



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

CARACTERIZACIÓN DE LOS ACEROS UTILIZADOS EN LAS ESTRUCTURAS DE CARROCERÍAS EN VEHÍCULOS DE TRANSPORTE DE PASAJEROS

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN SISTEMAS AUTOMOTRICES**

AINGLA SILVA CRISTIAN ROLANDO

cristian.ainгла@epn.edu.ec

PROAÑO SÁNCHEZ PATRICIA MARIANA

patricia.proanio@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. CARLOS WIME DÍAZ CAMPOVERDE, M.Sc.

carlos.diaz@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. WILLAN LEOPOLDO MONAR MONAR, M.Sc.

william.monar@epn.edu.ec

Quito, Febrero, 2019

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **INGLA CRISTIAN y PROAÑO PATRICIA**, bajo mi supervisión.

Ing. Carlos Díaz, M. Sc.

DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Willan Monar, M. Sc.

CODIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros, **Cristian Rolando Aingla Silva y Patricia Mariana Proaño Sánchez**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Cristian Rolando Aingla Silva

Patricia Mariana Proaño Sánchez

DEDICATORIA

Dedicó este estudio a Dios por ser el ser celestial que nos mantiene con vida, día a día; a los tres hombres de mi vida los cuales son mi razón de ser: Damián, David y Mateo Villa que son la alegría de la casa, luces que alumbran mi camino, a quienes quisiera verles llegar muy lejos, A mi pestañitas: Franklin Villa F, quien es mi apoyo, el pilar de mi hogar, padre ejemplar, amigo, compañero, confidente; en fin todo para mi vida. El hombre que me da fuerzas para continuar y es el ser, más importante para mí; a quien amo y respeto, ya que sin él nunca lo hubiera logrado, no solo le dedicó la tesis si no le agradezco “te amo Fran”.

A mi familia mis padres, abuelita, tíos, tías, primos; sobre todo a mi súper mamá María Sánchez, quien con su tiempo y dedicación nos ha mostrado lo maravilloso del mundo; mis hermanos: Jaime, Pablo, María y Javier, con quienes sé que siempre puedo contar en cualquier momento y lugar “Gracias ñañitos”, mi cuñada Valeria Campoverde, mis sobrinos Jaime y Camilo Proaño quien son una parte fundamental en la familia. También dedico y agradezco infinitamente a mis suegros Sra. Charito y Sr. Hugo quienes son el apoyo incondicional para mí, Franklin y mis bebés.

Patricia Proaño S.

Especialmente a mi hermano Jaime Raúl, porque a pesar de las dificultades que Dios nos pone en el camino, tú has sido y serás ejemplo de lucha y esfuerzo, por cual viviré eternamente agradecido.

A mis padres, Cristóbal y Mariana, mi hermano, Santiago quienes son ejemplo a seguir cada día de mi vida; quienes gracias a su apoyo, cariño y comprensión han sido el pilar fundamental para alcanzar esta meta juntos. A mi abuelito Miguel Ángel que desde el cielo nos ilumina, y a mis abuelitos José Luis y Lucía que siempre me alegran y alientan cada día.

Finalmente agradezco a Dios, por ponerme personas maravillosas en mi camino y permitirme estar donde estoy

Cristian Aingla S.

AGRADECIMIENTO

Este proyecto, fue posible gracias a la colaboración de las empresas carroceras, quienes nos proporcionaron el material adecuado para la investigación, a las cuales les extiendo mis más grande agradecimiento, al Ing. Cepeda por la ayuda en la simulación, a mi compañero y amigo Cristián Aingla, al personal de los diferentes laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional de máquinas y herramientas, soldadura, fundición, DEMEX, metalografía y también al personal de los laboratorios de ensayos mecánicos del INEN Conocoto; quienes nos colaboraron con los diferentes ensayos realizados; al Ing. Julián Simbaña, Ing. Javier Pila, Ing. Javier Proaño, Sr. Andrés López y Srta. Gabriela Sánchez, quienes fueron un gran apoyo en este estudio.

No puede faltar dar gratitud a los diferentes compañeros y profesores de la Maestría de Sistemas Automotrices, quienes compartieron sus experiencias y transmitieron su conocimiento; en especial al Ing. Willan Monar M. quien es el codirector del presente proyecto y al “querido profesor” director del proyecto el Ing. Carlos Díaz, quienes han sido nuestra guía y apoyo continuo de inicio a fin en este proyecto. También agradezco al personal administrativo de la FIM, amig@s que siempre a pesar de las distancias me han brindado su apoyo incondicional.

Patricia Proaño S.

A todos mis compañeros y amigos por estar en los momentos difíciles para darnos una mano, por depositarnos su confianza y amistad sincera.

Cristian Aingla S.

CONTENIDOS

Declaración.....	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimiento.....	iv
Contenidos	v
Anexos... ..	ix
Índice de figuras	x
Índice de tablas.....	xv
Lista de símbolos.....	xvii
Introducción	1
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
1. Marco Teórico	4
1.1. Vehículos para el transporte de pasajeros	4
1.2. Definiciones importantes.....	4
1.2.1. Configuración de los vehículos para el transporte de pasajeros.....	5
1.2.2. Configuración de la zona de supervivencia	7
1.3. Tipos de análisis en vehículos para el transporte de pasajeros.....	8
1.3.1. Análisis estructural.....	9
1.3.2. Análisis de Seguridad	11
1.3.2.1. Zonas de disipación de desaceleraciones.....	11
1.3.3. Análisis de optimización.....	15
1.4. Normativas que deben cumplir los aceros utilizados en la fabricación de carrocerías.....	16
2. Materiales y Metodología Experimental	19
2.1. Elección de los materiales para la obtención de probetas para análisis	20
2.2. Metodología experimental.....	22
2.2.1. Ensayo de composición química del material base.....	22

2.2.2.	Propiedades mecánicas del material base.....	24
2.2.3.	Determinación del espesor de galvanizado.....	27
2.2.4.	Prueba de adherencia.....	28
2.2.5.	Ensayo metalográfico del material base.....	29
2.2.6.	Ensayo de dureza material base.....	30
2.2.7.	Ensayos en las estructuras soldadas.....	30
2.2.7.1.	Inspección visual	33
2.2.7.2.	Ensayos mecánicos.....	35
2.2.7.3.	Macrografía (macroscopía óptica).....	39
2.2.8.	Ensayo metalográfico o microscopía óptica	40
2.2.9.	Ensayo de microdureza (dureza vickers)	40
3.	Resultados de los Ensayos Realizados	42
3.1.	Resultados de los ensayos planteados en la metodología	42
	Resultados del Producto Nacional	42
3.1.1.	Composición química material base	42
3.1.2.	Ensayo de tensión material base	42
3.1.3.	Determinación del espesor de galvanizado material base.....	44
3.1.4.	Prueba de adherencia de recubrimiento material base	46
3.1.5.	Ensayo metalográfico material base	47
3.1.6.	Ensayo de dureza material base.....	48
3.1.7.	Estructura soldada.....	48
3.1.7.1.	Inspección visual de las muestras soldadas.....	49
3.1.7.2.	Doblado de cara y raíz de las muestras soldadas.....	51
3.1.7.3.	Ensayo tensión de las muestras soldadas	53
3.1.7.4.	Macrografía de las muestras soldadas.....	55
3.1.7.5.	Ensayo de microscopía óptica muestras soldadas	57
3.1.7.6.	Ensayo de microdureza soldadura.....	59
	Resultados del Producto Importado.....	60
3.1.8.	Composición química material base	60

3.1.9.	Ensayo de tensión material base	60
3.1.10.	Determinación del espesor de galvanizado material base.....	61
3.1.11.	Prueba de adherencia de recubrimiento material base	63
3.1.12.	Ensayo metalográfico material base	64
3.1.13.	Ensayo de dureza material base.....	65
3.1.14.	Estructura soldada.....	65
3.1.14.1.	Inspección visual de las muestras soldadas.....	65
3.1.14.2.	Doblado de cara y raíz de las muestras soldadas.....	68
3.1.14.3.	Ensayo tensión de las muestras soldadas	70
3.1.14.4.	Macrografía de las muestras soldadas.....	72
3.1.14.5.	Ensayo de microscopia óptica de las muestras soldadas.....	74
3.1.14.6.	Ensayo de microdureza soldadura.....	76
3.2.	Evaluación y resultados del ensayo de simulación de la estructura de los buses de fabricación nacional e importada.....	77
3.2.1.	Revisión del estado del arte en simulación de vuelco lateral de autobuses de fabricación nacional e importada	77
3.2.2.	Identificación del método usado en las simulaciones	79
3.2.3.	Descripción del modelo para el ensayo de simulación	80
3.2.3.1.	Resumen de datos utilizados para la simulación.....	80
3.2.3.2.	Tipo de malla	81
3.2.3.3.	Condiciones de borde	81
3.2.4.	Cálculo de las cargas aplicadas en las carrocerías.....	81
3.2.4.1.	Carga viva (V).....	81
3.2.4.2.	Carga Muerta (M).....	82
3.2.4.3.	Carga de giro (G).....	82
3.2.4.4.	Carga de frenado (F)	84
3.2.4.5.	Carga de aceleración brusca (A_b)	84
3.2.4.6.	Carga por resistencia del aire frontal (R_{af}).....	84
3.2.5.	Tabla resumen de cargas aplicadas en carrocerías	85

3.2.6.	Combinaciones de carga método LRFD (Load Resistance Factor Design).....	86
3.2.7.	Resultado de la aplicación de cargas.....	86
3.2.7.1.	Modelado geométrico, matemático y análisis cuasi-estático	86
3.2.7.2.	Desplazamientos y esfuerzos de Von Misses resultantes	87
3.2.7.3.	Prueba dinámica de vuelco.....	92
3.2.8.	Tabla resumen de los resultados obtenidos del ensayo de simulación	93
4.	Análisis de Resultados y Discusión	98
4.1.	Material base nacional e importado	98
4.1.1.	Material base producto nacional	98
4.1.2.	Material base producto importado.....	99
4.2.	Estructuras soldadas de los elementos de estudio.....	100
4.3.	Simulación de las estructuras de los autobuses de fabricación nacional e importada.....	102
4.4.	Cumplimiento de las normas en base a los resultados obtenidos	103
5.	Conclusiones, Recomendaciones y Trabajos Futuros	107
5.1.	Conclusiones	107
5.2.	Recomendaciones	108
5.3.	Trabajos futuros.....	109
	Referencias Bibliográficas	110

ANEXOS

A. Fichas Técnicas utilizadas en la fabricación de Carrocerías.....	114
B. Especificaciones del procedimiento de soldadura	118
C. Resultados del Ensayo y Simulación CASO 1.....	127
D. Resultados del Ensayo y Simulación CASO 2.....	141
E. Resultados de análisis por espectrometría de chispa.....	155
F. Gráficas de los Resultados de ensayos de tracción de material base de carrocería nacional y carrocería importada.....	156
G. Informe de los resultados de ensayos de tracción realizados a las soldaduras en T.....	167
H. Resultados de ensayos de tamaño de grano de acero de carrocería nacional e importada.....	171
I. Fotografía de las microestructura de los aceros de carrocería nacional e importada con soldadura.....	173
J. Informe de Resultados del Ensayo de microdurezas	177
K. Simulación de la estructura de carrocería CASO 3.....	181
L. Check List para proceso de Homologación.....	195

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Fotografía de bus interprovincial.	4
Figura 1.2. Estructura básica del chasis tipo escalera.....	5
Figura 1.3. Estructura básica del chasis tipo buggy.	6
Figura 1.4. Representación de la zona de supervivencia.	7
Figura 1.5. Tipos de análisis para el transporte público de pasajeros.	8
Figura 1.6. Análisis estructural a) curva b) frenado y c) torsión.	9
Figura 1.7. Ensayos experimentales para análisis estructural a) torsión b) frenado c) curva y d) peso propio.	10
Figura 1.8. Análisis estructural experimental de durabilidad.....	10
Figura 1.9. Análisis estructural virtual de durabilidad.	11
Figura 1.10. Tipos de impacto a los pasajeros.	12
Figura 1.11. Parámetros de volcamiento.....	12
Figura 1.12. Impacto frontal y prueba de simulación.	13
Figura 1.13. Pruebas de análisis de seguridad prueba de vuelco.	14
Figura 1.14. Test de nuevos materiales aplicados en la fabricación de autobuses.	15
Figura 2.2. Estructura lateral derecha de un autobús de fabricación nacional.....	20
Figura 2.3. Estructura lateral derecha de un autobús de fabricación importada.	21
Figura 2.4. Muestras para análisis químico.....	23
Figura 2.5. Diseño de la probeta para ensayo de tensión MBN.	25
Figura 2.6. Diseño de la probeta para ensayo de tensión MBI.	26
Figura 2.7. Probetas para ensayo de tensión material base producto importado.	26
Figura 2.8. Probetas para ensayo de tensión material base producto nacional.....	26
Figura 2.9. Material base (tubo estructural galvanizado), para análisis metalográfico.	29
Figura 2.10. Esquema de las zonas de las probetas soldadas.....	33
Figura 2.11. Tubo estructural galvanizado, soldadura a tope para análisis visual.	34
Figura 2.12. Tubo estructural galvanizado, soldadura en T para análisis visual.	34
Figura 2.13. Diseño de la probeta para ensayo de doblado de cara y raíz TSN.....	35
Figura 2.14. Diseño de la probeta para ensayo de doblado de cara y raíz TSI.	36
Figura 2.15. Probetas para ensayo de doblado de cara.....	36
Figura 2.16. Probetas para ensayo de doblado de raíz.....	36
Figura 2.17. Diseño de la probeta para ensayo de tensión TSN.	37
Figura 2.18. Diseño de la probeta para ensayo de tensión TSI.....	38

Figura 2.19. Probetas para ensayo de tensión soldadas producto nacional.....	38
Figura 2.20. Probetas para ensayo de tensión soldadas producto importado.	38
Figura 2.21. Tubos estructural galvanizado soldadura en T, para ensayo de tensión.	39
Figura 2.22. Probetas soldadas a tope y en T, para análisis macroscópico.	40
Figura 2.23. Bosquejo del barrido de micro durezas realizado en las diferentes zonas de las probetas. Soldadas.	41
Figura 3.1. Probetas ensayadas del MBN, zona de supervivencia.....	43
Figura 3.2. Detalle de una probeta del MBN, zona de supervivencia, después de realizar el ensayo de tensión.....	43
Figura 3.3. Valores del ensayo de tensión MBN, zona de supervivencia vs requisitos mecánicos tubo gado A.	44
Figura 3.4. Peso inicial y final MBN, zona de supervivencia.....	44
Figura 3.5. Medición de espesor de galvanizado MBN, zona de supervivencia.	45
Figura 3.6. Resultados de la determinación de la masa de zinc MBN, zona de supervivencia vs requisito de norma.....	46
Figura 3.7. Peso inicial del MBN, zona de supervivencia.	46
Figura 3.8. Ensayo por enfriamiento brusco MBN y MBI, zona de supervivencia.....	46
Figura 3.9. Fin del ensayo por enfriamiento brusco, detalle de las superficies de los tubos galvanizados, MBN y MBI, zona de supervivencia.....	47
Figura 3.10. MBN, zona de supervivencia (a) sentido longitudinal (b) sentido transversal.100X.....	47
Figura 3.11. MBN, zona de supervivencia (a) sentido longitudinal (b) sentido transversal.100X.....	47
Figura 3.12. MBN, zona de supervivencia (a) sentido longitudinal y (b) sentido transversal, tamaño de grano G10. 500X.....	48
Figura 3.13. Discontinuidades TSN, superficie externa.....	49
Figura 3.14. Discontinuidades TSN, superficie interna.....	49
Figura 3.15. Superficie externa SNET.....	50
Figura 3.16. Inspección in situ, estructura nacional con varios cordones de soldadura....	51
Figura 3.17. Probetas TSN sometidas a ensayos de doblez de cara y raíz.....	51
Figura 3.18. Probetas sometidas a ensayos de doblez de cara TSN.	52
Figura 3.19. Probetas sometidas a ensayos de doblado de raíz TSN.	52
Figura 3.20. Detalle de la porosidad probeta de doblado de raíz TSN.....	52
Figura 3.21. Probetas ensayadas TSN.	53
Figura 3.22. Detalle de la probeta TSN después de realizar el ensayo de tensión.....	54
Figura 3.23. Superficie de fractura del ensayo de tensión TSN2.....	54

