclusión de Escoria: <u>Ninguno</u>		Fusión Incompleta: <u>Ninguno</u>
Observaciones: _____						
<b>RADIOGRAFIA</b>						
Pase de Raíz: <u>OK</u>		Pase de Presentación: <u>OK</u>		Socavado: <u>NO</u>		
Porosidad: <u>NO</u>		Grieta: <u>NO</u>		Inclusión de Escoria: <u>NO</u>		Fusión Incompleta: <u>NO</u>
Observaciones: _____						
<b>MACROATAQUE</b>						
IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS	OBSERVACIONES Y/O RESULTADOS					
<b>M1-001</b>	<b>SIN DISCONTINUIDADES. CONCEPTO FAVORABLE</b>					
<b>M2-001</b>	<b>SIN DISCONTINUIDADES. CONCEPTO FAVORABLE</b>					
<b>M3-001</b>	<b>SIN DISCONTINUIDADES. CONCEPTO FAVORABLE</b>					
<b>CERTIFICACIÓN</b>						
Con base en los procedimientos, ensayos y resultados expuestos anteriormente, los suscritos y "Electromanufacturas S.A" certifican que el procedimiento descrito y operario citado a continuación ha sido:						
_____						
PROYECTO: <u>Grupo de Proyecto UIS</u>				AUTORIZADO POR: <u>Grupo de Proyecto UIS</u>		
FECHA: <u>02-12-03</u>						

Figura 53. (Continuación). Registro de la calificación del procedimiento (PQR) 001

	<b>REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR) CÓDIGO AWS D 1.5</b>					
PQR No: <u>001</u> ELABORADO: <u>Grupo de Proyecto UIS</u> FECHA: <u>02-12-03</u> REVISIÓN: _____      POR: _____      FECHA: _____ WPS No: <u>001</u> POR: <u>Grupo de Proyecto UIS</u> FECHA: <u>10-11-03</u> PROCESO DE SOLDADURA: <u>SMAW</u> TIPO: <u>MANUAL</u>						
<b>PRUEBA DE TENSIÓN</b>						
Especimen No	Área (in <sup>2</sup> )	Carga máxima (lb)	Esfuerzo máximo (PSI)	Mínimo valor esperado (PSI)	Observación/ Rotura	Concepto
T1- 001	0.969	70500	72755	70000	Falla fuera de soldadura	FAVORABLE
T2- 001	0.969	71000	73271	70000	Falla fuera de soldadura	FAVORABLE
<b>INSPECCIÓN VISUAL</b>						
Pase de Raíz: <u>Acceptable</u>		Pase de Presentación: <u>Acceptable</u>		Socavado: <u>Ninguno</u>		
Porosidad: <u>Ninguno</u>		Grieta: <u>Ninguno</u>		Inclusión de Escoria: <u>Ninguno</u>		Fusión Incompleta: <u>Ninguno</u>
Observaciones: _____						
<b>RADIOGRAFIA</b>						
Pase de Raíz: <u>OK</u>		Pase de Presentación: <u>OK</u>		Socavado: <u>NO</u>		
Porosidad: <u>NO</u>		Grieta: <u>NO</u>		Inclusión de Escoria: <u>NO</u>		Fusión Incompleta: <u>NO</u>
Observaciones: _____						
<b>MACROATAQUE</b>						
IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS	OBSERVACIONES Y/O RESULTADOS					
M1-001	SIN DISCONTINUIDADES. CONCEPTO FAVORABLE					
M2-001	SIN DISCONTINUIDADES. CONCEPTO FAVORABLE					
M3-001	SIN DISCONTINUIDADES. CONCEPTO FAVORABLE					
<b>CERTIFICACIÓN</b>						
Con base en los procedimientos, ensayos y resultados expuestos anteriormente, los suscritos y "Electromanufacturas S.A" certifican que el procedimiento descrito y operario citado a continuación ha sido:						
_____						
PROYECTO: <u>Grupo de Proyecto UIS</u>				AUTORIZADO POR: <u>Grupo de Proyecto UIS</u>		
FECHA: <u>02-12-03</u>						

**Figura 54. Micrografía Detallada del Acero ASTM A 537 Clase 1, Proceso SMAW (Procedimiento 001)**



**MB: Metal Base**  
**MA: Metal Aporte**

**MB-ZAT: Interfase entre el Metal Base y ZAT**  
**MA-ZAT: Interfase entre el Metal Aporte y ZAT**  
**ZAT-MA: Interfase entre ZAT y el Metal Aporte**

**ZAT: Zona Afectada Térmicamente**  
**ZAT-MB: Interfase entre ZAT y el Metal Base**

## ANALISIS METALOGRAFICO

A continuación se presentan micrografías de cada una de las zonas de interés metalúrgico a 50X y 100X, atacadas previamente con Nital al 3%.

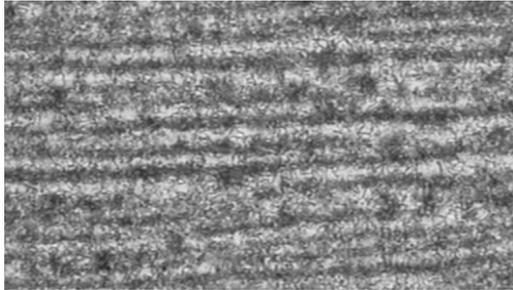


Figura 55. Metal Base 50X  
Microconstituyentes: ferrita fina (fase clara) y perlita fina (fase oscura)

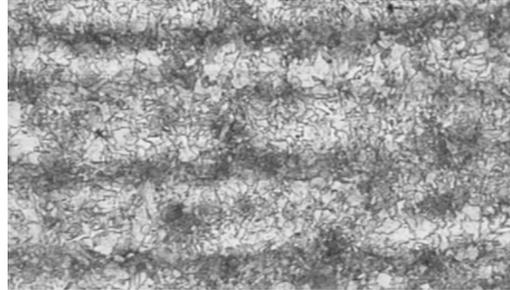


Figura 56. Metal Base 100X

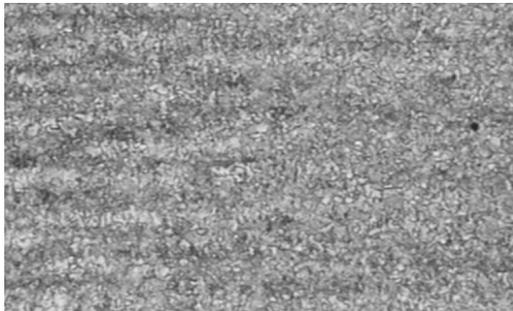


Figura 57. Metal Base-ZAT 50X  
Microconstituyentes: ferrita (fase clara) y perlita (fase oscura)

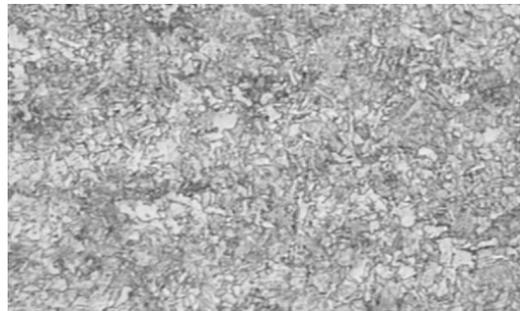


Figura 58. Metal Base-ZAT 100X

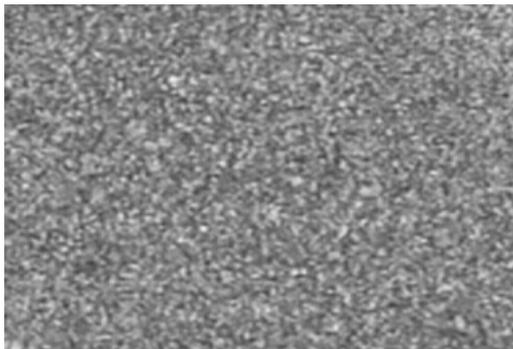


Figura 59. ZAT 50X

Microconstituyentes: granos finos de ferrita equiaxial (fase clara) y perlita fina (fase oscura)

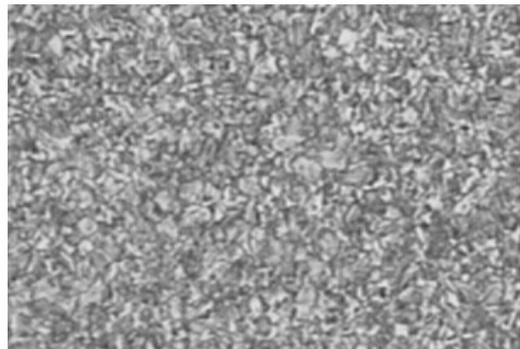


Figura 60. ZAT 100X

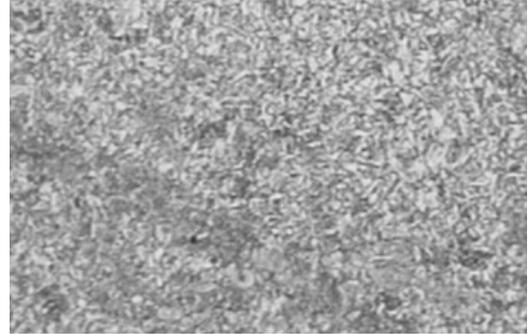
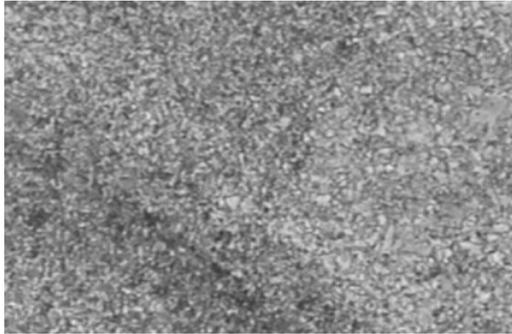


Figura 61. ZAT-Metal de soldadura 50X      Figura 62. ZAT-Metal de soldadura 100X  
Microconstituyentes: ferrita poligonal, ferrita masiva (fase clara) y perlita fina (fase oscura)

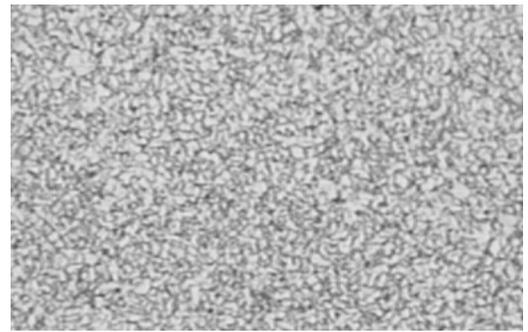
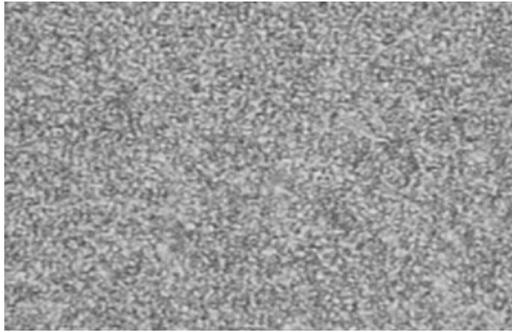
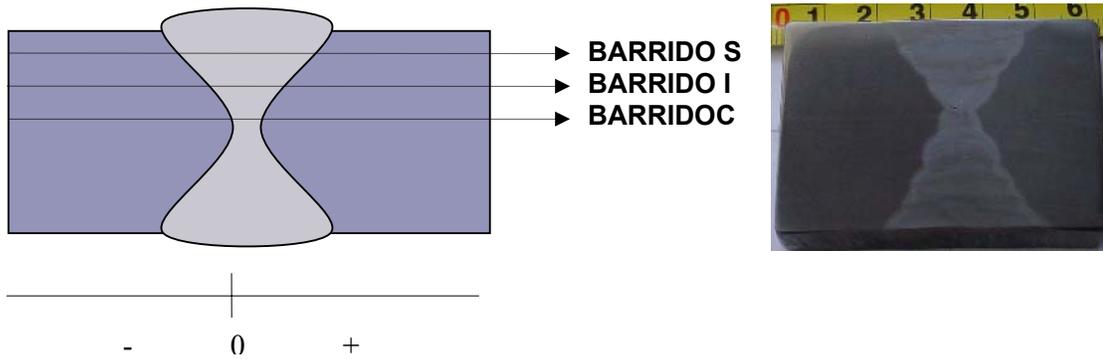


Figura 63. Metal de Soldadura 50X      Figura 64. Metal de Soldadura 100X  
Microconstituyentes: ferrita (fase clara) y perlita fina en menor cantidad (fase oscura)

Figura 65. Barridos de microdureza procedimiento 001



Cuadro 1. Distribución de microdurezas del procedimiento 001

Metal base	Zona afectada térmicamente	Metal de soldadura
------------	----------------------------	--------------------

**BARRIDO SUPERIOR (S)**

Distancia (mm)	Dureza Vickers (HV)	-10,9	182	-0,5	176	9,7	170	13,2	192
		-10,8	177	-0,3	170	9,8	183	13,4	203
-23	216	-10,7	195	-0,1	172	9,9	186	13,5	183
-16,55	193	-10,6	176	0	168	10	190	13,7	205
-16,05	228	-10,5	180	0,2	178	10,1	193	13,9	159
-15,55	199	-10,4	185	0,7	171	10,2	183	14	198
-15,05	195	-10,3	185	1,2	169	10,3	206	14,1	183
-14,55	181	-10,2	197	2,2	172	10,4	195	14,3	171
-14,05	190	-10,1	187	3,2	159	10,5	174	14,5	186
-13,9	213	-10	187	4,2	185	10,6	178	14,7	189
-13,7	209	-9,9	171	5,2	177	10,7	193	14,9	186
-13,5	199	-9,8	185	6,2	176	10,8	168	15,1	173
-13,4	225	-9,7	183	6,7	168	10,9	165	15,3	159
-13,2	167	-9,6	194	6,9	181	11	166	15,5	159
-13	169	-9,5	190	7,1	185	11,1	177	15,7	212
-12,8	177	-9,4	183	7,3	170	11,2	186	15,9	176
-12,6	181	-9,3	183	7,5	179	11,3	199	16	194
-12,4	181	-9,2	193	7,7	181	11,4	187	16,2	198
-12,3	180	-9,1	155	8,2	176	11,5	163	16,4	199
-12,2	198	-9	166	8,4	172	11,6	174	16,6	178
-12,1	198	-8,9	166	8,5	176	11,7	183	16,8	183
-12	193	-8,8	165	8,6	181	11,8	190	17	193
-11,9	181	-8,7	173	8,7	176	11,9	199	17,2	212
-11,8	213	-8,5	164	8,8	173	12	183	17,5	187
-11,7	193	-8	165	8,9	176	12,1	173	17,7	197
-11,6	203	-7,5	171	9	178	12,2	213	17,9	190
-11,5	205	-6,5	171	9,1	171	12,3	177	18,5	162
-11,4	206	-5,5	178	9,2	160	12,4	166	19	170
-11,3	180	-4,5	173	9,3	176	12,6	176	19,5	206
-11,2	179	-3,5	167	9,4	182	12,8	187	20,5	213
-11,1	179	-2,5	172	9,5	172	12,9	180	21	190
-11	192	-1,5	165	9,6	153	13	165		

## BARRIDO INTERMEDIO (I)

Distancia (mm)	Dureza Vickers (HV)
-21,5	213
-20	210
-18,5	181
-18	228
-15	193
-13,1	179
-12,1	181
-11	187
-10,8	185
-10,5	197
-10	213
-9,7	197
-9,5	168
-9,3	165
-9,1	181
-8,9	167
-8,5	162
-8,3	163
-8,1	187
-7,9	210
-7,7	212
-7,5	177
-7,3	193
-7,2	213
-7,1	198
-7	199
-6,9	206
-6,8	190
-6,7	198

-6,6	205
-6,5	213
-6,4	207
-6,3	213
-6,2	207
-6,1	203
-6	194
-5,9	187
-5,8	174
-5,7	162
-5,6	176
-5,5	180
-5,4	173
-5,3	165
-5,2	176
-5,1	174
-5	176
-4,9	178
-4,8	165
-4,7	179
-4,6	169
-4,5	169
-4,4	166
-4,2	186
-4	183
-2	188
-1	178
-0,8	166
-0,3	180
-0,1	174

0	176
1	176
1,5	176
2,5	169
3	181
4	170
4,1	170
4,2	169
4,3	170
4,4	168
4,5	181
4,6	179
4,7	174
4,8	176
4,9	182
5	193
5,1	183
5,2	201
5,3	221
5,4	197
5,5	207
5,6	206
5,7	187
5,8	181
5,9	203
6,1	193
6,2	206
6,3	228
6,4	203
6,5	195

6,6	212
6,7	224
6,8	237
6,9	203
7	186
7,1	176
7,2	190
7,3	254
7,4	207
7,5	176
8	186
8,2	216
8,4	213
8,6	199
8,8	237
9	228
9,2	187
9,7	181
10,2	199
10,7	164
11	164
12	168
13	215
14	197
15	183
17	176
18	199
20	233
21,5	169

## BARRIDO CENTRAL (C)

Distancia (mm)	Dureza Vickers (HV)
-25	217
-20	227
-15	225
-11	205
-10,5	225
-10	253
-9,5	249
-9,4	297
-9,3	297
-9,2	198
-9,1	297
-9	227
-8,6	215
-8,4	237
-8,2	215
-8	216
-7,8	235
-7,6	230
-7,4	213
-7,2	230
-7,1	224
-7	222
-6,9	210
-6,8	219
-6,7	297
-6,5	264
-6,4	297
-6,3	247
-6,2	249
-6,1	237
-6	209
-5,9	251
-5,8	242
-5,7	251
-5,6	233
-5,5	247
-5,4	297
-5,3	297
-5,2	264

-5,1	245
-5	235
-4,9	237
-4,8	224
-4,7	232
-4,6	227
-4,5	238
-4,4	245
-4,3	235
-4,2	237
-4,1	233
-4	190
-3,9	190
-3,7	213
-3,6	206
-3,5	203
-3,4	202
-3,3	237
-3,2	206
-3,1	225
-3	227
-2,9	245
-2,8	243
-2,7	228
-2,6	245
-2,5	243
-2,4	237
-2,3	270
-2,2	292
-2,1	279
-2	272
-1,9	262
-1,8	216
-1,7	216
-1,6	202
-1,5	215
-1,4	207
-1,3	210
-1,2	212
-1,1	215
-1	213

-0,9	215
-0,8	215
-0,7	210
-0,6	221
-0,5	215
-0,4	213
-0,3	225
-0,2	205
-0,1	213
0	197
0,1	225
0,2	222
0,3	235
0,4	247
0,5	233
0,6	205
0,7	188
0,8	189
0,9	189
1	198
1,2	195
1,3	192
1,4	198
1,5	206
1,6	189
1,7	203
1,8	195
1,9	198
2	189
2,1	225
2,2	237
2,3	260
2,4	268
2,5	197
2,6	222
2,7	216
2,8	201
2,9	199
3	230
3,1	245
3,2	224

3,3	197
3,4	186
3,5	183
3,6	212
3,7	199
3,8	198
3,9	207
4	203
4,1	235
4,2	272
4,3	279
4,4	281
4,5	272
4,6	198
4,7	247
4,8	190
4,9	287
5	272
5,2	177
5,4	197
5,6	201
5,8	197
6	243
6,2	198
6,4	240
6,6	201
6,8	235
7	219
7,5	225
8	243
8,5	203
9	192
10	205
11	198
15	186
20	201
25	197

igura 66. Gráfica de la microdureza del WPS 001

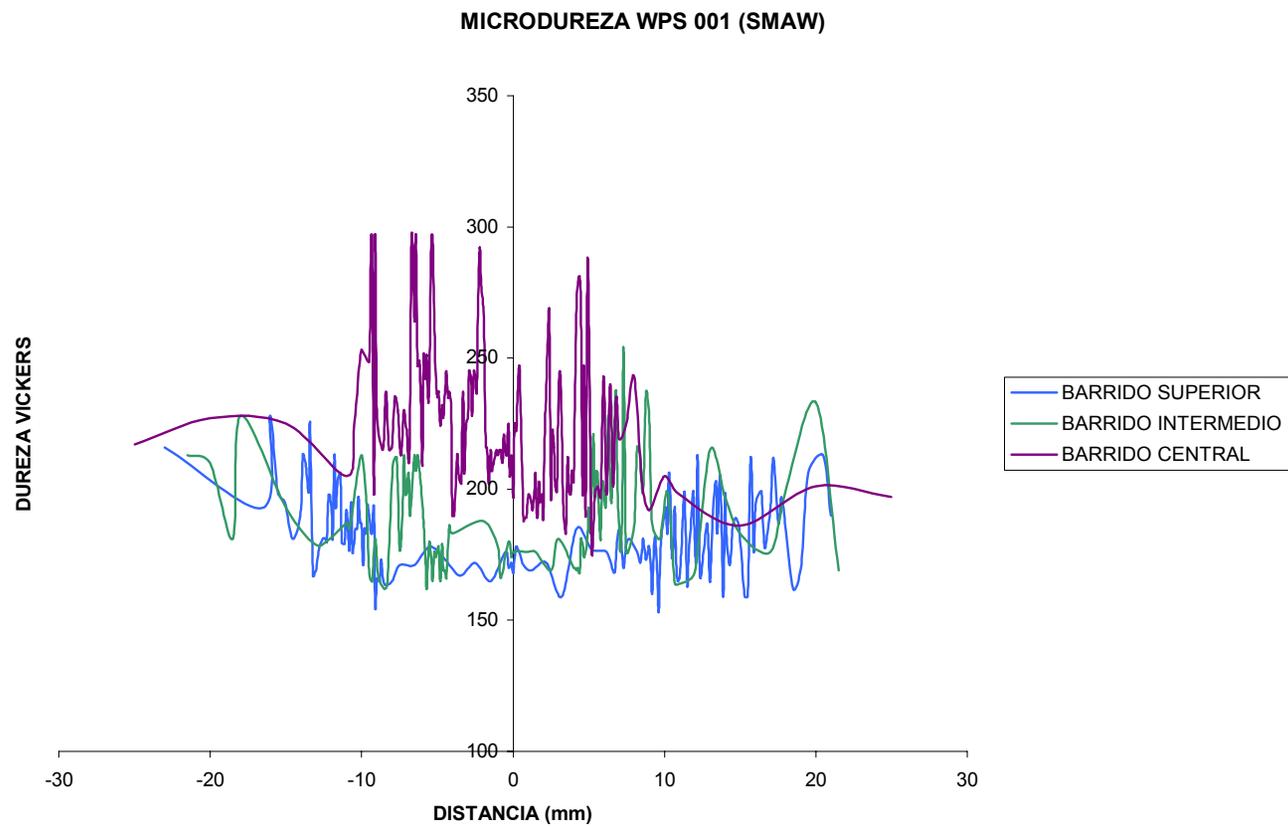


Figura 67. Especificación del procedimiento de soldadura (WPS 002)

