



Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Buenos Aires



UTN.BA
ESCUELA DE
POSGRADO

TESIS

MAESTRÍA en INGENIERÍA en CALIDAD

"Aplicación de técnicas de gestión de la calidad para analizar la variación de parámetros en soldadura por proyección"

Alumno:
Ing. Antonio Javier Liguori

Director:
Mg. Ing. Ricardo Brunetti

CABA, 12/05/2022

TÍTULO

Aplicación de técnicas de gestión de la calidad para analizar la variación de parámetros en soldadura por proyección.

DEDICATORIA

A la memoria de mis Padres.

Dedico este trabajo a mi Esposa Laura y mis Hijos Rosario y Ramiro, por haberme apoyado incondicionalmente en esta hermosa locura de volver a estudiar a los (57) cincuenta y siete años.

Les agradezco a los Sres. Mariano Salvo, Martín Decker, Sebastián Molina, César Gonçalves, José Giachino, Hernán Alleva, Dario Lucero, Diego Bello y Gavino Bruce, que me ayudaron con la documentación técnica de las máquinas sobre las que realicé la investigación, pruebas de máquinas, ensayos de validación, mediciones, fabricación de dispositivos de control, traducciones, etc.

Le agradezco a la Empresa Industrias Guidi, que me haya permitido realizar la investigación de esta Tesis, en sus instalaciones industriales, en especial a la Licenciada Carolina Castro (Directora) y al Ing. Carlos Pan (Director Industrial).

Le agradezco al Ing. Ricardo Brunetti que haya aceptado ser mi Director de Tesis y mi brújula técnica y humana en este proyecto.

Un agradecimiento muy especial a mi Familia (Hermano, Cuñados, Primos y Sobrinos), mis Amigos de la infancia (Grupo Scout N° 109), del Don Bosco, de Cocoon, del Posgrado de Ingeniería en Calidad, Veteranos de Guerra (Batería B, Tecnológicos y Centro de Salud) y de los diferentes trabajos que tuve. Todos estuvieron presentes dándome una voz de aliento para desarrollar este trabajo.

Una vez más le agradezco a la Universidad Tecnológica Nacional, haber sido otra vez un refugio para poder desarrollarme como persona.

INDICE GENERAL

TÍTULO	2
DEDICATORIA.....	3
INDICE GENERAL.....	4
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNCICE DE FIGURAS	11
LISTA DE ABREVIATURAS	18
RESUMEN.....	19
ABSTRACT	19
INTRODUCCIÓN	21
CAPITULO I.....	27
La Soldadura en el pasado y en la actualidad.....	27
Naturaleza del trabajo.....	27
Soldadura por Resistencia	28
CAPITULO II	29
Proceso de soldadura por resistencia.....	29
Principios básicos de la soldadura por puntos.....	31
¿Cómo se produce un punto de soldadura?.....	34
Factores que intervienen en la formación de un punto de soldadura	41
La Energía Eléctrica	41
La presión en la soldadura.....	42
El seguimiento de la fusión	43
Los electrodos	44
Sistema de Refrigeración	52
¿Cómo tiene que ser y como se hace un punto de soldadura?	53
Aspectos y Características.....	53

Preparación de la máquina y detalles prácticos para obtener soldaduras aceptables	57
Recomendaciones para obtener buenos puntos de soldadura.....	61
Esfuerzo.....	61
Sistema de Refrigeración	62
Corriente.....	62
Situación de los puntos.....	63
Piezas.....	66
Electrodos.....	68
Validación del proceso de soldadura.....	69
CAPÍTULO III	71
Soldadura de partes salientes, por protuberancias o por proyección.....	71
Fundamentos de este tipo de soldadura.....	73
Ventajas y particularidades de la soldadura por proyección	78
Consumo de cobre.....	78
Realización simultánea de soldaduras.....	78
Calidad	79
Aplicabilidad	79
Precisión.....	80
Materiales Aplicables.....	80
Costos	81
Formas de la Protuberancias	82
Preparación de un proceso de soldadura por proyección	84
Detalles prácticos para obtener buenos resultados en la soldadura por proyección.....	90
Diferentes tipos de aplicaciones que se presentan en los procesos de producción. Soldadura de tuercas, tornillos y bulones.....	91
Soldadura de tuercas.....	91
Soldadura de tornillos.....	96

Particularidades de este tipo de soldaduras	97
CAPITULO IV	101
Estado del Arte	101
Máquinas de soldar tornillos por proyección	101
Máquina de soldar tuercas por proyección.....	103
CAPÍTULO V	111
Desarrollo de la Investigación.....	111
Soldadura de tuercas por proyección	111
Características de los materiales sobre los que se aplican las tuercas soldadas por proyección.....	117
Soldadura de tornillos por proyección. Características.....	123
CAPÍTULO VI.....	131
Pruebas de soldadura.....	131
Soldadura de tuercas por proyección	131
Soldadura de tornillos por proyección	150
Ensayos de Validación	153
Estudios sobre tuercas.....	153
Estudios sobre tornillos	171
CAPITULO VII.....	181
CONCLUSIONES	181
Soldadura de Tuercas.....	181
Soldadura de tornillos.....	186
Conclusiones Finales.....	187
APÉNDICES / ANEXOS.....	188
Norma Toyota TSB1002G	188
Norma Toyota TSB1503G	191
Norma Toyota TSG3100G	195

Norma Toyota TSB1001G	202
Norma Toyota TSB1304G	205
Norma Toyota TSG3103G	208

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Combinación de metales similares y diferentes, soldables por resistencia	47
Tabla 2. Materiales de electrodos recomendados para la soldadura por puntos de materiales similares y diferentes, aplicando los métodos convencionales de soldadura por resistencia.	49
Tabla 3. Propiedades mecánicas del material de las tuercas sometidas a soldadura por proyección	115
Tabla 4. Composición química y tratamientos térmicos de las tuercas sometidas a soldadura por proyección.....	115
Tabla 5. Características mecánicas de las hojas de acero sobre las que se sueldan tuercas por proyección.....	119
Tabla 6. Características mecánicas de las hojas de acero sobre las que se sueldan tuercas por proyección.....	121
Tabla 7. Parámetros adoptados para la soldadura de una tuerca de rosca M6 sobre diferentes hojas de acero.....	121
Tabla 8. Parámetros orientativos para aplicar en soldadura de tuercas por proyección sobre diferentes espesores de hojas de acero.	122
Tabla 9. Propiedades Mecánicas del material del tornillo para soldar por proyección.....	126
Tabla 10. Valores de carga de tracción para tornillos soldados por proyección	127
Tabla 11. Propiedades Mecánicas de las hojas de acero de baja aleación de carbono con protección superficial de electrocincado.....	128
Tabla 12. Parámetros orientativos para aplicar en soldadura de tornillos por proyección en diferentes espesores de hojas de acero.	129
Tabla 13. Parámetros leídos durante la primer prueba piloto de tuercas soldadas por proyección con nuevos parámetros.....	132
Tabla 14. Valores de rotura por tracción y torque de una tuerca soldada por proyección. (Valores de referencia).....	134
Tabla 15. Valores de la carga aplicada para lograr el desprendimiento de las tuercas por tracción	149

Tabla 16. Cargas de Rotura por tracción. Tuercas soldadas en condiciones actuales de parámetros y método de trabajo (1° Parte). Datos obtenidos por el Tesista como parte de su investigación. ...	156
Tabla 17. Cargas de Rotura por tracción. Tuercas soldadas en condiciones actuales de parámetros y método de trabajo (2° Parte). Datos obtenidos por el Tesista como parte de su investigación. ...	156
Tabla 18. Cargas de Rotura por tracción. Tuercas soldadas con nuevas condiciones de parámetros y método de trabajo (1° Parte). Datos obtenidos por el Tesista como parte de su investigación.	157
Tabla 19. Cargas de Rotura por tracción. Tuercas soldadas con nuevas condiciones de parámetros y método de trabajo (2° Parte). Datos obtenidos por el Tesista como parte de su investigación.	157
Tabla 20. Cada muestra con sus correspondientes valores de rotura por tracción expresados en Kg y Newtons. Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.....	158
Tabla 21. Cada muestra con sus correspondientes valores de rotura por tracción expresados en Kg y Newtons. Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.....	158
Tabla 22. Cada muestra con sus correspondientes valores de rotura por tracción expresados en Kg y Newtons. Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.....	158
Tabla 23. Cada muestra con sus correspondientes valores de rotura por tracción expresados en Kg y Newtons. Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.....	158
Tabla 24. Tabla con valores de Rango Medio, con sus correspondientes bandas de confianza. Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.....	159
Tabla 25. Tabla con valores de Rango Medio, con sus correspondientes bandas de confianza. Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.....	159
Tabla 26. Tabla con valores de Rango Medio, con sus correspondientes bandas de confianza. Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.....	160
Tabla 27. Tabla con valores de Rango Medio, con sus correspondientes bandas de confianza. Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.....	160
Tabla 28. Matriz fraccionaria diseñada para realizar el experimento.	167
Tabla 29. Resultados obtenidos en los ensayos de rotura por tracción de los diferentes niveles de combinación de parámetros. Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.	168
Tabla 30. Sumatoria de cuadrados de los factores y sus combinaciones.	169

Tabla 31. Sumatoria de cuadrados ordenados de mayor a menor.....	169
Tabla 32. Desarrollo del método del pooling up (1° parte).....	169
Tabla 33. Desarrollo del método del pooling up (2° parte).....	170
Tabla 34. Desarrollo del método del pooling up (3° parte).....	170
Tabla 35. Desarrollo del método del pooling up (4° parte).....	171
Tabla 36. Valores de rotura por torsión, expresados en Kgm y Nm (Situación con parámetros actuales). Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.	172
Tabla 37. Valores de rotura por torsión, expresados en Kgm y Nm (Situación con parámetros propuestos), Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.	172
Tabla 38. Tabla con valores del Rango Medio con sus respectivas bandas de confianza. Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.	173
Tabla 39. Tabla con valores del Rango Medio con sus respectivas bandas de confianza. Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.	173
Tabla 40. Matriz fraccionaria diseñada para realizar el experimento.	177
Tabla 41. Valores de rotura por torsión de los diferentes niveles de combinación de parámetros. Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.	178
Tabla 42. Sumatoria de Cuadrados	178
Tabla 43. Tabla de sumatoria de cuadrados ordenada de mayor a menor	179
Tabla 44. Desarrollo del Proceso de pooling up	179

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diferentes tipos de tuercas y tornillos aptos para soldadura por proyección.....	21
Figura 2. Muestra esquemática de ensayo por tracción de una tuerca soldada por proyección....	23
Figura 3. Muestra esquemática de ensayo por torsión de tuerca soldada por proyección.	23
Figura 4. Esquema de máquina de soldadura por resistencia de corriente alterna monofásica. ...	29
Figura 5. a) Puntos más importantes de generación de calor en soldadura de puntos por resistencia. b) Efectos de la corriente de soldadura en el diámetro del botón fundido, la resistencia a la tensión y al corte, y la indentación del electrodo en la soldadura de puntos por resistencia.	30
Figura 6. Efectos de la geometría de las espiras del secundario en la generación de calor.	31
Figura 7. Tres formas diferentes de disponer la pieza de trabajo y los electrodos en la soldadura de puntos por resistencia.	32
Figura 8. A) Secuencia gráfica durante la ejecución de una soldadura de puntos. B) Trayectoria de la corriente de soldadura en una soldadura por puntos. C) Zona afectada por el calor en relación con el botón de soldadura.	32
Figura 9. Representación gráfica de diversos ciclos de soldadura de puntos por resistencia, en la que se muestra la relación del tiempo para cada segmento, y los valores relativos de la corriente de soldadura y la fuerza del electrodo para cada segmento.....	34
Figura 10. Pasaje de la corriente de soldadura a través de cinco diferentes resistencias generadoras de calor.....	35
Figura 11. Variación de la Resistencia R_p al aumentar la presión aplicada.	36
Figura 12. Variación de la temperatura del acero en función de la temperatura.....	36
Figura 13. Variación de la Resistencia R_c al aumentar la presión aplicada.....	37
Figura 14. Comportamiento dinámico de las resistencias durante la soldadura.	38
Figura 15. Representación gráfica de la desaparición de R_p al iniciarse la formación del nugget.	39
Figura 16. Curva de variación de la resistencia durante la soldadura.	39
Figura 17. Representación gráfica de la correcta ubicación del nugget cuando intervienen diferentes espesores. Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.	40

Figura 18. Representación gráfica de la ubicación de los nuggets cuando no se respeta la simetría de las resistencias intervinientes.	41
Figura 19. Detalle de la variación de fuerza entre electrodos.	43
Figura 20. Representación gráfica de la formación del nugget de soldadura.	44
Figura 21. Comportamiento de diferentes tipos de cobre frente a la variación de la temperatura.	50
Figura 22. Representación gráfica de los efectos de una correcta refrigeración al desarrollarse la soldadura.	50
Figura 23. Representación gráfica para una mejor interpretación de la fórmula empírica presentada.	51
Figura 24. Tipos de formas de cara o nariz de los electrodos.	52
Figura 25. Representación gráfica de diferentes posibilidades de realizar la refrigeración de los electrodos y sus consecuencias.	52
Figura 26. Un nugget correctamente realizado debe tener material fundido de ambos materiales intervinientes. Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.	54
Figura 27. Detalle de un ensayo destructivo realizado a dos hojas metálicas soldadas por resistencia.	54
Figura 28. Representación gráfica de un punto de soldadura correcto y uno defectuoso.	55
Figura 29. Separación entre hojas metálicas debido al empuje que produce el material al dilatarse. Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.	55
Figura 30. Detalle secuencial de la manera en que se forma un punto de soldadura.	56
Figura 31. Máquinas de soldadura por resistencia con brazos regulables.	57
Figura 32. Diagrama Longitud Brazos en relación con las carreras de trabajo y desgaste.	58
Figura 33. Gráfico de Flexión en función de la longitud del brazo de la máquina.	58
Figura 34. Comprobación del circuito de agua de refrigeración.	59
Figura 35. Imagen de los tableros de comando y accionamiento manual de una máquina de soldar por proyección. Gentileza de Industrias Guidi S.A.C.I.F. aportada al Tesista.	60
Figura 36. Vista en planta de una impronta profunda. Gentileza de Industrias Guidi aportada al Tesista.	62

Figura 37. Efecto de ubicar el punto de soldadura cerca del extremo de la hoja de acero.	63
Figura 38. Relación entre la ubicación del punto de soldadura y el borde de la hoja de metal. ...	64
Figura 39. Muestra gráfica de fuga de corriente debido a la cercanía de puntos de soldadura.	65
Figura 40. Guía práctica para definir la secuencia de realización de puntos de soldadura sucesivos.	65
Figura 41. Muestra gráfica de las consecuencias del mal contacto de los electrodos sobre las piezas a soldar.	66
Figura 42. Ejemplo de trabajo con parámetros de máquina para lograr pleno contacto de superficies.	67
Figura 43. Esquema gráfico de la variación de corriente para garantizar el hermanado de superficies. Aporte del Tesista.	68
Figura 44. Variaciones sobre los tipos básicos de partes salientes en la soldadura por proyección.	71
Figura 45. Ejemplos de tuercas y tornillos soldados por proyección.	72
Figura 46. Máquina típica combinada para soldadura por puntos y por proyección.	73
Figura 47. Diferentes casos de soldadura por proyección.	74
Figura 48. Secuencia de transformación de las protuberancias al ir desarrollándose el proceso de soldadura.	75
Figura 49. Posible defecto operativo al elegir mal los parámetros de operación.	75
Figura 50. Ejemplos de protuberancias especiales para hojas de acero con espesor mayor a 3 mm.	76
Figura 51. Esquema gráfico de la reubicación del material fundido en soldadura por proyección.	77
Figura 52. Diferentes ejemplos de ubicación de las protuberancias y su posterior soldadura.	77
Figura 53. Caso puntual de la conveniencia de soldadura por protuberancias por sobre la de puntos.	78
Figura 54. Caso particular de soldadura por proyección.	79
Figura 55. Ejemplo de un dispositivo de sujeción para ser usado en soldadura por proyección. .	80
Figura 56. Descripción gráfica de una unión defectuosa, en la que la lenteja no se ha formado. .	81

Figura 57. Diferentes casos de soldaduras artificiales.	82
Figura 58. Casos particulares de protuberancias “naturales” aptas para soldar por proyección. ...	83
Figura 59. Forma de tuercas y tornillos aptos para la soldadura por proyección.	83
Figura 60. Casos particulares de protuberancias naturales aptas para soldadura por proyección.	84
Figura 61. Casos particulares del uso de generatrices aptas para soldadura por proyección.	84
Figura 62. Prensa apta para procesos de soldadura por proyección.	85
Figura 63. Características de protuberancias en láminas metálicas, siempre del lado de la hoja de mayor espesor. Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.	86
Figura 64. Detalle constructivo de las mesas (inferior y superior) de una prensa apta para la soldadura por proyección.	87
Figura 65. Detalle del montaje de un dispositivo de soldadura por proyección en la mesa de la prensa.	88
Figura 66. Detalle gráfico de la posición de las protuberancias en relación al transformador.	91
Figura 67. Tuercas aptas para soldar por proyección con protuberancias o cuello centrador.	92
Figura 68. Piezas auxiliares que son pasibles de ser soldadas por proyección y ser tratadas como tuercas.	92
Figura 69. Vista anterior, posterior y lateral de un electrodo superior apto para soldadura por proyección.	93
Figura 70. Vista anterior, lateral y posterior de un electrodo inferior, apto para la soldadura por proyección. Gentileza de Industrias Guidi.	93
Figura 71. Vista lateral y anterior de un pin centrador de acero inoxidable.	94
Figura 72. Pines centradores para soldadura de tuerca con cuello centrador (a) y sin ellos (b). ..	94
Figura 73. Pin centrador retráctil mediante resorte y aislado para soldadura de tuerca con cuello centrador.	95
Figura 74. Pin centrador retráctil, con entrada de aire comprimido para refrigeración y expulsión de chispas.	95
Figura 75. Diferentes tipos de tornillos aptos para ser soldados por proyección.	96
Figura 76. Tornillo a ser soldado por proyección, alojado en el electrodo inferior.	96

Figura 77. Tornillo a ser soldado por proyección, alojado en el electrodo inferior.	97
Figura 78. Soldadura simultánea de tuercas por proyección.....	99
Figura 79. Máquina soldadora de tornillos. Vista lateral. Depósito de tornillos con bandeja rotatoria.....	102
Figura 80. Vista frontal de una máquina soldadora de tornillos.	103
Figura 81. Vista frontal de una máquina soldadora de tuercas por proyección. Gentileza Industrias Guidi	
Figura 82 Detalle de los electrodos Superior e Inferior junto al pin centrador. Gentileza de Industrias Guidi.....	104
Figura 83. Vista de la pieza ubicada en la máquina soldadora, con la tuerca enhebrada en el pin centrador.....	105
Figura 84. Doble botonera comando, para garantizar seguridad para el Operador, durante la soldadura.....	105
Figura 85. Vista Frontal de una máquina soldadora de tuercas con sistema de alimentación automático.....	106
Figura 86. Detalle del sistema de alimentación automático de tuercas.....	106
Figura 87. Vista lateral del depósito de tuercas ubicado en la parte posterior de la máquina. ...	107
Figura 88. Vista superior del depósito de tuercas con tambor rotativo.....	107
Figura 89. Pieza colocada y enhebrada en el pin centrador, previo al inicio del proceso de soldadura de la tuerca. Gentileza de Industrias Guidi.	108
Figura 90. Momento en el que la lanza del acomodador de tuercas deja la tuerca a soldar ubicada sobre el pin centrador.....	109
Figura 91. Momento en que el brazo superior está produciendo la soldadura de la tuerca.	109
Figura 92. Plano de Diseño de un subconjunto estampado con tuercas soldadas por proyección.	112
Figura 93. Plano de Diseño para una tuerca apta para soldadura por proyección.....	114
Figura 94. Principio del ensayo de Dureza Vickers.....	116
Figura 95. Expresión matemática para el cálculo de Dureza Vickers.....	117
Figura 96. Plano de Diseño de un subcojunto estampado con tornillos soldados por proyección.	124

Figura 97. Plano de Diseño para un tornillo apto para ser soldado por proyección.....	125
Figura 98. Esquema gráfico de la condición de ensayo por tracción de un tornillo soldado.	127
Figura 99. Vistas de una de las tuercas soldadas por proyección (anterior y posterior)	133
Figura 100. Vistas de las otras dos tuercas soldadas que conforman la pieza (anterior y posterior)	133
Figura 101. Vistas anterior y posterior de la piezas completa con las tuercas soldadas.	133
Figura 102. Torquímetro de quiebre, para uso en el sector productivo.	135
Figura 103. Calibrador de torquímetros de taller.	135
Figura 104. Torquímetro Digital. Para uso en Laboratorio o Sala de Metrología.	136
Figura 105. Certificado de calibración del Torquímetro Digital, emitido por un Laboratorio Acreditado (3 hojas).....	139
Figura 106. Vista en planta y lateral del componente a ensayar. El tornillo se encuentra enroscado en la tuerca a ser ensayada. Imágenes obtenidas por el Tesista como parte de su investigación.	140
Figura 107. Vista lateral y frontal de un buje espaciador.....	141
Figura 108. Ubicación del buje espaciador sobre la pieza a ensayar.	142
Figura 109. Ubicación de la pieza a ser ensayada sobre la celda de carga en la máquina de ensayo.....	142
Figura 110. Vista de la prensa hidráulica y su adaptación como máquina de ensayo.	143
Figura 111. Certificado de Calibración de la Celda de Carga (N° 300120-01 páginas 1 – 2)....	145
Figura 112. Certificado de Calibración de la Celda de Carga patrón (Tres hojas), con la que se calibró la celda de carga de la máquina de ensayo. Imágenes obtenidas por el Tesista como parte de su investigación.....	148
Figura 113. Vista posterior de una de las uniones sometidas al ensayo de tracción una vez realizado el mismo. Imagen obtenida por el Tesista como parte de su investigación.	149
Figura 114. Vista posterior de las otras dos uniones sometidas al ensayo de tracción una vez realizado el mismo. Imagen obtenida por el Tesista como parte de su investigación.	149

Figura 115. Vista cercana de una de las tuercas ensayadas por tracción (posterior), donde se aprecia la rotura de la hoja de acero. Imagen obtenida por el Tesista como parte de su investigación.	150
Figura 116. Vista cercana de una de las tuercas ensayadas por tracción (anterior), donde se aprecia la rotura de la hoja de acero. Imagen obtenida por el Tesista como parte de su investigación.	150
Figura 117. Vista frontal y lateral del tornillo soldado por proyección.	151
Figura 118. Vista posterior del tornillo soldado por proyección a la hoja de acero.....	151
Figura 119. Tornillo soldado por proyección y sometido a ensayo destructivo por torque.	152
Figura 120. Distribución de fallas de cada uno de los lotes elegidos.....	153
Figura 121. Diagrama de Weibull, donde se representan los valores expresados en la Tabla 24	161
Figura 122. Diagrama de Weibull, donde se representan los valores expresados en la Tabla 25	162
Figura 123. Diagrama de Weibull, donde se representan los valores expresados en la Tabla 26	163
Figura 124. Diagrama de Weibull, donde se representan los valores expresados en la Tabla 27	164
Figura 125. Diagrama de Weibull donde se expresan los valores de la Tabla N° 38	174
Figura 126. . Diagrama de Weibull donde se expresan los valores de la Tabla N° 39	175
Figura 127. Interpretación gráfica de los diferentes valores de β asociados al tipo de distribución.	183

LISTA DE ABREVIATURAS

PPM. Partes por Millón.

RESUMEN

El presente trabajo desarrollará los siguientes temas:

Hacer un análisis de las condiciones de soldadura por proyección de tuercas y tornillos de rosca M6 * 1, para diferentes espesores y materiales metálicos, en especial sobre hojas de acero de espesores menores a 0,8 mm. Se buscará establecer si existen condiciones de trabajo similares (parámetros de soldadura, electrodos o tips de soldadura, frecuencia de cambio de los mismos), y en tal caso si siguen una relación matemática con parámetros definidos en la bibliografía existente, para luego definir una racionalización de todos los datos precitados.

También se desarrollarán tablas comparativas donde figuren los parámetros de máquinas para todos los casos en estudio. Se verificará si es posible realizar una racionalización de los parámetros utilizados actualmente en la industria. Se planteará la hipótesis de trabajo y se procederá a su validación, detallando el método para lograrlo. Con las tablas establecidas, se desarrollarán propuestas de trabajo para diferentes casos que permitan diseñar procedimientos de soldadura alternativos a los vigentes, y cuyo objetivo sea racionalizar el uso de los parámetros de soldadura, determinar si alguno puede mantenerse fijo y solo variar uno o dos, de los tres que habitualmente se utilizan (presión de apriete, intensidad de corriente y tiempo de soldadura). Esto debe ser validado con ensayos de verificación de la soldadura de las tuercas y tornillos por su resistencia al torque o a la tracción, pudiendo ser los mismos de carácter destructivo o no destructivo.

La revalidación de los parámetros propuestos, se realizará a través del desarrollo de un estudio de Confiabilidad y de un diseño de experimentos que permita definir si tales cambios en los parámetros de las máquinas, tienen significancia o no.

Por último, se estudiará si existe una ley de variación de parámetros a medida que cambian los espesores o se modifican los tipos de materiales, o una correlación entre estas variables.

ABSTRACT

This searching job will develop the following topics.

Analyse the projection welding conditions of M6*1 threaded nuts and bolts, for different materials and sheet thicknesses, especially for thicknesses lower than 0.8 mm. It seeks to establish if there are similar working conditions (welding parameters, welding electrodes or tips, and their

changing frequency), and if so, if they follow a mathematical relationship with parameters defined in the current bibliography, which will then allow us to define a rationalization of all aforesaid data.

Development of comparative tables showing the machine parameters for all the cases under study. Verification of the possibility to rationalize the parameters currently used in the industry. Enunciation of the working hypothesis and proceed to validation, detailing the method to achieve it. With the established tables, prepare work proposals for different cases that allow the design of alternative welding procedures to the current ones, and whose objective is to rationalize the use of welding parameters, to see if anyone can be kept fixed and only vary one or two, from the three most commonly used (clamping pressure, current intensity and welding time). This must be validated with verification tests of the welding of the nuts and bolts for their resistance to the torque or traction tests, which may be either destructive or non-destructive.

The revalidation of the proposed parameters will be carried out through the development of a reliability study and experiments design that will allow defining whether such changes in the parameters of the machines are significant or not.

And finally, case study a variation law of parameters as material thicknesses change, or material types are modified or any correlation between them.

INTRODUCCIÓN

El trabajo de la presente tesis, propone describir y ampliar el conocimiento sobre validación de parámetros de soldadura en el proceso denominado soldadura de tuercas y tornillos por proyección. En la industria moderna y en la automotriz sobre todo, se ha desarrollado con mucha rapidez este tipo de proceso, ya que los diseñadores lo han incorporado por su alta expansión en todos los países, por la sencillez de su operación, por ser un proceso adaptable a las grandes producciones en serie y su alta confiabilidad en los resultados obtenidos.

La soldadura por resistencia (también llamada vulgarmente "soldadura de puntos"), es un proceso de unión entre dos o tres partes metálicas, que se logra manteniendo las mismas unidas por una cierta presión y haciendo circular a través de ellas una corriente eléctrica determinada a través de un determinado tiempo. Los elementos a través de los que se mantienen las hojas de acero presionadas, son los electrodos de cobre, que son parte de la máquina de soldadura, y es a través de ellos que circula la corriente, y se produce el punto de soldadura.

La soldadura por proyección de tuercas y tornillos (proceso derivado de la soldadura por resistencia), sigue el mismo principio físico. La diferencia entre ambos se basa en que las tuercas y tornillos, presentan un diseño especialmente preparado para este proceso de soldadura. Las mismas tienen una especie de protuberancias en sus extremos (Figura 1). Estos son los elementos que se fundirán en la hoja de acero al pasar una corriente eléctrica a través de ellas, cuando se mantiene una presión determinada entre los electrodos.

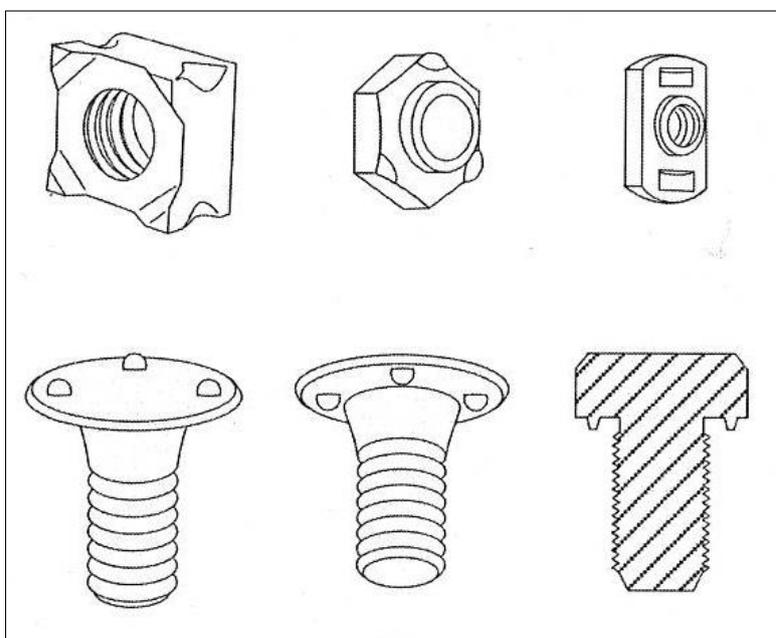


Figura 1. Diferentes tipos de tuercas y tornillos aptos para soldadura por proyección.

Para llevar adelante el proceso de soldadura por proyección de tuercas y tornillos, es necesario definir en la máquina de soldadura, tres parámetros que son los que rigen todo proceso de soldadura por resistencia. Ellos son la intensidad de corriente (medida en Kiloampere), la fuerza de cierre entre electrodos (medida en Newton) y el tiempo de pasaje de la corriente, medida en ciclos (1 ciclo = 1/60 segundo). Estos valores varían de acuerdo a los espesores de las hojas metálicas, el tipo de material, el material de las tuercas o tornillos, cantidad de protuberancias, y otras variables más. Su uso más común es sobre hojas de acero de bajo contenido de carbono, con espesores que varían entre 1 y 2,5 mm. Las tuercas suelen tener por lo general, tres o cuatro protuberancias. Los tornillos tienen también un diseño especial, pudiendo tener protuberancias puntuales y las denominadas anulares.

La bibliografía especializada en este tema (Horwitz 1997, Abad Bisbe 2002, Toyota Engineering Standard - TSB1503G 2007), trata lo relacionado con los parámetros de soldadura en este tipo de proceso, partiendo de espesores de hojas de acero de 0,7 mm de espesor hasta 5 mm, sin brindar una justificación racional acerca de los valores especificados. Solo sugiere que una vez adoptados los parámetros referidos para cada caso particular, se deben:

- Realizar sucesivas pruebas empíricas, para validar el uso de los mismos. Los valores sugeridos no pueden ser tomados como absolutos, dado que intervienen muchos factores (internos y externos) en la realización de una soldadura.
- Confirmar el uso de estos parámetros realizando sobre las tuercas o tornillos soldados, ensayos destructivos o no destructivos. Estos pueden ser de tracción o de torsión.
 - Los ensayos de tracción, se realizan aplicando una carga axial predeterminedada a la tuerca soldada, a través de un tornillo enroscado en ella (ver Figura 2). El ensayo de tracción se puede llevar a cabo en la máquina universal de ensayos. Si la tuerca se logra desprender sin haber alcanzado el valor de especificación, indicará que la soldadura de la misma fue defectuosa.
 - Los ensayos de torsión, se realizan aplicando un torque predeterminedado a la tuerca o tornillo soldado (ver Figura 3). Se efectúa a través de una herramienta llamada torquímetro de quiebre. Este elemento tiene la particularidad que se le puede regular el torque (en diferentes unidades de medida). Una vez prefijado el valor que deseamos alcanzar con el torquímetro, se comienza a aplicar el par de fuerzas sobre el elemento a ensayar. Cuando el mismo alcanza el valor

predeterminado, la herramienta impedirá que el torque continúe aumentando. Si la tuerca se logra desprender, sin haber alcanzado el valor de torque, indicará que la soldadura de la misma fue defectuosa.

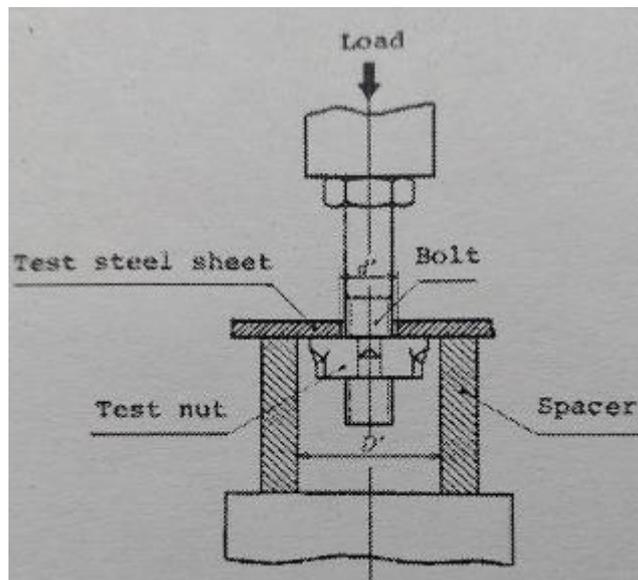


Figura 2. Muestra esquemática de ensayo por tracción de una tuerca soldada por proyección.

Toyota Engineering Standard. TSB1503G. Rev. # 9

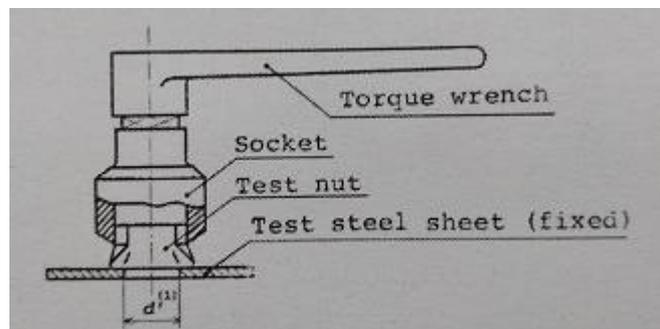


Figura 3. Muestra esquemática de ensayo por torsión de tuerca soldada por proyección.

Toyota Engineering Standard. TSB1503G. Rev. # 9

El concepto más importante sobre el que están basadas todas las experiencias relativas al establecimiento de los parámetros de soldadura por proyección es que se debe aplicar una alta intensidad de corriente, con una elevada fuerza de cierre entre electrodos, en un lapso de tiempo breve. Otros conceptos importantes son:

- Mantener alineados los electrodos (inferior y superior de la máquina de soldar).

- Que las fuerzas sean aplicadas de manera normal a la superficie de apoyo entre tuerca y electrodos.
- Que los contactos estén aislados de manera de no producir fuga de corriente.
- Que el circuito de refrigeración esté en óptimas condiciones de funcionamiento.

Hasta aquí se brinda un detalle de lo investigado a través de la bibliografía especializada. Este trabajo busca investigar a través de un estudio cualitativo, las siguientes cuestiones:

1. Definir parámetros de soldadura por proyección para tuercas y tornillos soldados sobre hojas de acero de bajo contenido de carbono (con o sin tratamiento superficial) con espesores inferiores a 0,7 mm. Este valor de espesor e inferiores, no fueron encontrados en la bibliografía consultada.

Validar los parámetros asignados en el punto anterior, utilizando técnicas de gestión de la calidad como ser el Diseño de Experimentos o un estudio de Confiabilidad. Esta propuesta de validación difiere de los métodos tradicionales de validación del proceso de soldadura, que solo se limita a la realización de ensayos destructivos. Con esto se proponen técnicas de validación de parámetros de soldadura, con sustento científico, brindado por diferentes herramientas de Gestión de la Calidad.

El primer punto, busca ampliar los valores de parámetros sugeridos, dado que es una práctica habitual en la industria automotriz, la utilización de hojas de acero con espesores inferiores a 0,7 mm, sobre los que se sueldan tuercas o tornillos (generalmente de rosca M6 x 1 o menores). Adicionalmente se buscará tratar de justificar, si la variación de espesores de las hojas de acero y los parámetros de soldadura, sigue alguna relación matemática en la unión de un mismo tipo de tuerca (Varían dos factores y uno queda fijo).

El segundo caso, propone la validación de los parámetros de soldadura a través de la utilización de técnicas de gestión de la Calidad como ser el Diseño de Experimentos o estudios de Confiabilidad. Para el Diseño de Experimentos, se trabajará realizando pruebas de soldadura sobre un mismo tipo de material y tuerca y diferentes niveles de parámetros (intensidad de corriente, fuerza de cierre entre los electrodos y ciclos), analizando luego, con los resultados de ensayos destructivos, que parámetros resultan ser significativos y cuáles no. Para el caso del estudio de Confiabilidad, se planteará un estudio a través del Método del Rango Mediano (Medium Rank), para verificar si con la mejora propuesta, se logra mejorar los resultados obtenidos en los ensayos destructivos por tracción.

Los mismos estudios se realizarán para soldadura de tornillos por proyección, sobre hojas de acero del mismo tipo y espesor.

Para concluir el presente trabajo, se puede establecer que los estudios de Confiabilidad realizados, resultan aptos para validar parámetros de soldadura. Lo único que añade a la actividad llevada a cabo habitualmente (ensayos de rotura), es la realización de un estudio de Rango Medio con los mismos valores obtenidos de los ensayos de tensión o torque de rotura obtenidos. Con ellos se construye un Diagrama de Weibull y se obtiene la recta de mejor ajuste, que tiene que tener una pendiente superior del valor de 3 (Ver Información detallada en el Capítulo VI)

CAPITULO I

La Soldadura en el pasado y en la actualidad

Dice la tradición que hace aproximadamente 2500 años, un herrero griego de Nombre Glaukos, que vivía en la ciudad de Khios, inventó la forma de soldar el hierro. Con el procedimiento de este herrero, se calentaban las piezas de hierro en un horno o forja hasta que se ablandaba el metal. Después, valiéndose del martilleo, se las fusionaba hasta convertirlas en una unidad.

En la antigüedad, los metales se unían por remachado o por soldadura mediante un procedimiento que no involucraba fusión, y en el que a menudo se utilizaba el oro como recurso para lograr la unión por soldadura. Esta práctica continuó así hasta principios del siglo XX, cuando la invención de modernos procedimientos de soldadura dio paso a medios de eficiencia creciente para unir placas o perfiles metálicos, piezas fundidas, piezas forjadas o piezas forjadas a piezas fundidas. La primera técnica en desarrollarse fue la soldadura de arco, a la que siguió rápidamente la soldadura oxiacetilénica. Estos primeros procedimientos de soldadura se utilizaron primordialmente para reparar partes metálicas dañadas o desgastadas. (Horwitz, 1997)

La soldadura moderna de los metales, al igual que la antigua por forjado, logra la unión de los metales por fusión. Sin embargo, con el desarrollo de la tecnología de la soldadura y el mejoramiento de los métodos de prueba, se observó que podía lograrse una fusión completa y permanente entre dos o más metales y que el área soldada tenía mayor resistencia que cualquiera de las piezas que se habían unido. Utilizando las técnicas y los materiales correctos, dos piezas de metal pueden soldarse para formar una sola unidad. Todos los metales son soldables siempre que se aplique el procedimiento y técnicas adecuadas. En ocasiones fracasa el intento de soldar metales porque se ha pasado por alto uno de estos dos factores claves. Esto pone de relieve la estrecha relación que existe entre la metalurgia de un metal y su soldabilidad. (Horwitz, 1997)

Naturaleza del trabajo

En general el trabajo del soldador o del operador de una máquina de soldar es el de unir dos piezas de metal, aplicando calor intenso, presión intensa, o ambas cosas para fundir los bordes del metal de forma tal que se unan por fusión en forma permanente. Durante este proceso, el operador puede utilizar diversos tipos de dispositivos para obtener el calor necesario, con o sin ayuda de presión, o bien la presión necesaria, con o sin ayuda de calor, para fundir los bordes del metal en forma controlada. Estos procedimientos de soldadura se utilizan en la manufactura y reparación de muchos productos diferentes, que van desde los grifos para agua, los refrigeradores, hasta partes de

automóviles y trenes, equipos electrónicos, aviones, barcos y proyectiles espaciales. (Horwitz, 1997)

En los procesos de soldadura más comunes, hay fuentes diferentes de calor y diversos métodos para controlarlo y enfocarlo. Se han desarrollado más de cuarenta procedimientos diferentes de soldadura basados en el calor. Sin embargo, estos diferentes procesos pueden agruparse en tres categorías: el proceso de soldadura por arco, que obtiene calor de un arco eléctrico y lo mantiene entre dos electrodos o entre un electrodo y la pieza de trabajo; el proceso de soldadura a gas, que obtiene el calor en forma de una llama, mediante la mezcla de oxígeno y algún otro gas combustible que generalmente es el acetileno; y el proceso de soldadura por resistencia, que obtiene el calor debido a la resistencia que ofrece la pieza de trabajo al paso de una corriente eléctrica. (Horwitz, 1997)

Soldadura por Resistencia

Soldar piezas de hierro, acero, sin aportación de material alguno, se viene realizando desde hace muchos siglos con el mismo proceso: calentando las zonas a unir hasta la temperatura de forja y aplicando una fuerte presión entre ellas. Solo han variado desde entonces las técnicas empleadas para ello; antes se daba calor mediante el fuego de una fragua y la presión a golpes de mazo y los resultados eran lo suficientemente buenos para que, por ejemplo, millones de carros con llantas de hierro soldadas así, hayan circulado por pésimos caminos durante siglos.

Ahora empleamos el procedimiento de soldadura por resistencia, donde el calentamiento se produce por el paso de una corriente eléctrica y la presión mediante dispositivos eléctricos, mecánicos, neumáticos o hidráulicos. Los avances técnicos en estos campos han permitido conseguir que el calor y la presión requeridos para una soldadura se puedan dosificar y programar para obtener soldaduras excelentes y con regularidad, gracias a la calidad de los procesos usados.

El bajo costo y los excelentes resultados que se obtienen con la soldadura por resistencia la convierten, hasta ahora, en el mejor y más económico procedimiento para la unión de piezas metálicas (Abad-Bisbe, 2002)

Algunos tipos de soldadura por resistencia, son la soldadura por puntos, la de resalto o salientes o por protuberancias, la de costura por rodamiento, la soldadura recalcada y la soldadura por percusión. (Horwitz, 1997)

CAPITULO II

Proceso de soldadura por resistencia

La soldadura por resistencia se realiza mediante un grupo de procesos en los cuales se genera el calor necesario para soldar, por la resistencia de las partes al paso de la corriente eléctrica. Difiere de los procesos de soldadura por fusión en que requiere, además del calor, la aplicación de presión mecánica para la unión de las partes por forjado. La presión refina la estructura de los cristales y produce una soldadura con propiedades físicas que en la mayoría de los casos, son iguales, y a veces superiores a las de metal base.

Los equipos de soldadura por resistencia se clasifican atendiendo a su funcionamiento eléctrico, como del tipo de energía directa o como de energía almacenada. El sistema eléctrico de una máquina monofásica de corriente alterna para soldadura por resistencia, está formada por transformadores, interruptor superior y circuito secundario, el cual incluye los electrodos. La energía eléctrica que se utiliza en los electrodos se toma directamente de una línea de fuerza motriz, igual que se toma el agua de la red de agua potable.

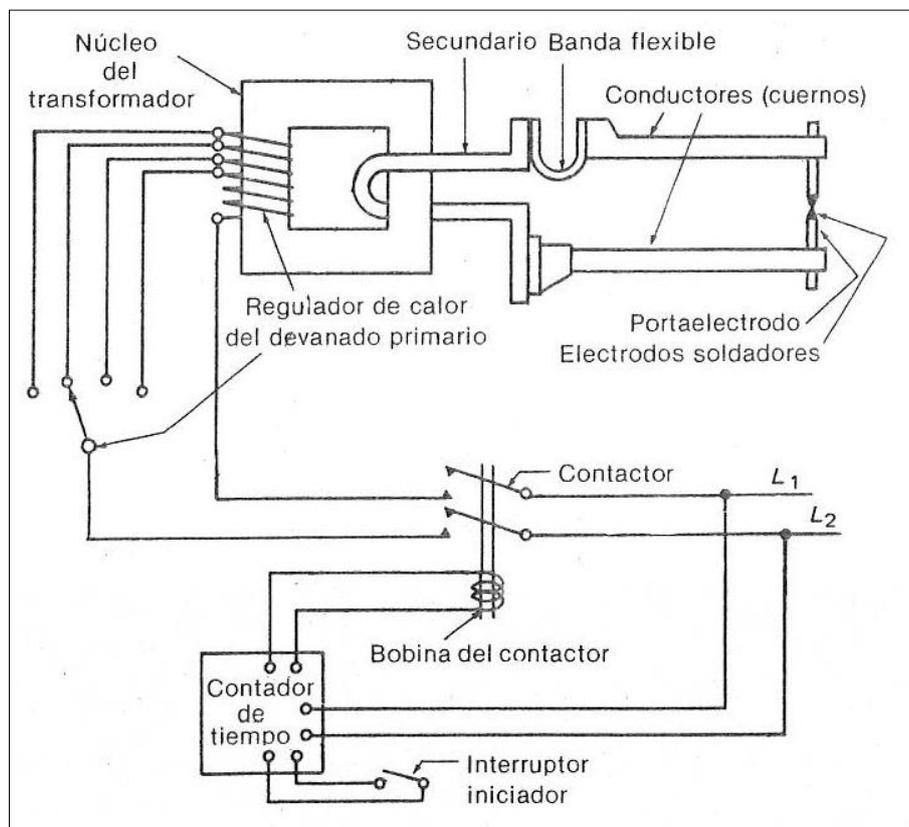


Figura 4. Esquema de máquina de soldadura por resistencia de corriente alterna monofásica.

Soldadura. Aplicaciones y Práctica. Horwitz 1997.

Debe disponerse además de la tensión suficiente en el sistema eléctrico para proporcionar la corriente que se requiere al objeto de producir suficiente calor y lograr una soldadura del tamaño requerido.

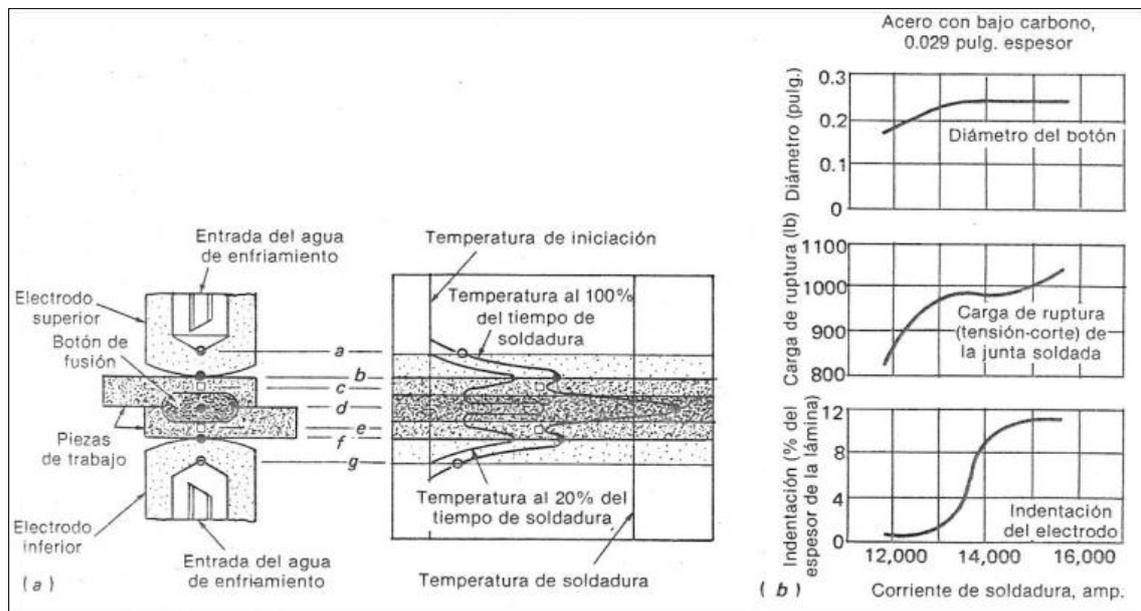


Figura 5. a) Puntos más importantes de generación de calor en soldadura de puntos por resistencia. b) Efectos de la corriente de soldadura en el diámetro del botón fundido, la resistencia a la tensión y al corte, y la indentación del electrodo en la soldadura de puntos por resistencia.

Soldadura. Aplicaciones y Práctica. Horwitz 1997.

La tensión necesaria para producir la corriente requerida, se determina por la geometría del devanado secundario, la conductividad del conductor que hay en el circuito y la resistencia de la pieza de trabajo. En algunas ocasiones se hace referencia a la tensión requerida llamándola voltaje del secundario en circuito abierto y cuando se lo multiplica por la corriente de trabajo, y se lo divide por 1000, da la potencia en KVA del transformador para soldadura.

$$P = \frac{V_s * I_t}{1000}$$

Donde:

V_s : Tensión del devanado del secundario, expresada en Volts (V)

I_t : Corriente de trabajo, expresada en Amperios (A)

P: Potencia del transformador, expresado en Kilovoltamperes (KVA)

1000: Factor de conversión

La abreviatura KVA se emplea en la industria de la soldadura por resistencia para expresar la capacidad de trabajo de la máquina de soldar, o ciclo de servicio. La capacidad de trabajo corresponde no solo a la magnitud de la soldadura que puede producir la máquina, sino también, con qué frecuencia puede producir tales soldaduras sin "quemar" (sacarlo de servicio) su transformador y otro equipo relacionado.

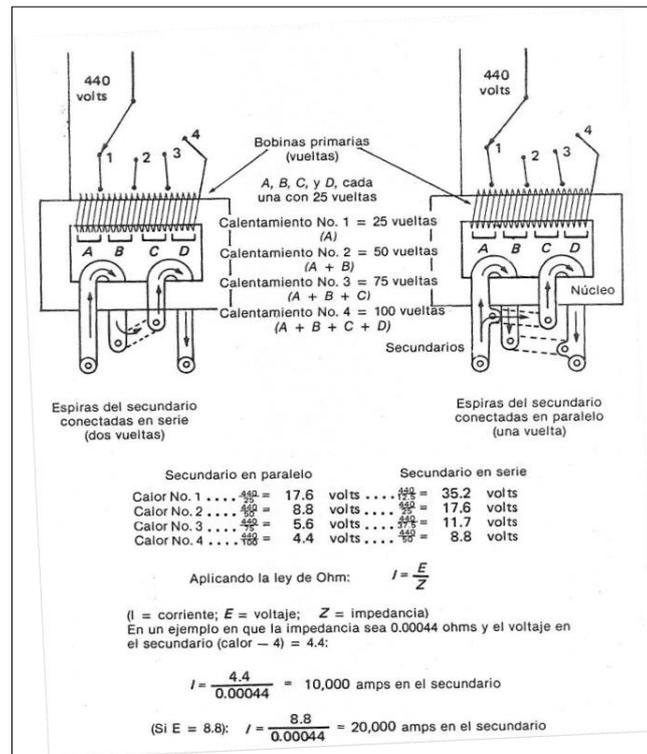


Figura 6. Efectos de la geometría de las espiras del secundario en la generación de calor.

Soldadura. Aplicaciones y Práctica. Horwitz 1997.

El ciclo de servicio de un transformador para soldadura por resistencia, se define como el porcentaje del tiempo, en cada período de un minuto, en que a través del transformador está realmente pasando corriente. Es práctica estándar clasificar los transformadores de soldadura por resistencia como de un ciclo de servicio del 50%. Esto significa que todas las máquinas de soldadura por resistencia (excepto las de soldadura por costura), pueden usarse a su capacidad máxima de KVA permanentemente, respetando la condición que sea durante 30 segundos de cada minuto. Esto no ocasionará un excesivo calentamiento del transformador. (Horwitz, 1997).

Principios básicos de la soldadura por puntos

La soldadura por puntos es la forma que más se aplica entre las de soldadura por resistencia. A continuación, se pueden observar tres variantes del proceso básico. En su aplicación más sencilla

[caso (a)], la soldadura por puntos consiste simplemente en prensar dos o más piezas de metal laminado entre dos electrodos de soldar, de cobre o de una aleación de cobre y pasar una corriente eléctrica de suficiente intensidad por las piezas, para dar lugar a su soldadura o unión. En la Figura 7 se pueden observar tres configuraciones diferentes de como disponer las piezas a soldar y los electrodos de cobre que producen la soldadura. Para los casos de las figuras b) y c), la plancha o mandril deben ser de cobre para facilitar la conductividad de la corriente. Queda claro que la disposición a) es la más utilizada y difundida.

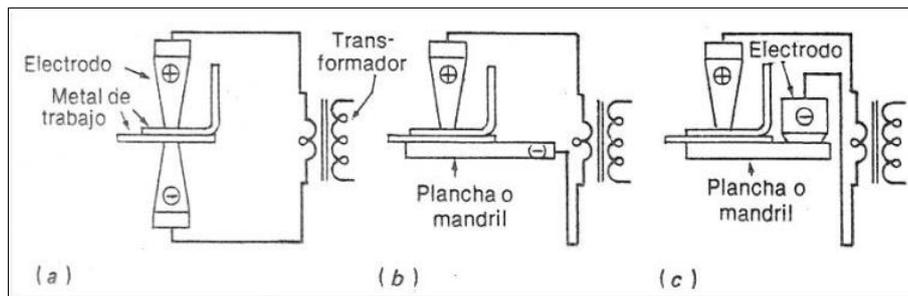


Figura 7. Tres formas diferentes de disponer la pieza de trabajo y los electrodos en la soldadura de puntos por resistencia.

Soldadura. Aplicaciones y Práctica. Horwitz 1997.

En la figura 8, que se detalla a continuación, se puede apreciar una secuencia gráfica de la ejecución de una soldadura por puntos, y el punto resultante.

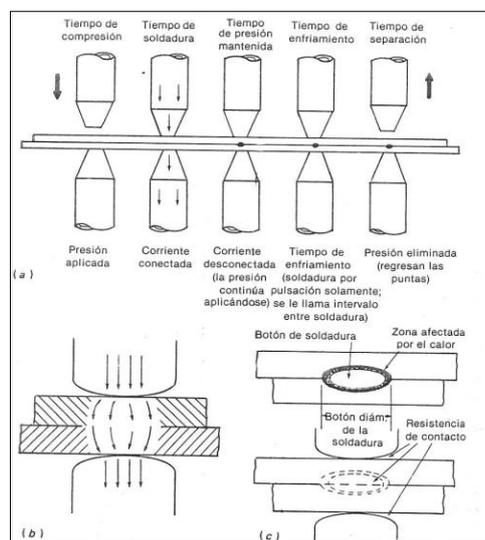


Figura 8. A) Secuencia gráfica durante la ejecución de una soldadura de puntos. B) Trayectoria de la corriente de soldadura en una soldadura por puntos. C) Zona afectada por el calor en relación con el botón de soldadura.

Soldadura. Aplicaciones y Práctica. Horwitz 1997.

La secuencia está formada por:

- Tiempo de compresión: Es el tiempo comprendido entre la aplicación inicial de la presión del electrodo sobre la pieza de trabajo, y la primera aplicación de la corriente al hacer soldaduras de puntos o de partes salientes.
- Tiempo de soldadura: Es el tiempo en el que pasa corriente de soldar a través de las partes que se estén uniendo, el cual se expresa ordinariamente en ciclos. Por ejemplo, al soldar un conjunto de 0,125 pulgada (3,175 mm) de espesor, de acero SAE 1010¹, con corriente de frecuencia de 60 Hz, el tiempo de soldadura es de 10 ciclos, o $10 \text{ ciclos} / 60 \text{ Hz} \text{ (ciclos} / \text{segundos)} = 1/6 \text{ segundo}$
- Tiempo de mantenimiento de la presión: Es el tiempo durante el cual se sigue aplicando presión en el puesto de soldadura, después de haber cesado el paso de la corriente de soldar. Este tiempo tiene por objeto permitir que se enfríe o endurezca la pequeña región plástica de soldadura, después de lo cual se suprime la presión y se retira la punta.

¹ SAE 1010.