Figura 3.24. Resultados de los ensayos de tensión TSN vs resultados de ensayo de tensión MBN.	54
Figura 3.25. Probetas ensayadas SNET.	55
Figura 3.26. Probeta sometida a macroscopía óptica TSN 1.	55
Figura 3.27. Probeta sometida a macroscopía óptica TSN 2.	56
Figura 3.28. Probeta sometida a macroscopía óptica SNET.	56
Figura 3.29. Micrografías TSN, material base (MB), zona afectada por el calor (ZAC) y material de aporte (MA) a 50X y 100X.	58
Figura 3.30. Detalle de las micrografías TSN, zona afectada por el calor (ZAC) y material de aporte (MA). 500X.	58
Figura 3.31. Barrido de durezas TSN (techo-techo) y SNET (techo- ventana) de la zona de supervivencia.	59
Figura 3.32. Probetas ensayadas del MBI, zona de supervivencia.	60
Figura 3.33. Detalle de una probeta del MBI, zona de supervivencia, después de realizar el ensayo de tensión.	61
Figura 3.34. Valores del ensayo de tensión MBI, zona de supervivencia vs requisitos mecánicos “valor más exigente”.	61
Figura 3.35. Peso inicial y final MBI, zona de supervivencia.	62
Figura 3.36. Medición de espesor de galvanizado MBI, zona de supervivencia.	62
Figura 3.37. Resultados de la determinación de la masa de zinc MBI, zona de supervivencia vs requisito de norma.	63
Figura 3.38. Peso inicial MBI, zona de supervivencia.	64
Figura 3.39. MBI, zona de supervivencia (a) sentido longitudinal (b) sentido transversal 100X.	64
Figura 3.40. MBI, zona de supervivencia (a) sentido longitudinal (b) sentido transversal 100X.	64
Figura 3.41. MBI, zona de supervivencia (a) sentido longitudinal y (b) sentido transversal, tamaño de grano G13 500X.	65
Figura 3.42. Discontinuidades TSI, superficie externa.	66
Figura 3.43. Discontinuidades TSI, superficie interna.	66
Figura 3.44. Superficie externa SIET.	67
Figura 3.45. Inspección in situ, estructura importada.	68
Figura 3.46. Probetas TSI sometidas a ensayos de doblez de cara y raíz.	68
Figura 3.47. Probetas sometidas a ensayos de doblez de cara TSI.	69
Figura 3.48. Probetas sometidas a ensayos de doblado de raíz TSI.	69
Figura 3.49. Probetas ensayadas TSI.	70

Figura 3.50. Detalle de la probeta del TSI después de realizar el ensayo de tensión.....	71
Figura 3.51. Superficie de fractura del ensayo de tensión TSI2.	71
Figura 3.52. Resultados de los ensayos de tensión TSI vs resultados de ensayo de tensión MBI.	71
Figura 3.53. Probetas Ensayadas SIET.	72
Figura 3.54. Probeta sometida a macroscopía óptica TSI 1.	72
Figura 3.55. Probeta sometida a macroscopía óptica TSI 2.	73
Figura 3.56. Probeta sometida a macroscopía óptica SIET.	73
Figura 3.57. Micrografías TSI, material base (MB), zona afectada por el calor (ZAC) con grano fino / grueso y material de aporte (MA) a 50X y 100X.	75
Figura 3.58. Detalle de las micrografías TSI, zona afectada por el calor (ZAC) grano fino / grano grueso y material de aporte (MA) 500X.	76
Figura 3.59. Barrido de durezas TSI (techo-techo) y SIET (techo- ventana) de la zona de supervivencia.	77
Figura 3.60. Modelado geométrico y matemático de la estructura nacional caso 2.	86
Figura 3.61. Modelado geométrico y matemático de la estructura importada caso 2.	87
Figura 3.62. Desplazamientos resultantes de la aplicación de la combinación de cargas (Ec.3.10) en la estructura del autobús carrocería nacional.	87
Figura 3.63. Desplazamientos resultantes de la aplicación de la combinación de cargas (Ec.3.10) en la estructura del autobús carrocería importada.	88
Figura 3.64. Desplazamientos resultantes de la aplicación de la combinación de cargas (Ec. 3.13) en la estructura del autobús carrocería nacional.	88
Figura 3.65. Desplazamientos resultantes de la aplicación de la combinación de (Ec. 3.13) en la estructura del autobús carrocería importada.	88
Figura 3.66. Esfuerzos de Von-Misses resultantes de la aplicación de la combinación de cargas (Ec. 3.11) en la estructura del autobús carrocería nacional.	89
Figura 3.67. Esfuerzos Von-Misses resultantes de la aplicación de la combinación de cargas (Ec. 3.11) en la estructura del autobús carrocería importada.	89
Figura 3.68. Desplazamientos resultantes de la aplicación de la carga en el techo, según normativa, de la estructura del autobús carrocería nacional.	89
Figura 3.69. Desplazamientos resultantes de la aplicación de la carga en el techo, según normativa de la estructura del autobús carrocería importada.	90
Figura 3.70. Esfuerzos de Von-Misses resultantes de la aplicación de la carga en el techo, según normativa, de la estructura del autobús carrocería nacional.	90
Figura 3.71. Esfuerzos de Von-Misses resultantes de la aplicación de la carga en el techo, según normativa, de la estructura del autobús carrocería importada.	90

Figura 3.72. Distribución de esfuerzos en el lado interno del anclaje delantero derecho carrocería nacional.	91
Figura 3.73. Distribución de esfuerzos en el lado interno del anclaje delantero derecho carrocería importada.	91
Figura 3.74. Distribución de esfuerzos en el lado interno del ángulo de anclaje posterior derecho carrocería nacional.	91
Figura 3.75. Distribución de esfuerzos en el lado interno del ángulo de anclaje posterior derecho carrocería importada.	92
Figura 3.76. Recomendaciones para la realización de pruebas de vuelco.	92
Figura 3.77. Análisis de los esfuerzos generados en volcadura.	93
Figura 3.78. Análisis del espacio de supervivencia de la estructura luego de un evento de impacto: (a) Estructura no deformada ANTES del impacto, (b) Estructura DEFORMADA después del impacto.	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Regulaciones de carácter legal y técnico para homologación vehicular.	17
Tabla 1.2. Normas técnicas del RTE INEN 043 para transporte público de pasajeros.	18
Tabla 2.1. Identificación de los elementos entregados para caracterización.	22
Tabla 2.2. Requisitos químicos para materias primas con recubrimiento Zn- Al- Mg.....	23
Tabla 2.3. Especificaciones del espectrómetro de emisión.	23
Tabla 2.4. Clasificación y propiedades mecánicas de los tubos.....	24
Tabla 2.5. Especificaciones de la máquina universal de ensayos para tracción.....	25
Tabla 2.6. Masa de zinc por unidad de superficie (dos caras) para tubería galvanizada por inmersión en caliente.....	27
Tabla 2.7. Especificaciones de la máquina de corte “cierra circular de mano”	27
Tabla 2.8. Especificaciones de la máquina de desbastadora y pulidora.....	28
Tabla 2.9. Especificaciones de la balanza de precisión.	28
Tabla 2.10. Especificaciones del microscopio metalográfico invertido.	28
Tabla 2.11. Especificaciones de la mufla para tratamientos térmicos.	29
Tabla 2.12. Especificaciones del equipo para el ensayo de durezas.....	30
Tabla 2.13. Síntesis de los requisitos solicitados para estructura con soldadura.	31
Tabla 2.14.a. Requisitos de calidad de soldadura AWS D8.8M: 2007.....	31
Tabla 2.15. Inspección visual de la soldadura AWS D1.1: 2015.	33
Tabla 2.16. Especificaciones del estereomicroscopio trinocular.....	34
Tabla 2.17. Criterios de aceptación de los ensayos de doblado AWS D1.1: 2015.	35
Tabla 2.18. Especificaciones de máquina de ensayo de doblez guiado.	37
Tabla 2.19. Macrografía de conexiones tubulares.....	39
Tabla 2.20. Especificaciones del equipo para el ensayo de micro durezas.	41
Tabla 3.1. Composición química MBN, zona de supervivencia.	42
Tabla 3.2. Valores obtenidos del ensayo de tensión MBN, zona de supervivencia.	43
Tabla 3.3. Determinación de la masa de zinc MBN, zona de supervivencia, método gravimétrico.	45
Tabla 3.4. Determinación de la masa de zinc MBN, zona de supervivencia, método de corte micrográfico.....	45
Tabla 3.5. Valores obtenidos del ensayo de dureza del MBN, zona de supervivencia.	48
Tabla 3.6. Resumen de las discontinuidades de la inspección visual TSN soldadura a tope (techo-techo) zona de supervivencia y requisitos de norma.....	50
Tabla 3.7. Consolidado de los resultados de doblado de cara y raíz TSN soldadura a tope (techo-techo) zona de supervivencia y requisitos de norma.....	53
Tabla 3.8. Valores del ensayo de tracción de las probetas TSN.	53

Tabla 3.9. Resultados del ensayo de tensión SNET.	55
Tabla 3.10. Resultados de macroscopía óptica de las probetas TSN (techo-techo, zona de supervivencia) y requisitos de la norma.	57
Tabla 3.11. Resultados de macroscopía óptica de las probetas SNET (techo-ventana, zona de supervivencia) y requisitos de la norma.	57
Tabla 3.12. Microdurezas TSN (techo-techo) y SNET (techo-ventana).	59
Tabla 3.13. Composición química MBI, zona de supervivencia.	60
Tabla 3.14. Valores obtenidos del ensayo de tensión MBI, zona de supervivencia.	60
Tabla 3.15. Determinación de la masa de zinc MBI, zona de supervivencia, método gravimétrico.	62
Tabla 3.16. Determinación de la masa de zinc, zona de supervivencia, método de corte micrográfico.	63
Tabla 3.17. Valores obtenidos del ensayo de dureza del MBI, zona de supervivencia.	65
Tabla 3.18. Resumen de las discontinuidades de la Inspección visual TSI soldadura a tope (techo-techo) zona de supervivencia y requisitos de norma.	67
Tabla 3.19. Consolidado de los resultados de doblado de cara y raíz TSI soldadura a tope (techo-techo) zona de supervivencia y requisitos de norma.	70
Tabla 3.20. Valores del ensayo de tracción de las probetas del TSI.	70
Tabla 3.21. Resultados del ensayo de tensión SIET.	72
Tabla 3.22. Resultados de macroscopía óptica de las probetas TSI (techo-techo, zona de supervivencia) y requisitos de la norma.	74
Tabla 3.23. Resultados de macroscopía óptica de las probetas SIET (techo-ventana, zona de supervivencia) y requisitos de la norma.	74
Tabla 3.24. Microdurezas TSI (techo-techo) y SIET (techo-ventana) de la zona de supervivencia.	76
Tabla 3.25. Datos para simulación.	80
Tabla 3.26. Cargas vivas de diseño para autobuses NTE INEN 1323:2009.	81
Tabla 3.27. Masa de elementos que constituyen la carrocería.	82
Tabla 3.28. Velocidades, radios mínimos y peraltes en carretera.	83
Tabla 3.29. Tabla resumen de cargas aplicadas en carrocerías.	85
Tabla 3.30. a) Tabla resumen de los resultados obtenidos del ensayo de simulación estructura nacional.	94
Tabla 3.31 a) Tabla resumen de los resultados obtenidos del ensayo de simulación estructura importada.	96
Tabla 4.1 Análisis de cumplimiento en base a la normativa vigente producto nacional ..	105
Tabla 4.2 Análisis de cumplimiento en base a la normativa vigente producto importado	106

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Denominación
1D	Elementos de 1 dimensión
Ab	Carga de aceleración brusca
AIS	Estándares de la industria automotriz
ANT	Agencia Nacional de Tránsito
ASTM	Asociación Americana de Ensayo de Materiales
Atm	Atmosfera
AWS	Sociedad Americana de Soldadura
°C	Grado Celsius
CAE	Ingeniería asistida por computadora
Cant.	Cantidad
CE	Carbón equivalente
Cod.	Código
CONTRAN	Consejo Nacional de Tránsito (Brasil)
Cx	Coefficiente de resistencia frontal al avance
DCI	Doblado de cara importado
DCN	Doblado de cara nacional
DEMEX	Departamento de Metalurgia Extractiva
DRI	Doblado de raíz importado
DRN	Doblado de raíz nacional
DYSIM	Simulación Dinámica
Ec	ecuación
ECE	Consejo de la Comunidad Europea
EPN	Escuela Politécnica Nacional
F	Carga de frenado

FF	Falta de fusión
FIM	Facultad de Ingeniería Mecánica
G	Carga de giro
h	hora
HRB	Dureza Rockwell B
HSLA	Acero de alta resistencia, baja aleación
ISO	Organización Internacional de Normalización
kg	kilogramo
km	kilómetro
KN	kilo Newton
LRFD	Diseño por factor de carga y resistencia
M	Carga muerta
m	metro
MA	Material de aporte
MB	Material base
MBN	Tubo estructural cuadrado galvanizado producto nacional
MBI	Tubo estructural galvanizado producto importado
MIPRO	Ministerio de Producción, Comercio Exterior e Inversiones
MPa	mega pascuales
N	Newton
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
OEC	Organismo Evaluador de la Conformidad
PBV	Peso bruto vehicular
PNSV	Pacto Nacional por la Seguridad Vial
QEPH	Tipo de elementos finitos tipo shells disponible en Radioss

Raf	Carga de resistencia de aire frontal
RTE	Reglamento Técnico Ecuatoriano
s	segundos
SABS	Buró Sudafricano de Estándares
SAE	Servicio de Acreditación Ecuatoriano
SHELL	Membrana
SIET	tubo estructural galvanizado producto importado soldadura en T
SNET	tubo estructural cuadrado galvanizado producto nacional soldadura en T
TPP	Transporte público de pasajeros
TSN	tubo estructural cuadrado galvanizado producto nacional soldadura a tope
TSI	tubo estructural galvanizado producto importado soldadura a tope
V	carga viva
vs	versus
ZAC	zona afectada por el calor
Zn	zinc

RESUMEN

El presente documento tiene por objeto caracterizar los aceros empleados en la estructura de la zona de supervivencia de carrocerías de fabricación nacional e importadas utilizadas para vehículos de transporte interprovincial mediante la realización de ensayos químicos, mecánicos y microestructurales en probetas pertenecientes a esta clase de aceros. El estudio incluye la verificación del cumplimiento de los requisitos establecidos en el reglamento nacional vigente (RTE INEN 043: 2015) y el estado de los cordones de soldadura en T y a tope utilizando como base las normas AWS. Además, se realizaron simulaciones de la estructura con los diferentes tipos de acero estudiados, con el fin de observar el comportamiento de la zona de supervivencia de las carrocerías, dando como resultado la no invasión de esta zona. Para el estudio se utilizó dos tipos de materiales base; material nacional e importado; ninguno de estos materiales cumplieron las propiedades químicas y mecánicas establecidas en la norma INEN 2415:2016, adicionalmente el material base de origen nacional no cumplió, con el espesor del galvanizado. Al analizar las uniones soldadas, en ambos casos, no se cumple con los requisitos establecidos, motivo por el cual se sugiere realizar controles más rigurosos que incluyan, al menos, ensayos físicos y mecánicos del material base y las juntas soldadas.

Palabras clave: Ensayo de dureza, ensayo mecánico, ensayo metalográfico, ensayo químico, estructura de acero, zona de supervivencia (superestructura).