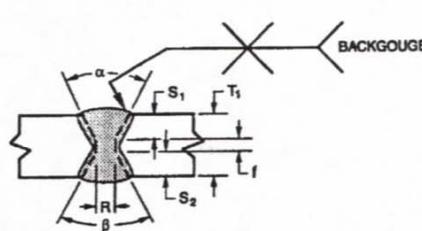
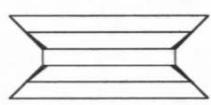
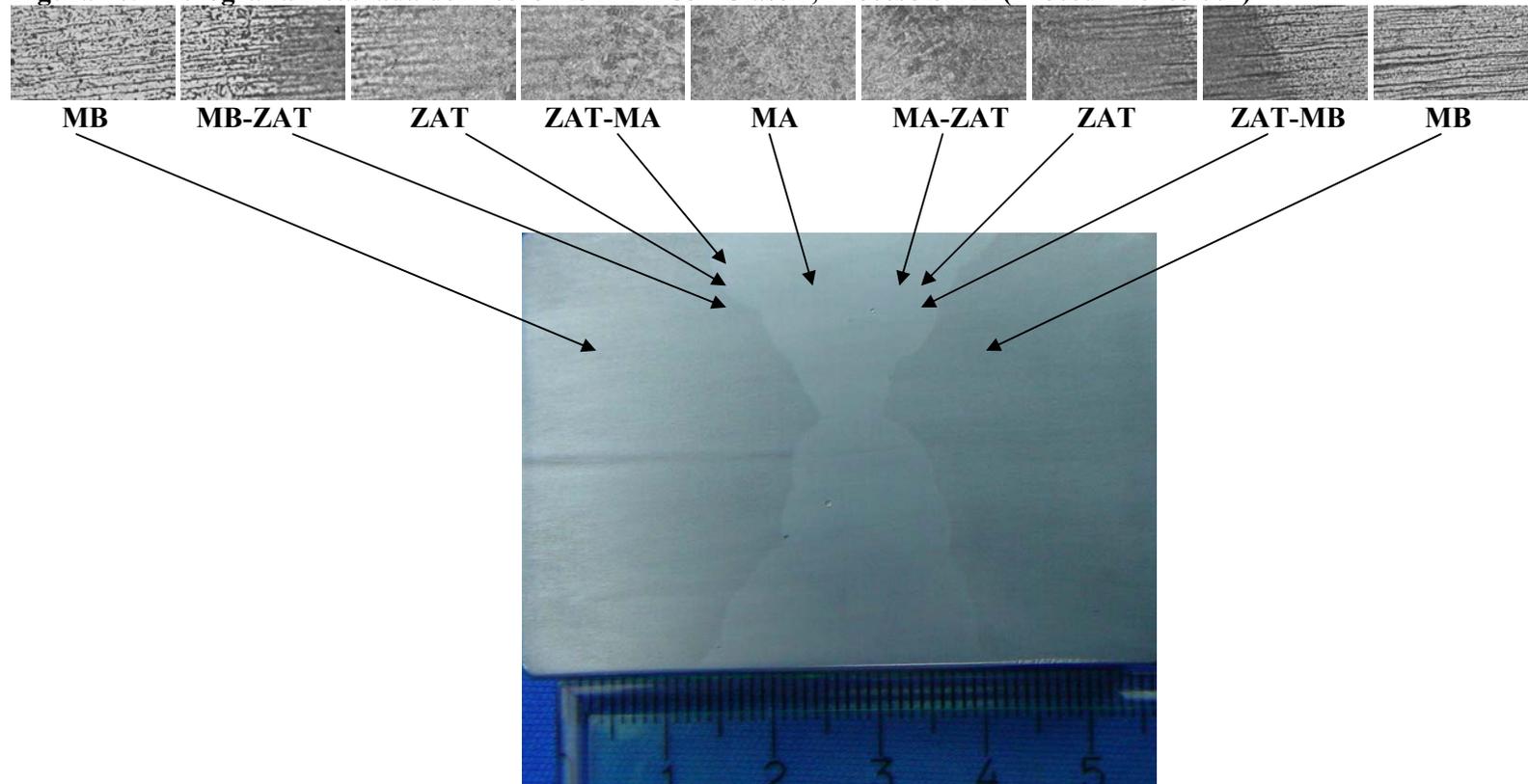
	<b>ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) CÓDIGO AWS D 1.5 2002</b>																									
EMPRESA: <b>Universidad Industrial de Santander (UIS)</b> WPS No: <b>002</b> ELABORACIÓN: <b>Grupo de Proyecto UIS</b> FECHA: <b>10-11-03</b> SOPORTE DE CALIFICACIÓN (PQR) No: <b>002</b> FECHA: <b>02-12-03</b> SOPORTE DE CALIFICACIÓN (WPO) No: <b>002</b> FECHA: _____ REVISIÓN: _____ POR: _____ FECHA: _____																										
PROCESO DE SOLDADURA: <b>SAW</b> TIPO: <b>AUTOMÁTICO</b>																										
<b>DISEÑO DE LA JUNTA</b> Tipo de Junta: <b>A Tope Directo</b> Preparación de la Junta: <b>Ranura Doble Bisel</b> Posición de Soldadura: <input checked="" type="checkbox"/> 1G <input type="checkbox"/> 2G <input type="checkbox"/> 3G <input type="checkbox"/> 4G Progresión: <input type="checkbox"/> Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente Pases: <input type="checkbox"/> Sencillo <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples Con Respaldo: <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No Material de Respaldo: <b>Metal de Soldadura</b> Abertura de Raíz (R): <b>0 + 1/16"</b> Cara de Raíz (F): <b>1/8" +/- 1/16"</b> Angulo de Ranura ( $\alpha$ ): <b>60° + 10° / - 0°</b> Limpieza entre Pases: <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No Método de Limpieza: <b>Disco de Grata Eléctrica</b>	<b>DETALLE DEL DISEÑO DE LA JUNTA</b> 																									
<b>METAL BASE</b> TIPO DE COMBINACIÓN De: <b>A 537</b> A: <b>A 537</b> Especificación: <b>ASTM</b> Especificación: <b>ASTM</b> Tipo: <b>A 537</b> Tipo: <b>A 537</b> Clase: <b>1</b> Clase: <b>1</b> Espesor Platina (T): <b>1 1/2"</b> Espesor Platina (T): <b>1 1/2"</b> C equivalente: <b>0.4853</b> C equivalente: <b>0.4853</b>	<b>METAL DE APORTE</b> Especificación AWS: <b>A 5.17 &amp; 5.23</b> Clasificación AWS: <b>EL - 12 / EM12K</b> Fabricante: <b>West Arco</b> Referencia: <b>WA60/WA61</b> Diámetro: <b>5/64" y 1/8"</b> Especificación del fundente AWS: <b>F-780 / 860</b> Clasificación fundente AWS: <b>F7A0-EXXX-XX</b> Fabricante: _____ Referencia: _____																									
<b>CARÁCTERÍSTICAS ELÉCTRICAS</b>																										
Tipo de Corriente: <b>CC</b> Polaridad: <b>+</b> Tipo de Transferencia para GMAW: <b>NA</b>																										
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Pase No</th> <th>Diámetro Electrodo</th> <th>Amperaje</th> <th>Voltaje</th> <th>Velocidad de Avance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3 y Más</td> <td>5/64"</td> <td>300-400</td> <td>26-29</td> <td>17-22 (in/min)</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>3/32"</td> <td>350-450</td> <td>27-30</td> <td>17-22 (in/min)</td> </tr> <tr> <td>1*</td> <td>1/8"</td> <td>425-550</td> <td>27-30</td> <td>17-22 (in/min)</td> </tr> <tr> <td>Respaldo</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>* Saneado de Raíz con pulidora hasta metal sano.</p>	Pase No	Diámetro Electrodo	Amperaje	Voltaje	Velocidad de Avance	3 y Más	5/64"	300-400	26-29	17-22 (in/min)	2	3/32"	350-450	27-30	17-22 (in/min)	1*	1/8"	425-550	27-30	17-22 (in/min)	Respaldo				
Pase No	Diámetro Electrodo	Amperaje	Voltaje	Velocidad de Avance																						
3 y Más	5/64"	300-400	26-29	17-22 (in/min)																						
2	3/32"	350-450	27-30	17-22 (in/min)																						
1*	1/8"	425-550	27-30	17-22 (in/min)																						
Respaldo																										
Pre calentamiento: <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No Temperatura Mín de Pre calentamiento: <b>70 °F</b> T. entre Pases: Mínima _____ Máxima <b>600°F</b> Entrada de Calor Calculado(KJ/in): Mínima <b>27</b> Máxima <b>45</b> Tratamiento de Post calentamiento: _____ Arco: <input type="checkbox"/> Simple <input type="checkbox"/> Múltiple																										
PROYECTO: <b>Grupo de Proyecto UIS</b> AUTORIZADO POR: <b>Grupo de Proyecto UIS</b> FIRMA: _____ FECHA: <b>10-11-03</b>																										

Figura 68. Registro de calificación del procedimiento (PQR 002)

	<b>REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR) CÓDIGO AWS D 1.5</b>						
PQR No: <u>002</u> ELABORADO: <u>Grupo de Proyecto UIS</u> FECHA: <u>02-12-03</u> REVISIÓN: _____ POR: _____ FECHA: _____ WPS No: <u>002</u> POR: <u>Grupo de Proyecto UIS</u> FECHA: <u>10-11-03</u> PROCESO DE SOLDADURA: <u>SAW</u> TIPO: <u>AUTOMÁTICO</u>							
<b>METAL BASE</b> Especificación: <u>ASTM A 537</u> Espesor: <u>1 1/2"</u> Tipo de Unión: <u>A Tope Directo</u> Diseño de la Unión: <u>Ranura Doble Bisel</u> Posición de Soldadura: <input checked="" type="checkbox"/> 1G <input type="checkbox"/> 2G <input type="checkbox"/> 3G <input type="checkbox"/> 4G Con Respaldo: <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Material de Respaldo: <u>Metal de Soldadura</u> C Equivalente: <u>0.4853</u>	<b>METAL DE APORTE</b> Especificación AWS: <u>A 5.17</u> Clasificación AWS: <u>EM 12K</u> Fabricante: <u>West Arco</u> Referencia: <u>WA - 61</u> Diámetro: <u>5/64"</u> Especificación fundente AWS: <u>FK-385 Special Flux</u> Clasificación fundente AWS: <u>F7A0-EM 12K</u> Fabricante: _____ Referencia: _____						
<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS</b>							
POSICIÓN: <u>1G</u>	PROC	ELECTRODO		OPERACIÓN			
PASE No:		Clasificación AWS	Diámetro	Amperaje	Voltaje	Tipo & Polaridad	Velocidad de Avance
<b>1. CARA</b>	<b>SAW</b>	<b>EM 12K</b>	<b>5/64 "</b>	<b>360-380</b>	<b>30</b>	<b>DCEP</b>	<b>22 IPM</b>
<b>2.3.4 CARA</b>	<b>SAW</b>	<b>EM 12K</b>	<b>5/64 "</b>	<b>380-410</b>	<b>29</b>	<b>DCEP</b>	<b>17 IPM</b>
<b>5.6.7.8.9 RAÍZ</b>	<b>SAW</b>	<b>EM 12K</b>	<b>5/64 "</b>	<b>380-410</b>	<b>29</b>	<b>DCEP</b>	<b>19 IPM</b>
<b>10.11 RAIZ</b>	<b>SAW</b>	<b>EM 12K</b>	<b>5/64 "</b>	<b>380-410</b>	<b>29</b>	<b>DCEP</b>	<b>17 IPM</b>
Limpieza entre Pases: <u>Disco abrasivo v/o Grata Circular</u> Pre calentamiento: <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Temperatura de Min Pre calentamiento: <u>143 °F</u> Temperatura entre Pases: Mínima <u>482 °F</u> Máxima <u>600 °F</u> Entrada de Calor Calculado (KJ/in): Mínima: <u>29</u> Máxima: <u>42</u>							
<b>PRUEBA DE DOBLEZ</b>							
ESPECIMEN No	DOBLEZ	RESULTADO	OBSERVACIONES				
<b>I.1-002</b>	<b>DE LADO</b>	<b>ACEPTABLE</b>	<b>NINGUNO</b>				
<b>I.2-002</b>	<b>DE LADO</b>	<b>ACEPTABLE</b>	<b>Discontinuidad de 0.020 in. Dentro de Norma</b>				
<b>I.3-002</b>	<b>DE LADO</b>	<b>ACEPTABLE</b>	<b>Discontinuidad de 0.030 in. Dentro de Norma</b>				
<b>I.4-002</b>	<b>DE LADO</b>	<b>ACEPTABLE</b>	<b>Discontinuidad de 0.065 in. Dentro de Norma</b>				
PROYECTO: <u>Grupo de Proyecto UIS</u>				AUTORIZADO POR: <u>Grupo de Proyecto UIS</u>			
FECHA: <u>02-12-03</u>							



**Figura 70. Micrografía Detallada del Acero ASTM A 537 Clase 1, Proceso SAW (Procedimiento 002)**



**MB: Metal Base**  
**MA: Metal Aporte**

**MB-ZAT: Interfase entre el Metal Base y ZAT**  
**MA-ZAT: Interfase entre el Metal Aporte y ZAT**

**ZAT: Zona Afectada Térmicamente**  
**ZAT-MB: Interfase entre ZAT y el Metal Base**

**ZAT-MA: Interfase entre ZAT y el Metal Aporte**

## ANÁLISIS METALOGRÁFICO

A continuación se presentan micrografías de cada una de las zonas de interés metalúrgico a 50X y 100X, atacadas previamente con Nital al 3%.

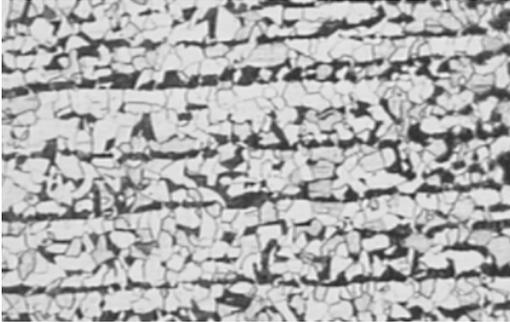


Figura 71. Metal Base 50X

Microconstituyentes: granos gruesos de ferrita (fase clara) y perlita (fase oscura y alineada)

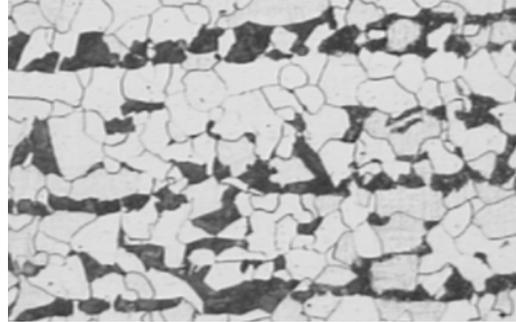


Figura 72. Metal Base 100X

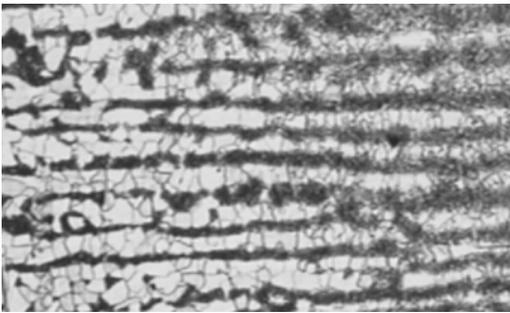


Figura 73. Metal Base-ZAT 50X

Microconstituyentes: granos gruesos y finos de ferrita (fase clara) y perlita (fase oscura y alineada)

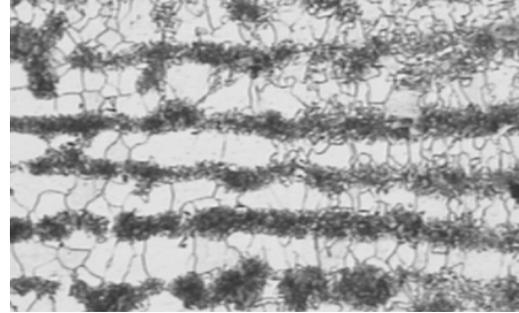


Figura 74. Metal Base-ZAT 100X

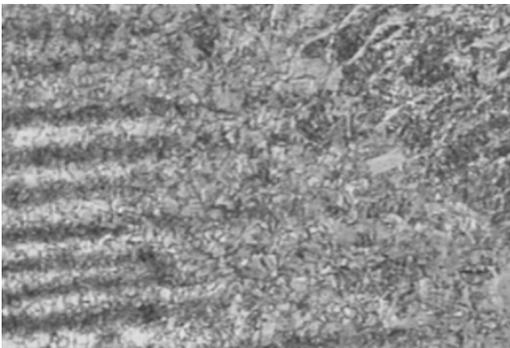


Figura 75. ZAT 50X

Microconstituyentes: granos finos de ferrita equiaxial (fase clara) y perlita fina (fase oscura)



Figura 76. ZAT 100X

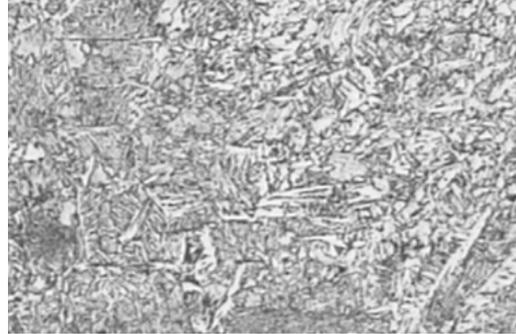
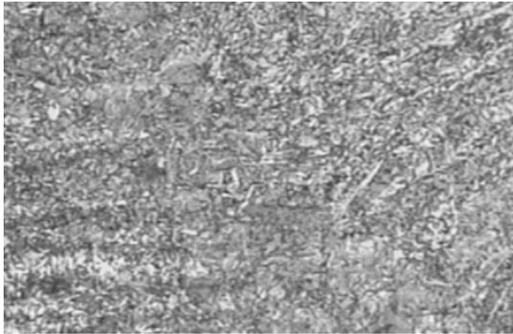


Figura 77. ZAT-Metal de soldadura 50X      Figura 78. ZAT-Metal de soldadura 100X  
Microconstituyentes: ferrita widmastatten (fase clara), ferrita de borde de grano, ferrita poligonal, ferrita masiva y perlita fina (fase oscura).

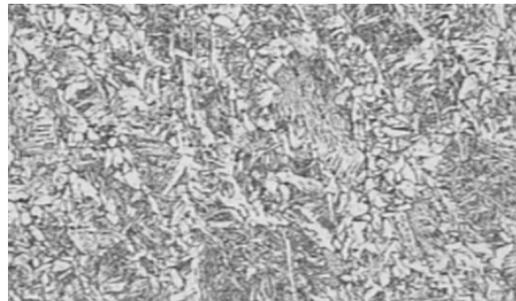
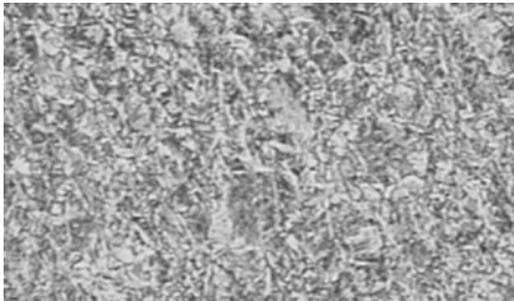


Figura 79. Metal de soldadura 50X      Figura 80. Metal de soldadura 100X  
Microconstituyentes: ferrita widmastatten (fase clara), ferrita de borde de grano, ferrita poligonal, ferrita masiva y perlita fina (fase oscura).



### BARRIDO INTERMEDIO (I)

Distancia (mm)	Dureza Vickers (HV)
-18	171
-15	168
-13	170
-11	177
-10	176
-9	176
-8,5	168
-8	170
-7,5	163
-7	185
-6,8	160
-6,6	170
-6,4	173
-6,2	187
-6	173
-5,9	170
-5,8	190
-5,7	193
-5,6	190
-5,5	193

-5,4	192
-5,3	193
-5,2	193
-5,1	232
-5	225
-4,9	235
-4,8	245
-4,7	253
-4,6	222
-4,5	256
-4,4	212
-4,3	206
-4,2	210
-4,1	186
-4	206
-3,9	193
-3,8	193
-3,7	190
-3,5	181
-3	179
-1,5	183
0	206

0,5	197
1	190
2	194
3	207
4	199
4,5	203
5	225
5,2	203
5,4	210
5,6	206
5,7	199
5,8	201
5,9	206
6	221
6,1	210
6,2	210
6,3	242
6,4	210
6,5	221
6,6	235
6,7	230
6,8	199

6,9	187
7,1	172
7,2	237
7,3	195
7,4	181
7,6	155
7,8	213
8	170
8,2	181
8,4	178
8,6	215
8,8	151
9	161
9,5	164
10	174
11	179
13	156
15	170
17	161
19	156
20	168

### BARRIDO CENTRAL (C)

Distancia (mm)	Dureza Vickers (HV)
-19	151
-16	169
-13	181
-10	165
-7	160
-6	183
-5	165
-4,5	186
-4	165
-3,8	165
-3,6	178
-3,4	179
-3,3	181
-3,2	176
-3,1	187
-3	193
-2,9	193
-2,8	197
-2,7	183
-2,6	193
-2,5	182

-2,4	183
-2,3	192
-2,2	199
-2,1	210
-2	209
-1,9	212
-1,8	198
-1,7	230
-1,6	227
-1,5	240
-1,4	237
-1,3	245
-1,2	235
-1,1	210
-1	206
-0,9	197
-0,8	206
-0,6	195
-0,4	206
-0,2	202
-0,1	183
0	216
0,2	206

0,4	187
0,6	201
0,8	198
1	199
1,2	201
1,4	181
1,6	199
1,7	190
1,8	193
1,9	195
2	197
2,1	228
2,2	245
2,3	240
2,4	247
2,5	233
2,6	249
2,7	254
2,8	238
2,9	247
3	253
3,1	264
3,2	249

3,3	243
3,4	225
3,5	224
3,6	221
3,7	199
3,8	206
3,9	187
4	270
4,1	206
4,2	213
4,3	207
4,4	173
4,9	182
5,4	193
6,4	189
7,4	193
8,4	165
10,4	165
12	181
15	176
18	170
20	151
22	160

Figura 82. Gráfica de Microdureza del WPS 002

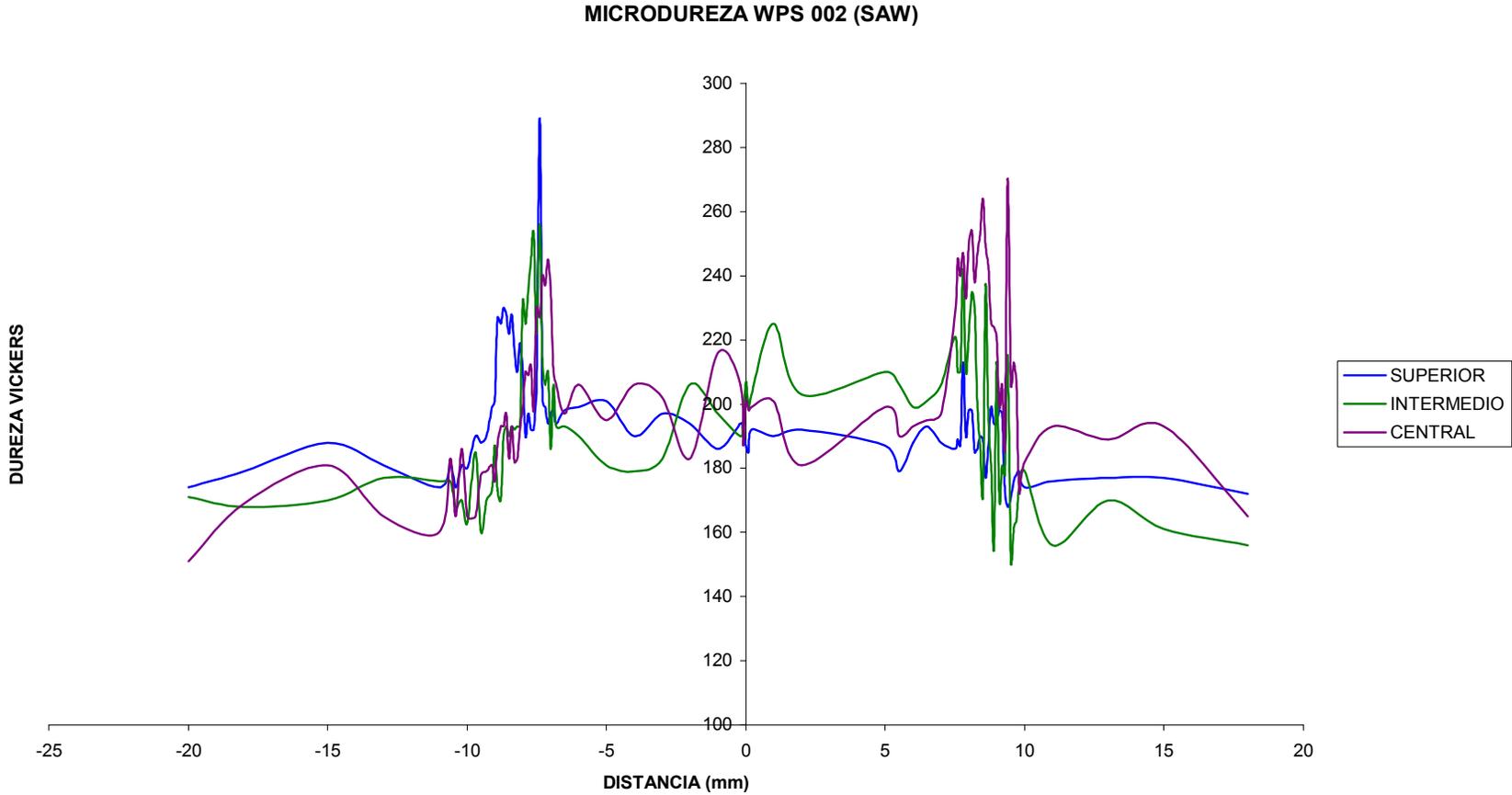


Figura 83. Especificación del procedimiento de soldadura (WPS 003)