- SAE: Society of Automotive Engineering.
- 1010
 - 1xxx: significa que es un acero al carbono.
 - 10xx: significa que se trata de un acero sin alea.
 - XX10: significa que el porcentaje de carbono puede variar entre 0,08 y 0,13%.

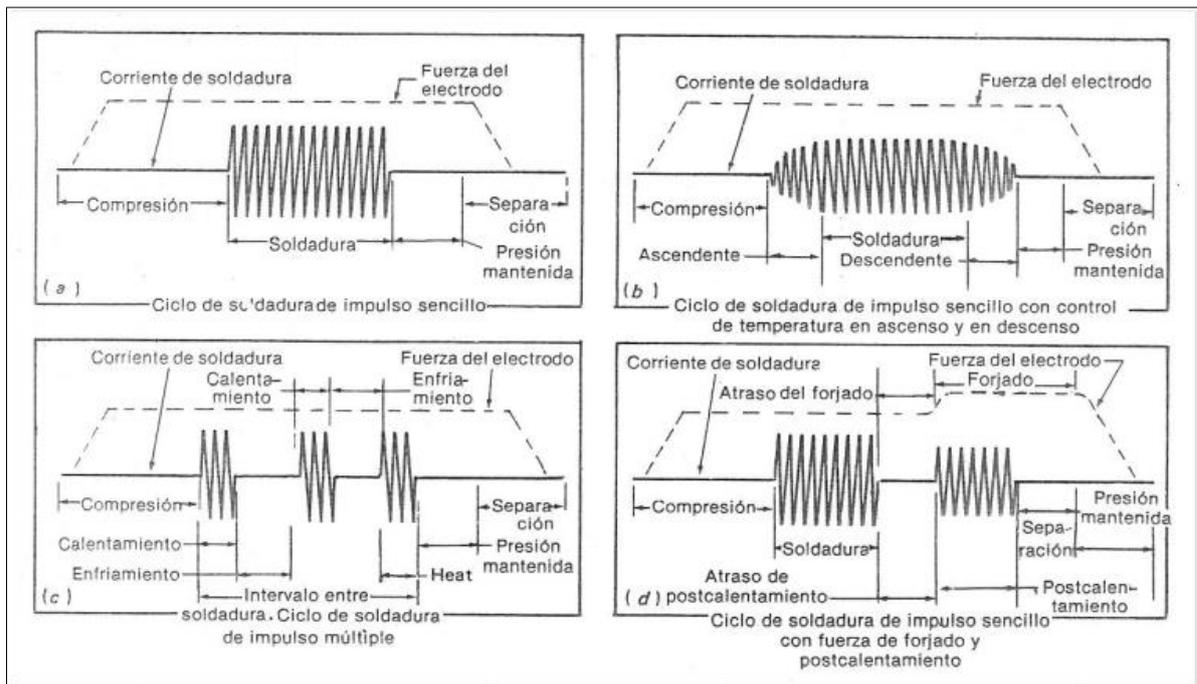


Figura 9. Representación gráfica de diversos ciclos de soldadura de puntos por resistencia, en la que se muestra la relación del tiempo para cada segmento, y los valores relativos de la corriente de soldadura y la fuerza del electrodo para cada segmento.

Soldadura. Aplicaciones y Práctica. Horwitz 1997.

Para hacer una soldadura con fuentes de corriente trifásica, algunos metales como el acero aleado, el magnesio y la aleación de Ni-Cr-Fe-Ti, requieren de varios impulsos de corriente, mientras los electrodos están aún cerrados. Esto se llama soldadura de varios impulsos o pulsaciones, cuando se la aplica al proceso de soldadura por puntos o de partes salientes, y de tiempos interrumpidos cuando se aplica al proceso de soldadura de costura (o por rodamiento). En la Figura 9, se muestra una representación gráfica de diversos ciclos de soldadura de puntos por resistencia, donde se observa la relación del tiempo para cada segmento, y los valores relativos de la corriente de soldadura y la fuerza del electrodo para cada segmento.

¿Cómo se produce un punto de soldadura?

El calor necesario para la unión de dos metales, se genera por la resistencia que ofrecen estos al paso de la corriente eléctrica bajo aplicación de presión.

El calor se genera por medio de una corriente eléctrica de baja tensión y elevada intensidad que se hace circular con la ayuda de sendos electrodos durante un corto espacio de tiempo, a través de la unión que se desea soldar. La fuerza mecánica se desarrolla a través de la presión ejercida sobre los electrodos antes, durante y después del instante en que circula la corriente de soldadura

Una corriente eléctrica (que medimos en amperios) circula desde un electrodo al otro, atravesando las hojas o láminas de chapa a ser soldadas. Estas últimas oponen resistencia al paso de la corriente eléctrica, por lo que disipan energía que se convierte en calor. Combinando esta energía calorífica con la aplicación concentrada de presión mecánica, es como se produce el punto de soldadura. El calor producido es directamente proporcional al valor de la resistencia y aumenta con el cuadrado de la intensidad, o sea, duplicando la resistencia, se duplica la cantidad de calor y duplicando la intensidad, se cuadruplicaría la cantidad de calor. Este cálculo es la aplicación de la ley de Joule, que se expresa con la siguiente fórmula.

$$E = R * I^2 * t$$

Donde:

E es la energía medidas en Joules (J)

R es la resistencia medida en Ohms (Ω)

I es la intensidad de corriente medida en amperios (A)

t es el tiempo medido en segundos (Seg.)

Cuando se inicia el proceso de soldadura, la corriente pasa a través de cinco resistencias generadoras de calor (Ver Figura 10).

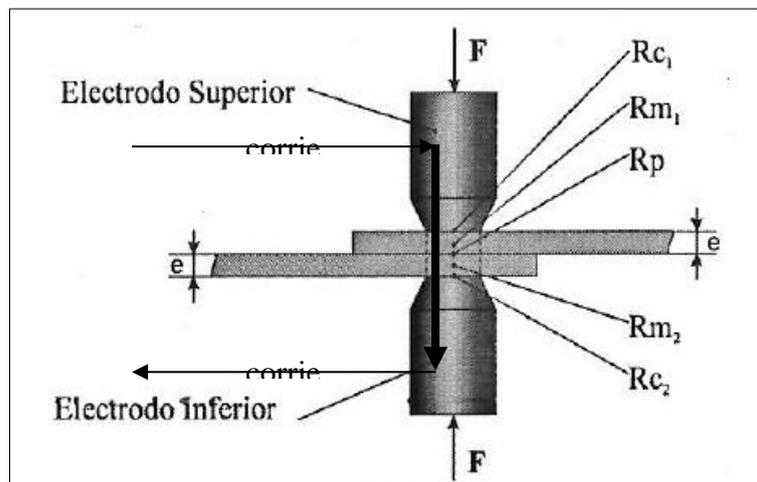


Figura 10. Pasaje de la corriente de soldadura a través de cinco diferentes resistencias generadoras de calor.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

R_p es la resistencia de contacto entre las piezas a soldar y donde convendría que se depositase toda la energía y el calor durante el proceso. El esfuerzo aplicado a la soldadura reduce su valor, ya

que con el comienzo del proceso de soldadura, los materiales en contacto comienzan su proceso de fusión, por lo que el esfuerzo entre las placas comienza a decrecer. (Ver figura 11)

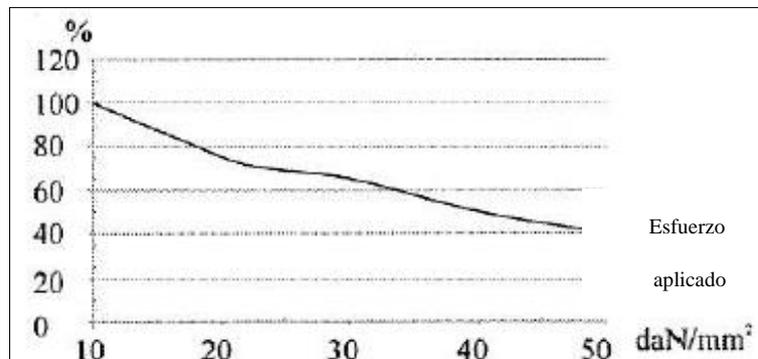


Figura 11. Variación de la Resistencia Rp al aumentar la presión aplicada.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

R_{m1} y R_{m2} son las resistencias propias del material a soldar y no podemos actuar sobre ellas. Al inicio del ciclo de la soldadura, tienen un pequeño valor, que luego se multiplica por aproximadamente 10, al aumentar la temperatura, generando un calor inevitable y necesario que poco después de iniciarse el proceso, será el principal componente del calor total aplicado a la soldadura (Ver figura 12).

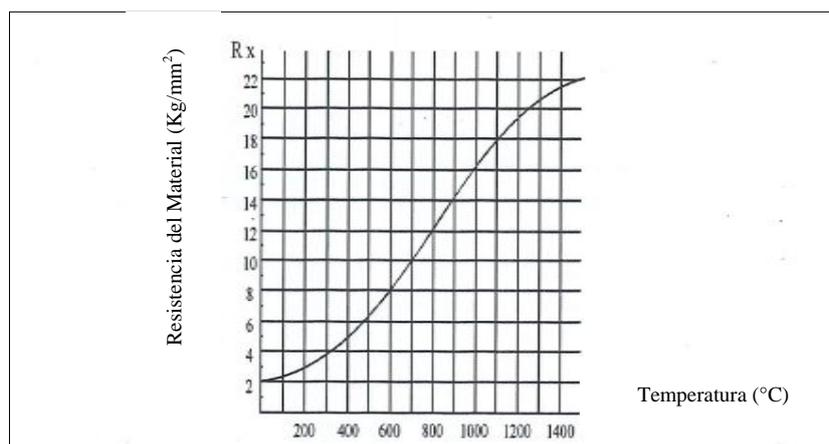


Figura 12. Variación de la temperatura del acero en función de la temperatura.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

R_{c1} y R_{c2} son las resistencias de contacto del electrodo con la pieza. La energía que se deposita en estas zonas debido a estas resistencias, es la principal causa de problemas. Reducir estas resistencias es primordial para alargar la vida de los electrodos y reducir las huellas en las superficies de las piezas. El esfuerzo aplicado a la soldadura reduce su valor en mayor proporción que el de la R_p (Ver figura 13).

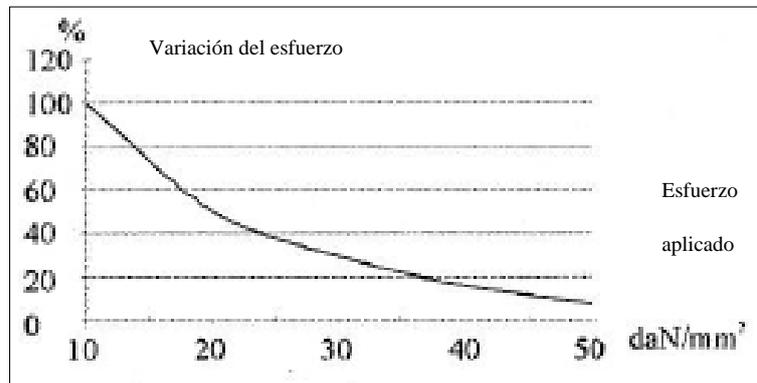


Figura 13. Variación de la Resistencia R_c al aumentar la presión aplicada.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002

Estas curvas son orientativas, pues variaciones en el material de la pieza, de los electrodos o variaciones en los estados superficiales de ambos, producen resultados diferentes (Ver figura 14).

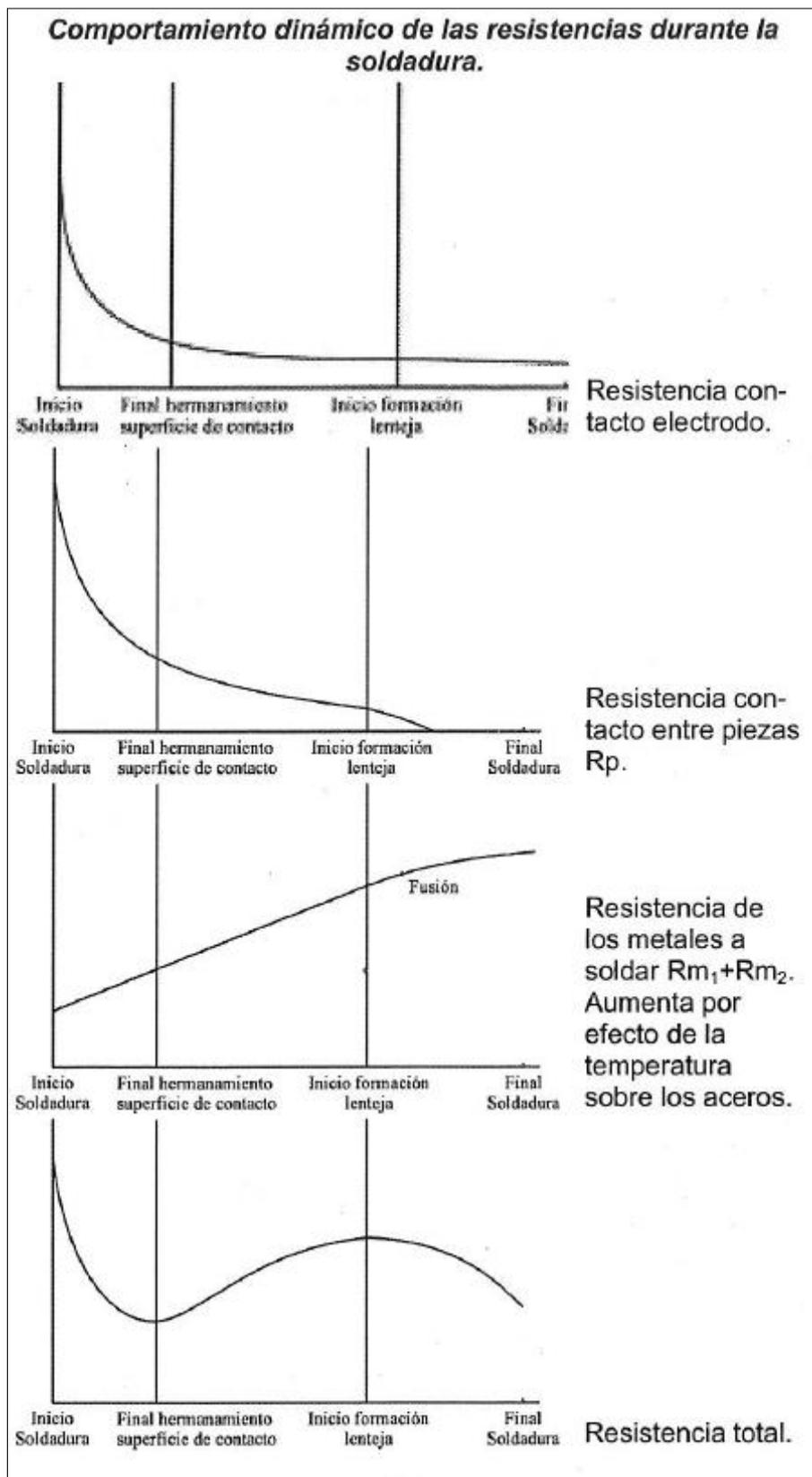


Figura 14. Comportamiento dinámico de las resistencias durante la soldadura.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Las magnitudes de todas estas resistencias eléctricas, varían en un proceso dinámico y continuo durante el tiempo que ocupa el proceso de soldadura y cada una de ellas lo hace por causa y proporciones diferentes, como por ejemplo la R_p , que desaparece al iniciarse la formación del nugget² (Ver figura 15), produciéndose el calor todavía necesario para la soldadura por la acción de las resistencias R_{m1} y R_{m2} ya convertidas en una sola, y el resto, inevitablemente, en las R_{c1} y R_{c2} cuyo valor ha disminuido al mejorar el contacto electrodo - pieza.

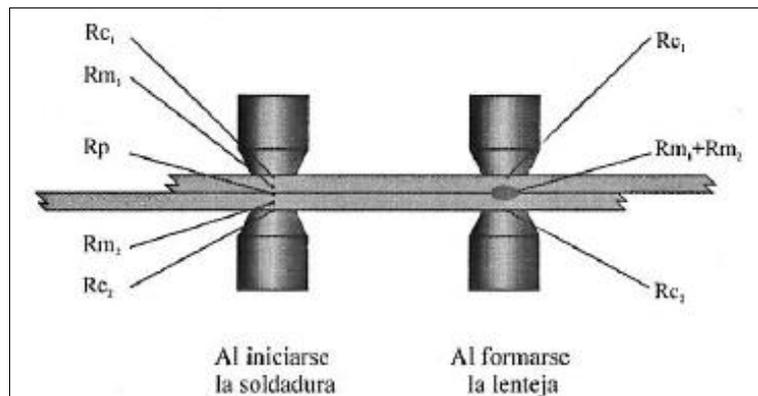


Figura 15. Representación gráfica de la desaparición de R_p al iniciarse la formación del nugget.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Una curva real de las variaciones de la resistencia durante la soldadura tomada mediante ordenador, confirma la realidad de estos procesos (Ver figura 16).

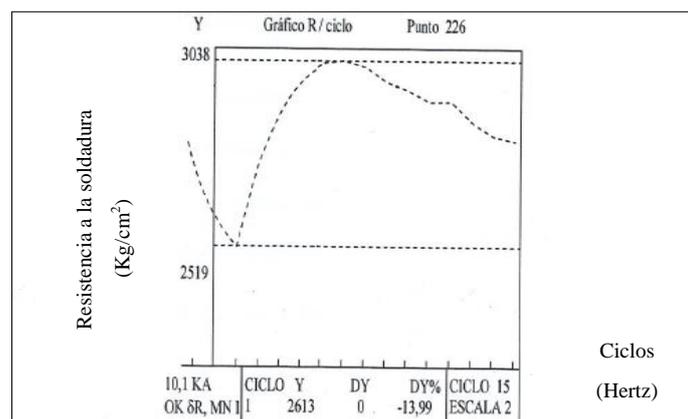


Figura 16. Curva de variación de la resistencia durante la soldadura.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

² Nugget: Pepita, también llamado "lenteja" por su aspecto, es la porción de material que surge de la fusión de ambos componentes en el lugar donde se localizó la concentración de corriente para producir el punto de soldadura.

Hasta ahora todo lo explicado ha partido de la premisa que el valor de las resistencias en juego, es simétrico respecto al plano de soldadura, pero para obtener una buena soldadura es preciso que el centro de calor, donde se produce la fusión y el nugget, coincida con la superficie de contacto de las piezas a soldar, y esto no siempre es así como en los casos, por ejemplo, de la soldadura de espesores diferentes, materiales de diferente conductibilidad eléctrica, o cuando nos vemos en la necesidad de utilizar electrodos con caras activas diferentes aunque los espesores de chapa sean iguales (Ver figuras 17 y 18).

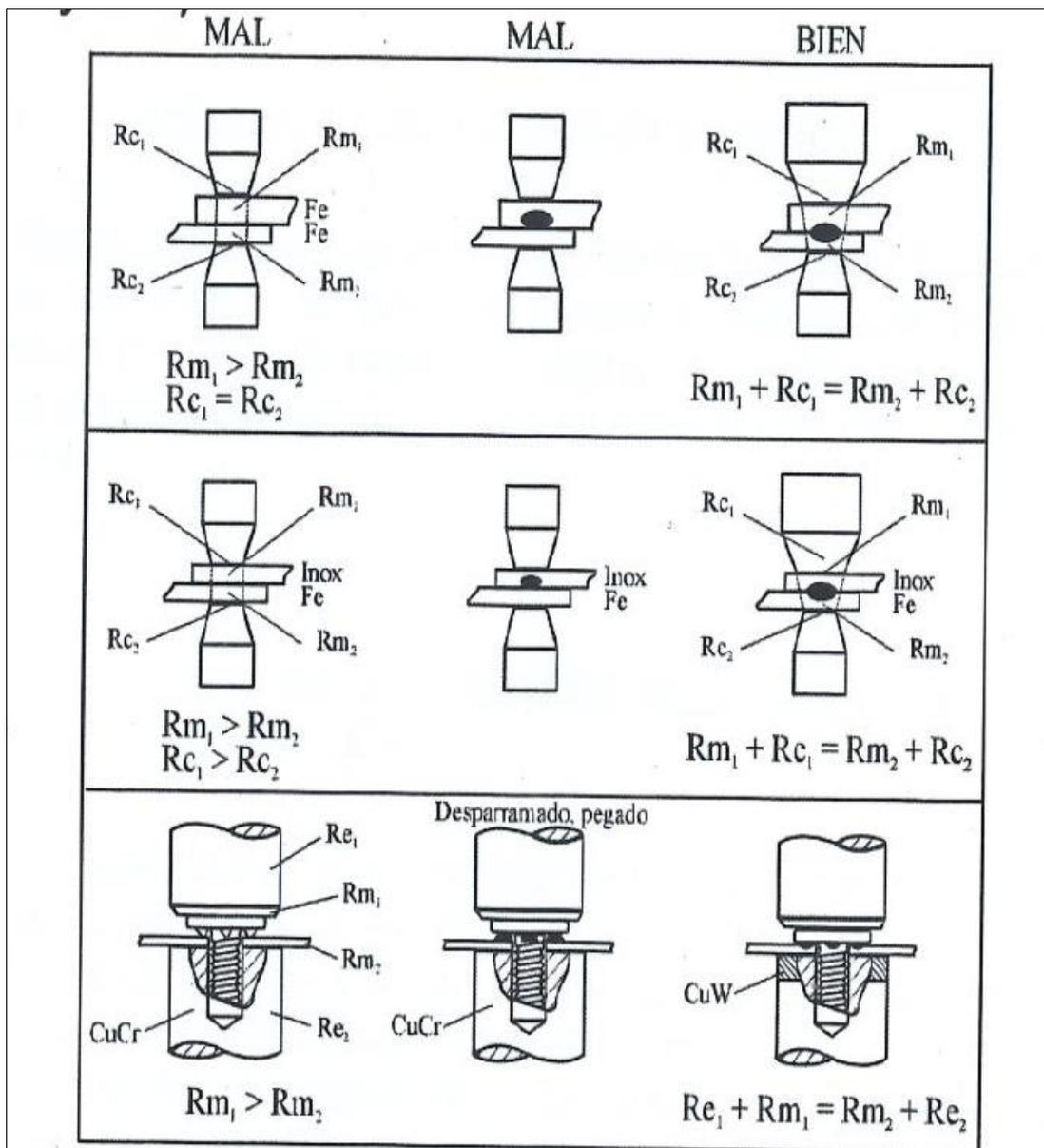


Figura 17. Representación gráfica de la correcta ubicación del nugget cuando intervienen diferentes espesores. Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

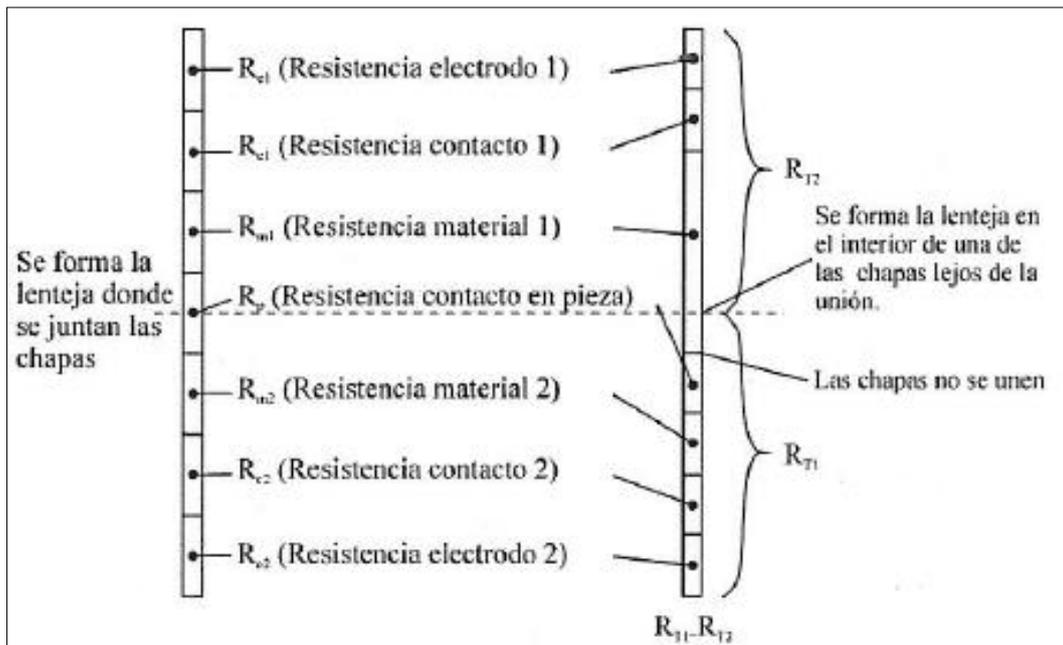


Figura 18. Representación gráfica de la ubicación de los nuggets cuando no se respeta la simetría de las resistencias intervinientes.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Este equilibrio térmico, lo hemos de conseguir variando las resistencias que intervienen para mantener la simetría y el equilibrio necesarios y para ello podemos actuar sobre el diámetro de la cara activa de los electrodos y en algunos casos especiales, con la conductibilidad de los cobres utilizados en los electrodos.

Factores que intervienen en la formación de un punto de soldadura

La Energía Eléctrica

El concepto que debe prevalecer, es que lo que produce la soldadura, lo que genera calor, lo que se aconseja en las tablas para cada tipo de soldadura, es la intensidad de corriente (cantidad de amperios aplicados), el tiempo y como se aplican ambos parámetros, y no la potencia (KVA) de la máquina que se utiliza. Si el control de la máquina no mide la corriente de la soldadura, es necesario contar con un amperímetro para la puesta a punto de los procesos.

Las intensidades de corriente que se recomiendan en las diferentes tablas y publicaciones para cada tipo de soldadura, siempre deben ir acompañadas del diámetro de la cara activa del electrodo a utilizar y se debe saber que lo realmente importante es la densidad eléctrica, es decir los A/mm^2 que circulan por la cara activa del electrodo para formar el nugget.

$$\delta = \frac{A}{Dca^2 * \frac{\pi}{4}}$$

Donde:

δ = la densidad eléctrica (Amperios / mm²)

Dca = el diámetro de la cara activa del electrodo (milímetros)

A = la intensidad de corriente (Amperios)

Como orientación rápida antes de acudir a las tablas y curvas de soldabilidad, podemos decir que la densidad eléctrica puede oscilar entre 220 y 330 A/mm². (Abad-Bisbe, 2002)

El objetivo del paso de la corriente es fundir el material y alcanzar la temperatura de forja tan solo en la zona donde se debe formar el nugget de soldadura, por lo que si se suministra un exceso de corriente y o se excede el tiempo de aplicación, se produce una fusión de material superior a la necesaria, se producen proyecciones de chispas, "vaciado" de la soldadura y destrucción de la cara activa del electrodo, por haberse producido una mayor aporte de calor respecto del necesario.

Conviene tener claro el concepto de que una "chispa" es una porción de material fundido que es expulsada por las fuerzas repelentes que se crean en ella dentro del fuerte campo magnético creado por la corriente de soldadura y que su existencia es indicio de que hubo una fusión de material donde no se debió haber producido, ya sea por mal contacto electrodo - pieza o por exceso de corriente o tiempo de soldadura.

La presión en la soldadura

Para formar el nugget, (o sea el punto de soldadura), no es suficiente el paso de una corriente a través de las piezas y que se alcance en ellas el punto de fusión, pues se necesita también la aplicación de una fuerza entre electrodos, que suelde y forje la lenteja. Este parámetro también es muy importante (llamamos parámetros a magnitudes variables que se fijan para un proceso repetitivo) y nos lo indican las tablas de valores aconsejados para cada tipo de soldadura. Como en el caso de la corriente, lo realmente importante es la fuerza por mm² de la superficie activa del electrodo y esta presión debe estar entre 4 y 12 daN / mm² para el caso de soldadura de aceros de bajo porcentaje de carbono. (Abad-Bisbe, 2002)

Afortunadamente la presión a aplicar, admite importantes variaciones, lo cual permite que el aumento de la superficie activa del electrodo por su propio desgaste, no provoque soldaduras defectuosas al poco tiempo de su recambio.

Para evitar proyecciones y soldaduras de mala calidad se debe estar seguros de que los electrodos, no solo han llegado a apretar las láminas, sino que están aplicando la magnitud de esfuerzo correcta.

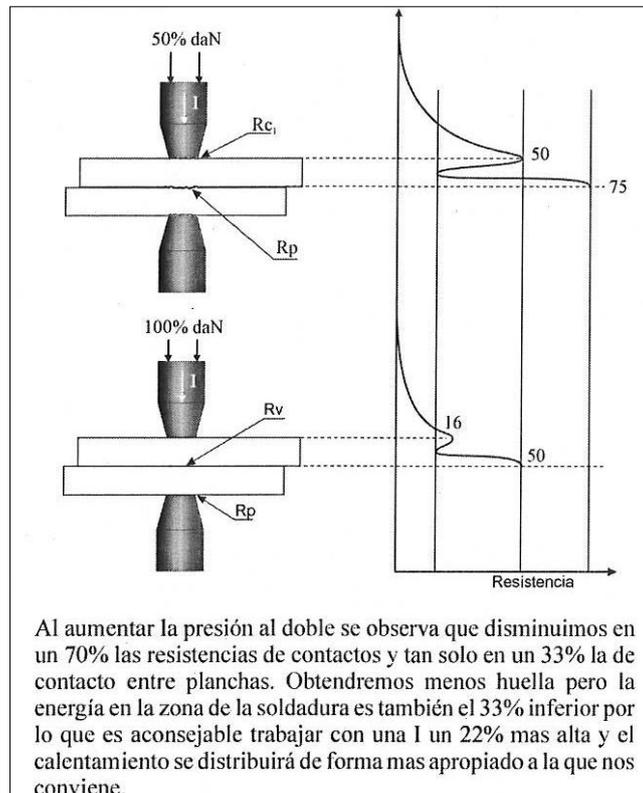


Figura 19. Detalle de la variación de fuerza entre electrodos.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

En principio las soldaduras de mayor calidad se consiguen con presiones elevadas, con lo cual reducimos las resistencias R_{c1} y R_{c2} , produciéndose huellas menores y mayor duración de los electrodos. Al mismo tiempo disminuye, aunque en menor proporción la R_p , por lo que necesitamos aplicar más amperios. **Deben elegirse, siempre que las características de la máquina lo permitan, valores altos de corriente y presión con tiempos cortos.**

El seguimiento de la fusión

Durante el proceso de soldadura, al iniciarse el paso de la corriente, se inicia un ligero aplastamiento por hermanado de las superficies de contacto, que el electrodo debe seguir sin que se pierda la presión en la soldadura, y a continuación, al dilatarse el material por efecto del calor, varía

el espesor del material, el cual desplaza al electrodo, y al iniciarse la fusión, que formará el nugget, vuelve a disminuir el espesor. El conjunto de esos movimientos, es lo que se llama "seguimiento".

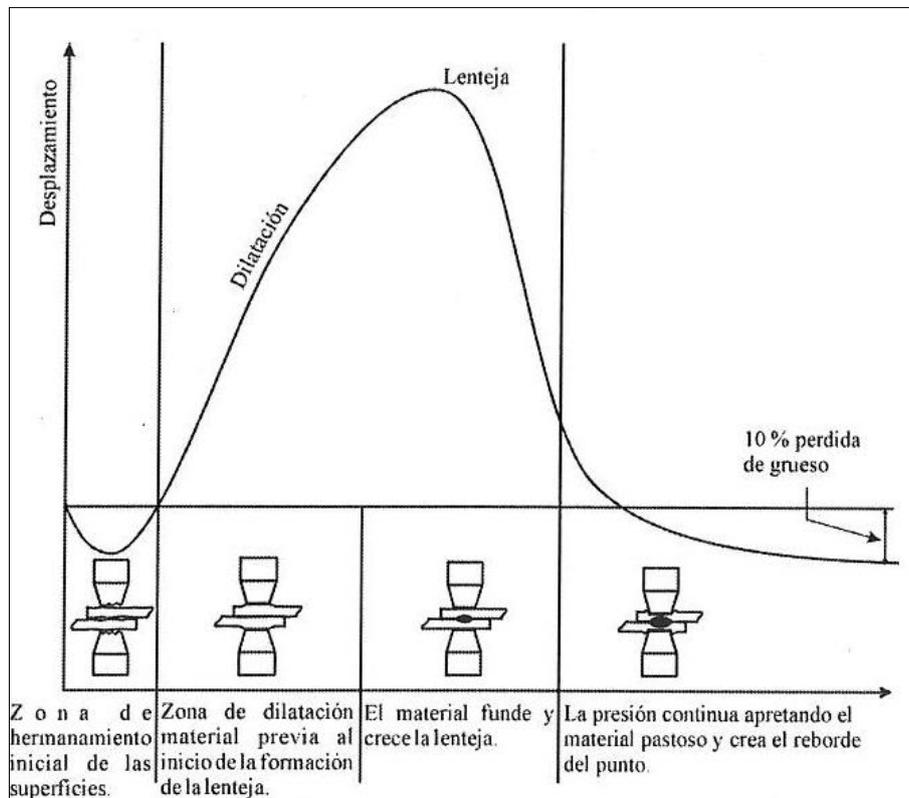


Figura 20. Representación gráfica de la formación del nugget de soldadura.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

En las máquinas con brazos, la elasticidad de estos es en general suficiente para seguir estos movimientos, pero en las máquinas de descenso rectilíneo debe tenerse en cuenta esta premisa y usar aquellas que empleen actuadores neumáticos (u otros medios de presionar) que sean de buena calidad o tengan algún medio elástico en el circuito del esfuerzo, debido a la importancia que estos ligeros desplazamientos tienen para la soldadura. En la soldadura de aluminio, esta observación es muy importante.

Los electrodos

Son los protagonistas principales de la función de soldar y se les debe prestar una atención superior a la que generalmente se les presta³, quizá debido a su menor costo en comparación con

³ Esta es una apreciación personal del Tesista, basada en su experiencia personal.

brazos, máquinas, controles, etc, aunque en realidad tienen una importante incidencia en los costos de explotación y en la calidad obtenida. (Abad-Bisbe, 2002)

Los electrodos usados para estos procesos realizan tres funciones importantes:

1. Conducen la corriente de proceso a la pieza de trabajo.
2. Transmiten la presión o fuerza apropiada a la zona de la soldadura, para producir una unión satisfactoria.
3. Disipan el calor de la zona de la soldadura con mayor o menor rapidez, dependiendo del proceso que se esté empleando y de la necesidad en cuanto a la disipación del calor.

La primera de estas funciones es eléctrica. Si no tuviera que considerarse la aplicación de la presión, podría hacerse la selección adecuada de electrodos casi enteramente sobre la base de la conductividad eléctrica y la térmica, tomando en consideración la resistencia del electrodo mismo, y la resistencia entre el electrodo y la superficie de trabajo en la zona de contacto.

La segunda función es mecánica. Durante las operaciones de soldadura, los electrodos están sujetos a esfuerzos considerables, y deben soportar tales esfuerzos a temperaturas elevadas sin sufrir una deformación excesiva. Esto debe ser así porque la corriente no solo tiene que ser conducida a la pieza de trabajo, sino que debe localizarse dentro de una zona fija. La presión transmitida no solo forja hasta su unión las piezas de trabajo calentadas, sino que también limita el paso de la corriente de soldar a la zona localizada.

La conductividad de los electrodos debe ser mayor que la de los metales que se están soldando, porque además de conducir electricidad, los electrodos transportan también el calor, para alejarlo de las superficies exteriores del material de la soldadura. Esta función es muy importante, porque se la usa a la inversa cuando se están soldando metales diferentes, para obtener así un equilibrio de calor.

El éxito de cualquier operación de soldadura por resistencia, por simple o complicada que sea, depende del empleo de los electrodos correctos. La RWMA (Resistance Welder Manufacturers Association) ha clasificado los materiales de los electrodos en dos grupos de composición: aleaciones a base de cobre y composiciones refractarias de metales. Las aleaciones se obtienen en forma de barras, piezas forjadas, piezas vaciadas e insertos. Se venden bajo diversos nombres comerciales. Ver Tabla 1.

GRUPO A: ALEACIONES A BASE DE COBRE						
FABRICANTE		CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3	CLASE 4	CLASE 5
Acme Welder Co.	Electric	AcmeLOY	SuperLOY	StainLOY	Haraloy	-

American Metal Climax, Inc.	Amzirc	Amzirc; Amcrom	-	-	-
Ampco Metal, Inc.	Ampcoloy 99	Ampcoloy 97	Ampcoloy 95	Ampcoloy 83	Ampcoloy 92
Eisler Engineering Co., Inc.	Eisler E	Eisler 3	Eisler 100	Eisler 73	Eisler ED
Electroloy Co., Inc.	Electroloy A	Electroloy XX	Electroloy TX	Electroloy B	Electroloy Molin # 2
Hercules Welding Products Co.	H-1	H-2	H-3	H-4	H-5
Mallory Metallurgical Co.	Elkonite A	Mallory 3	Mallory 100	Mallory 73	Elkaloy D
Tipaloy, Incorporated	Tipaloy 100	Tipaloy 130	Tipaloy 200	Tipaloy T-4	Tipaloy T-5
Tuffaloy Products, Inc.	Tuffaloy 88	Tuffaloy 77	Tuffaloy 55	Tuffaloy 44	Tuffaloy 66
Weldaloy Products Co.	Weldaloy 10	Weldaloy 20	Weldaloy 30	Weldaloy 40	Weldaloy 50
Disponibilidad	Varillas, partes forjadas	Varillas, Partes forjadas, Partes fundidas	Bars, Forgings, Castings	Bars, Forgings, Castings	Piezas fundidas

GRPO B: COMPOSICIONES DE METALES REFRACTARIOS					
FABRICANTE	CLASE 10	CLASE 11	CLASE 12	CLASE 13	CLASE 14
Acme Electric Welder Co.	Tungstenite 40	Tungstenite 42	Tungstenite 43	Tungstenite 80	Tungstenite 90
Ampco Metal, Inc.	Ampcoloy 3W1	Ampcoloy 3W10	Ampcoloy 3W20	Ampcoloy 3W100	Ampcoloy 3M100
Dobbins Mfg. Company	Cletaloy 1CT, 3CT, 10CT	20CT	30CT, 10BC 30BC, 10CC 20CC, 30CC	-	-
Eisler Engineering Co., Inc.	E-1W3	E-10W3	E-20W3	E100W	-
Electroloy Co., Inc.	Electroloy 1	Electroloy 10	Electroloy 20	Electroloy 100	Electroloy 500
Hercules Welding Products Co.	H-1	H-10W	H-20W	H-100W	H-14M
Mallory	Elkonite 1W3	Elkonite 10W3	Elkonite 20W3	Elkonite 100W	Elkonite 100M

Metallurgical Co.					
Tipalloy, Incorporated	T-1W	T-10W	T-20W	T-100W	T-100M
Tuffaloy Products, Inc.	Tuffaloy 1W	Tuffaloy 10W	Tuffaloy 20W	Tuffaloy 100W	Tuffaloy 100M
Weldaloy Products Co.	Weldtung 10CT8	Weldtung 20CT	Weldtung 30CT	Weldaloy W	Weldaloy M
Disponibilidad	Varillas, insertos				

Tabla 1. Combinación de metales similares y diferentes, soldables por resistencia

Origen: 1964-1965 Welding Data Book, pp 186-187. Cortesía de Welding Data Book / Welding Design and Fabrication Magazine.

Soldadura. Aplicaciones y Práctica. Horwitz 1997.

Las recomendaciones generales de la RWMA para la selección del material correcto de los electrodos para la soldadura por puntos de materiales semejantes y no semejantes se detallan en la Tabla 2.

Para soldadura de metales similares. Ferrosos

Para soldar metales similares lea la casilla que esté bajo el metal que ha de soldarse	PLANCH A DE ACERO ESTAÑADA		ACERO EN CHAPA APLOMADA		PLANCHA DE HIERRO GALVANIZADA CON ZINC		PLANCHA DE ACERO CADMINIZADA		PLANCH A DE ACERO CROMADA		ACERO INOXIDABLE TIPO 18-8		ACERO LAMINADO EN CALIENTE, CON ESCAMAS		ACERO LAMINADO EN FRIO, ACERO LAMINADO EN CALIENTE, LIMPIOS	
	B	I	A	I	A	⊙ I II	B	I	A	I	A	⊙ II II	B	⊙ I II	A	I
	I	3	I	3	⊙ I II	3	I	3	I	3	⊙ II II		⊙ I II	2	I	I

Para soldar metales diferentes

ALEACIONES FERROSAS	ACERO INOXIDABLE TIPO 18-8		PLANCHA DE ACERO CROMADA		PLANCHA DE ACERO CADMINIZADA		HIERRO GALVANIZADO		ACERO EN CHAPA APLOMADA		PLANCHA DE ACERO ESTAÑADA	
Acero laminado en frío, acero laminado en caliente, limpios ^A	A	⊙ I III	A	II	B	II	B	I	A	⊙ I II	B	I
	II		II	3	II	3	II	3	II	3	II	3
Plancha de			B	II	B	⊙ II	B	I	B	⊙		

acero estañada										II
			I	3	I	3	I	3	I	3
Acero en chapa aplomada	B	II	B	II	B	Ⓜ II	B	I		
	I	3	I	3	I	3	I	3		
Plancha de hierro galvanizada con zinc	B	II	B	II	B	I				
	I	3	I	3	I	3				
Plancha de acero cadminizada	B	II	B	II						
	I	3	I	3						
Plancha de acero cromada	A	Ⓜ II								
	II	3								

Interpretación de las casillas

Soldabilidad	Electrodo contra
Electrodo contra	Información Especial

Soldabilidad

A: Excelente

B: Buena

ELECTRODOS ESPECIFICACIONES R.W.M.A.

I. Grupo A. Clase 1

II. Grupo A. Clase 2

III. Grupo A. Clase 3

Nota: Los materiales de electrodos encerrados en círculos son segunda elección. Ejemplo Ⓜ

INFORMACIÓN ESPECIAL

1. Se requiere acondicionamiento especial.

2. La buena práctica recomienda limpiar antes de soldar.

3. Si el recubrimiento es grueso, la resistencia a la soldadura es cuestionable.

Para soldar metales diferentes. No Ferrosos

ALUMINIO	ALEACIONES DE ALUMINIO, DURALUMINIO		CUPRONIQUE		PLATA DE NIQUEL		NIQUEL		ALEACIÓN DE NIQUEL, NICROM. (ALTA RESIST.)		LATON AMARILLO 25-40% ZINC		BRONCE FOSFORADO GRADOS A, C y D		BRONCE AL SILICIO, EVERDUR, OLIMPIC, DURONZE, HERCULLOY	
B I _{II}	B	⊙ _{II}	A	I	B	I	A	I	A	I	B	I	A	I	A	I
I _{II} 2	⊙ _{II}	2	I		I		I		I		I		I		I	

Para soldar metales diferentes

ALEACIONES NO FERROSAS	ALEACIONES DE NIQUEL		NIQUEL		BRONCE FOSFORADO		BRONCE AL SILICIO		LATÓN AMARILLO		PLATA DE NIQUEL	
Cuproníquel	B	II			B	II	B	II			B	II
	II				II		II				II	
Bronce al silicio; everdur-olimpic, duronze-herculoy					B	II	A	II	B	II		
					II		II		II			
Plata de níquel	B	II			B	II	B	II				
	II	I			II	I	II					
Aleaciones de níquel	A	II	A	II	ALUMINIO							
	II		II									
Acero Inoxidable tipo 18-8	B	II	B	II	ALEACIONES DE ALUMINIO						B	⊙ _I
	⊙ _{II}	I	⊙ _{III}								DURALUMINIO	

Tabla 2. Materiales de electrodos recomendados para la soldadura por puntos de materiales similares y diferentes, aplicando los métodos convencionales de soldadura por resistencia.

Soldadura. Aplicaciones y Práctica. Horwitz 1997.

El material ideal para electrodos debe compatibilizar una elevada conductibilidad eléctrica y térmica, con una elevada resistencia mecánica al aplastamiento a temperaturas elevadas de más de 500° C.

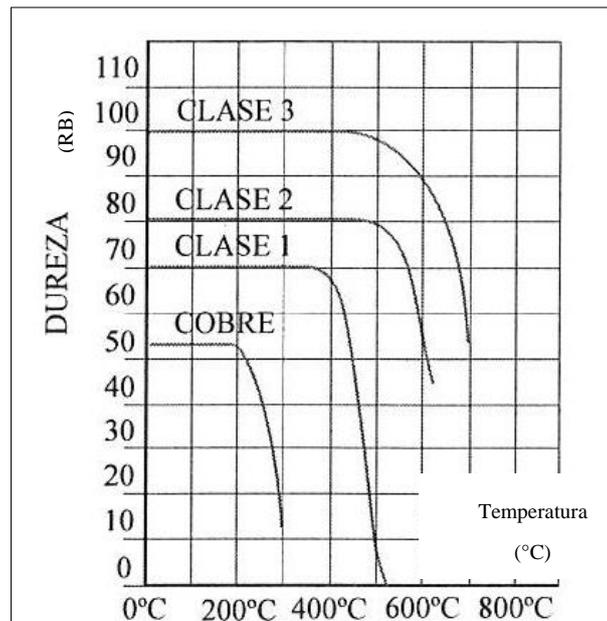


Figura 21. Comportamiento de diferentes tipos de cobre frente a la variación de la temperatura.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Actualmente los más usados por su relación calidad / precio, son los fabricados con cobre aleado con cromo y circonio.

Al observar la figura 22 se puede ver que durante la ejecución de la soldadura, en la superficie activa que está en contacto con la pieza, el cobre llega a alcanzar temperaturas superiores a los 800°C, y si no se dispone de una refrigeración adecuada, solamente con una soldadura quedará muy dañada la cara activa del electrodo.

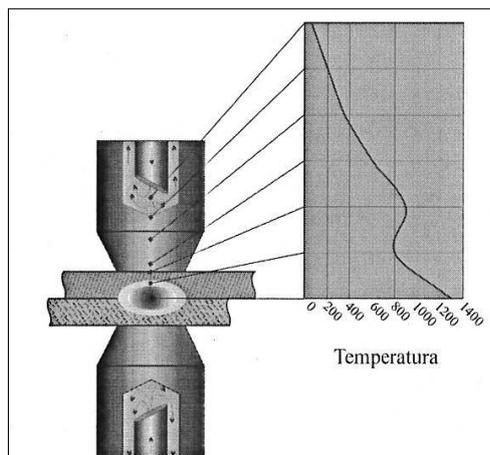


Figura 22. Representación gráfica de los efectos de una correcta refrigeración al desarrollarse la soldadura.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Es recomendable utilizar los electrodos de punta esférica solo para la soldadura de chapas gruesas y de aluminio, y, en defecto de mejor información en las tablas, el diámetro de la cara activa (Dca) del electrodo, tiene que ser igual a $2e + 3$, siendo "e", el espesor de la chapa con la que está en contacto el electrodo. Esta fórmula es empírica da resultados muy similares a otras cuyas aplicaciones resultan más complejas⁴.

$$Dca = 2e + 3$$

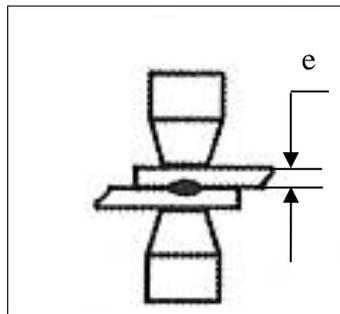


Figura 23. Representación gráfica para una mejor interpretación de la fórmula empírica presentada.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Las formas de la cara de los electrodos se han normalizado (Figura 24), y se identifican por el código elaborado por la RWMA⁵ para tal propósito. El diámetro mínimo de la cara para los electrodos de los tipos A, B, D y E puede determinarse por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Diámetro de la cara} = 0,10 + 2t$$

Donde

t = el espesor (en mm.) del metal base que hace contacto con el electrodo

Los electrodos diseñados para soldadura por puntos pueden usarse para soldadura de partes salientes (Por proyección), si la cara del electrodo es suficientemente grande para cubrir la saliente que se esté soldando, o el conjunto de salientes que se estén soldando simultáneamente con el electrodo. Esto significa por ejemplo que si el diámetro del electrodo es de 20 mm., la máxima distancia entre salientes debe ser inferior a este valor.

⁴ Esta es una observación basada en la experiencia del autor.

⁵ RWMA: Asociación de Fabricantes de Soldadura por Resistencia. (Resistance Welder Manufacturers Association)

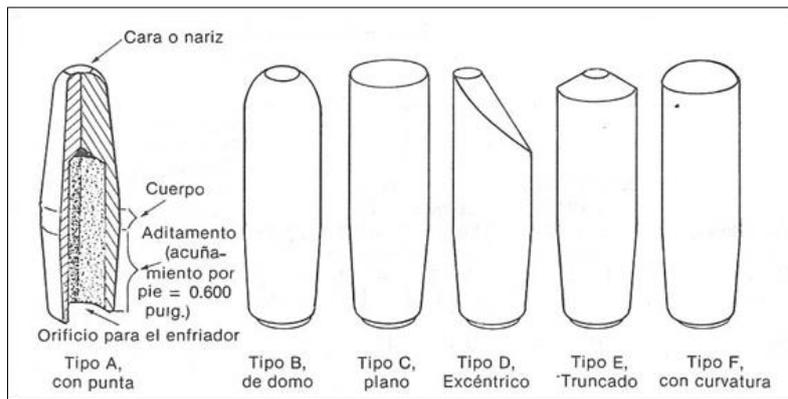


Figura 24. Tipos de formas de cara o nariz de los electrodos.

Soldadura. Aplicaciones y Práctica. Horwitz 1997.

Sistema de Refrigeración

El Sistema de refrigeración no es tan solo para enfriar el cobre del electrodo y evitar su aplastamiento, sino que también tiene como misión, importante e indispensable, el enfriamiento de la pieza a soldar en la zona de contacto con el electrodo, para que solidifique el nugget fundido bajo presión, durante el tiempo de mantenimiento inmediatamente posterior a la soldadura.

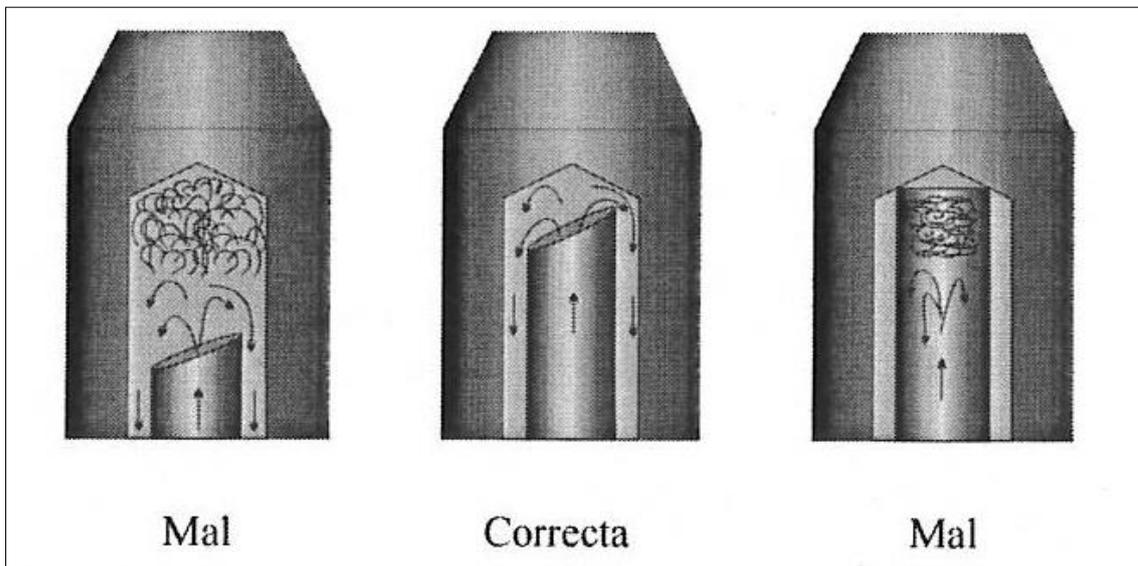


Figura 25. Representación gráfica de diferentes posibilidades de realizar la refrigeración de los electrodos y sus consecuencias.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

La refrigeración (por agua) debe llegar al electrodo, siempre, por el conducto central del porta electrodo, y tiene que circular un caudal de 4 a 8 litros / minuto (Abad-Bisbe, 2002). No basta con que la máquina esté conectada a la red de agua, se debe asegurar que circula el caudal suficiente por los electrodos, que llega a estos de forma correcta, y que la superficie activa, diámetro de la punta

del electrodo que contacta con la pieza, se corresponde con los amperios y esfuerzo que se utilizarán en la soldadura.

Un circuito de refrigeración por agua defectuoso, aún cuando circule el caudal correcto en frío, produce bolsas de vapor en los puntos calientes, especialmente en los electrodos en el momento de soldar, no enfriándose el sistema justo en el momento que resulta más necesario.

En las máquinas de soldar la misión del agua no es solamente la de enfriar la máquina, sino que interviene de forma importante en la calidad de la soldadura obtenida y en la adecuación de los electrodos. La temperatura del agua de entrada no debe sobrepasar los 25° C y normalmente la presión en la entrada con el agua circulando tiene que ser de 250 KPa, salvo dato diferente del fabricante. (Abad-Bisbe, 2002)

¿Cómo tiene que ser y como se hace un punto de soldadura?

Aspectos y Características

El resultado óptimo a obtener, es un nugget entre las dos piezas a unir, formada por material fundido de ambas. El diámetro de la nugget debe ser del orden del 90% al 110% del diámetro de la cara activa del electrodo. El espesor del nugget tiene que ser inferior a la suma de los dos espesores de las chapas intervinientes.

Donde se ha aplicado el electrodo queda una impronta (huella) circular formando un reborde liso, de material no poroso y sin grietas que ha sido desplazado hacia los bordes por la presión de los electrodos.

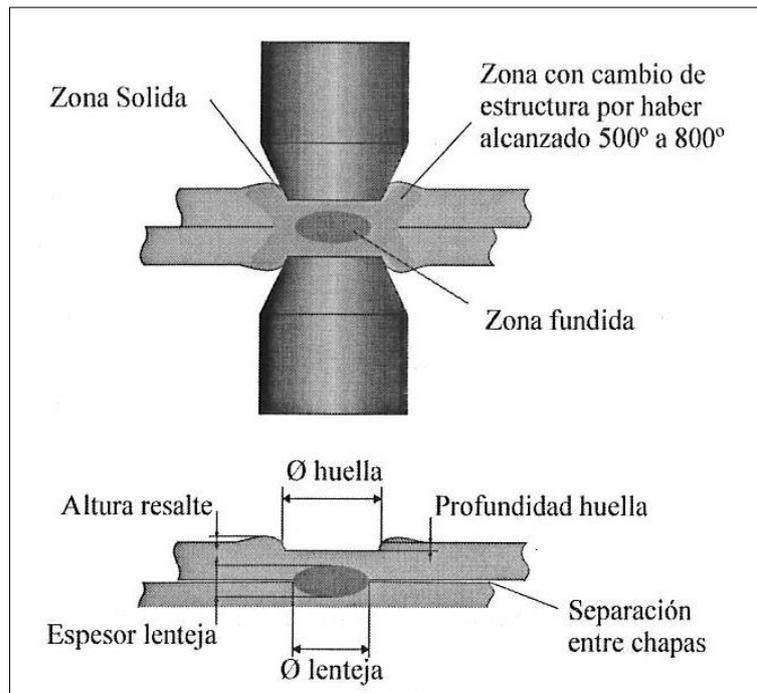


Figura 26. Un nugget correctamente realizado debe tener material fundido de ambos materiales intervinientes.
Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

La zona central de la impronta (huella), tiene que tener un color más claro que la periferia, pues el electrodo la enfría y por lo tanto se oxida menos que esa periferia que no está en contacto con el electrodo. En chapas y láminas delgadas con espesores menores a 2,5 mm., un punto bien realizado y roto por tracción, rompe dejando un botón (nugget) y un agujero en cada una de las chapas. Ver figura 27.