ABSTRACT

The present document aims to characterize steels used on the construction of the survival zone of body structures of vehicles utilized for public interprovincial transportation through chemical, mechanical and microstructural essays on tube samples from steels. The project includes verifying the compliant of requirements established on national standards RTE INEN 043:2015 and the quality of T and butt weld according to AWS standards. Additionally, simulations of structure were carried out with the different steels analyzed in order, to observe the performance of the survival zone, giving as results no invasion. The materials for this project were of two kinds: first one local and second one imported; none of them complied with the chemical and mechanical properties established on the national standard INEN 2415:2016; besides, local material did not complied with the galvanized thickness. For welded joints, local and imported steels do not complied the requirements of the established in the standard, for this reason it is suggested further inspections that include, physical and mechanical essays of base material and welded joints.

Keywords: hardness essay, mechanical essay, metallographic essay, chemical essay, steel structure, survival zone (super structure).

“CARACTERIZACIÓN DE LOS ACEROS UTILIZADOS EN LAS ESTRUCTURAS DE CARROCERÍAS EN VEHÍCULOS DE TRANSPORTE DE PASAJEROS”

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el Transporte Público de Pasajeros (TPP), es un sector estratégico del desarrollo económico en los diferentes países del mundo, en el Ecuador según la Agencia Nacional de Tránsito (ANT). El servicio de transporte público de pasajeros comprende los siguientes ámbitos: Intraregional, Interprovincial, Intraprovincial, Intracantonal y urbano [1]. Dicho servicio de transporte en Ecuador es uno de los principales medios de locomoción.

El 16 de agosto de 2017, se suscribe el “PACTO NACIONAL POR LA SEGURIDAD VIAL (PNSV)”, cuyo objetivo es promover como política de Estado la generación de una cultura de Seguridad Vial que involucre a todos los actores públicos y privados en la búsqueda y aplicación de las medidas de prevención de los siniestros de tránsito [2] y especifica los diferentes pilares de seguridad, uno de los cuales es contar con vehículos más seguros fortaleciendo el control sobre el ingreso de nuevos automotores al país, que cumplan con estándares de seguridad y calidad, a través de la revisión de las normativas y reglamentos existentes.

Los autobuses nuevos de fabricación nacional (95%) e importados (5%) [3], que ingresan al parque automotor ecuatoriano deben cumplir el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 043: requisitos de desempeño y seguridad de los vehículos de transporte público de pasajeros vigente [4]; con la finalidad de proteger la vida y seguridad de las personas. Además, este reglamento especifica varias Normas Técnicas Ecuatorianas en las cuales se indican los parámetros de cumplimiento, características generales del acero, diseño, fabricación, montaje y espacios de supervivencia, entre otros, que debe cumplir la industria automotriz.

Tomando como ejemplo la industria automotriz Brasileña, se puede observar que las carrocerías son fabricadas en serie y se realizan ensayos de validación antes de empezar con su construcción; se evalúan características dimensionales, resistencia al impacto, ensayos de tracción, flexión, fatiga dinámica, composición química, análisis térmico, microestructural, entre otros.[5] Actualmente, en el Ecuador la evaluación de la conformidad es realizada por los diferentes organismos evaluadores de la conformidad (OEC's) designados por el MIPRO o acreditados por el SAE como parte del proceso de

Homologación Vehicular llevado a cabo por la Agencia Nacional de Tránsito; a través de una verificación documental – visual.

En este trabajo se propone caracterizar los diferentes tipos de aceros utilizados en la fabricación de las estructuras de los autobuses de transporte público de fabricación nacional e importada, específicamente en la zona de supervivencia (superestructura), mediante diferentes ensayos químico-mecánicos, con los cuales se procede a evaluar los materiales con el fin verificar el cumplimiento de especificaciones técnicas según la normativa vigente.

Con el desarrollo satisfactorio de este estudio, los fabricantes de carrocerías contarán con resultados valiosos que podrán ser utilizados para continuar su producción, mejorarla y a futuro, mediante las diferentes entidades de normalización, regulación y control, exigir que los automotores ingresen al país cumpliendo los más estrictos estándares de calidad y seguridad.

Objetivo general

Caracterizar los aceros utilizados en las estructuras de carrocerías en vehículos de transporte de pasajeros.

Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades químicas, mecánicas y microestructurales de los aceros, que se utilizan para la fabricación de las estructuras de los vehículos de transporte de pasajeros interprovincial (zona de supervivencia) con material base de origen nacional e importado.
- Obtener la relación de resistencia de los aceros utilizados en la estructuras de buses interprovinciales con el fin de determinar posibles diferencias en fabricación nacional e importada.
- Verificar el grado de cumplimiento de los aceros utilizados en las estructuras de buses interprovinciales en base a las normativas técnicas vigentes.
- Determinar oportunidades de mejora en la construcción de carrocerías de buses de transporte de pasajeros en el Ecuador.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Vehículos para el transporte de pasajeros

Las unidades de transporte de pasajeros son sistemas integrales, compuestos por subsistemas con comportamiento sinérgico, que en conjunto constituyen uno de los medios de transporte colectivo más adoptados en el mundo. (Figura 1.1). Dentro de la gran cantidad de subsistemas que conforman una unidad de transporte de pasajeros se pueden encontrar sistemas térmicos, mecánicos, de transmisión del movimiento del motor a las ruedas, neumático, acústico, de iluminación, entre otros.



Figura 1.1. Fotografía de bus interprovincial.
(Fuente: Propia, 2018)

1.2. Definiciones importantes

Carrocería; es el conjunto de diferentes elementos estructurales, de seguridad y confort que se adiciona al chasis de forma fija para el transporte de pasajeros.

Chasis o bastidor; constituye el soporte de todos los órganos principales del vehículo (motor, transmisión, suspensión sobre la que se apoya, dirección, ruedas, frenos).

Bahía; es una sección de la superestructura formada entre dos planos perpendiculares al plano central vertical y longitudinal. Una bahía contiene un pilar de una ventana (o puerta) en cada lado del vehículo, elementos de los paneles laterales, del techo y del piso.

Sección de la carrocería; es una unidad estructural que representa una parte de la superestructura para el ensayo de vuelco. Una sección de la carrocería está formada por al menos dos bahías unidas por elementos de conexión representativos (estructuras laterales, del techo y del piso).

Espacio de supervivencia; es el espacio protegido para el habitáculo de los pasajeros, tripulación y conductor para proporcionar mayores posibilidades de supervivencia en caso de un accidente por vuelco.

Travesaño superior; es el componente estructural longitudinal ubicado arriba de las ventanas e incluye la transición de forma circular a la estructura del techo. En el ensayo de vuelco lateral el travesaño superior es el primero en chocar contra el suelo.

Travesaño inferior; es el componente estructural longitudinal ubicado debajo de las ventanas. En el ensayo de vuelco lateral, la superficie del travesaño inferior choca contra el suelo después de la deformación inicial producida cuando el travesaño superior choca con el suelo [6].

1.2.1. Configuración de los vehículos para el transporte de pasajeros

Los vehículos de transporte público de pasajeros pueden presentar las siguientes configuraciones:

Motor delantero y chasis tipo escalera (Ladder); es el tipo de chasis más utilizado para el transporte pesado, constituido por dos perfiles estructurales conectados por dos o más miembros transversales. Su amplia aplicación se debe a la facilidad en su construcción y alta rigidez a flexión, siendo esta última la característica necesaria en vehículos de transporte de carga y pasajeros (Figura 1.2) [7].



Figura 1.2. Estructura básica del chasis tipo escalera.
(Fuente: Manual montaje de carrocería modelo HINO AK8JRSA:2015)

Ventajas:

- Concepto de manejo simple y de bajo costo.
- Alto flujo de aire para refrigeración.
- Buena distribución de carga del eje frontal y eje posterior.
- Fácil acceso para realizar mantenimientos y reparaciones.

Desventajas:

- Baja rigidez torsional
- Alto ruido, aislamiento muy costoso.
- Alta generación de calor en el asiento del conductor, aislamiento muy elaborado.
- Tamaño y acceso estrecho al habitáculo del conductor, usualmente se requiere puerta del conductor.
- El acceso para pasajeros es limitado y estrecho en la puerta.
- Nivel de entrada alto, usualmente se requiere incorporar un escalón retráctil.
- Dificultad para instalar el asiento del conductor, co-piloto e instalaciones eléctricas y neumáticas en la parte frontal.

Motor posterior y chasis tipo buggy; esta disposición, permite diseñar y construir carrocerías auto portantes, las cuales absorben mejor el impacto al producirse una colisión, mediante la deformación progresiva, controlada de la parte delantera y trasera del vehículo, sin que afecte al compartimento o habitáculo destinado a los pasajeros (Figura 1.3).



Figura 1.3. Estructura básica del chasis tipo buggy.
(Fuente: Manual montaje de carrocería modelo Scania K360:2015)

Ventajas:

- Buena propulsión a través de la distribución de carga en el eje de tracción.
- Uso de espacio óptimo, más amplio para equipajes.
- Puesto de conductor y co-piloto no muy estrecho.
- Conveniente, seguro con acceso rápido para pasajeros a través de una entrada amplia.
- Bajo ruido
- Más confort para los pasajeros (suspensión neumática).

Desventajas:

- Diseño de manejo más complejo (enfriamiento, instalación del motor, entre otros)
- Más carga aplicada en el eje posterior.
- El mantenimiento es más costoso.

1.2.2. Configuración de la zona de supervivencia

La superestructura está formada por la unión de paneles, para incrementar la resistencia de estos paneles se deben utilizar tirantes diagonales y la unión de los elementos estructurales de los paneles debe realizarse de manera que se logre una transmisión de fuerza adecuada en todo momento [6].

La zona de supervivencia o superestructura y el bastidor deben formar una sola unidad capaz de soportar todas las fuerzas que se presentan durante la operación normal del autobús. En ninguna circunstancia durante la operación normal deben presentarse esfuerzos excesivos que provoquen la deformación plástica de la superestructura (Figura 1.4).

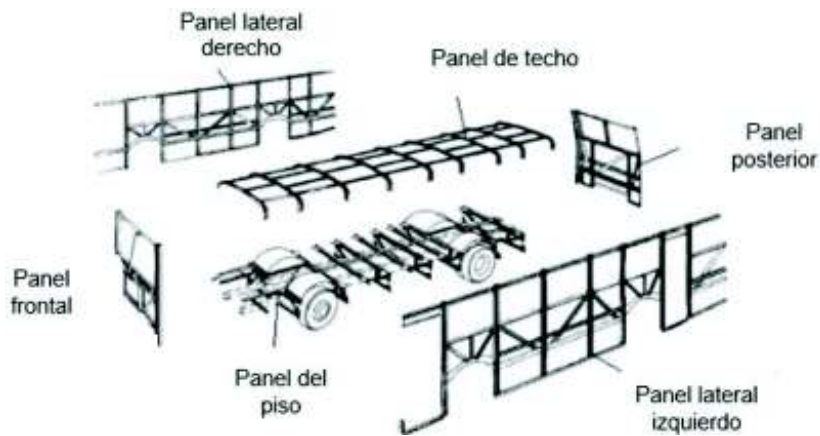


Figura 1.4. Representación de la zona de supervivencia.
(Fuente: Palacios, P., & Antonio, J. / 2014)]

1.3. Tipos de análisis en vehículos para el transporte de pasajeros

La tendencia actual en la construcción de vehículos para el transporte de pasajeros a nivel mundial está enfocada en cubrir los siguientes aspectos:

- Satisfacción del cliente
- Medio ambiente y comunidad
- Mercado competitivo
- Seguridad

Los análisis son necesarios para encontrar optimización de estructuras, desarrollo de autobuses más seguros evaluando las propiedades básicas de los materiales, respecto a los requerimientos mecánicos, metalúrgicos y químicos; dependiendo del mercado al que se va a producir.

Para mercados competitivos como los europeos o brasileños, los fabricantes de autobuses realizan diferentes tipos de análisis como se detalla en la Figura 1.5:

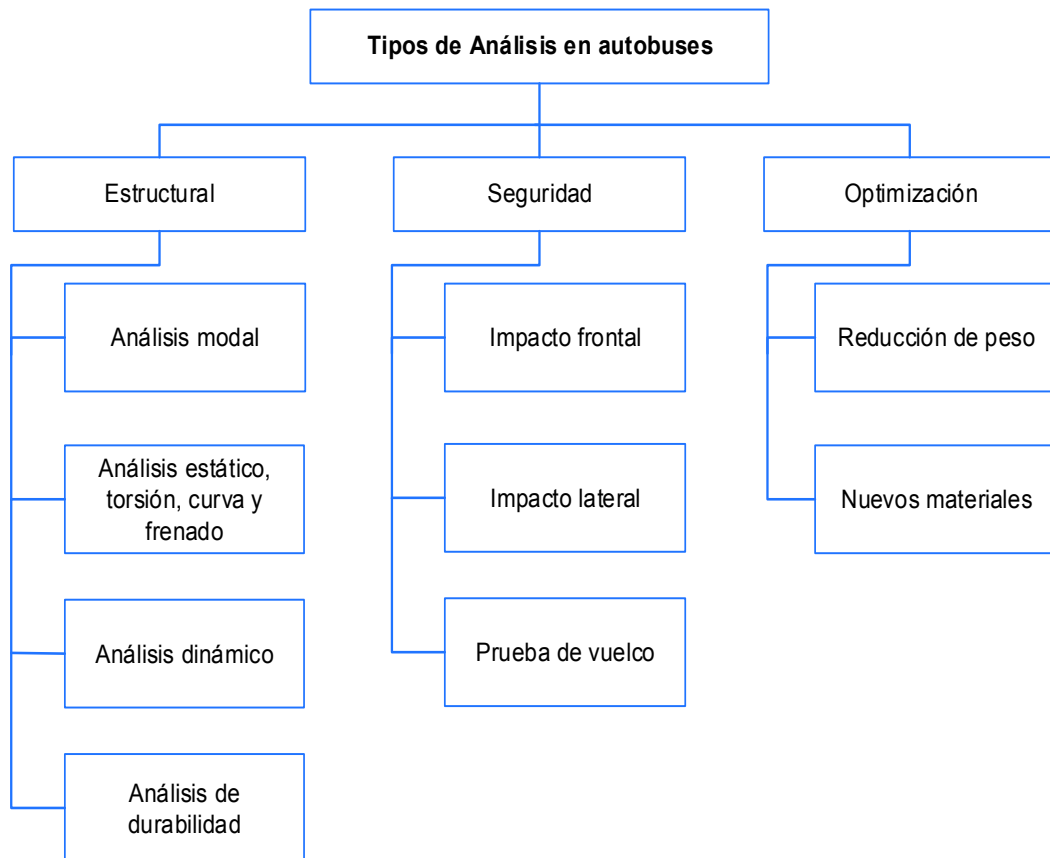


Figura 1.5. Tipos de análisis para el transporte público de pasajeros.
(Fuente: Propia, 2018)

1.3.1. Análisis estructural

Los vehículos para el transporte de pasajeros están sometidos a muchos tipos de esfuerzos y diferentes cargas, haciendo más complejo ensayar, aprobar y hacer viable los nuevos diseños estructurales.

La metodología para realizar este tipo de ensayos requiere paquetes informáticos especializados de Ingeniería Asistida por Computadora (CAE), como por ejemplo: Ansys Work-Bench 9.0 en los que se modelan en tres dimensiones los nodos estructurales representativos. Los resultados se usan como parámetros de comparación entre los valores que fueron encontrados experimentalmente, con los valores calculados por elementos finitos (Figura 1.6).