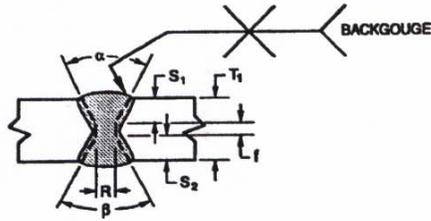
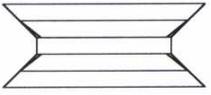
	<b>ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) CÓDIGO AWS D 1.5 2002</b>																									
EMPRESA: <b>Universidad Industrial de Santander (UIS)</b> WPS No: <b>003</b> ELABORACIÓN: <b>Grupo de Proyecto UIS</b> FECHA: <b>10-11-03</b> SOPORTE DE CALIFICACIÓN (PQR) No: <b>003</b> FECHA: <b>26-01-04</b> SOPORTE DE CALIFICACIÓN (WPQ) No: <b>003</b> FECHA: _____ REVISIÓN: _____ POR: _____ FECHA: _____																										
PROCESO DE SOLDADURA: <b>SMAW</b> TIPO: <b>MANUAL</b>																										
<b>DISEÑO DE LA JUNTA</b> Tipo de Junta: <b>A Tope Directo</b> Preparación de la Junta: <b>Ranura Doble Bisel</b> Posición de Soldadura: <input type="checkbox"/> 1G <input type="checkbox"/> 2G <input checked="" type="checkbox"/> 3G <input type="checkbox"/> 4G Progresión: <input checked="" type="checkbox"/> Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente Pases: <input type="checkbox"/> Sencillo <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples Con Respaldo: <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No Material de Respaldo: <b>Metal de Soldadura</b> Abertura de Raíz (R): <b>1/8" +/- 1/16"</b> Cara de Raíz (F): <b>1/8" +/- 1/16"</b> Angulo de Ranura ( $\alpha$ ): <b>60° + 10° / - 0°</b> Limpieza entre Pases: <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No Método de Limpieza: <b>Disco de Grata Eléctrica</b>	<b>DETALLE DEL DISEÑO DE LA JUNTA</b> 																									
<b>METAL BASE</b> TIPO DE COMBINACIÓN De: <b>A 572</b> A: <b>A 572</b> Especificación: <b>ASTM</b> Especificación: <b>ASTM</b> Tipo: <b>A 572</b> Tipo: <b>A 572</b> Grado: <b>50</b> Grado: <b>50</b> Espesor Platina (T): <b>1"</b> Espesor Platina (T): <b>1"</b> C equivalente: <b>0.438</b> C equivalente: <b>0.438</b>	<b>METAL DE APORTE</b> Especificación AWS: <b>A 5.1</b> Clasificación AWS: <b>E-7018</b> Fabricante: <b>West Arco</b> Referencia: <b>WIZ 18 S</b> Diámetro: <b>1/8" y 5/32"</b> Protección: <input type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> No Gas: <b>NA</b> Composición: <b>NA</b> Flujo: <b>NA</b> Técnica: <b>Oscilatorio</b>																									
<b>CARÁCTERÍSTICAS ELÉCTRICAS</b>																										
Tipo de Corriente: <b>CC</b> Polaridad: <b>+</b> Tipo de Transferencia para GMAW: <b>NA</b>																										
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Pase No</th> <th>Diámetro Electrodo</th> <th>Amperaje</th> <th>Voltaje</th> <th>Velocidad de Avance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>3 y Más</b></td> <td>1/8"</td> <td>100-145</td> <td>18-35</td> <td>6-8 (in/min)</td> </tr> <tr> <td><b>2</b></td> <td>1/8"</td> <td>100-145</td> <td>18-35</td> <td>6-8 (in/min)</td> </tr> <tr> <td><b>1*</b></td> <td>1/8"</td> <td>100-145</td> <td>18-35</td> <td>6-8 (in/min)</td> </tr> <tr> <td><b>Respaldo</b></td> <td>1/8"</td> <td>100-145</td> <td>18-35</td> <td>6-8 (in/min)</td> </tr> </tbody> </table>	Pase No	Diámetro Electrodo	Amperaje	Voltaje	Velocidad de Avance	<b>3 y Más</b>	1/8"	100-145	18-35	6-8 (in/min)	<b>2</b>	1/8"	100-145	18-35	6-8 (in/min)	<b>1*</b>	1/8"	100-145	18-35	6-8 (in/min)	<b>Respaldo</b>	1/8"	100-145	18-35	6-8 (in/min)
Pase No	Diámetro Electrodo	Amperaje	Voltaje	Velocidad de Avance																						
<b>3 y Más</b>	1/8"	100-145	18-35	6-8 (in/min)																						
<b>2</b>	1/8"	100-145	18-35	6-8 (in/min)																						
<b>1*</b>	1/8"	100-145	18-35	6-8 (in/min)																						
<b>Respaldo</b>	1/8"	100-145	18-35	6-8 (in/min)																						
* Saneado de Raíz con pulidora hasta metal sano. Pre calentamiento: <input type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> No Temperatura de Pre calentamiento: <b>70 °F</b> T. entre Pases: Mínima <b>NA</b> Máxima <b>450 °F</b> Entrada de Calor Calculado (KJ/in): Mínima: <b>18</b> Máxima: <b>38</b> Tratamiento de Postcalentamiento: _____ Arco: <input type="checkbox"/> Simple <input type="checkbox"/> Múltiple																										
PROYECTO: <b>Grupo de Proyecto UIS</b> AUTORIZADO POR: <b>Grupo de Proyecto UIS</b> FIRMA: _____ FECHA: _____																										

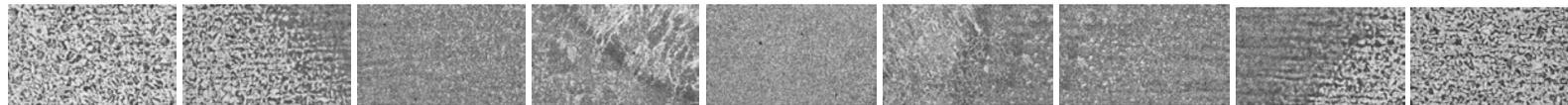
Figura 84. Registro de calificación del procedimiento (PQR 003)

	<b>REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR) CÓDIGO AWS D 1.5</b>						
PQR No: <u>003</u> ELABORADO: <u>Grupo de Proyecto UIS</u> FECHA: : <u>26-01-04</u> REVISIÓN: _____ POR: _____ FECHA: _____ WPS No: <u>003</u> POR: <u>Grupo de Proyecto UIS</u> FECHA: <u>10-11-03</u> PROCESO DE SOLDADURA: <u>SMAW</u> TIPO: <u>MANUAL</u>							
<b>METAL BASE</b> Especificación: <u>ASTM A 572</u> Espesor: <u>1"</u> Tipo de Unión: <u>A Tope Directo</u> Diseño de la Unión: <u>Ranura Doble Bisel</u> Posición de Soldadura: <u>1G</u> <u>2G</u> <input checked="" type="checkbox"/> <u>3G</u> <u>4G</u> Con Respaldo: <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Material de Respaldo: <u>Metal de Soldadura</u> C Equivalente: <u>0.438</u>	<b>METAL DE APORTE</b> Especificación AWS: <u>A 5.1</u> Clasificación AWS: <u>E-7018</u> Fabricante: <u>West Arco</u> Referencia: <u>WIZ 18 S</u> Diámetro: <u>1/8 "</u> Protección: _____ Si <input checked="" type="checkbox"/> No Gas: <u>NA</u> Composición: <u>NA</u> Flujo: <u>NA</u> Punto de Condensación: <u>NA</u>						
<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS</b>							
POSICIÓN: <u>3G</u>	PROC	ELECTRODO		OPERACIÓN			
PASE No:		Clasificación AWS	Diámetro	Amperaje	Voltaje	Tipo & Polaridad	Vel. Avance (in/min)
<b>1.2 CARA</b>	<b>SMAW</b>	<b>E 7018</b>	<b>1/8 "</b>	<b>90-110</b>	<b>20-25</b>	<b>DCEP</b>	<b>6-8</b>
<b>3.4.5.6 RAIZ</b>	<b>SMAW</b>	<b>E 7018</b>	<b>1/8 "</b>	<b>110-120</b>	<b>22-25</b>	<b>DCEP</b>	<b>6-8</b>
<b>7.8.9.10 RAIZ</b>	<b>SMAW</b>	<b>E 7018</b>	<b>1/8"</b>	<b>120-130</b>	<b>22-27</b>	<b>DCEP</b>	<b>6-8</b>
<b>11.12.13.14.15 RAIZ</b>	<b>SMAW</b>	<b>E 7018</b>	<b>1/8 "</b>	<b>120-130</b>	<b>22-29</b>	<b>DCEP</b>	<b>6-8</b>
<b>16.17.18 CARA</b>	<b>SMAW</b>	<b>E 7018</b>	<b>1/8"</b>	<b>118-127</b>	<b>19-28</b>	<b>DCEP</b>	<b>6-8</b>
Limpieza entre Pases: <u>Disco abrasivo y/o Grata Circular</u> Pre calentamiento: <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Temperatura de Pre calentamiento: <u>176°F</u> Temperatura entre Pases: Mínima <u>302 °F</u> Máxima <u>450 °F</u> Entrada de Calor Calculado(KJ/in): Mínima: <u>18</u> Máxima: <u>28</u>							
<b>PRUEBA DE DOBLEZ</b>							
ESPECIMEN No	DOBLEZ	RESULTADO	OBSERVACIONES				
<b>I.1-003</b>	<b>DE LADO</b>	<b>ACEPTABLE</b>	<b>Discontinuidad de 0.030n Dentro de Norma</b>				
<b>I.2-003</b>	<b>DE LADO</b>	<b>ACEPTABLE</b>	<b>Ninguna Discontinuidad</b>				
<b>I.3-003</b>	<b>DE LADO</b>	<b>ACEPTABLE</b>	<b>Discontinuidad de 0.0425 Dentro de Norma</b>				
<b>I.4-003</b>	<b>DE LADO</b>	<b>ACEPTABLE</b>	<b>Discontinuidad de 0.052n Dentro de Norma</b>				
PROYECTO: <u>Grupo de Proyecto UIS</u>				AUTORIZADO POR: <u>Grupo de Proyecto UIS</u>			
FECHA: _____							

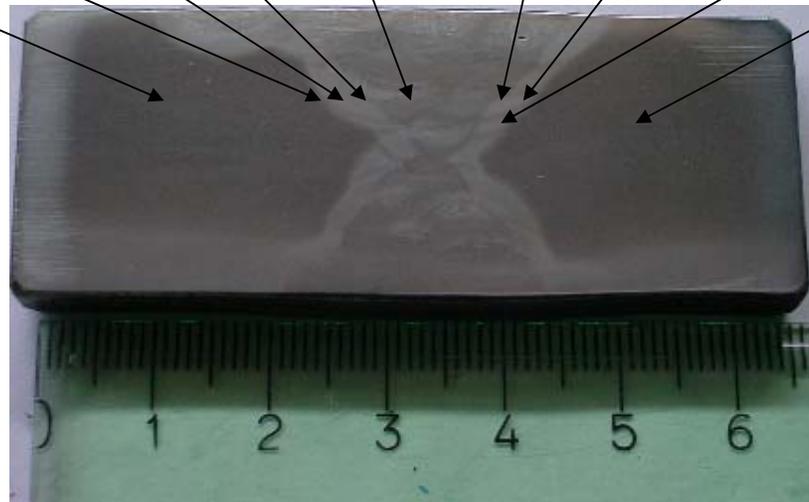
Figura 85. (Continuación) Registro de calificación del procedimiento (PQR 003)

	<b>REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR) CÓDIGO AWS D 1.5</b>					
PQR No: <u>003</u> ELABORADO: <u>Grupo de Provento UIS</u> FECHA: <u>26-01-04</u> REVISIÓN: _____      POR: _____      FECHA: _____ WPS No: <u>003</u> POR: <u>Grupo de Provento UIS</u> FECHA: <u>10-11-03</u> PROCESO DE SOLDADURA: <u>SMAW</u> TIPO: <u>MANUAL</u>						
<b>PRUEBA DE TRACCIÓN</b>						
Especimen No	Área (in <sup>2</sup> )	Carga máxima (lb)	Esfuerzo máximo (PSI)	Mínimo valor esperado (PSI)	Observación/ Rotura	Concepto
T1- 003	0.969	81200	83800	65000	Falla fuera de soldadura	FAVORABLE
T2- 003	0.969	80500	83075	65000	Falla fuera de soldadura	FAVORABLE
<b>INSPECCIÓN VISUAL</b>						
Pase de Raíz: <u>Acceptable</u>		Pase de Presentación: <u>Acceptable</u>		Socavado: <u>Ninguno</u>		
Porosidad: <u>Ninguno</u>		Grieta: <u>Ninguno</u>		Inclusión de Escoria: <u>Ninguno</u>		Fusión Incompleta: <u>Ninguno</u>
Observaciones: <u>Convexidad 1/8 máx. de cara / 3/32 máx. de raíz.</u>						
<b>RADIOGRAFIA</b>						
Pase de Raíz: <u>OK</u>		Pase de Presentación: <u>OK</u>		Socavado: <u>NO</u>		
Porosidad: <u>NO</u>		Grieta: <u>NO</u>		Inclusión de Escoria: <u>NO</u>		Fusión Incompleta: <u>NO</u>
Observaciones: _____						
<b>MACROATAQUE</b>						
IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS	OBSERVACIONES Y/O RESULTADOS					
M1-003	SIN DISCONTINUIDADES. CONCEPTO FAVORABLE					
M2-003	SIN DISCONTINUIDADES. CONCEPTO FAVORABLE					
M3-003	SIN DISCONTINUIDADES. CONCEPTO FAVORABLE					
<b>CERTIFICACIÓN</b>						
Con base en los procedimientos, ensayos y resultados expuestos anteriormente, los suscritos y "Electromanufacturas S.A" certifican que el procedimiento descrito y operativo citado a continuación ha sido:						
_____						
PROYECTO: <u>Grupo de Provento UIS</u>				AUTORIZADO POR: <u>Grupo de Provento UIS</u>		
FECHA: <u>23-01-04</u>						

**Figura 86. Micrografía Detallada del Acero ASTM A 572 Grado 50, Proceso SMAW (Procedimiento 003)**



**MB MB-ZAT ZAT ZAT-MA MA MA-ZAT ZAT ZAT-MB MB**



**MB: Metal Base**  
**MA: Metal Aporte**

**MB-ZAT: Interfase entre el Metal Base y ZAT**  
**MA-ZAT: Interfase entre el Metal Aporte y ZAT**  
**ZAT-MA: Interfase entre ZAT y el Metal Aporte**

**ZAT: Zona Afectada Térmicamente**  
**ZAT-MB: Interfase entre ZAT y el Metal Base**

## ANÁLISIS METALGRÁFICO

A continuación se presentan micrografías de cada una de las zonas de interés metalúrgico a 50X y 100X, atacadas previamente con Nital al 3%.

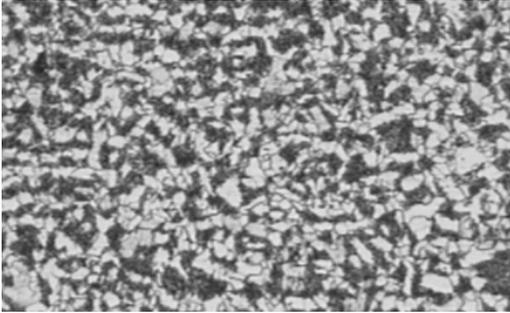


Figura 87. Metal Base 50X

Microconstituyentes: ferrita (fase clara) y perlita (fase oscura)

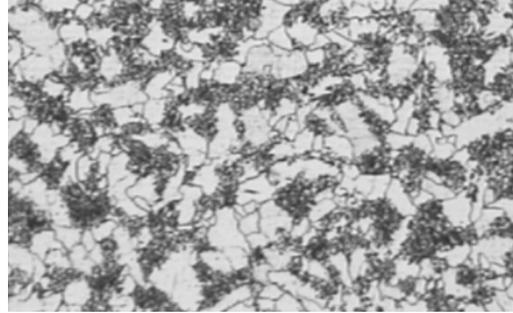


Figura 88. Metal Base 100X

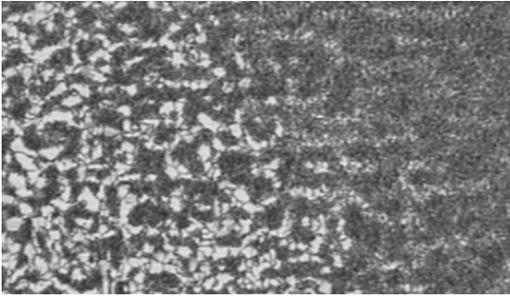


Figura 89. Metal Base-ZAT 50X

Microconstituyentes: granos finos y gruesos de ferrita (fase clara) y perlita (fase oscura)

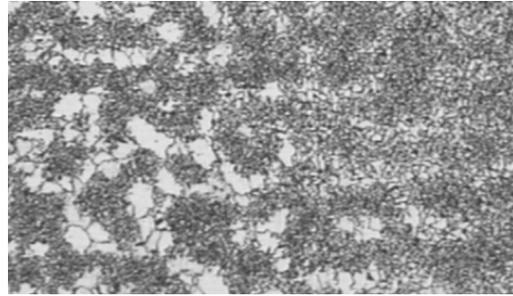


Figura 90. Metal Base-ZAT 100X

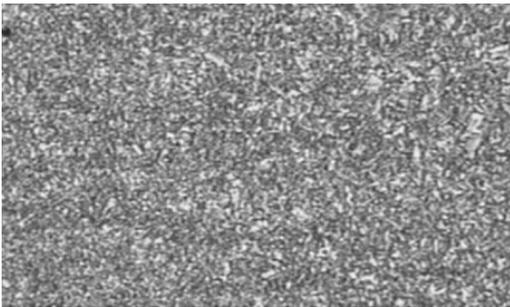


Figura 91. ZAT 50X

Microconstituyentes: granos finos de ferrita (fase clara) y perlita (fase oscura)



Figura 92. ZAT 100X

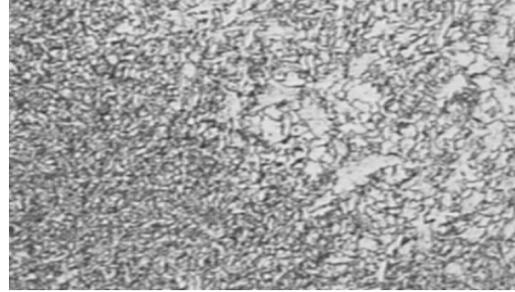
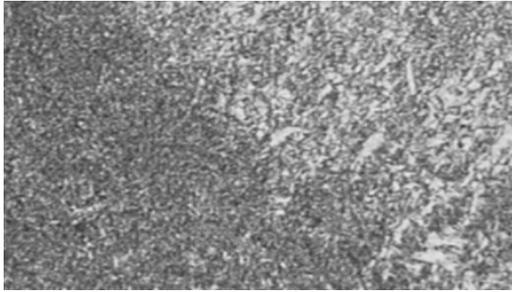


Figura 93. ZAT-Metal de soldadura 50X      Figura 94. ZAT-Metal de soldadura 100X  
Microconstituyentes: ferrita poligonal, ferrita masiva (fase clara) y perlita fina (fase oscura)

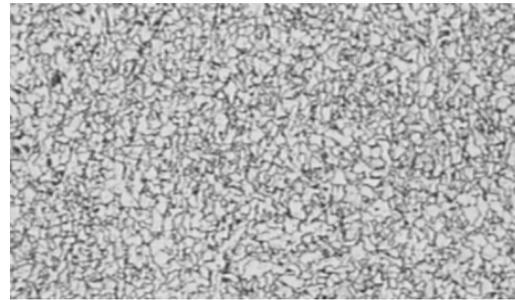
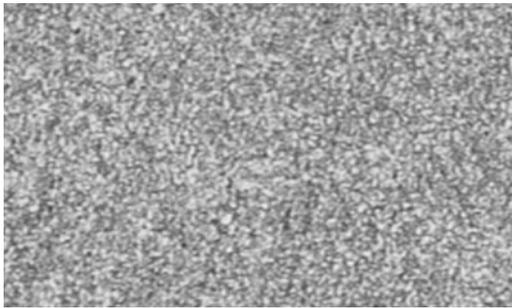
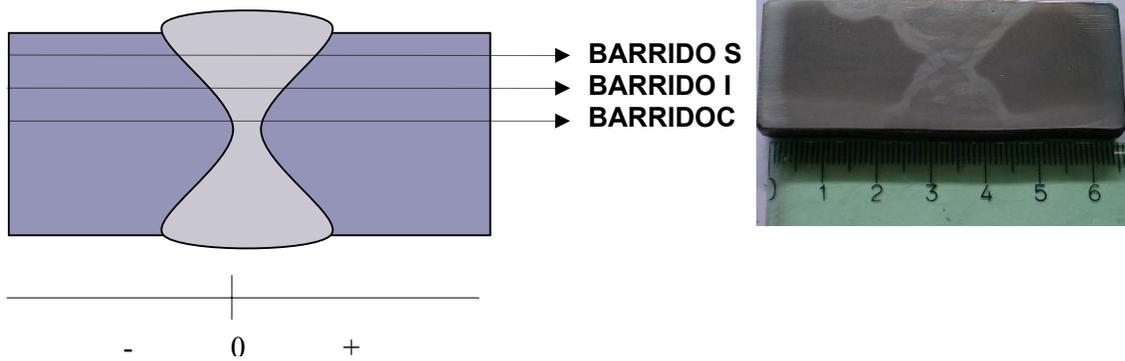


Figura 95. Metal de soldadura 50X      Figura 96. Metal de soldadura 100X  
Microconstituyentes: ferrita equiaxial (fase clara) y perlita fina en menor cantidad (fase oscura)

**Figura 97. Barridos de Microdureza WPS 003**



**Cuadro 3. Distribución de microdurezas del procedimiento 003**

Metal base	Zona afectada térmicamente	Metal de soldadura
------------	----------------------------	--------------------

**BARRIDO SUPERIOR (S)**

Distancia (mm)	Dureza Vickers (HV)	-10,1	206	-6,5	170	7,9	181
		-10	206	-4,5	181	8	181
-28	176	-9,9	199	-3,5	181	8,2	193
-23	170	-9,8	221	-2	176	8,4	187
-18,5	170	-9,7	213	-1	170	8,6	187
-14,2	170	-9,6	170	-0,9	170	8,8	206
-13,2	176	-9,4	165	-0,8	176	9	193
-12,9	170	-9,2	170	-0,7	181	9,3	213
-12,7	170	-9,1	170	-0,4	176	9,5	193
-12,6	170	-9	170	-0,2	193	9,7	181
-12,3	160	-8,9	160	0	170	10	193
-12,2	170	-8,8	165	5	193	10,4	181
-12,1	170	-8,5	170	5,1	199	10,6	221
-12	181	-8,4	170	5,3	193	10,8	187
-11,9	176	-8,3	187	5,5	199	11	181
-11,8	170	-8,1	181	6	181	11,1	181
-11,7	176	-8	181	6,4	176	11,3	170
-11,6	176	-7,9	187	6,6	206	11,5	176
-11,5	199	-7,6	181	6,8	181	11,6	193
-11,4	193	-7,3	181	7	193	11,7	170
-11,3	193	-7,1	176	7,2	199	12	187
-11,1	213	-7	176	7,3	213	14	181
-10,9	206	-6,9	165	7,5	193	18	170
-10,7	213	-6,8	199	7,6	176	23	181
-10,5	213	-6,7	199	7,7	228		
-10,3	213	-6,6	170	7,8	193		

## BARRIDO INTERMEDIO (I)

Distancia (mm)	Dureza Vickers (HV)
-28	171
-23	170
-18,5	170
-12,6	193
-11,6	193
-10,6	179
-10,1	185
-9,8	183
-9,5	169
-9,2	198
-8,9	173
-8,7	174
-8,5	170
-8,3	192
-8,1	199
-7,9	178
-7,7	190
-7,5	176
-7,3	186
-7,1	180
-6,9	183
-6,7	188
-6,5	188
-6,3	185
-6,1	193
-6	193
-5,9	185
-5,8	197
-5,7	213
-5,6	210