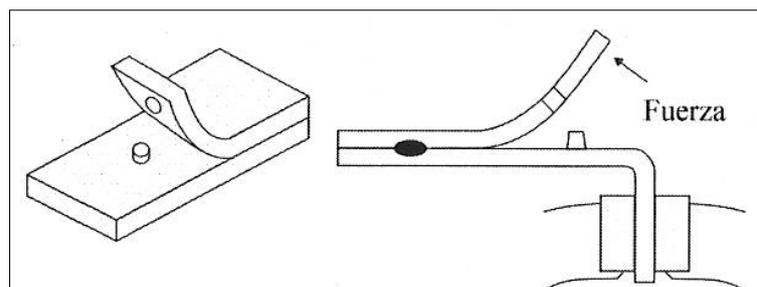


Figura 27. Detalle de un ensayo destructivo realizado a dos hojas metálicas soldadas por resistencia.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

En espesores más elevados que no dejan botón, la rotura debe ser homogénea y regular, sin cavidades ni defectos. (Abad-Bisbe, 2002)

Estaremos en presencia de un punto defectuoso si la impronta (huella) tiene rebordes irregulares, cortantes, que indican que la fusión del material ha alcanzado al electrodo y a la superficie exterior de la pieza. También unos bordes muy irregulares con puntas muy oxidadas indican que ha habido proyección del material fundido, proyección de chispas, y por lo tanto vaciado del material y mala calidad.

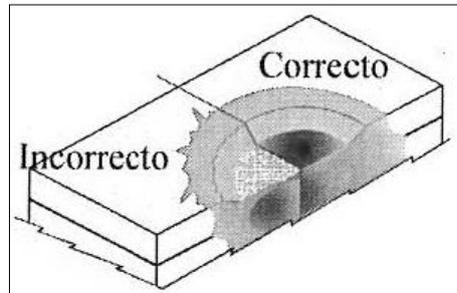


Figura 28. Representación gráfica de un punto de soldadura correcto y uno defectuoso.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Una impronta (huella) que parece correcta pero con su centro ennegrecido muestra que el electrodo no ha enfriado lo suficiente la superficie después de realizar la soldadura. Esta última condición, debe ser verificada con un ensayo no destructivo (aplicación de cincel al corte con planchado posterior), para dar por apta la aplicación del punto, pero la condición debe ser modificada de inmediato, para mejorar la vida útil del electrodo.

En la zona interplanchas, junto al nugget y para espesores superiores a 1,5 mm queda una pequeña separación debido al empuje que produce el material al dilatarse por el calor.

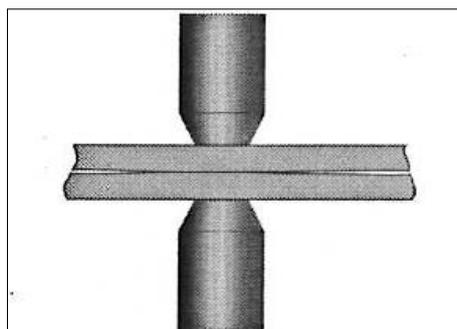


Figura 29. Separación entre hojas metálicas debido al empuje que produce el material al dilatarse. Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Para conocer la resistencia mecánica de un punto de soldadura, la prueba destructiva es la más eficaz. El detalle de "como se forma el punto de soldadura", se detalla en la figura 30, que sigue a continuación.

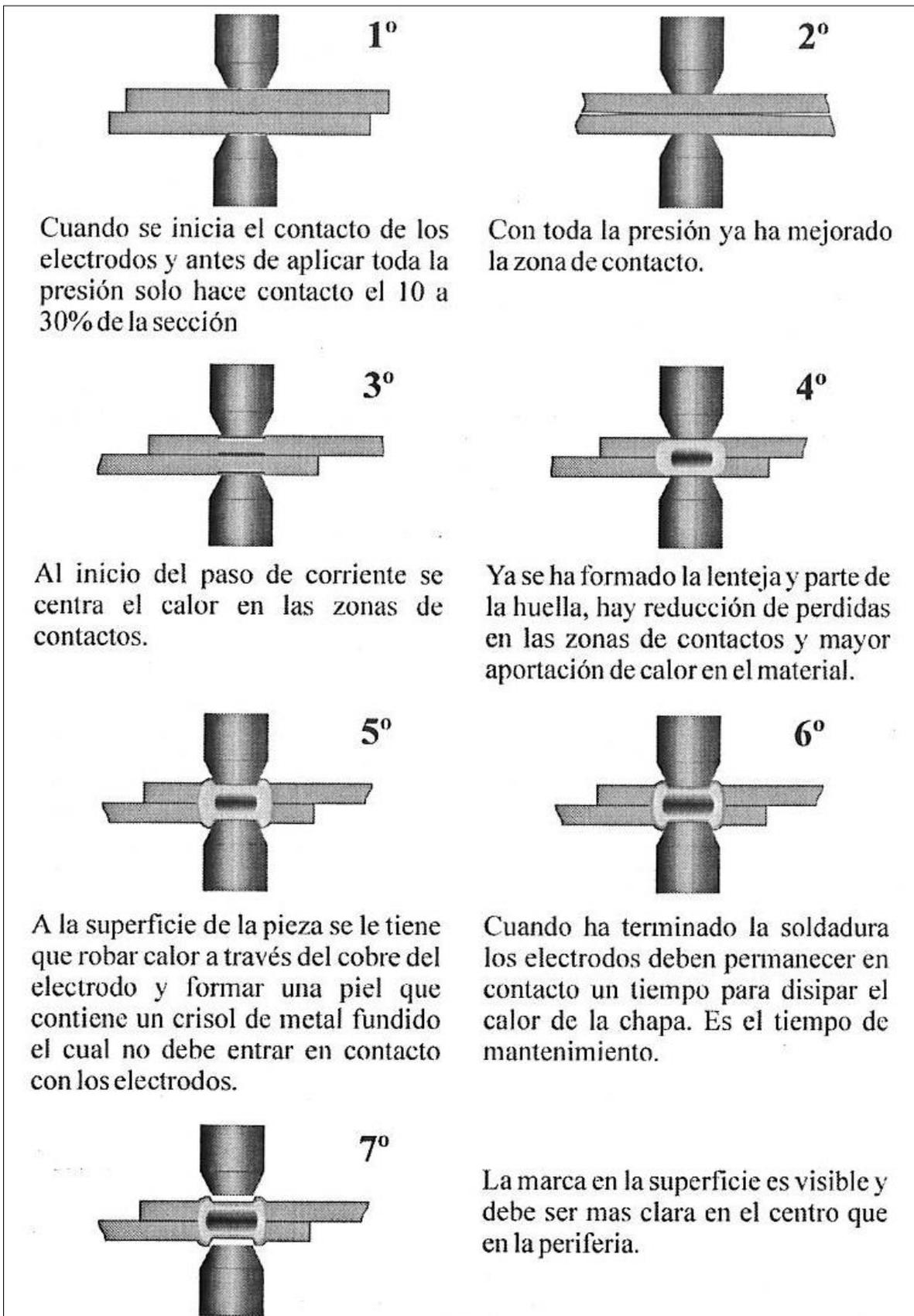


Figura 30. Detalle secuencial de la manera en que se forma un punto de soldadura.

Preparación de la máquina y detalles prácticos para obtener soldaduras aceptables

Básicamente se deben conocer las regulaciones de tiempos, corriente y presión que requiere la hoja de procesos de la pieza, y en caso de no disponer de dichos datos, acudir con las características de la pieza a las tablas de parámetros aconsejados, y determinar aquellos que resulten más adecuados dentro de lo que puede suministrar la máquina a utilizar.

No obstante, se debe tener presente la existencia de máquinas que no emplean aire comprimido como fuente de energía para generar los esfuerzos necesarios. El presente estudio tomará en cuenta las máquinas que usen aire comprimido para generar la presión entre placas, por ser así la inmensa mayoría de las que actualmente están en funcionamiento.

Una premisa básica es que salvo para trabajos cortos o esporádicos, los brazos, portabrazos, electrodos, portaelectrodos, etc, tienen que ser los apropiados para el trabajo a realizar, procurando un desempeño cómodo para el operador, una buena accesibilidad para la pieza y que abarquen la mínima área posible.

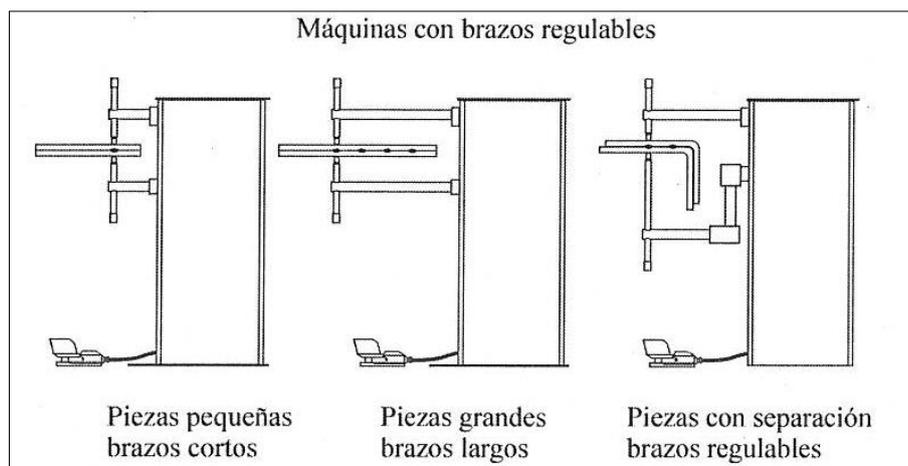


Figura 31. Máquinas de soldadura por resistencia con brazos regulables.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Se debe evitar la mala costumbre de utilizar siempre la misma máquina, para cualquier tipo de trabajo, con la configuración del primer día de uso.

En las máquinas con brazos, y de estas especialmente en las pinzas, es imperativo disponer de unos diagramas, en los que en función de la longitud de los brazos y de la presión de la red de aire, se conozca la presión aplicada, y también, las carreras de apertura entre electrodos, distinguiendo entre la posible gran apertura para el acceso a la zona de la pieza a soldar, la necesaria para el

trabajo, y la que debe reservarse para que con el desgaste de los electrodos no lleguemos al fin de la carrera utilizable.

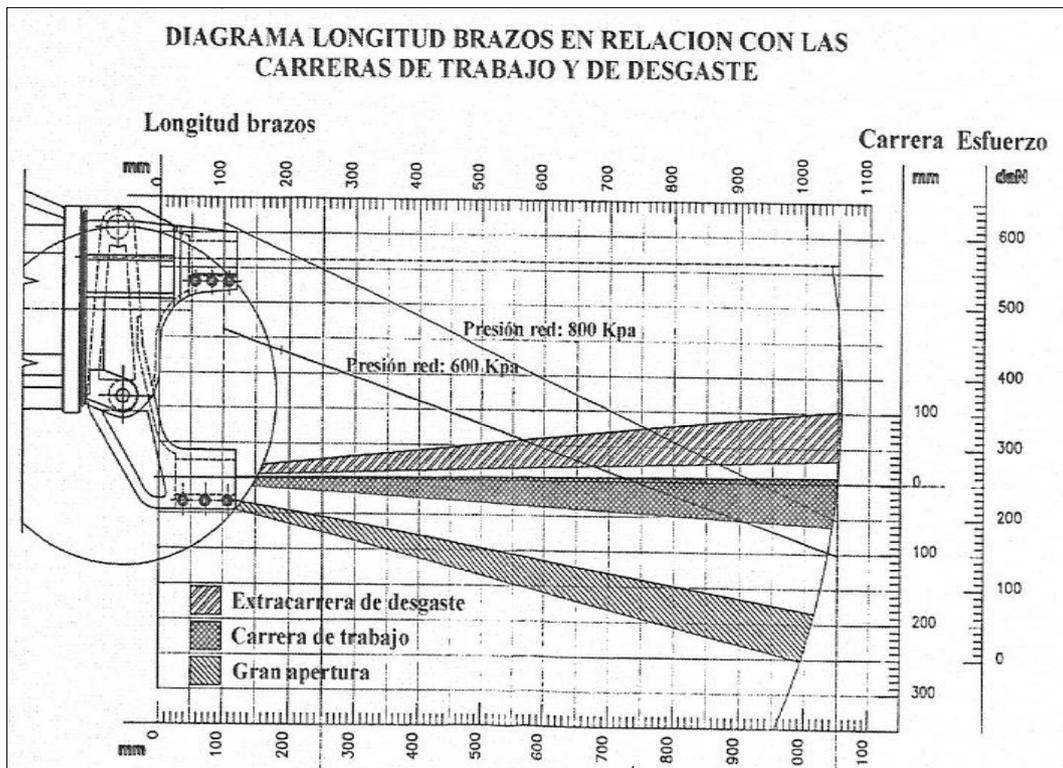


Figura 32. Diagrama Longitud Brazos en relación con las carreras de trabajo y desgaste.
Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Otro gráfico del que se debe disponer es la deformación debido al esfuerzo que en estas máquinas no es despreciable. Ver Figura 33

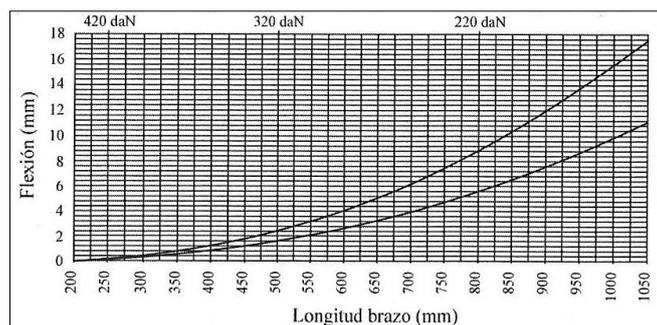


Figura 33. Gráfico de Flexión en función de la longitud del brazo de la máquina.
Manual de Soldadura por Resistencia. Abad- Bisbe 2002.

Es importante tener en cuenta que durante el montaje y la preparación de la máquina, el contacto y la sujeción de los componentes, no debe responder tan solo a características mecánicas, pues por buena parte de ese circuito mecánico de esfuerzo y por esas uniones, tienen que circular unas

elevadas corrientes eléctricas que precisan limpieza y la máxima superficie en los contactos, por lo que se debe evitar que se alojen elementos que se interpongan al paso de la corriente.

La operatoria sugerida, es la que se detalla a continuación:

- Se comprueba el circuito de agua de refrigeración, con especial atención en los tubos que refrigeran los electrodos y se hace circular el agua comprobando que fluya correctamente.

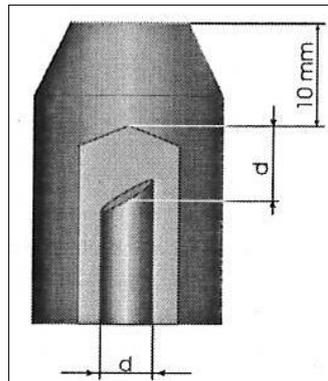


Figura 34. Comprobación del circuito de agua de refrigeración.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad -Bisbe 2002.

- Luego valiéndose del control de la máquina, se coloca al mismo en la posición "No Suelda" o "Solo Presión", o sea, sin el paso de corriente entre los electrodos. Se programan los ciclos de soldadura previstos, y que las soldaduras sean de ciclo único, punto a punto. Todavía sin conectar el aire comprimido, se debe comprobar que el programa funcione correctamente.
- Luego se debe conectar el aire y se regula la presión del manómetro para disponer la fuerza que deseamos en la soldadura. Para conocer la fuerza aplicada a la soldadura, las máquinas solo tienen la indicación de la presión de entrada del aire, la cual para cada máquina tiene una relación constante con la fuerza que puede aplicar. No obstante, como un manómetro puede averiarse y también las juntas o guías de un cilindro neumático, es muy conveniente disponer de un medidor de esfuerzo para comprobar si estamos aplicando el correcto, cuando nos encontramos con alguna soldadura con problemas.

- Todavía con el control en la posición "No Suelda", se colocan piezas en la misma forma y posición que queremos usar durante la producción y se comprueba si al aplicar la presión, se provocan movimientos que perjudiquen la maniobra o sean peligrosos para el operador o para el dispositivo de soldadura, y, repitiendo varias veces seguidas el ciclo, se comprueba si no cae la presión en la red de aire y el esfuerzo para producir la soldadura se mantiene.



Figura 35. Imagen de los tableros de comando y accionamiento manual de una máquina de soldar por proyección. Gentileza de Industrias Guidi S.A.C.I.F. aportada al Tesista.

- Se debe contar con unos cuantos recortes de láminas de acero o chapas del mismo espesor y acabado superficial de las piezas a soldar, para realizar con ellas las pruebas de puesta a punto de la soldadura.
- Se debe colocar el control de la máquina en posición "Suelda" y se debe regular la corriente aproximadamente al 80% del valor que se definió como requerido y se puede así dar comienzo al ajuste del "tiempo de acercamiento" dado que la corriente de

soldadura no debe empezar a circular cuando con su carrera el electrodo alcanza la pieza, sino cuando ésta, ya recibe todo el esfuerzo.

- Se le debe dar un valor muy elevado al tiempo de acercamiento y el tiempo de soldadura se lo debe reducir a un tercio de su valor, para que durante las pruebas del acercamiento no se pueda producir el nugget de soldadura.
- Se van realizando ciclos reduciendo cada vez el tiempo de acercamiento hasta que se produce el desprendimiento de chispas en los electrodos. Cuando esto ocurre, se le añade un tiempo prudencial a ese valor, 3 o 4 ciclos, y se comprueba varias veces que no produce chispa. Con esas condiciones, se toman esos valores como los definitivos.
- Con estos parámetros ya es posible realizar la soldadura y para ello se irá aumentando gradualmente el tiempo, hasta llegar cerca del teóricamente previsto según las tablas y a partir de ese valor, se comenzará a aumentar la corriente hasta que combinando los dos mandos de regulación del esfuerzo, tiempo y corriente, alrededor de los valores previstos, se obtengan soldaduras satisfactorias, lo cual se debe validar con pruebas destructivas.

El "tiempo de mantenimiento" debe garantizar que la soldadura se enfríe bajo presión a través del electrodo refrigerado y es suficiente cuando la huella de la soldadura es menos oscura en el centro que la periferia. Como valor orientativo puede regularse en 5 ciclos para chapas de espesor 0,8 mm, 10 ciclos para las de 1,6 mm, y unos 30 ciclos para las de 3,2 mm.

El ciclo repetitivo o automático, si es necesario, se empleará después de una corta serie de soldaduras realizadas punto a punto satisfactoriamente y cuando el Operador tenga la práctica necesaria.

Cuando se trata de utilizar ciclos más complejos los pasos a realizar son los mismos, pero tiene que preverse el tiempo necesario, horas e incluso días para afinar el uso de impulsos, pendientes, incrementos escalonados de corriente, recocidos, forjas, etc.

Recomendaciones para obtener buenos puntos de soldadura

Esfuerzo

Cuando una soldadura "marca mucho", o sea, deja una impronta profunda, generalmente no se debe quitar presión a los electrodos, sino añadirle, pues la huella excesiva se ha producido porque la R_c (resistencia de contacto del electrodo con la pieza) es demasiado grande, se deposita allí mucha energía y el material se reblandece o funde en esa zona de contacto, la cual debería ser la zona más

fría de la soldadura. Debe considerarse que con la presión que se aplica entre electrodos, estos no llegan ni a marcar el hierro en frío.

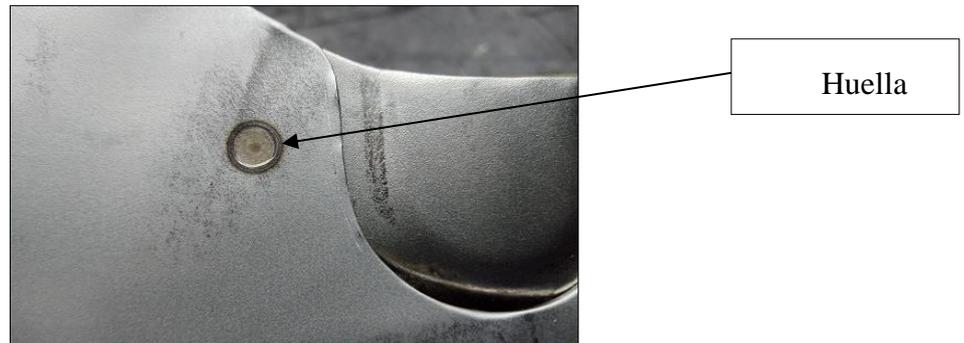


Figura 36. Vista en planta de una impronta profunda. Gentileza de Industrias Guidi aportada al Tesista.

En algunos casos ese exceso de marca o huella, puede ser debido a unos valores excesivos de la corriente o del tiempo que han llevado la fusión del nugget interior hasta la superficie externa. Para la obtención de buenas soldaduras la presión aplicada (daN / mm^2) es tan importante como la corriente y el tiempo de paso de la misma.

Sistema de Refrigeración

Es muy importante revisar periódicamente el correcto funcionamiento del circuito de agua de refrigeración, el cual tiene mucha importancia en la calidad de la soldadura y en el consumo de los electrodos.

El tubo que llega hasta el interior del electrodo tiene que acabar en "pico de flauta" (ver figura 25) y su extremo tiene que estar a una distancia del fondo del electrodo equivalente al diámetro interno del tubo.

Una irregularidad en la salida del agua de refrigeración o presencia de turbulencia mientras se suelda, es señal de una mala circulación.

Corriente

Cuando la máquina disponga de tomas de regulación en el transformador, conviene utilizar la menor tensión posible y emplear el regulador electrónico de intensidad cerca de su valor máximo. Cuando dentro del área que abarcan los brazos de la pinza de soldadura, queda situada por necesidades del trabajo una considerable cantidad de partes metálicas de las piezas a soldar y / o dispositivos de soldadura, la intensidad de corriente con la que se efectuará la misma, será menor que los de las soldaduras que no ocurran bajo esas circunstancias, por lo que puede ser necesario

utilizar un programa diferente, con otros parámetros, para soldaduras iguales. Es importante estudiar y aprovechar las posibilidades que ofrezca el control electrónico de la máquina para dosificar de forma apropiada la forma del paso de la corriente.

Situación de los puntos

El punto de soldadura debe darse a una distancia del borde de la pieza que evite el vaciado del nugget. Esa distancia debe ser superior al diámetro del nugget que se pretende obtener. El diámetro del mismo se determina en función de los espesores de las hojas de acero a soldar, y se obtiene con la siguiente fórmula empírica.

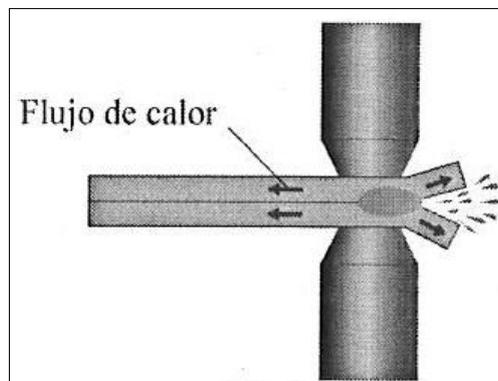


Figura 37. Efecto de ubicar el punto de soldadura cerca del extremo de la hoja de acero.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

$$Dl = \varnothing L \geq 3 * \sqrt{t}$$

t: espesor de la hoja de acero a soldar.

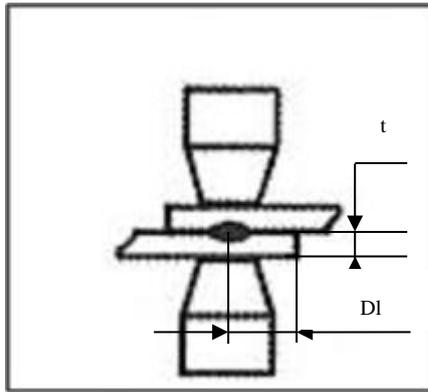


Figura 38. Relación entre la ubicación del punto de soldadura y el borde de la hoja de metal.

Explicación del Tesista.

donde:

DI es la distancia del punto al borde de la pieza

$\varnothing L$ es el diámetro del nugget (lenteja)

t es el menor espesor de las chapas a soldar

Si no se pueden respetar las distancias aconsejadas, se debe probar realizando la soldadura con un calentamiento previo (solo como orientación, con un 50% del tiempo y la corriente previstos) para que adapte muy bien las superficies a soldar, y después de un breve tiempo frío, del orden de tres períodos, soldar con un tiempo muy corto, elevada presión y alta intensidad. Los puntos de soldadura deben estar suficientemente separados para que la corriente eléctrica que se desvía y pasa por el punto ya soldado no sea significativa. Si no se puede respetar esa distancia, es necesario que el punto dado posteriormente se realice con unos parámetros de corriente y tiempo diferentes del original, por lo que se debe realizar otro programa de soldadura en el control electrónico de la máquina.

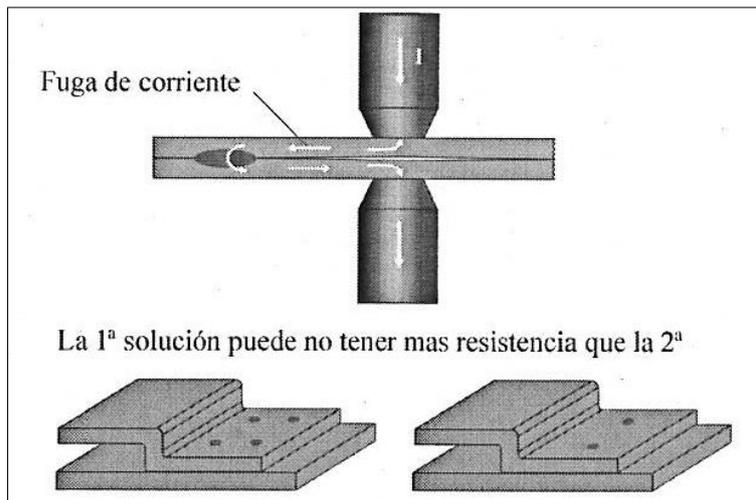


Figura 39. Muestra gráfica de fuga de corriente debido a la cercanía de puntos de soldadura.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

En muchos casos es muy importante el orden en que se dan los puntos, pues quedan mal presentadas las piezas.

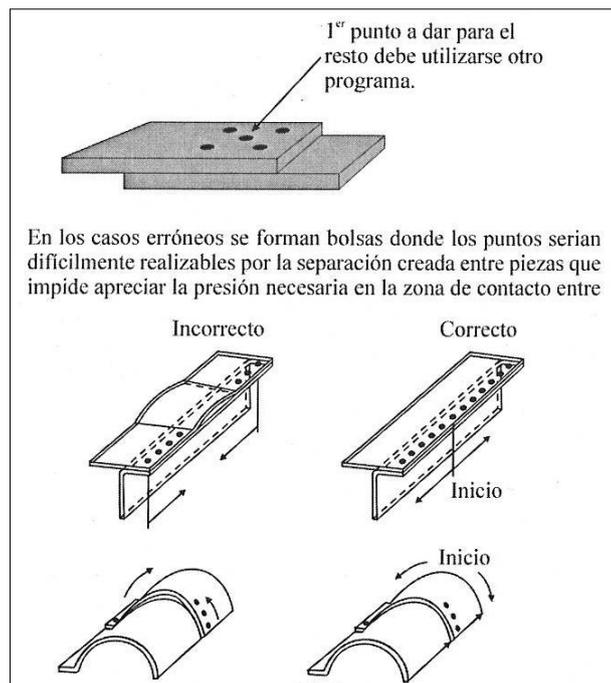


Figura 40. Guía práctica para definir la secuencia de realización de puntos de soldadura sucesivos.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Se debe asegurar que la posición de trabajo permita que la punta del electrodo y la pieza a soldar establezcan contacto en toda su superficie, porque si no es así, la elevada densidad de corriente en la pequeña zona del electrodo que toca la pieza al principio de la soldadura daña al electrodo y a la

pieza y provoca muchas chispas. Cuando no hay seguridad de buen contacto, es conveniente que la corriente llegue a su máximo, después de una pendiente de subida.

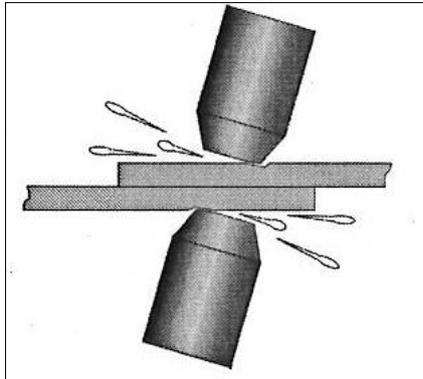


Figura 41. Muestra gráfica de las consecuencias del mal contacto de los electrodos sobre las piezas a soldar.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Piezas

Las superficies de contacto entre el electrodo y la pieza, y entre las piezas a soldar, tienen que estar limpias de pintura, aceite, tierras, etc, y de no estarlo, puede necesitarse de un precalentamiento, o una pendiente de subida de la corriente que asegure un pleno contacto.

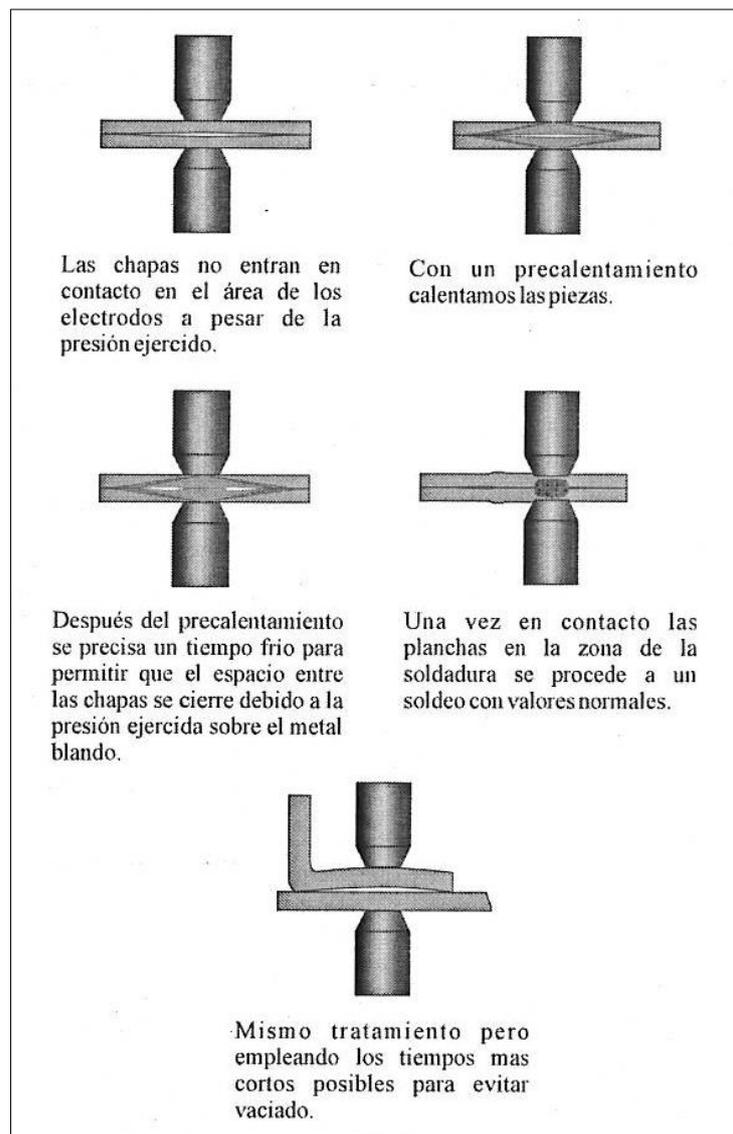


Figura 42. Ejemplo de trabajo con parámetros de máquina para lograr pleno contacto de superficies.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Si las hojas de acero no están haciendo pleno contacto entre si, parte del esfuerzo se emplea en deformarlas y, cuando se llegan a tocar al iniciarse la soldadura, hay menos presión entre las planchas, es más elevado R_p , se desarrolla mucha energía por la baja presión en ese punto, y la soldadura se vacía de material fundido provocando muchas proyecciones.

En ocasiones las piezas a soldar no llegan ni siquiera a tener contacto en la zona del punto de soldadura, y otras veces ese contacto es muy deficiente, generalmente por problemas de prensado, corte o deformación de las piezas a soldar y la presión en frío entre los electrodos no es suficiente para que se pueda iniciar el proceso de soldadura con garantía de calidad. En estos casos es necesario un precalentamiento inicial bajo presión, que hermane las superficies y permita una buena soldadura posterior. Se recomienda como orientación unos parámetros de alrededor de tres períodos

de tiempo de calentamiento con una corriente de un 50% de la soldadura, otros dos períodos de tiempo frío y luego iniciar la soldadura con los valores correctos.

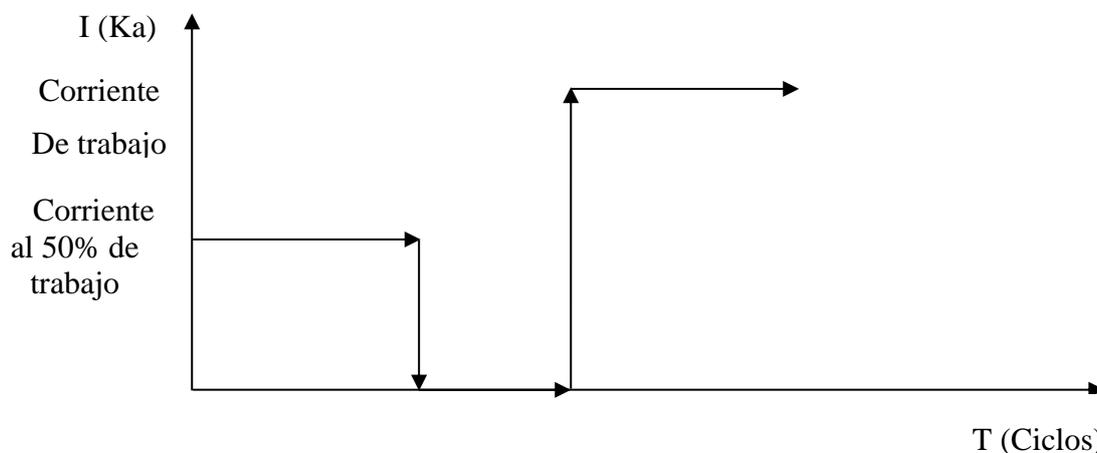


Figura 43. Esquema gráfico de la variación de corriente para garantizar el hermanado de superficies. Aporte del Tesista.

Algunos controladores de máquinas disponen de una opción en la que el tiempo de soldadura comienza a contar, cuando la corriente de soldadura ha sobrepasado un determinado umbral y por lo tanto ya hay seguridad de contacto aceptable entre las piezas. Esta opción es muy útil en determinados casos donde se está en presencia de oxidación o suciedad.

Si por motivos de forma de la pieza o de los brazos de la pistola de soldadura ocurre que la pieza y los brazos entran en contacto, tienen que aislarse esos posibles puntos de contacto con una cinta aislante especial, pues la corriente que se deriva por estos contactos, se resta de la soldadura pudiendo resultar puntos defectuosos por esta causa. La cinta aislante, es de poliuretano adhesivo y se debe aplicar sobre el brazo de la pinza que entra en contacto con la pieza. Se debe controlar que no sufra deterioros con el uso, y debe ser removida cuando esto ocurre. Se recomienda establecer su verificación entre las actividades de puesta a punto del proceso de trabajo diario.

Normalmente los tiempos o corrientes de precalentamiento para adicionar a las superficies o piezas, no deben sustraerse de las cantidades aconsejadas en las tablas de soldadura.

Electrodos

A medida que se van efectuando soldaduras, el diámetro de la punta del electrodo en contacto con la pieza (la cara activa), va aumentando y a su vez se ensucia con óxido e incrustaciones metálicas. Este inevitable deterioro debe corregirse antes que se produzcan soldaduras de calidad no aceptables. Parece correcta la teoría que sostiene que no es conveniente rebajar el material de la punta del electrodo hasta llegar al cobre limpio, sino simplemente rebajar la periferia hasta llegar al

diámetro deseado y limpiar de incrustaciones la superficie de la punta. Esto se puede realizar utilizando una fresadora portátil especial, o automáticamente (en pinzas de robot) o cambiando el electrodo por otro y rehacer las caras activas de los electrodos usados, generalmente por lotes, en una máquina herramienta adecuada. Retrabajar los electrodos a mano con una lima sobre la máquina, es una práctica que no es aconsejable.

Conviene siempre que sea posible, utilizar electrodos normalizados y evitar los especiales. Si las características dimensionales de la pieza a soldar, obligan a diseñar algún electrodo especial, es muy importante saber la fuerza con que se debe soldar, para que su forma le permita soportarla sin deformarse y comprobar que la distancia entre la cara activa del electrodo y hasta donde llega el sistema de refrigeración, sea similar a la que se emplea en los electrodos normalizados, que es del orden de los 10 mm (electrodo nuevo). Ver Figura 34.

Durante la soldadura se produce un importante campo electromagnético debido al paso de las fuertes intensidades de corriente utilizadas. Este campo, además de lanzar a distancia las partículas de hierro en forma de chispas, somete a esfuerzos mecánicos el circuito de brazos, portaelectrodos y electrodos. Tiene mucha importancia en la vida de un electrodo la solidez y rigidez del sistema mecánico que lo soporta.

Una máquina de poca calidad o mal diseñada, que permita que el electrodo gire o se desplace durante la soldadura cuando su superficie está a una temperatura elevada y tiene una muy baja resistencia al desgaste, aumenta considerablemente el consumo de los electrodos, aunque el movimiento parezca insignificante.

La vida de un electrodo y el número de soldadura que puede llegar a realizar, depende mucho del tipo de corriente y como se la utiliza. El empleo de corrientes continuas procedentes de alternas rectificadas con frecuencia de la red o de medias frecuencias rectificadas, así como trabajar con tensiones bajas y poco recortadas, prolonga bastante los períodos entre los rectificadores de electrodos y la vida útil de los mismos.

Es importante entender que trabajar para prolongar la vida útil de los electrodos, es también trabajar para mejorar la calidad de la soldadura.

Validación del proceso de soldadura

Como elemento necesario y suficiente para dar por aprobado un nuevo proceso de soldadura, o cuando se haya realizado un cambio (por menor que este sea), es necesario desarrollar una Auditoría de Proceso. Esta es una actividad que revisa todo el proceso de soldadura, a saber:

- Inspección en la Recepción de los componentes que intervienen en el proceso de soldadura (Revisión de la documentación asociada, Instructivos de control, registros, etc)
- Control de las condiciones de operación del proceso y puesta a punto. Asegura que las operaciones de set up (si fuese necesario desarrollar), se ejecutan de acuerdo a como está establecido (incluye registros de verificación).
- Manufactura. Asegura que los Operadores tengan toda la documentación inherente a la operación objeto de la auditoría. Incluye aspectos de Seguridad, uso de los elementos de protección personal, orden y limpieza del sector de trabajo (5S)
- Manejo de los defectos. Asegura que el Operador y el equipo de trabajo, sabe como proceder ante la aparición de una soldadura defectuosa.
- Actividades de Inspección durante el proceso. Asegura el cumplimiento del plan de control establecido para el componente objeto de la auditoría.
- Revisión del equipamiento de inspección (calibres, dispositivos de control, etc). Asegura que se estén utilizando instrumentos de medición aprobados (queda garantizada la cadena de trazabilidad).
- Identificación del Producto elaborado. Asegura que el producto elaborado, salga del puesto de trabajo, correctamente identificado y con el estado de inspección que corresponda.
- Manejo de los materiales (Componentes y producto terminado). Asegura que se ejecuten las instrucciones de almacenamiento de componentes y producto terminado, de acuerdo con los procedimientos establecidos.
- Control del equipamiento de trabajo. Asegura que se realizan los mantenimientos preventivos y predictivos (si los hubiera), sobre los equipos afectos al proceso de soldadura.
- Entrenamiento del personal. Asegura que el personal se encuentre plenamente capacitado para desarrollar la actividad (incluye la verificación del uso de los elementos de protección personal). Los Operadores se encuentran aptos para desarrollar este tipo de procesos (soldadura por resistencia y proyección), cuando un Supervisor de los Procesos de Soldadura, da por válido que pueden desarrollar el proceso de soldadura por alcanzar los estándares de productividad y calidad previamente establecidos. Este tipo de proceso no necesita una capacitación superior (desarrollada en entes externos a las organizaciones productivas).
- Control de los cambios de Ingeniería. Asegura que se esté produciendo el nivel de producto solicitado por el cliente.

CAPÍTULO III

Soldadura de partes salientes, por protuberancias o por proyección

En este proceso de soldadura tan particular, la corriente y el flujo de calor se localizan en algunos puntos particulares de uno de los componentes a soldar, que han sido predeterminados por el diseño o la configuración de una o de las dos partes que deban soldarse. (Horwitz, 1997)

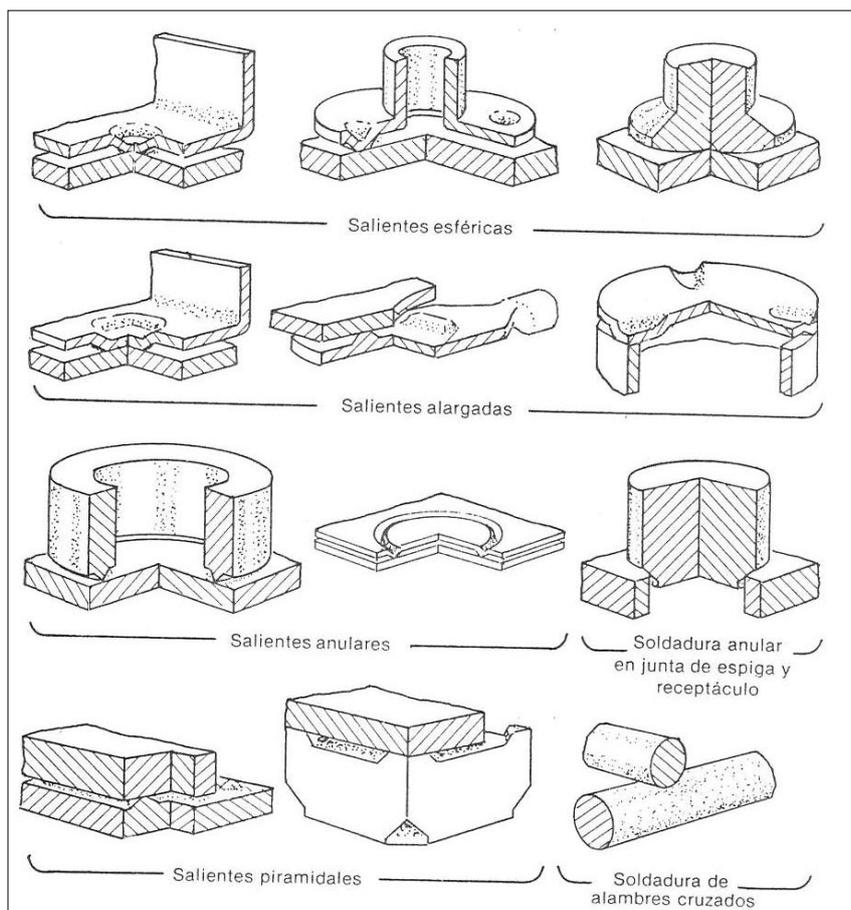


Figura 44. Variaciones sobre los tipos básicos de partes salientes en la soldadura por proyección.

Soldadura. Aplicaciones y Práctica. Horwitz 1997.

Se suelen utilizar salientes esféricos para soldar conjuntos hechos de láminas y placas de acero. Los salientes pueden también acuñarse o forjarse en los extremos o en las caras de los tornillos, tuercas y elementos similares de sujeción.

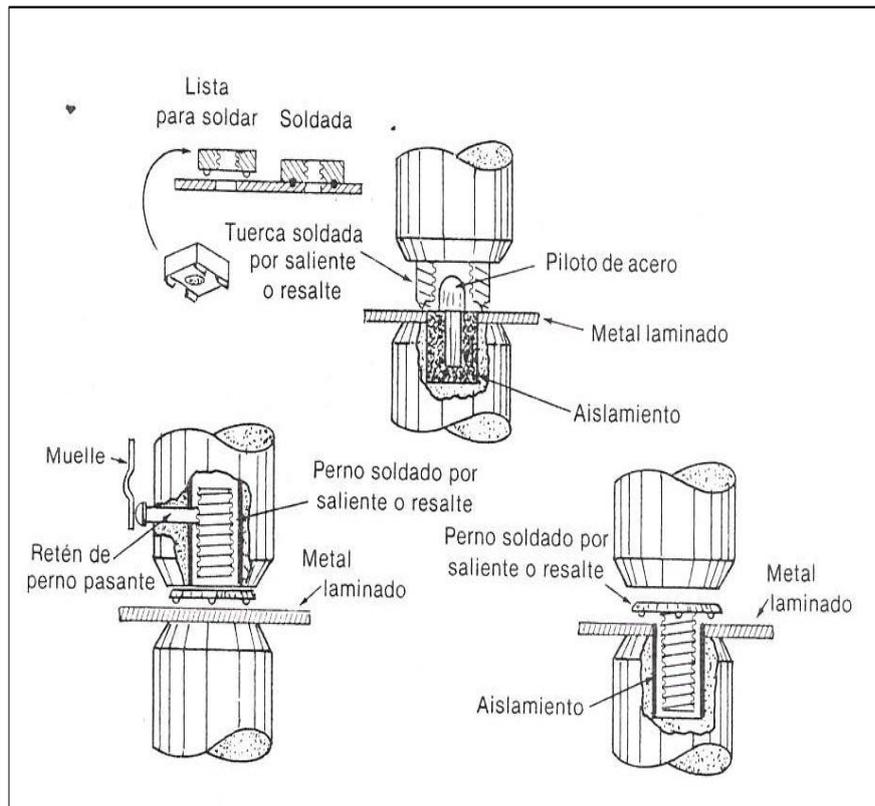


Figura 45. Ejemplos de tuercas y tornillos soldados por proyección.

Soldadura. Aplicaciones y Práctica. Horwitz 1997.

A menudo se emplean salientes alargados en lugar de salientes esféricos, cuando la forma de las partes hace que sea más adecuada una soldadura alargada, y cuando las soldaduras hechas con salientes esféricos no satisfacen los mínimos requisitos de resistencia. (Horwitz, 1997)

Las salientes anulares (Ver figura 44), se usan para soldar tubos o láminas metálicas, para hacer conexiones herméticas a los líquidos o a gases, como en la sujeción de tuercas de montaje a recipientes para líquidos, y para unir partes metálicas de chapa en los casos en que las salientes esféricas puedan desbaratarse durante la soldadura. Las salientes piramidales se acuñan o forjan en las caras de las tuercas. (Horwitz, 1997)

Las máquinas para soldadura por proyección son similares en principio a las máquinas para soldadura por puntos del tipo de presión descritas anteriormente.

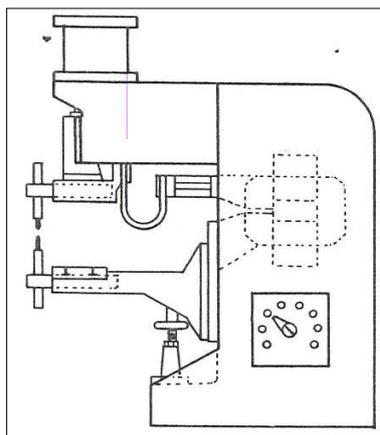


Figura 46. Máquina típica combinada para soldadura por puntos y por proyección.

Soldadura. Aplicaciones y Práctica. Horwitz 1997.

El metal que puede soldarse más satisfactoriamente por proyección, es el acero con bajo contenido de carbono (0,20% de carbono como mínimo), con un espesor de sección comprendido entre 0,25 y 6,3 mm (Spoots, 1979). El latón naval, "es una aleación de cobre y cinc" (Spoots, 1979); el níquel-cobre (aleación cuproníquel, cuya resistencia a la fluencia llega a 2000 kg/cm²) (Spoots, 1979) y los aceros inoxidable austeníticos "(18% de Cr, 8% de Ni) Alrededor de la mitad del acero inoxidable que se produce es austenítico. Se utiliza el níquel para que la fabricación sea más fácil" (Spoots, 1979), en cualquier combinación de dos de estos metales, las soldaduras pueden también desarrollarse exitosamente. También se pueden soldar los metales recubiertos como el terneplate (se trata de una delgada lámina de acero, recubierta con una aleación de plomo y estaño. La aleación de terne tiene una proporción de 10 – 20% de estaño y el resto plomo), chapas estañadas, y el acero aluminizado, "se utilizan muchos procedimientos para proteger de la corrosión la superficie de los productos de hierro y acero. Los más utilizados son los tratamientos con cinc, estaño, plomo, cobre, níquel, cromo y cadmio. La aplicación se hace, según los metales de que se trate, mediante inmersión en baño caliente, galvanizado, o por pulverización con metal caliente" (Spoots, 1979). El material que captura el electrodo, necesita limpiarse con frecuencia, debiendo volverse a revestir los electrodos en cada ocasión. (Horwitz, 1997)

Fundamentos de este tipo de soldadura

Las piezas se sueldan mediante unas lentejas como las que se obtienen en la soldadura por puntos formadas por material fundido y forjado de ambas. El lugar donde se produce la lenteja está determinado por una protuberancia creada artificialmente en la pieza, en un proceso previo, o por un borde o resalto natural de la pieza, o sea, ahora no es el electrodo el que determina donde se

suelda, ni quien obliga a pasar la corriente a través de las láminas en determinado lugar, sino que la corriente y la presión mecánica las reciben las piezas en toda su superficie posible y se concentra en los únicos lugares donde se establece contacto entre estas dos chapas o piezas a soldar, que son esas protuberancias o resaltes situados en una de los dos piezas. (Abad-Bisbe, 2002)

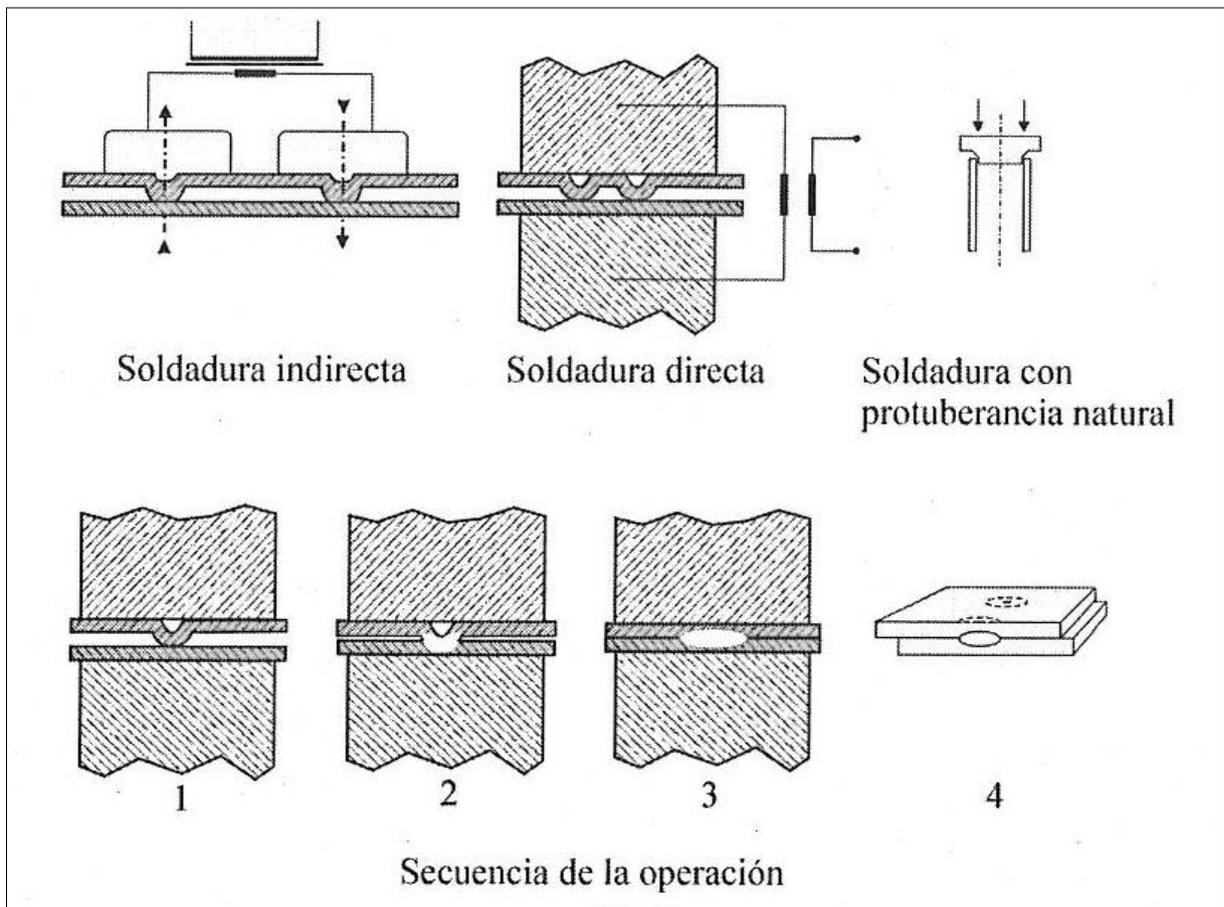


Figura 47. Diferentes casos de soldadura por proyección.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

La R_p (resistencia de contacto entre las piezas a soldar) es mucho más elevada que en los procesos por puntos, las R_c son despreciables (resistencia de contacto del electrodo con la pieza), y la energía y el calor se crean en la R_p y las R_m (resistencia propia del material a soldar) de la protuberancia y su zona de contacto. (Abad-Bisbe, 2002)

En cuanto se produce el aplastamiento de la protuberancia, desaparecen prácticamente todas las resistencias concentradas. Si continúa la máquina en tensión, aumenta algo el nugget, pero se calienta toda la pieza.

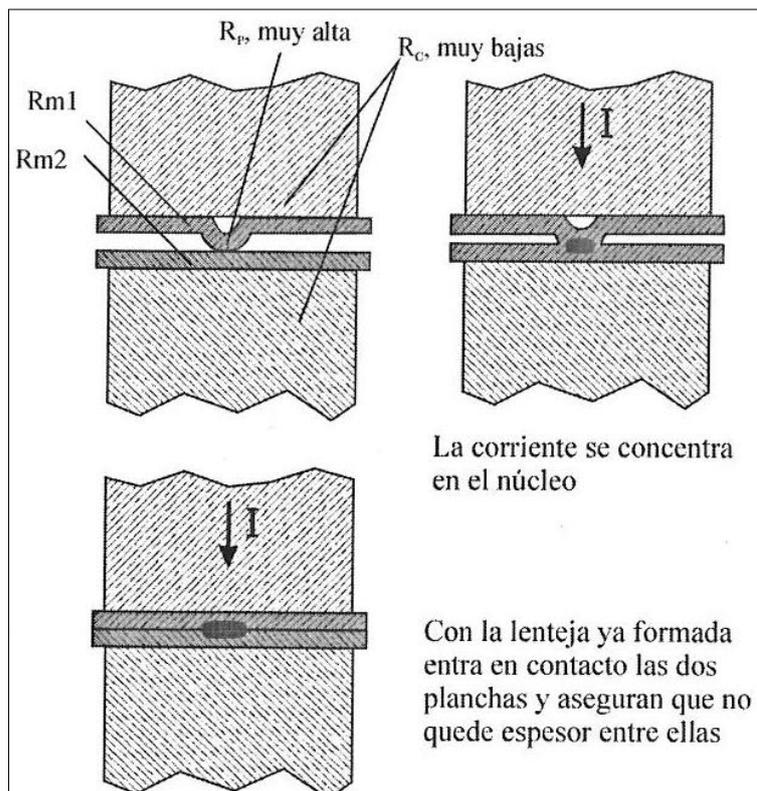


Figura 48. Secuencia de transformación de las protuberancias al ir desarrollándose el proceso de soldadura.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

El aplastamiento se puede producir formando la lenteja deseada, pero también se puede producir sin que se produzca la lenteja, cuando la protuberancia se funde y se desparrama debido a que la zona de contacto de la otra pieza con ella no ha llegado a alcanzar la temperatura de fusión. (Abad-Bisbe, 2002)

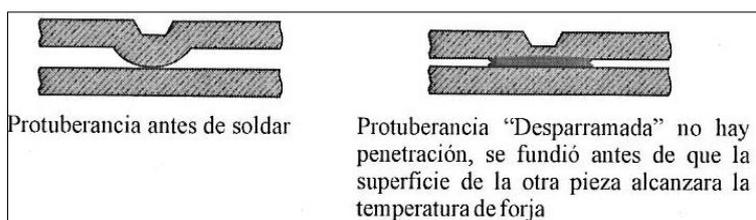


Figura 49. Posible defecto operativo al elegir mal los parámetros de operación.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad - Bisbe 2002.