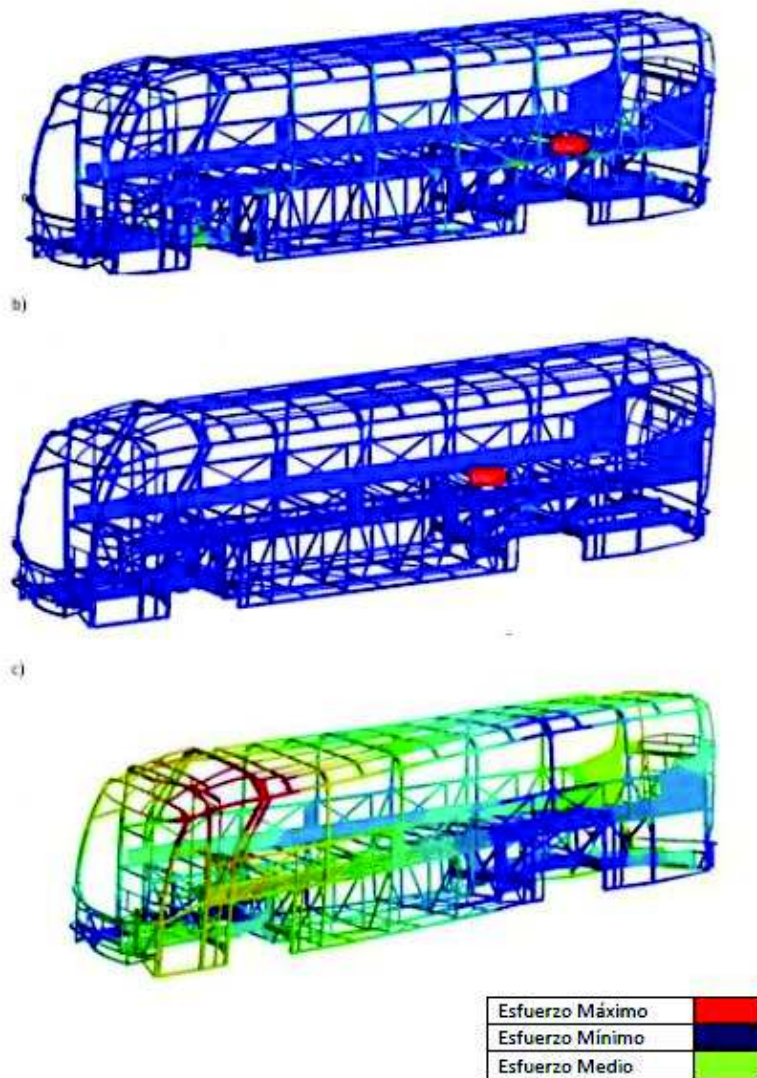


Figura 1.6. Análisis estructural a) curva b) frenado y c) torsión.
(Fuente: Propia, 2018)

Los ensayos experimentales se realizan para calibrar el método de elementos finitos como se observa en la Figura 1.7.

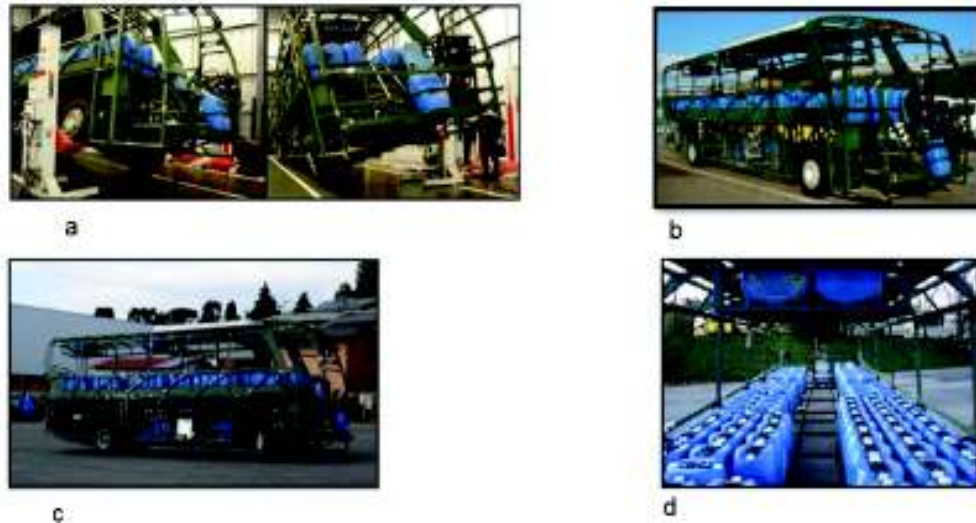


Figura 1.7. Ensayos experimentales para análisis estructural a) torsión b) frenado c) curva y d) peso propio.
(Fuente: propia, 2018)

Es así que el análisis de durabilidad que consiste en el proceso de diseño y construcción de autobuses, debe asegurar que por efectos de torsión, vibración, caminos de segundo, tercer orden y por la alta velocidad no se vean afectadas las estructuras de los vehículos de transporte de pasajeros, para lo cual se realizan correlaciones entre distintas pistas de prueba experimentales y virtuales como se indica en la Figura 1.8 y Figura 1.9.

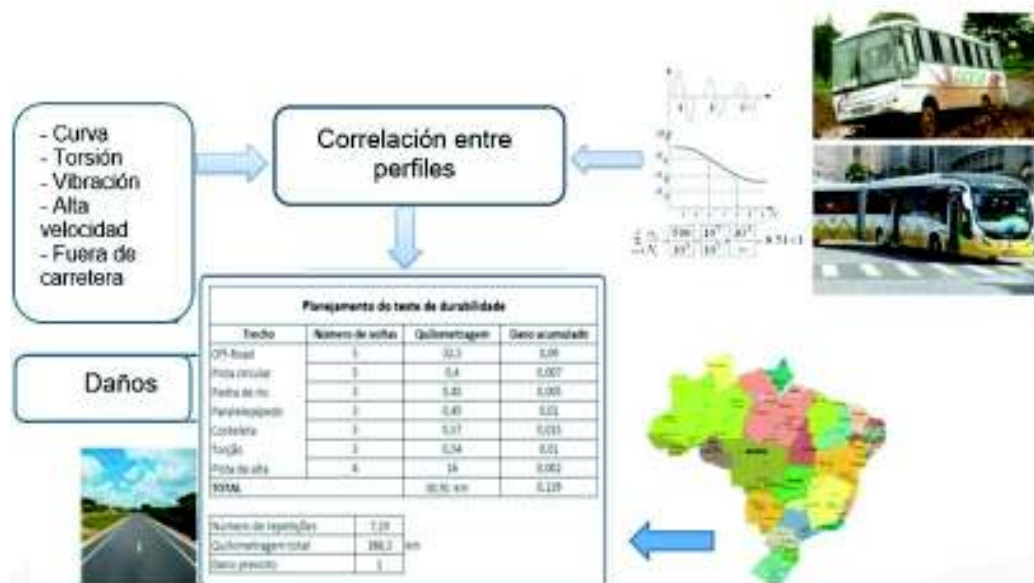


Figura 1.8. Análisis estructural experimental de durabilidad.
(Fuente: Propia, 2018)

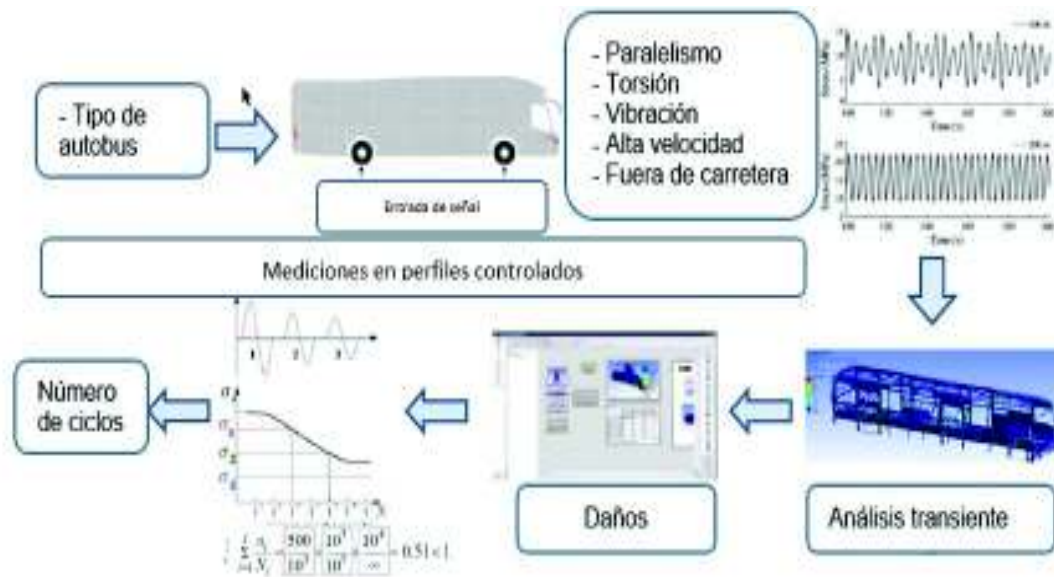


Figura 1.9. Análisis estructural virtual de durabilidad.
(Fuente: Propia, 2018)

1.3.2. Análisis de Seguridad

La carrocería es un elemento importante de seguridad pasiva, ya que en el caso de colisión absorbe la mayor cantidad de energía posible. El diseño de todas las carrocerías se basa en disipar desaceleraciones superiores a las que puede soportar el cuerpo humano.

1.3.2.1. Zonas de disipación de desaceleraciones

Zona central; formada por el habitáculo de pasajeros, es la zona más rígida del vehículo y no debe deformarse.

Zona frontal y trasera; se deforma fácilmente y su misión es proteger la zona central, transformando la energía cinética de la colisión en energía de deformación.

La carrocería no es sólo un marco de metal sobre el cual se colocan otras piezas que conforman el bus propiamente dicho, sino que debe garantizar un manejo sin contratiempos, como los producidos por las curvas cuando se viaja a exceso de velocidad, su estructura se desarrolla como una célula de seguridad, con una arquitectura que conduce de forma calculada los flujos de introducción de fuerzas.

En un choque o volcamiento, la onda expansiva se traslada a la cabina y produce tres tipos de impactos a los pasajeros; el impacto inicial lo recibe el conductor y los ocupantes, un segundo impacto se da desde las personas hacia la estructura del vehículo (volante, parabrisas, techo, apoyacabezas, cinturón de seguridad) y el tercero se da entre los órganos del cuerpo hacia la estructura ósea de los pasajeros (el corazón se impacta con el

tórax, pulmones, costillas, el cerebro con las paredes frontales) todo esto, en cuestión de segundos (Figura 1.10).

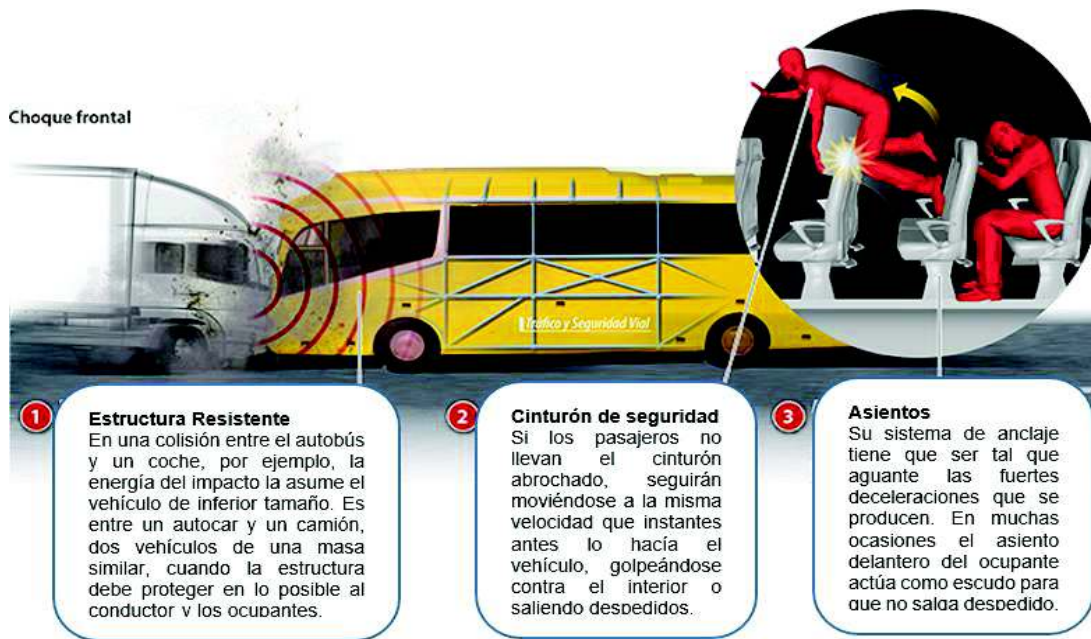


Figura 1.10. Tipos de impacto a los pasajeros.
(Fuente: Propia, 2018)

Es importante mencionar que en el segundo impacto es donde se podría reducir el elevado índice de muertes con estructuras con altos estándares de seguridad. En la Figura 1.11, se muestran ejemplos de accidentes de tránsito en los que se involucran autobuses y en los cuales se puede observar algunas consecuencias de los impactos con las víctimas que fueron arrojadas de los vehículos, otras mutiladas y con contusiones.



Figura 1.11. Parámetros de volcamiento.
(Fuente: Propia, 2018)

En caso de impacto, las “zonas de deformación” diseñadas permiten lograr de forma controlada, la máxima absorción de energía y la máxima protección de los ocupantes.

Los avances en seguridad implementados en autobuses que ingresan a mercados europeos, en los últimos años han resultado ser eficientes. Sin embargo, en caso de una colisión especialmente frontal no solo el conductor es susceptible de lesiones en un accidente, sino también el resto de pasajeros, quienes frecuentemente sufren serias o fatales lesiones (Figura 1.12).

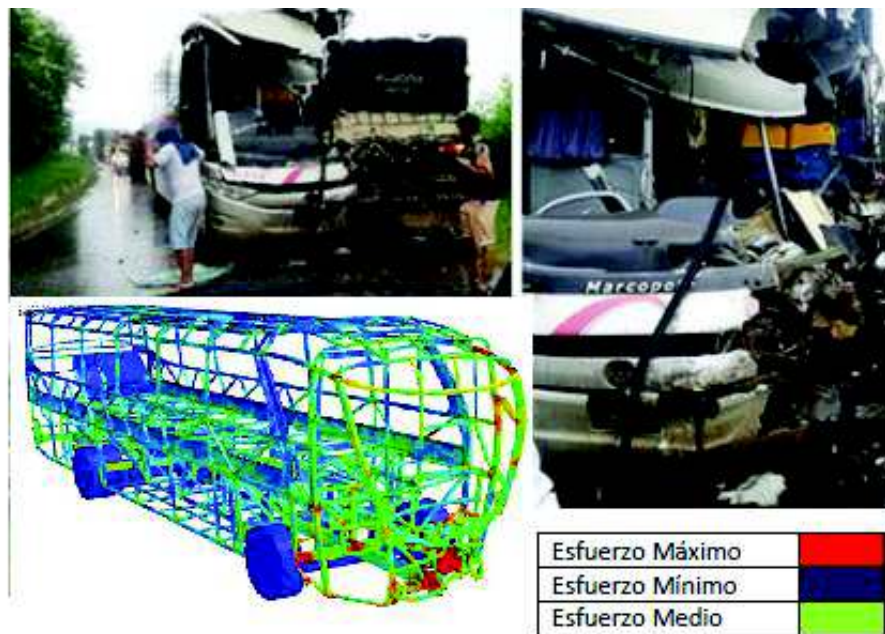


Figura 1.12. Impacto frontal y prueba de simulación.
(Fuente: Propia, 2018)

En un vuelco lateral, el primer impacto tiene lugar bien en el lateral, cerca de la unión lateral/techo o en el techo, dependiendo de la cinemática del vuelco y la configuración del terreno, el caso más desfavorable se presenta cuando el impacto tiene lugar en la unión lateral/techo. Las deformaciones plásticas se originan a nivel de piso, o en las uniones de asientos laterales y en las zonas de unión lateral/techo. Cuando estas deformaciones son importantes los asientos contribuyen notablemente a la resistencia de la superestructura (zona de supervivencia) pudiendo originar cambios en el mecanismo de deformación.

En algunos accidentes los asientos pueden tener un papel particularmente importante en el proceso de absorción de energía, ya que contribuyen a rigidizar la estructura lateralmente, ayudando a preservar de este modo algún espacio de supervivencia para los pasajeros (Figura 1.13) [11].