-5,5	210
-5,4	213
-5,3	213
-5,1	206
-5	205
-4,9	203
-4,8	206
-4,7	209
-4,6	207
-4,5	187
-4,4	198
-4,3	188
-4,2	206
-4,1	206
-4	193
-3,8	193
-3,6	185
-3,4	173
-3,2	185
-3	190
-2,8	174
-2,6	181
-2,4	199
-2,2	176
-2	194
-1,6	180
-1,4	187
-1,2	181
-1	193
-0,5	179
0	181
1	170

2	193
3	174
3,5	181
3,9	177
4,2	185
4,7	179
4,9	178
5,1	179
5,3	178
5,4	179
5,5	176
5,6	181
5,7	190
5,8	187
5,9	213
6	210
6,1	213
6,2	221
6,3	217
6,4	215
6,5	217
6,6	212
6,7	206
6,8	205
6,9	206
7	221
7,1	187
7,2	193
7,3	206
7,4	202
7,5	193
7,6	194

7,7	206
7,8	206
7,9	181
8	193
8,1	213
8,2	213
8,3	199
8,4	199
8,5	181
8,6	170
8,7	176
8,9	169
9	190
9,2	193
9,4	171
9,6	170
9,8	193
10	193
10,2	170
10,4	213
10,6	181
10,8	199
10,9	181
11,1	213
11,3	206
11,5	193
14	187
18	181
23	170

## BARRIDO CENTRAL (C)

Distancia (mm)	Dureza Vickers (HV)
-28	178
-23	182
-18,5	192
-14,8	187
-12,8	194
-11,8	206
-10,8	209
-9,8	181
-8,8	188
-7,8	177
-7,3	180
-6,8	190
-6,3	180
-6,1	188
-5,9	187
-5,7	206
-5,5	193
-5,3	193
-5,1	206
-4,9	170
-4,7	174
-4,6	187
-4,5	181
-4,4	193
-4,3	194
-4,2	166
-4,1	193
-4	187
-3,9	205
-3,8	209
-3,7	203
-3,6	230
-3,5	272
-3,4	186
-3,3	162
-3,2	176
-3,1	185
-3	187
-2,9	177
-2,8	198
-2,7	205
-2,6	206
-2,5	190
-2,4	186
-2,3	192
-2,2	195

-2,1	193
-2	190
-1,8	201
-1,6	202
-1,4	185
-1,2	212
-1	201
-0,8	198
-0,6	201
-0,4	186
-0,2	206
0	219
0,2	198
0,4	197
0,6	206
0,7	205
0,8	203
0,9	198
1,1	186
1,3	192
1,5	189
1,7	179
1,9	170
2,1	172
2,3	177
2,5	181
2,7	163
2,9	176
3	186
3,1	170
3,2	174
3,3	160
3,4	201
3,5	228
3,6	188
3,7	216
3,8	213
3,9	221
4,0	215
4,1	219
4,2	186
4,3	172
4,4	193
4,5	205
4,6	222
4,7	194
4,8	188
4,9	201

5,1	206
5,2	198
5,3	172
5,4	170
5,5	193
5,6	199
5,7	181
5,8	206
5,9	160
6	181
6,1	221
6,3	206
6,4	187
6,5	170
6,6	228
6,7	187
6,8	170
6,9	237
7	199
7,1	187
7,2	193
7,4	176
7,5	193
7,6	170
7,7	187
7,8	199
7,9	221
8	199
8,2	193
8,4	181
8,6	170
8,8	181
9	187
9,2	187
9,4	199
9,6	193
9,8	176
10	181
10,3	206
10,5	181
10,7	187
10,9	176
11,1	237
11,3	193
11,5	181
14	221
18	206
23	181

Figura 98. Gráfica de la microdureza del WPS 003

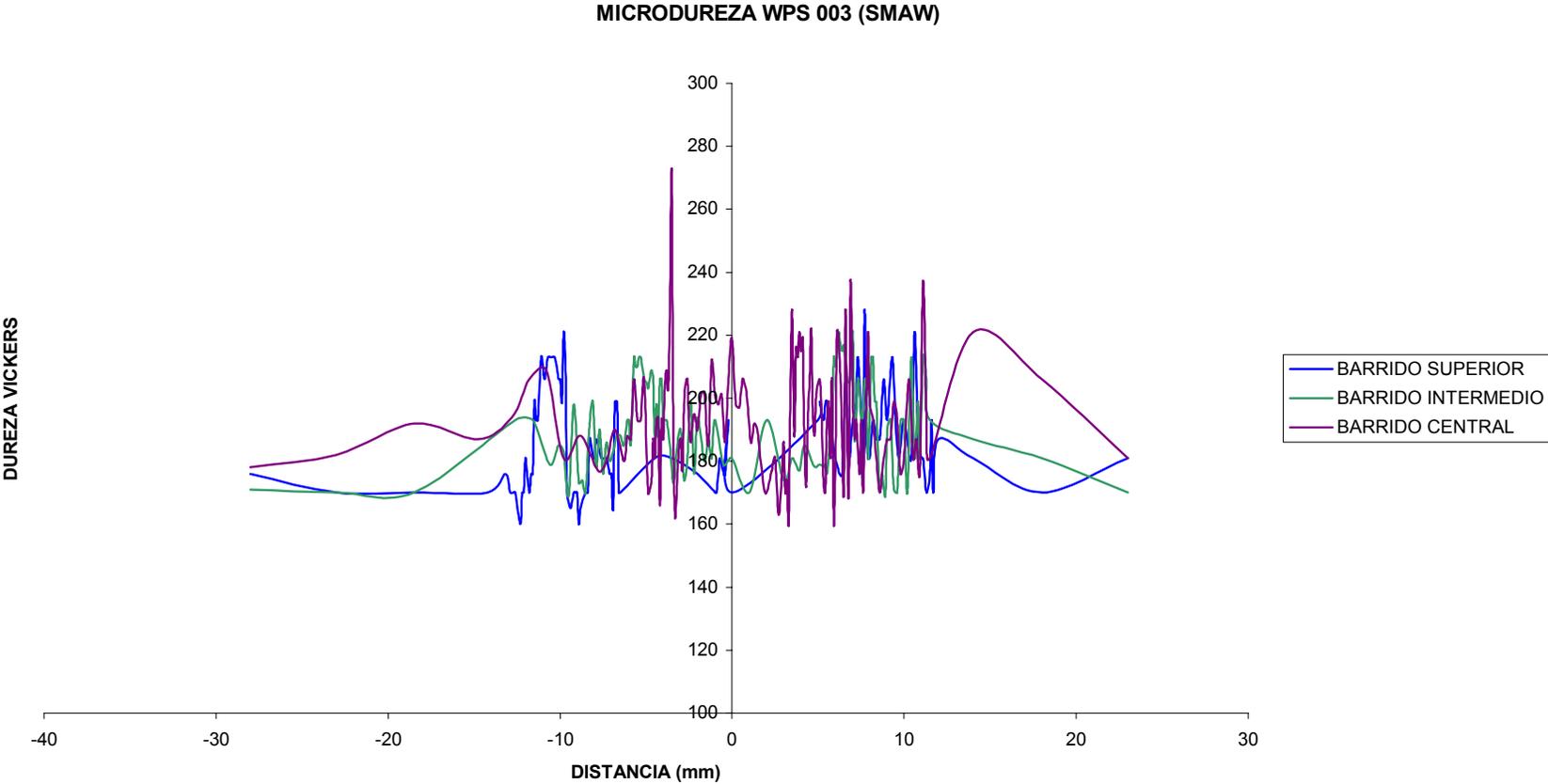


Figura 99. Especificación del procedimiento de soldadura (WPS 004)

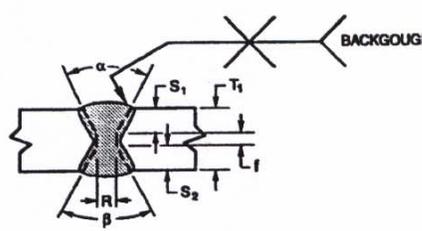
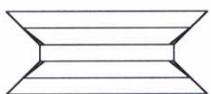
	<b>ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) CÓDIGO AWS D 1.5 2002</b>																									
EMPRESA: <b>Universidad Industrial de Santander (UIS)</b> WPS No: <b>004</b> ELABORACIÓN: <b>Grupo de Proyecto UIS</b> FECHA: <b>09-12-03</b> SOPORTE DE CALIFICACIÓN (PQR) No: <b>004</b> FECHA: <b>30-01-04</b> SOPORTE DE CALIFICACIÓN (WPQ) No: <b>004</b> FECHA: _____ REVISIÓN: _____ POR: _____ FECHA: _____																										
PROCESO DE SOLDADURA: <b>SAW</b> TIPO: <b>AUTOMÁTICO</b>																										
<b>DISEÑO DE LA JUNTA</b> Tipo de Junta: <b>A Tope Directo</b> Preparación de la Junta: <b>Ranura Doble Bisel</b> Posición de Soldadura: <input checked="" type="checkbox"/> 1G <input type="checkbox"/> 2G <input type="checkbox"/> 3G <input type="checkbox"/> 4G Progresión: <input type="checkbox"/> Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente Pases: <input type="checkbox"/> Sencillo <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples Con Respaldo: <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No Material de Respaldo: <b>Metal de Soldadura</b> Abertura de Raíz (R): <b>0 + 1/16"</b> Cara de Raíz (F): <b>1/8" +/- 1/16"</b> Angulo de Ranura ( $\alpha$ ): <b>60° + 10° / - 0°</b> Limpieza entre Pases: <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No Método de Limpieza: <b>Disco de Grata Eléctrica</b>	<b>DETALLE DEL DISEÑO DE LA JUNTA</b> 																									
<b>METAL BASE</b> TIPO DE COMBINACIÓN De: <b>A 572</b> A: <b>A 572</b> Especificación: <b>ASTM</b> Especificación: <b>ASTM</b> Tipo: <b>A 572</b> Tipo: <b>A 572</b> Grado: <b>50</b> Grado: <b>50</b> Espesor Platina (T): <b>1"</b> Espesor Platina (T): <b>1"</b> C equivalente: <b>0.438</b> C equivalente: <b>0.438</b>	<b>METAL DE APORTE</b> Especificación AWS: <b>A 5.17 &amp; 5.23</b> Clasificación AWS: <b>EL - 12 / EM12K</b> Fabricante: <b>West Arco</b> Referencia: <b>WA60/WA61</b> Diámetro: <b>5/64" y 1/8"</b> Especificación del fundente AWS: <b>F-780 / 860</b> Clasificación fundente AWS: <b>F7A0-EXXX-XX</b> Fabricante: _____ Referencia: _____																									
<b>CARÁCTERÍSTICAS ELÉCTRICAS</b>																										
Tipo de Corriente: <input checked="" type="checkbox"/> CC _____ Polaridad: <input checked="" type="checkbox"/> + _____ Tipo de Transferencia para GMAW: <b>NA</b>																										
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Pase No</th> <th>Diámetro Electrodo</th> <th>Amperaje</th> <th>Voltaje</th> <th>Velocidad de Avance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>3 y Más</b></td> <td>5/64"</td> <td>300-400</td> <td>26-29</td> <td>17-22 (in/min)</td> </tr> <tr> <td><b>2</b></td> <td>3/32"</td> <td>350-450</td> <td>27-30</td> <td>17-22 (in/min)</td> </tr> <tr> <td><b>1*</b></td> <td>1/8"</td> <td>425-550</td> <td>27-30</td> <td>17-22 (in/min)</td> </tr> <tr> <td><b>Respaldo</b></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Pase No	Diámetro Electrodo	Amperaje	Voltaje	Velocidad de Avance	<b>3 y Más</b>	5/64"	300-400	26-29	17-22 (in/min)	<b>2</b>	3/32"	350-450	27-30	17-22 (in/min)	<b>1*</b>	1/8"	425-550	27-30	17-22 (in/min)	<b>Respaldo</b>				
Pase No	Diámetro Electrodo	Amperaje	Voltaje	Velocidad de Avance																						
<b>3 y Más</b>	5/64"	300-400	26-29	17-22 (in/min)																						
<b>2</b>	3/32"	350-450	27-30	17-22 (in/min)																						
<b>1*</b>	1/8"	425-550	27-30	17-22 (in/min)																						
<b>Respaldo</b>																										
* Saneado de Raíz con pulidora hasta metal sano. Precalentamiento: <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No Temperatura Mín de Precalentamiento: <b>70 °F</b> T. entre Pases: Mínima _____ Máxima <b>600°F</b> Entrada de Calor Calculado (KJ/in): Mínima: <b>27</b> Máxima: <b>45</b> Tratamiento de Postcalentamiento: _____ Arco: <input type="checkbox"/> Simple <input type="checkbox"/> Múltiple																										
PROYECTO: <b>Grupo de Proyecto UIS</b> AUTORIZADO POR: <b>Grupo de Proyecto UIS</b> FIRMA: _____ FECHA: <b>09-12-03</b>																										

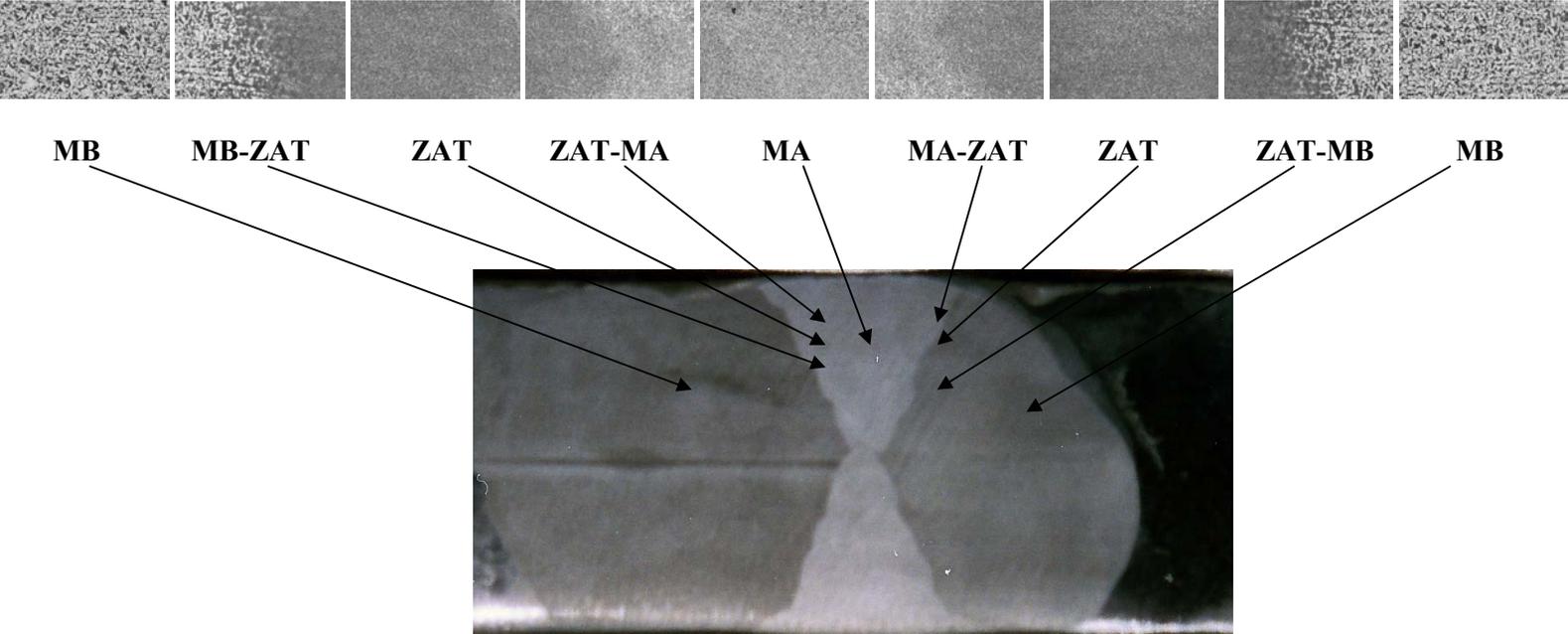
Figura 100. Registro de calificación del procedimiento (PQR 004)

	<b>REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR) CÓDIGO AWS D 1.5</b>						
PQR No: <u>004</u> ELABORADO: <u>Grupo de Proyecto UIS</u> FECHA: <u>30-01-04</u> REVISIÓN: _____ POR: _____ FECHA: _____ WPS No: <u>004</u> POR: <u>Grupo de Proyecto UIS</u> FECHA: <u>09-12-03</u> PROCESO DE SOLDADURA: <u>SAW</u> TIPO: <u>AUTOMÁTICO</u>							
<b>METAL BASE</b> Especificación: <u>ASTMA 572</u> Espesor: <u>1"</u> Tipo de Unión: <u>A Tope Directo</u> Diseño de la Unión: <u>Ranura Doble Bisel</u> Posición de Soldadura: <input checked="" type="checkbox"/> 1G <input type="checkbox"/> 2G <input type="checkbox"/> 3G <input type="checkbox"/> 4G Con Respaldo: <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Material de Respaldo: <u>Metal de Soldadura</u> C Equivalente: <u>0.438</u>	<b>METAL DE APORTE</b> Especificación AWS: <u>A 5.17</u> Clasificación AWS: <u>EM 12K</u> Fabricante: <u>West Arco</u> Referencia: <u>WA - 61</u> Diámetro: <u>5/64"</u> Especificación fundente AWS: <u>FK-385 Special Flux</u> Clasificación fundente AWS: <u>F7A0-EM 12K</u> Fabricante: _____ Referencia: _____						
<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS</b>							
POSICIÓN: <u>1G</u>	PROC	ELECTRODO		OPERACIÓN			
PASE No:		Clasificación AWS	Diámetro	Amperaje	Voltaje	Tipo & Polaridad	Velocidad de Avance
<b>1. CARA</b>	<b>SAW</b>	<b>EM 12K</b>	<b>5/64 "</b>	<b>360-380</b>	<b>30</b>	<b>DCEP</b>	<b>22 IPM</b>
<b>2.3.4 CARA</b>	<b>SAW</b>	<b>EM 12K</b>	<b>5/64 "</b>	<b>380-410</b>	<b>29</b>	<b>DCEP</b>	<b>17 IPM</b>
<b>5.6.7.8.9 RAÍZ</b>	<b>SAW</b>	<b>EM 12K</b>	<b>5/64 "</b>	<b>380-410</b>	<b>29</b>	<b>DCEP</b>	<b>19 IPM</b>
<b>10.11 RAIZ</b>	<b>SAW</b>	<b>EM 12K</b>	<b>5/64 "</b>	<b>380-410</b>	<b>29</b>	<b>DCEP</b>	<b>17 IPM</b>
Limpieza entre Pases: <u>Disco abrasivo y/o Grata Circular</u> Pre calentamiento: <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Temperatura de Min Pre calentamiento: <u>143 °F</u> Temperatura entre Pases: Mínima <u>482 °F</u> Máxima <u>600 °F</u> Entrada de Calor Calculado (KJ/in): Mínima: <u>29</u> Máxima: <u>42</u>							
<b>PRUEBA DE DOBLEZ</b>							
ESPECIMEN No	DOBLEZ	RESULTADO	OBSERVACIONES				
<b>I.1-004</b>	<b>DE LADO</b>	<b>ACEPTABLE</b>	<b>NINGUNO</b>				
<b>I.2-004</b>	<b>DE LADO</b>	<b>ACEPTABLE</b>	<b>Discontinuidad de 0.036 in Dentro de Norma</b>				
<b>I.3-004</b>	<b>DE LADO</b>	<b>ACEPTABLE</b>	<b>NINGUNO</b>				
<b>I.4-004</b>	<b>DE LADO</b>	<b>ACEPTABLE</b>	<b>NINGUNO</b>				
PROYECTO: <u>Grupo de Proyecto UIS</u> FECHA: <u>26-01-04</u>				AUTORIZADO POR: <u>Grupo de Proyecto UIS</u>			

Figura 101. (Continuación) Registro de calificación del procedimiento (PQR 004)

	<b>REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR) CÓDIGO AWS D 1.5</b>					
PQR No: <u>004</u> ELABORADO: <u>Grupo de Proyecto UIS</u> FECHA: <u>30-01-04</u> REVISIÓN: _____      POR: _____      FECHA: _____ WPS No: <u>004</u> POR: <u>Grupo de Proyecto UIS</u> FECHA: <u>09-12-03</u> PROCESO DE SOLDADURA: <u>SAW</u> TIPO: <u>MANUAL</u>						
<b>PRUEBA DE TRACCIÓN</b>						
Especimen No	Área (in <sup>2</sup> )	Carga máxima (lb)	Esfuerzo máximo (PSI)	Mínimo valor esperado (PSI)	Observación/ Rotura	Concepto
T1- 004	0.969	79500	82043	65000	Falla fuera de soldadura	FAVORABLE
T2- 004	0.980	82500	84183	65000	Falla fuera de soldadura	FAVORABLE
<b>INSPECCIÓN VISUAL</b>						
Pase de Raíz: <u>Acceptable</u>		Pase de Presentación: <u>Acceptable</u>			Socavado: <u>Ninguno</u>	
Porosidad: <u>Ninguno</u>		Grieta: <u>Ninguno</u>		Inclusión de Escoria: <u>Ninguno</u>		Fusión Incompleta: <u>Ninguno</u>
Observaciones: <u>Convexidad 3/32" Máximo de Cara y 1/16" Máximo de Raíz.</u>						
<b>RADIOGRAFIA</b>						
Pase de Raíz: <u>OK</u>		Pase de Presentación: <u>OK</u>			Socavado: <u>NO</u>	
Porosidad: <u>NO</u>		Grieta: <u>NO</u>		Inclusión de Escoria: <u>NO</u>		Fusión Incompleta: <u>NO</u>
Observaciones: _____						
<b>MACROATAQUE</b>						
IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS	OBSERVACIONES Y/O RESULTADOS					
M1-004	SIN DISCONTINUIDADES. CONCEPTO FAVORABLE					
M2-004	SIN DISCONTINUIDADES. CONCEPTO FAVORABLE					
M3-004	SIN DISCONTINUIDADES. CONCEPTO FAVORABLE					
<b>CERTIFICACIÓN</b>						
Con base en los procedimientos, ensayos y resultados expuestos anteriormente, los suscritos y "Electromanufacturas S.A" certifican que el procedimiento descrito y operario citado a continuación ha sido:						
_____						
PROYECTO: <u>Grupo de Proyecto UIS</u>				AUTORIZADO POR: <u>Grupo de Proyecto UIS</u>		
FECHA: <u>23-01-04</u>						

**Figura 102. Micrografía Detallada del Acero ASTM A 572 Grado 50, Proceso SAW (Procedimiento 004)**



**MB: Metal Base**  
**MA: Metal Aporte**

**MB-ZAT: Interfase entre el Metal Base y ZAT**  
**MA-ZAT: Interfase entre el Metal Aporte y ZAT**  
**ZAT-MA: Interfase entre ZAT y el Metal Aporte**

**ZAT: Zona Afectada Térmicamente**  
**ZAT-MB: Interfase entre ZAT y el Metal Base**

## ANÁLISIS METALGRÁFICO

A continuación se presentan micrografías de cada una de las zonas de interés metalúrgico a 50X y 100X, atacadas previamente con Nital al 3%.