Este problema se evita utilizando altas intensidades de corriente para que sea una soldadura rápida, y, en algunos casos, aportando mayor calor a la pieza que no lleva la protuberancia, utilizando cobres de menor conductibilidad para los electrodos, buscando el "equilibrio térmico" en

la soldadura. Con esto se busca que las tuercas y sus protuberancias logren fundirse en la hoja de acero sobre las que deben ser soldadas. (Abad-Bisbe, 2002)

Al igual que en la soldadura por puntos, también es necesario un esfuerzo de forja, cuyo valor dependerá del área soldada a conseguir, sea con una o varias protuberancias a la vez. (Abad-Bisbe, 2002)

También se necesita que pase la intensidad de corriente necesaria para que se produzca la fusión en los puntos de contacto y se formen las lentejas del tamaño correcto, y, es necesario poder dosificar y modular esas corrientes y presiones con unos tiempos y valores predeterminados para obtener los resultados deseados. (Abad-Bisbe, 2002)

Para que las piezas metálicas queden en íntimo contacto, sin sobrantes de material fundido entre ellas, el volumen del material de la protuberancia tiene que rellenar el hueco posterior que se produjo al formar la protuberancia, pues en conjunto no hubo variación de volumen; pero cuando las hojas metálicas son de un espesor superior a los 3 mm., el calor producido al fundirse la protuberancia no tiene el tiempo suficiente para que todo el espesor de la hoja de acero adquiriera la fluidez necesaria para "rellenar" ese hueco y será necesario contar con un hueco suplementario que se le da al conformar la protuberancia. (Abad-Bisbe, 2002).

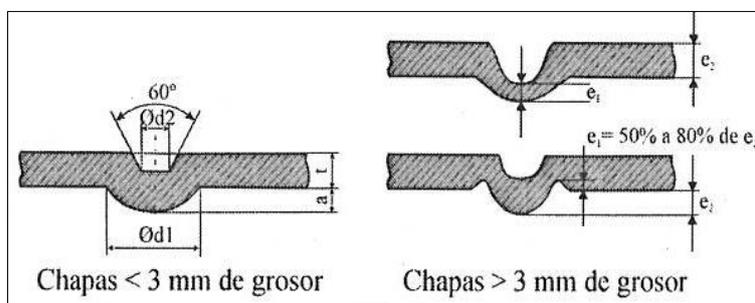


Figura 50. Ejemplos de protuberancias especiales para chapas de acero con espesor mayor a 3 mm.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

En chapas de acero de 6 mm., necesitamos que los 2/3 del volumen de la protuberancia que sobresale de la pieza metálica, al fundirse se acomode en ese hueco suplementario y cuando se trate de protuberancias naturales o formados en macizos mecanizados deberá tenerse en cuenta que el material fundido no desaparece y aunque en algunos casos no importe, en otros deberá preverse su reubicación. Ver Figura 51. (Abad-Bisbe, 2002).

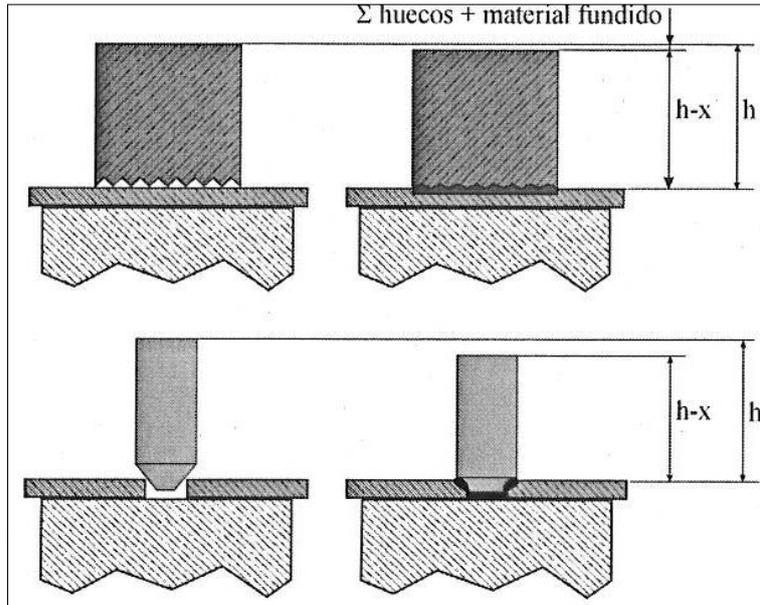


Figura 51. Esquema gráfico de la reubicación del material fundido en soldadura por proyección.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Debe evitarse situar las protuberancias cerca de los bordes o en lugares en que el material fundido se vacíe o sobresalga por el exterior, y por ello deben adoptarse las distancias aconsejadas. Ver figura 52. (Abad-Bisbe, 2002)

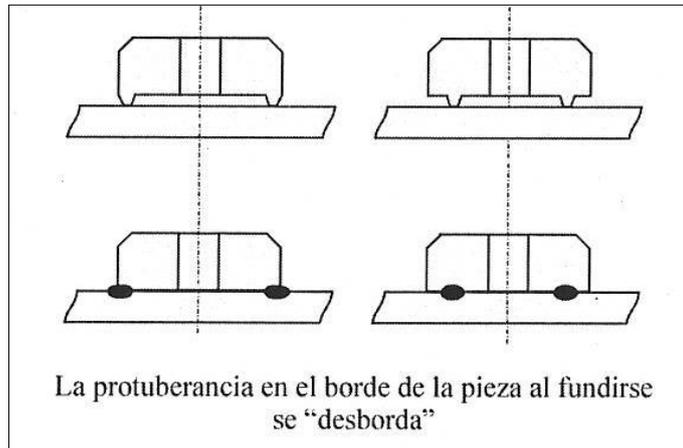


Figura 52. Diferentes ejemplos de ubicación de las protuberancias y su posterior soldadura.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Las protuberancias que deban realizarse en chapas de espesor 0,8 mm o inferior, resultan débiles y a veces es conveniente sustituir varias protuberancias por una anular que no precisa de un ajuste de parámetros de soldadura tan rígidos como las otras. (Abad-Bisbe, 2002)

Ventajas y particularidades de la soldadura por proyección

Consumo de cobre

En la soldadura por puntos el actor y principal causante de los costos de mantenimiento y de las irregularidades en la calidad, es el electrodo, por cuya cara activa pasan corrientes de alrededor de $300 \text{ A} / \text{mm}^2$, y se aplasta, se contamina, deja huellas, etc. (Abad-Bisbe, 2002)

En la soldadura por proyección se consigue que los “nuggets” se produzcan con intensidades del mismo orden, pero como la pieza recibe la corriente por una gran superficie, los cobres que se emplean, son de la misma calidad, o más duros que los de los electrodos y también refrigerados, la transmiten sin sufrir deformaciones o desgastes por trabajar “fríos”. (Abad-Bisbe, 2002)

El peso de una pieza-electrodo y su mecanización especial, hacen que su costo sea bastante más elevado que el de un electrodo para soldar por puntos, pero el gasto por soldadura en “electrodos”, es muy inferior, y el de mantenimiento de estos es irrelevante comparado con el de los electrodos para soldar por puntos. (Abad-Bisbe, 2002)

Realización simultánea de soldaduras

Pueden soldarse varios puntos a la vez, y obtener soldaduras de gran sección teniendo como límite la capacidad de la máquina para suministrar la intensidad de corriente y la fuerza necesaria para la soldadura que se debe realizar. (Abad-Bisbe, 2002)

Todos los puntos que se realizan sobre una pieza, los “nuggets” de una pieza se hacen, teóricamente, con la misma presión y densidad de corriente, y la distancia entre los nuggets puede ser inferior a la necesaria en la soldadura por puntos por no haber derivaciones de corriente por puntos próximos debido a la simultaneidad en la ejecución de todas las soldaduras de la misma pieza. Esto permite obtener uniones soldadas con resistencias no alcanzables con la soldadura por puntos al poder situar en menos espacios más nuggets correctos. Ver Figura 53. (Abad-Bisbe, 2002)

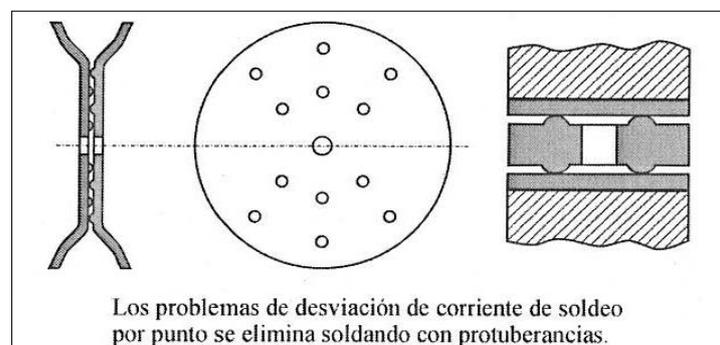


Figura 53. Caso puntual de la conveniencia de soldadura por protuberancias por sobre la de puntos.

Calidad

En este tipo de soldadura, el aspecto exterior de las piezas soldadas es mejor, por la ausencia de huellas irregulares y por no haberse producido puntos calientes en el exterior no se producen las consiguientes zonas sobre-oxidadas. (Abad-Bisbe, 2002)

El problema de derivaciones de corriente entre piezas es fácilmente evitable y toda la corriente pasa por donde se ha previsto que lo haga. (Abad-Bisbe, 2002)

Si las protuberancias o resaltes son de dimensiones uniformes y regulares y la herramienta o dispositivo están bien diseñados, se consigue una muy buena calidad en cuanto a resistencia y características dimensionales, dependiendo muy poco de la responsabilidad del operador. (Abad-Bisbe, 2002)

Aplicabilidad

Su campo principal está en piezas de dimensiones no muy grandes, salvo aplicaciones localizadas en algún punto de una máquina especial que suelde grandes piezas. (Abad-Bisbe, 2002)

Con piezas debidamente diseñadas para poder ser soldadas con este procedimiento se obtienen apreciables ventajas sobre la soldadura por puntos, especialmente cuando se usa en piezas pequeñas de difícil presentación y con mal acceso para los electrodos. (Abad-Bisbe, 2002)

Permite soldar piezas macizas y de superficies rugosas y sucias, si están dotadas de protuberancias o resaltes que consigan establecer contacto con la otra pieza a través de esa mala superficie. (Abad-Bisbe, 2002)

Se pueden soldar protuberancias en superficies situadas hasta con un ángulo de 90° entre ellas, pero debe evitarse si es posible. Ver Figura 54. (Abad-Bisbe, 2002)

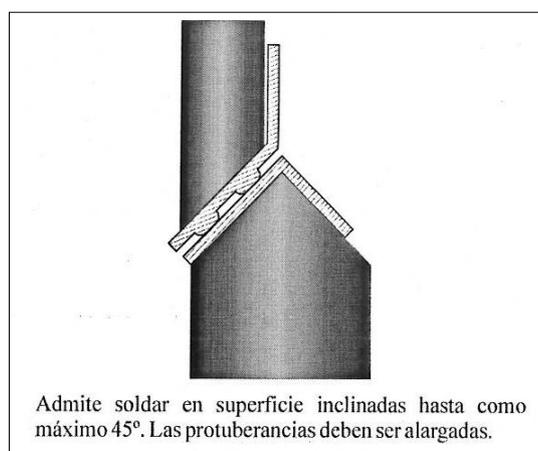


Figura 54. Caso particular de soldadura por proyección.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Precisión

Se consigue una gran precisión dimensional del conjunto soldado. Las piezas deben colocarse y sujetarse en dispositivos que a su vez están sujetos a la plataforma de la máquina de soldar, con lo que mecánicamente quedan muy bien referenciadas y la soldadura finaliza cuando las piezas están en contacto sin rebabas ni irregularidades debido a la operación de soldadura. (Ver Figura 55). (Abad-Bisbe, 2002)

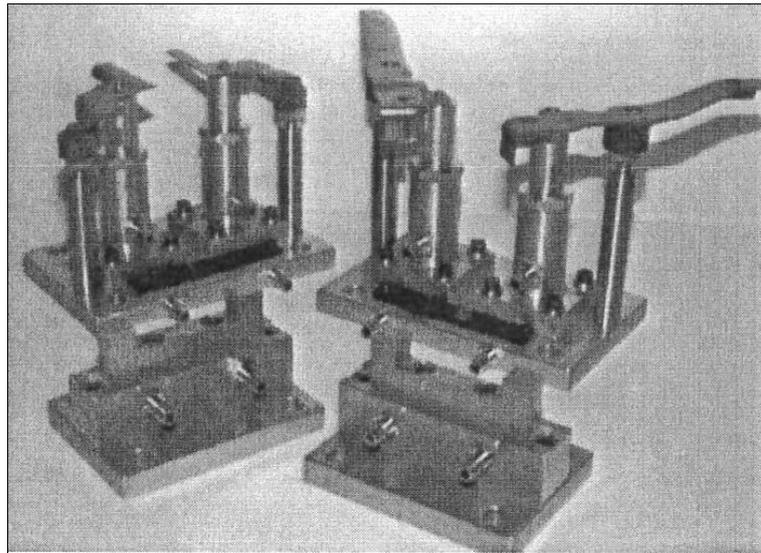


Figura 55. Ejemplo de un dispositivo de sujeción para ser usado en soldadura por proyección.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Materiales Aplicables

Muy apto para hojas de acero de bajo contenido de carbono, con recubrimiento, emplomadas, galvanizadas, aluminizadas, etc, aunque requiere especial atención el posible problema del “encolado” por desparrame de protuberancias. Ver Figura 56. (Abad-Bisbe, 2002)

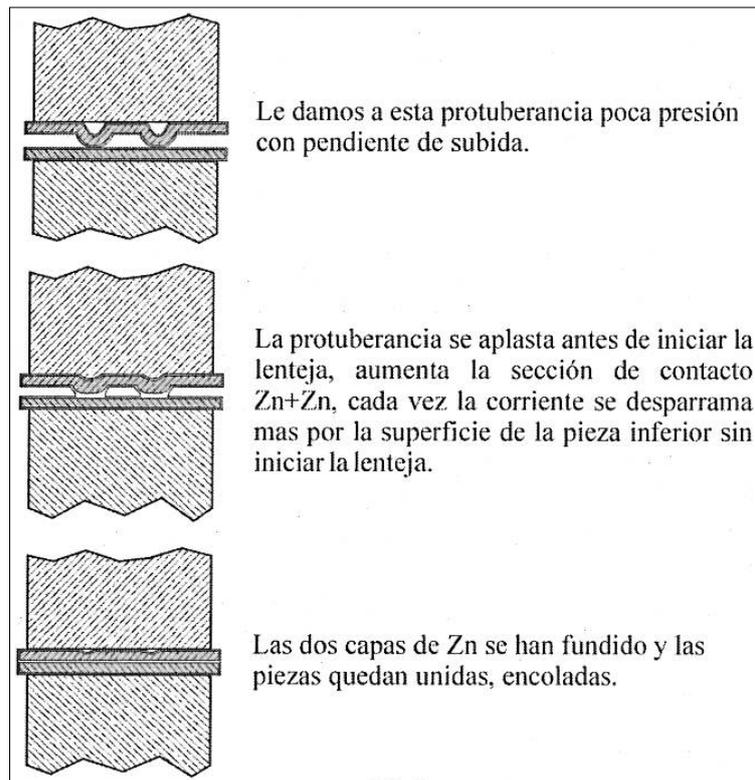


Figura 56. Descripción gráfica de una unión defectuosa, en la que la lenteja no se ha formado.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Se pueden soldar piezas de distinta composición, como por ejemplo, aceros con latón o bronce, piezas de material sinterizado, etc. No se consigue soldar cobre y raramente se aplica en el aluminio, donde solo suelda aluminio de elevada aleación y resistencia mecánica. (Abad-Bisbe, 2002)

Soldar hojas de acero de poco espesor y protuberancias débiles, es posible con el empleo de técnicas y medios adecuados, pero cuando además de ser de poco espesor, igual o menor de 0,6 mm., tienen recubrimiento de cinc, plomo o aluminio, aconsejamos se suelde por puntos pues, por protuberancias es muy difícil, aunque no imposible. (Abad-Bisbe, 2002)

Costos

El dispositivo de soldadura se construye con cobres aleados, latones y acero inoxidable, materiales costosos y según la forma de las piezas, requiere un proyecto y ejecución caros a su vez; pero es un gasto de primera instalación es de mucha duración y su función no es la de un simple electrodo, pues garantiza la dimensión de la pieza, y permite realizar todas las soldaduras en una sola operación. (Abad-Bisbe, 2002)

Las máquinas de soldaduras múltiples son de mayor costo que las de soldaduras tradicionales, por tener disponible una elevada potencia y el mayor esfuerzo mecánico necesario para realizar varias soldaduras simultáneamente. (Abad-Bisbe, 2002)

Este tipo de soldadura es muy conveniente y rentable para producciones importantes y muchas veces indispensables según las características de las piezas a soldar. (Abad-Bisbe, 2002)

Formas de la Protuberancias

Las protuberancias pueden ser artificiales o naturales. Las artificiales son aquellas que se realizan en la pieza con el exclusivo objetivo de posibilitar su soldadura. Ver Figura 57.

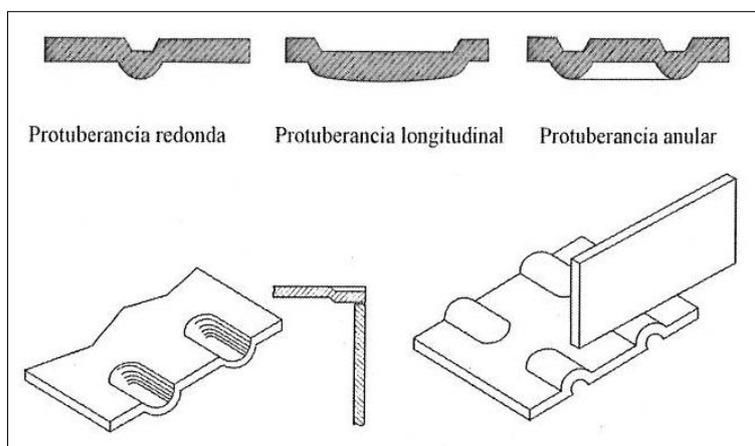


Figura 57. Diferentes casos de soldaduras artificiales.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

A lo largo del tiempo se han ido desarrollando diferentes formas de protuberancias con diferentes radios y medidas y las recomendadas por la RWMA (Resistance Welding Manufacturers Association), se han aplicado durante muchas décadas, y se continúan aplicando con éxito. (Abad-Bisbe, 2002)

En principio la corriente y la presión que se necesita para una protuberancia, es la que se necesitaría para una lenteja equivalente realizada con soldadura por puntos. (Abad-Bisbe, 2002)

Para hojas metálicas más gruesas se pueden emplear diversas formas de protuberancias y aunque cada usuario puede crearse la que mejor se adapte a la pieza o a los medios de fabricación que se dispone, es aconsejable adaptarse a las recomendaciones acreditadas como las de la RWMA.

Cuando no se trata de hojas metálicas, se puede necesitar producir unas protuberancias que permitan la soldadura. Ver Figura 58. (Abad-Bisbe, 2002)

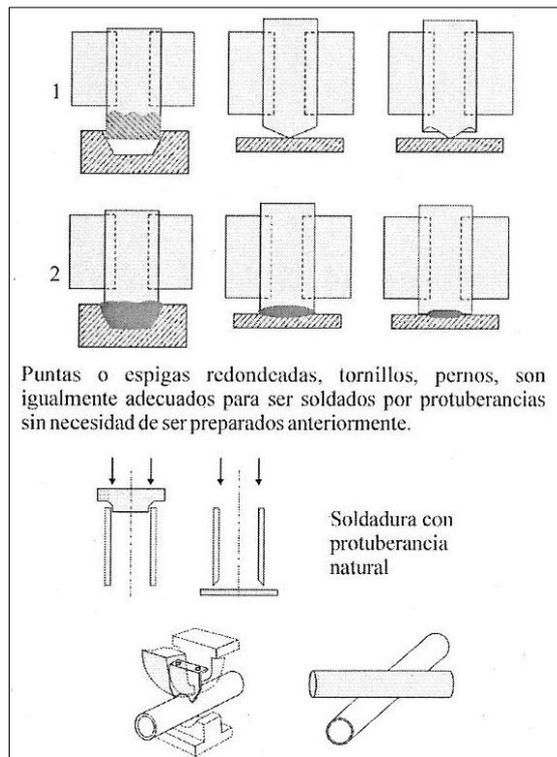


Figura 58. Casos particulares de protuberancias “naturales” aptas para soldar por proyección.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

En el caso de tuercas y tornillos se encuentra actualmente una buena variedad de formas con resultados similares. Ver Figura 59. (Abad-Bisbe, 2002)

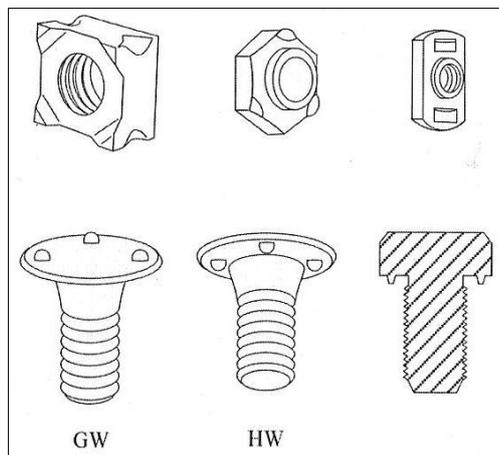


Figura 59. Forma de tuercas y tornillos aptos para la soldadura por proyección.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Las protuberancias naturales son aquellos bordes, cantos o resaltes, que pueden ser utilizados para la soldadura. Ver Figura 60. (Abad-Bisbe, 2002)



Figura 60. Casos particulares de protuberancias naturales aptas para soldadura por proyección.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

También pueden considerarse protuberancias las aristas o generatrices de perfiles laminados o extrudados. Ver Figura 61. (Abad-Bisbe, 2002)

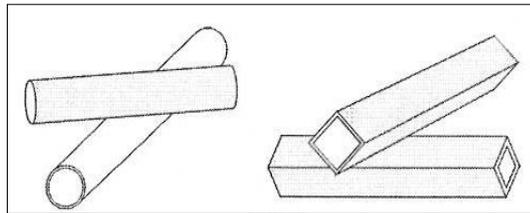


Figura 61. Casos particulares del uso de generatrices aptas para soldadura por proyección.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Preparación de un proceso de soldadura por proyección

Aunque parezca una afirmación innecesaria, se debe hacer hincapié en que lo primero que se necesita para este tipo de soldadura, es una buena prensa de soldadura, pues en este tipo de proceso no ocurre como en la soldadura de puntos, donde una máquina "regular", también se suelda aceptablemente. Tener presente conceptos claros y sencillos, ayudan mucho a obtener buenos resultados. En la Figura 62, se aprecia un ejemplo de una prensa de soldadura robusta, apta para desarrollar procesos de soldadura por proyección.

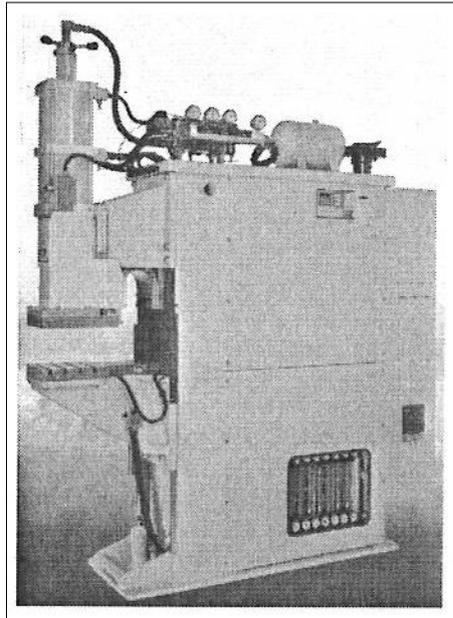


Figura 62. Prensa apta para procesos de soldadura por proyección.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Las normas y tablas basadas en la experiencia, indican el tamaño, forma y dimensiones de las protuberancias aconsejadas para cada espesor de las láminas metálicas, y en función de la forma de las piezas, y resistencia mecánica exigida, se determina la cantidad y situación de las protuberancias. (Abad-Bisbe, 2002)

Diseñar y fabricar el dispositivo de soldadura necesario para soldar las piezas, es una parte muy importante del proceso de soldar por protuberancia. Diseños robustos, pueden conllevar elevados costos, pero asegura el posterior rendimiento de la producción de las piezas. El diseño del dispositivo de soldadura debe ser realizado por un especialista en el tema o por un proyectista mecánico con buenos conocimientos de electricidad y soldadura. (Abad-Bisbe, 2002)

Con el número de protuberancias a soldar y sus dimensiones, se puede determinar el esfuerzo que se precisa y la intensidad de corriente necesarias para la soldadura, para lo cual se debe acudir a las tablas correspondientes. (Abad-Bisbe, 2002)

En el caso de protuberancias naturales, se debe calcular la sección del material una vez fundido y aplicarle a esta sección la densidad de corriente y presión necesarias y se obtendrá una aproximación de los valores totales que se están necesitando. (Abad-Bisbe, 2002)

Con todos estos datos y teniendo en cuenta las dimensiones de la pieza y el tamaño del dispositivo de soldadura, se puede determinar el tipo de máquina (llamada también prensa de soldadura), en que se realizará el trabajo. (Abad-Bisbe, 2002)

Para obtener un buen equilibrio térmico cuando se sueldan láminas metálicas de diferentes espesores, las protuberancias deben estar ubicadas en la lámina u hoja de acero de mayor espesor y sus dimensiones pueden ser las que corresponden a esa lámina o hoja más gruesa, salvo en su altura, que no debe ser superior al espesor de la hoja o lámina delgada. Ver Figura 63. (Abad-Bisbe, 2002)

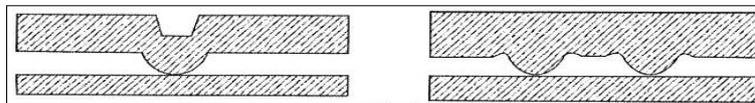


Figura 63. Características de protuberancias en láminas metálicas, siempre del lado de la hoja de mayor espesor. Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

También es común aplicar las dimensiones que corresponden a las protuberancias para la chapa delgada, pero siempre ubicadas en la chapa más gruesa. (Abad-Bisbe, 2002)

En el caso de materiales con diferente conductividad eléctrica, las protuberancias deben estar ubicadas en la chapa que tenga mayor conductividad. Se observa también que en este tipo de soldadura, toda la importancia se le debe dar a la pieza y al dispositivo de soldadura, mientras que en la soldadura por puntos se le da al electrodo. Es muy importante en este tipo de soldadura, que utiliza intensidades de corriente y esfuerzos importantes, verificar que la máquina esté conectada a redes de aire comprimido, agua y electricidad que puedan suministrar lo que se necesita en el momento de la soldadura. (Abad-Bisbe, 2002)

También debe comprobarse la limpieza del dispositivo de soldadura y el buen contacto de sus cobres con la pieza en la zona donde están situadas las protuberancias, así como la buena circulación del agua de refrigeración.

- En primer lugar se debe montar el dispositivo de soldadura, sobre las plataformas conductoras, ambas acanaladas a 90° cada una respecto a la otra, con ranuras en T de medidas normalizadas y proceder a su alineación (Ver Figura 64). El dispositivo de soldadura debe estar correctamente diseñado y fabricado, y a su vez montado en la máquina de soldadura, es indispensable antes de iniciar los ajustes de los parámetros necesarios, dado que los defectos de alineación, difícilmente se puedan corregir con los mandos del control. Ver Figura 65. (Abad-Bisbe, 2002).

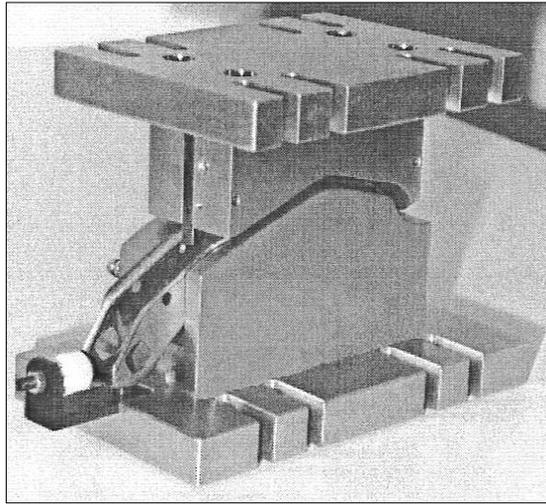


Figura 65. Detalle del montaje de un dispositivo de soldadura por proyección en la mesa de la prensa.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

- Con las dos partes del dispositivo ya montadas, y fijadas sobre las plataformas inferior y superior, y sin piezas dentro del mismo, se tiene que hacer descender la plataforma superior a muy baja presión (y con el control de soldadura en la posición "no suelda", o sea, sin corriente eléctrica) hasta que se toquen y comprobar entonces que las superficies de las partes del dispositivo que están en contacto correspondiente a la zona de las protuberancias, estén perfectamente paralelas. La falta de paralelismo no se puede corregir mediante el añadido de suplementos en las bases aunque sean conductores, pues se producen asimetrías térmicas y eléctricas importantes. La base de los dispositivos deben estar en contacto con las plataformas en toda la superficie de contacto eléctrico y térmico diseñada. (Abad-Bisbe, 2002)
- Completada la etapa de montaje del dispositivo, se colocan las piezas (con la máquina sin energizar), y se comprueba que quedan en su posición inequívoca y fija. Luego se hace descender la parte superior a baja presión y se procede a verificar si todas las protuberancias se marcan o deforman en igual medida, primero a baja presión y luego con la presión de trabajo. Es muy importante que el descenso sea muy lento, pues un impacto fuerte entre las partes, falsearía las observaciones. (Abad-Bisbe, 2002)
- Si la máquina dispone de los medios necesarios, se debe reducir la distancia entre plataformas a lo mínimo necesario, para que la carga y descarga de las piezas sea cómoda, así se reduce la carrera de descenso.
- Con el dispositivo de soldadura correctamente instalado, se procede a colocar los parámetros en el control de la máquina. El acercamiento debe ser lo suficientemente

largo para asegurar que tenemos la presión deseada en el inicio del paso de la corriente. El procedimiento práctico recomendado en el caso de soldadura por puntos para determinar el tiempo de acercamiento necesario, no es generalmente aplicable en la soldadura por protuberancias, por lo que en principio conviene aplicar un tiempo "generoso", dada su muy escasa influencia sobre el tiempo total del ciclo de soldadura que incluye la carga y descarga de las piezas. (Abad-Bisbe, 2002)

- Si el circuito neumático de la máquina lo permite, es importante realizar el movimiento de descenso a baja presión para evitar deformar las protuberancias con el impacto dinámico, elevándola luego hasta la presión de soldadura y establecer el paso de la corriente una vez alcanzada esta. La intensidad de corriente (expresada en Kiloamperios) y la fuerza (expresada en Newtons) necesaria para la soldadura, vienen determinados por el número de protuberancias, su tamaño y el espesor de la hoja de acero. Para ello se debe acudir a las tablas orientativas o a la experiencia propia para fijar los valores iniciales del ajuste. (Abad-Bisbe, 2002)
- Pequeñas variaciones en las dimensiones de las protuberancias, respecto a las indicadas en las tablas, o especial distribución de ellas en la pieza o el diseño del dispositivo de soldadura, pueden significar variaciones apreciables entre lo que se determinará necesario y lo que se preveía inicialmente según las tablas. (Abad-Bisbe, 2002)
- Es recomendable iniciar el ajuste soldando con el 80% del valor de intensidad previsto, e ir aumentando paulatinamente, y en cuanto al tiempo, fijarlo en el valor más corto aconsejado y aumentarlo en la medida que se considere necesario. Transcurrido el paso de la corriente, debe permanecer la presión al menos entre seis y ocho períodos, para garantizar el enfriamiento bajo presión, y si la máquina y su controlador disponen la posibilidad de variar la presión durante el ciclo de soldadura, es conveniente aplicar una sobrepresión durante o al finalizar la soldadura. (Abad-Bisbe, 2002)
- En este tipo de soldadura no se aplica el sistema de corriente constante aunque el control disponga esa posibilidad, pero si el controlador dispone una regulación por energía, puede ser muy conveniente usarla en vez de la clásica regulación por amperios. (Abad-Bisbe, 2002)
- La extracción de la pieza soldada, tiene que poder efectuarse fácilmente, sin utilizar palancas o medios que puedan dañar los cobres y la precisión del dispositivo de soldadura. En el caso de una pieza con extracción dificultosa, debe corregirse el diseño del dispositivo de soldadura o aplicarle un sistema de "desclavado" mecánico o neumático. (Abad-Bisbe, 2002)

Detalles prácticos para obtener buenos resultados en la soldadura por proyección

Verificar que las protuberancias sean regulares, de la misma altura y que tengan las dimensiones correctas y que no se vayan degenerando en el tiempo por desgaste de las matrices que las conforman. (Abad-Bisbe, 2002)

En el caso de soldar tuercas con protuberancias adquiridas en el mercado, prestar especial atención de utilizar solo las que tengan medidas homogéneas. El paralelismo de las plataformas debe conservarse cuando se aplica toda la presión. (Abad-Bisbe, 2002)

En algunos casos en que es difícil conseguir una perfecta regularidad en el contacto inicial protuberancias piezas, puede aparecer un chisporroteo al iniciar la soldadura. En este caso es aconsejable que la corriente esté programada con una corta pendiente de subida, de uno a tres períodos. (Abad-Bisbe, 2002)

En algún caso, cuando las protuberancias son pequeñas, de muy poca sección, la pendiente de subida de la corriente de soldadura (slope)⁶, es un grave inconveniente, pudiendo llegar a no ser aconsejable el uso de la corriente trifásica de la red rectificada por su slope mínimo inevitable. El impacto que se produce al finalizar el descenso y entrar en contacto las piezas, no debe deformar ni a estas ni a las protuberancias. (Abad-Bisbe, 2002)

Para corriente superiores a los 50.000 Amperios es actualmente muy ventajoso utilizar máquinas alimentadas con la corriente trifásica de la red y soldando con corriente continua, dado que permiten un mejor ajuste y mejor calidad con una menor demanda de amperios de la red. (Abad-Bisbe, 2002)

Se debe prestar atención, especialmente en el caso de hojas de acero galvanizadas o emplomadas, aunque también puede ocurrir soldando acero normal de baja aleación, al posible "encolado" de las piezas, el cual ocurre cuando se llega al aplastamiento en caliente de las protuberancias, sin que se haya iniciado la lenteja de la soldadura, pues entonces se "desparrama" el material fundido de la protuberancia y ya no se produce la fusión del material de la pieza fría, quedando las piezas unidas por la capa intermedia de zinc fundido y solidificado. Para evitarlo, se tiene que usar al mínimo indispensable la pendiente de subida de la corriente, o no usarla, y soldar en la gama alta de la corriente y presión recomendadas e incluso elevarlas. (Abad-Bisbe, 2002)

Es importante evitar significativas variaciones en las distancias de las diferentes protuberancias hasta el transformador, especialmente en las máquinas que sueldan con corriente alterna. Las más cercanas recibirán más corriente que las alejadas si no se estudia el dispositivo de soldadura para

⁶ Slope: Pendiente de incremento natural. Manera gráfica de significar la subida de la corriente al iniciarse el ciclo de soldadura.

que esto no ocurra; no obstante en algunos casos, al proyectar el dispositivo, se pueden corregir las diferencias de resistencias o impedancias en algunos puntos. Ver Figura 66. (Abad-Bisbe, 2002)

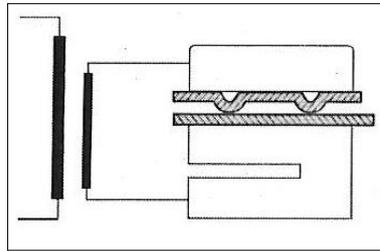


Figura 66. Detalle gráfico de la posición de las protuberancias en relación al transformador.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Es prudente considerar que a partir de cuatro protuberancias, un 20% de ellas son de una resistencia inferior a la otra. (Abad-Bisbe, 2002)

Diferentes tipos de aplicaciones que se presentan en los procesos de producción. Soldadura de tuercas, tornillos y bulones.

Esta es una muy interesante aplicación de la soldadura por protuberancias y es necesario conocer bien sus particularidades y prácticas de ejecución para realizar la actividad con éxito. El principal problema a resolver es lograr preservar los filetes de la rosca de suciedad y restos de soldadura que se puedan alojar sobre los mismos, dado que al tratarse de altas producciones con estándares de calidad muy altos, no es posible tener que realizar retrabajos en líneas de producción de clientes por su elevado costo operativo y de imagen.

Soldadura de tuercas

En el mercado se pueden encontrar varios tipos de tuercas, relativas a diferentes normativas que aparte de su dimensión y paso de rosca, y que tengan o no cuello de centrado, tienen formas cuadradas, redondas, hexagonales, rectangular, etc. En las figuras 67, se observan unos ejemplos.

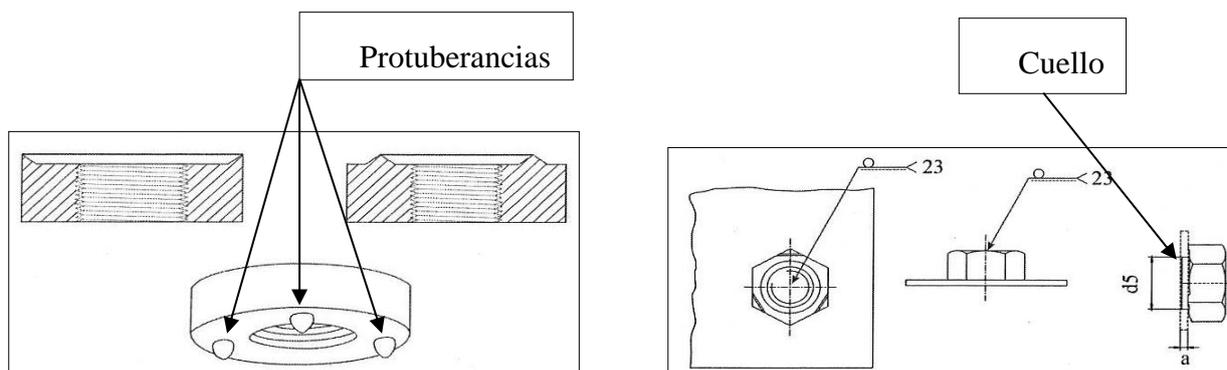


Figura 67. Tuercas aptas para soldar por proyección con protuberancias o cuello centrador.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Los pasos de las roscas suelen variar entre $M4 * 0,7$ (Diámetro exterior de la tuerca 4 mm, paso entre filetes 0,7 mm) y $M16 * 2$ (Diámetro exterior de la tuerca 16 mm, paso entre filetes 2 mm). Cada tipo de tuerca, tiene sus protuberancias particulares, pero las diferencias entre ellas no son significativas. Existe también una apreciable cantidad de piezas auxiliares roscadas, que sin ser llamadas tuercas, se las debe integrar en este grupo y su tratamiento es similar. En la figura 68, se puede observar diferentes aplicaciones.

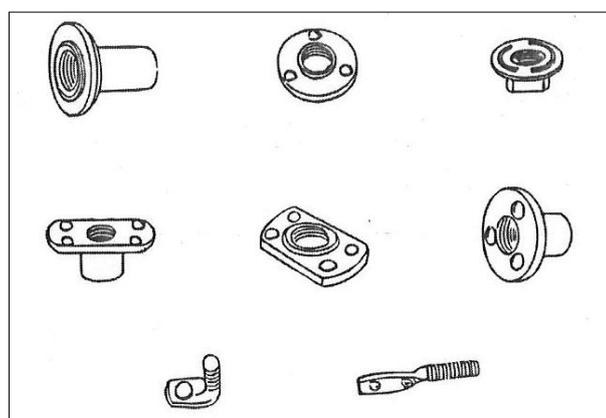


Figura 68. Piezas auxiliares que son pasibles de ser soldadas por proyección y ser tratadas como tuercas.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Para producir la soldadura de la tuerca, la máquina de soldadura debe tener instalados:

Electrodo superior: Se trata de una capsula roscada intercambiable, con una configuración plana o con una ligera concavidad en su centro. Por lo general es de cobre o de alguna aleación afín. Tiene un frente plano que le permite su contacto con la tuerca a soldar, y un agujero en su centro, para permitir alojar al pin centrador, mientras dura la soldadura.

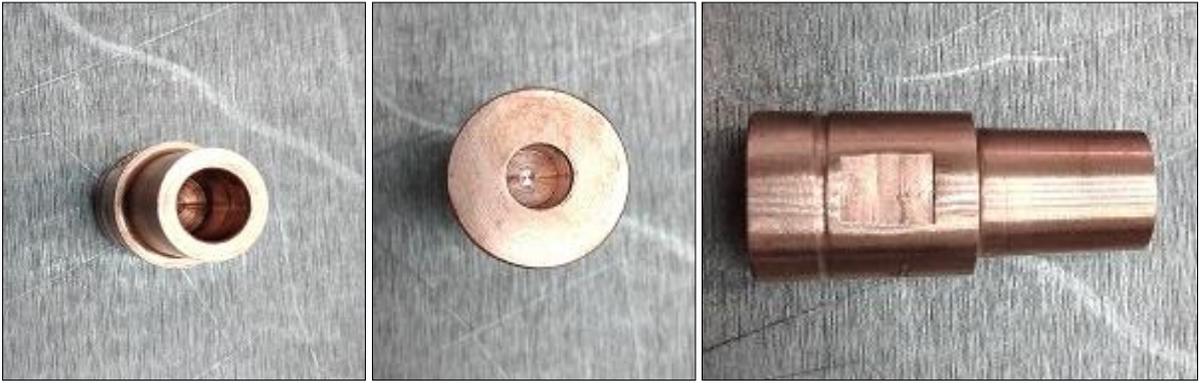


Figura 69. Vista anterior, posterior y lateral de un electrodo superior apto para soldadura por proyección.

Gentileza de Industrias Guidi

Electrodo inferior: Similar al electrodo superior, pero con la condición que tiene un agujero en su centro, para permitir el paso del pin centrador. Es intercambiable a través de una rosca que lo une al vástago inferior.



Figura 70. Vista anterior, lateral y posterior de un electrodo inferior, apto para la soldadura por proyección.

Gentileza de Industrias Guidi.

Pin centrador: es el elemento en el cual se centra la tuerca, con el fin de asegurar el posicionamiento geométrico, perpendicularidad y para evitar el paso de partículas. Los pines centradores deben estar aislados pues rozan los hilos de la rosca, y habría un paso de corriente que los dañaría. Por lo general son de acero inoxidable. En la actualidad se emplean también con éxito los centradores cerámicos, de gran dureza, superficie pulida, pero algo frágiles y precio elevado.

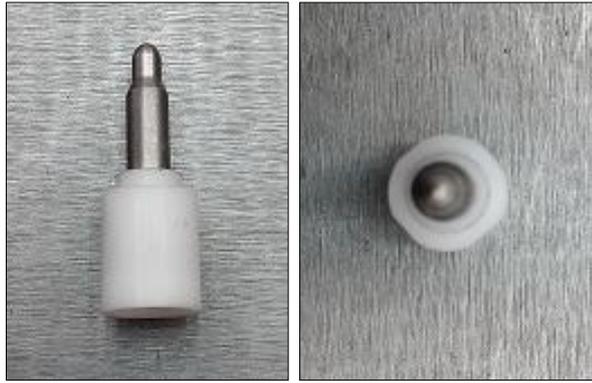


Figura 71. Vista lateral y anterior de un pin centrador de acero inoxidable.

Gentileza de Industrias Guidi.

Los pines centradores se pueden clasificar en fijos y retráctiles. Los fijos no suelen sobrepasar la altura de la tuerca y los retráctiles la sobrepasan y son empujados por el electrodo superior cuando desciende. Este tipo de pines suele tener una longitud cilíndrica para el centrado y una longitud cónica para facilitar la carga de la tuerca. Ver figuras 72 y 73. (Abad- Bisbe, 2002)

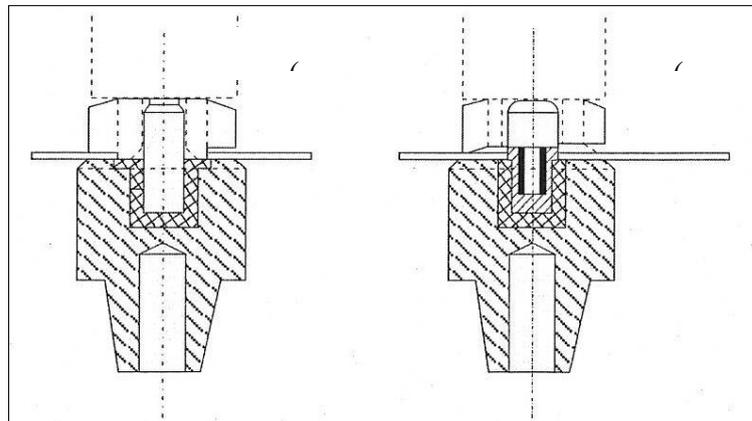


Figura 72. Pines centradores para soldadura de tuerca con cuello centrador (a) y sin ellos (b).

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

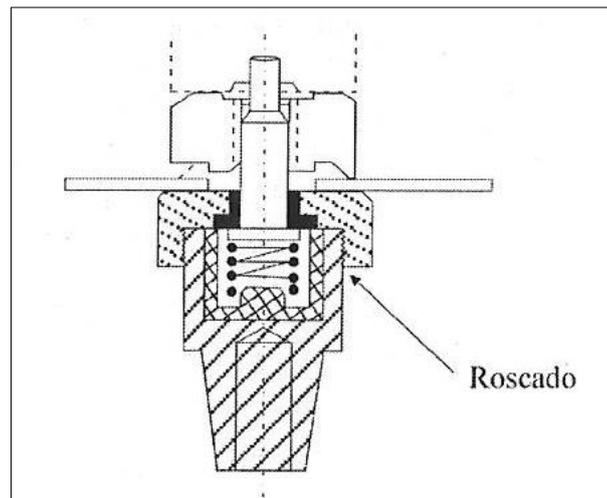


Figura 73. Pin centrador retráctil mediante resorte y aislado para soldadura de tuerca con cuello centrador.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad –Bisbe 2002.

Para el caso particular de los pines retráctiles, se aplica la solución con resorte mecánico y cilindro neumático, o la que emplea una entrada de aire comprimido alimentado permanentemente, que permite si se desea, una pérdida anular de aire por la superficie del centrador que ayuda a quemar o expulsar hacia el exterior las posibles proyecciones de chispas. Ver figura 74. (Abad - Bisbe, 2002).

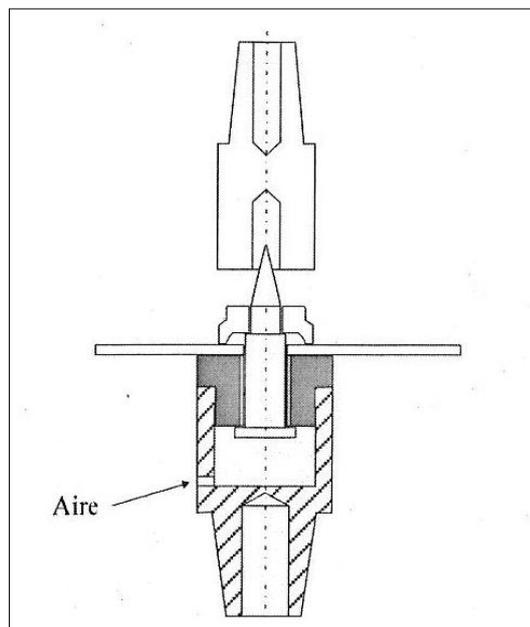


Figura 74. Pin centrador retráctil, con entrada de aire comprimido para refrigeración y expulsión de chispas.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Soldadura de tornillos

Como ocurre con las tuercas, también se emplea una amplia variedad de tornillos que responden a diferentes normas técnicas (Ver figura 75), y se pueden aplicar los mismos conceptos técnicos que los desarrollados para la soldadura de tuercas.

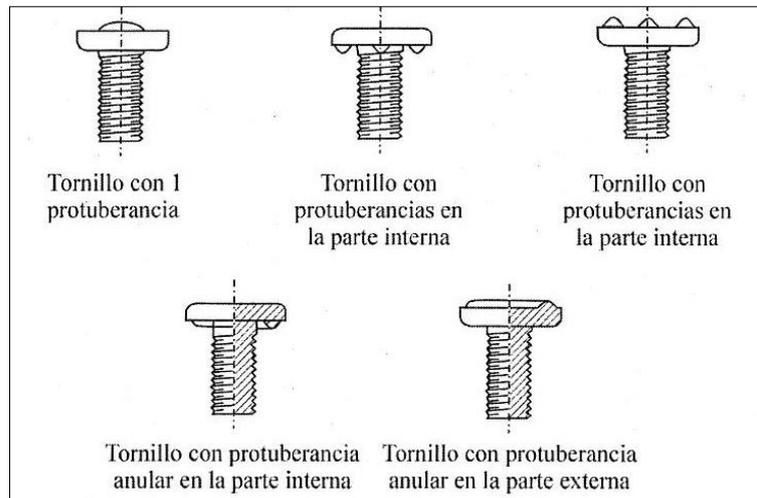


Figura 75. Diferentes tipos de tornillos aptos para ser soldados por proyección.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Lo más importante y donde se tiene que concentrar la principal atención, es en el electrodo a utilizar. A diferencia de las tuercas que siempre se cargan por gravedad en el electrodo inferior, los tornillos se cargan según el tipo de tornillo y el diseño de la pieza, tanto en el electrodo inferior como en el superior. Ver Figuras 76 y 77. (Abad-Bisbe, 2002)

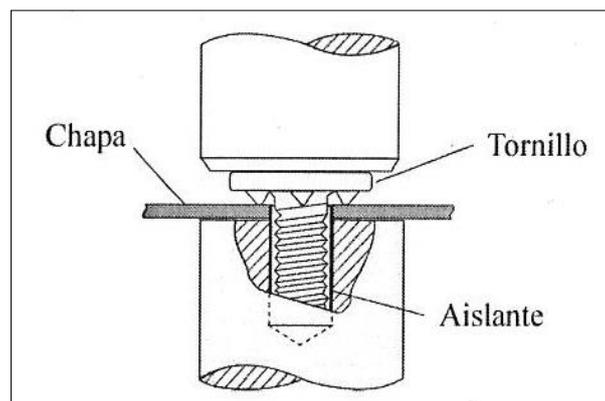


Figura 76. Tornillo a ser soldado por proyección, alojado en el electrodo inferior.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

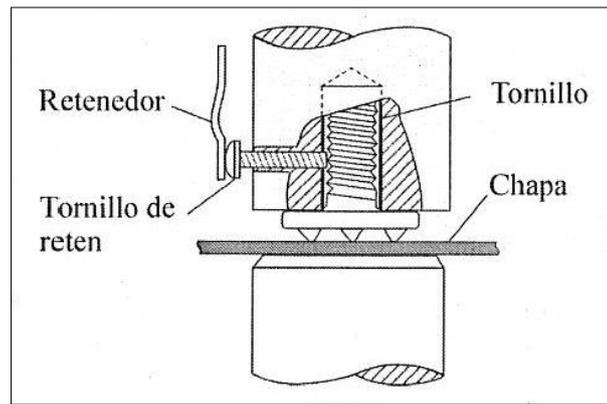


Figura 77. Tornillo a ser soldado por proyección, alojado en el electrodo inferior.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

Un factor común de estos electrodos es la necesidad de un alojamiento del vástago roscado en el interior del electrodo. Este alojamiento es necesario que esté aislado para evitar deterioros por chispas que se alojen en los filetes de la rosca. Aunque no sea indispensable se aconseja que el interior del alojamiento en contacto ajustado con el tornillo sea de acero inoxidable no magnético, y que sea este fino tubo de acero el que se aísla del electrodo, porque el contacto directo de la rosca del tornillo con un aislante, lo deteriora y crea huelgos con el uso. Ver Figura 76. (Abad-Bisbe, 2002)

Cuando la carga del tornillo es en el electrodo superior, se debe evitar su caída y para ello se pueden emplear varios modelos de retenedores. Ver figura 77. (Abad-Bisbe, 2002)

Particularidades de este tipo de soldaduras

Si las piezas a soldar tienen en su composición porcentajes de azufre (S) y fósforo (P), superiores al 0,045% en su composición, no son soldables y si se consigue que queden unidas, es una soldadura muy frágil, no aceptable. (Abad-Bisbe, 2002)

Es importante también estudiar el equilibrio térmico hoja de acero - tuerca / tornillo, especialmente en medidas hasta M8, pues pueden desparramarse las protuberancias antes de soldarse al material, si éste no ha alcanzado la temperatura de forja o fusión. Una posible solución efectiva en muchos casos es emplear en el electrodo de contacto con la chapa a soldar, un material de cobre al tungsteno (B11), el cual aporta calor a esta debido a su elevada resistencia eléctrica. (Abad-Bisbe, 2002)

Para este tipo de trabajo se desaconseja el empleo de un slope de subida⁷ e incluso el empleo de máquinas de corriente continua debido al slope natural que ya tienen, siendo suficiente el uso de máquinas monofásicas, o mejor aún, el de máquinas de media frecuencia rectificadas tipo inverter por su elevada pendiente en el crecimiento de la intensidad de soldadura. La experiencia indica que salvo en laboratorios, es muy difícil que todas las protuberancias de una tuerca o tornillo queden soldadas con igual resistencia mecánica, pues siempre hay una de calidad inferior. Si el elemento soldado cumple con creces las exigencias de prueba de rotura, debe aceptarse esa irregularidad. (Abad-Bisbe, 2002)

El uso de tiempos muy cortos de soldadura, del orden de dos a tres períodos, conlleva siempre el problema de saber si se está soldando con la intensidad de corriente previamente regulada, pues esta se estabiliza después de dos a cuatro períodos y por lo tanto, es probable que dicho elemento se haya soldado con una intensidad de corriente inferior. Debido a esto, es muy importante testear los parámetros recomendados por las diferentes bibliografías, con ensayos de performance sobre el elemento soldado. (Abad-Bisbe, 2002)

Existen en la actualidad, instalaciones que tienen la posibilidad de soldar dos tuercas simultáneamente en soldadura en serie y de manera efectiva (Ver Figura 78). Para este caso particular, a las máquinas de soldadura se les deben acoplar alimentadores automáticos que simplifican el proceso de soldadura y mejoran la productividad. En estos casos, la tensión secundaria debe ser elevada para asegurar el paso de la corriente necesaria. (Abad-Bisbe, 2002)

⁷ Slope de subida: regula el tiempo tras el cual se alcanza el valor programado de la corriente de soldadura. Se utiliza para mejorar el contacto electrodo - pieza al iniciarse la soldadura.

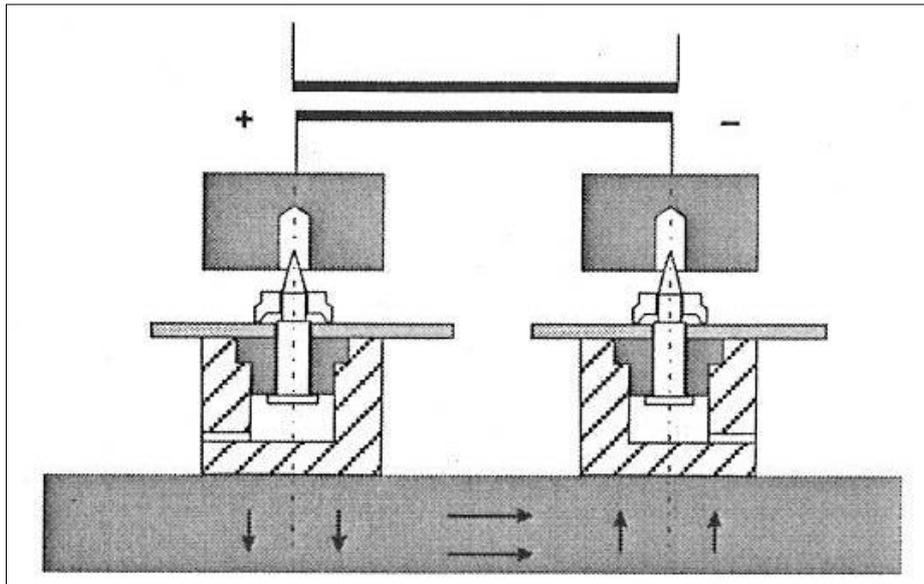


Figura 78. Soldadura simultánea de tuercas por proyección.