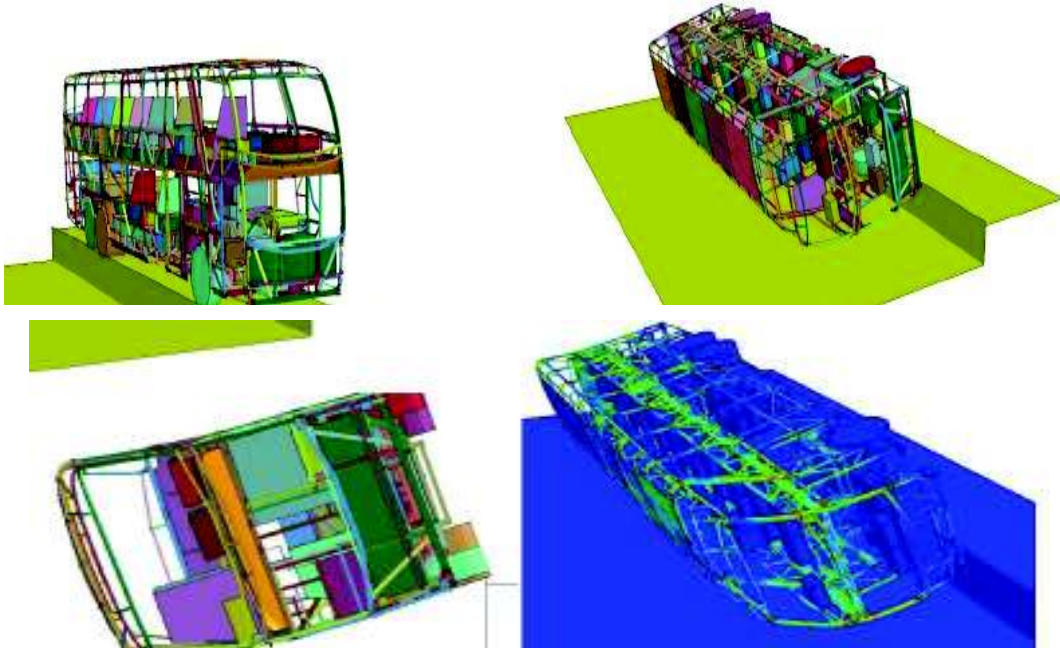


Figura 1.13. Pruebas de análisis de seguridad prueba de vuelco.
(Fuente: Propia, 2018)

La reducción de daños y lesiones fatales en el desarrollo y construcción de un autobús es apropiada para un tipo de accidente, pero no es generalmente efectivo para todos. Por ejemplo, el diseño de una modificación en la estructura que es muy efectiva para vuelco, pero no es efectivo para un impacto frontal y viceversa. Por lo tanto, el desarrollo de la estructura que cumpla todos los requerimientos es una tarea compleja.

Cuando la estructura empieza a colapsar, la mayor parte de energía se absorbe y se produce una deformación permanente del material, la cual se encuentra localizada en las rótulas del mecanismo de colapso [11].

En el Ecuador el reglamento RTE INEN 043 (2R) [4], se aplica a todo vehículo que va ingresar al parque automotor ecuatoriano sean importados, ensamblados o fabricados en el país, los mismos que deben cumplir entre otros requisitos, lo contemplado en la norma NTE INEN 1323:2009 “VEHICULOS AUTOMOTORES. CARROCERIAS DE BUSES. REQUISITOS” [12].

La norma NTE INEN 1323:2009 [12], establece deformaciones máximas en el espacio de supervivencia de la estructura mas no hace mención a las colisiones; los siguientes ítems hacen referencia a los aspectos de fabricación de carrocerías:

- Materiales a utilizarse;
- Espacio de supervivencia; y
- Peso máximo.

También, las distintas cargas que afectan a la estructura y sus distintas combinaciones:

- Carga muerta (M)
- Cargas vivas (V)
- Cargas de giro (G)
- Cargas de frenado (F)
- Carga de aceleración brusca (Ab)
- Carga de resistencia de aire frontal (Raf)

1.3.3. Análisis de optimización

La industria de autobuses busca actualmente una reducción de peso para cumplir las más estrictas regulaciones, como bajar las emisiones contaminantes en el medio ambiente, a través de una reducción en el consumo de combustible. En Brasil como en otros países de Latinoamérica el uso de aceros con alta resistencia mecánica en la estructura de autobuses recién está empezando. En Europa esta práctica sigue muy de cerca el desarrollo de la industria de automotores. [5]

Nuevos materiales; debido al actual escenario de la industria automotriz, se ha visto la necesidad de investigar, desarrollar y aplicar nuevos materiales para lo cual la industria de autobuses realiza numerosos ensayos tanto en laboratorios como en campo, acorde a las características mecánicas y químicas definidas por las compañías fabricantes de vehículos de pasajeros (Figura 1.14).



Figura 1.14. Test de nuevos materiales aplicados en la fabricación de autobuses.
(Fuente: Propia, 2018)

Entre los principales materiales utilizados en la fabricación de estructuras de carrocerías que brindan un mejor comportamiento al impacto, sean más livianas y resistentes a la corrosión están:

- Aceros micro-aleados HSLA (High strength low alloy); permiten reducir el peso de las carrocerías en un 35%. Además, sus propiedades mejoran la resistencia al impacto y a la torsión.

Un ejemplo de esto es, el reemplazo del acero ZAR 230, ampliamente utilizado por la industria de autobuses en Brasil por el acero HSLA ZSTE 380 [13].

- Aceros inoxidables; han dado paso a toda una generación de nuevos materiales conocidos como súper-aleaciones. Destaca por su contenido en cromo y níquel, su resistencia a la acción de numerosos agentes corrosivos, por tener gran ductilidad y maleabilidad lo que facilita que pueda ser trabajado en frío por diferentes procedimientos.

Los aceros inoxidables austeníticos: AISI 201, AISI 301, AISI 304 y los ferríticos: SA40977, 409 y 430 son considerados como los de mayor aplicación en el revestimiento exterior de autobuses y autocares. Un ejemplo del uso de este acero en la construcción de carrocerías para buses; es el encontrado en la empresa finlandesa como volvo, donde el material básico de 9700 buses fue el acero inoxidable [14].

- Aluminio; dadas las excelentes características y ventajas en la industria automotriz, varias empresas de fama mundial lo han adoptado como su materia prima preferida para la fabricación de carrocerías.

Para citar un ejemplo, se tiene que en la ciudad de Beijing “Bus Company”, principal fabricante de autobuses de China y segunda productora en el mundo, presentaron prototipos de autobuses, usando como material predominante el aluminio [14].

En el Ecuador, la producción de carrocerías poco a poco está dejando de ser un oficio artesanal y unitario para convertirse en una industria de producción en masa, debido a la demanda del mercado y a las oportunidades que éste ofrece, por lo cual es imperioso que los fabricantes apliquen principios y criterios de ingeniería de análisis y simulación para asegurar un producto de calidad confiable y de alta durabilidad.

1.4. Normativas que deben cumplir los aceros utilizados en la fabricación de carrocerías

Con el fin de homologar el parque automotor ecuatoriano, en el país se han establecido requisitos de carácter legal y técnico, a través de resoluciones y normas que deben cumplir los automotores de fabricación nacional e importados con el objetivo de minimizar y en lo posible eliminar las consecuencias de los accidentes de tránsito, donde intervienen como causa directa o indirecta, los factores relacionados entre: hombre- vehículo- medio.

Dentro de las regulaciones técnicas se han puesto en vigencia reglamentos, dentro de los cuales se establecen los requisitos mínimos estructurales que debe cumplir los vehículos de transporte público de pasajeros, para conseguir que durante y después de su funcionamiento normal y/o accidente (mediante ensayos definidos), no se produzcan intrusiones en la superestructura (espacio de supervivencia). En el Ecuador se tiene las siguientes regulaciones, las cuales se basan en requisitos legales y técnicos y se encuentran descritos en la Tablas 1.1.

Tabla 1.1. Regulaciones de carácter legal y técnico para homologación vehicular.

Tipos de requisitos	Código	Título	Observaciones
Legales	RES-097- DIR-016- ANT:2016	"Reglamento del procedimiento general de homologación vehicular y dispositivos de medición, control, seguridad, y certificación de los vehículos comercializados" [1]	Establece los requisitos, las disposiciones administrativas y procedimientos aplicables para la obtención del certificado único de homologación de vehículos automotores; dispositivos de medición, control y seguridad de transporte terrestre y carrocerías, sean importados, ensamblados o fabricados en el país, como requisito obligatorio previo al ingreso al país, matriculación y su comercialización, a fin de garantizar un servicio de calidad e integridad de los usuarios y operadores. Reforma: RES-068-DIR- 2017-ANT
	RTE INEN 034 (4R):2016	"Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores" [15]	Establece los requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir los vehículos automotores que circulen en el territorio ecuatoriano, con la finalidad de proteger la vida e integridad de las personas; así como el fomentar mejores prácticas al conductor, pasajero y peatón. Modificatorias: RTE INEN: 034-M1 (2016-10-05); RTE INEN: 034-M2 (2017-03-09); RTE INEN: 034-M3 (2017-04-19); RTE INEN: 034-M4 (2018-07-16).
Técnicos	RTE INEN 043:2015	"Vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e interprovincial" [4]	Establece los requisitos de desempeño y seguridad que deben cumplir los vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovincial, con la finalidad de proteger la vida y la seguridad de las personas, el ambiente, la propiedad y prevenir prácticas engañosas que puedan inducir a error a los fabricantes o usuarios finales. Modificatorias: RTE INEN 043-M1 (2015-11-26); RTE INEN 043-M2 (2018-01-25); RTE INEN 043-M3 (2018-06-04); RTE INEN 043-M4 (2018-07-16).

(Fuente: Propia, 2018)

Dentro del RTE INEN 043:2015 [4] para los vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovincial, se han establecido normativas, las cuales se describen en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Normas técnicas del RTE INEN 043:2015 para transporte público de pasajeros.

Código	Título	Observaciones
NTE INEN 1668: 2015	"Vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovincial. Requisitos" [16]	Establece los requisitos que deben cumplir los vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovincial.
NTE INEN 1323: 2009	"Vehículos automotores. Carrocerías de buses. Requisitos" [12]	Establece los requisitos generales para el diseño, fabricación y montaje de carrocerías de buses para todas sus modalidades.
NTE INEN 2415: 2016	"Tubos de acero al carbono soldados para aplicaciones estructurales y usos generales. Requisitos" [17]	Establece los requisitos que deben cumplir los tubos de acero al carbono tanto negro como galvanizado, conformados en frío, soldados (con costura) de sección circular, cuadrada, rectangular o especial para aplicaciones estructurales y usos generales. Esta norma es aplicable a tubería de hasta 2235 mm de perímetro y un espesor de pared de hasta 22 mm.
NTE INEN 1623 (4R): 2015	"Perfiles abiertos de acero conformados en frío negros o galvanizados para uso estructural. Requisitos e inspección" [18]	Aplica a todos los perfiles abiertos conformados en frío para uso estructural, fabricados en acero al carbono negro o pre-galvanizado según los grados establecidos. El uso de los mismos debería estar sujeto al cálculo estructural que lo respalde.

(Fuente: RTE INEN 043:2015)

2. MATERIALES Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La elección de los materiales es fundamental para realizar la caracterización de los aceros utilizados en las carrocerías de los vehículos de transporte de pasajeros, en especial en el interprovincial de fabricación nacional e importada, estos materiales deben cumplir de forma obligatoria con el reglamento RTE INEN 043:2015 [4] referente a los requisitos técnicos relacionados con el proceso de homologación para vehículos de transporte y sus respectivas modificatorias.

La Figura 2.1, presenta el diagrama del procedimiento empleado para la caracterización de los aceros utilizados en la fabricación de carrocerías en el presente estudio.

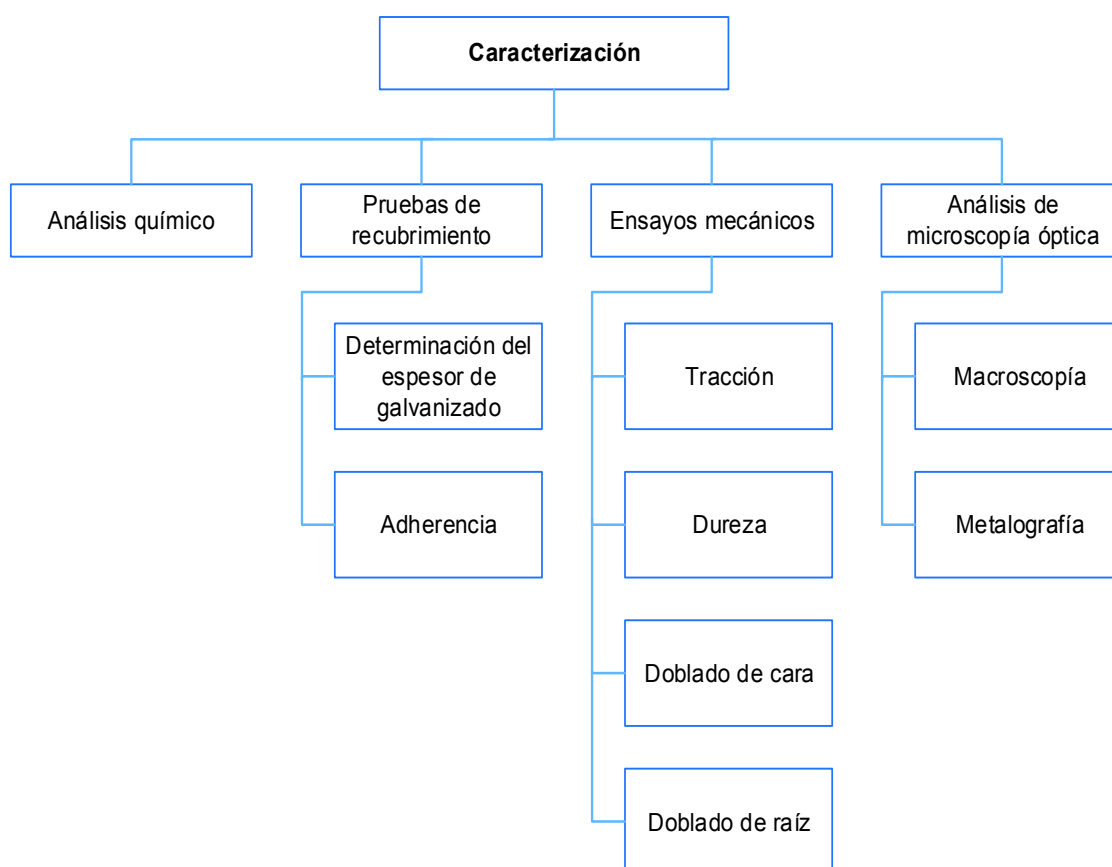


Figura 2.1. Diagrama de procedimiento experimental.

(Fuente: Propia, 2018)

Cabe recalcar que las máquinas e instrumentos de precisión utilizados fueron debidamente verificados antes de la ejecución de cada uno de los ensayos realizados.

2.1. Elección de los materiales para la obtención de probetas para análisis

Para la selección de los materiales es importante conocer la procedencia de los vehículos de transporte de pasajeros que ingresan al parque automotor ecuatoriano y verificar el proceso que se realiza para homologar este tipo de vehículos.

Según la ANT con mayor frecuencia ingresan al Ecuador autobuses de origen Chino y Brasileño; con gran parte de su fabricación local [1]. Dentro del proceso de homologación vehicular, no se exige la realización de ensayos mecánicos, químicos y/o metalográficos para determinar la naturaleza de los aceros utilizados en las estructuras de los autobuses, solamente se realiza una inspección visual y documental mediante un Check-List realizado por el organismo evaluador de la conformidad (ANEXO L).

La materia prima se obtuvo de dos empresas fabricantes de carrocerías, las cuales proporcionaron los aceros utilizados en el presente estudio. La materia prima de origen nacional, fue proporcionada por una empresa, ubicada en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, y para el producto importado una empresa Brasileña.

El acero seleccionado es parte de la zona central de la estructura de autobuses, la cual es el habitáculo de los pasajeros, conocido también como espacio de supervivencia y/o superestructura. Los elementos que forman dicha estructura son fundamentales para el presente estudio por lo tanto los planos de las carrocerías permiten identificar los aceros utilizados y el porcentaje de su uso en cada una de las estructuras tanto nacional como importada, tal como se indican en las Figura 2.2 y Figura 2.3.