Figura 103. Metal Base 50X  
Microconstituyentes: ferrita (fase clara) y perlita (fase oscura)

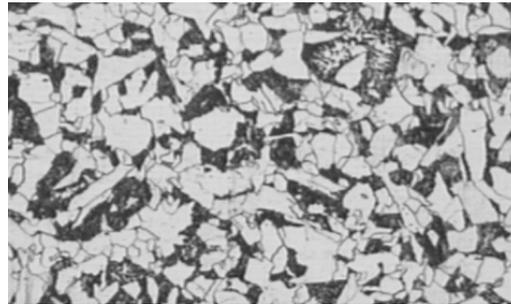


Figura 104. Metal Base 100X

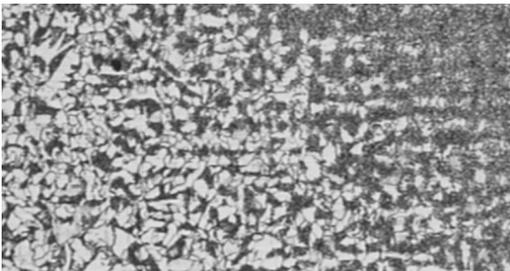


Figura 105. Metal Base-ZAT 50X  
Microconstituyentes: granos finos y gruesos de ferrita (fase clara) y perlita (fase oscura)

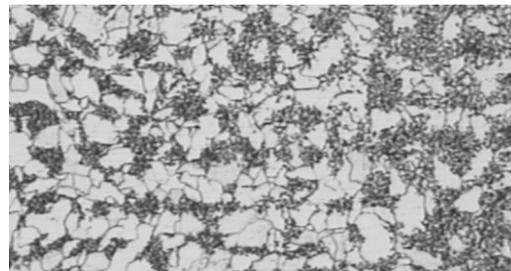


Figura 106. Metal Base-ZAT 100X

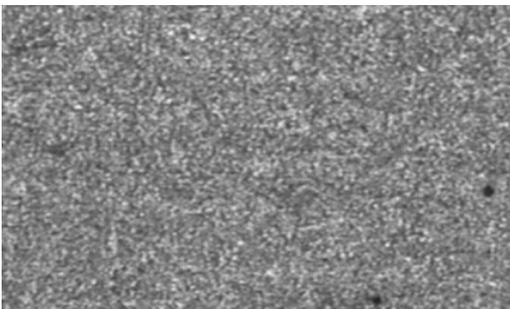


Figura 107. ZAT 50X  
Microconstituyentes: granos finos de ferrita (fase clara) y perlita (fase oscura)

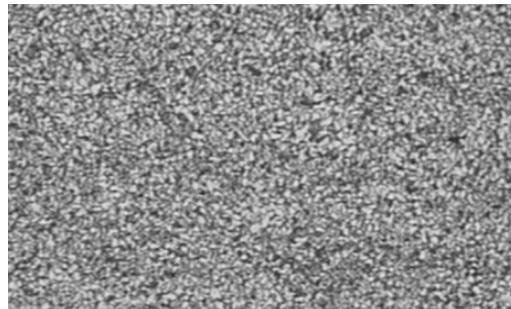


Figura 108. ZAT 100X

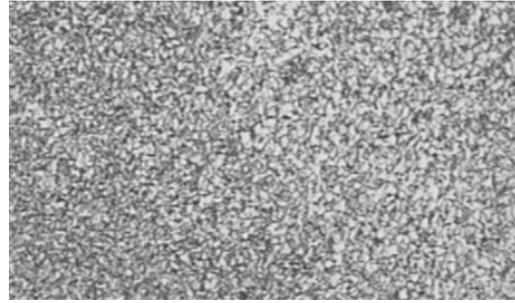
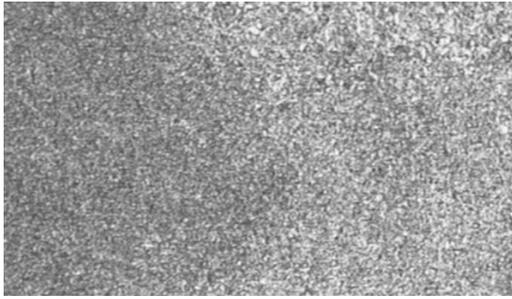


Figura 109. ZAT-Metal de soldadura 50X      Figura 110. ZAT- Metal de soldadura 100X  
Microconstituyentes: ferrita poligonal (fase clara) y perlita fina (fase oscura)

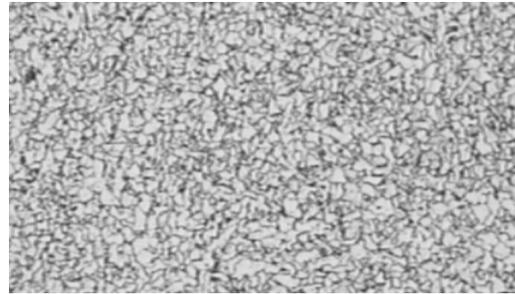
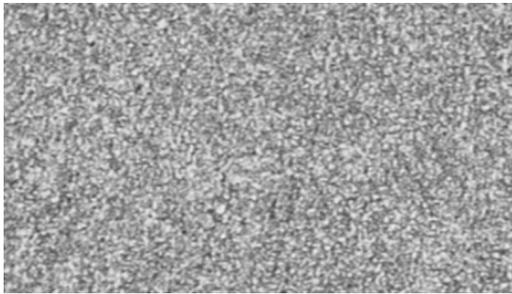
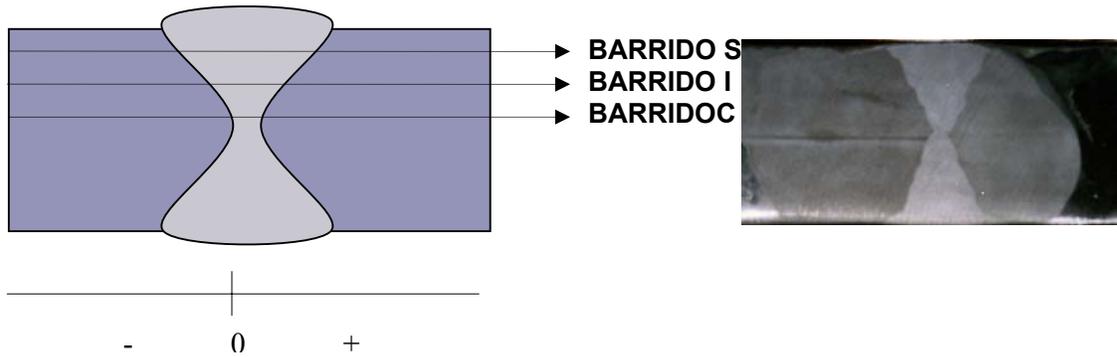


Figura 111. Metal de soldadura 50X      Figura 112. Metal de soldadura 100X  
Microconstituyentes: ferrita equiaxial (fase clara) y perlita fina en menor cantidad (fase oscura)

Figura 113. Barridos microdureza WPS 004



Cuadro 4. Distribución de microdurezas del procedimiento 004

Metal base	Zona afectada térmicamente	Metal de soldadura
------------	----------------------------	--------------------

**BARRIDO SUPERIOR (S)**

Distancia (mm)	Dureza Vickers (HV)						
-28	176	-10	206	-4,5	181	8	181
-23	170	-9,9	199	-3,5	181	8,2	193
-18,5	170	-9,8	221	-2	176	8,4	187
-14,2	170	-9,7	213	-1	170	8,6	187
-13,2	176	-9,6	170	-0,9	170	8,8	206
-12,9	170	-9,4	165	-0,8	176	9	193
-12,7	170	-9,2	170	-0,7	181	9,3	213
-12,6	170	-9,1	170	-0,4	176	9,5	193
-12,3	160	-9	170	-0,2	193	9,7	181
-12,2	170	-8,9	160	0	170	10	193
-12,1	170	-8,8	165	5	193	10,4	181
-12	181	-8,5	170	5,1	199	10,6	221
-11,9	176	-8,4	170	5,3	193	10,8	187
-11,8	170	-8,3	187	5,5	199	11	181
-11,7	176	-8,1	181	6	181	11,1	181
-11,6	176	-8	181	6,4	176	11,3	170
-11,5	199	-7,9	187	6,6	206	11,5	176
-11,4	193	-7,6	181	6,8	181	11,6	193
-11,3	193	-7,3	181	7	193	11,7	170
-11,1	213	-7,1	176	7,2	199	12	187
-10,9	206	-7	176	7,3	213	14	181
-10,7	213	-6,9	165	7,5	193	18	170
-10,5	213	-6,8	199	7,6	176	23	181
-10,3	213	-6,7	199	7,7	228		
-10,1	206	-6,6	170	7,8	193		
		-6,5	170	7,9	181		

## BARRIDO INTERMEDIO (I)

Distancia (mm)	Dureza Vickers (HV)
-28	171
-23	170
-18,5	170
-12,6	193
-11,6	193
-10,6	179
-10,1	185
-9,8	183
-9,5	169
-9,2	198
-8,9	173
-8,7	174
-8,5	170
-8,3	192
-8,1	199
-7,9	178
-7,7	190
-7,5	176
-7,3	186
-7,1	180
-6,9	183
-6,7	188
-6,5	188
-6,3	185
-6,1	193
-6	193
-5,9	185
-5,8	197
-5,7	213
-5,6	210

-5,5	210
-5,4	213
-5,3	213
-5,1	206
-5	205
-4,9	203
-4,8	206
-4,7	209
-4,6	207
-4,5	187
-4,4	198
-4,3	188
-4,2	206
-4,1	206
-4	193
-3,8	193
-3,6	185
-3,4	173
-3,2	185
-3	190
-2,8	174
-2,6	181
-2,4	199
-2,2	176
-2	194
-1,6	180
-1,4	187
-1,2	181
-1	193
-0,5	179
0	181
1	170

2	193
3	174
3,5	181
3,9	177
4,2	185
4,7	179
4,9	178
5,1	179
5,3	178
5,4	179
5,5	176
5,6	181
5,7	190
5,8	187
5,9	213
6	210
6,1	213
6,2	221
6,3	217
6,4	215
6,5	217
6,6	212
6,7	206
6,8	205
6,9	206
7	221
7,1	187
7,2	193
7,3	206
7,4	202
7,5	193
7,6	194

7,7	206
7,8	206
7,9	181
8	193
8,1	213
8,2	213
8,3	199
8,4	199
8,5	181
8,6	170
8,7	176
8,9	169
9	190
9,2	193
9,4	171
9,6	170
9,8	193
10	193
10,2	170
10,4	213
10,6	181
10,8	199
10,9	181
11,1	213
11,3	206
11,5	193
14	187
18	181
23	170

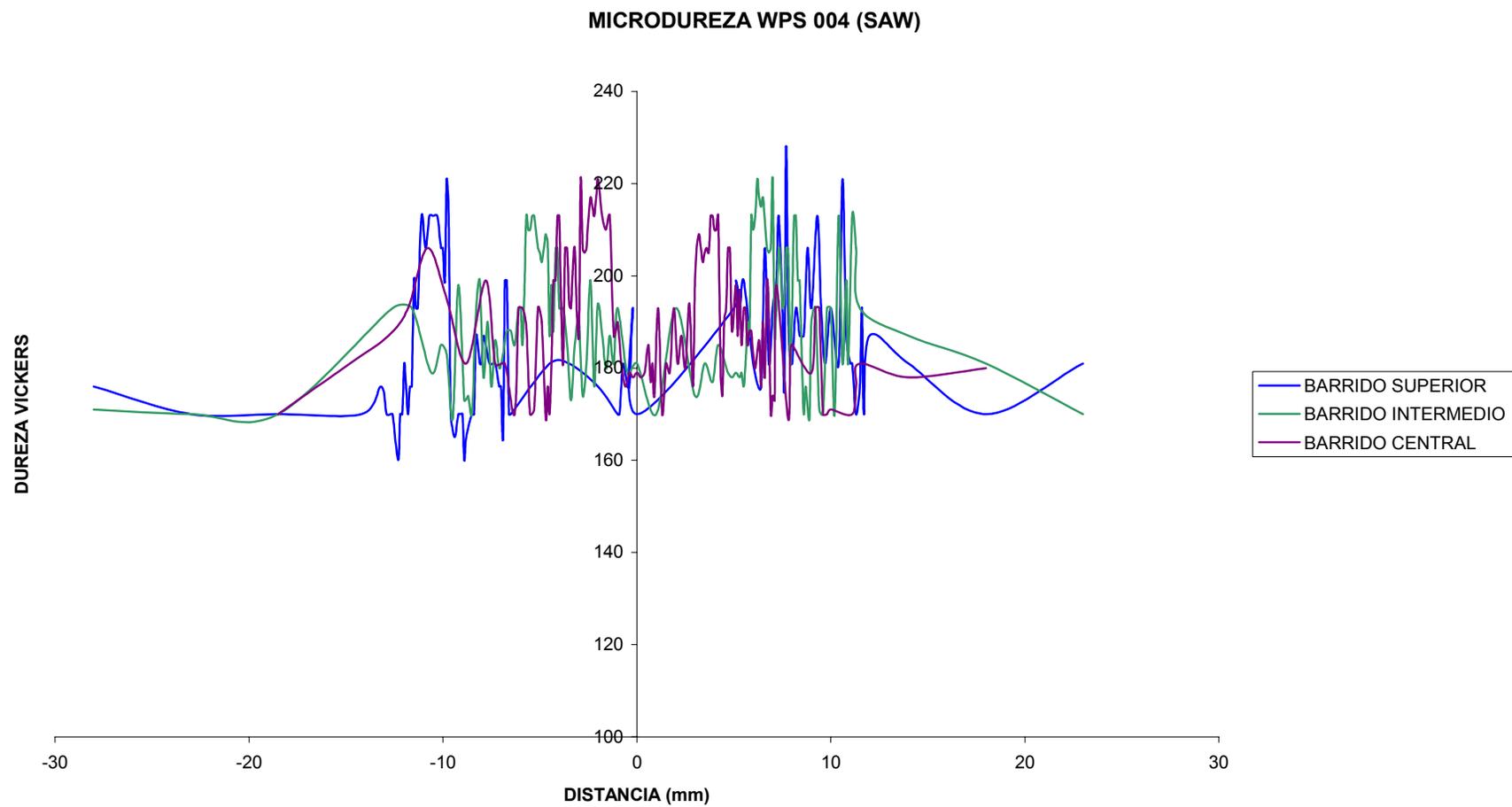
### BARRIDO CENTRAL (C)

Distancia (mm)	Dureza Vickers (HV)
-18,5	170
-14,8	181
-12,8	187
-11,8	193
-10,8	206
-9,8	195
-8,8	181
-7,8	199
-7,3	181
-6,8	181
-6,3	170
-6,1	193
-5,9	193
-5,7	189
-5,5	170
-5,3	171
-5,1	193
-4,9	190
-4,7	169
-4,6	176
-4,5	170
-4,4	181
-4,3	199
-4,2	199
-4,1	213
-4	213
-3,9	193
-3,8	181
-3,7	206
-3,6	206
-3,5	194
-3,4	193
-3,3	202
-3,2	206
-3,1	193
-3	187
-2,9	221
-2,8	206
-2,7	205
-2,6	206
-2,5	212
-2,4	217
-2,3	215
-2,2	213
-2,1	217
-2	221
-1,8	213

-1,6	210
-1,4	213
-1,2	187
-1	190
-0,8	181
-0,6	176
-0,4	179
-0,2	178
0	179
0,2	178
0,4	179
0,6	185
0,7	177
0,8	181
0,9	174
1,1	193
1,3	170
1,5	181
1,7	179
1,9	193
2,1	181
2,3	187
2,5	180
2,7	194
2,9	176
3	199
3,1	207
3,2	209
3,3	206
3,4	203
3,5	205
3,6	206
3,7	205
3,8	213
3,9	213
4	210
4,1	210
4,2	213
4,3	181
4,4	174
4,5	190
4,6	193
4,7	206
4,8	206
4,9	188
5,1	198
5,2	187
5,3	197
5,4	185

5,5	193
5,6	193
5,7	185
5,8	188
5,9	188
6	183
6,1	180
6,3	186
6,4	176
6,5	190
6,6	178
6,7	199
6,8	192
6,9	170
7	174
7,1	173
7,2	198
7,8	169
7,9	183
8	185
9	179
9,2	193
9,4	193
9,6	170
9,8	170
10	171
11,1	170
11,3	176
11,5	181
14	178
18	180

Figura 114. Gráfica de la microdureza del WPS 004



## 10.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente análisis tiene como objeto evaluar e interpretar los resultados del estudio realizado a través del desarrollo experimental. Este análisis se presenta en dos etapas:

- Soldabilidad Operativa. En la cual se evalúa las características mecánicas y sanidad del metal depositado según la norma AASHTO/AWS D1.5 2002.
- Soldabilidad Metalúrgica. Se evalúa mediante el análisis de las microestructuras presentes en las zonas de interés metalúrgico complementado con el análisis de microdureza y tamaño de grano.

**10.2.1 Evaluación de la soldabilidad operativa.** Se procederá en este primer análisis con la evaluación de los resultados obtenidos en el registro de calificación del procedimiento (PQR), según los criterios de aceptación de las pruebas no destructivas descritos en la sección 6.26 y los criterios de aceptación de los resultados mecánicos según la sección 5.19 del código AASHTO/AWS D1.5 2002.

En todos los procedimientos de soldadura desarrollados, los resultados de la inspección visual fueron aprobados de acuerdo a los criterios de aceptación del código AASHTO/AWS D1.5 2002 numeral 6.26.1

### Procedimiento 001

Ensayos no destructivos:

- Gammagrafía. La inspección por gammagrafía no reveló la presencia de defectos. Los resultados están presentes en el reporte gammagráfico (Ver anexo 4) conforme a los criterios de aceptación de la sección 6.1.6 parte D (sección 6.26.2 del código AASHTO/AWS D1.5 2002).

Ensayos destructivos:

- Ensayo de doblez de lado. En esta prueba, se observó en cada una de las probetas discontinuidades en la soldadura debidas a inclusiones de escoria y falta de fusión, destacando que la mayor discontinuidad fue de 0.1040 in, las cuales se encuentran dentro de los criterios de aceptación descritas en la sección 6.3.1.18 (sección 5.19.2 del código AASHTO/AWS D1.5 2002).

- Ensayo de tensión. La fractura se presentó en ambos casos fuera de la soldadura lo cual corrobora que la resistencia mecánica del metal de soldadura es la esperada, el esfuerzo máximo de tracción para cada probeta fue de 72755psi y 73271psi respectivamente, los cuales se encuentran por encima del valor mínimo del esfuerzo máximo a la tracción del acero ASTM A537 clase 1 (70000 psi), lo anterior de acuerdo a la sección 6.3.1.18 (sección 5.19.1 del código AASHTO/AWS D1.5 2002).
- Ensayo de macroataque. En cada una de las probetas de macroataque no se presentó algún tipo de discontinuidad.

### **Procedimiento 002**

Ensayos no destructivos:

- Gammagrafía. La inspección por gammagrafía no reveló la presencia de defectos. Los resultados están presentes en el reporte gammagráfico (Ver anexo 4) conforme a los criterios de aceptación de la sección 6.1.6 parte D (sección 6.26.2 del código AASHTO/AWS D1.5 2002).

Ensayos destructivos:

- Ensayo de doblez de lado. En esta prueba, se apreció que una de las probetas estaba libre de defectos, las tres restantes presentaron discontinuidades de tipo inclusión de escoria, resaltándose que la mayor discontinuidad fue de 0.065 in, las cuales se encuentran dentro de los criterios de aceptación descritas en la sección 6.3.1.18 (sección 5.19.2 del código AASHTO/AWS D1.5 2002).
- Ensayo de tensión. La fractura se presentó en ambos casos fuera de la soldadura lo cual corrobora que la resistencia mecánica del metal de soldadura es la esperada, el esfuerzo máximo de tracción para cada probeta fue de 72033psi y 73271psi respectivamente, los cuales se encuentran por encima del valor mínimo del esfuerzo máximo a la tracción del acero ASTM A537 clase 1 (70000 psi), lo anterior de acuerdo a la sección 6.3.1.18 (sección 5.19.1 del código AASHTO/AWS D1.5 2002).
- Ensayo de macroataque. En cada una de las probetas de macroataque no se presentó algún tipo de discontinuidad.

### **Procedimiento 003**

Ensayos no destructivos:

- Gammagrafía. La inspección por gammagrafía no reveló la presencia de defectos. Los resultados están presentes en el reporte gammagráfico (Ver anexo 4) conforme a los criterios de aceptación de la sección 6.1.6 parte D (sección 6.26.2 del código AASHTO/AWS D1.5 2002).

Ensayos destructivos:

- Ensayo de doblez de lado. En esta prueba, se apreció que una de las probetas estaba libre de defectos, las tres restantes presentaron discontinuidades de tipo inclusión de escoria, resaltándose que la mayor discontinuidad fue de 0.052 in, las cuales se encuentran dentro de los criterios de aceptación descritas en la sección 6.3.1.18 (sección 5.19.2 del código AASHTO/AWS D1.5 2002).
- Ensayo de tensión. La fractura se presentó en ambos casos fuera de la soldadura lo cual corrobora que la resistencia mecánica del metal de soldadura es la esperada, el esfuerzo máximo de tracción para cada probeta fue de 83800psi y 83075psi respectivamente, los cuales se encuentran por encima del valor mínimo del esfuerzo máximo a la tracción del acero ASTM A572 grado 50 (65000 psi), lo anterior de acuerdo a la sección 6.3.1.18 (sección 5.19.1 del código AASHTO/AWS D1.5 2002).
- Ensayo de macroataque. En cada una de las probetas de macroataque no se presentó algún tipo de discontinuidad.

### **Procedimiento 004**

Ensayos no destructivos:

- Gammagrafía. La inspección por gammagrafía no reveló la presencia de defectos. Los resultados están presentes en el reporte gammagráfico (Ver anexo 4) conforme a los criterios de aceptación de la sección 6.1.6 parte D (sección 6.26.2 del código AASHTO/AWS D1.5 2002).

Ensayos destructivos:

- Ensayo de doblez de lado. En esta prueba, se apreció que tres de las probetas estaban libre de defectos, la restante presentó una discontinuidad de 0.036 in, la cual se encuentra dentro de los criterios de aceptación descritas en la sección 6.3.1.18 (sección 5.19.2 del código AASHTO/AWS D1.5 2002).
- Ensayo de tensión. La fractura se presentó en ambos casos fuera de la soldadura lo cual corrobora que la resistencia mecánica del metal de soldadura es la esperada, el esfuerzo máximo de tracción para cada probeta fue de 82043psi y 84183psi respectivamente, los cuales se encuentran por encima del valor mínimo del esfuerzo máximo a la tracción del acero ASTM A572 grado 50 (65000 psi), lo anterior de acuerdo a la sección 6.3.1.18 (sección 5.19.1 del código AASHTO/AWS D1.5 2002).
- Ensayo de macroataque. En cada una de las probetas de macroataque no se presentó algún tipo de discontinuidad.

**10.2.2 Evaluación de la soldabilidad metalúrgica.** La evaluación de este aspecto se basó en el análisis metalográfico cuyo registro son las micrografías de la zona de interés metalúrgico obtenido para cada procedimiento, este análisis se complementa con un estudio de microdureza (Las tablas de conversión de las diferentes microdurezas se presentan en el anexo 5 norma ASTM E 140-88) y tamaño de grano. A continuación se presentan en la tabla 14 los resultados correspondientes a los porcentajes de la ferrita proeutectoide y perlita, tamaño de grano promedio y microdureza promedio de cada procedimiento para el acero ASTM A537 Clase 1, los cuales son subsecuentemente analizados.

## Acero ASTM A537 clase 1

**Tabla 14. Resultados metalográficos, de microdureza y tamaño de grano del acero ASTM A537 Clase 1 de los procedimientos 001 y 002**

SUBZONA ANALIZADA	PROCEDIMIENTO 001				PROCEDIMIENTO 002			
	% F PRO	%P	TGP	DP	% F PRO	%P	TGP	DP
METAL BASE	40,29	59,71	9	202	64,59	35,41	9	177
ZONA AFECTADA TÉRMICAMENTE	40,04	59,96	10	210	47,97	52,03	10	215
METAL DE SOLDADURA	66,33	33,67	9	186	60,92	39,08	9	193

% F PRO. Porcentaje de ferrita proeutectoide.

% P. Porcentaje de perlita.

TGP. Tamaño de grano promedio.

DP. Dureza promedio estimada en Vickers (No es un valor significativo de la zona, debido a la naturaleza bifásica del material: granos de ferrita y nódulos de perlita).

Es necesario efectuar el análisis metalográfico del metal base y la zona afectada térmicamente por procedimientos para el acero ASTM A537 Clase 1, debido a que las placas de prueba en la calificación de los procedimientos poseen leves diferencias microestructurales a pesar de ser el mismo acero, esto posiblemente a causa de distintas ratas de enfriamiento en el proceso de fabricación.

- Metal Base.

**PROCEDIMIENTO 001:** Corresponde a la zona en la cual no ha ocurrido transformación a causa del calor transferido; se aprecia una estructura compuesta por una matriz ferrítica (fase clara) de granos equiaxiales no deformados, sobre la cual se observa nódulos de perlita dispersa sobre toda la matriz y a su vez nódulos orientados de perlita (tonalidad oscura) debido al proceso de laminación en caliente, adicionalmente, se observó la presencia de inclusiones (sulfuros de manganeso) agrupadas como consecuencia del proceso de fabricación. En esta estructura el tamaño de grano promedio es número 9, con un valor promedio de dureza de **202 HV (93 Rockwell B, 202 Brinell)**.