Manual de Soldadura por Resistencia. Abad – Bisbe 2002.

CAPITULO IV

Estado del Arte

Máquinas de soldar tornillos por proyección

La máquina para soldar tornillos por proyección, para el caso que nos ocupa es de marca OBARA Modelo STN21-ECL-TY3ARG1, cuya fábrica, tiene su sede central en Japón y tiene subsidiarias en diferentes partes del mundo. El principio de trabajo para la soldadura de tornillos por proyección, se detalló en el capítulo III del presente trabajo. En este estudio se desarrollará la soldadura de un tornillo de rosca métrica, de acuerdo con la figura 97 (Ver capítulo V, página 125) sobre una hoja de acero de bajo contenido de carbono, cuyo espesor total es de 0,65 mm y que a su vez, tiene un recubrimiento de electrocincado sobre su superficie.

La característica del tornillo es que tiene una protuberancia anular sobre su cabeza (del lado opuesto a la rosca) en lugar de tres o cuatro protuberancias ubicadas del lado de la rosca, por lo que para soldar el tornillo no es necesario que la hoja de acero sobre la que se efectuará la soldadura, esté agujereada. Esto le confiere a esta operación una característica particular, sobre la que no se encontró bibliografía.

La máquina cuenta con un sistema neumático para colocar los tornillos en posición a ser soldados. Para ello tiene un depósito de tornillos que posee una bandeja en movimiento permanente (Figura 79), y al oprimir el pulsador de la máquina para realizar la operación de soldadura, se desarrollan los siguientes pasos a saber:

Máquina de soldadura de tornillos por proyección:

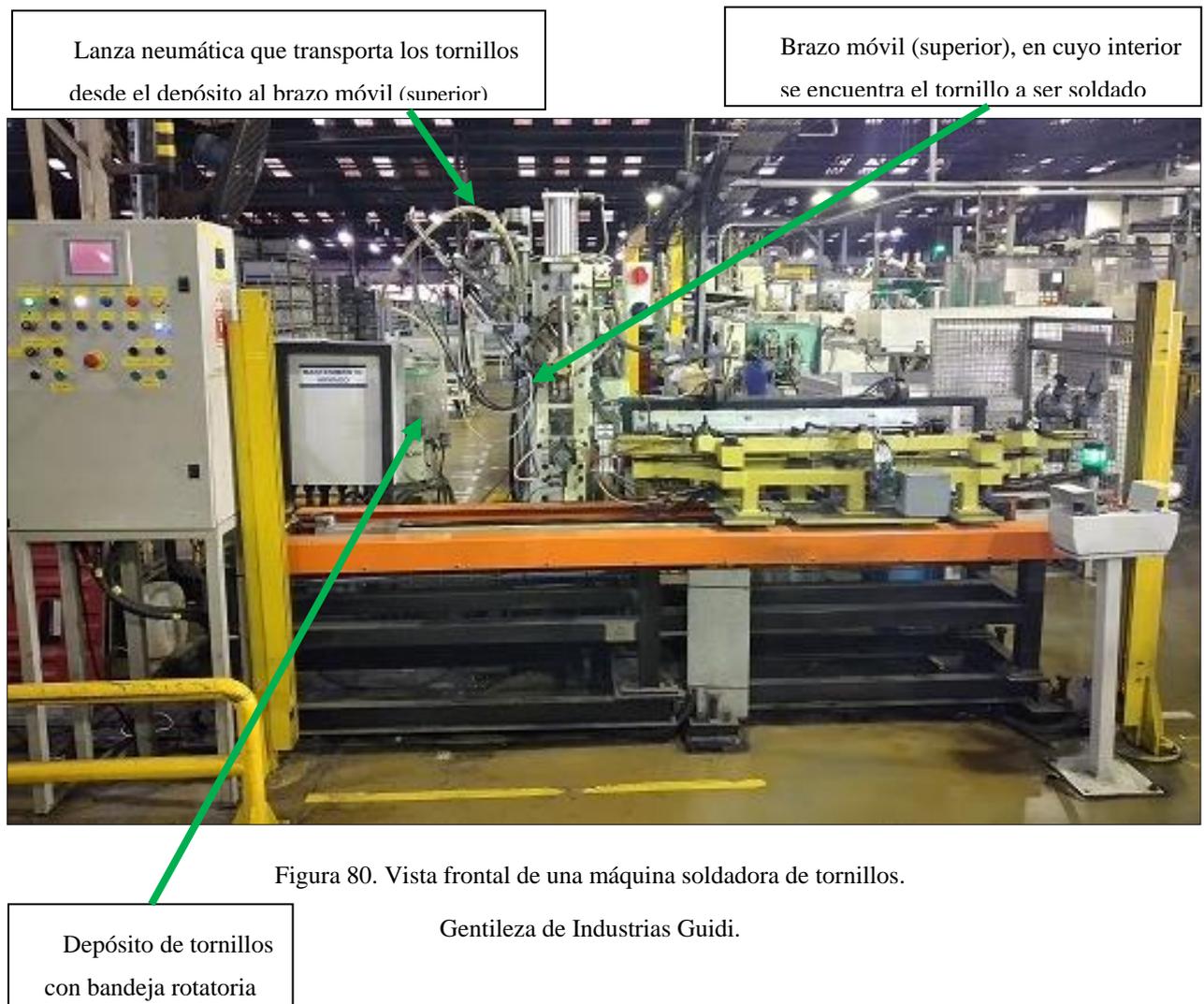
1. Se despliega neumáticamente una lanza que trae el tornillo a ser soldado y lo ubica dentro de la tapa superior (brazo móvil de la máquina de soldar) (Figura 80).
2. Acto seguido, el brazo móvil baja, el tornillo hace contacto con la hoja de acero y se inicia el proceso de soldadura de este sobre la hoja de acero. Como la máquina tiene programados los parámetros de operación (presión de apriete, intensidad de corriente y ciclos), realizará la operación de acuerdo a lo programado
3. Para el caso que nos ocupa, el proceso consiste en soldar quince tornillos del tipo mencionado, sobre la misma pieza. Los tornillos por una cuestión de diseño, se encuentran dispuestos en diferentes planos. El movimiento de la pieza lo produce un robot, que va cambiando su ubicación y dispone la misma en los lugares donde deben ser soldados los tornillos.
4. Los parámetros de operación de la máquina de soldar los tornillos son los siguientes:

- Intensidad de corriente: 13,5 Ka
 - Fuerza de cierre entre electrodos (superior e inferior): 180 Kg
 - Tiempo de soldadura: 8 (slope) + 10 Ciclos.
5. El proceso de soldadura con estas condiciones se encuentra aprobado, ya que los tornillos soldados cumplen con el estándar de aprobación, de no desprenderse ante la aplicación de un torque de 15 Nm, aplicado sobre una tuerca enroscado al mismo, con la herramienta correspondiente (Torquímetro de quiebre).



Figura 79. Máquina soldadora de tornillos. Vista lateral. Depósito de tornillos con bandeja rotatoria.

Gentileza de Industrias Guidi.



Máquina de soldar tuercas por proyección

El principio de la soldadura por proyección de tuercas, fue descrito en el capítulo III del presente trabajo. Las máquinas de soldar tuercas por proyección, siguen mismo principio de funcionamiento de una máquina de soldar por puntos, pero tiene algunas particularidades.

A diferencia de las máquinas tradicionales de soldar por puntos, estas no tienen electrodos de soldadura que producen el punto de soldadura, sino que tienen una tapa plana (superior) ubicada en el brazo superior (móvil), una tapa inferior con un agujero a través del cual pasa el pin centrador (Ver Figuras 81 y 82). Esta tapa junto con el pin centrador se colocan en el brazo fijo de la máquina. Justamente en el pin centrador es donde se ubica la tuerca a ser soldada. La secuencia de operación es la siguiente:

1. Se coloca la pieza a la que se le debe soldar la tuerca en el dispositivo de soldadura, enhebrando el pin centrador en el agujero sobre el que se debe soldar la tuerca.

2. Luego se coloca la tuerca sobre el pin centrador (ver Figura 83).
3. Se acciona la máquina de soldar (normalmente con dos pulsadores por tema de seguridad) (ver Figura 84). Como la máquina tiene asignados los parámetros de operación (Intensidad de corriente, fuerza de apriete entre tapa superior e inferior y cantidad de ciclos), con solo actuar los pulsadores, la máquina desarrolla la operación de soldadura independientemente del tiempo en que estén apretados los mismos.



Figura 81. Vista frontal de una máquina soldadora de tuercas por proyección. Gentileza Industrias Guidí

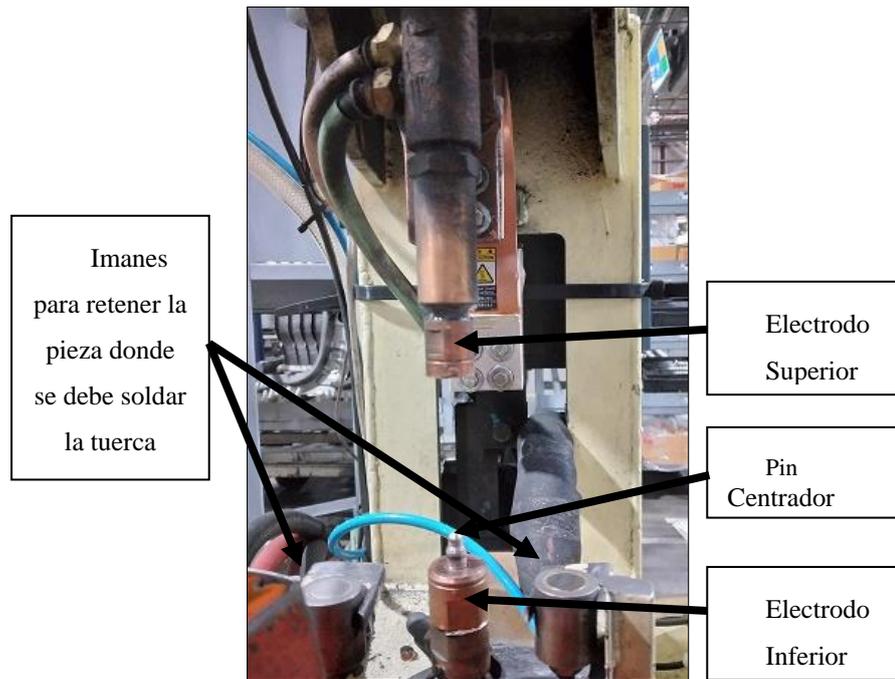


Figura 82 Detalle de los electrodos Superior e Inferior junto al pin centrador. Gentileza de Industrias Guidí.



Figura 83. Vista de la pieza ubicada en la máquina soldadora, con la tuerca enhebrada en el pin centrador.

Gentileza de Industrias Guidi.



Figura 84. Doble botonera comando, para garantizar seguridad para el Operador, durante la soldadura.

Gentileza de Industrias Guidi.

Como segunda medida, la alimentación de las tuercas puede realizarse de forma automática. Esto quiere decir que las tuercas pueden ser ubicadas automáticamente cuando se da el pulso de inicio de la operación de soldadura. Este sistema se denomina "Nut Feeder" (Ver Figuras 85 y 86). Este es el caso que se desarrolla en el presente trabajo.



Figura 85. Vista Frontal de una máquina soldadora de tuercas con sistema de alimentación automático.

Gentileza de Industrias Guidi.



Figura 86. Detalle del sistema de alimentación automático de tuercas.

Gentileza de Industrias Guidi.

Para ello la máquina cuenta con un depósito de las tuercas a soldar. El mismo tiene un sistema rotativo que se pone en marcha cuando la máquina suelda una tuerca. Ver Figuras 87 y 88.

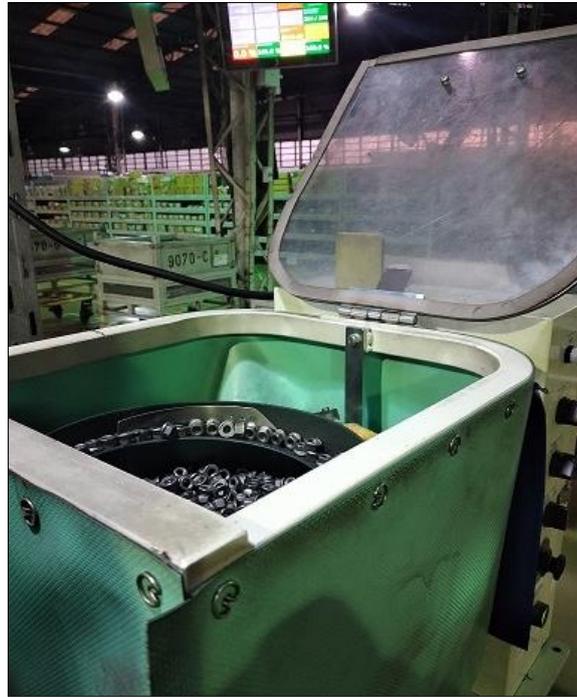


Figura 87. Vista lateral del depósito de tuercas ubicado en la parte posterior de la máquina.

Gentileza de Industrias Guidi.



Figura 88. Vista superior del depósito de tuercas con tambor rotativo.

Gentileza de Industrias Guidi.

Este sistema tiene el objetivo de ir acomodando las tuercas para que sean dispuestas de forma correcta (con las protuberancias hacia abajo) en el momento de realizar la soldadura. La secuencia operativa se detalla a continuación:

1. Se debe colocar la pieza a la que se le soldará la tuerca en el dispositivo de soldadura. La pieza se ubica enhebrado el pin centrador en el agujero sobre el que se debe soldar la tuerca (ver Figura 89). Como la pieza tiene muchos agujeros, se coloca sobre la pieza que se debe soldar la tuerca, una máscara de fibra de vidrio, que le indica al Operador, cuáles son los agujeros en que debe soldar la tuerca, que para el caso que nos ocupa, son tres.
2. Se accionan los pulsadores y primero se despliega neumáticamente una lanza que ubica la tuerca a ser soldada sobre el pin centrador (ver Figura 90).
3. Acto seguido y como parte del mismo ciclo, se acciona el brazo superior y produce la soldadura de la tuerca. Como la máquina tiene asignados los parámetros de operación, una vez producida la soldadura, deja de operar, retornando el brazo superior a su posición inicial (ver Figura 91).



Figura 89. Pieza colocada y enhebrada en el pin centrador, previo al inicio del proceso de soldadura de la tuerca.
Gentiliza de Industrias Guidi.



Figura 90. Momento en el que la lanza del acomodador de tuercas deja la tuerca a soldar ubicada sobre el pin centrador.

Gentileza de Industrias Guidi.



Figura 91. Momento en que el brazo superior está produciendo la soldadura de la tuerca.

Gentileza de Industrias Guidi.

Este automatismo es utilizado para grandes producciones en serie, mientras que el primero, se usa para bajas producciones o cuando las tuercas son de grandes dimensiones.

Los parámetros de máquina de soldar, son independientes del tipo de alimentación de tuercas que tenga la misma. El caso que se está estudiando, los parámetros de soldadura son los que se detallan a continuación:

- Intensidad de corriente: 10 Ka
- Fuerza de cierre entre electrodos: 300 Kg
- Tiempo de soldadura: 9 ciclos

El proceso de soldadura con estas condiciones se encuentra aprobado, ya que las tuercas soldadas cumplen con el estándar de aprobación, de no desprenderse ante la aplicación de un torque de 39,2 Nm, aplicada con la herramienta correspondiente (Torquímetro de quiebre). La soldadura de otro tipo de tuercas (por ejemplo M8*1,25), cuentan con el mismo tipo de tratamiento y aprobación. Estas dos medidas son las de uso más común en la planta industrial donde se desarrolla el presente estudio.

CAPÍTULO V

Desarrollo de la Investigación

Soldadura de tuercas por proyección

La investigación se desarrolla dentro de una planta industrial donde se realizan procesos de estampado y soldadura de componentes metálicos, principalmente, de soldadura por resistencia, tanto sea por puntos como por proyección (o por protuberancias o puntos salientes). El proceso de estampado es sobre láminas de acero de baja aleación de carbono, y de espesores que varían entre 0,6 y 2 mm

Para el caso de la soldadura de tuercas, se trabajará con un caso que tiene las siguientes características.

- Diseño del subconjunto objeto del estudio (Plano 64117-KK010) (Ver Figura 92)
- Tuerca de M6 * 1 con cuatro protuberancias (Ver Figura N° 93)
- Datos técnicos del material de la tuerca. (Ver Norma Toyota TSB1002G en Anexos).
- Características de la soldadura (performance) (Ver Norma Toyota TSB1503G en Anexos).
- Hoja de acero con bajo contenido de carbono, sin protección superficial, con 0,6 mm de espesor (SPC270D). (Ver Norma Toyota TSG3100G en Anexos).
- Tabla con parámetros orientativos. (Ver Tabla N° 8)

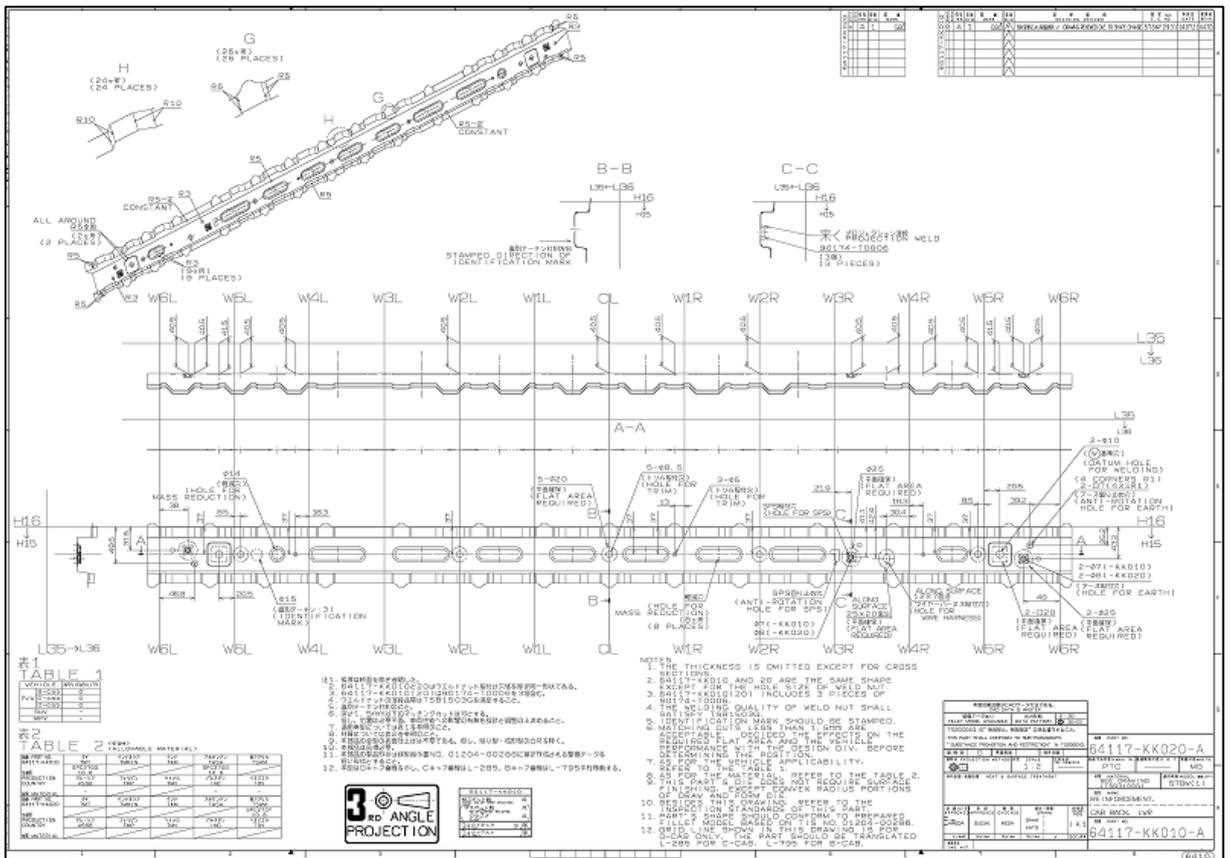


Figura 92. Plano de Diseño de un subconjunto estampado con tuercas soldadas por proyección.

Diseño obtenido por el Tesista como parte de su investigación.

El objetivo de esta investigación es trabajar sobre la soldadura por proyección de una tuerca cuya rosca es del tipo M6 *1, según se detalla en el plano adjunto (Ver Figura 92). Antes de continuar con el desarrollo de la investigación, es necesario aclarar algunos conceptos sobre sistemas de roscas

Sistemas de Roscas. La rosca unificada es de uso general para tuercas y tornillos. Esta rosca representa el acuerdo de las comisiones de normalización de Canadá, Gran Bretaña y Estados Unidos. Ha venido a sustituir a la forma de rosca nacional americana que fue la anteriormente utilizada en los Estados Unidos. Los tornillos y tuercas de los dos sistemas son intercambiables. Ambos sistemas difieren únicamente en pequeños detalles, principalmente en los convenios en cuanto a las tolerancias. El ángulo admitido para la rosca es de 60°. La forma básica de la rosca es la que se muestra en la figura 5.2, aunque las roscas reales se hacen con el fondo redondeado. La cresta es plana en la rosca nacional americana y puede ser plana o redondeada en la unificada. La rosca Whitworth, representada en la figura 5.3, tiene un ángulo de 55°, fue utilizada anteriormente como norma en Gran Bretaña.

El resto de los países del mundo han adoptado la rosca métrica internacional. Aunque el ángulo es de 60° , desafortunadamente esta rosca no es intercambiable con la unificada. Aparentemente, aún está muy lejano un sistema universal de roscado de tornillos. (Spoots, 1979)

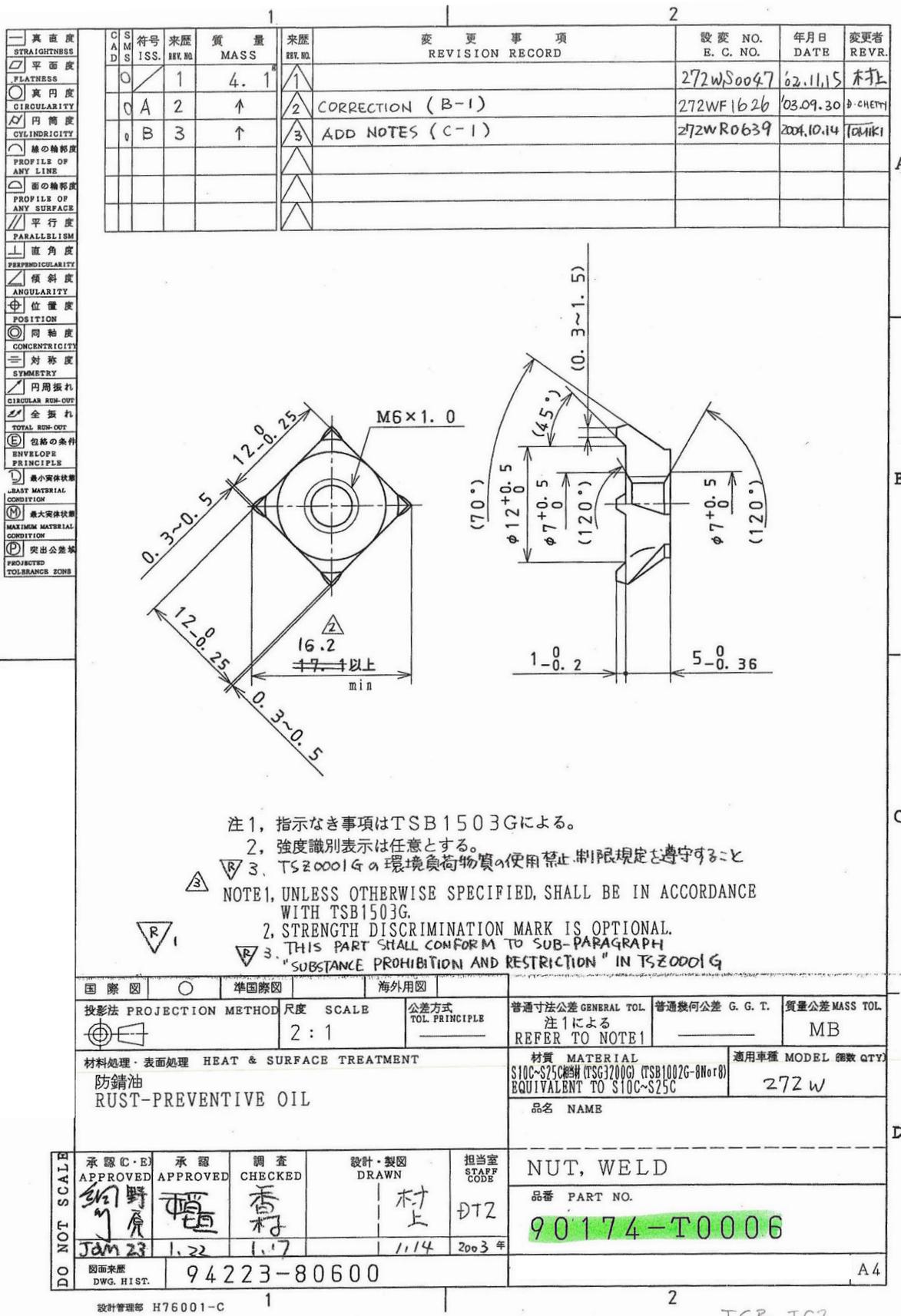


Figura 93. Plano de Diseño para una tuerca apta para soldadura por proyección.

Diseño obtenido por el Tesista como parte de su investigación

La característica del material de la tuerca y sus propiedades mecánicas, vienen expresadas en el diseño de la pieza a través de una norma técnica, que en este caso es la norma Toyota TSB1002G (Ver Norma en Anexos). Las tuercas se clasifican según su clase. Como se puede observar en el rótulo del diseño mencionado, para el caso que nos ocupa, es de una clase 8. En la tabla que se detalla a continuación (Tabla 3), se puede observar las características de performance que la misma debe cumplir.

Table 2 Mechanical Properties

---		Property class			
		8	10	12	13
Proof load stress ⁽²⁾ (MPa)		840	1058	1280	1380
Hardness	NQT ⁽³⁾	(195) to 300	---	---	---
	HV10	---	295 to 370	300 to 370	310 to 370
Surface hardness (upper limit) HV10		---	390		

Tabla 3. Propiedades mecánicas del material de las tuercas sometidas a soldadura por proyección

Toyota Engineering Standard. TSB1002G. Rev. # 6

Lo que en esta tabla se detalla es que esta tuerca debe resistir una prueba de tensión de carga de 840 MPa (Megapascales) y su dureza (expresado en Vickers HV10), varía de 195 a 300. Estas tuercas son desarrolladas sin templar ni revenir como parte de su diseño (NQT : No quenching or tempering applied).

Table 4 Materials and Processes

Property class ⁽⁷⁾	Chemical composition (%)				Heat treatment		Dehydrogenation treatment
	C (max.)	Mn (min.)	P (max.)	S (max.)	Type of nut		
					Hexagon flange	Hexagon, square	
8	0.58	0.25	0.040	0.040	Not applicable	---	Applicable to plated nuts having a hardness of over 320HV after quenching and tempering TSH5105G-3
10		0.30	0.030	0.035	---	Quenching and tempering TSH5102G-B	
12		0.45			Quenching and tempering TSH5102G-B		
13							

Tabla 4. Composición química y tratamientos térmicos de las tuercas sometidas a soldadura por proyección

Toyota Engineering Standard. TSB1002G. Rev. # 6

Se puede observar también que la misma norma define el tipo de material con que debe ser fabricada la tuerca, y si lleva o no, tratamiento térmico asociado (Ver Tabla 4). Antes de continuar con el desarrollo del trabajo, es necesario hacer una mención conceptual sobre Dureza Vickers.

Dureza Vickers. La dureza de los metales está relacionada con la oposición que estos presentan a ser penetrados por un indentador o penetrador (de carburo de tungsteno, con forma de esfera o de cono, o de diamante con forma de pirámide) bajo una carga controlada y durante un tiempo determinado.

El método usado en las uniones soldadas es el ensayo Vickers, que utiliza como penetrador un diamante piramidal de base cuadrada y ángulo entre caras de 136° . El diamante es el material más duro conocido hasta el momento.

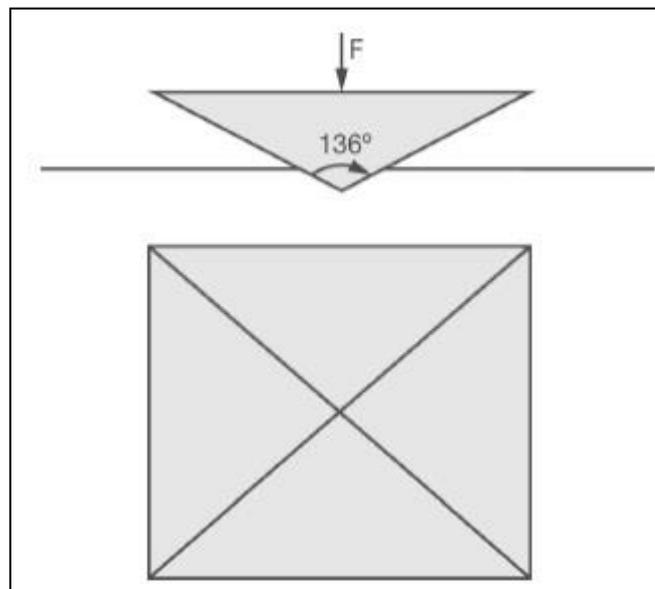


Figura 94. Principio del ensayo de Dureza Vickers.

Investigación del Tesista.

Tras actuar el penetrador sobre la superficie de la pieza de metal durante un tiempo determinado y bajo una carga controlada, se retira y se mide la huella que ha dejado. Dicha huella tendrá forma cuadrangular, por lo que se determinan ambas diagonales y se calcula su valor medio. Evidentemente, un mayor tamaño de huella será indicativo de una menor dureza del metal.

Las cargas aplicables pueden llegar hasta los 980,7 newtons, pero en soldadura el valor estándar es de 98,07 newtons. Se aplican de forma gradual hasta alcanzar el máximo a los 15 segundos y se dejan actuando durante 10 segundos más. La norma que define estos y más detalles del ensayo es la

UNE-EN ISO 6507-1 “Materiales metálicos, Ensayo de dureza Vickers. Parte 1. Método de ensayo”.

Para **obtener el valor de dureza** se utiliza la siguiente expresión, donde “F” es la carga de ensayo, en newton (N), y “dm” es el valor medio de las diagonales de la huella, en milímetros (mm):

$$HV = 0,102 \cdot \left[\frac{2 \cdot F \cdot \sin\left(\frac{136^\circ}{2}\right)}{d_m^2} \right]$$

Figura 95. Expresión matemática para el cálculo de Dureza Vickers.

Investigación del Tesista.

La expresión Mpa, significa Megapascuales. Para el caso que nos ocupa, la tensión de trabajo que la tuerca debe soportar, está expresado en esta unidad. El Pascal es una unidad muy pequeña, y para que las expresiones tengan mayor significatividad, se la expresa en Megapascuales.

1 Pascal : 1 Newton / 1 metro²

1 Kg / cm² : 98000 Pascales

8400 Kg / cm² : 84.000.000 Kg / m² : 840.000.000 N / m² o Pascales : 840 MPa

Por último cabe mencionar que el diseño de la tuerca, menciona además que la misma una vez soldada sobre la hoja de acero, debe resistir una carga por tracción de 3040 N. Para esto, se sugiere ver la Tabla 14 (página 134).

Características de los materiales sobre los que se aplican las tuercas soldadas por proyección

Por otro lado, se trabaja con láminas de acero de bajo coeficiente de carbono, con espesores que van desde los 0,60 hasta los 2 mm. y con resistencias a la rotura por tracción que van desde 270 hasta 590 MPa. Para la presente investigación, trataremos con láminas de acero que no tienen procesos de protección adicional como por ejemplo el electrogalvanizado. A continuación se detallan dos tablas con valores de tensión de rotura, tensión de fluencia y porcentaje de alargamiento a la rotura. Estos valores se encuentran en la norma Toyota TSG3100G (Ver Norma en Anexos)

En la Tabla 5, se muestra en la primera columna, los diferentes tipos de materiales con sus siglas características. En la primer fila, se detallan las Tensiones de rotura por tracción expresado en MPa (Tensile Strength) y a continuación, la Tensión de Fluencia expresado en MPa (Yield Point or 0,2 % yield strength), para distintas alternativas de espesor. La abreviatura "SPC", significa Steel Plate Cold, que traducido significa hoja de acero laminado en frio.

Steel Code	Tensile Strength (MPa)	Yield Point or 0,2% yield strength (MPa)			Lankford value \bar{r} (r value)		BH ⁽⁵⁾ (MPa)
		Thickness (mm)			Thickness (mm)		
		0,4≤t<0,8	0,8≤t<1,0	1,0≤t≤3,2	0,5≤t≤1,0	1,0<t≤1,6	
SPC270A	270 to 370	-			-		
SPC270C	270 min	145 to 265	135 to 255	125 to 245	-		
SPC270D		135 to 225	125 to 215	115 to 205	1,2 min	1,1 min	
SPC270E		130 to 205	120 to 195	110 to 185	1,4 min.	1,3 min.	
SPC270F		120 to 185	110 to 175	100 to 165	1,6 min.	1,5 min.	
SPC270BH		135 to 225	125 to 215	115 to 205	1,4 min.	1,3 min.	30 min.
SPC340	340 min	205 to 305	195 to 295	185 to 285	-		
SPC340BH		185 to 285	175 to 275	165 to 265	1,1 min.	1,0 min.	30 min.
SPC340HR		165 to 265	155 to 245	145 to 235	1,4 min.	1,3 min.	-
SPC390	390	245 to	235 to	225 to			

	min	355	245	335		
SPC440	440 min	285 to 390	275 to 380	265 to 370		
SPC590	590 min	430 to 580	420 to 570	410 to 560		
SPC590DU		325 to 470	315 to 460	305 to 450		
SPC780DU	780 min	470 to 620	460 to 610	450 to 600		
SPC980DU	980 min		590 to 930	580 to 920		
SPC980DUB	980 to 1100		580 to 750			
SPC1180DU B	1180 to 1300		850 to 1020			
SPC1180DU	1180 min		835 to 1225	825 to 1215		
(SPC390HR)	390 min	205 to 305	195 to 295	185 to 285	1,4 min.	1,3 min.
(SPC440HR)	440 min	245 to 355	235 to 345	225 to 335	1,3 min.	1,2 min.
(SPC440HY)		355 to 460	345 to 450	335 to 440	-	

Tabla 5. Características mecánicas de las hojas de acero sobre las que se sueldan tuercas por proyección

Toyota Engineering Standard. TSG3100G. Rev. # 17

En la Tabla 6, que sigue a continuación, se muestra en la primera columna los diferentes tipos de materiales y en las primeras filas, sus correspondientes espesores y porcentajes de alargamiento a la rotura.

Steel code	Total elongation (%)							
	Thickness (mm)							
	0,4≤t <0,6	0,6≤t <0,8	0,8≤t <1,0	1,0≤t <1,2	1,2≤t <1,6	1,6≤t <2,0	2,0≤t <2,5	2,5≤t ≤3,2
SPC270A	-							
SPC270C	36 to 46 (37 to 46)	37 to 47 (38 to 47)	39 to 48 (39 to 48)	39 to 49 (40 to 49)	40 to 50 (41 to 50)	41 to 53 (42 to 53)	42 to 55 (43 to 55)	43 to 57 (44 to 57)
SPC270D	39 to 49 (40 to 49)	40 to 50 (41 to 50)	41 to 51 (42 to 51)	42 to 52 (43 to 52)	43 to 53 (44 to 53)	44 to 55 (45 to 55)	45 to 57 (46 to 57)	46 to 59 (47 to 59)
SPC270E	41 to 51 (42 to 50)	42 to 52 (43 to 51)	43 to 53 (44 to 52)	44 to 54 (45 to 53)	45 to 55 (46 to 54)	46 to 56 (47 to 56)	47 to58 (48 to 58)	48 to 60 (49 to 60)
SPC270F	43 to 53 (44 to 52)	44 to 54 (45 to 53)	45 to 55 (46 to 54)	46 to 56 (47 to 55)	47 to 57 (48 to 56)	48 to 58 (49 to 58)	49 to 60 (50 to 60)	-
SPC270BH	40 to 50	41 to 51	42 to 52	43 to 53	44 to 54	45 min.		
SPC340	33 to 43	34 to 44	35 to 45	36 to 46	37 to 47	38 min.		
SPC340BH	34 to 44	35 to 45	36 to 46	37 to 47	38 to 48	39 min.		
SPC340HR	35 to 45	36 to 46	37 to 47	38 to 48	39 to 49	40 min.		
SPC390	29 to 40	30 to 41	31 to 42	32 to 43	33 to 44	34 min.		
SPC440	26 to 38	27 to 39	28 to 40	29 to 41	30 to 42	31 min.		
SPC590		17 to 32		18 to 33		18 min.		

SPC590DU		17 to 32	18 to 33	19 to 34	20 to 35	21 min.
SPC780DU		12 to 25	13 to 26	14 to 27	15 to 28	16 min.
SPC980DU			9 to 20	10 to 21	11 to 22	12 min.
SPC980DUB			11 min.			
SPC1180DU B			8 min.			
SPC1180DU			5 to 16	6 to 17	7 to 18	8 min.
(SPC390HR)	31 to 42	32 to 43	33 to 44	34 to 45	35 to 46	36 min.
(SPC440HR)	28 to 39	29 to 40	30 to 41	31 to 42	32 to 43	33 min.
(SPC440HY)	23 to 35	24 to 36	25 to 37	26 to 38	27 to 39	28 min.

Tabla 6. Características mecánicas de las hojas de acero sobre las que se sueldan tuercas por proyección

Toyota Engineering Standard. TSG3100G. Rev. # 17

A continuación se brinda un detalle de las posibilidades de soldar la tuerca anteriormente mencionada, en diferentes materiales y espesores, junto con los parámetros adoptados por el área de Ingeniería de Procesos.

90174-T0006									
Material	SPC 270D				SPH440	SPC 440		SPC 590DU	
Espesor	0,6 mm	0,75 mm	1 mm	1,2 mm	2 mm	1 mm	1,4 mm	1,4 mm	1,6 mm
Corriente (KA)	10	9				11	10	9,5	
Ciclos (Hz)	9	11				6	9	10	
Fuerza (Kg)	300	275				315	300	350	

90174-T0006									
Material	SCEG 270C-45	SCEG 270D-45				SCGA 440-45		SCGA 590DU-45	
Espesor	1 mm	0,8 mm	1 mm	1,2 mm	1,4 mm	2 mm	0,9 mm	1,6 mm	1,2 mm
Corriente (KA)	10	10,5	10	10	10	12,5	9,5	10	10,5
Ciclos (Hz)	8	7	8	7	9	5	10	4	7
Fuerza (Kg)	325	300	325	260	270	250	350	290	280

Tabla 7. Parámetros adoptados para la soldadura de una tuerca de rosca M6 sobre diferentes hojas de acero

Investigación del Tesista

La bibliografía consultada brinda información de parámetros de soldadura para aplicar sobre hojas de acero con espesores mayores a 0,8 mm y tuercas de diferentes tipos de rosca y tres protuberancias. Para el caso de tuercas con cuatro protuberancias (como es el caso del presente estudio), los valores sugeridos de Intensidad de Corriente y Fuerza, se deben multiplicar por 4/3. Como la tabla con parámetros orientativos (Ver Tabla 8), brinda información sobre espesores de material mayores o igual a 0,7 mm, se propone una interpolación lineal, ya que la variación de parámetros es con frecuencia regular, de acuerdo a lo que se observa en la misma. Esta condición es una definición del Tesista.

Ø	Valor	Espesor de la chapa donde tiene que soldarse la tuerca									
		0.7	0.8	1	1.25	1.6	2	2.4	3.2	4	5
M4 y M5	Esfuerzo	300	350	400							
	Corriente	13000	14700	15500							
	Tiempo	1 a 2	1 a 2	1 a 2							
M6 y M7	Esfuerzo	350	460	570	700						
	Corriente	12000	12700	13400	14200						
	Tiempo	2 a 3	2 a 3	2 a 3	2 a 3						
M8 y M9	Esfuerzo		570	630	700	750	850	1000			
	Corriente		13100	14400	15800	17000	17300	18300			
	Tiempo		2 a 5	2 a 5	2 a 5	2 a 5	2 a 5	2 a 5			
M10	Esfuerzo			700	750	800	920	1000	1100	1150	
	Corriente			15000	16300	17000	17500	19000	20500	22500	
	Tiempo			3 a 6	3 a 6	3 a 6	3 a 6	3 a 6	3 a 6	3 a 6	
M12-M14	Esfuerzo					880	920	1000	1250	1600	
	Corriente					19000	19300	20000	22800	26700	
	Tiempo					3 a 6	3 a 6	3 a 6	3 a 6	3 a 6	
M16	Esfuerzo						980	1000	1250	1600	1720
	Corriente						19600	20500	23000	27000	31000
	Tiempo						4 a 8	4 a 8	4 a 8	4 a 8	4 a 8

Tabla 8. Parámetros orientativos para aplicar en soldadura de tuercas por proyección sobre diferentes espesores de hojas de acero.

Manual de Soldadura por Resistencia. (Abad - Bisbe 2002)

De acuerdo con los conceptos vertidos en el párrafo anterior, se definen los siguientes parámetros teóricos, para un espesor de chapa de 0,6 mm, sin protección superficial y una tuerca de cuatro protuberancias:

- Intensidad de Corriente: 15 KA
- Fuerza: 320 Kg
- Ciclos: 2 a 3

Al realizar una comparación entre los parámetros sugeridos y los de uso en la planta industrial, se observa una cierta similitud en el valor de Fuerza (300 Kg vs 320 Kg), pero muy diferentes los valores de Intensidad de Corriente (10 KA vs 15 KA) y los ciclos (9 vs 3). Conceptualmente los valores sugeridos coinciden con los conceptos descritos en el capítulo II del presente trabajo, relacionado con que los parámetros deben ser altos valores de intensidad de corriente y presión de cierre entre electrodos, dados en cortos lapsos de tiempo (Ver hoja N° 43 del Capítulo II).

Soldadura de tornillos por proyección. Características.

Para el caso de la soldadura de tornillos, se trabajará con un caso que tiene las siguientes características.

- Diseño del subconjunto objeto del estudio (Plano 55741-KK020) (Ver Figura 96)
- Tornillo de M6 * 1 (Ver figura 97)
- Datos técnicos del material del tornillo (Ver Norma TSB1001G) en Anexos)
- Características de la soldadura (performance) (Ver Norma TSB1304G en Anexos)
- Hoja de acero con bajo contenido de carbono, electrocincada con un espesor de 0,65 mm (SCEG270C-45) (Ver Norma TSG3103G) en Anexos)
- Tabla con parámetros de soldadura orientativos (Ver Tabla 12)

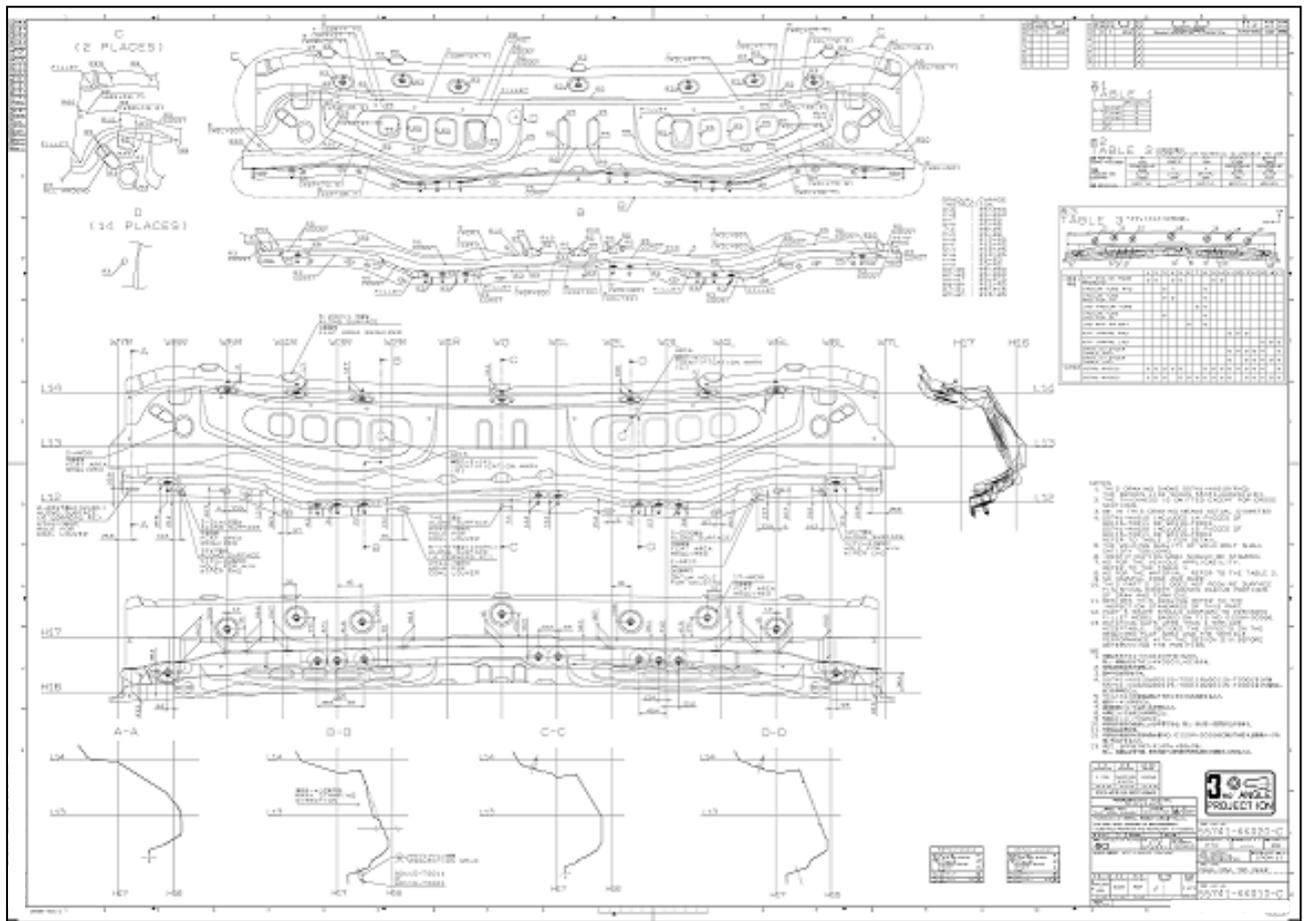


Figura 96. Plano de Diseño de un subconjunto estampado con tornillos soldados por proyección.

Diseño obtenido por el Tesista como parte de su investigación.

De acuerdo a lo que se observa en las características del material del tornillo (detallado en el rótulo de su correspondiente diseño), se indica que debe cumplir con la norma Toyota TSB1001G-6.8 (recuadrado). Los valores que debe cumplir el material, se detallan en la Tabla 9

Table 2 Mechanical Properties

Mechanical property		Property class ⁽³⁾					
		4.8	6.8	8.8	10.9	11.9	13.9
Nominal tensile strength $R_m (\sigma_B)_{nom}$ (MPa)		400	600	800	1000	1100	1300
Minimum tensile strength $R_m (\sigma_B)_{min}^{(4)}$ (MPa)		420	590	790	980	1080	1280
Hardness	HV	140 to 220	200 to 270	260 to 320	310 to 370	340 to 390	400 to 450
	Ref. ⁽⁵⁾	HRB	71 to 95	89 to 99.5	---		
		HRC	---		25 to 33	32 to 38	34 to 39
Surface hardness HV 10		---		⁽⁶⁾			---
Lower yield point		Nominal		320		480	
$R_{eL} (\sigma_s)$ (MPa) ⁽⁷⁾		Min.		310		440	
0.2 % yield strength $R_{p0.2} (\sigma_{0.2})$ (MPa) ⁽⁷⁾		Nominal		---		640	
		Min.		---		900	
						990	
						1170	
						1150	
Wedge tensile strength ⁽⁴⁾ (MPa)		No less than the minimum tensile strength specified above.					
Head soundness		No crack shall occur at underhead fillet. ⁽⁸⁾					
Height of non-decarburized portion of threads E	Min.	---		$1/2H_1$	$2/3H_1$		$3/4H_1$
	Max.	---		0.015			
Depth of completely decarburized portion G (mm)		---		0.015			
Hardness of retempered portion		---		Decrease in Vickers hardness shall be less than 20.			

Tabla 9. Propiedades Mecánicas del material del tornillo para soldar por proyección

Toyota Engineering Standard. TSB1001G. Rev. # 10

La soldadura del tornillo debe cumplir con las condiciones que se definen en la Tabla 10, que está en la norma Toyota TSB1304G (Ver Norma en Anexos). La norma establece que el tornillo una vez soldado sobre la lámina de acero, debe resistir una carga mínima de tracción aplicada en forma perpendicular a la zona de soldadura (paralela al eje del tornillo). La norma establece la forma de realizar en ensayo, según se aprecia en la figura N° 98.

Appendix Table 4 (Reference) (Unit: N)

Thread size (mm)	M4	M5	M6	M8	M10
Weld strength (Min.)	1470	3430	5390	8820	14700

Tabla 10. Valores de carga de tracción para tornillos soldados por proyección

Toyota Engineering Standard. TSB1304G. Rev. # 12

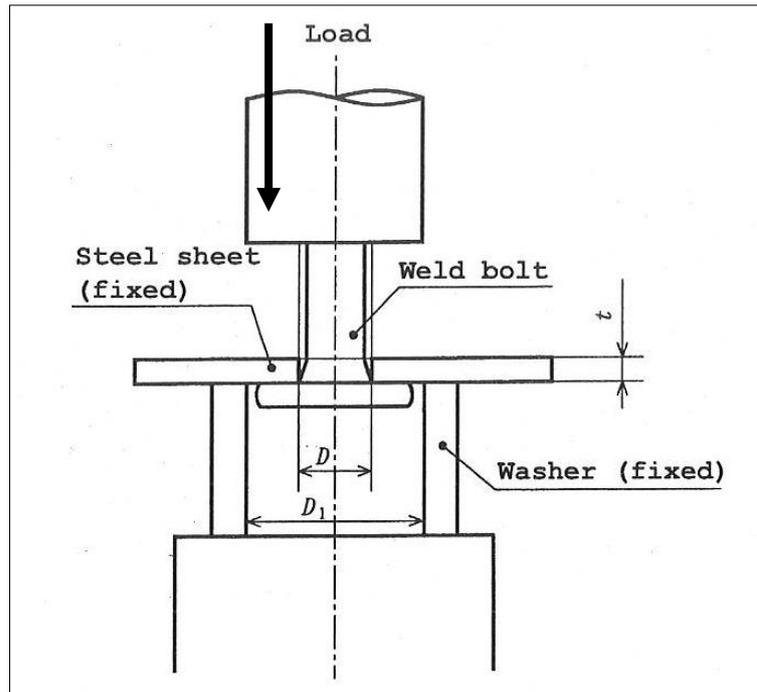


Figura 98. Esquema gráfico de la condición de ensayo por tracción de un tornillo soldado.

Toyota Engineering Standard. TSB 1304G. Rev. # 12

En cuanto a las características de la hoja de acero sobre la que se efectúa la soldadura del tornillo, se trata de un acero de bajo contenido de carbono con un tratamiento superficial de electrocincado (Material SCEG270D-45), según se define el plano de la pieza. En la Tabla 11, se observan las propiedades mecánicas de las diferentes hojas de acero que cuentan con este tipo de protección superficial.

Table 5

Steel type	Yield point (MPa)	Tensile strength (MPa)	Total elongation (%) [Sheet thickness]		Lankford value \bar{r} ($0.6 \leq t < 1.0$ mm)	$\Delta \sigma_{2BH}^{(5)}$ (MPa)	Tensile test piece
			$0.6 \leq t < 1.0$ mm	$t \geq 1.0$ mm			
SECC	(135 to 235)	270 to (350)	36 min.	37 min.	---	---	No.5 test piece of TSG2204G Rolling direction
SECD	(135 to 215)		38 min.	39 min.	(1.4 min.)		
SECE	(120 to 175)	250 to (330)	45 min.	46 min.	(1.5 min.)		
SECF					(1.6 min.)		
SEC340	185 to (245)	340 to (420)	35 min.	36 min.	---		
SEC390	215 to (285)	390 to (470)	30 min.	31 min.			
SEC440	245 to (315)	440 to (520)	26 min.	27 min.			
SECEBH	(120 to 175)	250 to (330)	45 min.	46 min.	(1.5 min.)	30 (40) min.	No.5 test piece of TSG2204G Rolling direction
SEC340BH	185 to (245)	340 to (420)	35 min.	36 min.	---		No.5 test piece of TSG2204G At right angle with rolling direction

Table 5 (Continued)

Steel type	Tensile strength (MPa)	Yield point/0.2 % yield strength (MPa)			Lankford value (\bar{r} -value)		BH (MPa)
		Sheet thickness (mm)			Sheet thickness (mm)		
		$0.4 \leq t < 0.8$	$0.8 \leq t < 1.0$	$1.0 \leq t \leq 3.2$	$0.5 \leq t \leq 1.0$	$1.0 < t \leq 1.6$	
SCEG270C	270 min.	145 to 265	135 to 255	125 to 245	---		---
SCEG270D		135 to 225	125 to 215	115 to 205	1.2 min.	1.1 min.	
SCEG270E		130 to 205	120 to 195	110 to 185	1.4 min.	1.3 min.	
SCEG270F		120 to 185	110 to 175	100 to 165	1.6 min.	1.5 min.	
SCEG270BH		135 to 225	125 to 215	115 to 205	1.4 min.	1.3 min.	
SCEG340	340 min.	205 to 305	195 to 295	185 to 285	---		30 min.
SCEG340BH		185 to 285	175 to 275	165 to 265	1.1 min.	1.0 min.	
SCEG340HR		165 to 255	155 to 245	145 to 235	1.4 min.	1.3 min.	
SCEG390	390 min.	245 to 355	235 to 345	225 to 335	---		---
SCEG390HR		205 to 305	195 to 295	185 to 285	1.4 min.	1.3 min.	
SCEG440	440 min.	285 to 390	275 to 380	265 to 370	---		---
SCEG440HR		245 to 355	235 to 345	225 to 335	1.3 min.	1.2 min.	
SCEG590	590 min.	430 to 580	420 to 570	410 to 560	---		---
SCEG590DU		325 to 470	315 to 460	305 to 450	---		
SCEG780DU	780 min.	420 to 645	410 to 635	400 to 625	---		---
SCEG980DU	980 min.	---	590 to 930	580 to 920	---		
SCEG1180DU	1180 min.	---	835 to 1225	825 to 1215	---		

Tabla 11. Propiedades Mecánicas de las hojas de acero de baja aleación de carbono con protección superficial de electrocincado

Toyota Engineering Standard. TSG3103G. Rev. # 12

En lo relativo a los parámetros de soldadura a utilizar, la bibliografía consultada brinda información acerca de espesores de hojas de acero mayores o igual a 0,7 mm y tornillos de protuberancia anular. En la Tabla 12, se observan los valores de parámetros orientativos para producir la soldadura de tornillos por proyección con protuberancia anular.

Tabla para tornillos con protuberancia anular.

Ø	Valores	Espesor de las chapas sobre las que va soldado el tornillo							
		0.7	0.8	1	1.25	1.6	2	2.4	3,2
M4 y M5	Esfuerzo	260	280	350					
	Corriente	8500	9000	12000					
	Tiempo	4	4	6					
M6 y M7	Esfuerzo		350	450	500				
	Corriente		14000	16000	22000				
	Tiempo		6	7	7				
M8	Esfuerzo			600	650	700	800	950	
	Corriente			16000	17000	18000	20000	24000	
	Tiempo			8	8	8	8	8	
M10	Esfuerzo					850	900	950	1250
	Corriente					21000	24000	26000	29200
	Tiempo					8	8	9	10

Tabla 12. Parámetros orientativos para aplicar en soldadura de tornillos por proyección en diferentes espesores de hojas de acero.

Manual de Soldadura por Resistencia. (Abad - Bisbe 2002)

Dado que la investigación se realiza sobre hojas de acero de espesor 0,65 mm, se propone realizar una interpolación lineal, ya que la variación de los parámetros se produce de manera regular, siendo esta la propuesta del Tesista para producir la soldadura de los tornillos.