Figura 2.2. Estructura lateral derecha de un autobús de fabricación nacional.
(Fuente: Planos de Simulación. Anexo C)

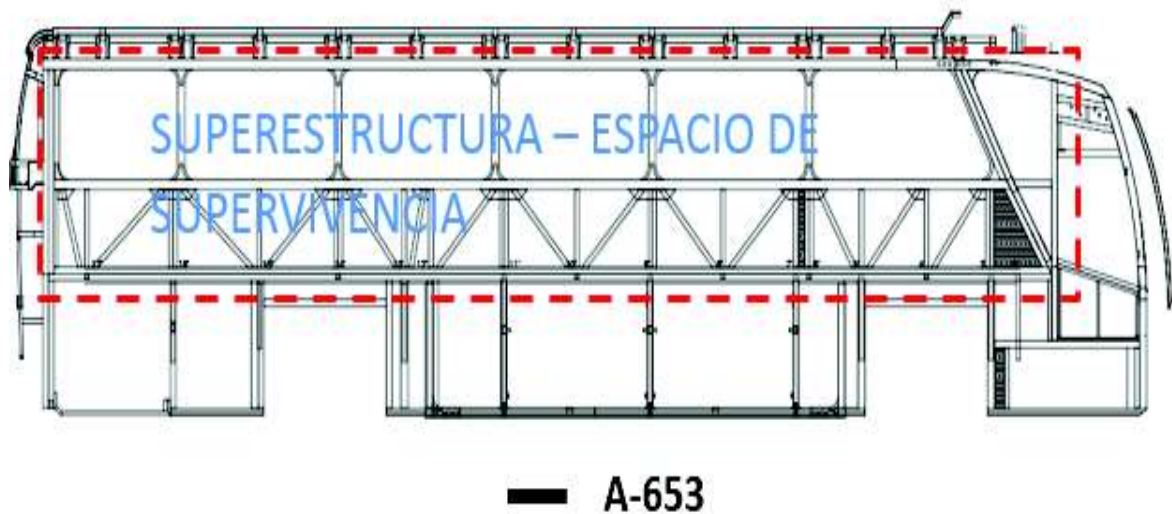


Figura 2.3. Estructura lateral derecha de un autobús de fabricación importada.
(Fuente: Planos de Simulación. Anexo C)

Cabe recalcar que la materia prima seleccionada corresponde a tubos estructurales galvanizados, elementos presentes con mayor frecuencia en la estructura para ambos tipos de autobuses (nacional e importado).

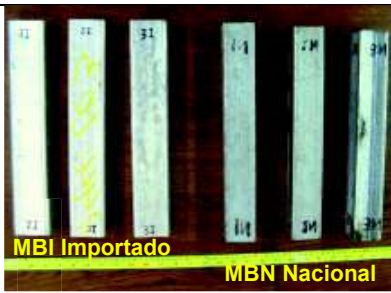
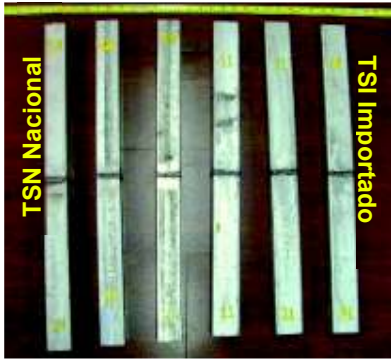

Las características principales de este tipo de aceros se pueden encontrar en el anexo A. Las muestras de acero estructural utilizadas en el presente proyecto de investigación se codifican de acuerdo con lo que se muestra en la Tabla 2.1, se consideran dimensiones, cantidades y una descripción general de cada una de las muestras.

A partir de estas muestras se extrajeron las probetas que fueron sometidas a ensayos químicos, mecánicos, microestructurales y entre otros.

Las muestras con uniones soldadas, pertenecen a la zona de supervivencia. La soldadura a tope es de la sección techo- techo y la soldadura en T de techo- ventana; las cuales fueron elaboradas por los trabajadores de cada una de las empresas participantes.

Se debe indicar que los soldadores se encuentran debidamente calificados para este tipo de trabajo, según lo expresa cada uno de los fabricantes (Anexo B).

Tabla 2.1. Identificación de los elementos entregados para caracterización.

Nro.	Descripción	Cant.	Cod.	Observaciones	Fotografías
1	Tubo estructural cuadrado galvanizado producto nacional	3	MBN	Cuadrado de 50 mm x 50 mm con espesor de 2mm y longitud de 330 mm.	
2	Tubo estructural cuadrado galvanizado producto importado	3	MBI	Rectángulo de 60 mm x 40 mm con espesor de 4,8 mm y longitud de 300 mm.	
3	Tubo estructural cuadrado galvanizado producto nacional soldadura a tope	3	TSN	Cuadrado de 50 mm x 50 mm con espesor de 2 mm, soldado a tope y longitud total de 650 mm.	
4	Tubo estructural cuadrado galvanizado producto importado soldadura a tope	3	TSI	Rectángulo de 60 mm x 40 mm con espesor de 4,8 mm y longitud total de 600 mm, soldado a tope.	
5	Tubo estructural cuadrado galvanizado producto nacional soldadura en T	3	SNE T	Cuadrado de 50 mm x 50 mm con espesor de 2 mm soldados en T.	
6	Tubo estructural cuadrado galvanizado producto importado soldadura en T	3	SIET	Rectángulo de 60 mm x 40 mm con espesor de 4,8 mm, soldado en T.	

(Fuente: Propia, 2018)

2.2. Metodología experimental

Para el estudio se realizaron diferentes ensayos a las probetas de las muestras de la materia prima y a las uniones soldadas a tope (techo- techo) y en T (techo- ventana) de la zona de supervivencia de los productos nacionales e importados proporcionados por las empresas fabricantes de carrocerías para determinar las propiedades de cada material.

2.2.1. Ensayo de composición química del material base

Con el objeto de evaluar químicamente las materias primas utilizadas en la zona de supervivencia, se tomó como referencia la norma NTE: INEN 2415:2016, literal 5.1.2 [17];

que establece los valores máximos de aleantes que deben estar presentes en las materias primas con recubrimientos (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Requisitos químicos para materias primas con recubrimiento Zn- Al- Mg.

Grado	Carbono [%]	Manganeso [%]	Fósforo [%]	Azufre [%]
Grado 220				
Grado 250				
Grado 280	0,20 máx.	1,70 máx.	0,10 máx.	0,045 máx.
Grado 320				
Grado 350				

(Fuente: Requisitos Norma Técnica Ecuatoriana 2415: 2016 Tabla 9)

La preparación de las probetas y el ensayo de composición química, se efectuó tomando como referencia la norma ASTM E415:2017¹, considerando el diámetro de abertura (12 mm), del equipo empleado (Figura 2.4), un espectrómetro de emisión de chispa perteneciente al DEMEX de la facultad de ingeniería química de la EPN, que cumple con las características técnicas mostradas en la Tabla 2.3.



Figura 2.4. Muestras para análisis químico.
(Fuente Propia: 2018)

Tabla 2.3. Especificaciones del espectrómetro de emisión.

Descripción	Especificación	Imagen
Marca:	BRUKER	
Modelo:	Q4TASMAN	
Frecuencia:	50 a 1000 Hz	
Potencia:	600 W durante la medición, 50 W en espera	
Atmósfera utilizada:	Argón	
Descarga de chispa y arco:	10µs a 2 ms	

(Fuente: Propia, 2018)

¹ ASTM E415:2017 Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry

2.2.2. Propiedades mecánicas del material base

En el Ecuador para el proceso de homologación se establecen los requisitos que deben cumplir las materias primas con recubrimientos y/o tubos estructurales, respecto a las propiedades mecánicas de los materiales empleados en las carrocerías. La NTE: INEN 2415:2016, literales 5.1 y/o 5.2 [17], indica los valores mínimos de elongación, resistencia a la tracción y límite de fluencia, que deben cumplir este tipo de elementos (Tabla 2.4).

Tabla 2.4. Clasificación y propiedades mecánicas de los tubos.

Requisitos mecánicos para materias primas con recubrimiento de Zn- Al- Mg				
Grado	Límite de fluencia mínima [MPa]	Resistencia a la tracción mínima [MPa]	Elongación mínima en 80 mm [%]	
Grado 220	220	300	20	
Grado 250	250	330	19	
Grado 280	280	360	18	
Grado 320	320	390	17	
Grado 350	350	420	16	

Clasificación y propiedades mecánicas de los tubos¹				
Grado	Descripción	Límite de fluencia mínima [MPa]	Resistencia a la tracción mínima [MPa]	Elongación mínima en 50 mm [%]
A	Tubo	270	310	25B
B	estructurales de sección	315	400	23C
C	cuadrada, rectangular o	345	425	21D
D	especial	250	400	23C

¹ASTM A500/A500M Table 2 Tensile requirements

B Se aplica a espesor de pared (e) igual o mayor a 3.05 mm. Para espesores menores de lo especificado, el valor mínimo de elongación en 50 mm debe ser calculado por la ecuación $\% = 2.2e + 17.5$ redondeado al espesor más cercano.

C Se aplica a espesor de pared (e) igual o mayor a 4.57 mm. Para espesores más ligeros, el mínimo valor de elongación en 50 mm debe ser calculado por la fórmula $\% = 2.4e + 12$ redondeado al espesor más cercano.

D Se aplica a espesor de pared (e) igual o mayor a 3.05 mm. Para espesores más ligeros, el mínimo valor de elongación en 50 mm puede ser por acuerdo con el fabricante.

(Fuente: Requisitos Norma Técnica Ecuatoriana 2415:2016, tabla 5 y 10)

Para obtener las propiedades mecánicas de las muestras, se utilizó la máquina universal del Laboratorio de Ensayos Mecánicos del INEN, y cuyas especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Especificaciones de la máquina universal de ensayos para tracción.

Descripción	Especificación	Imagen
Marca:	TINIUS OLSEN	
Modelo:	ELECTROMATIC IV	
Serie:	130495	
Intervalo de Medida:	100 [kN]	
Aplicación de carga:	Sistema Mecánico	
Número de certificado:	LNM-F-201800034D	
Fecha de Calibración:	2018-05-04	

(Fuente: Propia, 2018)

El método de ensayo de tracción se especifica en el literal 7.2 de la norma NTE INEN 2415:2016 [17]; que establece el cumplimiento de la norma NTE INEN ISO 6892-1:2017².

La norma NTE INEN ISO 6892-1:2017 [19], literal 6, determina la geometría y dimensiones de las probetas, las mismas que se presentan en las Figuras 2.5 y 2.6.

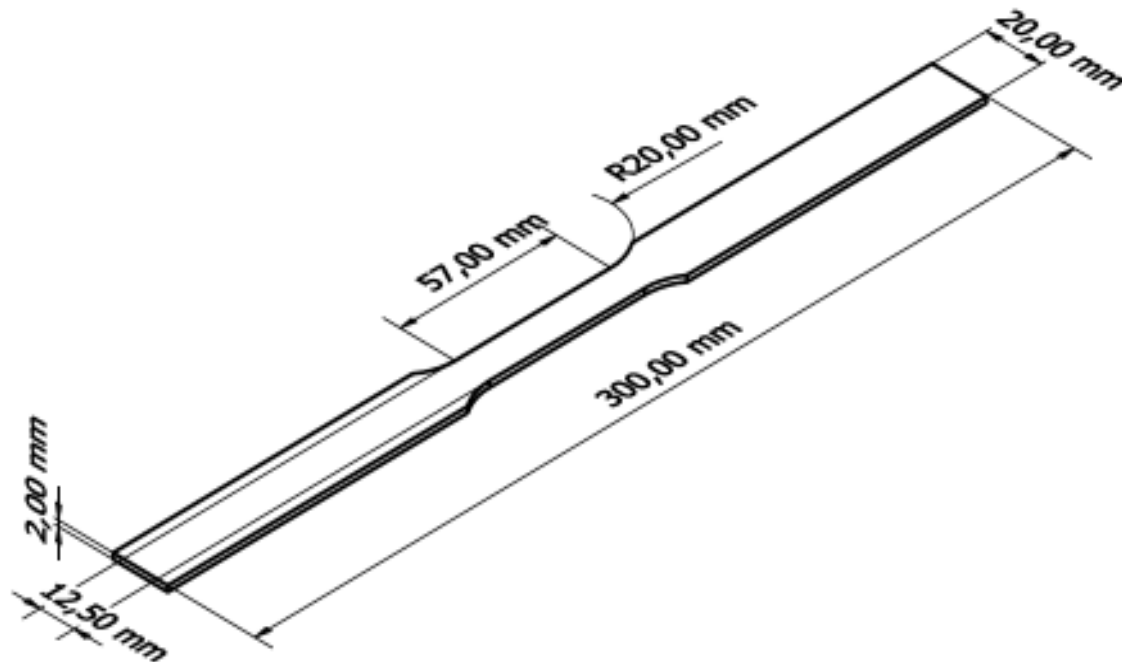


Figura 2.5. Diseño de la probeta para ensayo de tensión MBN.
(Fuente: Anexo D espesor mayor o igual a 3 mm NTE INEN ISO 6892-1:2017)

² NTE INEN ISO 6892-1:2017 "MATERIALES METÁLICOS — ENSAYO DE TRACCIÓN — PARTE 1: MÉTODO DE ENSAYO A TEMPERATURA AMBIENTE (ISO 6892-1:2016, IDT)

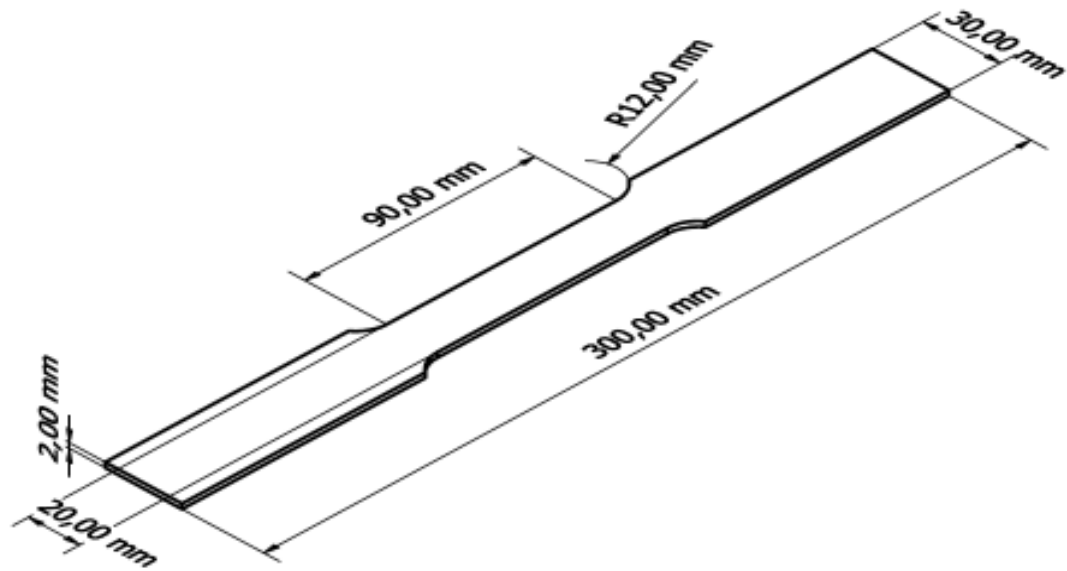


Figura 2.6. Diseño de la probeta para ensayo de tensión MBI.
(Fuente: Anexo D espesor mayor o igual a 3 mm NTE INEN ISO 6892-1:2017)

Para el ensayo, se extrajeron 3 muestras tanto del producto nacional como importado, las probetas se maquinaron en el Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la FIM - EPN (Figuras 2.7 y 2.8).