**PROCEDIMIENTO 002:** Se distingue una estructura compuesta por una matriz ferrítica (fase clara) de granos equiaxiales no deformados, sobre la cual se observa una perlita agrupada siguiendo una orientación y no dispersa como en el procedimiento anterior (tonalidad oscura), también presenta inclusiones (sulfuros de manganeso).

En esta estructura el tamaño de grano promedio es número 9, con un valor promedio de dureza de **177 HV (88 Rockwell B, 177 Brinell)**.

La diferencia entre la estructura del metal base de los procedimientos anteriores es debida a que el porcentaje de carbono del acero del procedimiento 001 es levemente mayor manifestándose esto en un aumento en el porcentaje de perlita, consecuentemente un aumento de dureza.

- **Zona Afectada Térmicamente:** En los procedimientos 001 y 002 se encontró similitud en la microestructura por lo cual su análisis se hizo de una forma general. A causa del ciclo térmico variable que se presenta en esta zona se pueden determinar diferentes estructuras de acuerdo al punto que se considere. En esta zona se aprecian dos subzonas metalográficamente diferenciables que se analizarán a continuación.
  1. **Subzona de Recocido:** Se presenta la desaparición de granos orientados del proceso de trabajado mecánico que posee el metal base. Esta es la última fracción del material que sufre cambios estructurales a causa del gradiente térmico que se da durante el enfriamiento y la primera en enfriarse conllevando a un afinado de grano.
  2. **Subzona de Recalentamiento.** Esta zona limita con el metal de soldadura en el cual se presenta un crecimiento progresivo del grano desde la zona de recocido hasta el límite con el cordón. Teóricamente esta es la fracción del metal base más susceptibles a transformaciones estructurales, debido a que experimenta mayores entradas de calor y por ende menores velocidades de enfriamiento, en comparación con la subzona de recocido.

Se determinó que la ferrita proveniente de la subzona de recocido perdió gradualmente su aspecto equiaxial, tomando forma de placas aciculares y poligonales. Es importante destacar la presencia de una gran cantidad de perlita, lo cual le proporciona una tonalidad oscura, así como un leve aumento en la dureza debido a que esta es la última zona en enfriarse dando lugar a un crecimiento del grano.

Por medio del análisis de microdurezas de la zona afectada térmicamente se obtuvo un valor promedio de dureza de **210 HV (95 Rockwell B, 210 Brinell)** y **215 HV (96 Rockwell B, 215 Brinell)**, para el procedimiento 001 y 002 respectivamente, esto debido al cambio en la microestructura de esta zona y no a la presencia de fases intermedias duras como son la martensita, la bainita y carburos que tiene unos rangos de valores de durezas mayores. El valor de tamaño de grano promedio para ambos procedimientos fue el mismo (10).

- Zona de Metal de Soldadura. Debido a la similitud de los resultados obtenidos en el análisis metalográfico para los procedimientos 001 y 002, se optó por describirlos en forma general. Esta región presenta diferencias en cuanto a composición y estructura se refiere, dependiendo de su ubicación y número de pases de soldadura. Para una mejor evaluación del metal de soldadura se especifican dos subzonas figura 128:

Al aplicar el primer cordón de soldadura y solidificarse se produce una estructura de ferrita Widmastatten, ferrita poligonal, ferrita de borde de grano y perlita (Subzona de Solidificación). La aplicación del cordón subsecuente produce una recristalización en la región superior del cordón primario (Subzona de Recristalización), lo cual implica un cambio en la microestructura (ferrita Widmastatten a ferrita poligonal), este fenómeno ocurre secuencialmente con la aplicación de pases de soldadura adicionales.

El valor promedio de dureza hallada en esta zona fue de **186 HV (90 Rockwell B, 186 Brinell)** y **193 HV (91 Rockwell B, 193 Brinell)** para los procedimientos 001 y 002

respectivamente. El tamaño de grano promedio para ambos procedimientos fue similar (9).

### Acero ASTM A572 Grado 50

**Tabla 15. Resultados metalográficos, de microdureza y tamaño de grano del acero ASTM A572 Grado 50 de los procedimientos 003 y 004**

SUBZONA ANALIZADA	PROCEDIMIENTO 003				PROCEDIMIENTO 004			
	% F PRO	%P	TGP	DP	% F PRO	%P	TGP	DP
METAL BASE	60,49	39,51	9	185	66,59	33,41	9	184
ZONA AFECTADA TÉRMICAMENTE	50,63	49,37	10	204	53,32	46,68	10	205
METAL DE SOLDADURA	65,64	34,36	9	184	58,2	41,8	10	183

% F PRO. Porcentaje de ferrita proeutectoide.

% P. Porcentaje de perlita.

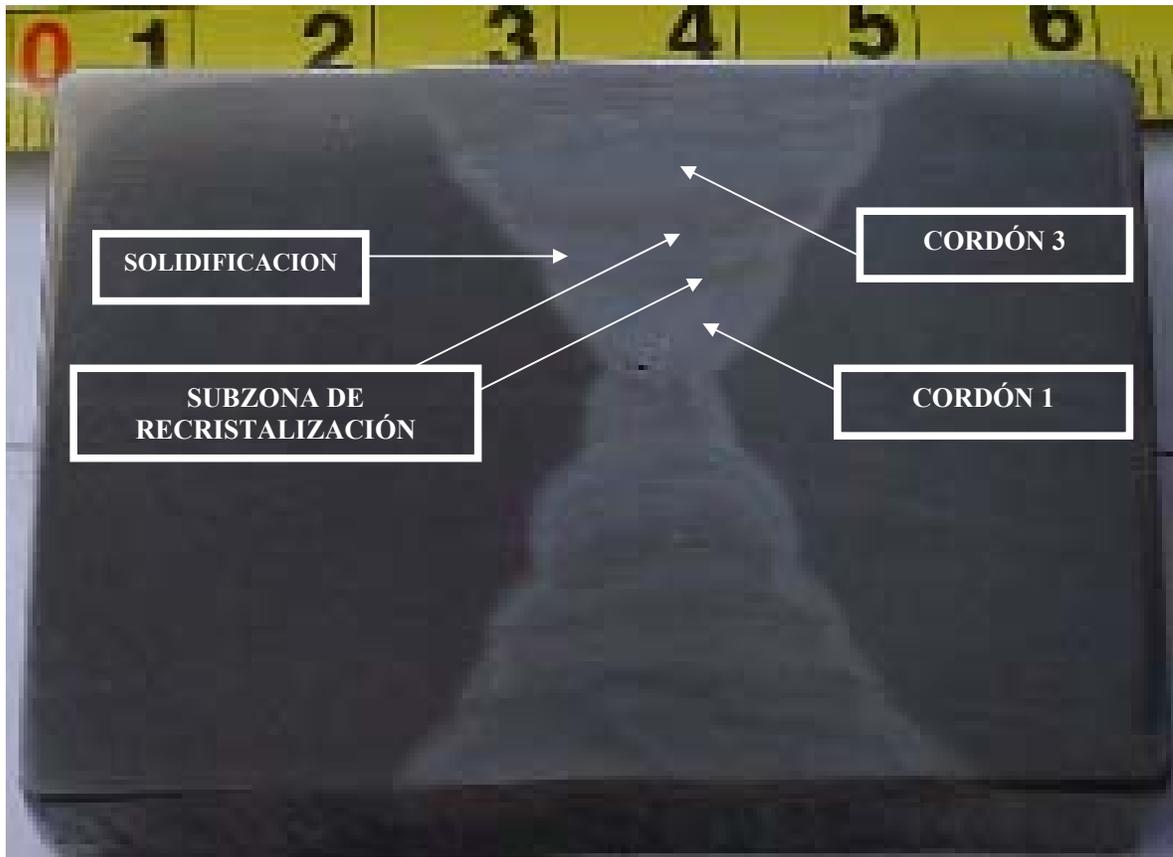
TGP. Tamaño de grano promedio.

DP. Dureza promedio estimada en Vickers (No es un valor significativo de la zona, debido a la naturaleza bifásica del material: granos de ferrita y nódulos de perlita).

Debido a la similitud de los resultados obtenidos en el análisis metalográfico para los procedimientos 003 y 004, se optó por describirlos en forma general.

- Metal Base: En esta zona se aprecia una estructura compuesta por una matriz ferrítica (fase clara) de granos equiaxiales no deformados, sobre la cual se observa los nódulos de perlita (tonalidad oscura). En esta estructura el tamaño de grano promedio es número 9, con un valor promedio de dureza de **185 HV (90 Rockwell B, 185 Brinell)**. La ausencia de los granos deformados del trabajado mecánico de este acero con respecto al acero ASTM A537 Clase 1 podría ser atribuida a cantidades importantes de vanadio (elemento afinador).

Figura 115. Gráfica de las zonas del cordón de soldadura



- Zona Afectada Térmicamente: En esta zona se aprecian dos subzonas metalográficamente diferenciables que se analizarán a continuación.
  1. Subzona de Recocido: En esta región se produjo un afino de grano lo cual ocasionó un leve incremento en la dureza.
  2. Subzona de Recalentamiento. En esta zona se presenta un crecimiento progresivo del grano desde la zona de recocido hasta el límite con el cordón.

Se determinó que la ferrita proveniente de la subzona de recocido perdió gradualmente su aspecto equiaxial, tomando forma de placas aciculares y poligonales. Sobresale la aparición de una gran cantidad de perlita, lo cual le proporciona una tonalidad oscura, así como un leve aumento en la dureza.

Por medio del análisis de microdurezas de la zona afectada térmicamente se obtuvo un valor promedio de dureza de **204 HV (94 Rockwell B, 204 Brinell)**, como consecuencia del cambio en la microestructura de esta zona y no a la presencia de fases intermedias duras como son la martensita y carburos que tiene unos rangos de valores de durezas mayores. El valor de tamaño de grano promedio para ambos procedimientos fue el mismo (10)

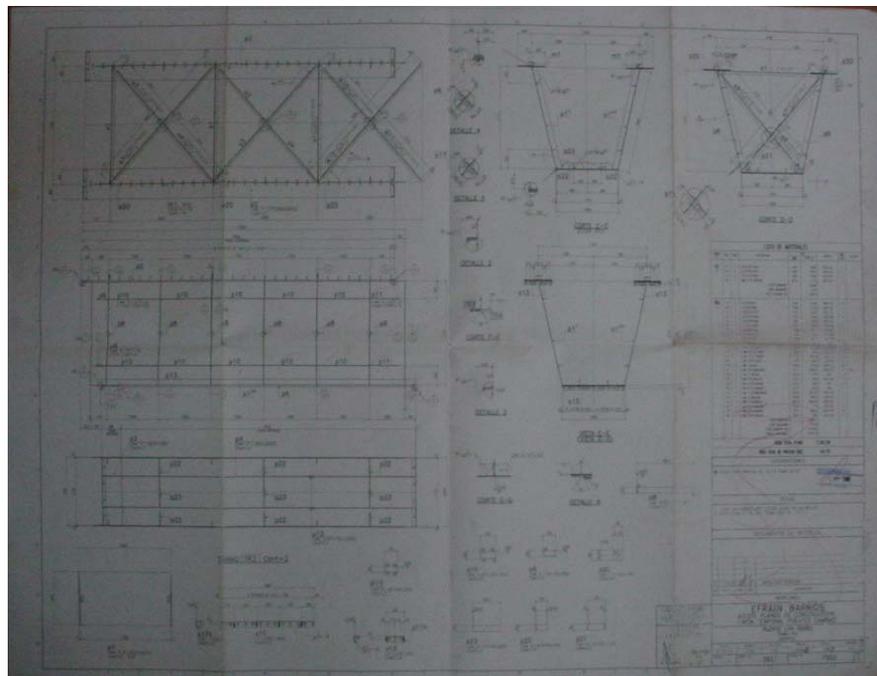
- Zona de Metal de Soldadura. Se pueden identificar en esta zona dos regiones que difieren en su microestructura. En la región de solidificación del cordón de soldadura se observa una estructura de ferrita Widmastatten, ferrita alotriomorfa de límite de grano y perlita; En la región de recalentamiento o recrystalización se encontró una estructura de granos de ferrita equiaxial y perlita en pequeñas cantidades. El valor promedio de dureza en esta zona fue de **184 HV (90 Rockwell B, 184 Brinell)**, determinándose la ausencia de fases duras en esta región. El valor de tamaño de grano promedio para los procedimientos difirió, para el procedimiento 003 registró un tamaño de 9 y en el procedimiento 004 se obtuvo un tamaño de 10.

En todos los procedimientos anteriormente analizados las curvas de microdurezas presentan el mismo comportamiento a través de las distintas zonas de unión, permitiéndonos apreciar un aumento progresivo de la dureza desde el metal base, hacia la zona afectada térmicamente donde se registran los valores más elevados de dureza, los cuales disminuyen gradualmente hasta el metal de soldadura. Esta última apreciación corresponde a lo determinado en el análisis metalográfico, donde se nota un efecto asociado a la forma estructural de la ferrita y la mayor presencia de perlita fina que se precipita en la ZAT, en comparación con el resto de la unión soldada.

## 11. SECUENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN DE UN PUENTE VEHICULAR (REGISTRO FOTOGRÁFICO)

**11.1 Diseño (Planos).** De acuerdo a los diseños de las conexiones mostradas en los planos y sus espesores, se procede a diseñar los WPSs.

**Figura 116. Plano del cajón del puente vehicular de Cambao**



**11.2 Elaboración y calificación de los procedimientos, y personal de soldadura según código AASHTO/AWS D1.5 2002.** Esta etapa está desarrollada bajo los lineamientos del capítulo 5 del código AASHTO/AWS D1.5 2002.

### 11.3 Importe de materia prima

**Figura 117. Foto del Almacenamiento de la Materia Prima (acero ASTM A572 Grado 50).**



**Figura 118. Foto del Transporte de la Materia Prima al Lugar de Corte**



**Control de Calidad de la Materia Prima.** Los registros del certificado de calidad de la materia prima y el control de calidad realizados por ensayos no destructivos de ultrasonido, se presentan en el anexo 1 y 2 respectivamente.

**11.4 Marcado, corte, preparación.** Las etapas de corte y preparación que están contempladas en la sección 3 (Mano de obra) del código AASHTO/AWS D 1.5 2002 deben realizarse bajo los lineamientos de éste, siendo esta etapa propensa a inducir concentraciones de esfuerzos sino es realizada correctamente y por consiguiente ocasionar la falla de la estructura por iniciación y propagación de grietas.

**Figura 119. Foto del Marcado de la Materia Prima para el Corte**



**Figura 120. Foto del corte de la materia prima por plasma**



**Figura 121. Foto del proceso oxicorte**



**11.5 Montaje (aplicación de soldadura).** Es llevado a cabo de acuerdo a los WPSs calificados y con personal debidamente calificado, proveyendo la sanidad de la junta.

**Figura 122. Foto de la Aplicación del proceso SMAW en las Láminas**





**Figura 125. Foto del Cajón Soldado (Vista Frontal 1)**



**Figura 126. Foto de los rigidizadores (acero ASTM A 36)**



**Figura 127. Foto del Cajón Soldado (Vista Frontal 2)**



**11.6 Inspección de cajones por ensayo no destructivos.** Se aplican ensayos no destructivos de inspección visual, radiografía y partículas magnéticas, para detectar discontinuidades que puedan afectar el funcionamiento de la estructura en servicio, los cuales son evaluados bajo los criterios de aceptación de la parte D de la sección 6 del código AASHTO/AWS D1.5 2002. En el anexo 3 están presentes los registros de la inspección por partículas magnéticas, empleando el método de magnetización por yugos.

**Figura 128. Foto de la inspección por ensayos no destructivos al puente**



## CONCLUSIONES

- Los aceros estructurales ASTM A537 Clase 1 y ASTM A572 Grado 50 registraron una excelente soldabilidad operativa, evaluados bajo los criterios de aceptación del código AASHTO/AWS D1.5 2002, esto es atribuido a los resultados obtenidos en los ensayos destructivos y no destructivos.
- El análisis metalográfico y de microdurezas determinó que la microestructura en el metal de soldadura consta de nódulos de perlita en una matriz ferrítica, demostrándose de esta forma la ausencia de fases intermedias duras y frágiles como la martensita, la cual perjudicaría el desempeño en servicio de la junta soldada; a partir de esto podemos inferir la buena soldabilidad metalúrgica.
- Los procesos SMAW y SAW presentan una buena confiabilidad en uniones de láminas, soldadas de acuerdo a lo dispuesto en el código AASHTO/AWS D 1.5 2002, según los ensayos no destructivos: inspección visual, radiografía, y destructivos: tracción, doblez de lado y macroataque.
- Un aspecto importante a la hora de construir un puente vehicular es la seguridad que éste garantice, por ello este código va dirigido a mejorar la resistencia a la fractura frágil, como resultado de la dureza en la ZAT; lo cual es posible controlando adecuadamente la entrada de calor, evitando concentraciones de esfuerzo de la soldadura o discontinuidades del metal base, controlando la velocidad de enfriamiento (precalentamiento y temperatura entre pases) y la composición química del metal base y metal de soldadura asegurando las propiedades mecánicas requeridas en la zona crítica de soldadura (ZAT y metal de soldadura). En resumen la resistencia a la fractura frágil es significativamente mejorada por una buena soldadura, tenacidad del metal base y empleando un buen diseño.

- Del análisis teórico comparativo de los códigos AWS D1.1 2000 y el AASHTO/AWS D1.5 2002, se estableció que el primero es empleado en la soldadura de miembros de aceros estructurales tubulares y no tubulares sometidos a cargas estáticas y cíclicas, cuya frecuencia no alcanza a inducir fallas por fatiga, mientras que el segundo esta dirigido a la soldadura de miembros de aceros estructurales no tubulares sujetos a cargas dinámicas o cíclicas (puentes vehiculares y ferroviarios), que de acuerdo a su frecuencia y magnitud pueden inducir fallas por fatiga.
  
- Al comprobar la soldabilidad de los aceros ASTM A537 Clase 1 y ASTM A572 Grado 50 se corrobora lo expuesto en la sección 5.4.1 del código AASHTO/AWS D 1.5 2002 donde permite la calificación de un acero con otro correspondiente a su mismo grado o mayor.
  
- La construcción de estructuras metálicas a gran escala involucra la interrelación entre diversos procesos de soldadura, cuya finalidad es obtener una soldadura de calidad a altas velocidades de construcción, por ende en nuestro estudio nos enfocamos hacia procesos SAW y SMAW. El proceso SAW pese a que es un proceso muy rápido, que produce buena soldadura su inflexibilidad en las posiciones hace necesario la utilización de otro proceso más versátil como es el proceso SMAW pudiéndose ejecutar en todas las posiciones y adicionalmente permite su empleo tanto en campo como en planta.
  
- Debido a que el proceso GMAW es importante para unión de juntas en la industria metálica estructural, consideramos indispensable su estudio, sin embargo, no se pudo efectuar la evaluación de la soldabilidad debido al limitado personal calificado bajo el código AASHTO/AWS D1.5 2002 por lo cual se determinó por optarse la no utilización de este.

## BIBLIOGRAFIA

- ASM HANDBOOK. Volumen 9. Metallography and microstructures. USA. 1985.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Norma para realizar ensayos de microdureza: ASTM E384-89.
- ----- Norma para realizar ensayo de macroataque metales y aleaciones: ASTM E340-87
- ----- Norma para determinar el tamaño de grano promedio: ASTM E112-88.
- ----- Norma para microataque de metales y aleaciones: ASTM 407-89.
- ----- Especificación estándar para aceros estructurales de alta resistencia y baja aleación al Columbio -Vanadio (HSLA): ASTM A 572/ A572M- 01 C.
- AMERICAN WELDING SOCIETY. Introductory Welding Metallurgy. Tercera edición. Miami.1998.
- ----- CÓDIGO AWS D1.1 2000. Código de soldadura para acero estructural.
- ----- CÓDIGO AASHTO/AWS D 1.5 2002. Código de soldadura para puentes.
- CARY, HOWAR B. Manual de soldadura moderna. Tomo I. Segunda edición. Prentice Hall. 1992.

- ----- Manual de soldadura moderna. Tomo II. Segunda edición. Prentice Hall. 1992.
- ----- Manual de soldadura moderna. Tomo III. Segunda edición. Prentice Hall. 1992.
- D. Séférian. Las soldaduras. técnica – control. soldabilidad de los metales. Ediciones URMO, S.A. 1965.
- GOMEZ MORENO, Orlando José. Metalurgia de la Soldadura. Bucaramanga, Publicaciones UIS, 1989.
- ----- Soldadura de metales. Bucaramanga, Publicaciones UIS, 1993.
- HORWITZ, Henry P.E. Soldadura. aplicación y práctica .México. Alfa y omega, 1997.
- KEHL, George L. Fundamentos de la práctica metalográfica. Madrid. Aguilar. 1963
- SOLARI, Mario J.A. Metalurgia del metal de soldadura. Argentina. 1982
- SAMUELS, Leonard E. Light Microscopy of carbon steels. USA. ASM International. 1999.

ANEXO 1. CERTIFICADOS DE CALIDAD

Certificado de Calidad (Composición Química y Propiedades Mecánicas) del Acero ASTM A 572 Grado 50.