- Esfuerzo: 275 Kg.
- Corriente: 12.500 Amperios
- Tiempo: 5 / 6 ciclos

CAPÍTULO VI

En el presente capítulo se desarrollarán dos estudios. El primero es de Confiabilidad y el segundo es un Diseño de Experimentos. Los mismos están orientados a determinar si pueden ser utilizados para revalidar los parámetros de máquina adoptados para la soldadura de tuercas y tornillos. Ambos elementos tienen una rosca M6 * 1 y fueron soldados por proyección sobre hojas de acero cuyos espesores son inferiores a 0,7 mm.

En los estudios de Confiabilidad que se desarrollarán sobre la soldadura de tuercas, se soldarán quince tuercas con la condición actual de trabajo y otras quince con las sugerencias que el presente estudio propone. Luego se someterán las tuercas a un ensayo de rotura por tracción. Para el caso de los tornillos, la metodología es similar, solo que los mismos serán sometidos a un ensayo de rotura por torsión. Para el estudio de Confiabilidad, con los datos obtenidos se confeccionará una matriz y se desarrollará un estudio de Rango Medio.

Para el estudio del Diseño de Experimentos sobre tuercas soldadas por proyección, se soldarán ocho piezas de tres tuercas cada una, y se irán variando los parámetros de soldadura, para desarrollar un diseño factorial fraccionario, aplicando el método del pooling up.

El propósito es construir una matriz de dos niveles (parámetros vigentes y propuestos) y tres variables que se puedan modificar, (variables primarias del proceso) y se aplicará el método del pooling up, con el fin de verificar si las variables elegidas y la intersección entre las mismas, son significativas en este tipo de estudio.

El fin de ambos estudios es verificar si con ellos se pueden revalidar los parámetros de soldadura elegidos, como un método alternativo a los tradicionales de rotura. El fin no es el reemplazo a los métodos vigentes, sino establecer un método que complemente lo actual, con el sustento técnico correspondiente.

Pruebas de soldadura

Soldadura de tuercas por proyección

Para el estudio de la soldadura de tuercas por proyección se eligió soldar una tuerca de rosca M6 * 1 sobre una lámina de acero de baja aleación de carbono, de espesor 0,6 mm, sin ningún tipo de protección superficial.

La máquina de soldadura es de marca Nadesco (Origen Japón), y para el caso particular que nos ocupa, cuenta con un alimentador automático de tuercas (Ver Figura 85). Este sistema fue descrito en el capítulo IV del presente estudio (Ver hoja N° 106).

Los parámetros adoptados para el desarrollo de esta investigación, están alineados con los conceptos expuestos en el Capítulo III de la presente investigación. Los mismos son:

- Esfuerzo de cierre entre electrodos: 3140 N (320 Kg)
- Intensidad de corriente: 15 kA
- Ciclos: 2

Se realiza un primer estudio, y se le programan a la máquina de soldadura por proyección, los parámetros anteriormente definidos. Se realiza la soldadura de (15) tuercas y se procede a realizar las siguientes verificaciones (Ver Tabla 13):

Parámetros leídos

	Pieza 1	Pieza 2	Pieza 3	Pieza 4	Pieza 5
Intensidad de Corriente (kA)	13,9	14,2	14,4	15	14,2
	14,7	14	14,2	13,9	14,4
	14,3	14,7	13,3	14,2	14,4
Fuerza de Cierre (N)	3140	3140	3140	3140	3140
Ciclos	2	2	2	2	2

Tabla 13. Parámetros leídos durante la primer prueba piloto de tuercas soldadas por proyección con nuevos parámetros

Los valores fueron leídos de un equipo auxiliar conectado a la máquina en el momento de realizar la operación de soldadura de las tuercas. La operación de soldadura de las tuercas con los nuevos parámetros se realizó sin ningún inconveniente. Se realizó una inspección visual, siendo la misma aprobada, dado que las tuercas una vez soldadas tenían muy buen aspecto y sobre la pieza conformada, las mismas aparentaban estar correctamente amalgamadas (del lado posterior de la tuerca, se puede observar las protuberancias de las tuercas "fundidas" sobre la pieza estampada). También se realizó un ensayo funcional, enroscando en cada tuerca, un tornillo con el fin de verificar si había algún "spatter" o resto de soldadura sobre la rosca de la tuerca, que impidiera a posteriori, el correcto uso de las mismas. Ninguna tuerca tenía impurezas alojadas sobre las roscas y los tornillos pasaron libremente en todas ellas. A continuación se detallan fotos de la pieza ensayada. Ver Figuras 99 a 101.

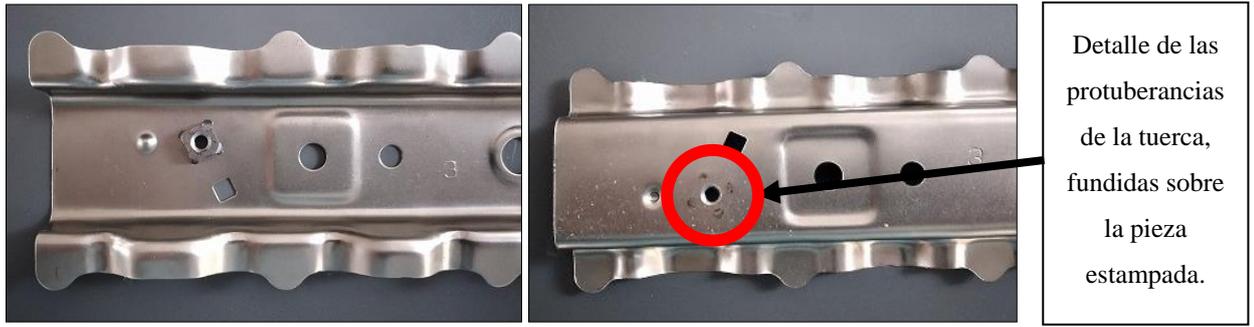


Figura 99. Vistas de una de las tuercas soldadas por proyección (anterior y posterior)

Fotos obtenidas por el Tesista como parte de su investigación.

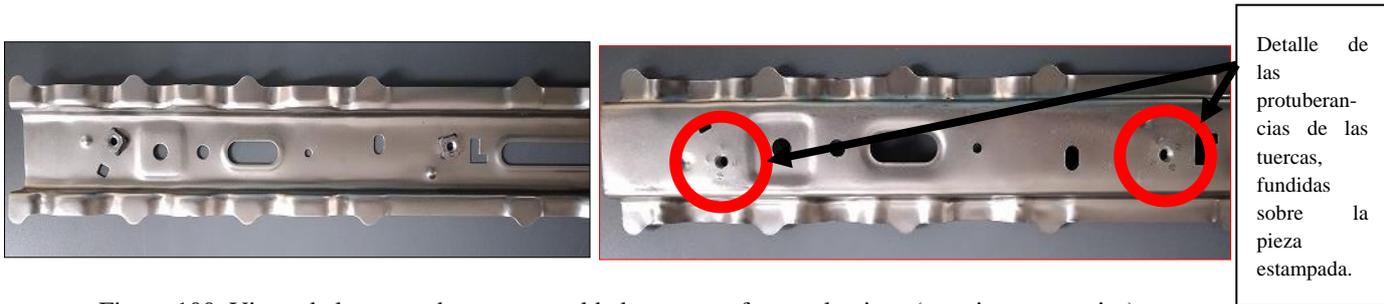


Figura 100. Vistas de las otras dos tuercas soldadas que conforman la pieza (anterior y posterior)

Fotos obtenidas por el Tesista como parte de su investigación

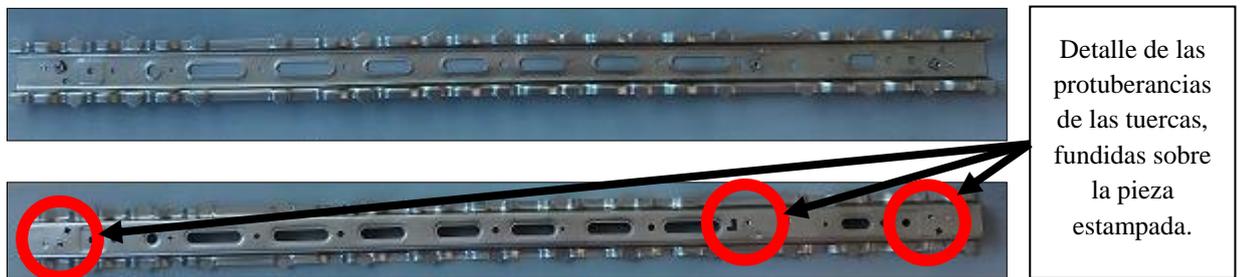


Figura 101. Vistas anterior y posterior de la piezas completa con las tuercas soldadas.

Fotos obtenidas por el Tesista como parte de su investigación.

Ensayos

Se realizaron dos tipos de ensayos. Uno de índole no destructivo (aplicación de torque) y otro destructivo (rotura de la tuerca soldada por tracción).

Ensayo No Destructivo. Se procede a utilizar un torquímetro de quiebre y se lo calibra de acuerdo con los valores de la tabla 2 de la norma Toyota TSB1503G, que para una tuerca de rosca M6 * 1, establece un torque de prueba de 39,2 N*m (Ver Tabla 14). Esto quiere decir, que la tuerca debe resistir este nivel de torque, sin ningún tipo de deformación ni desprendimiento. Se ensayaron las quince tuercas, y todas ellas fueron aprobadas.

Table 2

Thread size	M4	M5	M6	M8	M10	M12
Forced breakaway load (N)	3040 min.			3430 min.	5685 min.	
Breakaway torque (N*m)	24,5 min.	29,4 min.	39,2 min.	63,7 min.	98,1 min.	166,7 min.

Tabla 14. Valores de rotura por tracción y torque de una tuerca soldada por proyección. (Valores de referencia)

Toyota Engineering Standard. TSB1503G. Rev. # 9

Descripción del Ensayo No Destructivo

Antes de describir el proceso del ensayo de no destructivo de tuercas soldadas por proyección, es necesario definir el concepto de torque. Llamamos torque a la aplicación de un sistema de dos fuerzas iguales, paralelas y de sentido contrario, aplicadas en dos puntos diferentes para crear un movimiento de rotación. Para poder aplicar un torque, se utiliza un instrumento denominado torquímetro, que es una llave dinamométrica especial, que tiene la capacidad de aplicar torques controlados. Este tipo de herramienta debe ser calibrada de acuerdo con una metodología previamente establecida. Para el caso del presente estudio, tendremos tres niveles de control de torques:

1. Torquímetros de taller. Son aquellos que se utilizan para controlar la producción de tuercas soldadas. La frecuencia de control de herramienta es diaria y se realiza en el calibrador de torques.



Figura 102. Torquímetro de quiebre, para uso en el sector productivo.

Imágenes obtenidas por el Tesista como parte de su investigación.

2. Calibrador de Torquímetros. Es un elemento de control utilizado para examinar el torque de los diferentes torquímetros que hay en planta. Tiene la capacidad de verificar una amplia variedad de torques. Este dispositivo se calibra con un torquímetro digital una vez por mes.



Figura 103. Calibrador de torquímetros de taller.

Imagen obtenida por el Tesista como parte de su investigación.

3. Torquímetro Digital. Torquímetro de Laboratorio que se utiliza para la calibración de los Calibradores de Torquímetros. Su uso es restringido al ámbito del Laboratorio y su calibración se realiza en un Laboratorio externo, con el fin de mantener la cadena de trazabilidad. Se adjunta el certificado de calibración del torquímetro digital.



Figura 104. Torquímetro Digital. Para uso en Laboratorio o Sala de Metrología.

Imagen obtenida por el Tesista como parte de su investigación

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° S-87725

Página 1 de 3

LABORATORIO DE METROLOGÍA DIMENSIONAL
de RUBÉN HUGO CÓPPOLA E HIJOS S.R.L.

Av. Gral. E. Garzón 5181 - C1440AYE - CABA - Argentina
Tel / Fax: (011) 4635-2208 / 4682-7099

Web: www.lmdlaboratorio.com.ar

Este certificado se expide de acuerdo al convenio establecido entre el ORGANISMO ARGENTINO DE ACREDITACIÓN y el titular del Laboratorio de Calibración.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, los cuales representan a las unidades físicas de medida en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado no podrá ser reproducido parcialmente excepto cuando se haya obtenido permiso por escrito del OAA y de quien lo emite. Certificados de calibración sin firma y sello, no serán válidos.

El usuario es responsable de la recalibración del objeto a intervalos apropiados.

Material: TORQUÍMETRO CON ESCALA DIGITAL

Rango de medición: 0 - 200 Nm

Mínima división: 0,1 Nm

Fabricante: FORTEN

Modelo: ELC200N

Clasificación según Norma ISO 6789-2017: **Tipo:** I **Clase:** C

Número de serie: 029435

Identificación asignada por el cliente: TO-16

Orden de reparación: ****

Determinaciones Requeridas: CALIBRACIÓN EN SENTIDO HORARIO (AJUSTE)

Procedimiento Aplicado: PE-11.15

Fecha de calibración: 06/09/2021

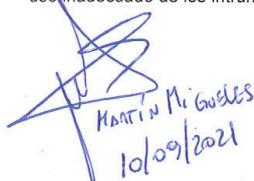
Fecha de emisión del certificado: 07/09/2021

Número de páginas del certificado y de los anexos: 3 (tres)

Cliente: INDUSTRIAS GUIDI SACIF

Domicilio: Av. Hipólito Yrigoyen 16299 - Burzaco - Provincia de Buenos Aires - Argentina

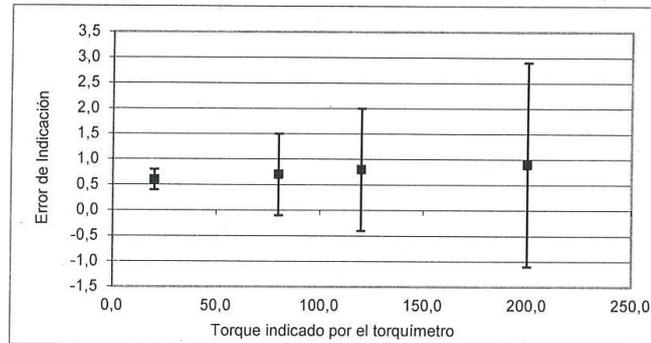
Los resultados contenidos en el presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio de calibración que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.


Martín Miguel
10/09/2021


Ing. Darío Cópola
Subdirector Técnico

Resultados obtenidos

Torque indicado por el patrón Nm	Torque indicado por el torquímetro Nm	Error de indicación Nm	Error de indicación %	Error de indicación medio Nm	Error de indicación medio %	U (k=2) ± Nm
20,0	20,6	0,6	3,0	0,6	3,0	0,2
	20,6	0,6	3,0			
	20,5	0,5	2,5			
	20,6	0,6	3,0			
	20,5	0,5	2,5			
80,0	80,7	0,7	0,9	0,7	0,9	0,8
	80,8	0,8	1,0			
	80,7	0,7	0,9			
	80,7	0,7	0,9			
	80,8	0,8	1,0			
120,0	120,8	0,8	0,7	0,8	0,7	1,2
	120,9	0,9	0,8			
	120,8	0,8	0,7			
	120,8	0,8	0,7			
	120,9	0,9	0,8			
200,0	201,0	1,0	0,5	0,9	0,5	2,0
	200,9	0,9	0,5			
	200,9	0,9	0,5			
	200,9	0,9	0,5			
	201,0	1,0	0,5			



Ing. Darío S. Coppola
Subdirector Técnico

Observaciones

Los errores medios informados resultan del promedio de cinco lecturas.

Temperatura de calibración: 21,3 ± 0,3 °C

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura $k=2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aprox. el 95%. La incertidumbre típica de medida se determinó conforme al documento IRAM 35051.

La Norma ISO 6789-2017 establece que cada medición debe tener un error máximo del 4%

Al instrumento no se le ha realizado ningún ajuste de indicación previamente a la calibración.

Detalle de patrones utilizados	Código LMD	Certificado N°	Vencim
Volante torquimetrico patrón 5-300 Nm	LMD-104	O.A.A S-70353	sep.-21
Termohigrometro	LMD-154	O.A.A. N° 103685/21	jun.-24
Juego de pesas patrón	LMD-043	OAA 6070	nov.-24
Juego de pesas patrones	LMD-191	OAA 6071	nov.-24
Pesa patron 5 kg	LMD-443	N° 106-13757	oct.-23
Pesa patrón 10 kg	LMD-004	N° 106-13757	oct.-23
Pesa patron 20 kg	LMD-441	N° 216-1055	sep.-24
Balanza de 6000x1 g	LMD-208	T-18594	ene.-22

Ing.  Còppola
Subdirector Técnico

Figura 105. Certificado de calibración del Torquímetro Digital, emitido por un Laboratorio Acreditado (3 hojas).

Una vez realizada la operación de soldadura de la tuerca por proyección, la metodología de control es la siguiente:

1. Tener calibrado un torquímetro para la realización de la actividad, de acuerdo con el torque a aplicar sobre la tuerca a ensayar. Este valor viene dado como Requerimiento del Cliente en el diseño del elemento a fabricar.
2. Tener incorporado en el torquímetro, el tubo de acople con la medida de la tuerca a controlar, necesario para desarrollar el ensayo.
3. Colocar la pieza sobre la mesa de control y fijarla o asegurarla a través de clamps manuales, de manera tal que la misma quede inmovilizada.
4. Tomar el torquímetro calibrado, ubicar el tubo de acople sobre la tuerca a ensayar y aplicar sobre la misma una rotación en el sentido horario, hasta que el torquímetro corte su rotación y no permita seguir girando el instrumento. En ese momento finaliza el ensayo.
5. Si la tuerca soldada por proyección resistió correctamente el torque efectuado, podemos dar por aprobado el ensayo, consignando en el registro que corresponda, el resultado obtenido.
6. Si al aplicar el torque, la tuerca se desuelda por completo, o se desuelda alguna de las protuberancias, el ensayo está rechazado y se deben establecer las acciones correctivas que correspondan. Por otro lado, se debe consignar el resultado del ensayo en el registro correspondiente.

Ensayo Destructivo. Se procede a utilizar una prensa hidráulica (de 12 toneladas), que tiene adaptada una celda de carga de 1 tonelada con un indicador, que permite visualizar de manera continua la fuerza aplicada. El método de ensayo consiste en:

- Enroscar un tornillo en la tuerca a ser ensayada (Ver Figura N° 106).

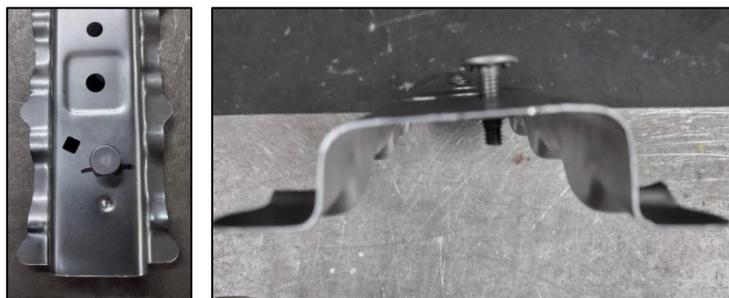


Figura 106. Vista en planta y lateral del componente a ensayar. El tornillo se encuentra enroscado en la tuerca a ser ensayada. Imágenes obtenidas por el Tesista como parte de su investigación.

- Colocar sobre la celda de carga, un buje espaciador (Ver Figuras 107). Este es un elemento que permite vincular la celda de carga con la pieza a ensayar. El buje posee un perno que se introduce en la celda de carga. Sobre el agujero que tiene el buje (extremo opuesto al perno localizador), se debe alojar la tuerca a ensayar. El objetivo de este tipo de ubicación, es que cuando la tuerca ensayada se desprenda, se aloje dentro de este agujero, sin afectar la configuración de la pieza. A continuación se adjuntan imágenes de un buje espaciador y de su ubicación en la celda de carga.



Figura 107. Vista lateral y frontal de un buje espaciador.

Imágenes obtenidas por el Tesista como parte de su investigación.

- Luego se debe ubicar la pieza (con el tornillo enroscado) sobre el buje espaciador (Ver Figura 108). Luego se deben ubicar estos elementos (bujes + pieza a ser ensayada) sobre la celda de carga, en la máquina de ensayo (Ver Figura 109).



Figura 108. Ubicación del buje espaciador sobre la pieza a ensayar.

Imágenes obtenidas por el Tesista como parte de su investigación.

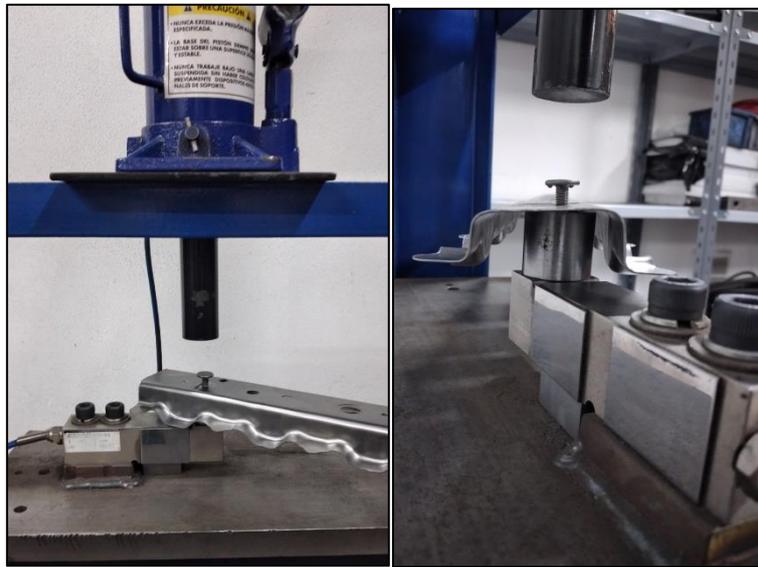


Figura 109. Ubicación de la pieza a ser ensayada sobre la celda de carga en la máquina de ensayo.

Imágenes obtenidas por el Tesista como parte de su investigación.

- Se comienza a aplicar la carga en vacío, hasta que el vástago hace contacto con el tornillo. Luego se continúa aplicando carga (para nuestro caso en forma manual), hasta producir el desprendimiento de la tuerca de la hoja de acero en la que estaba soldada. Se debe tomar lectura del momento en que se produce la rotura, ya que el indicador de la máquina de ensayos no registra esa lectura en la memoria del equipo.

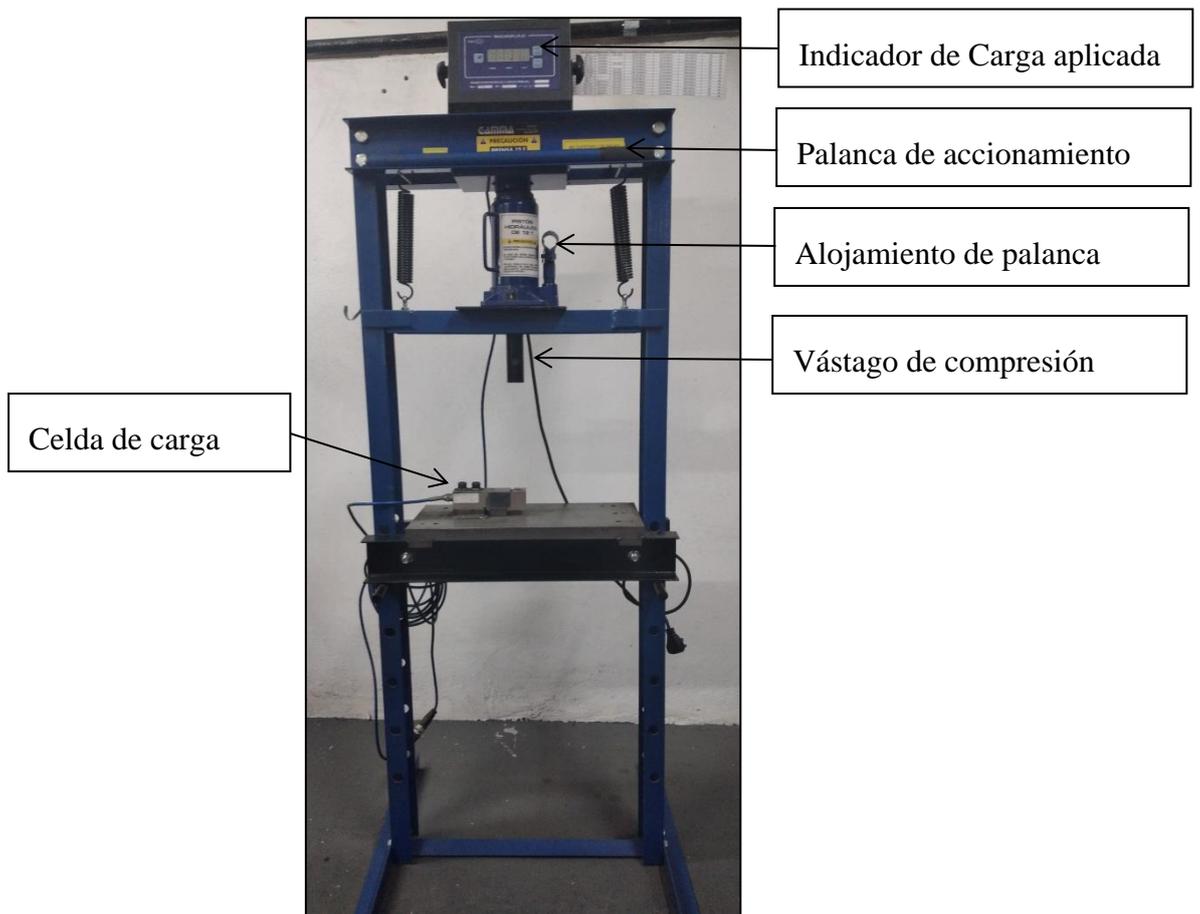


Figura 110. Vista de la prensa hidráulica y su adaptación como máquina de ensayo.

Imagen obtenida por el Tesista como parte de su investigación.

- Se debe considerar que la celda de carga debe estar calibrada con pesas patrones que a su vez se hayan calibradas, siguiendo de esta manera una cadena de patronización. Se adjuntan a continuación los certificados de calibración de la celda de carga utilizada.

CERTIFICADO DE CALIBRACION

N° 300120-01

nanocorp

Av. Patricias Argentinas 3155 of. 2
Complejo Tortuguitas Point (1619) Garin - Escobar
Teléfono: Fijo 3221-5201 / (0348) 4218780
calibraciones@nanocorp.com.ar / www.nanocorp.com.ar

LABORATORIO DE CALIBRACION Y VERIFICACION

Los resultados en el presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio no se responsabiliza de los prejuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de este certificado. El usuario es responsable de la recalibración del objeto a intervalos apropiados

Objeto: Celda de carga con display
Fabricante: Flexar
Modelo: CVCC-1000 / LR-22
N° serie: no se visualiza
Rango de medida: 0 a 1000 Kg
Resolucion: 0,5 Kg
Identificacion del cliente: CVCC-1000 - LR-22
Fecha de Calibracion : 30/01/2020
Guia de Calibracion: Celdas de carga/Balanzas

Cliente: Industrias Guidi SACIF.
Av. H. Yrigoyen 16.299 - Burzaco - Buenos Aires - Argentina

Condiciones Ambientales :
Temperatura 21,7 Humedad relativa 58%

Resumen del Metodo de Calibracion:
Celdas de carga/Balanzas

Equipos auxiliares :
Temp-003 Termohigrometro Cert: 86412/19 Validez: 26/08/2021

Patrones utilizado en la calibracion:
Celda Celda de carga Cert: 19379 Validez: 21/09/2021

Ing. Facundo Gamulin
Ejecutante

Paula Teodoroff
Director Tecnico

05/03/2020
García
Pascua

CERTIFICADO DE CALIBRACION

N° 300120-01

nanocorp

Av. Patricias Argentinas 3155 of. 2
Complejo Tortuguitas Point (1619) Garin - Escobar
Teléfono: Fijo 3221-5201 / (0348) 4218780
calibraciones@nanocorp.com.ar / www.nanocorp.com.ar

LABORATORIO DE CALIBRACION Y VERIFICACION

Los equipos y patrones utilizados para determinar los valores declarados en este informe guardan trazabilidad a patrones nacionales o internacionales reconocidos, en concordancia con el sistema internacional de medidas. (si) El informe responde a los lineamiento de la norma iram 301 (1995), y al guía iso 25 (1994) Para el cálculo y expresión de la incertidumbre de medición se considera la establecida en la guía iso-bimp-iec-iupac-oiml. (guide to expression of uncertainties in measurements), versión castellano inti física y metrología. La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar Combinada por un factor de cobertura $k=2$, que corresponde a una probabilidad de cobertura de 95%

Resultado :

Rango de medida 0 a 1000 Unidad de medida Kg
Resolucion 0,5

V. Ref	V. Medidos	Error	Incert
0,0	0,0	0,00	0,0
50,0	50,5	0,50	0,5
100,0	102,5	2,50	1,0
200,3	202,5	2,20	2,0
300,0	301,0	1,00	3,0
400,3	401,5	1,20	4,0
500,1	502,0	1,90	5,0
602,6	604,0	1,40	6,0
701,0	701,5	0,50	7,0
806,8	808,5	1,70	8,1
909,7	910,0	0,30	9,1
988,5	989,5	1,00	9,9

Informaciones adicionales :

Calibracion sin ajuste previo

Ing. Facundo Gamulin
Ejecutante

Documento producido y firmado electronicamente

Paula Teodoroff
Director Tecnico

pagina 2

Figura 111. Certificado de Calibración de la Celda de Carga (N° 300120-01 páginas 1 – 2).

Imágenes obtenidas por el Tesista como parte de su investigación.



Certificado de Calibración

Nº de Certificado: **19379**

Cliente: **GAMULIN FACUNDO JAVIER**

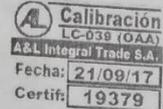
Domicilio: *Av. Patricias Argentinas 3155 Piso:1 Dto.:2 CP:1619 - Garín - Escobar - Bs As - Argentina*

Propietario: **FORD ARGENTINA S.C.A.**

Objeto: *Calibración en COMPRESION según Norma ISO 376:2011 - Ver Notas al pie de la pág.*

Fecha de calibración: *21 de septiembre de 2017*

Hojas del certificado: 3



Elementos del sistema de medición de fuerza

Instrumento		Indicador	
Tipo	Celda de Carga	Tipo	DIGITAL
Marca	PREC	Marca	A&L
Modelo	PHW	Modelo	AHS-II
Número de Serie	73659	Número de serie	14098
Capacidad	20000 kgf	Resolución / Máx	1 kgf / 10000 kgf

Cable de Interconexión: 10 m

Accesorios (amarres): Provisos por A&L.

Método: Realizado con máquina comparadora de fuerza.

Patrones de referencia			
Transductor	SENSY 3115	Indicador	INDI-ISO376
Nº de Serie	2130106000	Nº de Serie	2120777000
Capacidad Máx.	300 kN	División Min./Unidad	0,00001 mV/V

A&L Integral Trade S.A.

M. Díaz Vélez 4842 | Munro (CP1605) | Buenos Aires | Argentina | T. 5411. 4708.9243

Este certificado documenta la trazabilidad a los patrones nacionales e internacionales, los cuales representan a las unidades de medida en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización de A&L. Los resultados se refieren exclusivamente a los elementos recibidos. A&L declina toda responsabilidad por el uso indebido o incorrecto que se hiciera de este certificado.

Los resultados contenidos en el presente certificado se refieren a las condiciones en que se realizaron las mediciones.

El usuario es responsable de la calibración a intervalos apropiados.

La confección del presente certificado esta basada bajo la Norma ISO-376 en su edición vigente excluyendo el Anexo B.

La incertidumbre de medición expandida informada fue calculada multiplicando la incertidumbre estandar combinada por un coeficiente de cubrimiento $k = 2$, lo cual corresponde a un nivel aproximado de confianza de 95%, para una distribución normal y conforme al Anexo C1 de Norma ISO-376 en su edición vigente.

Leandro A. Garcia
DIRECTOR TECNICO
A&L Integral Trade S.A.



Certificado de Calibración

Nº: 19379

Valores obtenidos en las series de medición

Fuerza de Referencia (F)	Indicación Xi (kgf)					
	Serie 1 0°	Serie 2 0°	Serie 3 120°	Serie 4 120°	Serie 5 240°	Serie 6 240°
0,000 0	0	0	0	-	0	-
9,807 1000	1000	1000	1000	1002	999	1002 *
19,613 2000	2000	2000	2000	2002	1999	2002
29,420 3000	3000	3000	3000	3004	2999	3003
39,227 4000	4000	4000	4000	4004	4000	4003
49,033 5000	5001	5001	5001	5004	5000	5003
58,840 6000	6001	6001	6001	6004	6000	6003
68,647 7000	7001	7001	7001	7004	7000	7003
78,453 8000	8000	8000	8000	8003	8000	8003
88,260 9000	9000	9000	9000	9003	9000	9003
98,067 10000	10000	10000	10000	-	10000	-

Temperatura ambiente: 21,7 °C ±1°C

(*) NOTA IMPORTANTE	EL ALCANCE BAJO ACREDITACIÓN OAA ES A PARTIR DE LOS 10kN
Fuerza de referencia (F)	Es la fuerza generada por la máquina de referencia sobre el instrumento en calibración. Se expresa el valor de la referencia en N (Newton - Unidad legal de fuerza) y su respectiva conversión a kgf. 1 kgf = 9,80665 N - Según NIST Guide to SI Units
Indicación (Xi)	Es la indicación del instrumento calibrado para cada fuerza de referencia aplicada.

Errores relativos

Fuerza de referencia (F)	Valor medio Series 1, 2	Error relativo de repetibilidad	Valor medio Series 1, 3, 5	Error relativo de reproducibilidad	Error relativo de reversibilidad	Error relativo de interpolación
0,000 0	0	0,000	0	-	-	-
9,807 1000	1000	0,000	1000	0,100	0,250	-0,01
19,613 2000	2000	0,000	2000	0,050	0,125	-0,01
29,420 3000	3000	0,000	3000	0,033	0,133	-0,01
39,227 4000	4000	0,000	4000	0,000	0,088	0,00
49,033 5000	5001	0,000	5001	0,020	0,060	0,01
58,840 6000	6001	0,000	6001	0,017	0,050	0,00
68,647 7000	7001	0,000	7001	0,014	0,043	0,00
78,453 8000	8000	0,000	8000	0,000	0,038	-0,01
88,260 9000	9000	0,000	9000	0,000	0,033	0,00
98,067 10000	10000	0,000	10000	0,000	-	0,00

Error de cero 10 (%)	Error de Fluencia c (%)
0,00	0,00

Error de Fluencia (c)	Se realizó después de la carrera X6. Se obtuvo luego de retirada la fuerza aplicada durante 60 segundos.
-----------------------	--

Leandro A. Garcia
 DIRECTOR TECNICO
 A&L Integral Trade S.A.



Certificado de Calibración
 N°: 19379

Incertidumbre expandida y clasificación

Fuerza de referencia kN	CASO A		CASO B		CASO C		CASO D	
	W %	Clase	W %	Clase	W %	Clase	W %	Clase
0,000	-	-	-	-	-	-	-	-
9,807	0,142	-	0,322	-	0,145	-	0,323	-
19,613	0,083	1	0,167	1	0,084	1	0,167	1
29,420	0,067	1	0,168	1	0,068	1	0,168	1
39,227	0,058	1	0,116	1	0,058	1	0,116	1
49,033	0,057	1	0,090	1	0,059	1	0,091	1
58,840	0,055	1	0,080	1	0,055	1	0,080	1
68,647	0,054	1	0,073	1	0,054	1	0,073	1
78,453	0,052	1	0,068	1	0,053	1	0,069	1
88,260	0,052	1	0,064	1	0,052	1	0,065	1
98,067	0,051	1	0,051	1	0,052	1	0,052	1

La incertidumbre expandida informada surge de la comparación de la incertidumbre calculada en el punto y la incertidumbre calculada mediante la estimación lineal para los puntos intermedios, en este caso se informa el resultado mas conservador.

Los criterios de clasificación se realizan según el punto 8.2 de la Norma.

Polinomio de interpolación de la indicación en función de la fuerza

$$X_a = A \cdot F_0 + B \cdot F_0^2 + C \cdot F_0^3$$

Coeficientes	Valores
A	1,019391E+02
B	1,244642E-03
C	-9,602719E-06

Siendo F_0 la fuerza nominal de referencia en kN y X_a el valor ajustado de la deformación correspondiente a F_0

Curva de interpolación de la incertidumbre (según Norma ISO-376:2011 C.1.10)

$$W = A \cdot F_0^3 + B \cdot F_0^2 + C \cdot F_0 + D$$

CASO C		CASO D	
Coeficientes	Valores	Coeficientes	Valores
A	-5,683306E-07	A	-1,029039E-06
B	1,130843E-04	B	2,146535E-04
C	-7,150189E-03	C	-1,507274E-02
D	1,970477E-01	D	4,321575E-01

Siendo F_0 la fuerza nominal y W la incertidumbre expandida correspondiente a F_0

Observaciones: **NINGUNA**

FIN DEL CERTIFICADO

Leandro A. García
 DIRECTOR TECNICO
 A&L Integral Trade S.A.

Figura 112. Certificado de Calibración de la Celda de Carga patrón (Tres hojas), con la que se calibró la celda de carga de la máquina de ensayo. Imágenes obtenidas por el Tesista como parte de su investigación.

De acuerdo con la Tabla 2 de la norma Toyota TSB1503G (Ver Tabla 14), la tuerca debe resistir una carga mínima (sin desprenderse) de 3040 N. Se realizó el ensayo a tres tuercas, y las mismas fueron aprobadas, siendo los valores de desprendimiento de una de las protuberancias, los que siguen a continuación (Ver Tabla 15). La condición de aprobación del ensayo, es que una vez aplicada la carga, la rotura se produzca en la hoja de acero, quedando el material adherido a una de las protuberancias de la tuerca, como se puede apreciar de manera general en las Figuras 102 y 103, y en detalle, en las Figuras 104 y 105 respectivamente.

	Carga mínima de tracción 3040 N
Ensayo 1	3880 N
Ensayo 2	3665 N
Ensayo 3	3861 N

Tabla 15. Valores de la carga aplicada para lograr el desprendimiento de las tuercas por tracción



Figura 113. Vista posterior de una de las uniones sometidas al ensayo de tracción una vez realizado el mismo. Imagen obtenida por el Tesista como parte de su investigación.

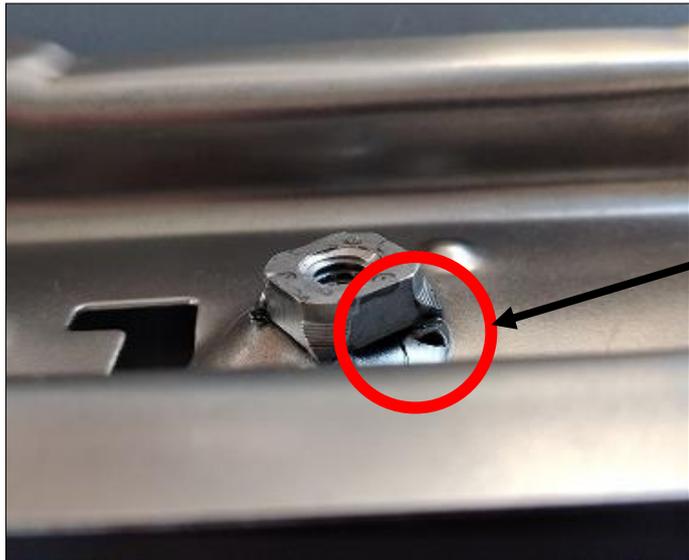


Figura 114. Vista posterior de las otras dos uniones sometidas al ensayo de tracción una vez realizado el mismo. Imagen obtenida por el Tesista como parte de su investigación.

Rotura de la hoja de acero. El material quedó adherido a la protuberancia de la tuerca, lo que indica la validez del ensayo realizado



Figura 115. Vista cercana de una de las tuercas ensayadas por tracción (posterior), donde se aprecia la rotura de la hoja de acero. Imagen obtenida por el Tesista como parte de su investigación.



Rotura de la hoja de acero. El material quedó adherido a la protuberancia de la tuerca

Figura 116. Vista cercana de una de las tuercas ensayadas por tracción (anterior), donde se aprecia la rotura de la hoja de acero. Imagen obtenida por el Tesista como parte de su investigación.

Soldadura de tornillos por proyección

Para el ensayo de los tornillos soldados por proyección, y dada la configuración particular del mismo (la cabeza del tornillo soldado por proyección a la hoja de acero), se comprobó que no era sencillo realizar un ensayo de tracción, pues se deformaría muy fácilmente la hoja de acero, debido a su bajo espesor (0,65mm).

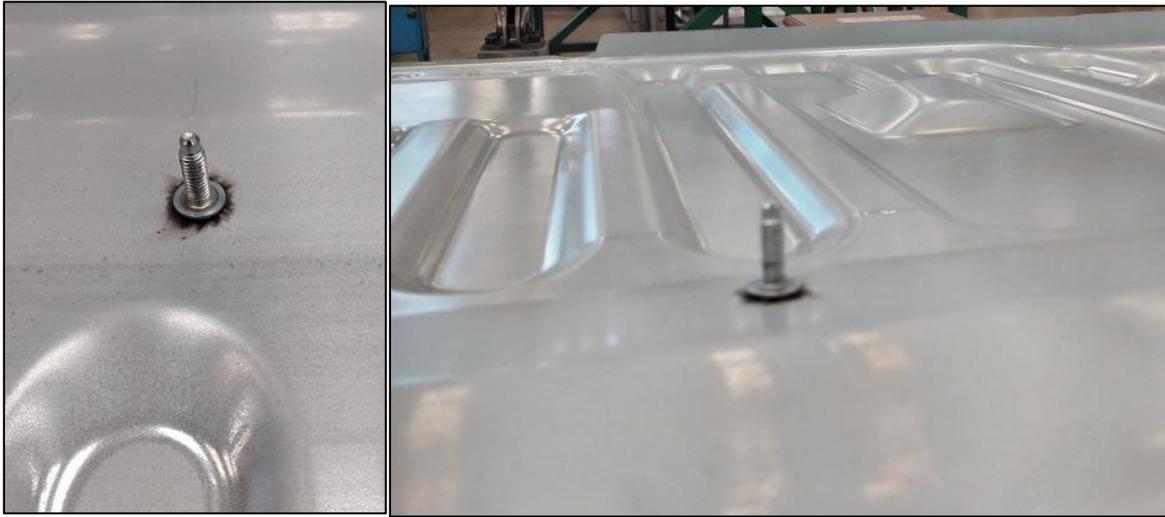


Figura 117. Vista frontal y lateral del tornillo soldado por proyección.

Imágenes obtenidas por el Tesista como parte de su investigación.



Figura 118. Vista posterior del tornillo soldado por proyección a la hoja de acero.

Imagen obtenida por el Tesista como parte de su investigación.

Por otro lado, no se encontró en la bibliografía consultada, un método de ensayo que contemple la configuración, de tornillo soldado a una hoja de acero, objeto del estudio planteado.

En función de esto, se definió realizar un ensayo de rotura por torsión para validar los parámetros propuestos. La metodología del ensayo es la que se describe a continuación:

1. Definir torque para control de ensayo no destructivo. Los valores propuestos para el control por torque de un tornillo de rosca M6 * 1 son los siguientes:
 - a. Ensayo no destructivo: Hasta 10 Nm. Esto significa que si aplicamos un torque de 10 Nm al tornillo soldado por proyección, el mismo no debe desprenderse del metal base al que está soldado.

- b. Ensayo destructivo: Superior a 15 Nm. Esto significa que el tornillo soldado se puede desprender de su material base al cual está soldado, cuando se aplica un torque superior a 15 Nm.
2. Una vez definidos los valores para controlar y validar el proceso de soldadura, se procede de la siguiente manera, de acuerdo al tipo de ensayo que se necesite realizar (destructivo o no destructivo).
3. Se enrosca una tuerca de rosca M6 * 1 al tornillo que se necesite ensayar.
4. Para realizar este ensayo se utiliza un torquímetro digital calibrado (ver certificado en Figura N° 105), que tiene un display donde se puede apreciar el valor de torque dado. Al torquímetro se le debe colocar un tubo con el encastre para vincular la herramienta con la tuerca. Estos tubos son intercambiables y adaptables a diferentes tipos de tuerca.
5. Una vez preparada la pieza y la herramienta de ensayo se comienza a enroscar la tuerca. Se verá en el display del torquímetro que sus valores comienzan a subir. Se debe continuar hasta que se llega:
 - a. Si el ensayo es no destructivo, al valor de 10 Nm. Si el tornillo no se desprendió, se da por aprobada la soldadura. Si el tornillo se desprende y no se llegó al valor precitado, se da por rechazado el ensayo.
 - b. Si el ensayo es destructivo, al valor en que el tornillo se desprenda de la hoja de acero sobre la que está soldada. Se da por aprobado si el valor supera los 15 Nm. Si se desprende a un valor inferior, el resultado del ensayo es rechazado.
 - c. En la Figura 119, se puede observar el resultado de un ensayo destructivo de un tornillo soldado por proyección y ensayado con torque.

Tornillo ensayado con la tuerca enroscada para la prueba y material base arrancado



Figura 119. Tornillo soldado por proyección y sometido a ensayo destructivo por torque.

Imagen obtenida por el Tesista como parte de su investigación

Ensayos de Validación

Estudios sobre tuercas.

Estudio de Confiabilidad. La idea del presente estudio es realizar un estudio de Rango Medio evaluando los resultados de rotura por tracción de las uniones soldadas, realizadas con parámetros anteriores y parámetros propuestos por el Tesista, aplicando los conceptos estudiados en el presente trabajo, con el fin de verificar si se comprueba una mejora en los resultados de resistencia a la soldadura por tracción.

Descripción del Método de Rango Mediano (Medium Rank). Se tiene una muestra y se quiere inferir el comportamiento del universo del cual provino esa muestra. De alguna manera, esta muestra, debe tener alguna similitud con el universo del cual proviene por estar elegida al azar. Se denomina Rango Medio MR, al porcentaje acumulado que asignamos a cada falla en particular. (Di Gregorio, 2019)

Es lógico saber que se cometerá un error de análisis, dado que la única forma de no cometer errores sería analizar la totalidad del universo, pero ese error es menor a medida que la cantidad de muestras analizadas es mayor. O sea.

$$N = x * n$$

Siendo:

x : cantidad de lotes de muestras elegidos.

n : cantidad de sistemas en estudios que tiene cada lote.

Cada lote de muestra elegido, mostraría en caso que se hicieran el ensayo de todos, una distribución de fallas diferentes, pero con una frecuencia acumulada, que será una característica del universo de donde provienen las muestras. (Di Gregorio, 2019)

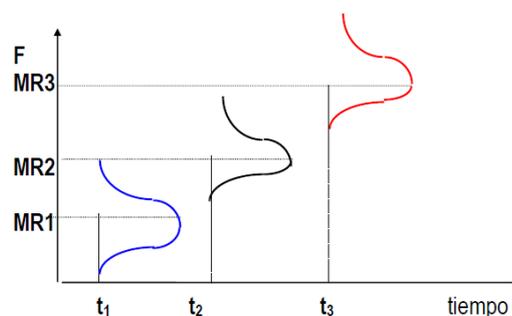


Figura 120. Distribución de fallas de cada uno de los lotes elegidos.

En la práctica se elige un solo lote de muestras. Para cada instante considerado, será diferente la frecuencia de fallas acumuladas, pero ellas seguirán un ley de distribución tal que el MR representa el valor que deja todos los valores posibles de F 50% por arriba y 50% por debajo. (Di Gregorio, 2019)

De esta manera se puede inferir estadísticamente, la similitud estadística de la muestra con el universo del cual proviene para cada instante “t” (Di Gregorio, 2019)

La fórmula para encontrar el valor exacto del MR, consiste en una aplicación de la ecuación binomial:

$$p = \sum_{k=j}^n \binom{n}{k} z^k (1-z)^{n-k}$$

Siendo p el valor de la curva de confianza solicitada.

La ecuación anterior se resuelve por reiteraciones sucesivas, colocando los valores de “p” en forma decimal. Para el cálculo de Medium Rank 50%, se utiliza la aproximación de Bernard con un error menor al 0,5%.

$$MR = \frac{j - 0,3}{n + 0,4}$$

Siendo:

j : número de orden del sistema en la muestra.

n: número de sistemas totales de la muestra.

Conclusiones:

- El error sistemático de cada punto de la recta MR, se lo considera del 50%.
- Al graficar el diagrama se extrapola a la recta más cercana a los puntos obtenidos y se asume como que es la función acumulada de falla del universo.

Metodología de Trabajo. El estudio se desarrollará de la siguiente manera: Se realizarán veinte muestras (con tres tuercas soldadas por proyección en cada una de las muestras). Las primeras diez, tendrán los parámetros de máquina actuales junto a su metodología de trabajo (pieza sostenida manualmente por el Operador). Las otras diez muestras, tendrán los parámetros de máquina actualizados de acuerdo a lo detallado en este estudio, y un método de trabajo conforme a la investigación (pieza autosustentada en la máquina de soldadura por proyección, con sus caras perpendiculares a los electrodos superior e inferior). Se pretende demostrar que con la segunda alternativa de trabajo, cambia la pendiente de la recta de mejor ajuste, obteniéndose de esta manera de mejores los resultados obtenidos en los ensayos de rotura por tracción.

La metodología de trabajo fue la siguiente:

1. Se soldaron diez piezas con tres tuercas cada una de ellas, con los parámetros y métodos de trabajo actuales (la pieza es sostenida con la mano por el Operador durante la soldadura de las tuercas).
2. Se soldaron otras diez piezas con tres tuercas cada una de ellas, con los parámetros propuestos y el método de trabajo que sugiere la bibliografía especializada (la pieza está autosustentada al momento de soldadura de las tuercas).
3. Luego se procede a realizar ensayos de rotura por tracción a cada una de las piezas. Se registran los valores y se construyen las siguientes tablas. Por una comodidad de realización de la curva de rango mediano, se divide el trabajo en dos grupos de quince datos cada uno, comenzando por las piezas que tienen los parámetros y condición de trabajo actual, siguiendo con los nuevos parámetros y condición especial de fabricación (autosustentada).
4. Tablas de Datos.

Situación con parámetros y condición de trabajo actuales.

Carga de Rotura (Kg) y (N). 1° Parte						
	Tuerca # 1 (Kg)	Tuerca # 2 (Kg)	Tuerca # 3 (Kg)	Tuerca # 1 (N)	Tuerca # 2 (N)	Tuerca # 3 (N)
Pieza # 1	452	402	401	4434,12	3943,62	3933,81
Pieza # 2	388	388	417	3806,28	3806,28	4090,77
Pieza # 3	361	433	319	3541,41	4247,73	3129,39
Pieza # 4	364	350	427	3570,84	3433,5	4188,87
Pieza # 5	404	433	388	3963,24	4247,73	3806,28
Promedio	395,13			3876,26		

Tabla 16. Cargas de Rotura por tracción. Tuercas soldadas en condiciones actuales de parámetros y método de trabajo (1° Parte). Datos obtenidos por el Tesista como parte de su investigación.

Carga de Rotura (Kg) y (N). 2° Parte						
	Tuerca # 1 (Kg)	Tuerca # 2 (Kg)	Tuerca # 3 (Kg)	Tuerca # 1 (N)	Tuerca # 2 (N)	Tuerca # 3 (N)
Pieza # 6	412	439	420	4041,72	4306,59	4120,2
Pieza # 7	328	425	405	3217,68	4169,25	3973,05
Pieza # 8	467	412	433	4581,27	4041,72	4247,73
Pieza # 9	424	404	450	4159,44	3963,24	4414,5
Pieza # 10	540	418	397	5297,4	4100,58	3894,57
Promedio	424,93			4168,60		

Tabla 17. Cargas de Rotura por tracción. Tuercas soldadas en condiciones actuales de parámetros y método de trabajo (2° Parte). Datos obtenidos por el Tesista como parte de su investigación.

Situación con nuevos parámetros y método de trabajo propuesto

Carga de Rotura (Kg) y (N). 1° Parte						
	Tuerca # 1 (Kg)	Tuerca # 2 (Kg)	Tuerca # 3 (Kg)	Tuerca # 1 (N)	Tuerca # 2 (N)	Tuerca # 3 (N)
Pieza # 1	311	416	408	3050,91	4080,96	4002,48
Pieza # 2	343	348	405	3364,83	3413,88	3973,05
Pieza # 3	433	455	397	4247,73	4463,55	3894,57
Pieza # 4	391	424	427	3835,71	4159,44	4188,87
Pieza # 5	371	417	375	3639,51	4090,77	3678,75
Promedio	394,73			3872,33		

Tabla 18. Cargas de Rotura por tracción. Tuercas soldadas con nuevas condiciones de parámetros y método de trabajo (1° Parte). Datos obtenidos por el Tesista como parte de su investigación.

Carga de Rotura (Kg) y (N). 2° Parte						
	Tuerca # 1 (Kg)	Tuerca # 2 (Kg)	Tuerca # 3 (Kg)	Tuerca # 1 (N)	Tuerca # 2 (N)	Tuerca # 3 (N)
Pieza # 6	369	401	380	3619,89	3933,81	3727,8
Pieza # 7	346	421	386	3394,26	4130,01	3786,66
Pieza # 8	386	398	444	3786,66	3904,38	4355,64
Pieza # 9	358	388	410	3511,98	3806,28	4022,10
Pieza # 10	476	370	410	4669,56	3629,70	4022,10
Promedio	396,20			3886,72		

Tabla 19. Cargas de Rotura por tracción. Tuercas soldadas con nuevas condiciones de parámetros y método de trabajo (2° Parte). Datos obtenidos por el Tesista como parte de su investigación.

5. Se procede a reordenar los valores obtenidos.

Situación actual (1° Parte del Ensayo)

N° Ensayo	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6	# 7	# 8	# 9	# 10	# 11	# 12	# 13	# 14	# 15
Resultado (Kg)	452	402	401	388	388	417	361	433	319	364	350	427	404	433	388
Resultado (N)	4434	3943	3933	3806	3806	4090	3541	4247	3129	3570	3433	4188	3963	4247	3806

Tabla 20. Cada muestra con sus correspondientes valores de rotura por tracción expresados en Kg y Newtons. Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.

Situación actual (2° Parte del Ensayo)

N° Ensayo	# 16	# 17	# 18	# 19	# 20	# 21	# 22	# 23	# 24	# 25	# 26	# 27	# 28	# 29	# 30
Resultado (Kg)	412	439	420	328	425	405	467	412	433	424	404	450	540	418	397
Resultado (N)	4041	4306	4120	3217	4169	3973	4581	4041	4247	4159	3963	4414	5297	4100	3894

Tabla 21. Cada muestra con sus correspondientes valores de rotura por tracción expresados en Kg y Newtons. Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.

Situación propuesta (1° Parte del Ensayo)

N° Ensayo	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6	# 7	# 8	# 9	# 10	# 11	# 12	# 13	# 14	# 15
Resultado (Kg)	311	416	408	343	348	405	433	455	397	391	424	427	371	417	375
Resultado (N)	3050	4080	4002	3364	3413	3973	4247	4463	3895	3835	4159	4188	3639	4090	3678

Tabla 22. Cada muestra con sus correspondientes valores de rotura por tracción expresados en Kg y Newtons. Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.

Situación propuesta (2° Parte del Ensayo)

N° Ensayo	# 16	# 17	# 18	# 19	# 20	# 21	# 22	# 23	# 24	# 25	# 26	# 27	# 28	# 29	# 30
Resultado (Kg)	369	401	380	346	421	386	386	398	444	358	388	410	476	370	410
Resultado (N)	3619	3933	3727	3394	4130	3786	3786	3904	4355	3511	3806	4022	4669	3629	4022

Tabla 23. Cada muestra con sus correspondientes valores de rotura por tracción expresados en Kg y Newtons. Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.

6. Para cada una de las dos propuestas, se proceden a ordenar los datos de rotura de menor a mayor y se calculan los valores del Rango Medio para cada una de las situaciones propuestas, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$MR = (j - 0,3) \div (n + 0,4)$$

Donde:

j: número de orden de la muestra

n: número total de muestras del estudio

A su vez se agregan los valores de las bandas de confianza (nivel superior e inferior). Estos valores salen de tablas y son relativos a la cantidad de muestras ensayadas.