Figura 2.7. Probetas para ensayo de tensión material base producto importado.
(Fuente: Propia, 2018)



Figura 2.8. Probetas para ensayo de tensión material base producto nacional.
(Fuente: Propia, 2018)

2.2.3. Determinación del espesor de galvanizado

La determinación del espesor de galvanizado se puede realizar por: gravimetría, método magnético y/o corte micrográfico. La norma NTE INEN 2415:2016, literal 5.4.1 [17], establece los requisitos para los recubrimientos metálicos que es aplicable a toda tubería galvanizada en todos sus grados y secciones. Además, indica que para determinar la masa se suman los valores correspondientes a las superficies exterior e interior de los elementos, cumpliendo lo especificado en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6. Masa de zinc por unidad de superficie (dos caras) para tubería galvanizada por inmersión en caliente.

Detalle	Espesor < 3,2 mm	Espesor ≥ 3,2 mm
Masa de recubrimiento [g/m ²]	320	530
Mínimo espesor promedio [μm]	45	75

1 ASTM A 123/A123M Table 1 Minimum average coating thickness grade by material category.


2 El espesor representativo del recubrimiento debe ser el valor promedio entre 5 mediciones tomadas al azar a lo largo del tubo.

(Fuente: Requisitos Norma Técnica Ecuatoriana 2415: vigente tabla 15)

La norma NTE INEN 2415:2016 [17], recomienda que se realice la determinación del espesor de galvanizado de acuerdo con la NTE INEN 1172:2013 o por medio de un método sea: magnético y/o corte micrográfico y se calcule de acuerdo a la siguiente relación: 1μm equivale a 7,067 g/m².


La determinación de galvanizado en el presente proyecto, se realizó por gravimetría (NTE INEN 1172:2013) y corte micrográfico (NTE INEN 601: 2013), con el fin de verificar los resultados. Las características de los equipos utilizados en los ensayos se detallan en las Tablas 2.7 a 2.10, y son parte del Laboratorio de Metalografía, Desgaste y Falla de la FIM - EPN.

Tabla 2.7. Especificaciones de la máquina de corte “cierra circular de mano”.

Descripción	Especificación	Imagen
Marca:	MILWAUKEE	
Modelo:	6430-059A	
Potencia:	1600 [W]	
Serie:	6370-21(A35B908180015)	


(Fuente: Propia, 2018)

Tabla 2.8. Especificaciones de la máquina de desbastadora y pulidora.

Descripción	Especificación	Imagen
Marca:	METKON	
Modelo:	FORCIPOL 2V	
Voltaje:	220 [V]	
Diámetro de platos:	250 [mm]	
Año:	2018	

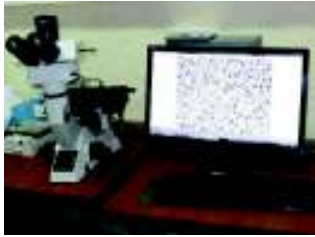
(Fuente: Propia, 2018)

Tabla 2.9. Especificaciones de la balanza de precisión.

Descripción	Especificación	Imagen
Marca:	OHAUS	
Modelo:	AX 523	
Intervalo de Medida:	0 – 520 [g]	
Fecha de Calibración:	2017-12-08	
Número de certificado:	SECM-B-2017-384	

(Fuente: Propia, 2018)

Tabla 2.10. Especificaciones del microscopio metalográfico invertido.

Descripción	Especificación	Imagen
Marca:	OLYMPUS	
Modelo:	GX41F	
Objetivos:	5X – 10X – 20X – 50X – 100X	
Software:	STREAM ESSENTIALS	
Fecha de Verificación:	2017-07-05	


(Fuente: Propia, 2018)

2.2.4. Prueba de adherencia

La norma NTE INEN 2415, literal 7.4 [17], establece que la prueba de adherencia del recubrimiento metálico debe cumplir los requisitos de la norma NTE INEN 950:2013 [22]. En el presente trabajo se tomó como referencia el método del literal 4.3 “Método por enfriamiento brusco” que, consiste en someter a la probeta de material base con recubrimiento hasta una temperatura de 200° C entre 30 y 60 min; para luego enfriarla

bruscamente en agua. Este ensayo se ejecutó en el Laboratorio de Metalografía, Desgaste y Falla de la de la FIM - EPN; con el equipo cuyas especificaciones se detallan en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11. Especificaciones de la mufla para tratamientos térmicos.

Descripción	Especificación	Imagen
Marca:	LINDBERG	
Modelo:	MUFLA 0022B	
Serie:	S/S	
Intervalo de Medida:	200-1000 [°C]	
Fecha de Calibración:	2017-07-07	
Número de certificado:	EPN-UIO-MEI-041-17	

(Fuente: Propia, 2018)

2.2.5. Ensayo metalográfico del material base

El ensayo metalográfico se realiza con un microscopio invertido trinocular (Tabla 2.10), utilizando los objetivos de 10X y 50X. La preparación de las probetas para este ensayo, se realizó, tomando como referencia la norma ASTM E3:2011 [26], que es la guía para la preparación de muestras metalográficas, en la que se especifica la secuencia de corte, montaje, desbaste, pulido y ataque químico de las probetas para su estudio micro estructural.

La preparación metalográfica, tiene como objetivo observar las fases, microestructuras y en ciertos casos medir el tamaño medio de grano. Para el presente estudio se utilizaron dos muestras de cada uno de los materiales base (longitudinal y transversal). Estas muestras se colocaron en resina para facilitar su preparación y lograr la planicidad deseada (Figura 2.9).

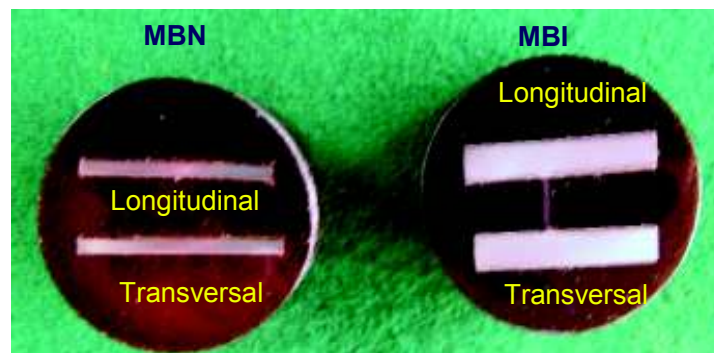


Figura 2.9. Material base (tubo estructural galvanizado), para análisis metalográfico.
(Fuente: Propia, 2018)

El ataque químico de las probetas a ser ensayadas metalográficamente, se realizó con Nital al 10 % y Vilella`s.

El reactivo Nital se prepara a partir de 90 ml de etanol (95%) y 10ml de ácido nítrico; la Vilella`s se prepara con 5 ml de ácido clorhídrico, 1 g de ácido pícrico y 100 ml etanol (95%). Las probetas fueron atacadas por inmersión durante 5 s en cada reactivo (ASTM E407 [27]).

2.2.6. Ensayo de dureza material base

Para el ensayo de dureza se emplearon las mismas muestras que se observan en la figura 2.9 (sentido transversal), realizando 5 indentaciones en cada una de las probetas en Rockwell B (HRB). El ensayo se lleva a cabo en Laboratorio de Metalografía, Desgaste y Falla de la FIM – EPM y las características del equipo empleado se detallan en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12. Especificaciones del equipo para el ensayo de durezas.

Descripción	Especificación	Imagen
Marca:	HARDROKER	
Modelo:	HR- 150 ^a	
Indentador:	Rockwell	
Peso:	60 [kg]	
Fecha de Verificación:	2018-06-25	

(Fuente: Propia, 2018)

2.2.7. Ensayos en las estructuras soldadas

Para realizar los ensayos de las uniones soldadas a tope (techo- techo) y en T (techo-ventana) de la zona de supervivencia; se evaluó el RTE INEN 043:2015 [4], que especifica los requisitos de soldadura (Tabla 2.13):

Tabla 2.13. Síntesis de los requisitos solicitados para estructura con soldadura.

Código	Requisito de Soldadura RTE INEN 043:2015
NTE INEN 1668	Literal 5.6.3 Unión chasis-carrocería: Las uniones entre chasis y la carrocería se realizan siguiendo exclusivamente las recomendaciones del fabricante del chasis, indicadas en su manual de fabricación y montaje de carrocerías. [16]
NTE INEN 1323	Literal 5.1.7 Soldadura de carrocerías. Las carrocerías de buses deben soldarse de acuerdo a las normas vigentes AWS D8.8 para componentes de acero y/o AWS D8.14 para componentes de aluminio [12]. Literal 5.1.7.1 El proceso y procedimiento de soldadura será calificado de acuerdo con las normas vigentes AWS D1.3 para acero, AWS D1.2 para aluminio y AWS D1.6 para acero inoxidable. [12]

(Fuente: Propia, RTE INEN 043:2015)

En la tabla 2.13, los requerimientos de la norma NTE INEN 1323:2009 [12], establecen que las soldaduras de las carrocerías deben estar de acuerdo con la norma AWS D8.8:2017 [23], la misma que especifica los requisitos mínimos de calidad para soldadura por arco de diversos tipos de componentes de automóvil y camiones livianos. En las Tablas 2.14 a y b, se muestran los requisitos de la norma AWS D8.8:2017 [23].

Tabla 2.14.a. Requisitos de calidad de soldadura AWS D8.8M: 2007.

Discontinuidad de Soldadura	Requisito
Rango permitido de socavación (mordedura)	<ul style="list-style-type: none"> No debe tener socavaciones dentro de 13 mm al comienzo y final de la soldadura. Las socavaciones son permitidas en un rango de 0 a 0,2T en una longitud acumulada máxima de 1/8 de la longitud especificada de soldadura e > 1mm.
Cráteres	<ul style="list-style-type: none"> No deben ser considerados parte de la longitud efectiva de soldadura.
Grietas	<ul style="list-style-type: none"> No se deben permitir.
Perforado	<ul style="list-style-type: none"> No se permite agujeros causados por fusión a través del metal base.
Porosidad	<ul style="list-style-type: none"> La porosidad superficial: <ul style="list-style-type: none"> Se permitirá poros individuales, separados por su propio diámetro y otra porosidad dispersa. La longitud total de la porosidad debe ser < 6 mm en cualquier longitud de 25 mm de soldadura. La dimensión máxima de poro < 1,6 mm Porosidad Interna: <ul style="list-style-type: none"> Menores al 15% del área de la soldadura examinada.
Inclusiones	<ul style="list-style-type: none"> Las inclusiones no metálicas se considerarán discontinuidades iguales que la porosidad.

(Fuente: Requisitos Norma AWS D8.8M: 2007)]

Tabla 2.14.b. Requisitos de calidad de soldadura AWS D8.8M: 2007. Continuación.

Discontinuidad de Soldadura	Requisito
Retroceso de fusión	<ul style="list-style-type: none"> No debe exceder el espesor de la grada en la parte superior y debe decrecer hasta cero en la raíz de la unión. Fusión completa debe ser obtenida en la raíz de la junta.
Fusión pasante	<ul style="list-style-type: none"> Menor al 130% del espesor.
Muestras	<ul style="list-style-type: none"> No se permite muescas o ranuras del metal base o en el borde de la junta.
Traslape	<ul style="list-style-type: none"> No se permite la protrusión del metal base soldado más allá del pie de soldadura.
Salpicadura	<ul style="list-style-type: none"> La cantidad de salpicaduras no debe interferir con la función de la parte.
Combinación de discontinuidades	<ul style="list-style-type: none"> La presencia de más de una discontinuidad no se permitirá si se encuentra en el límite máximo permitido.
Muestras metalográficas	<ul style="list-style-type: none"> Debe utilizarse para determinar la fusión de soldadura a las paredes laterales y la profundidad de fusión. La mín. fusión de pared lateral debe ser 0,1 T1 y la profundidad 0,2 T2.
Requisitos dimensionales	<ul style="list-style-type: none"> Longitud de Soldadura.- La longitud efectiva no será inferior al 90% de la longitud de soldadura especificada
Tamaño de soldadura	<ul style="list-style-type: none"> Soldadura de Filete.- (1) Tamaño mín. de pierna será igual al 90% del espesor del material más fino. (2) El valor espesor mín. teórico de garganta no será inferior al 60% del material más delgado. Soldadura en juntas a Tope y Ranura.- (1) El tamaño efectivo de soldadura deberá ser igual al espesor del material más fino

Fuente: Requisitos Norma AWS D8.8M: 2007)

La norma NTE INEN 1323, literal 5.1.7.1 [12], establece que el proceso y procedimiento de soldadura debe calificarse de acuerdo con la norma AWS D1.3:2008 [24], la cual puede utilizarse conjuntamente con la AWS D1.1:2015 [25], para los tipos de ensayos que se puede aplicar para los tubos estructurales cuya principal variante es el espesor del material.

Dentro del proyecto y tomando como referencia las normas en mención, tanto para el producto nacional e importado se ha determinado realizar los siguientes ensayos:

- Inspección visual
- Ensayos mecánicos (doblez de cara y raíz - ensayo de tensión)
- Macrografía
- Metalografía

Para complementar el estudio, se realiza el ensayo de microdureza (material base MB, zona afectada por el calor ZAC y material de aporte MA), de acuerdo al esquema mostrado en la Figura 2.10.

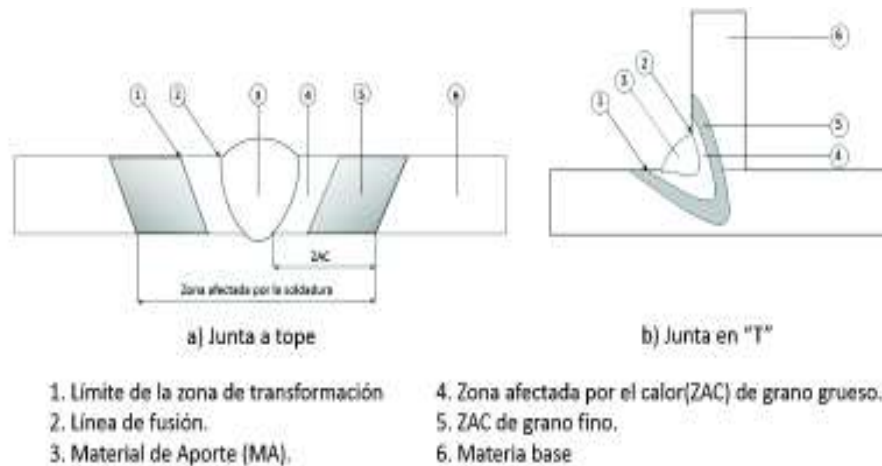


Figura 2.10. Esquema de las zonas de las probetas soldadas
 (Fuente: Propia, 2018)

2.2.7.1. Inspección visual

La norma AWS D1.1:2015 [25] indica los requisitos que deben satisfacer las soldaduras, tal como se observa en la Tabla 2.15.

Tabla 2.15. Inspección visual de la soldadura AWS D1.1: 2015.

Crterios de la inspección visual de las soldaduras
<ul style="list-style-type: none"> No se debe aceptar grieta alguna, independientemente del tamaño y ubicación. Fusión completa entre el material de aporte y metal base. Se deben rellenar todos los cráteres hasta la sección transversal completa de la soldadura. inspección visual de las soldaduras en todos los aceros puede comenzar inmediatamente después de que la soldadura se ha enfriado a temperatura ambiente. En todos los casos, la parte inferior de la soldadura no debe exceder el 10% de la longitud de la soldadura. Cuando la soldadura es transversal a los esfuerzos de tensión, la socavación no debe exceder de 0,25 mm y/o para los demás casos no debe tener más de 1 mm de profundidad Las soldaduras de ranura CJP en uniones a tope transversales en la dirección del esfuerzo de tracción calculado no deben tener porosidades tubulares visibles. Para el resto de soldaduras de ranura y soldaduras de filete, la suma de las porosidades tubulares visibles de diámetro [1 mm o más, no deberá exceder 10 mm en cualquier ancho lineal de soldadura y no debe exceder 20 mm en cualquier longitud de soldadura de 300 mm.

(Fuente: Requisitos Norma AWS D1.1: 2015)

Las probetas analizadas en la inspección visual son las que se presentan en las Figuras 2.11 y 2.12. Para dar un valor a las discontinuidades presentes en la soldadura a tope (techo-techo) de la zona de supervivencia, se realiza un corte longitudinal y con un estereomicroscopio SZX7 (Tabla 2.16), se examina las probetas extraídas.