METALLURGICAL DIVISION: WEB TEST CERTIFICATE - CERTIFICATE .03 DIN 50049 3.1B  
 HIGH YIELD STEEL AND VANADIUM CORPORATION LIMITED  
 P O BOX 111, WITBANK, 1035  
 Registration No. 1946001900006  
 TELEPHONE National (013) 6999911  
 International 27 13 6999211  
 FAX (013) 699 9556  
 Page 1 of 2

Test Certificate No: P000081676 TRIDENT STEEL (PTY) LTD Account No: TRX 01 Date: 2003-09-26  
 Sales Order No: 202361 / 4 Customer Order: TR10042  
 Product: PRIME HOT ROLLED STEEL PLATES  
 Dimensions: 1" X 8' X 486.113 KGM  
 Length: 40' Total Pieces: 11  
 Quality: ASTM A572/A 572M GRADE 50 TYPE II - 2001 03A

Cart No:	HE383	Sub No:	679338	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P	0.006%	Mn	1.108%	V	0.042%	Cr	0.046%	Cu	0.056%	Al	0.001%	N	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679337	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679336	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679335	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679334	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679333	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679332	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679331	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679330	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679329	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679328	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679327	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679326	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679325	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679324	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679323	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679322	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679321	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679320	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679319	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679318	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679317	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679316	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679315	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679314	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679313	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679312	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679311	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679310	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679309	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679308	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679307	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679306	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679305	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679304	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679303	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679302	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%
Cart No:	HE383	Sub No:	679301	Sub Sub No:	A	Chem:	C	0.183%	SI	0.316%	S	0.014%	P <td>0.006%</td> <td>Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td></td>	0.006%	Mn <td>1.108%</td> <td>V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td></td>	1.108%	V <td>0.042%</td> <td>Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td></td>	0.042%	Cr <td>0.046%</td> <td>Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td></td>	0.046%	Cu <td>0.056%</td> <td>Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td></td>	0.056%	Al <td>0.001%</td> <td>N <td>0.006%</td> </td>	0.001%	N <td>0.006%</td>	0.006%

REMARKS: GL - GALTRE LENGTH, YP - YIELD POINT, UTS - ULTIMATE TENSILE STRENGTH, ELG - ELONGATION, W.C.E. - WELDABILITY CARBON EQUIVALENT.  
 IN ANY DISPUTE RELATING TO THIS TEST CERTIFICATE THE ORIGINAL FORMAT AND DATA RETAINED BY HIGH YIELD IN ELECTRONIC FORMAT  
 WILL CONSTITUTE THE FINAL BASIS FOR THE FORMAT AND CONTENT OF THE CERTIFICATE  
 APPROBADO  RECHAZADO   
 FECHA: OCT 21 2003  
 FIRMA: ORLANDO ROJAS  
 COPIACION QUIMICA Y PROPIEDADES MECANICAS, E/7M 02  
 FEUBADO CON TINA A 572 GRADO 50. T7M02.  
 31 OCT 2003  
 WERN VAN STADEN (METALLURGIST)  
 OB EA 2927  
 NITE 1979-03-07  
 NITE 1798-03-02  
 NITE 1798-03-02  
 NITE 1798-03-02

**Certificado de Calidad (Composición Química y Propiedades Mecánicas) del Acero ASTM A 537 Clase 1.**



ANEXO 2. CONTROL DE CALIDAD POR ULTRASONIDO DE LAS LÁMINAS

<b>Украина Ukraine</b>		<b>МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ «АЗОВСТАЛЬ» AZOVSTAL IRON AND STEEL WORKS</b>		СЕРТИФИКАТ КАЧЕСТВА QUALITY CERTIFICATE	от 21.12.2002 Date	Лист 2 из 2 Sheet of	Листов Sheets
1, Лепорського, г. Мариуполь, 87500, факс: 380 (629) 52-70-00							
Свидетельство о приемочных испытаниях Inspection certificate							
EN 10204-3.1.B		Заводской заказ № Manufacturer's production order No		103021/02 - 173 LOT 1		400702-0713	
Заказчик Customer		Фирма: "Леман Коммодитиз С.А." "Leman Commodities S.A." company		Кол-во товара, шт. Quantity of goods, pcs		17	
РВ - Стр. № RW - Str. No		65289926					
Наименование товара Description of goods		Прокат толстолистовой Heavy plates					
Марка стали Grade of Steel		А 537-1 МТ LTV		Стандарты Standards		ASTM A537/A537M-95(2000) ASTM A240/A204-2001 EN 10163-2:1991 class B-3 ASTM E112/E112M:1996 ASTM A370/A370M:2002 ASTM A435/A435M-90(2001)	
Выплавка Steelmaking process		Конвертерный способ производства Made by the BOS Process					
Состояние поставки Delivery condition		Нормализован Normalized		950 °C		1,5 мм/мм mm/mm	
Маркировка Marking		DIMENSIONS: mm, CAST No, TEST No, PLATE No, AZOVSTAL, MADE IN UKRAINE, ESTRUCTURAS FER 2929, BOGOTA.					
Цветная маркировка Color marking		THREE GREEN STRIPES.					
Позиция Item No		Плавка № Cast No		Размеры, мм Dimensions, mm		Масса, т Mass, t	
14		6551		Толщина Thickness		Netto Brutto	
14		06639 / 2, 3		Ширина Width		8.866 8.866	
				Длина Length			
				Количество, шт. Quantity, pcs			
				2			
Итого Total				17		52.269 52.269	

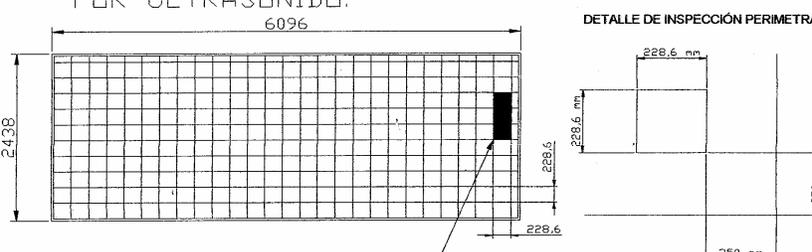
  

Результаты испытаний Test results											
Плавка № Cast No	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	As	Sb	Al
6551*	22	129	24	10	12	3	2	3	34	<10	<5
6551**	22	127	24	11	15	3	2	3	35	<10	<5
* Cast No / Test No / Product No ** Heat Analysis											
Химический состав, % Chemical composition, %											
Температура Temp	Температура Temp	Температура Temp	Температура Temp	Температура Temp	Температура Temp	Температура Temp	Температура Temp	Температура Temp	Температура Temp	Температура Temp	Температура Temp
+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20
52	53	52	52	57	55	55	55	55	55	55	55

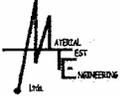
  

Испектор Inspector		Подпись Signature	
Quality Control Department		Штамп инспектора Inspector's stamp	

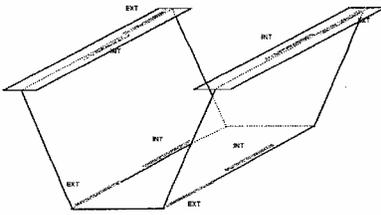
It is hereby certified that products listed in this certificate tested and comply with contract's terms.  
 Подтверждаем, что продукция, указанная в настоящем сертификате, испытана и соответствует условиям контракта.

 <b>INGENIERIA LTDA.</b> DIVISION SERVICIOS DE INGENIERIA	<b>ENSAYO DE ULTRASONIDO</b> <b>REPORTE DE INSPECCION</b>		INFORME N° I-281103 FECHA: 28 de noviembre de 2003 PAG. No: 1 DE: 1									
	PROCEDIMIENTO No: ATM-UT-ASME-LAM 02 REVISIÓN No: 02      FECHA: ABRIL 15 DE 2002		COLADA N°: NA MTR: 1805-03-02									
CLIENTE: HB ESTRUCTURAS METALICAS LUGAR DE INSPECCION: HB ESTRUCTURAS METALICAS. ESPECIFICACION (NORMA): ASTM A 577 - A 578.		PROYECTO: EVALUACION DE LAMINAS. CIUDAD: BOGOTA D.C. DETALLE: EVALUACION MATERIAL DE LAS LAMINAS										
EQUIPO DE INSPECCION: LAMINAS DE ACERO SURAFRICANO ESPECIFICACION DEL MATERIAL: ASTM A572 ESTADO DE LA SUPERFICIE: LISA      N.A.      TEMPERATURA: AMB.		PLANO No: N.A. RANGO DE ESPESORES: 50 mm ACABADO DE LA SUPERFICIE: SIN PINTURA										
PROCESO DE SOLDADURA: SIN      N.A. TRATAMIENTO TERMICO: SIN		TIPO DE JUNTA: N.A. DIAMETRO O LONGITUD: NA										
LONGITUD DE INSPECCION: VER DETALLE DEL TRAZADO DE INSPECCION EN LA LAMINA.		SUPERFICIE DE INSPECCION: EXTERNA										
EQUIPO DE ULTRASONIDO: GILARDONI METODO: IMPULSO - ECO		MODELO: MC15-D ACOPLANTE: ECHO - GEL										
LINEALIDAD VERTICAL: +/- 1% BLOQUE DE CALIBRACION: IIRW 1, IIRW2		LINEALIDAD HORIZONTAL: +/- 1% RANGO DE CALIBRACION: 50 mm										
PALPADORES: DIAMETRO 1"      FRECUENCIA: 4 MHZ      ANGULO: 0°		ESCALA: 2 mm/DIV RECORRIDO DEL SONIDO: 5900 m/s : 0°										
1. DP 25 NORMA		SENSIBILIDAD DE REF: 32 dB y 54 dB										
3		TRANSFERENCIA: +2 dB										
4		% REF DE FS DE CALIBRACION: 80%										
CAST	TEST	ESPESOR	DECIBELIOS				DESDE SUP. INSPES.	DEFECTOS (mm)			RESULTADOS	
			NIVEL DE LA INDICACION	NIVEL DE REFERENCIA	NIVEL DE ATENUACION	CALCULO DE INDICACION		PROFUNDIDAD INDICACION	AREA mm2 INDICACION	APROBADO	RECHAZADO	
2927	NA	50mm	-	62 db	-	-	EXTERNA	-	-	-	SI	NO
<b>DIAGRAMA DEL TRAZADO DE INSPECCION POR ULTRASONIDO.</b>												
												
<b>ESTAMPE DE LA LAMINA.</b>												
<b>OBSERVACIONES</b> LA LAMINA SE INSPECCIONA CON PALPADOR NORMAL, NO SE PRESENTAN DEFECTOS COMO LAMINACIONES E INDICACIONES DE CONCENTRACION DE SEGREGACIONES, QUE INTERVIENGAN CON EL USO DE LA MISMA.												
NOMBRE DEL INSPECTOR ING. JUAN FREDDY PINILLOS SALAMANCA				FIRMA DEL CLIENTE				FIRMA DEL AUDITOR				

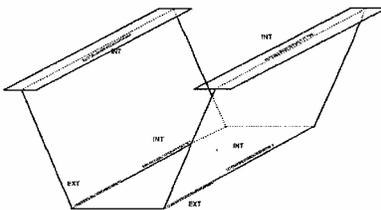
### ANEXO 3. INSPECCION POR PARTICULAS MAGNETICAS DE LOS CAJONES DEL PUENTE

 DIVISIÓN SERVICIOS DE INGENIERÍA	<b>PARTÍCULAS MAGNÉTICAS          REPORTE DE INSPECCIÓN</b>		INFORME N°: 01 FECHA: 02 de Diciembre de 2003 PÁG.. N° 1 DE 1				
	PROCEDIMIENTO N°: MTE-MT-AWS-01 REVISIÓN N°: 01	FECHA: 01-01-02					
CLIENTE: H.B. ESTRUCTURAS METÁLICAS		PROYECTO: 2927- PUENTES CAMBAO					
LUGAR DE INSPECCIÓN: PLANTA H.B.		CIUDAD: BOGOTÁ					
ESPECIFICACIÓN (NORMA): AWS D 1.6-2002, ASTM E 709		DETALLE: NA					
EQUIPO DE INSPECCIÓN: PUENTE MADRIGAL		PLANO N°: NA					
ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL: A-572 °80		RANGO DE ESPESORES: 8 mm - 39 mm					
ESTADO DE LA SUPERFICIE: LISA    TEMPERATURA: AMB		ACABADO DE LA SUPERFICIE: LISA					
PROCESO DE SOLDADURA: SAW - SMAW		TIPO DE JUNTA: FILETE					
TRATAMIENTO TÉRMICO: NA		LONGITUD: 14,7 m					
LONGITUD DE INSPECCIÓN: 25% soldaduras a filete		SUPERFICIE DE INSPECCIÓN: EXTERNA					
PARTICULA MAGNÉTICA TIPO: HÚMEDAS COLOREADAS		MARCA: MET L CHECK					
MÉTODO DE LIMPIEZA INICIAL: GRATA CIRCULAR		CONTRASTE TIPO: MET L CHECK - BLANCO					
MÉTODO DE MAGNETIZACIÓN: YUGO Y7		REVELADOR TIPO: NA					
CORRIENTE DE MAGNETIZACIÓN: AC		INTENSIDAD DE FLUJO MAGNÉTICO: 110V					
LIMPIEZA FINAL: TRAPO		SENSIBILIDAD DE REF: BLOQUE DE REFERENCIA					
IDENTIFICACION DE ELEMENTOS	ESTAMPE DEL SOLDADOR	LONGITUD (m)	DESDE SUP. INSPECCIONADA	DEFECTOS (mm)		RESULTADOS	
				TIPO DE INDICACION	LONGITUD INDICACION	APROBADO	RECHAZADO
TRAMO A03-1	A/B7	12	EXT/INT	-----	-----	SI	NO
TRAMO A03-2	A/B7	9	EXT/INT	-----	-----	SI	NO



TRAMO A03-1

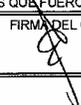


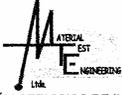
TRAMO A03-2

LONGITUD DE INSPECCION EN CADA CORDON DE FILETE 25 % = 1,2 METROS EN CADA LINEA= TOTAL 12 METROS CADA TRAMO

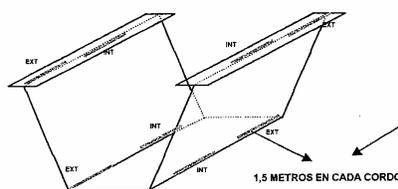
LONGITUD DE INSPECCION = 21 METROS

OBSERVACIONES:  
 LAS ZONAS DE COLOR ROJO, SON LAS UBICACIONES DE LOS CORDONES DE SOLDADURA INSPECCIONADOS POR MT, CONDICION FINAL ACEPTABLE  
 SE DETECTARON PEQUEÑAS INDICACIONES DE POROS Y SOCAVADOS QUE FUERON REPARADOS Y REINSPECCIONADOS EN PLANTA

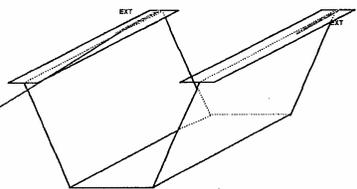
NOMBRE DEL INSPECTOR ING. ALEX VELASQUEZ L. NIVEL II ASNT	 MATEMÁTICA Ingeniería Ltda.	FIRMA DEL CLIENTE 	FIRMA DEL AUDITOR
---	---	--	-------------------

 DIVISION SERVICIOS DE INGENIERIA	<b>PARTÍCULAS MAGNÉTICAS</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN</b>		INFORME N°: 02 FECHA: 04 de Diciembre de 2003 PÁG.. N° 1 DE 1				
	PROCEDIMIENTO N°: MTE-MT-AWS-01 REVISIÓN N°: 01		FECHA: 01-01-02				
CLIENTE: H.B. ESTRUCTURAS METÁLICAS		PROYECTO: 2927- PUENTES CAMBAO					
LUGAR DE INSPECCIÓN: PLANTA H.B.		CIUDAD: BOGOTA					
ESPECIFICACION (NORMA) :AWS D 1.5-2002, ASTM E 709		DETALLE: NA					
EQUIPO DE INSPECCIÓN: PUENTE MADRIGAL		PLANO N°: NA					
ESPECIFICACION DEL MATERIAL : A-572 °50		RANGO DE ESPESORES: 8 mm - 38 mm					
ESTADO DE LA SUPERFICIE: LISA TEMPERATURA : AMB		ACABADO DE LA SUPERFICIE : LISA					
PROCESO DE SOLDADURA: SAW - SMAW		TIPO DE JUNTA: FILETE					
TRATAMIENTO TÉRMICO : NA		LONGITUD : 14,7 m					
LONGITUD DE INSPECCIÓN : 25% soldaduras a filete		SUPERFICIE DE INSPECCIÓN : EXTERNA					
PARTICULA MAGNÉTICA TIPO: HÚMEDAS COLOREADAS		MARCA: MET L CHECK					
MÉTODO DE LIMPIEZA INICIAL : GRATA CIRCULAR		CONTRASTE TIPO : MET L CHECK - BLANCO					
MÉTODO DE MAGNETIZACIÓN : YUGO Y7		REVELADOR TIPO :NA					
CORRIENTE DE MAGNETIZACIÓN : AC		INTENSIDAD DE FLUJO MAGNÉTICO: 110V					
LIMPIEZA FINAL: TRAPO		SENSIBILIDAD DE REF: BLOQUE DE REFERENCIA					
IDENTIFICACION DE ELEMENTOS	ESTAMPE DEL SOLDADOR	LONGITUD mt	DEFECTOS (mm)			RESULTADOS	
			DESDE SUP. INSPECCIONADA	TIPO DE INDICACION	LONGITUD INDICACION	APROBADO	RECHAZADO
TRAMO A04	A/87	12	EXT/INT	-----	-----	SI	NO
TRAMO A01-1	A/87	6	EXT/INT	-----	-----	SI	NO
TRAMO A03-2	A/87	3	EXT/INT	-----	-----	SI	NO

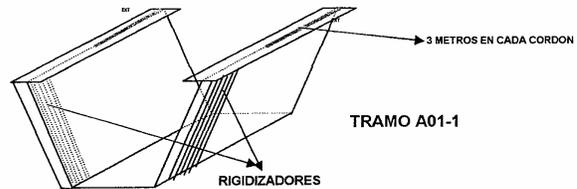
  



TRAMO A04



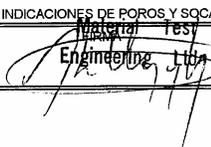
TRAMO A03-2



TRAMO A01-1

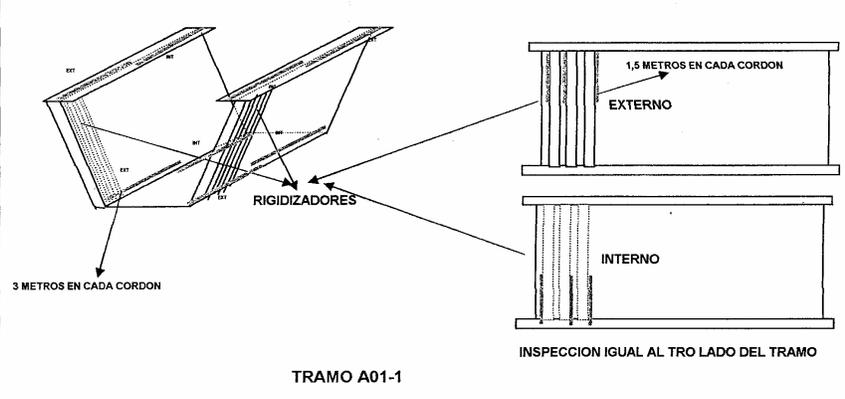
LONGITUD DE INSPECCION = 21 METROS

OBSERVACIONES:  
 LAS ZONAS DE COLOR ROJO, SON LAS UBICACIONES DE LOS CORDONES DE SOLDADURA INSPECCIONADOS POR MT, CONDICION FINAL ACEPTABLE  
 SE DETECTARON PEQUEÑAS INDICACIONES DE POROS Y SOCAVADOS QUE FUERON REPARADOS Y REINSPECCIONADOS EN PLANTA

NOMBRE DEL INSPECTOR ING. ALEX VELASQUEZ L. NIVEL II ASNT	 Materia Test Ingeniero Lida	FIRMA DEL CLIENTE 	FIRMA DEL AUDITOR 
---	---	--	--

		PARTÍCULAS MAGNÉTICAS				INFORME N°: 03	
		<b>REPORTE DE INSPECCIÓN</b> PROCEDIMIENTO N°: MTE-MT-AWS-01 REVISIÓN N°: 01      FECHA: 01-01-02				FECHA: 10 de Diciembre de 2003 PÁG. N° 1 DE 1	
DIVISIÓN SERVICIOS DE INGENIERÍA							
CLIENTE: H.B. ESTRUCTURAS METÁLICAS				PROYECTO: 2927- PUENTES CAMBAO			
LUGAR DE INSPECCIÓN: PLANTA H.B.				CIUDAD: BOGOTA			
ESPECIFICACIÓN (NORMA) :AWS D 1.5-2002, ASTM E 709				DETALLE: NA			
EQUIPO DE INSPECCIÓN: PUENTE MADRIGAL				PLANO N°: NA			
ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL : A-572 °50				RANGO DE ESPESORES: 8 mm - 38 mm			
ESTADO DE LA SUPERFICIE: LISA    TEMPERATURA : AMB				ACABADO DE LA SUPERFICIE : LISA			
PROCESO DE SOLDADURA: SAW - SMAW				TIPO DE JUNTA: FILETE			
TRATAMIENTO TÉRMICO : NA				LONGITUD : 14,7 m			
LONGITUD DE INSPECCIÓN : 25% soldaduras a filete				SUPERFICIE DE INSPECCIÓN : EXTERNA			
PARTÍCULA MAGNÉTICA TIPO : HÚMEDAS COLOREADAS				MARCA: MET L CHECK			
MÉTODO DE LIMPIEZA INICIAL : GRATA CIRCULAR				CONTRASTE TIPO : MET L CHECK - BLANCO			
MÉTODO DE MAGNETIZACIÓN : YUGO Y7				REVELADOR TIPO : NA			
CORRIENTE DE MAGNETIZACIÓN : AC				INTENSIDAD DE FLUJO MAGNÉTICO : 110V			
LIMPIEZA FINAL: TRAPO				SENSIBILIDAD DE REF: BLOQUE DE REFERENCIA			
IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS	ESTAMPE DEL SOLDADOR	LONGITUD mt	DESDE SUP. INSPECCIONADA	DEFECTOS (mm)		RESULTADOS	
				TIPO DE INDICACION	LONGITUD INDICACION	APROBADO	RECHAZADO
TRAMO A01-1	A/87	36	EXT/INT	----	----	SI	NO
TRAMO A01-2	A/87	3	EXT/INT	----	----	SI	NO

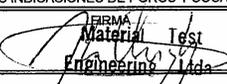
  



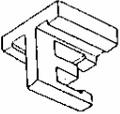
**TRAMO A01-1**

LONGITUD DE INSPECCION = 39 METROS

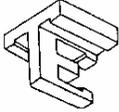
  

OBSERVACIONES:			
LAS ZONAS DE COLOR ROJO, SON LAS UBICACIONES DE LOS CORDONES DE SOLDADURA INSPECCIONADOS POR MT, CONDICION FINAL ACEPTABLE			
SE DETECTARON PEQUEÑAS INDICACIONES DE POROS Y SOCAVADOS QUE FUERON REPARADOS Y REINSPECCIONADOS EN PLANTA			
NOMBRE DEL INSPECTOR	FIRMA	FIRMA DEL CLIENTE	FIRMA DEL AUDITOR
ING. ALEX VELASQUEZ L.			
NIVEL II ASNT	Material Test Engineering Ltda		

## ANEXO 4. REPORTE DEL ENSAYO DE RADIOGRAFÍA DE LOS WPSs

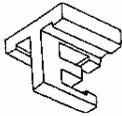
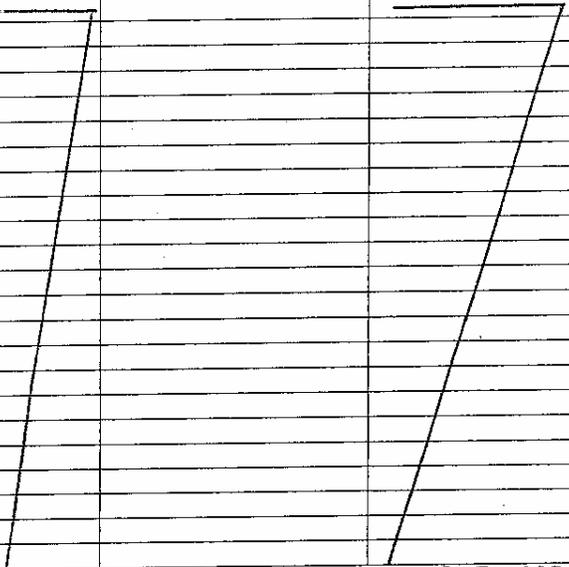
 <b>TECNIENSAYOS LTDA.</b>	CLIENTE	HB	LUGAR	BOGOTA	FECHA	21-11-2003	
	PROYECTO	PROBETAS OBRA 2927					
	FRENTE DE TRABAJO	CALIFICACION PROCEDIMIENTOS					
	EQUIPO	Ir 192	RAYOS GAMMA	ACTIVIDAD	59 Ci	RAYOS X	—
INFORME No.	02	PELICULA TIPO II	ST D7	MATERIAL	B-C	ESPESOR	40 mm
HOJA	1 DE 1	PROCEDIMIENTO RADIOGRAFICO	TC-P-DT-01			DIAMETRO	—
No. DE EXPOSICIONES	4	TECNICA DE EXPOSICION	EPS	DISTANCIA FUENTE PLACA	30"		
No. DE PLACAS	4	INTERPRETACION	U.L.S	TIEMPO DE EXPOSICION	10 min.		
No. JUNTAS	2	NORMA DE INTERPRETACION	AWS D1.5	INDICADOR DE CALIDAD	No. 1B ASTM TIPO HILOS		
	JUNTA	PELICULA	INTERPRETACION	CALIFICACION	OBSERVACIONES		
			1-2-A-9-HB-7J-S AW-1G W:(W-T)				
		0-1		OK			
		1-2		OK			
			1-2-M20-HB-2G-SMAW W(87-90)				
		0-1		OK			
		1-2		OK			
DEFECTOS DE SOLDADURA 4 PLACAS DE 16" X 70mm							
CI. CONCAVIDAD INTERNA		FT. FISURA TRANSVERSAL		PAG. POROSIDAD AGRUPADA			
CIR. CORDON IRREGULAR		HL. DESALINEAMIENTO		PT. PORO TUNEL			
EA. ESCORIA ALINEADA		IA. INDICACION ALARGADA		PV. PORO VERMICULAR			
F.F. FALTA DE FUSION		IE. INCLUSION DE ESCORIA		Q. QUEMON			
FL. FISURAS LONGITUDINALES		IR. INDICACION REDONDEADA		SE. SOCAVADO EXTERNO			
FR. FALTA DE PENETRACION		PA. POROSIDAD AISLADA		SI. SOCAVADO INTERNO			
POR TECNIENSAYOS LTDA.		CLIENTE		OTROS			
TECNICO NIVEL II		NOMBRE		NOMBRE			
NOMBRE <u>ALVARO HIGUERA A.</u>		NOMBRE <u>ALVARO A. Caceres</u>		NOMBRE			
FIRMA <u>[Firma]</u>		FIRMA <u>[Firma]</u>		FIRMA			
FECHA <u>21/11/03</u>		FECHA <u>27/11/03</u>		FECHA			