Situación Actual (1° Parte)

N° Ensayo	# 9	# 11	# 7	# 10	# 4	# 5	# 15	# 3	# 2	# 13	# 6	# 12	# 8	# 14	# 1
Resultado (N)	3129	3433	3541	3570	3806	3806	3806	3933	3943	3963	4090	4187	4247	4247	4434
MR	0,045	0,110	0,175	0,240	0,305	0,370	0,435	0,500	0,565	0,630	0,695	0,760	0,825	0,890	0,955
C Sup (95%)	0,181	0,279	0,363	0,44	0,511	0,577	0,639	0,698	0,754	0,809	0,858	0,903	0,943	0,976	0,997
C Inf. (5%)	0,003	0,025	0,057	0,097	0,142	0,151	0,24	0,302	0,35	0,423	0,489	0,56	0,637	0,721	0,819

Tabla 24. Tabla con valores de Rango Medio, con sus correspondientes bandas de confianza. Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.

Situación Actual (2° Parte)

N° Ensayo	# 19	# 30	# 26	# 21	# 16	# 23	# 29	# 18	# 25	# 20	# 24	# 17	# 27	# 22	# 28
Resultado (N)	3217	3894	3963	3973	4041	4041	4100	4120	4159	4169	4247	4306	4414	4581	5297
MR	0,045	0,110	0,175	0,240	0,305	0,370	0,435	0,500	0,565	0,630	0,695	0,760	0,825	0,890	0,955
C Sup (95%)	0,181	0,279	0,363	0,44	0,511	0,577	0,639	0,698	0,754	0,809	0,858	0,903	0,943	0,976	0,997
C Inf. (5%)	0,003	0,025	0,057	0,097	0,142	0,151	0,24	0,302	0,35	0,423	0,489	0,56	0,637	0,721	0,819

Tabla 25. Tabla con valores de Rango Medio, con sus correspondientes bandas de confianza. Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.

Situación Propuesta (1° Parte)

N° Ensayo	# 1	# 4	# 5	# 13	# 15	# 10	# 9	# 6	# 3	# 2	# 14	# 11	# 12	# 7	# 8
Resultado (N)	3050	3364	3414	3639	3678	3835	3894	3973	4002	4080	4090	4159	4188	4247	4463
MR	0,045	0,110	0,175	0,240	0,305	0,370	0,435	0,500	0,565	0,630	0,695	0,760	0,825	0,890	0,955
C Sup (95%)	0,181	0,279	0,363	0,44	0,511	0,577	0,639	0,698	0,754	0,809	0,858	0,903	0,943	0,976	0,997
C Inf. (5%)	0,003	0,025	0,057	0,097	0,142	0,151	0,24	0,302	0,35	0,423	0,489	0,56	0,637	0,721	0,819

Tabla 26. Tabla con valores de Rango Medio, con sus correspondientes bandas de confianza. Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.

Situación Propuesta (2° Parte)

N° Ensayo	# 19	# 25	# 16	# 29	# 18	# 21	# 22	# 26	# 23	# 17	# 27	# 30	# 20	# 24	# 28
Resultado (N)	3394	3511	3619	3629	3727	3786	3786	3806	3904	3933	4022	4022	4130	4355	4669
MR	0,045	0,110	0,175	0,240	0,305	0,370	0,435	0,500	0,565	0,630	0,695	0,760	0,825	0,890	0,955
C Sup (95%)	0,181	0,279	0,363	0,44	0,511	0,577	0,639	0,698	0,754	0,809	0,858	0,903	0,943	0,976	0,997
C Inf. (5%)	0,003	0,025	0,057	0,097	0,142	0,151	0,24	0,302	0,35	0,423	0,489	0,56	0,637	0,721	0,819

Tabla 27. Tabla con valores de Rango Medio, con sus correspondientes bandas de confianza. Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.

7. A continuación se presentan los Diagramas de Weibull para cada una de las situaciones estudiadas.

i. Situación Actual. 1° Parte.

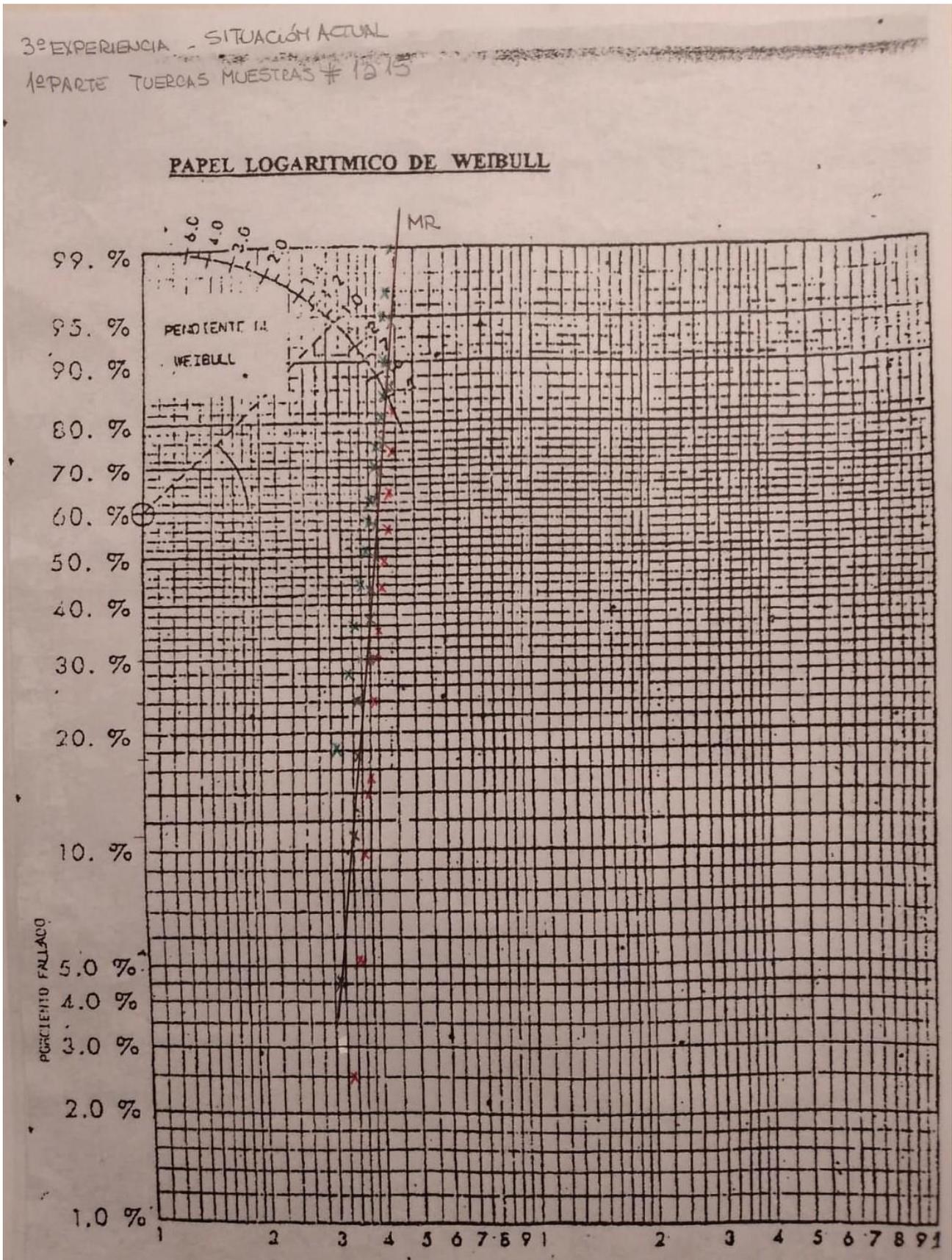


Figura 121. Diagrama de Weibull, donde se representan los valores expresados en la Tabla 24

ii. Situación Actual. 2º Parte

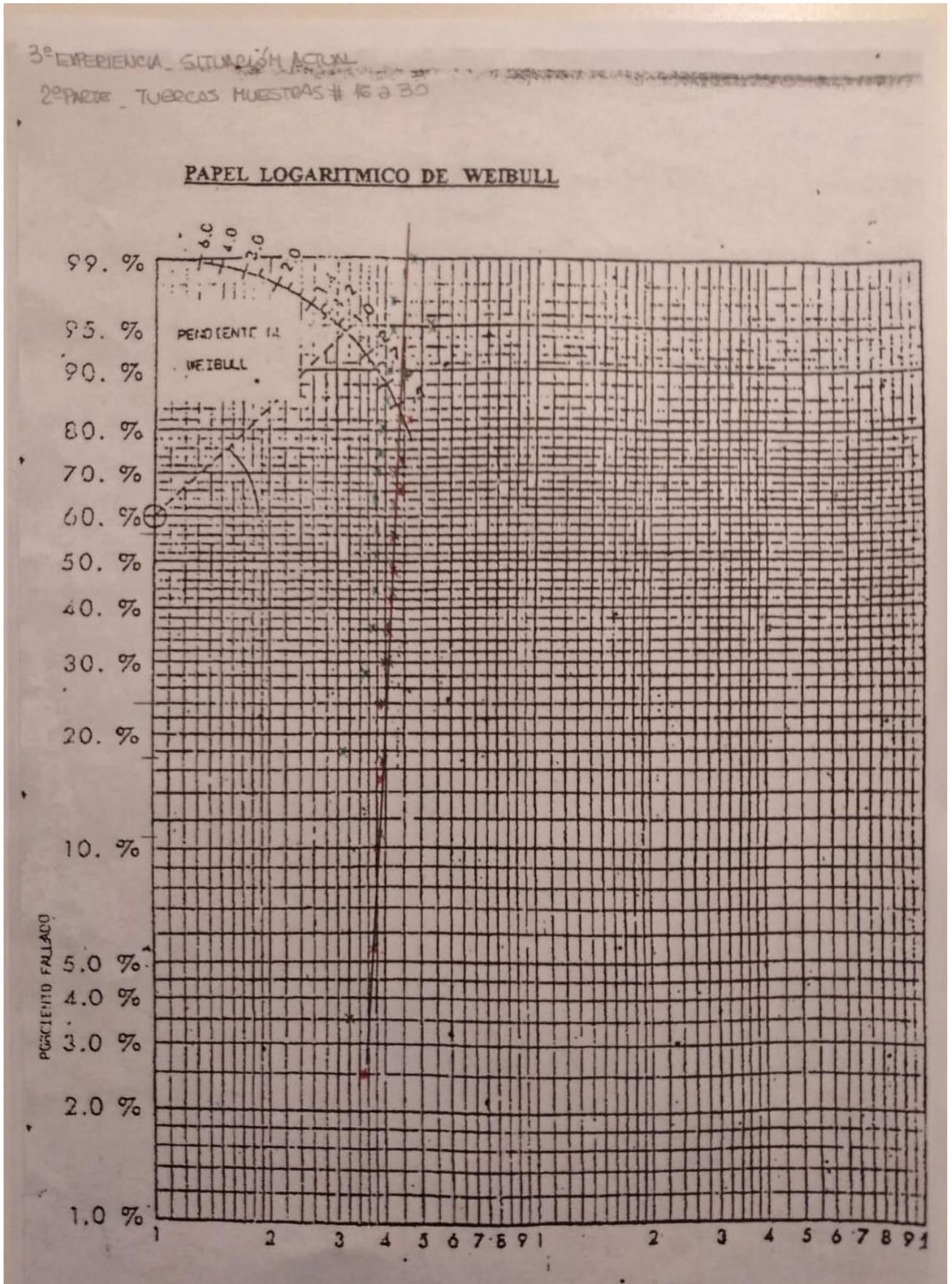


Figura 122. Diagrama de Weibull, donde se representan los valores expresados en la Tabla 25

iii. Situación Propuesta. 1° Parte

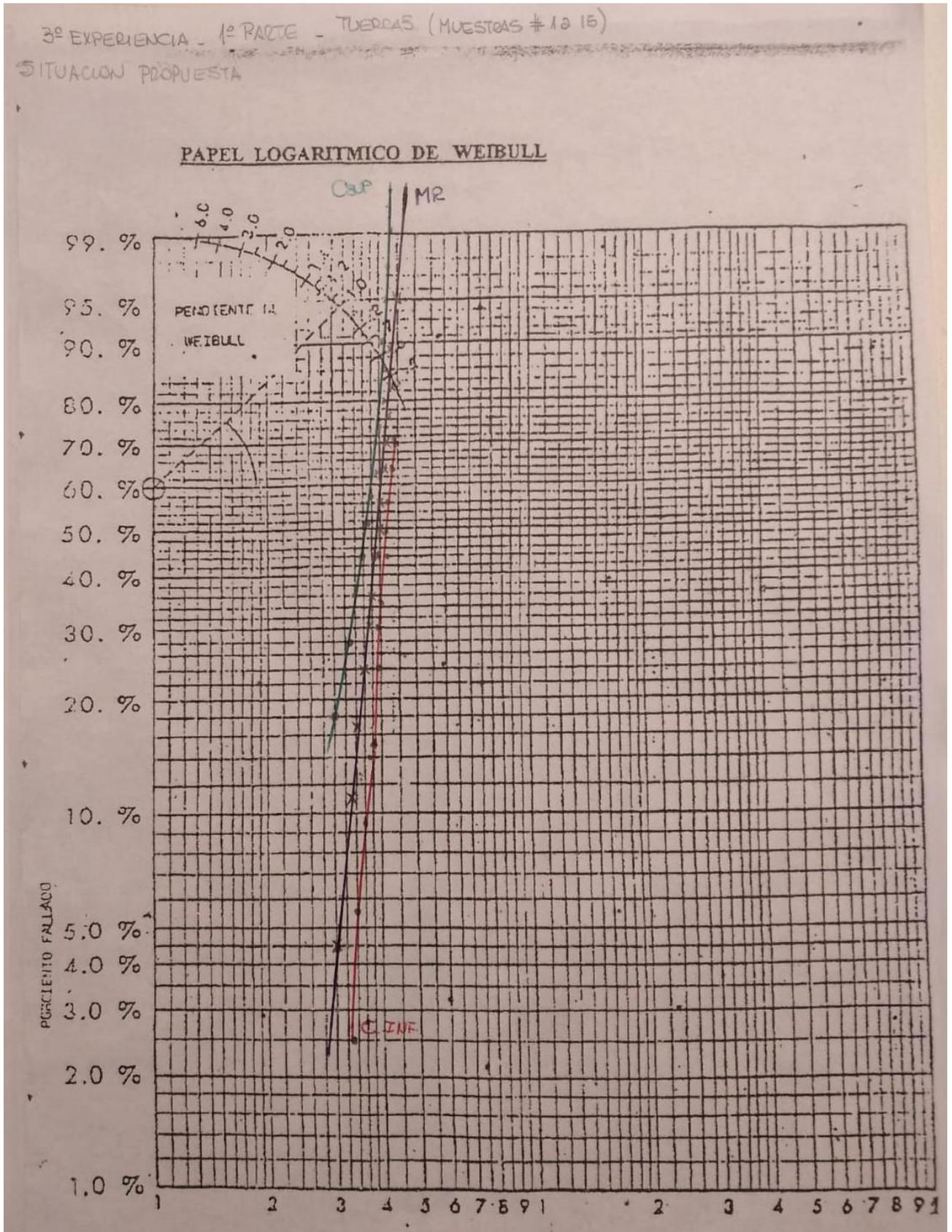


Figura 123. Diagrama de Weibull, donde se representan los valores expresados en la Tabla 26

iv. Situación Propuesta. 2º Parte

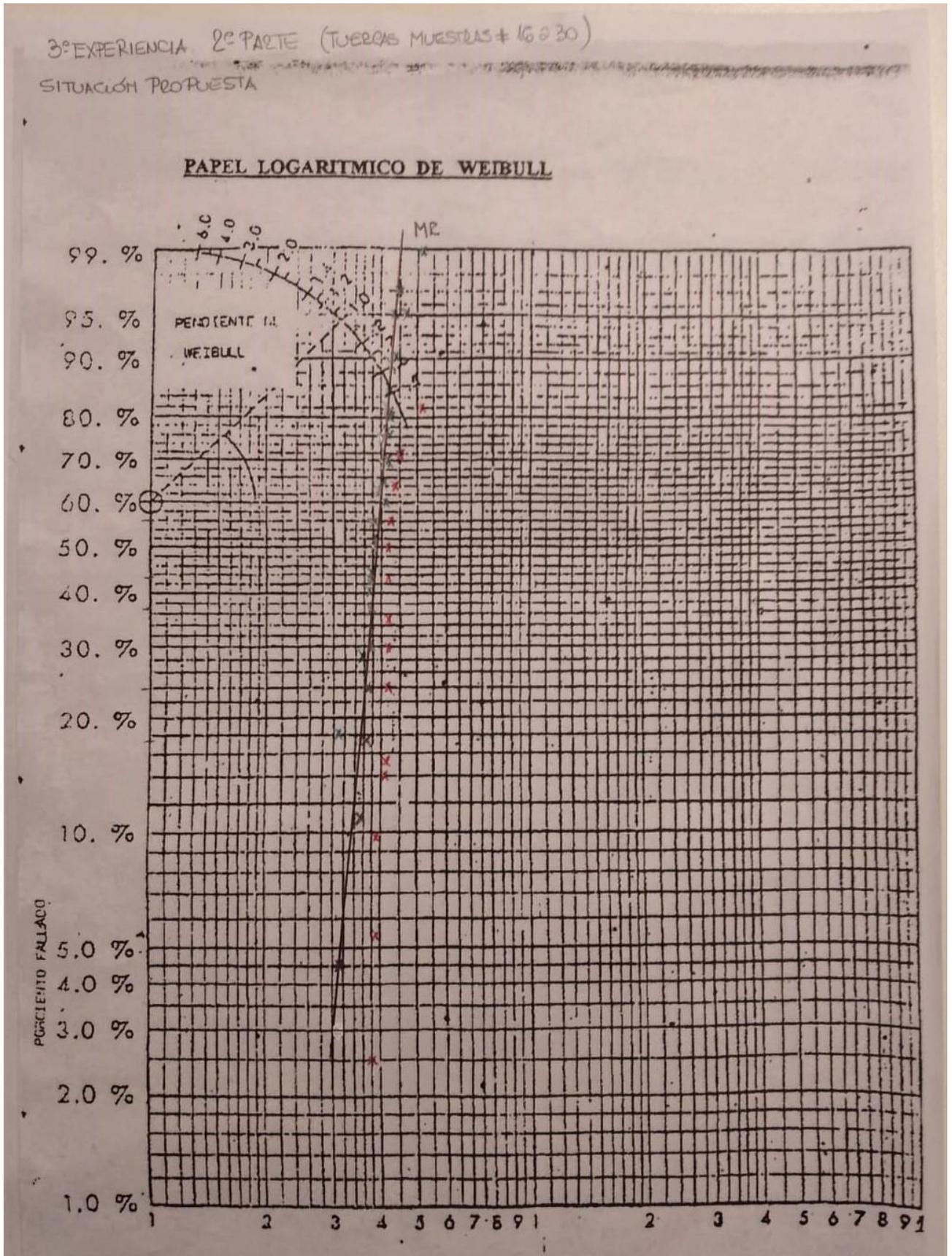


Figura 124. Diagrama de Weibull, donde se representan los valores expresados en la Tabla 27

Estudio de Diseño de Experimentos. En todo proceso productivo el resultado (parámetro de salida) es función de varios parámetros de entrada (materias primas, condiciones ambientales, operarios) y de control (variables controlables del proceso) y de la interacción de los mismos. Es práctica corriente intentar la optimización del proceso para cada uno de los parámetros individuales pero esta metodología no contempla las interacciones entre los factores intervinientes. (Barosio, 2020)

El Diseño de Experimentos (con sus diversas modalidades) proporciona una herramienta fundamental para la optimización de procesos contemplando numerosos factores. Esta metodología es básica para el diseño, ejecución y análisis de ensayos para optimización del proceso y/o desarrollo de nuevos procesos o productos. El núcleo de la misma es el análisis de la varianza (ANOVA) que permite la separación de los distintos componentes de la varianza total obtenida luego de realizadas una cantidad determinada de experiencias y mediciones. (Barosio, 2020)

Se inicia con la relación de los factores (parámetros de control o entrada) y los niveles que puedan tomar los mismos. Para simplificar los diseños y reducir los costos de experimentación es común que las variables se consideren en dos niveles que pueden ser máximo y mínimo de una especificación, características cualitativas (duro / blando), o una cierta operación o factor, etc. (Barosio, 2020)

Los experimentos se realizan de acuerdo a una matriz preestablecida que indica las combinaciones de factores y niveles que deben ensayarse. Las características principales de esta matriz son:

- A cada columna se le asigna un factor o interacción a ensayar (esta asignación se hace de acuerdo a reglas que aseguren la ortogonalidad (por ejemplo: la regla de los signos).
- Cada fila de la matriz representa una combinación a ensayar.
- Para cada variable o interacción de variables (columna) habrá igual cantidad de experimentos para cada uno de los niveles.
- La ortogonalidad. Por esta propiedad puede considerarse a cada columna independiente de las demás (del álgebra, son linealmente independientes).
- Para N filas tendremos N-1 columnas independientes.
- Para experimentos con factores de 2 niveles a cada columna corresponde 1 grado de libertad.

La cantidad de ensayos será función de:

- Las variables
- Los niveles
- Las interacciones consideradas

Se denomina Diseño Factorial Completo a aquel en el cual se ensayen todas las posibles combinaciones de las variables consideradas y sus niveles. Esto solo es posible en aquellos casos en que tenemos pocos factores a considerar en el diseño pues, para 2 niveles la cantidad de experimentos es 2^k , donde k es el número de variables consideradas. Por ej. para $k = 4$ factorial completo incluye 16 ensayos. (Barosio, 2020)

Al aumentar la cantidad de factores involucrados en un diseño de experimentos se hace prohibitivo el desarrollo de factoriales completos (8 variables resultan en 256 ensayos). Por lo tanto se aplican los diseños factoriales fraccionarios que se planifican de modo de contemplar solamente las interacciones que se suponen más importantes. En general se descartan aquellas en que intervienen simultáneamente más de 2 factores, pero existen experimentos en que no se considera ningún tipo de interacción. Al reducir la cantidad de experiencias se produce “la confusión” de estas interacciones, es decir, no puede conocerse por separado el efecto de cada una de ellas. (Barosio, 2020)

En el presente estudio se desarrollará una de las metodologías clásicas de cálculo, que es el Diseño Factorial Fraccionario. A medida que el número de factores en un diseño factorial 2^k aumenta, el número de ensayos necesarios para obtener una réplica completa, sobrepasa rápidamente los recursos de la mayoría de los experimentadores. Una réplica completa de un diseño 2^6 requiere 64 ensayos. Para este caso, solo 6 de los 63 grados de libertad corresponden a los efectos principales, y únicamente 15 corresponden a las interacciones de dos factores. Los 42 restantes corresponden a las interacciones de tres o más factores. (Montgomery, 1991)

Si el experimentador puede suponer razonablemente que algunas interacciones de orden superior son despreciables, la información de los efectos principales y las interacciones de menor orden puede obtenerse realizando solo una fracción del experimento factorial completo. (Montgomery, 1991)

Es posible resolver un diseño factorial fraccionario en forma analítica usando el método de pooling up. Para utilizarlo, se ordena que en el cuadro de anova por las sumas de cuadrados en forma descendente y se considera que la suma de cuadrados más pequeña representa al error experimental. Se compara por medio del test de la F con el factor o interacción siguiente (en orden

creciente). Si en esta comparación el test demuestra que no existe diferencia significativa entre factor y error, se procede a sumar ambas sumas de cuadrados para lograr una mejor estimación del error (pooling) y vuelve a realizarse la comparación con el factor o interacción siguiente (hacia arriba en el cuadro análisis de varianza - Up). Este proceso continúa hasta hallar un factor significativo. (Barosio, 2020)

En el presente estudio, se pretende establecer si los tres parámetros de trabajo habitual (intensidad de corriente, fuerza de cierre entre electrodos y tiempo de soldadura), son realmente significativos y cuál es su grado de participación en este estudio.

La metodología de trabajo fue la siguiente:

1. Se procedió a establecer dos niveles de parámetros para la soldadura por proyección de las tuercas elegidas. Los existentes hasta el presente estudio, y los definidos a partir de los conceptos que aquí se detallan.
 - a. Parámetros anteriores (Valores con signo - en la matriz):
 - i. Intensidad de Corriente (I): 10 KA
 - ii. Ciclos (C): 9
 - iii. Fuerza de cierre entre electrodos (F): 300 Kg
 - b. Parámetros nuevos (valores con signo + en la matriz):
 - i. Intensidad de Corriente (I): 15 KA
 - ii. Ciclos (C): 2
 - iii. Fuerza de cierre entre electrodos (F): 320 Kg
2. Se realizaron 8 muestras de piezas soldadas con tres tuercas cada una, variando los parámetros antes mencionados, para desarrollar un diseño factorial fraccionario, aplicando el método del pooling up. El esquema de la matriz fraccionaria tiene la siguiente forma:

Muestra	I	C	F	I * C	I * F	C * F	I * C * F
# 1	- 1	- 1	- 1	1	1	1	- 1
# 2	1	- 1	- 1	- 1	- 1	1	1
# 3	- 1	1	- 1	- 1	1	- 1	1
# 4	1	1	- 1	1	- 1	- 1	- 1
# 5	- 1	- 1	1	1	- 1	- 1	1
# 6	1	- 1	1	- 1	1	- 1	- 1
# 7	- 1	1	1	- 1	- 1	1	- 1
# 8	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 28. Matriz fraccionaria diseñada para realizar el experimento.

3. Se procedió a soldar en cada pieza, las tuercas por proyección con el nivel de parámetros indicado en la matriz detallada en el punto 2), identificando cada una de las piezas con la sigla "Muestra # X". Para este caso, las tuercas se soldaron teniendo en cuenta las recomendaciones sugeridas en el Manual de Soldadura por Resistencia (pieza autosustentada, con su cara de apoyo en forma normal a los electrodos superior e inferior). Este dato se considera valioso al momento de analizar los resultados.
4. Una vez obtenidas las ocho piezas con las tuercas soldadas e identificadas, se procedió a realizar un ensayo destructivo por tracción a cada una de ellas, obteniéndose los resultados que se observan en la matriz que sigue a continuación. Para cada muestra, se procedió a realizar el ensayo destructivo a las tres tuercas y luego se promediaron los valores obtenidos, con el fin de tener un solo valor representativo por muestra.

Muestra	Tuerca # 1	Tuerca # 2	Tuerca # 3	Promedio
# 1	348 Kg	447 Kg	446 Kg	413,67 Kg
# 2	435 Kg	442 Kg	444 Kg	440,33 Kg
# 3	302 Kg	389 Kg	369 Kg	353,33 Kg
# 4	404 Kg	456 Kg	390 Kg	416,67 Kg
# 5	421 Kg	466 Kg	402 Kg	429,67 Kg
# 6	461 Kg	370 Kg	398 Kg	409,67 Kg
# 7	351 Kg	375 Kg	350 Kg	358,67 Kg
# 8	420 Kg	425 Kg	423 Kg	422,67 Kg

Tabla 29. Resultados obtenidos en los ensayos de rotura por tracción de los diferentes niveles de combinación de parámetros. Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.

5. Con los datos obtenidos, se comienza a desarrollar del diseño factorial fraccionario con la metodología pooling up. Para ello, lo primero que se debe desarrollar es la sumatoria de cuadrados por cada una de las interacciones. Los valores obtenidos se muestran en la tabla que sigue a continuación:

	Sumatoria de Cuadrados (SS)
I	2244,5
C	2520,5
F	1,39
I * C	1820,06
I * F	264,5
C * F	84,5
I * C * F	280,06

Tabla 30. Sumatoria de cuadrados de los factores y sus combinaciones.

6. Se continua ordenando los valores de mayor a menor, de acuerdo a la siguiente tabla:

	Sumatoria de Cuadrados (SS)
C	2520,5
I	2244,5
I * C	1820,06
I * C * F	280,06
I * F	264,5
C * F	84,5
F	1,39

Tabla 31. Sumatoria de cuadrados ordenados de mayor a menor.

7. Se comienza con el proceso del pooling up y se toma el valor de la Fuerza con error. Se establece un grado de libertad. Se confecciona la siguiente tabla, en la que se verifica que las primeras cinco combinaciones son significativas.

	Sumatoria de Cuadrados (SS)	MS	F Calculada	F Tabla 5%
C	2520,5	2520,5	1813,31	161
I	2244,5	2244,5	1614,75	
I * C	1820,06	1820,06	1309,40	
I * C * F	280,06	280,06	201,48	
I * F	264,5	264,5	190,29	
C * F	84,5	84,5	60,79	
Error	1,39	1,39		

Tabla 32. Desarrollo del método del pooling up (1° parte)

8. Se continúa con el proceso de pooling up, incorporando como error a la combinación de los ciclos con la fuerza (se adiciona al error anterior) y se toman dos grados de libertad. En esta oportunidad se confirman que las primeras tres combinaciones, resultan ser significativas.

	Sumatoria de Cuadrados (SS)	MS	F Calculada	F Tabla 5%
C	2520,5	2520,5	58,69	18,5
I	2244,5	2244,5	52,26	
I * C	1820,06	1820,06	42,38	
I * C * F	280,06	280,06	6,52	
I * F	264,5	264,5	6,16	
Error	85,89	42,95		

Tabla 33. Desarrollo del método del pooling up (2° parte)

9. Se continúa con el proceso de pooling up, incorporando como error a la combinación de la intensidad de corriente con la fuerza (se adiciona al valor anterior del error), y se toman tres grados de libertad. Nuevamente se vuelve a confirmar que las primeras tres combinaciones, resultan ser significativas.

	Sumatoria de Cuadrados (SS)	MS	F Calculada	F Tabla 5%
C	2520,5	2520,5	21,58	10,1
I	2244,5	2244,5	19,22	
I * C	1820,06	1820,06	15,58	
I * C * F	280,06	280,06	2,40	
Error	350,39	116,80		

Tabla 34. Desarrollo del método del pooling up (3° parte)

10. Se continúa con el proceso de pooling up, incorporando como error a la combinación de la intensidad de corriente con la fuerza y los ciclos, tomando en esta ocasión, cuatro grados de libertad.

	Sumatoria de Cuadrados (SS)	MS	F Calculada	F Tabla 5%
C	2520,5	2520,5	15,99	7,71
I	2244,5	2244,5	14,24	
I * C	1820,06	1820,06	11,55	
Error	630,45	157,61		

Tabla 35. Desarrollo del método del pooling up (4° parte)

11. De acuerdo con los datos obtenidos, se puede afirmar que la intensidad de corriente (I), la cantidad de ciclos (C) y la combinación entre ambos, son variables significativas en esta propuesta de mejora para la soldadura por proyección de tres tuercas.

Estudios sobre tornillos

Estudio de Confiabilidad. La idea del presente estudio es realizar un estudio de Rango Medio evaluando los resultados de rotura por tracción de las uniones soldadas, realizadas con parámetros anteriores y parámetros propuestos por el Tesista, aplicando los conceptos estudiados en el presente trabajo, con el fin de verificar si se comprueba una mejora en los resultados de resistencia a la soldadura por tracción.

El estudio se desarrollará de la siguiente manera: Se realizarán dos muestras (con quince tornillos soldados por proyección cada una de las muestras). Una de ellas, tendrá los parámetros de máquina actuales. La otra muestra, tendrá los parámetros de máquina actualizados de acuerdo a lo detallado en este estudio. La particularidad de este caso, es que la soldadura de los tornillos a la pieza, la realiza un robot. Se pretende demostrar que con la segunda alternativa de trabajo, cambia la pendiente de la recta de mejor ajuste, obteniéndose de esta manera de mejores los resultados obtenidos en los ensayos de rotura por tracción.

La metodología de trabajo fue la siguiente:

1. Se soldó una pieza con quince tornillos (conforme al diseño de la misma), con los parámetros de trabajo actuales.

2. Se soldó una segunda pieza con quince tornillos (conforme al diseño de la misma), con los parámetros propuestos que sugiere la bibliografía especializada.
3. Luego se procede a realizar ensayos de rotura por torsión a todos los tornillos de cada una de las piezas. El ensayo consiste en enroscar una tuerca en el tornillo, y aplicarle un torque tal, que la tuerca logre despegar el tornillo del material base, o falsear la rosca del tornillo. Este ensayo se realiza con un torquímetro digital calibrado (ver detalle del torquímetro y su calibración en Figuras 104 y 105). Se registran los valores de rotura y se construyen las tablas que se detallan a continuación.
4. Tablas de Datos.

Situación Actual

N° de Ensayo	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6	# 7	# 8	# 9	# 10	# 11	# 12	# 13	# 14	# 15
Resultado (Kgm)	1,77	1,77	2,22	1,77	2,17	1,99	2,01	1,74	2,24	1,94	2,10	2,13	1,87	1,53	1,58
Resultado (Nm)	17,4	17,4	21,8	17,4	21,5	19,5	19,7	17,1	22	19	20,6	20,9	18,3	15	15,5

Tabla 36. Valores de rotura por torsión, expresados en Kgm y Nm (Situación con parámetros actuales). Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.

Situación Propuesta

N° de Ensayo	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6	# 7	# 8	# 9	# 10	# 11	# 12	# 13	# 14	# 15
Resultado (Kgm)	2,03	2,28	2,12	2,33	2,43	2,33	1,54	2,13	2,56	2,43	2,58	2,22	2,51	1,60	1,29
Resultado (Nm)	19,9	22,4	20,8	22,9	23,8	22,9	15,1	20,9	23,2	23,8	25,3	21,8	24,6	15,7	12,7

Tabla 37. Valores de rotura por torsión, expresados en Kgm y Nm (Situación con parámetros propuestos), Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.

5. Para cada una de las dos propuestas, se proceden a ordenar los datos de rotura de menor a mayor y se calculan los valores del Rango Medio para cada una de las situaciones propuestas, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$MR = (j - 0,3) \div (n + 0,4)$$

Donde:

j: número de orden de la muestra

n: número total de muestras del estudio

A su vez se agregan los valores de las bandas de confianza (nivel superior e inferior). Estos valores salen de tablas y son relativos a la cantidad de muestras ensayadas.

Situación actual

N° Ensayo	# 14	# 15	# 8	# 1	# 2	# 4	# 13	# 10	# 6	# 7	# 11	# 12	# 5	# 3	# 9
Resultado (N)	15	15,5	17,1	17,4	17,4	17,4	18,3	19	19,5	19,7	20,6	20,9	21,3	21,8	22
MR	0,045	0,110	0,175	0,240	0,305	0,370	0,435	0,500	0,565	0,630	0,695	0,760	0,825	0,890	0,955
C Sup (95%)	0,181	0,279	0,363	0,44	0,511	0,577	0,639	0,698	0,754	0,809	0,858	0,903	0,943	0,976	0,997
C Inf. (5%)	0,003	0,025	0,057	0,097	0,142	0,151	0,24	0,302	0,35	0,423	0,489	0,56	0,637	0,721	0,819

Tabla 38. Tabla con valores del Rango Medio con sus respectivas bandas de confianza. Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.

Situación propuesta

N° Ensayo	# 15	# 7	# 14	# 1	# 3	# 8	# 12	# 2	# 4	# 6	# 9	# 5	# 10	# 3	# 11
Resultado (N)	12,7	15,1	15,7	19,9	20,8	20,9	21,8	22,4	22,9	22,9	23,2	23,8	23,8	24,6	25,3
MR	0,045	0,110	0,175	0,240	0,305	0,370	0,435	0,500	0,565	0,630	0,695	0,760	0,825	0,890	0,955
C Sup (95%)	0,181	0,279	0,363	0,44	0,511	0,577	0,639	0,698	0,754	0,809	0,858	0,903	0,943	0,976	0,997
C Inf. (5%)	0,003	0,025	0,057	0,097	0,142	0,151	0,24	0,302	0,35	0,423	0,489	0,56	0,637	0,721	0,819

Tabla 39. Tabla con valores del Rango Medio con sus respectivas bandas de confianza. Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.

6. A continuación se presentan los Diagramas de Weibull para cada una de las situaciones planteadas.

Situación con parámetros actuales.

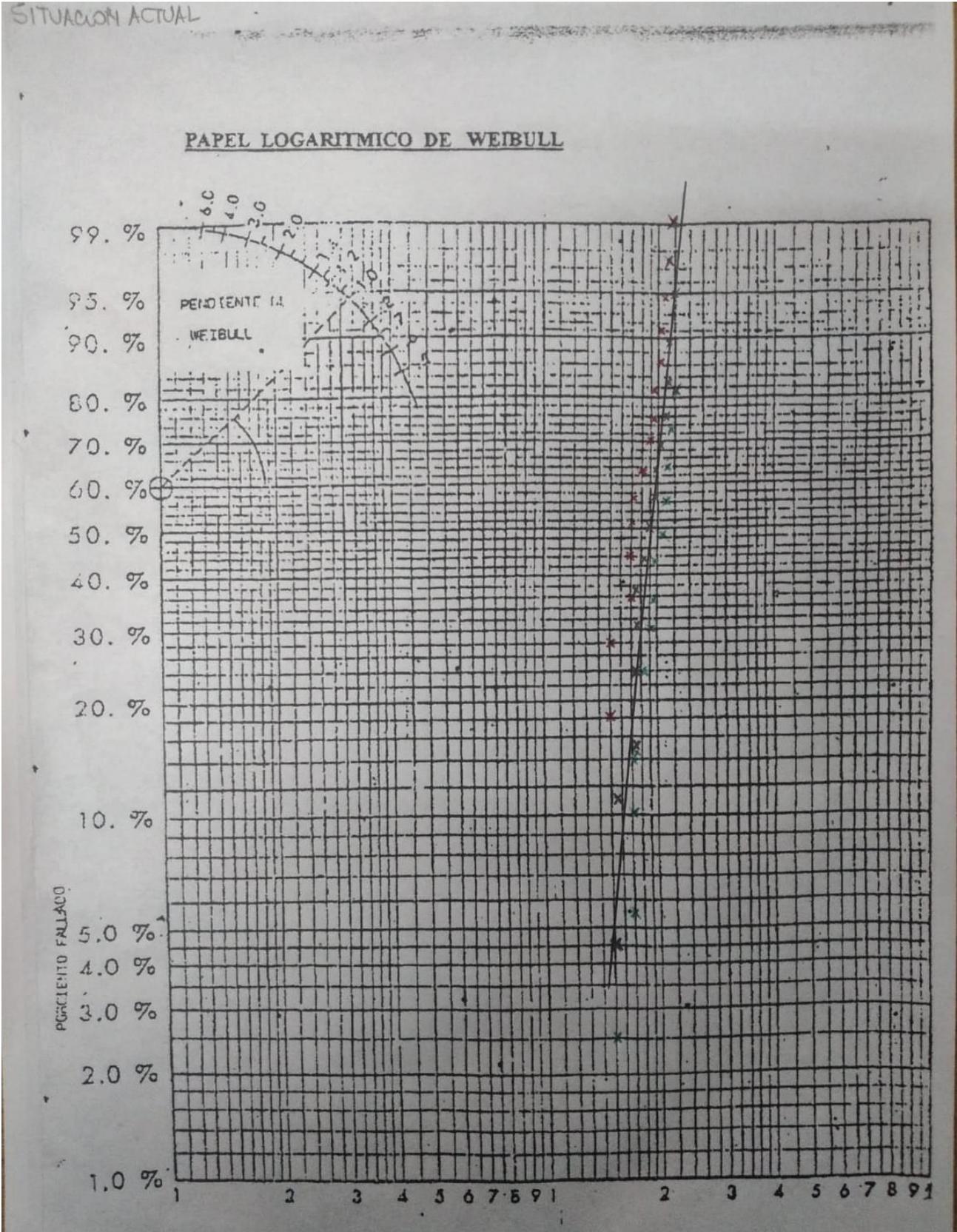


Figura 125. Diagrama de Weibull donde se expresan los valores de la Tabla N° 38

Situación con parámetros propuestos.

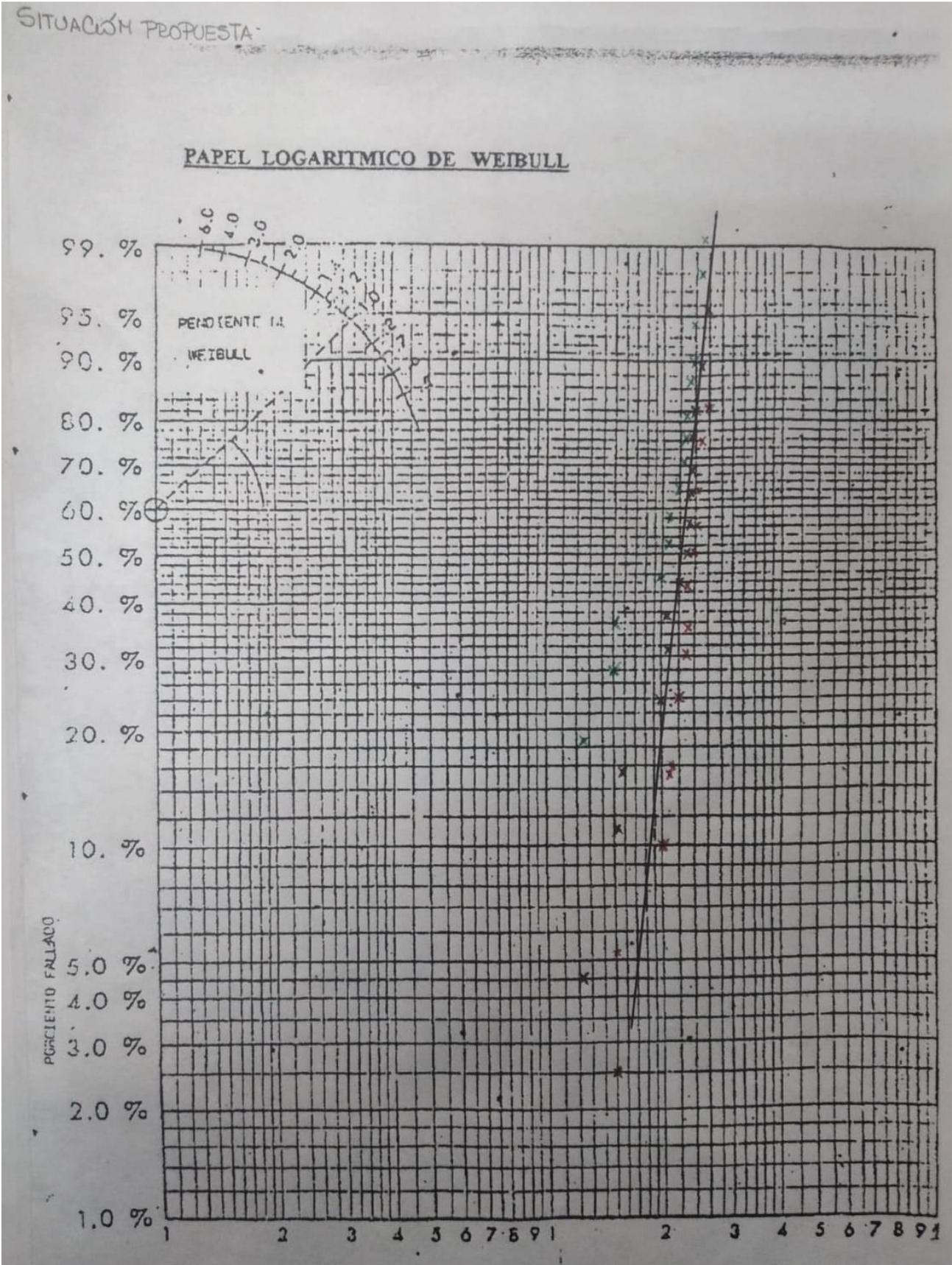


Figura 126. . Diagrama de Weibull donde se expresan los valores de la Tabla N° 39

Estudio de Diseño de Experimentos. Para realizar el presente estudio, se propone analizar una pieza de actual producción que tiene quince tornillos soldados por proyección y verificar los parámetros actuales

Luego, utilizando los conceptos que se han desarrollado en el presente estudio (Altos valores de intensidad de corriente y presión de cierre entre electrodos en un corto lapso de tiempo), proponemos nuevos parámetros de soldadura (Intensidad de corriente, fuerza de cierre entre electrodos y ciclos de soldadura). En función de lo expresado, se establecen de esta manera los dos niveles, observando que entre unos y otros, no existe a priori, una diferencia significativa.

En el presente estudio, se pretende establecer si los tres parámetros de trabajo habitual (intensidad de corriente, fuerza de cierre entre electrodos y tiempo de soldadura), son realmente significativos y cuál es su grado de participación en este estudio.

La metodología de trabajo fue la siguiente

1. Se procede a establecer dos niveles de parámetros para la soldadura por proyección de los tornillos elegidos. Los existentes hasta el presente estudio, y los definidos a partir de los conceptos que aquí se detallan.
 - a. Parámetros anteriores (Valores con signo - en la matriz):
 - i. Intensidad de Corriente (I): 13,5 KA
 - ii. Ciclos (C): 8 + 10 (slope)
 - iii. Fuerza de cierre entre electrodos (F): 180 Kg
 - b. Parámetros nuevos (valores con signo + en la matriz):
 - i. Intensidad de Corriente (I): 12,5 KA
 - ii. Ciclos (C): 5 + 0 (slope)
 - iii. Fuerza de cierre entre electrodos (F): 275 Kg
2. Se realizaron 8 muestras de piezas soldadas con quince tornillos cada una, variando los parámetros antes mencionados, para desarrollar un diseño factorial fraccionario, aplicando el método del pooling up. El esquema de la matriz fraccionaria tiene la siguiente forma:

Muestra	I	C	F	I * C	I * F	C * F	I * C * F
# 1	- 1	- 1	- 1	1	1	1	- 1
# 2	1	- 1	- 1	- 1	- 1	1	1
# 3	- 1	1	- 1	- 1	1	- 1	1
# 4	1	1	- 1	1	- 1	- 1	- 1
# 5	- 1	- 1	1	1	- 1	- 1	1
# 6	1	- 1	1	- 1	1	- 1	- 1
# 7	- 1	1	1	- 1	- 1	1	- 1
# 8	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 40. Matriz fraccionaria diseñada para realizar el experimento.

3. Se procede a soldar en cada pieza, los tornillos por proyección con el nivel de parámetros indicado en la matriz detallada en el punto 2), identificando cada una de las piezas con la sigla "Muestra # X". Para este caso, los tornillos se soldaron en una soldadora tradicional, siendo la alimentación de los tornillos realizada en forma neumática, y la pieza era movida por robot, que la ubicaba en las posiciones previamente definidas en el diseño.

4. Una vez obtenidas las ocho piezas con los tornillos soldados e identificados, se procede a realizar un ensayo destructivo (rotura) por torsión a cada una de ellos, obteniéndose los resultados que se observan en la matriz que sigue a continuación. El ensayo consiste en enroscar una tuerca en el tornillo que se necesita ensayar hasta hacer tope contra la hoja de acero. A partir de allí se coloca en la tuerca, un torquímetro digital (con las correspondientes adaptaciones) y se continúa apretando por medio de este elemento (el torque comenzará a aumentar según lo que se puede apreciar en el visor digital del instrumento) hasta que el conjunto tornillo soldado / metal se desprenden de la hoja de acero, disminuyendo notablemente el valor del torque, pues el tornillo soldado se desprendió del material base. Para ello es necesario estar atentos y tomar lectura del valor de máximo alcanzado por el torquímetro, lo que estará indicando que el ensayo ha finalizado.

Muestra	Tornillo # 1	Tornillo # 2	Tornillo # 3	Tornillo # 4	Tornillo # 4	Tornillo # 6	Tornillo # 7	Tornillo # 8	Tornillo # 9	Tornillo # 10	Tornillo # 11	Tornillo # 12	Tornillo # 13	Tornillo # 14	Tornillo # 15	Promedio
# 1	20,6	20,9	20,6	20,6	20,1	19,9	22	19	21,5	19,7	20,6	18,7	19,7	20,2	24,7	20,5
# 2	21,8	17,1	18,5	19,7	22,7	19,9	19	22,4	21,6	20,9	23,1	22	16,1	19,7	18	20,2
# 3	14,8	19,2	17,6	19,7	18,1	19,4	20,6	20,1	20,4	18,8	13,6	19,9	19,5	19,2	19,4	18,7
# 4	19,7	20,6	19,5	21,6	21,8	19,5	22	22,5	22,5	19	19,7	24,5	23,2	16,9	22,7	20,9
# 5	17,8	21,6	18,1	20,1	22	20,4	23,2	20,9	23,2	20,2	21,6	18	17,8	19	17,8	20,1
# 6	20,6	22,5	18	18,7	22,4	20,2	22,5	26,2	23,1	20,8	18,5	22,5	17,2	20,2	17,2	20,7
# 7	19,7	19,9	22,7	19,7	21,6	20,9	19	24,1	24,1	23,1	21,8	20,4	18,1	22,5	23,8	21,4
# 8	16,2	21,5	20,2	23,4	21,8	23,2	21,8	21,3	22	18,8	18	23,9	25,5	21,6	22,7	21,5

Tabla 41. Valores de rotura por torsión de los diferentes niveles de combinación de parámetros. Datos aportados por el Tesista como parte de su investigación.

5. Con los datos obtenidos, se comienza a desarrollar el diseño factorial fraccionario con la metodología pooling up. Para ello, lo primero que se debe desarrollar es la sumatoria de cuadrados por cada una de las interacciones. Los valores obtenidos se muestran en la tabla que sigue a continuación:

	Sumatoria de Cuadrados (SS)
I	0,810
C	0,132
F	1,538
I * C	0,467
I * F	0,209
C * F	1,207
I * C * F	1,165

Tabla 42. Sumatoria de Cuadrados

6. Se continúa ordenando los valores de mayor a menor.

	Sumatoria de Cuadrados (SS)
F	1,538
C * F	1,207
I * C * F	1,165
I	0,810
I * C	0,467
I * F	0,209
C	0,132

Tabla 43. Tabla de sumatoria de cuadrados ordenada de mayor a menor

7. Se comienza con el proceso del pooling up y se toma el valor de los Ciclos como error. Se establece un grado de libertad. Se confecciona la siguiente tabla, en la que se verifica que las seis combinaciones no son significativas.

	Sumatoria De Cuadrados	MS	F Calculado	F Tabla 5%
F	1,538	1,538	11,680	161
C * F	1,207	1,207	9,168	
I * C * F	1,165	1,165	8,850	
I	0,810	0,810	6,156	
I * C	0,467	0,467	3,548	
I * F	0,209	0,209	1,587	
Error	0,132	0,132		

Tabla 44. Desarrollo del Proceso de pooling up

8. Estos resultados nos están indicando que las variaciones que se han introducido a los diferentes factores, no son significativas entre ellas. Si continuamos iterando, se confirmará que por más que se sigan aumentando el error y los grados de libertad, no se verifica estos factores y sus combinaciones, sean significativos.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES

Soldadura de Tuercas.

Estudio de Confiabilidad. A continuación se detallan las conclusiones obtenidas de los estudios de Confiabilidad realizados a las dos situaciones planteadas.

1. Pese a plantear una situación de cambio de parámetros de soldadura, siguiendo los conceptos establecidos en la bibliografía especializada, se puede concluir que las mejoras propuestas no han sido significativas, ya que los valores de resistencia a la rotura de las dos situaciones planteadas, no ofrecen grandes diferencias. En ambos casos, el porcentaje de variación está en el orden del 50%.
2. Lo que se puede adoptar como método de validación **complementario** de los parámetros elegidos, es que una vez realizados los ensayos de rotura por tracción para verificar que la soldadura de las tuercas se produjo de una forma efectiva superando los valores prescritos, se pueden utilizar los mismos datos de rotura y construir un Diagrama de Weibull, con el fin de verificar la pendiente de la recta de mejor ajuste. Si la misma es superior al valor de 3, se puede afirmar que los parámetros elegidos son confiables. Para los casos que se están estudiando, se puede observar en los gráficos de las Figuras 121 a 124, que las pendientes antes y después reúnen el requisito planteado. La fundamentación de este concepto, está relacionada con la condición de aprobación que la especificación técnica prevé para las tuercas soldadas, que indica que debe ser superior a 3040 N, si la rotura es por tracción, o 39,2 N*m, si la rotura es por torsión.
 - a. Para dar sustento teórico a lo antes mencionado (valor de la pendiente > 3) es necesario recordar conceptos sobre la Distribución de Weibull. La misma es un modelo matemático que calcula la curva de fallas F a través de datos de la experiencia. Weibull desarrolló sus teorías investigando la rotura por fatiga de ciertos elementos mecánicos, lo que tradujo en datos estadísticos actuando sobre la función de fallas producidas $f(t)$. En base a esto simplificó el cálculo, utilizando una función con tres variables: β , α_{xx} y t , que permiten predecir la función $F(t)$. Se obtiene así a F , permitiendo conocer el comportamiento probable de lo que se estudia. (Di Gregorio, 2019)

b. “ β ” se denomina factor de forma, “ α_{xx} ” es el período inicial de no falla, y “ t ” es el tiempo transcurrido, o variable en función del tiempo (ciclos, períodos o kilómetros recorridos). La forma matemática de la función frecuencia acumulada es: $F(t) = 1 - e^{-[(t-\alpha_{xx})/\theta-\alpha_{xx}]^\beta}$ (Di Gregorio, 2019)

c. El valor α_{xx} puede no ser tenido en cuenta, por lo que la ecuación queda reducida a la siguiente expresión:

$$F(t) = 1 - e^{-[(t)/\theta]^\beta}; \text{ si se opera algebraicamente se puede decir:}$$

$$1 - F(t) = e^{-[(t)/\theta]^\beta}, \text{ lo que implica que: } \frac{1}{1-F(t)} = e^{[(t)/\theta]^\beta}$$

y si se aplica logaritmos neperianos a ambos lados de la igualdad queda:

$$\ln[1/1 - F(t)] = (t/\theta)^\beta$$

Si se aplica nuevamente logaritmos neperianos a ambos miembros de la igualdad quedará la siguiente expresión:

$$\ln(\ln[(1/1 - F(t))]) = \beta * \ln(t) - \beta * \ln \theta. \text{ (Di Gregorio, 2019)}$$

d. La expresión $\beta * \ln \theta$ es una constante C y la ecuación resultante responde a la forma $Y = mX + C$, que es la de una recta. En el caso que se grafique en papel logarítmico (con abscisa “x” con escala logarítmica neperiana y con ordenada “y” con escala doblemente logarítmica neperiana. Este tipo de carta, se denomina Papel logarítmico de Weibull. De esta manera se puede observar que el término “m” es la pendiente trigonométrica de la pendiente geométrica, o sea, la tangente del ángulo β , y el cual lo cumple el término “ β ”, por lo que graficando se debe interpretar que la inclinación de la recta da el tipo de distribución. Por esta razón es que a “ β ” se lo denomina factor de forma. (Di Gregorio, 2019)

e. De acuerdo al valor de “ β ”, se obtienen los distintos tipos de distribuciones de frecuencia de falla acumulada F de acuerdo con la siguiente clasificación:

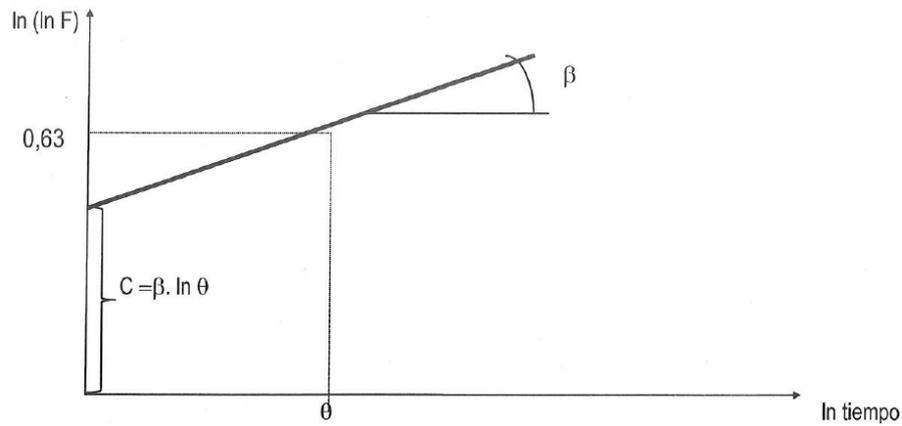


Figura 127. Interpretación gráfica de los diferentes valores de β asociados al tipo de distribución.