TF-PO-F-006

 <b>TECNIENSAYOS LTDA.</b>	CLIENTE HB	LUGAR BOGOTA	FECHA 15-12-2003		
	PROYECTO FRENTE DE TRABAJO	CALIFICACION PROCEDIMIENTO OBRA 2927			
	EQUIPO Ir 192	RAYOS GAMMA ACTIVIDAD 8	RAYOS X Kv. - mA -		
	INFORME No. 04	PELICULA TIPO II SI D7	MATERIAL A.C.	ESPESOR 1"	
HOJA 1 DE 1	PROCEDIMIENTO RADIOGRAFICO TE-P-DT-01		DIAMETRO -		
No. DE EXPOSICIONES 2	TECNICA DE EXPOSICION E.P.S	DISTANCIA FUENTE PLACA 28"			
No. DE PLACAS 2	No. JUNTAS 1	NORMA DE INTERPRETACION AWS D1.5	TIEMPO DE EXPOSICION 2.50 minutos		
		INDICADOR DE CALIDAD No. 1B ASTM TIPO HILOS			
	JUNTA	PELICULA	INTERPRETACION	CALIFICACION	OBSERVACIONES
			1-2-M-19-HB69 SMAW	W:EM 3G	
		0-1		OK	
		1-2		OK	
<b>DEFECTOS DE SOLDADURA 2 PLACAS DE 16" x 70 mm</b>					
CI. CONCAVIDAD INTERNA	FT. FISURA TRANSVERSAL	PAG. POROSIDAD AGRUPADA			
CIR. CORDON IRREGULAR	HL. DESALINEAMIENTO	PT. PORO TUNEL			
EA. ESCORIA ALINEADA	IA. INDICACION ALARGADA	PV. PORO VERMICULAR			
FF. FALTA DE FUSION	IE. INCLUSION DE ESCORIA	Q. QUEMON			
FL. FISURAS LONGITUDINALES	IR. INDICACION REDONDEADA	SE. SOCAVADO EXTERNO			
FR. FALTA DE PENETRACION	PA. POROSIDAD AISLADA	SI. SOCAVADO INTERNO			
POR TECNIENSAYOS LTDA.		CLIENTE		OTROS	
TECNICO NIVEL II		NOMBRE		NOMBRE	
NOMBRE <u>Cristobal Castillo</u>		NOMBRE <u>Alvaro f. Oviedo</u>		NOMBRE _____	
FIRMA <u>[Signature]</u>		FIRMA <u>[Signature]</u>		FIRMA _____	
FECHA <u>15-DIC-2003</u>		FECHA <u>18 Dic 03</u>		FECHA _____	

TE-PO-F-006

Forma 02

 <b>TECNIENSAYOS LTDA.</b>	CLIENTE	HB		LUGAR	BOGOTA		FECHA	14-12-2003			
	PROYECTO	CALIFICACION		PROCEDIMIENTO							
	FRENTE DE TRABAJO	OBRA 2927									
	EQUIPO	Tr 192		RAYOS GAMMA	ACTIVIDAD		RAYOS X		Kv. - ma -		
INFORME No.	03		PELICULA TIPO II	ST D7		MATERIAL	A.C.		ESPESOR	1"	
HOJA	1 DE 1		PROCEDIMIENTO RADIOGRAFICO	TE-P-DT-01		DIAMETRO					
No. DE EXPOSICIONES	2		TECNICA DE EXPOSICION	EPS		DISTANCIA FUENTE PLACA	28"				
No. DE PLACAS	2		INTERPRETACION	V.L.S		TIEMPO DE EXPOSICION	2.30 minutos				
No. JUNTAS	1		NORMA DE INTERPRETACION	AWS D.1.5		INDICADOR DE CALIDAD	No. 1B ASTM		TIPO HILOS		
JUNTA			PELICULA	INTERPRETACION	CALIFICACION	OBSERVACIONES					
				1-2-A-10-HB SAW	1G W:74						
			0-1		OK						
			1-2		OK						
											
<b>DEFECTOS DE SOLDADURA 2 PLACAS DE 16" x 70mm</b>											
CI. CONCAVIDAD INTERNA CIR. CORDON IRREGULAR EA. ESCORIA ALINEADA F.F. FALTA DE FUSION FL. FISURAS LONGITUDINALES FP. FALTA DE PENETRACION			FT. FISURA TRANSVERSAL HL. DESALINEAMIENTO IA. INDICACION ALARGADA IE. INCLUSION DE ESCORIA IR. INDICACION REDONDEADA PA. POROSIDAD AISLADA			PAG. POROSIDAD AGRUPADA PT. PORO TUNEL PV. PORO VERMICULAR Q. QUEMON SE. SOCAVADO EXTERNO SI. SOCAVADO INTERNO					
POR TECNIENSAYOS LTDA. TECNICO NIVEL II NOMBRE <u>Cristobal Castillo</u> FIRMA <u>[Signature]</u> FECHA <u>14-DIC-2003</u>			CLIENTE NOMBRE <u>Alina A. Cordero</u> FIRMA <u>[Signature]</u> FECHA <u>16 Dic 2003</u>			OTROS NOMBRE _____ FIRMA _____ FECHA _____					

TE-PO-F-006

Forma 02

# ANEXO 5. TABLAS DE CONVERSIÓN DE DUREZAS PARA METALES

## ASTM E 140-88

 Designation: E 140 – 88

### Standard Hardness Conversion Tables for Metals<sup>1</sup>

RELATIONSHIP BETWEEN BRINELL HARDNESS,  
VICKERS HARDNESS, ROCKWELL HARDNESS, ROCKWELL  
SUPERFICIAL HARDNESS, AND KNOOP HARDNESS

This standard is issued under the fixed designation E 140; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense to replace method 241.2 of Federal Test Method Standard No. 151b. Consult the DoD Index of Specifications and Standards for the specific year of issue which has been adopted by the Department of Defense.

#### 1. Scope

1.1 These conversion tables present data on the relationship among Brinell hardness, Vickers hardness, Rockwell hardness, and Rockwell superficial hardness of:

1.1.1 *Carbon, Alloy, and Tool Steels* in the as-forged, annealed, normalized, and quenched and tempered conditions provided that they are homogeneous.

1.1.2 *Nickel and High-Nickel Alloys* (nickel content over 50 %). These hardness conversion relations are intended to apply particularly to the following: nickel-aluminum-silicon specimens finished to commercial mill standards for hardness testing, covering the entire range of these alloys from their annealed to their heavily cold-worked or age-hardened conditions, or both, including their intermediate conditions.

1.1.3 *Cartridge Brass*.

1.1.4 *Austenitic Stainless Steel Plate* in the annealed condition. Conversion between Rockwell hardness in the B scale and Brinell hardness only.

1.1.5 *Austenitic Stainless Steel Sheets*. Conversion between various Rockwell and Rockwell superficial hardness scales only.

1.1.6 *Copper*. Conversion data for Knoop hardness are included.

1.2 Knoop hardness numbers are given for soft non-austenitic steels (Table 2), nickel and high-nickel alloys (Table 3 supplement), and copper (Table 7).

1.3 Many of the conversion values presented herein were obtained from computer-generated curves of actual test data. Rockwell hardness numbers are presented to the nearest 0.1 or 0.5 hardness number to permit accurate reproduction of these curves. Since all converted hardness values must be considered approximate, however, all converted Rockwell hardness numbers shall be rounded to the nearest whole number in accordance with Practice E 29.

1.4 Conversion of hardness values should be used only when it is impossible to test the material under the conditions specified, and when conversion is made it should be done with discretion and under controlled conditions. Each type of hardness test is subject to certain errors, but if precautions are carefully observed, the reliability of hardness

readings made on instruments of the indentation type will be found comparable. Differences in sensitivity within the range of a given hardness scale (for example, Rockwell B) may be greater than between two different scales or types of instruments. The conversion values now in use are only approximate and may be inaccurate for specific application.

1.5 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard.

#### 2. Referenced Documents

##### 2.1 ASTM Standards:

E 10 Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials<sup>2</sup>

E 18 Test Method for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials<sup>2</sup>

E 29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specification<sup>3</sup>

E 92 Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials<sup>2</sup>

E 384 Test Method for Microhardness of Materials<sup>2</sup>

#### 3. Methods for Hardness Determinations

3.1 The hardness readings used with these conversion tables shall be determined in accordance with one of the following ASTM methods:

3.1.1 *Vickers Hardness*—Test Method E 92.

3.1.2 *Brinell Hardness*—Test Method E 10.

3.1.3 *Rockwell Hardness*—Test Method E 18 scales A, B, C, D, E, F, G, K, 15-N, 30-N, 45-N, 15-T, 30-T, 45-T.

3.1.4 *Knoop Hardness*—Test Method E 384.

#### 4. Apparatus and Reference Standards

4.1 The apparatus and reference standards shall conform to the description in Test Methods E 92, E 10, E 18, and E 384.

#### 5. Principle of Method of Conversion

5.1 Tests have proved that even the most reliable data cannot be fitted to a single conversion relationship for all metals. Indentation hardness is not a single fundamental property but a combination of properties, and the contribu-

<sup>1</sup> These conversion tables are under the jurisdiction of ASTM Committee E-28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28.06 on Indentation Hardness Testing.

Current edition approved Sept. 30, 1988. Published November 1988. Originally published as E 140 – 58. Last previous edition E 140 – 86.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

tion of each to the hardness number varies with the type of test. The modulus of elasticity has been shown to influence conversions at high hardness levels; and at low hardness levels conversions between hardness scales measuring depth and those measuring diameter are likewise influenced by differences in the modulus of elasticity. Therefore separate conversion tables are necessary for different materials.

NOTE 1—Hardness conversion values for other metals based on comparative test on similar materials having similar mechanical properties will be added to this standard as the need arises.

## 6. Significance and Use

6.1 Since the various types of hardness tests do not all measure the same combination of material properties, conversion from one hardness scale to another is only an approximate process. Because of the wide range of variation among different materials, it is not possible to state confidence limits for the errors in using a conversion chart. Even in the case of a table established for a single material, such as the table for cartridge brass, some error is involved depending on composition and methods of processing (see Appendix X1).

6.2 Because of their approximate nature, conversion tables must be regarded as only an estimate of comparative values. It is recommended that hardness conversions be applied primarily to values such as specification limits, which are established by agreement or mandate, and that the conversion of test data be avoided whenever possible.

## 7. Test Specimen

7.1 When more than one range of load is available for a given instrument, the largest load should be used that is consistent with the dimensions and nature of the specimen and with the maximum allowable size of impression for the indenter. The selection of the load and indenter should be in conformance with the requirements of the ASTM test

method, taking into account the thickness and hardness of the test material. The tests should be made on properly prepared specimens on flat surfaces only.

7.2 Specimens for determining Knoop hardness should be prepared as follows: Grind the surface through a sequence of 180, 240, 320, 400, and 600-grit silicon carbide papers and wet polish on a silk-covered wheel, using compounds of several grades of fineness,<sup>4</sup> followed by repeated alternate light etching (Note 3) and repolishing, ending with a final light etch. The surface of the specimen shall show a clearly defined microstructure free from disturbed metal. Care must be exercised to ensure that the top and bottom surfaces of the mounted specimen are parallel. In no case shall the departure from symmetry in the longitudinal direction of the indentation be greater than 5 filar microscope units.

NOTE 2—Recommended etchants consist of the following freshly-mixed solutions:

For Nickel, Monel, and "K" Monel(Ni-Cu)—50 parts of a 10 % solution of sodium cyanide (NaCN) in water and 50 parts of a 10 % solution of ammonium persulfate ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) in water. (Caution—Use with adequate ventilation and avoid contact with the bare skin.)

For Inconel and Inconel "X" (Ni-Cr-Fe)—3 parts of glycerin, 2 parts of concentrated hydrochloric acid (HCl, sp gr 1.19) and 1 part of concentrated nitric acid (HNO<sub>3</sub>, sp gr 1.42).

## 8. Reporting of Hardness Numbers<sup>5</sup>

8.1 When reporting converted hardness numbers the measured hardness and test scale shall be indicated in parentheses as in the following example:

353 HB (38 HRC)

<sup>4</sup> Linde A and B polishing compounds have been found satisfactory for this purpose.

<sup>5</sup> Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR: E28-1005.

TABLE 1. Approximate Hardness Conversion Numbers for Non-Austenitic Steels (Rockwell C to Other Hardness Numbers)

Rockwell C Hardness Number	Vickers Hardness Number	Brinell Hardness Number <sup>A</sup>		Knoop Hardness, 500-gf Load and Over	Rockwell Hardness Number		Rockwell Superficial Hardness Number			Scleroscope Hardness <sup>B</sup>	Rockwell C Hardness Number
		10-mm Standard Ball, 3000-kgf Load	10-mm Carbide Ball, 3000-kgf Load		A Scale, 60-kgf Load, Diamond Penetrator	D Scale, 100-kgf Load, Diamond Penetrator	15-N Scale, 15-kgf Load, Superficial Diamond Penetrator	30-N Scale, 30-kgf Load, Superficial Diamond Penetrator	45-N Scale, 45-kgf Load, Superficial Diamond Penetrator		
68	940	...	...	920	85.6	76.9	93.2	84.4	75.4	97.3	68
67	900	...	...	895	85.0	76.1	92.9	83.6	74.2	95.0	67
66	865	...	...	870	84.5	75.4	92.5	82.8	73.3	92.7	66
65	832	...	739	846	83.9	74.5	92.2	81.9	72.0	90.6	65
64	800	...	722	822	83.4	73.8	91.8	81.1	71.0	88.5	64
63	772	...	705	799	82.8	73.0	91.4	80.1	69.9	86.5	63
62	746	...	688	776	82.3	72.2	91.1	79.3	68.8	84.5	62
61	720	...	670	754	81.8	71.5	90.7	78.4	67.7	82.6	61
60	697	...	654	732	81.2	70.7	90.2	77.5	66.5	80.8	60
59	674	...	634	710	80.7	69.9	89.8	76.6	65.5	79.0	59
58	653	...	615	690	80.1	69.2	89.3	75.7	64.3	77.3	58
57	633	...	595	670	79.6	68.5	88.9	74.8	63.2	75.6	57
56	613	...	577	650	79.0	67.7	88.3	73.9	62.0	74.0	56
55	595	...	560	630	78.5	66.9	87.9	73.0	60.9	72.4	55
54	577	...	543	612	78.0	66.1	87.4	72.0	59.8	70.9	54
53	560	...	525	594	77.4	65.4	86.9	71.2	58.6	69.4	53
52	544	<b>500</b>	512	576	76.8	64.6	86.4	70.2	57.4	67.9	52
51	528	<b>487</b>	496	558	76.3	63.8	85.9	69.4	56.1	66.5	51
50	513	<b>475</b>	481	542	75.9	63.1	85.5	68.5	55.0	65.1	50
49	498	464	469	526	75.2	62.1	85.0	67.6	53.8	63.7	49
48	484	451	455	510	74.7	61.4	84.5	66.7	52.5	62.4	48
47	471	442	443	495	74.1	60.8	83.9	65.8	51.4	61.1	47
46	456	432	432	480	73.6	60.0	83.5	64.8	50.3	59.8	46
45	446	421	421	466	73.1	59.2	83.0	64.0	49.0	58.5	45
44	434	409	409	452	72.5	58.5	82.5	63.1	47.8	57.3	44
43	423	400	400	438	72.0	57.7	82.0	62.2	46.7	56.1	43
42	412	390	390	426	71.5	56.9	81.5	61.3	45.5	54.9	42
41	402	381	381	414	70.9	56.2	80.9	60.4	44.3	53.7	41
40	392	371	371	402	70.4	55.4	80.4	59.5	43.1	52.6	40
39	382	362	362	391	69.9	54.6	79.9	58.6	41.9	51.5	39
38	372	353	353	380	69.4	53.8	79.4	57.7	40.8	50.4	38
37	363	344	344	370	68.9	53.1	78.8	56.8	39.6	49.3	37
36	354	336	336	360	68.4	52.3	78.3	55.9	38.4	48.2	36
35	345	327	327	351	67.9	51.5	77.7	55.0	37.2	47.1	35
34	336	319	319	342	67.4	50.8	77.2	54.2	36.1	46.1	34
33	327	311	311	334	66.8	50.0	76.6	53.3	34.9	45.1	33
32	318	301	301	326	66.3	49.2	76.1	52.1	33.7	44.1	32
31	310	294	294	318	65.8	48.4	75.6	51.3	32.5	43.1	31
30	302	286	286	311	65.3	47.7	75.0	50.4	31.3	42.2	30
29	294	279	279	304	64.8	47.0	74.5	49.5	30.1	41.3	29
28	286	271	271	297	64.3	46.1	73.9	48.6	28.9	40.4	28
27	279	264	264	290	63.8	45.2	73.3	47.7	27.8	39.5	27
26	272	258	258	284	63.3	44.6	72.8	46.8	26.7	38.7	26
25	266	253	253	278	62.8	43.8	72.2	45.9	25.5	37.8	25
24	260	247	247	272	62.4	43.1	71.7	45.0	24.3	37.0	24
23	254	243	243	266	62.0	42.1	71.0	44.0	23.1	36.2	23
22	248	237	237	261	61.5	41.6	70.5	43.2	22.0	35.5	22
21	243	231	231	256	61.0	40.9	69.9	42.3	20.7	34.8	21
20	238	226	226	251	60.5	40.1	69.4	41.5	19.6	34.2	20

<sup>A</sup> The Brinell hardness numbers in boldface type are outside the range recommended for Brinell hardness testing in 3.2.2 of Test Method E 10.  
<sup>B</sup> These Scleroscope hardness conversions are based on Vickers—Scleroscope hardness relationships developed from Vickers hardness data provided by the National Bureau of Standards for 13 steel reference blocks. Scleroscope hardness values obtained on these blocks by the Shore Instrument and Mfg. Co., Inc., the Roll Manufacturers Institute, and members of this institute, and also on hardness conversions previously published by the American Society for Metals and the Roll Manufacturers Institute.

TABLE 2 Approximate Hardness Conversion Numbers for Non-Austenitic Steels (Rockwell B to Other Hardness Numbers)

Rockwell B Scale, 100-kgf Load, 1/16-in. (1.588-mm) Ball	Vickers Hardness Number	Brinell Hardness, 3000-kgf Load, 10-mm Ball	Knoop Hardness, 500-g Load and Over	Rockwell A Scale, 60-kgf Load, Diamond Penetrator	Rockwell F Scale, 60-kgf Load, 1/16-in. (1.588-mm) Ball	Rockwell Superficial Hardness			Rockwell B Scale, 100-kgf Load, 1/16-in. (1.588-mm) Ball
						15-T Scale, 15-kgf Load, 1/16-in. (1.588-mm) Ball	30-T Scale, 30-kgf Load, 1/16-in. (1.588-mm) Ball	45-T Scale, 45-kgf Load, 1/16-in. (1.588-mm) Ball	
100	240	240	251	61.5	...	93.1	83.1	72.9	100
99	234	234	246	60.9	...	92.8	82.5	71.9	99
98	228	228	241	60.2	...	92.5	81.8	70.9	98
97	222	222	236	59.5	...	92.1	81.1	69.9	97
96	216	216	231	58.9	...	91.8	80.4	68.9	96
95	210	210	226	58.3	...	91.5	79.8	67.9	95
94	205	205	221	57.6	...	91.2	79.1	66.9	94
93	200	200	216	57.0	...	90.8	78.4	65.9	93
92	195	195	211	56.4	...	90.5	77.8	64.8	92
91	190	190	206	55.8	...	90.2	77.1	63.8	91
90	185	185	201	55.2	...	89.9	76.4	62.8	90
89	180	180	196	54.6	...	89.5	75.8	61.8	89
88	176	176	192	54.0	...	89.2	75.1	60.8	88
87	172	172	188	53.4	...	88.9	74.4	59.8	87
86	169	169	184	52.8	...	88.6	73.8	58.8	86
85	165	165	180	52.3	...	88.2	73.1	57.8	85
84	162	162	176	51.7	...	87.9	72.4	56.8	84
83	159	159	173	51.1	...	87.6	71.8	55.8	83
82	156	156	170	50.6	...	87.3	71.1	54.8	82
81	153	153	167	50.0	...	86.9	70.4	53.8	81
80	150	150	164	49.5	...	86.6	69.7	52.8	80
79	147	147	161	48.9	...	86.3	69.1	51.8	79
78	144	144	158	48.4	...	86.0	68.4	50.8	78
77	141	141	155	47.9	...	85.6	67.7	49.8	77
76	139	139	152	47.3	...	85.3	67.1	48.8	76
75	137	137	150	46.8	99.6	85.0	66.4	47.8	75
74	135	135	147	46.3	99.1	84.7	65.7	46.8	74
73	132	132	145	45.7	98.5	84.3	65.1	45.8	73
72	130	130	143	45.3	98.0	84.0	64.4	44.8	72
71	127	127	141	44.8	97.4	83.7	63.7	43.8	71
70	125	125	139	44.3	96.8	83.4	63.1	42.8	70
69	123	123	137	43.8	96.2	83.0	62.4	41.8	69
68	121	121	135	43.3	95.6	82.7	61.7	40.8	68
67	119	119	133	42.8	95.1	82.4	61.0	39.8	67
66	117	117	131	42.3	94.5	82.1	60.4	38.7	66
65	116	116	129	41.8	93.9	81.8	59.7	37.7	65
64	114	114	127	41.4	93.4	81.4	59.0	36.7	64
63	112	112	125	40.9	92.8	81.1	58.4	35.7	63
62	110	110	124	40.4	92.2	80.8	57.7	34.7	62
61	108	108	122	40.0	91.7	80.5	57.0	33.7	61
60	107	107	120	39.5	91.1	80.1	56.4	32.7	60

TABLE 2 Continued

Rockwell B Scale, 100-kgf Load, 1/16-in. (1.588-mm) Ball	Vickers Hardness Number	Brinell Hardness, 3000-Kgf Load, 10-mm Ball	Knoop Hardness, 500-g Load and Over	Rockwell A Scale, 60-kgf Load, Diamond Penetrator	Rockwell F Scale, 60-kgf Load, 1/16-in. (1.588-mm) Ball	Rockwell Superficial Hardness			Rockwell B Scale, 100-kgf Load, 1/16-in. (1.588-mm) Ball
						15-T Scale, 15-kgf Load, 1/16-in. (1.588-mm) Ball	30-T Scale, 30-kgf Load, 1/16-in. (1.588-mm) Ball	45-T Scale, 45-kgf Load, 1/16-in. (1.588-mm) Ball	
59	106	106	118	39.0	90.5	79.8	55.7	31.7	59
58	104	104	117	38.6	90.0	79.5	55.0	30.7	58
57	103	103	115	38.1	89.4	79.2	54.4	29.7	57
56	101	101	114	37.7	88.8	78.6	53.7	28.7	56
55	100	100	112	37.2	88.2	78.5	53.0	27.7	55
54	...	...	111	36.8	87.7	78.2	52.4	26.7	54
53	...	...	110	36.3	87.1	77.9	51.7	25.7	53
52	...	...	109	35.9	86.5	77.5	51.0	24.7	52
51	...	...	108	35.5	86.0	77.2	50.3	23.7	51
50	...	...	107	35.0	85.4	76.9	49.7	22.7	50
49	...	...	106	34.6	84.8	76.6	49.0	21.7	49
48	...	...	105	34.1	84.3	76.2	48.3	20.7	48
47	...	...	104	33.7	83.7	75.9	47.7	19.7	47
46	...	...	103	33.3	83.1	75.6	47.0	18.7	46
45	...	...	102	32.9	82.6	75.3	46.3	17.7	45
44	...	...	101	32.4	82.0	74.9	45.7	16.7	44
43	...	...	100	32.0	81.4	74.6	45.0	15.7	43
42	...	...	99	31.6	80.8	74.3	44.3	14.7	42
41	...	...	98	31.2	80.3	74.0	43.7	13.6	41
40	...	...	97	30.7	79.7	73.6	43.0	12.6	40
39	...	...	96	30.3	79.1	73.3	42.3	11.6	39
38	...	...	95	29.9	78.6	73.0	41.6	10.6	38
37	...	...	94	29.5	78.0	72.7	41.0	9.6	37
36	...	...	93	29.1	77.4	72.3	40.3	8.6	36
35	...	...	92	28.7	76.9	72.0	39.6	7.6	35
34	...	...	91	28.2	76.3	71.7	39.0	6.6	34
33	...	...	90	27.8	75.7	71.4	38.3	5.6	33
32	...	...	89	27.4	75.2	71.0	37.6	4.6	32
31	...	...	88	27.0	74.6	70.7	37.0	3.6	31
30	...	...	87	26.6	74.0	70.4	36.3	2.6	30