Confiabilidad avanzada. Ing. Francisco Di Gregorio. 2019

- i. $\beta < 1$ Distribución exponencial aplastada
 - ii. $\beta = 1$ Distribución Exponencial
 - iii. $\beta > 1$ hasta 3,5 Distribución con sesgo a la izquierda
 - iv. $\beta = 3,5$ Distribución normal
 - v. $\beta > 3,5$ Distribución con sesgo a la derecha
- f. En el presente estudio, los valores de β obtenidos son superiores a 3,5 por lo que estamos en presencia de una distribución de valores con sesgo a la derecha, lo cual es real, por ser todos los resultados, superiores a la especificación dada. Todos los valores de rotura que se tomaron en cuenta para realizar el estudio, eran superiores a la especificación técnica, que indica que la tuerca soldada debe resistir una carga mínima (sometida a tracción) de 3040 N, según lo que se aprecia en las Tablas 16 y 17.

3. Complementa a la definición de los parámetros de máquina, la correcta elección de los electrodos (superior e inferior), el pin de soldadura, y la frecuencia de cambio de estos elementos, que se debe tomar en función de la cantidad de soldaduras realizadas. Para esto no hay una bibliografía establecida. Se deben realizar muchas experiencias prácticas y definir el período más conveniente al proceso. Una metodología es comenzar a soldar e ir realizando un control de torque (no destructivo) y pasaje de tornillo cada cinco soldaduras realizadas e ir registrando los resultados obtenidos. Cuando se comienza a observar que el tornillo comienza a tener dificultades para enroscarse libremente en la tuerca soldada, es un claro indicador que los consumibles deben ser cambiados (especialmente el pin donde se enhebra la tuerca).
4. Un requisito básico para definir un proceso de soldadura apto, es el nivel de defectos que para este caso, debe ser inferior a 10 PPM (Partes por Millón). El procedimiento de soldadura debe desarrollarse y validarse de acuerdo a este requerimiento.
5. Cada vez que se deba realizar una nueva experiencia con soldadura de tuercas por proyección, es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones cuando se necesite establecer nuevos parámetros de soldadura:
 - a. Tipo de tuerca y cantidad de protuberancias.
 - b. Material sobre el que se deben soldar las tuercas.
 - c. Espesor del Material sobre el que se deben soldar las tuercas.
 - d. Protección superficial del material (si posee o no).
6. En relación con la adopción de parámetros que no figuran en las tablas que sugiere la bibliografía especializada por trabajar en este caso con espesores de hojas de acero menores a los que en ellas aparecen, se puede concluir:
 - a. Corriente: Sigue una relación aproximadamente lineal, relativa al espesor de la hoja de acero, independientemente del material. Esto se puede comprobar a partir de que los parámetros orientativos que figuran en la Tabla N° 8, muestra variación prácticamente lineal a partir de un espesor determinado, o sea, aumenta el espesor, y de la misma forma aumenta la intensidad de corriente. Como los espesores con lo que se ha trabajado son inferiores a los mostrados en esta tabla, se siguió la misma lógica, disminuir la corriente, siguiendo la variación lineal que

propone la misma tabla. Los resultados fueron óptimos, y este es uno de los objetivos del presente trabajo.

- b. Ciclos: No hay variación con las hojas de acero de mayor espesor.
- c. Fuerza de cierre entre electrodos: Al igual que la corriente, sigue una relación aproximadamente lineal, relativa al espesor de la hoja de acero, independiente del tipo de material. La justificación de la variación, es similar a la de la intensidad de corriente.

7. Conclusión: Los parámetros de soldadura por proyección adoptados siguiendo las premisas de la bibliografía propuesta, han sido correctos, dado que los ensayos de validación realizados (desprendimiento de las tuercas soldadas a través de un ensayo de tracción) han dado resultados satisfactorios. Estos parámetros se pudieron revalidar con los estudios de confiabilidad desarrollados. O sea, los parámetros fueron validados por la metodología tradicional y confirmados (con los mismos resultados de los ensayos de rotura por tracción) a través de un estudio de confiabilidad. Este último concepto, es otra de las propuestas del presente trabajo.

Estudio de Diseño de Experimentos. A continuación se detallan las conclusiones obtenidas de los Estudios de Diseño de Experimentos realizados a las dos situaciones de tuercas soldadas por proyección:

1. Con los datos obtenidos de los ensayos de rotura de tuercas por tracción (situación actual y situación propuesta), se realiza un estudio de pooling up, ya que se considera un método apto por tratarse del análisis de la variación de tres variables y su incidencia antes y después del cambio.
2. Al igual que el caso anterior (Estudio de Confiabilidad), este es un estudio **complementario** al definido para validar el proceso de soldadura de las tuercas (la soldadura de la tuerca debe resistir un determinado valor de carga de rotura por tracción).
3. En este caso particular y dado que hubo variaciones importantes (Dos de los tres parámetros estudiados variaron en un orden mayor o igual al 50%), se verifica que estos dos parámetros (Corriente y Ciclos), y la interacción entre ellos, son variables significativas.
4. Este último estudio, solo complementa la decisión de los parámetros adoptados al nivel de un estudio alternativo.

Soldadura de tornillos

Estudio de Confiabilidad. A continuación se detallan las conclusiones obtenidas de los Estudios de Confiabilidad realizados a las dos propuestas de soldadura de tornillos por proyección.

1. Al igual que en el caso de soldadura de las tuercas por proyección, se definió realizar el estudio, modificando los valores de los parámetros de acuerdo a los criterios de la bibliografía especializada.
2. Se puede observar que los valores de rotura por torsión de ambos niveles no ofrecen diferencias considerables. Se puede observar que con los parámetros adoptados, para ambos niveles se supera la condición de aprobación de la soldadura del tornillo. Con los valores de rotura obtenidos se procede a construir un Diagrama de Weibull para ambas situaciones y se observa que para ambos casos, el valor de la pendiente de la recta de mejor ajuste, es superior al valor de 3, por lo que se concluye que los parámetros adoptados son correctos (Ver figuras 125 y 126). La fundamentación de este concepto, es similar a lo considerado en el punto 2 de las conclusiones del estudio de Confiabilidad sobre tuercas.
3. El presente estudio es **complementario** al cumplimiento de la condición de soldadura que debe cumplir el tornillo soldado (valor de rotura por torsión, superior a 15 Nm), y puede adoptarse como alternativa de validación.
4. Para el caso de la soldadura de tornillos, los electrodos superior e inferior, tienen una frecuencia de cambio superior a la que tienen los pines para soldar tuercas. La metodología para definir la frecuencia de cambio de los electrodos, es similar a lo definido en el punto 3 de la página 181.
5. Las consideraciones que se deben adoptar para el establecimiento de nuevos parámetros de soldadura, son las mismas que se deben seguir para el caso de las tuercas (Ver punto 5 de la página 182).
6. En relación a la adopción de parámetros que no figuran en tablas vinculadas con bibliografía especializadas, se sugiere adoptar lo definido en el punto 6 de la página 182.
7. Conclusión: La idea de utilizar nuevos parámetros de soldadura, adoptando los conceptos sugeridos por la bibliografía propuesta, ha sido positiva, porque el ensayo de validación definido en el diseño de la pieza (rotura de la soldadura del tornillo por torsión), han dado resultados satisfactorios. Además, esos parámetros se pudieron revalidar con los estudios de confiabilidad desarrollados. O sea, los parámetros fueron validados por la metodología tradicional (definida por las normas automotrices) y confirmados (utilizando los mismos

resultados de los ensayos de rotura por torsión) a través de un estudio de confiabilidad. Este último concepto, es otra de las propuestas del presente trabajo.

Estudio de Diseño de Experimentos: A continuación se detallan las conclusiones obtenidas de los Estudios de Diseño de Experimentos realizados a las dos situaciones de tornillos soldados por proyección:

1. Con los datos obtenidos de los ensayos de rotura de los tornillos por torsión, (situación actual y propuesta), se procede a realizar un estudio de pooling up ya que se considera un método apto por tratarse del análisis de la variación de tres variables y su incidencia antes y después del cambio.
2. Los resultados obtenidos no fueron satisfactorios, ya que no se evidencia que haya una relación directa entre la variación de los parámetros y los resultados obtenidos. O sea, ningún cambio en los valores de los parámetros resultó ser significativo.

Conclusiones Finales

1. De acuerdo al tipo de ensayo que los Diseñadores definieron para validar el proceso de soldadura por proyección de tuercas y tornillos (rotura por tracción y torsión respectivamente), se verifica que realizar un estudio de Confiabilidad (Diagrama de Weibull) resulta apto para reconfirmar la correcta adopción de los parámetros de soldadura en forma complementaria. Se destaca el término complementario, porque el proceso se validó con la aprobación de los ensayos de rotura, y se utilizan los resultados obtenidos de los ensayos realizados, para realizar el estudio de Confiabilidad. O sea, se utiliza una herramienta de Calidad, para confirmar la validez de los parámetros de soldadura de tuercas y tornillos adoptados.
2. Para aquellos parámetros que no aparecen en las tablas, por tratarse de espesores de hojas de acero menores a 0,7 mm, la corriente y la fuerza siguen una relación lineal y los ciclos se mantienen constantes. Esto es solo de carácter orientativo, ya que se deben realizar pruebas de soldadura para validar el proceso con los parámetros adoptados.

APÉNDICES / ANEXOS

Norma Toyota TSB1002G

NO.: TSB1002G

TITLE: MECHANICAL PROPERTIES OF NUTS

CLASS: C2

Established/Revised: Rev. 6 (Jun. 2008)

This standard has been revised as a result of the following changes:

- (1) property class 10 has been added;
- (2) the proof load and proof load stress for property class 8 have been changed; and
- (3) a property class has been added to the column of chemical composition of materials in the table "Materials and Processes."

2. Property Classes

Nuts are classified into the four property classes which are indicated by numerals as shown in Table 1:

Table 1 Property Classes

Property class	Applicable external threads (see TSB1001G)	Nut ¹⁾				
		Hexagon	Hexagon slotted	Hexagon cap	Hexagon flange	Square
8	6.8, 8.8	—	—	—	○	—
10	10.9	○	○		—	○
12	10.9, 11.9	—	—		○	—
13	13.9	—	—		—	—

Note: (1)

○: Applicable

—: Not applicable

3. Mechanical Properties

Perform the test according to the test method shown in Section 5 to determine the nut mechanical properties. The obtained mechanical properties shall conform to Table 2.

Table 2 Mechanical Properties

—	Property class			
	8	10	12	13
Proof load stress ²⁾ (MPa)	840	1058	1280	1380
Hardness	—			
HV10	NQT ³⁾ QY ⁴⁾	(196) to 300	—	—
Surface hardness (upper limit) HV10	—	295 to 370	300 to 370	310 to 370
			390	

Notes:

(2) The proof load stress is defined as the maximum load at which the internal thread of a nut mounted on a mandrel (external thread fixture) is not substantially deformed or fractured, divided by the stress area (nominal value) of the external thread. The thread stress area (A_s) is calculated by using the following equation (1):

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right)^2 \dots \dots \dots (1)$$

where, d_1 : basic dimension of external thread pitch diameter

d_2 : basic dimension of external thread minor diameter minus 1/8 H
(H = 0.886P: fundamental triangle height)

(3) NQT

No quenching or tempering applied.

(4) QT

Quenching and tempering applied.

8.2 Marking of Property Class

Marks, locations and methods for marking property classes on nuts shall be as follows. The dimensions, location and type of marking of property class are left to the discretion of the manufacturer unless otherwise specified. If a nut has an identical shape or feature to enable infallible identification of the nut, or if marking of property class on a nut is technically difficult, the process of marking property class may be disregarded upon agreement among the parties concerned.

- (1) Numerical marking shall be engraved on the top, bearing or side face, except that it may be embossed on the top face on nuts whose top and bearing faces are specifically distinguished. For flanged nuts, such marking may be embossed or engraved on the flange top surface. Note, however, that there must not be any protrusions on the bearing surface.
- (2) Alternative marking on the chamfer of a nut shall be embossed as shown in A of the table, but shall not be higher than the top or bearing face.
- (3) Alternative marking on the top or bearing face of a nut shall be engraved as shown in B of the table, except that it may be embossed on the top face on nuts whose top and bearing faces are specifically distinguished. Note, however, that there must not be any protrusions on the bearing surface.
- (4) Alternative marking on the flange top surface of a nut shall be engraved or embossed as shown in C of the table. Note, however, that there must not be any protrusions on the flange bearing surface.
- (5) Flaws and defects in marking are acceptable as far as the property class marks are correctly identifiable and the flaws and defects do not critically impair the function of the nut.

8.3 Marking of Manufacturer Code

A manufacturer code may be marked at the discretion of the manufacturer in compliance with the marking rules for property class.

9. Materials and Processes (for information)

Table 4 shows the examples of chemical composition of materials and processes used to produce nuts that meet the mechanical property requirements specified in this standard.

Table 4 Materials and Processes

Property class ⁽⁷⁾	Chemical composition (%)				Heat treatment		Dehydrogenation treatment
	C (max.)	Mn (min.)	P (max.)	S (max.)	Type of nut		
					Hexagon flange	Hexagon, square	
8	0.58	0.25	0.040	0.040	Not applicable	—	Applicable to plated nuts having a hardness of over 300HV after quenching and tempering TSH5105G-3
10		0.30	0.030	0.035	—	Quenching and tempering TSH5102G-B	
12		0.45			Quenching and tempering TSH5102G-B		
13							

Note (7): To improve mechanical property, alloying elements may be added as necessary to the materials of nuts of these property classes. Nut materials shall basically be selected from among those specified in TSG3200G, TSG3201G, TSG3210G and TSG3220G. Selection of materials may also be from among those specified in public standards such as ISO, SAE and DIN.

Norma Toyota TSB1503G

NO.: **TSB1503G**

TITLE: **PROJECTION WELD NUTS**

CLASS: **C2**

Established/Revised: **Rev. 9 (Mar. 2007)**

This standard has been revised as a consequence of adopting the new method for specifying surface roughness.

PROJECTION WELD NUTS**1. Scope**

This standard covers the shape, dimensions and quality of projection weld nuts (hereinafter referred to as "nuts") for automobiles.

Remark: This part shall conform to the sub-paragraph "Substance Prohibition and Restriction" in T820001G.

2. Classification

The classification of the nuts shall conform to Table 1.

Table 1

Classification	Type Indication number	Property class	Thread size	Shape and dimensions
Square projection weld nut	94223	8	M4, M5, M6, M8, M10, M12	See Attached Table 1.

3. Material

The nuts shall be made of carbon steel containing 0.28 % or less carbon (equivalent to S25 in T8G3200G) such that the products satisfy the mechanical properties specified in Section 4.

4. Mechanical Properties

The mechanical properties of the nuts shall conform to the property class 8 specified in T8B1002G.

5. Weld Strength

The weld strength of the nuts shall meet Table 2 when tested in accordance with Section 11.2. The nuts shall be acceptable when the values of breakaway load and torque are greater than the values shown in Table 2 even if the weld is deformed in the forced and torque breakaway tests.

Table 2

Thread size	M4	M5	M6	M8	M10	M12
Forced breakaway load (N)	3040 min.			3430 min.	5685 min.	
Breakaway torque (N·m)	24.5 min.	29.4 min.	39.2 min.	63.7 min.	98.1 min.	166.7 min.

Remark: Values given in Table 2 are for evaluation of the performance of the nuts themselves and are applicable to test pieces welded under the welding conditions and using test steel sheets given in Table 5. The standard weld strength of the nuts welded to products for practical use is given in Table 3 for reference.

11. Test Methods

11.1 Mechanical Property Test

The test methods of mechanical properties (proof load test and hardness test) shall conform to TSB1002G. The application method of the proof load shall conform to Fig. 1.

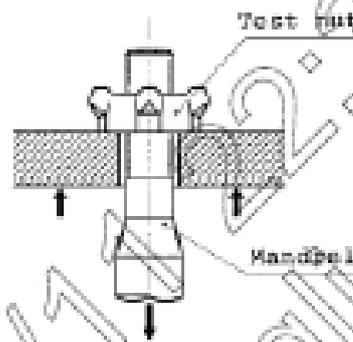


Fig. 1 How to Apply Proof Load

11.2 Weld Strength Test

11.2.1 Forced Breakaway Test

Drill a hole as shown in Fig. 2 on a test steel sheet shown in Table 5, and weld the nut to the test steel sheet under the welding conditions given in Table 5. Place the test piece thus prepared on a spacer as shown in Fig. 2, screw a bolt into the welded nut, and then gradually apply a compressive load to the head of the bolt in such a manner that the direction of load application aligns with the center axis of the screw threads. Measure the load required to cause the nut to break away from the steel sheet.

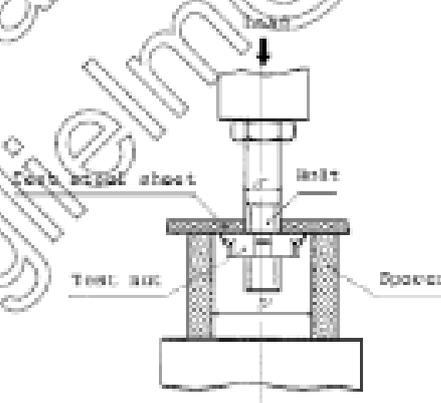


Fig. 2 Forced Breakaway Test

Norma Toyota TSG3100G

NO.: **TSG3100G**

TITLE: Cold rolled steel sheets

CLASS: **C1**

Established/Revised: Rev. 17 (Nov. 2016)

This standard has been revised as a result of the following changes:

- (1) a note concerning TSG2001G has been changed for thorough management of product chemical substances;
- (2) scope of yield point (or 0.2% yield strength) has been changed along with application of body structure of SPC780DU; and
- (3) note for SPC590, SPC590DU, SPC780DU, SPC980DU, SPC980DUB and SPC1180DU has been deleted.

Cold rolled steel sheets

1. Scope

This standard covers cold rolled steel sheets (hereinafter referred to as "steel sheets") which comprised automobile parts. The part made of materials provided by this standard shall comply with TSZ0001G.

2. Classification and Codes

The classification and codes for steel sheets shall be as specified in Table 1.

Table 1

Steel code	(Reference) Corresponding old code	(Reference) JIS standards	Usage
SPC270A	SCP270A	---	For moderate formed inner panel (Low grade material) ⁽¹⁾
SPC270C	SCP270B	SPCC, SPCD	For general forming
SPC270D ⁽¹⁾	SCP270C, C, D		For drawing
SPC270E ⁽²⁾	SCP270DY, F ₁	SPCE	For deep drawing
SPC270F ⁽²⁾	SCP270E, E ₂ , F ₂	SPCEN	For ultra deep drawing
SPC270BH ⁽³⁾	SCP270DBH, EBH	---	Bake hardenable type for dent-resisting parts
SPC340	SCP340	SPFC340	For structural members
SPC340BH ⁽³⁾	SCP340BH	SPFC340H	Bake hardenable type for dent-resisting parts
SPC340HR ⁽²⁾	SCP340HR	---	High r value type for structural members
SPC390	SCP390	SPFC390	For structural members
SPC440	SCP440	SPFC440	
SPC590	SCP590	SPFC590	
SPC590DU	SCP590DU	SPFC590Y	Low yield point type for structural members
SPC780DU	SCP780DU	SPFC780Y	
SPC980DU	SCP980DU	SPFC980Y	
SPC980DUB	---	---	Low yield point type for forming of structural members by bending
SPC1180DUB	---	---	
SPC1180DU	SCP1180DU	---	Low yield point type for structural members
(SPC390HR) ⁽²⁾	SCP390HR	---	High r value type for structural members
(SPC440HR) ⁽²⁾	SCP440HR	---	
(SPC440HY)	SCP440	SPFC440	

Notes:

- (1) Non-ageing property (Slow ageing property is also acceptable.)
- (2) Non-ageing property
- (3) Slow ageing property
- (4) The scrap material from stamping of (large-sized) parts, the material which has been downgraded during production of higher grade material at the steel maker, etc.

Remarks:

1. Non-ageing property is a property which satisfies the mechanical properties of Section 3 for 12 months after the steel sheets are manufactured and it does not cause a pattern called "stretcher strain" to form during processing.
2. Slow-ageing property is a property which does not form stretcher strain for at least 3 months of storage at room temperature after the steel sheets are delivered. (It is preferable that the materials be used as soon as practicable from the date of delivery.)
3. Since the types of steel mentioned in () are planned to be abandoned in future, any of those materials may not be newly adopted.
4. Since SPC270C has low-C and extra-low-C materials, when changing the material manufacturers, be sure to confirm with the TS responsible department.

3. Quality

3.1 Mechanical Properties

The mechanical properties of steel sheets shall be as specified in Table 2.

Table 2

Steel code	Tensile strength (MPa)	Yield point or 0.2 % yield strength (MPa)			Lankford value (F value)		BH ¹⁰ (MPa)	
		Thickness (mm)			Thickness (mm)			
		0.4 ≤ t < 0.8	0.8 ≤ t < 1.0	1.0 ≤ t ≤ 3.2	0.5 ≤ t ≤ 1.0	1.0 < t ≤ 1.6		
SPC270A	270 to 370	---			---		---	
SPC270C	270 min.	145 to 265	135 to 255	125 to 245	---			
SPC270D		135 to 225	125 to 215	115 to 205	1.2 min.	1.1 min.		
SPC270E		130 to 205	120 to 195	110 to 185	1.4 min.	1.3 min.		
SPC270F		120 to 185	110 to 175	100 to 165	1.6 min.	1.5 min.		
SPC270BH	135 to 225	125 to 215	115 to 205	1.4 min.	1.3 min.	30 min.		
SPC340	340 min.	205 to 305	190 to 295	185 to 285	---			
SPC340BH		185 to 285	175 to 275	165 to 265	1.1 min.	1.0 min.		
SPC340HR		165 to 265	155 to 245	145 to 235	1.4 min.	1.3 min.		
SPC360	360 min.	245 to 355	235 to 345	225 to 335	---			---
SPC440	440 min.	265 to 390	275 to 390	295 to 370	---			
SPC590	590 min.	430 to 560	420 to 570	470 to 560	---			
SPC590DU		325 to 470	315 to 460	305 to 450	---			
SPC780DU	780 min.	470 to 620	460 to 610	450 to 600	---			
SPC980DU	980 min.	---		690 to 930	---			
SPC980DU/B	980 to 1100	---			580 to 760	---		
SPC1180DUB	1180 to 1300	---			850 to 1020			
SPC1180DU	1180 min.	---		835 to 1225	825 to 1215			
(SPC350HR)	350 min.	255 to 305	195 to 205	185 to 285	1.4 min.	1.3 min.	---	
(SPC440HR)	440 min.	245 to 355	235 to 345	225 to 335	1.3 min.	1.2 min.		
(SPC440HR)		355 to 465	345 to 450	335 to 440	---			

Note (5): The amount of increase in yield point or 0.2 % yield strength by the 170 °C × 20 min ageing treatment after the application of 2 % permanent strain.

Remarks:

1. Lankford value, $F = (r_x + r_y + 2r_z) / 4$

2. When SPC270BH or SPC 340BH is applied to dent-resisting parts, ensure the 170 °C × 20 min ageing treatment condition.

Table 2 (Continued)

Steel code	Total elongation (%)							
	Thickness (mm)							
	0.4 ≤ t < 0.6	0.6 ≤ t < 0.8	0.8 ≤ t < 1.0	1.0 ≤ t < 1.2	1.2 ≤ t < 1.6	1.6 ≤ t < 2.0	2.0 ≤ t < 2.5	2.5 ≤ t ≤ 3.2
SPC270A	---							
SPC270C	38 to 46 (37 to 46)	37 to 47 (38 to 47)	38 to 48 (38 to 48)	39 to 48 (40 to 49)	40 to 50 (41 to 50)	41 to 53 (42 to 53)	42 to 55 (43 to 55)	43 to 57 (44 to 57)
SPC270D	39 to 49 (40 to 49)	40 to 50 (41 to 50)	41 to 51 (42 to 51)	42 to 52 (43 to 52)	43 to 53 (44 to 53)	44 to 55 (45 to 55)	45 to 57 (46 to 57)	46 to 59 (47 to 59)
SPC270E	41 to 51 (42 to 50)	42 to 52 (43 to 51)	43 to 53 (44 to 52)	44 to 54 (45 to 53)	45 to 55 (46 to 54)	46 to 58 (47 to 56)	47 to 58 (48 to 58)	48 to 60 (49 to 60)
SPC270F	43 to 53 (44 to 52)	44 to 54 (45 to 53)	45 to 55 (46 to 54)	46 to 56 (47 to 55)	47 to 57 (48 to 56)	48 to 58 (49 to 58)	49 to 60 (50 to 60)	---
SPC270BH	40 to 50	41 to 51	42 to 52	43 to 53	44 to 54	45 min.		
SPC340	33 to 43	34 to 44	35 to 45	36 to 46	37 to 47	38 min.		
SPC340BH	34 to 44	35 to 45	36 to 46	37 to 47	38 to 48	39 min.		
SPC340HR	35 to 45	36 to 46	37 to 47	38 to 48	39 to 49	40 min.		
SPC380	29 to 40	30 to 41	31 to 42	32 to 43	33 to 44	34 min.		
SPC440	25 to 36	27 to 39	28 to 40	29 to 41	30 to 42	31 min.		
SPC590	17 to 32		18 to 33		19 min.			---
SPC590DU	17 to 32	18 to 33	19 to 34	20 to 35		21 min.		
SPC780DU	12 to 25	13 to 26	14 to 27	15 to 28		16 min.		
SPC980DU	9 to 20		10 to 21	11 to 22		12 min.		
SPC980DUB	11 min.							
SPC1180DUB	8 min.							
SPC1180DU	5 to 16		6 to 17	7 to 18		8 min.		
SPC390HR	31 to 42	32 to 43	33 to 44	34 to 45	35 to 46		36 min.	
SPC490HR	28 to 39	29 to 40	30 to 41	31 to 42	32 to 43		33 min.	
SPC490HV	23 to 35	24 to 36	25 to 37	26 to 38	27 to 39		28 min.	

Remark: Values in parentheses are the target values.

Table 2 (Continued)

Steel code	V-bending characteristics
SPC980DUB	R/t ≤ 1.5
SPC1180DUB	R/t ≤ 2.5

Remarks:

- V-bending characteristics evaluation of steel sheet shall be conducted as specified in Section 5.4.
- R: Inner sheet bending radius, t: sheet thickness
- Bending ridge line shall be evaluated in parallel direction (L direction) to rolling direction.

3.2 Surface and Internal Defects

For the surface finishing of the steel sheets, dull finish shall be used as the standard. For the surface treatment at the delivery of the steel sheets, rust-preventive oil shall be applied in principle. In addition, for 270C, 270D, 270E, and 270F materials, solid lubrication film shall be specified. Steel sheets shall have no surface or internal abnormality causing problems during actual use.

Table 3 Surface Treatment

Surface treatment	Code	Usage
Rust-preventive oil	--	For general use
Solid lubrication film	K	For difficult-to-form part

3.3 Chemical Composition

Although the chemical composition is not specified for steel sheets, representative examples of chemical composition values based on actual values are given in Table 4 for reference.

Table 4 Reference value (Unit: mgss%)

Steel code	C	Si	Mn	P	S	Al	Major strengthening mechanism
SPC270C	0.02	0.02	0.22	0.01	0.010	0.05	Low-carbon steel
SPC270D							Extra-low-carbon or low-carbon steel
SPC270E							Extra-low-carbon steel
SPC270F							Extra-low-carbon steel
SPC270BH	≤0.01		0.17		0.008	0.03	Extra-low-carbon or low-carbon steel
SPC340	0.06	0.02	0.25	0.07	0.011	0.05	Solid solution strengthening
SPC340BH	0.01		0.35		0.009		
SPC340HR							Low-carbon steel
SPC390	0.06	0.02	0.45	0.09	0.008		
SPC440	0.08	0.20	0.60	0.03			Extra-low-carbon or low-carbon steel
SPC590	0.14	0.25	1.6	0.02	0.008		Solid solution + precipitation strengthening
SPC590DU	0.09	0.28	2.0		0.004		Low or medium-carbon steel
SPC780DU		0.80	2.5	0.01	0.001		
SPC980DU	0.17	1.40	2.0	0.02	0.002		Dual phase
SPC980CUB	0.13	0.80	2.0	0.01	0.002		
SPC1180DUB	0.12	0.50	2.5	0.01	0.002		Low or medium-carbon steel
SPC1180DU	0.14	0.45	2.9	0.01	0.003		
(SPC390HR)	≤0.01	0.01	0.65	0.07	0.008		Solid solution strengthening
(SPC440HR)							Extra-low-carbon or low-carbon steel
(SPC440HY)							Solid solution + precipitation strengthening
							Low or medium-carbon steel

4. Standard Dimensions

4.1 Standard Sheet Thickness

The standard thickness of steel sheets shall be as specified in Table 5.

Table 5 (Unit: mm)

Classification of application	Standard sheet thickness
All steel types	0.4, 0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8, 0.85, 0.9, 1.0, (1.1), 1.2, (1.3), 1.4, (1.5), 1.6, (1.7), 1.8, (1.9), 2.0, (2.1), (2.2), 2.3, 2.6, 2.8, 2.9, 3.2

Remarks:

- Consult with the responsible department since the availability of sheet thickness is limited for certain types (strength level) of high tensile strength steel sheets (steel sheets whose specification lower limit of tensile strength is 340 MPa or more).
- Application of (1.1), (1.3), (1.5), (1.7), (1.9), (2.1), (2.2) shall be applied only for the materials with 590 MPa or more of tensile strength. Application shall be made upon consultation with the department concerned.

4.2 Permissible Deviation on Steel Sheet Thickness

The permissible deviation on the thickness of steel sheets shall be as specified in Table 6.

Table 6 (Unit: mm)

Tensile strength classification	Nominal thickness	Nominal width				
		$w < 630$	$630 \leq w < 1000$	$1000 \leq w < 1250$	$1250 \leq w < 1600$	$1600 \leq w$
Specification lower limit of tensile strength is 270 MPa or less	$0.40 \leq t < 0.60$	± 0.05			± 0.06	± 0.07
	$0.60 \leq t < 0.80$	± 0.06				
	$0.80 \leq t < 1.00$	± 0.06		± 0.07	± 0.08	± 0.09
	$1.00 \leq t < 1.25$	± 0.07		± 0.08	± 0.09	± 0.11
	$1.25 \leq t < 1.60$	± 0.08	± 0.09	± 0.10	± 0.11	± 0.13
	$1.60 \leq t < 2.00$	± 0.10	± 0.11	± 0.12	± 0.13	± 0.15
	$2.00 \leq t < 2.50$	± 0.12	± 0.13	± 0.14	± 0.15	± 0.17
Specification lower limit of tensile strength is over 270 MPa and under 780 MPa	$0.40 \leq t < 0.60$	± 0.05			± 0.06	± 0.07
	$0.60 \leq t < 0.80$	± 0.06				
	$0.80 \leq t < 1.00$	± 0.07		± 0.08	± 0.09	± 0.10
	$1.00 \leq t < 1.25$	± 0.08		± 0.09	± 0.10	± 0.12
	$1.25 \leq t < 1.60$	± 0.09	± 0.10	± 0.11	± 0.12	± 0.14
	$1.60 \leq t < 2.00$	± 0.10	± 0.11	± 0.12	± 0.14	± 0.16
	$2.00 \leq t < 2.50$	± 0.12	± 0.13	± 0.14	± 0.16	± 0.18
Specification lower limit of tensile strength is 780 MPa or more	$0.60 \leq t < 0.80$	± 0.08			± 0.09	—
	$0.80 \leq t < 1.00$	± 0.09				
	$1.00 \leq t < 1.25$	± 0.10				
	$1.25 \leq t < 1.60$	± 0.12				
	$1.60 \leq t < 2.00$	± 0.14				
$2.00 \leq t < 2.30$	± 0.16					

Remarks:

1. The measurement point of the steel sheet thickness shall be 15 mm or more from the edge of the sheet.
2. The permissible deviation on the sheet thickness not listed above shall be determined as necessary upon consultation with the department concerned.

5. Test Methods

5.1 Tensile Test

Use No.5 test piece specified in TSG2204G as the steel sheet for the tensile test conducted in accordance with TSG2300G.

The test piece shall be sampled parallel to the rolling direction if the specification lower limit of tensile strength is 270 MPa or less, and perpendicularly to the rolling direction if the specification lower limit of tensile strength is over 270 MPa (except r value).

Norma Toyota TSB1001G

NO. : TSB1001G

TITLE : MECHANICAL PROPERTIES OF EXTERNALLY THREADED FASTENERS

CLASS : C2

Established/Revised : Rev.10(Feb.2006)

This standard has been revised in consequence of the following changes:
(1) the surface hardness of property class 13.9 has been changed;
(2) the use of the conventional symbols to indicate property classes for conventional bolt head headers is now permitted as well as the new symbols;
and
(3) normal letters have been changed to italics.

MECHANICAL PROPERTIES OF EXTERNALLY THREADED FASTENERS

1. Scope

This standard covers mechanical properties of the following threaded fasteners to be used in automobiles. Externally threaded fasteners required to have corrosion resistance, heat resistance of 300 °C or over, and cold resistance of -50 °C or below and carburized and hardened externally threaded fasteners shall be excluded.

- (1) Bolts, machine screws, studs, set screws, and other externally threaded fasteners, which require the specification of mechanical properties irrespective of the presence or absence of a head and of its shape.
- (2) Externally threaded fasteners which have screw threads of a basic profile and pitch specified in TSB0200G and TSB0201G.
- (3) Externally threaded fasteners having nominal diameters up to 24 mm.
- (4) Externally threaded fasteners made of carbon steel and alloy steel.

Remark:

In this standard, 1 MPa shall be 1 N/mm².

2. Property Class by Mechanical Properties

The property class according to mechanical properties of the externally threaded fasteners (hereinafter referred to as "property class") shall be classified into six types shown in Table 1.

Table 1. Property Class

Property class	Equivalent standard (reference)	
	JIS B 1051	ISO 898-1
4.8 ⁽¹⁾		(4.8)
6.8 ⁽²⁾		(6.8)
8.8		(8.8)
10.9		(10.9)
11.9		---
13.9		---

Note: (1)

The property class 4.8 shall only be used for "machine screws" and "hexagon head bolt and washer assemblies for plastic and zinc alloy die casting parts".

Note: (2)

The property class 6.8 shall be used for weld bolts only.

Remark 1:

The digit before the decimal point indicates one-hundredth the nominal tensile strength (MPa) and the digit after the decimal point is used for calculation of the value of the nominal lower yield point (or yield strength), and multiplying one-tenth of this numeral with the value of nominal tensile strength provides the value of the nominal lower yield point (or yield strength).

Remark 2:

The contents of the property class indicated in parenthesis may be different to some extents.

3. Mechanical Properties

The mechanical properties of the externally threaded fasteners shall conform to Table 2. The yield point or yield strength loads and the maximum load to the fracture (each lower limit value) of external threads with typical dimensions are given in Attached Tables 1 and 2.

Table 2 Mechanical Properties

Mechanical property		Property class ⁽¹⁾					
		4.8	6.8	8.8	10.9	12.9	13.8
Nominal tensile strength R_m (σ_B) _{nom} (MPa)		400	600	800	1000	1100	1300
Minimum tensile strength R_m (σ_B) _{min} ⁽²⁾ (MPa)		420	590	790	980	1080	1280
Hardness	HV	140 to 220	200 to 270	260 to 320	310 to 370	340 to 390	400 to 450
	Ref. ⁽³⁾ HRC	71 to 95	83 to 99.5	---			
	Ref. ⁽³⁾ HRB	---					
Surface hardness HV 10		---					
Lower yield point R_{eL} (σ_L) (MPa) ⁽⁴⁾	Nominal	320	480	---			
	Min.	310	440	---			
0.2 % yield strength $R_{p0.2}$ ($\sigma_{p0.2}$) (MPa) ⁽⁵⁾	Nominal	---		640	900	990	1170
	Min.	---		690	980	980	1150
Wedge tensile strength ⁽⁶⁾ (MPa)		No less than the minimum tensile strength specified above.					
Head soundness		No crack shall occur at underhead fillet. ⁽⁷⁾					
Height of non-decarburized portion of threads E	Min.	---		1/2H _t	2/3H _t		3/4H _t
	Max.	---		0.015			
Depth of completely decarburized portion G (mm)		---		0.015			
Hardness of retempered portion		---		Decrease in Vickers hardness shall be less than 20.			

Norma Toyota TSB1304G

NO.: TSB1304G

TITLE: Weld bolts

CLASS: C2

Established/Revised: Rev. 12 (Jul. 2009)

This standard has been revised as a result of addition of note to Section 3.2.

Weld bolts

1. Scope

This standard covers weld bolts (hereinafter referred to as "bolts") used for automobiles.

Remark: This part shall conform to sub-paragraph 'substance prohibition and restriction' in TSZ0001G.

2. Classification

The classification of bolts is shown in Table 1.

Table 1

Type	Shape of end	Type indication number	Applicable nominal diameter of thread	Attached Table
Round	Chamfered end	92616	4, 5, 6, 8, 10	1
	Anti-cross thread Class 1	92617	5, 6, 8, 10	2

3. Materials, Mechanical Properties and Manufacturing Methods

3.1 Materials

Bolts must be made of carbon steel with a carbon content of 0.28 % (equivalent to S25C) or less so that the product meets the mechanical properties given in Section 3.2 and the weldability to a rolled steel sheet must be excellent.

3.2 Mechanical Properties

The mechanical properties of bolts shall conform to property class 6.6 specified in Section 3 of **TSB1001G**.

Note: Weld bolt with property class 4T was defined as a bolt that will be prohibited to be used in the future in 8th revision (2001, November) and moved to Appendix.

Also, attention is required since standard parts to which this standard established before November of 2001 was applied have some parts with property class 4T.

3.3 Manufacturing Methods

The manufacturing methods of bolts shall conform to Section 8 of **TSB1001G**.

4. Surface Treatment

The surface of bolts shall be untreated. Rust preventive oil may be applied for temporary rust prevention.

5. Shapes and Dimensions

The shapes and dimensions of bolts shall conform to Attached Tables 1 and 2.

6. Screw Threads

Screw threads shall conform to TSB0200G, however, threads of M8 mm or less shall have the coarse thread and those of M10 mm or more shall have the fine screw thread, and the tolerance range class shall be 6g.

7. Appearance

The surface of bolts shall be smooth and free of cracks, burrs, flashes, flaws and rust, etc. that are detrimental to use.

8. Surface Roughness

Surface roughness of bolts shall be measured according to TSZ2301G, and the upper surface of the head, the bearing and axis portion shall be NMR Ra 6.3. The threaded portion shall be smooth.

9. Test Methods

9.1 Tensile Strength Test

The tensile strength of bolts shall be tested according to Section 4.1 of **TSB1001G**.

9.2 Hardness Test

The hardness of bolts shall be tested according to Section 4.3 of **TSB1001G**.

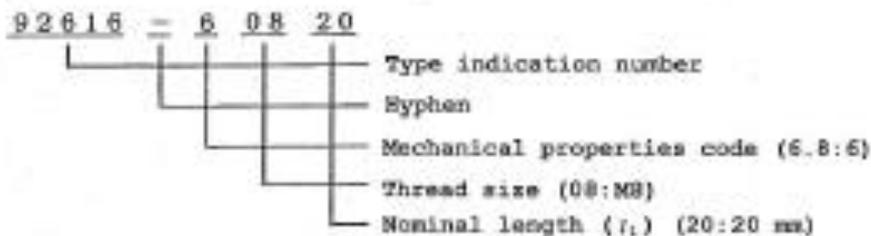
10. Part Numbers, Basic Mass and Mass Tolerance

The part numbers, basic mass and mass tolerance of bolts shall conform to Attached Tables 3 and 4. The mass tolerance shall be as specified in TSZ2900G.

11. Part Numbers

The part numbers for bolts shall consist of the type indication number and a hyphen followed by the surface treatment code, the nominal diameter (d), and the nominal length (l). If the nominal diameter or the nominal length is in 1 digit, place a "0" before it to represent in 2 digits.

Example:



12. Part Name

The part name for bolts shall be "BOLT, WELD".

Norma Toyota TSG3103G

NO.: **TSG3103G**

TITLE: **ELECTROGALVANIZED STEEL SHEETS**

CLASS: **C1**

Established/Revised: **Rev. 11 (Aug. 2007)**

This standard has been revised in consequence of the addition of a cold rolled steel sheet type.

ELECTROGALVANIZED STEEL SHEETS**1. Scope**

This standard covers electrogalvanized steel sheets (hereinafter referred to as "steel sheets") for automotive parts. The parts made of materials provided by this standard shall conform to prohibitions and restrictions for substances of environmental concern in TSZ0001G. Exempt uses specified by EU ELV Directive shall conform to the latest version of the Directive.

2. Classification and Code

The basic classification and code of the steel sheets shall conform to Table 1.

Table 1

Base material	Steel type	Usage
Cold rolled steel sheet	SECC	For general
	SECD	For drawing
	SECE	For deep drawing
	SECF	For ultra deep drawing
	SEC340	For dent-resisting parts
	SEC390	For structural members
	SEC440	
	SECEBH	For baking-hardening type dent-resisting parts
	SEC340BH	
	SCEG270C	For general
	SCEG270D ⁽¹⁾	For drawing
	SCEG270E ⁽²⁾	For deep drawing
	SCEG270F ⁽³⁾	For ultra deep drawing
	SCEG270BH ⁽³⁾	For baking-hardening type dent-resisting parts
	SCEG340	For structural members
	SCEG340BH ⁽³⁾	For baking-hardening type dent-resisting parts
	SCEG340HR ⁽³⁾	For high r -value type structural members
	SCEG390	For structural members
	SCEG390HR ⁽³⁾	For high r -value type structural members
	SCEG440	For structural members
	SCEG440HR ⁽³⁾	For high r -value type structural members
	SCEG590	For structural members
	SCEG590DU	For low yield-point type structural members
SCEG780DU		
SCEG980DU		
SCEG1180DU		
Hot rolled steel sheet	SEHC	For general
	SEHD	For drawing
	SEHE	For deep drawing
	SEH440	For structural members

Notes:

- (1) Shall have non-aging properties. (Delayed aging properties are also acceptable.)
- (2) Shall have non-aging properties.
- (3) Shall have delayed aging properties.

Remarks:

1. SCEG steel shall be used only when galvanized steel specified in TSG3109G is not available.
2. Steel sheets shall be defined as having non-aging properties only when the sheets satisfy the mechanical property requirements specified in Section 4 throughout the period of 12 months after their receipt from supplier, and surface irregularity known as stretcher strain does not result from machining of the sheets.
3. Steel sheets shall be defined as having delayed aging properties when stretcher strain does not result in the sheets after the sheets are stored at room temperature for 3 months or longer following their receipt from supplier. (This does not mean that 3-month storage is a prerequisite for steel sheets: use steel sheets as soon as possible after their receipt from supplier.)

3. Coating Mass and Quality

3.1 Coating Mass

The standard coating mass and permissible range on the coating mass shall be specified for each one side surface and the values obtained shall conform to Table 2.

Table 2

Standard coating mass (one side) (g/m ²)	Permissible range of coating mass (one side) (g/m ²)	(Reference) Corresponding coating thickness (one side) (μm)
0	0 to 2 ^①	0
5	4 to 7	0.7
10	8 to 13	1.4
15	12 to 19	2.1
20	16 to 26	2.8
30	24 to 39	4.2
40	32 to 52	5.6
60	65 to 75	8.4
SCEG○○○45	45 to 65	② 10

Note (4): According to Section 3.3.

Remarks:

1. In coating of different thicknesses, the value of (more coating mass)/(less coating mass) shall be added for convenience of indication in design drawings. For material control, the value of (coating mass on coil outer surface)/(coating mass on coil inner surface) shall be added.
Example: SECD-40/0
2. Numerals used as part of applicable steel type codes specified in TSG3100G (e.g.: 440) are entered in the place of "○○○" that follows "SCEG" in Table 2. Coating thickness shall be equal on both sides of the base material. Numerals shown under "standard coating mass" are the minimum coating mass on single side of the base material.

3.2 Quality of Coated Surface

Coated surface shall have good phosphating, painting finish and corrosion resistance. For parts composing the body outer panels, the target value of surface roughness shall be Ra≤1.5 μm considering the painting finish.

TSG3103G

4. Mechanical Properties

The mechanical properties of the steel sheets shall conform to Tables 5 and 6.

Table 5

Steel type	Yield point (MPa)	Tensile strength (MPa)	Total elongation (%) (Sheet thickness)		Lankford value r (0.5 ≤ t ≤ 1.0 mm)	$\Delta r_{\text{ave}}^{\text{TH}}$ (MPa)	Tensile test piece
			0.5 ≤ t < 1.0 mm	t ≥ 1.0 mm			
SECC	(135 to 235)	270 to (360)	36 min.	37 min.	—	—	No.5 test piece of TSG2204G Rolling direction
SECD	(135 to 215)		38 min.	38 min.	(1.4 min.)		
SECE	(120 to 175)	250 to (300)	45 min.	46 min.	(1.5 min.)		
SECF			45 min.	46 min.	(1.6 min.)		
SEC340	185 to (245)	340 to (420)	35 min.	36 min.	—		
SEC360	215 to (295)	390 to (470)	30 min.	31 min.			
SEC440	245 to (315)	440 to (520)	26 min.	27 min.			
SEC68H	(120 to 175)	250 to (330)	45 min.	46 min.	(1.5 min.)	30 (40) min.	No.5 test piece of TSG2204G Rolling direction
SEC3408H	165 to (245)	340 to (420)	35 min.	36 min.	—		No.5 test piece of TSG2204G At right angle with rolling direction

Table 5 (Continued)

Steel type	Tensile strength (MPa)	Yield point/0.2 % yield strength (MPa)			Lankford value (r -value)		BH (MPa)
		Sheet thickness (mm)			Sheet thickness (mm)		
		0.4 ≤ t < 0.8	0.8 ≤ t < 1.0	1.0 ≤ t < 3.2	0.5 ≤ t < 1.0	1.0 ≤ t < 1.6	
SCEG270C	270 min.	145 to 265	135 to 255	125 to 245	—	—	
SCEG270D		135 to 225	125 to 215	115 to 205	1.2 min.		1.1 min.
SCEG270E		130 to 205	120 to 195	110 to 185	1.4 min.		1.3 min.
SCEG270F		120 to 185	110 to 175	100 to 165	1.6 min.		1.5 min.
SCEG270BH		135 to 225	125 to 215	115 to 205	1.4 min.		1.3 min.
SCEG340	340 min.	205 to 305	195 to 285	185 to 265	—	30 min.	
SCEG340BH		185 to 285	175 to 275	165 to 265	1.1 min.		1.0 min.
SCEG340HR		165 to 255	155 to 245	145 to 235	1.4 min.		1.3 min.
SCEG390	390 min.	245 to 355	235 to 345	225 to 335	—	—	
SCEG390HR		205 to 305	195 to 295	185 to 285	1.4 min.		1.3 min.
SCEG440	440 min.	285 to 390	275 to 380	265 to 370	—	—	
SCEG440HR		245 to 355	235 to 345	225 to 335	1.3 min.		1.2 min.
SCEG590	590 min.	450 to 560	420 to 570	410 to 560	—	—	
SCEG600DU		325 to 470	315 to 460	305 to 450			
SCEG780DU	780 min.	420 to 645	410 to 635	400 to 625	—	—	
SCEG880DU	880 min.	—	560 to 930	550 to 920			
SCEG1180DU	1180 min.	—	835 to 1225	825 to 1215	—	—	

Table 5 (Continued)

Steel type	Total elongation (%)							
	Sheet thickness (mm)							
	0.4 \leq t<0.6	0.6 \leq t<0.8	0.8 \leq t<1.0	1.0 \leq t<1.2	1.2 \leq t<1.6	1.6 \leq t<2.0	2.0 \leq t<2.6	2.6 \leq t<3.2
SCEG270C	36 to 48	37 to 47	38 to 48	39 to 49	40 to 50	41 to 53	42 to 55	43 to 57
SCEG270D	38 to 49	40 to 50	41 to 51	42 to 52	43 to 53	44 to 55	45 to 57	46 to 59
SCEG270E	41 to 51	42 to 52	43 to 53	44 to 54	45 to 55	46 to 56	47 to 58	48 to 60
SCEG270F	43 to 53	44 to 54	45 to 55	46 to 56	47 to 57	48 to 58	49 to 60	...
SCEG270BH	40 to 50	41 to 51	42 to 52	43 to 53	44 to 54	45 min.		
SCEG340	33 to 43	34 to 44	35 to 45	36 to 46	37 to 47	38 min.		
SCEG340BH	34 to 44	35 to 45	36 to 46	37 to 47	38 to 48	39 min.		
SCEG340HR	35 to 45	36 to 46	37 to 47	38 to 48	39 to 49	40 min.		
SCEG390	29 to 40	30 to 41	31 to 42	32 to 43	33 to 44	34 min.		
SCEG390HR	31 to 42	32 to 43	33 to 44	34 to 45	35 to 46	36 min.		
SCEG440	28 to 38	27 to 39	28 to 40	29 to 41	30 to 42	31 min.		
SCEG440HR	29 to 39	29 to 40	30 to 41	31 to 42	32 to 43	33 min.		
SCEG690		17 to 32		18 to 33		16 min.		
SCEG690DU		17 to 32	18 to 33	19 to 34	20 to 35	21 min.		
SCEG780DU	—	12 to 25	13 to 26	14 to 27	15 to 28	16 min.		
SCEG660DU			9 to 20	10 to 21	11 to 22	12 min.		
SCEG1180DU			5 to 16	6 to 17	7 to 18	8 min.		

Note (5): The rise of yield point by 170 °C×20 min aging after the application of 2 percent permanent set.

Remark (): Target reference value

Table 6

Steel type	Yield point (MPa)	Tensile strength (MPa)	Total elongation (%)		Tensile test piece
			[Sheet thickness]		
			1.6 \leq t<2.0 mm	t \geq 2.0 mm	
SEHC			29 min.		No. 5 test piece of TSG2204G Rolling direction
SEHD	(185 to 325)	270 to (410)	32 min.	33 min.	
SEHE			33 min.	35 min.	
SEH440	(305 to 400)	440 to (540)	29 min.	30 min.	

Remark (): Target reference value

5. Appearance

The steel sheets shall be free from such harmful abnormalities as abnormal coating compositions, rust, blisters, and scratches.

6. Standard Thickness

Standard thickness of steel sheets shall conform to Table 7.

Table 7

Steel type	Standard thickness (mm)	
SEC	0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8, 0.85, 0.9, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 2.3, 2.6, 2.9, 3.2	
SEH	1.6, 1.8, 2.0, 2.3, 2.6, 2.8, 3.2, 4.0, 4.5	
SCEG	Those with minimum tensile strength specification of 270 MPa or smaller	0.4, 0.5, 0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8, 0.85, 0.9, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 2.3, 2.6, 2.8, 2.9, 3.2
	Those with minimum tensile strength specification greater than 270 MPa	0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8, 0.9, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6

Remark: There is a case that the thickness of steel sheets is not specified, according to the steel class.

7. Tolerance of Steel Sheet Thickness

The tolerance of steel sheet thickness shall conform to TSG3100G and TSG3101G, which cover the base material. However, the tolerance of coated steel sheets shall be the sum of the specified value and the corresponding coating thickness.

8. Test Methods

8.1 Coating Mass Measurement Method

- (1) Test pieces shall be taken from the material under the manufacturing process. As shown in Fig. 1, take three test pieces, that is, one from the center of the sheet and two from the places symmetrical on the diagonal line at least 100 mm apart from the lengthwise end and at least 50 mm apart from the side end. For the material manufactured by continuous coating, take three test pieces from one lengthwise end of the sheets, one from the center and two from the places at least 50 mm apart from each side end as shown in Fig. 2.

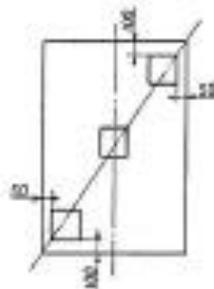


Fig. 1 (Unit: mm)

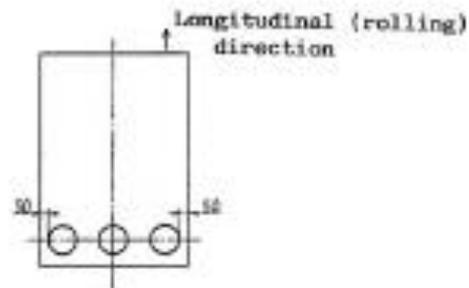


Fig. 2 (Unit: mm)

- (2) The test method shall be as specified in TSG2306G.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad-Bisbe. (2002). *Manual de Soldadura por Resistencia*. Valladolid. España: Junta de Castilla y León. Consejería de Industria, Comercio y Turismo.
- Apraiz Barreiro, J. (1961). *Aceros Especiales*. Madrid. España: Editorial Dossat.
- Barosio, W. (2020). *Seminario Diseño de Experimentos*. Buenos Aires: UTN. FRBA.
- Besterfield, D. H. (2009). *Control de Calidad*. México Distrito Federal: Editorial Pearson Educación de México S.A.
- Calidad, S. S. (1983). *Calidad: Una respuesta a la crisis*. Buenos Aires: Instituto Argentino de Control de la Calidad.
- Di Gregorio, F. (2019). *Confiabilidad Avanzada. Módulo 2*. Buenos Aires. Argentina.
- Dixon, J. R. (1970). *Diseño en Ingeniería*. México Distrito Federal: Editorial Limusa Wiley S.A. de C.V.
- Ernitz, A. (1967). *Manual de Hierros y Aceros*. Buenos Aires, Argentina: Librería y Editorial Alsina.
- Escalante Vázquez, E. (2006). *Análisis y Mejoramiento de la Calidad*. México Distrito Federal: Editorial Limusa S.A. de C.V.
- Feigenbaum, A. V. (1995). *Control Total de la Calidad*. México Distrito Federal: Compañía Editorial Continental S.A. de C.V.
- Flores, G. F. (1978). *Soldadura y Metalurgia*. DF, México: Compañía Editorial Continental S.A.
- Galvery, W. L., & Marlow, F. M. (2006). *Guía de Soldadura para el Técnico Profesional*. México Distrito Federal: Editorial Limusa S.A. de C.V.
- Horwitz, H. (1997). *Soldadura: Aplicaciones y Práctica*. Mexico, D.F.: Alfaomega.
- ILAFA. (1975). *Tecnología de los Aceros Especiales*. Buenos Aires, Argentina: ILAFA.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2008). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. México: Pearson Educación.
- Koellhoffer, L., Hornberger, E. G., & Manz, A. F. (2007). *Manual de Soldadura*. México Distrito Federal: Limusa S.A. de C.V.
- Lajtin, Y. (1985). *Metalografía y Tratamiento Térmico de los metales*. Moscú: Mir.
- Lancaster, J. F. (1972). *Tratado de Soldadura*. Madrid, España: Tecnos S.A.

- Las Heras y Esteban, J. M. (1978). *Tecnología del Acero*. Barcelona. España: Emege Industria Gráfica.
- Lashkó, N. F., & Lashkó, S. V. (1979). *Soldadura Indirecta de los Metales*. Moscú: Editorial Mir.
- Montgomery, D. (1991). *Diseño y Análisis de Experimentos*. Arizona. Estados Unidos: Grupo Editorial Iberoamérica.
- Oberg, E., & Jones, F. D. (1977). *Manual Universal de la Técnica Mecánica*. Barcelona. España: Labor S.A.
- Patton, W. J. (1979). *Ciencia y Técnica de la Soldadura*. Bilbao. España.: Editorial Urmo S.A.de Ediciones.
- Peró - Saenz Elorz, J. A. (2004). *Aceros, Metalurgia Física, Selección y Diseño*. Madrid, España: CIE Inversiones Editoriales Dossat 2000.
- Rinaldi, E. (1968). *Tratado Moderno de Soldadura*. Barcelona, España: José Montesó .
- Rodríguez, P. C. (2001). *Manual de Soldadura*. Buenos Aires, Argentina: Librería y Editorial Alsina.
- Schimpke, P., & Horn, H. A. (1977). *Tratado General de Soldadura*. Barcelona. España.: Editorial Gustavo Gili S.A.
- Spoots, M. F. (1979). *Proyecto de Elementos de Máquinas*. España: Reverté S.A.
- Vicente, M. L., Girón, P., Nieto, C., & Pérez, T. (2005). *Diseño de Experimentos. SOLuciones con SAS y SPSS*. Madrid. España: Pearson Educación S.A.