En el caso de las probetas con soldadura en T (techo-ventana) de la zona de supervivencia, no se pudo realizar los cortes para obtener las medidas de las discontinuidades debido a la complejidad de las mismas, por lo que solo se realizó un listado.

Tabla 2.16. Especificaciones del estereomicroscopio trinocular.

Descripción	Especificación	Imagen
Marca:	OLYMPUS	
Modelo:	SZX7	
Rango de magnificación:	0.4x a 2.8x	
Software:	STREAM ESSENTIALS	
Fecha de Verificación:	2017-07-06	

(Fuente: Propia, 2018)



Figura 2.11. Tubo estructural galvanizado, soldadura a tope para análisis visual.
(Fuente: Propia, 2018)



Figura 2.12. Tubo estructural galvanizado, soldadura en T para análisis visual.
(Fuente: Propia, 2018)

2.2.7.2. Ensayos mecánicos

La norma AWS D1.1:2015 [25] especifica los ensayos mecánicos que se deben realizar a las muestras soldadas, entre ellos tenemos:

- **Doble de cara y raíz.-** El procedimiento para realizar este ensayo, se detalla en la norma AWS D1.1:2015 [25] y sus criterios de aceptación se observa en la Tabla 2.17.

Tabla 2.17. Criterios de aceptación de los ensayos de doblado AWS D1.1: 2015.

Criterios de aceptación para los ensayos de doblado
Discontinuidad de superficie
Para aceptación, la superficie no debe contener discontinuidades que excedan las siguientes dimensiones:
<ul style="list-style-type: none">• 3 mm medidas en cualquier dirección de la superficie.• 10 mm la suma de todas las discontinuidades mayores a 1 mm, pero menor o igual a 3 mm.• 6 mm la máxima grieta de borde, excepto cuando la grieta resulta debido a una inclusión de escoria visible u otra discontinuidad de fusión, en cuyo caso se debe aplicar el máximo de 3 mm.• Las probetas con grietas de borde que excedan 6 mm sin evidencia de inclusiones de escoria u otra discontinuidad de fusión deben descartarse y se debe ensayar una probeta de reemplazo de la soldadura original.

(Fuente: Requisitos de la norma AWS D1.1:2015)

La geometría y dimensiones de las probetas ensayadas se presentan en las Figuras 2.13 y 2.14. Se ensayaron total de 12 probetas extraídas de la soldadura a tope (techo-techo) de la zona de supervivencia, provistas por las empresas nacional e importada (Figuras 2.15 y 2.16).

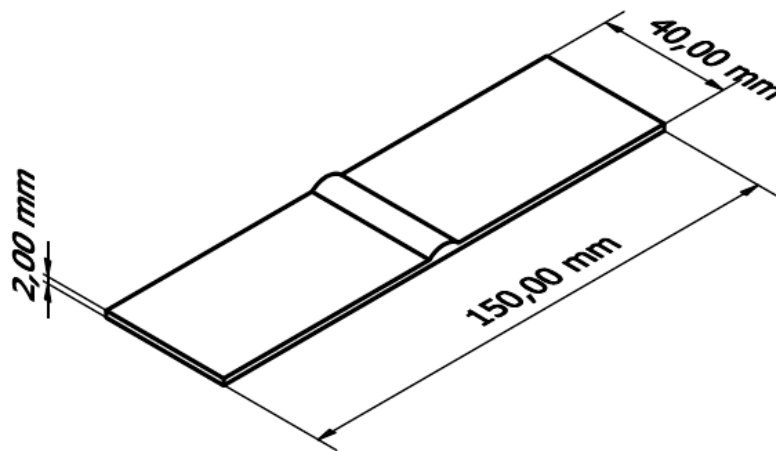


Figura 2.13. Diseño de la probeta para ensayo de doblado de cara y raíz TSN.
(Fuente: Requisitos de la norma AWS D1.1:2015)

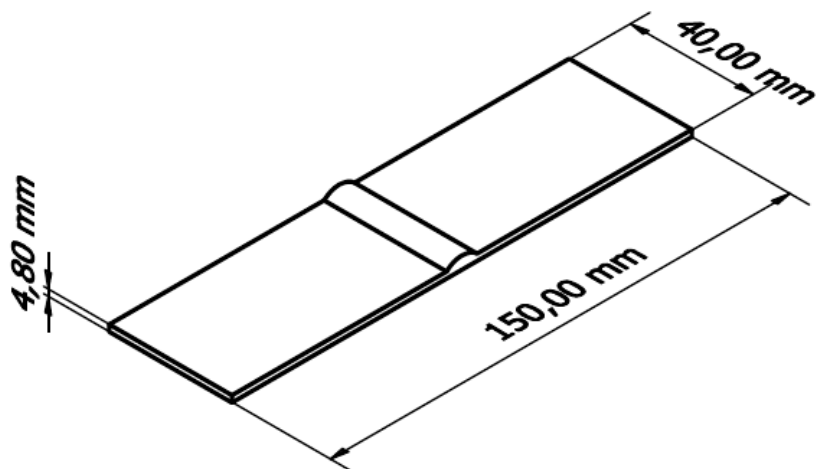


Figura 2.14. Diseño de la probeta para ensayo de doblado de cara y raíz TSI.
(Fuente: Requisitos de la norma AWS D1.1:2015)




Figura 2.15. Probetas para ensayo de doblado de cara.
(Fuente: Propia, 2018)



Figura 2.16. Probetas para ensayo de doblado de raíz.
(Fuente: Propia, 2018)

El ensayo de doblado de cara y raíz fue realizado en el Laboratorio de Soldadura de la FIM - EPN, con el equipo cuyas especificaciones se detallan en la Tabla 2.18.

Tabla 2.18. Especificaciones de máquina de ensayo de doblez guiado.

Descripción	Especificación	Imagen
Marca:	S/N	
Modelo:	S/N	
Aplicación de carga:	Sistema hidráulico	

(Fuente: Propia, 2018)

- Ensayo de tensión.-** La NTE INEN ISO 6892-1:2017 [19] especifica el procedimiento para realizar el ensayo de tensión. El criterio de aceptación del ensayo de tensión es en base a la norma AWS D1.1:2015 [25], que indica que la resistencia a la tracción no debe ser menor que el mínimo de rango de esfuerzo especificado para el metal base utilizado.

La norma AWS D1.1:2015 [25], establece la geometría y dimensiones de las probetas a realizar el ensayo de tracción mismas que se representan en las Figuras 2.17 y 2.18.

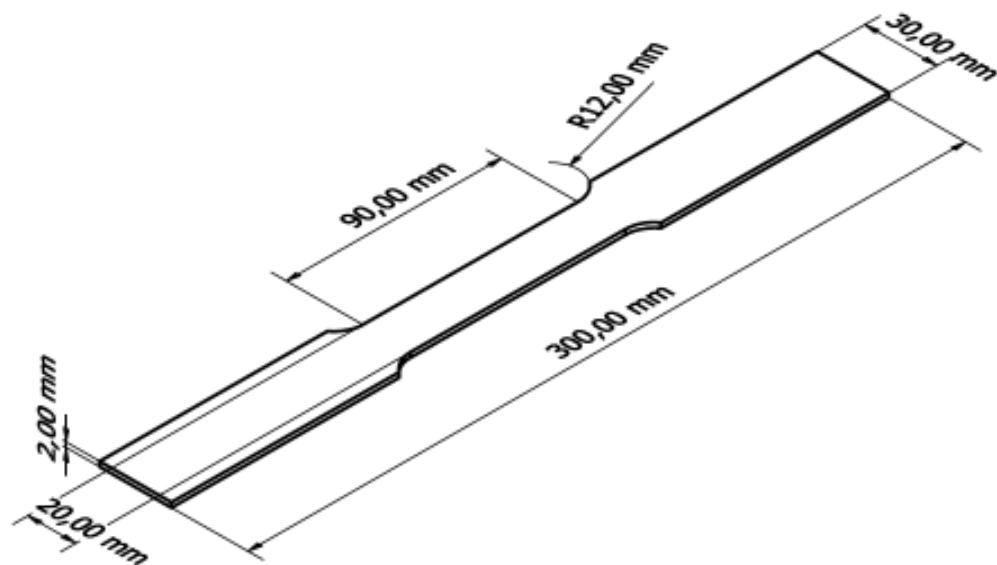


Figura 2.17. Diseño de la probeta para ensayo de tensión TSN.
(Fuente: Requisitos de la norma AWS D1.1:2015)

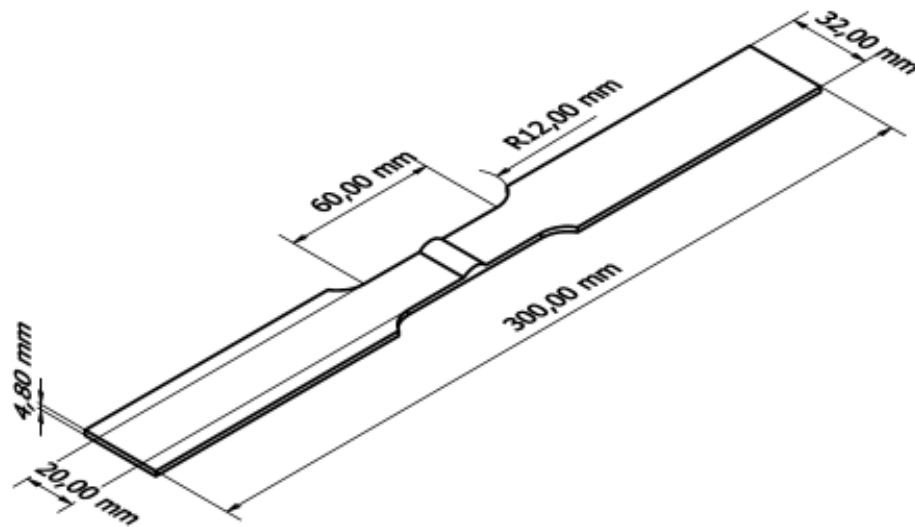


Figura 2.18. Diseño de la probeta para ensayo de tensión TSI.
(Fuente: Requisitos de la norma AWS D1.1:2015)

Para el ensayo de tensión, se extrajo un total de 6 probetas de la soldadura a tope (techo-techo) de la zona de supervivencia provistas por las empresas (nacional – importada), las mismas que se maquinaron en el Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la FIM – EPN (Figuras 2.19 y 2.20). El ensayo se realizó en la máquina universal del Laboratorio de Ensayos Mecánicos del INEN y sus especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 2.5.



Figura 2.19. Probetas para ensayo de tensión soldadas producto nacional.
(Fuente: Propia, 2018)



Figura 2.20. Probetas para ensayo de tensión soldadas producto importado.
(Fuente: Propia, 2018)

Se realiza los ensayos de tracción en los tubos con soldadura en T (techo-ventana) de la zona de supervivencia provistos por las empresas fabricantes de carrocerías, con el fin de verificar la carga máxima de resistencia de estos elementos (Figura 2.21).



Figura 2.21. Tubos estructural galvanizado soldadura en T, para ensayo de tensión.
(Fuente: Propia, 2018)

2.2.7.3. Macrografía (macroscopía óptica)

Para el ensayo de macroscopía óptica, se tomó como referencia lo especificado en la norma AWS D1.1:2015 [25] que indica los requisitos que deben satisfacer las soldaduras, los mismos que se señalan en la Tabla 2.19 para la soldadura a tope (en ranura) y en T (filete).

Tabla 2.19. Macrografía de conexiones tubulares.

Soldadura en ranura	Soldadura en filete
Sin presencia de grietas.	Sin presencia de grietas.
Fusión completa entre material de aporte y metal base.	Fusión completa entre material de aporte y metal base.
Sin variaciones (5.23).	Sin variaciones (5.23).
La socavación del metal base no debe exceder de 1 mm. (6.9)	La socavación del metal base no debe exceder de 1 mm. (6.9)
Para porosidad de 1 mm o mayor, la porosidad acumulada no debe exceder 6 mm.	Para porosidad de 1 mm o mayor, la porosidad acumulada no debe exceder 6 mm
No se acumulará escoria, cuya suma de la mayor dimensión no deberá exceder 6 mm	No se acumulará escoria, cuya suma de la mayor dimensión no deberá exceder 4 mm
R no deberá exceder 1/8 [3 mm].	Si W es menor o igual a 5/16 [8 mm] C no deberá exceder 1/16 [2 mm].

(Fuente: Requisitos de la norma AWS D1.1:2015.)

Para el ensayo macroscópico, la preparación de probetas se realizó en los equipos descritos en las Tablas 2.7, 2.8 y 2.16, en el Laboratorio de Metalografía, Desgaste y Falla de la FIM – EPN. Las probetas a las cuales se les realiza el ensayo macroscópico se muestran en la Figura 2.22.



Figura 2.22. Probetas soldadas a tope y en T, para análisis macroscópico.
(Fuente: Propia, 2018)

2.2.8. Ensayo metalográfico o microscopia óptica


El ensayo metalográfico se realiza de acuerdo a la descripción colocada en el punto 2.2.5 para el material base, pero en este caso las muestras se extrajeron de las uniones soldadas a tope pertenecientes a techo- techo y en T (techo- ventana) de la zona de supervivencia (Figura 2.22).

La evaluación se llevó a cabo utilizando una secuencia de aumentos de 50X; 100X y 500X, analizando la zona del material base (MB), zona afectada por el calor (ZAC) y material de aporte (MA), con el objetivo de determinar las microestructuras presentes y su afectación térmica debido al calor suministrado el momento de soldar los elementos.

2.2.9. Ensayo de microdureza (dureza vickers)

Para el ensayo de microdureza, se utilizan las mismas probetas de la Figura 2.22. El ensayo se lleva a cabo en el Laboratorio de Metalografía, Desgaste y Falla de la FIM - EPN, aplicando una carga de 200gf, por 15s [29]; el equipo empleado se detalla en la Tabla 2.20.

Tabla 2.20. Especificaciones del equipo para el ensayo de micro durezas.

Descripción	Especificación	Imagen
Marca:	METKON	
Modelo:	DUROLINE-M	
Indentador:	diamante para vickers y knoop	
Carga:	100 -1000 [gf]	
Fecha de Verificación:	2018-01-09	

(Fuente: Propia, 2018)

El barrido de durezas se realiza en la soldadura a tope y en T, tomando como referencia lo establecido en la norma UNE-EN ISO 9015-2: 2016 [28] (Figura 2.23).

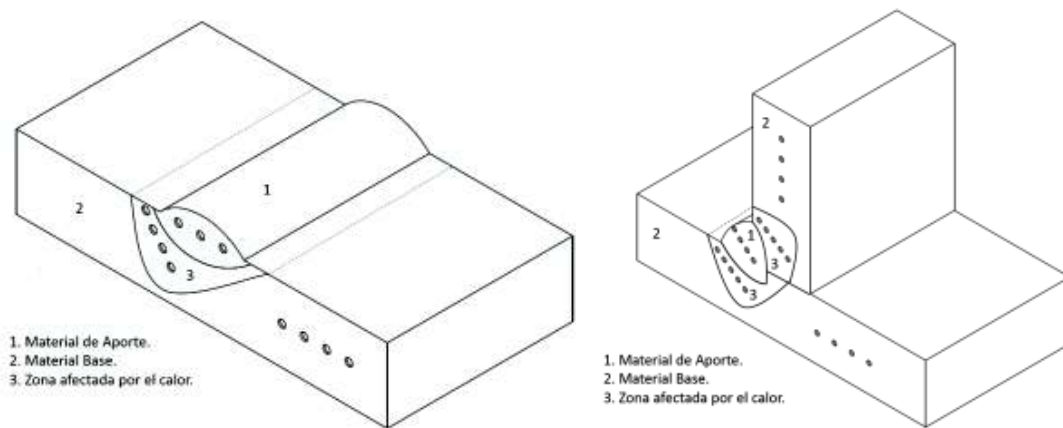


Figura 2.23. Bosquejo del barrido de micro durezas realizado en las diferentes zonas de las probetas. Soldadas.
(Fuente: Propia, 2018)

3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

En el presente capítulo se describen los resultados de los diferentes ensayos químicos, mecánicos, metalográficos, macrográficos y de dureza, planteados en la metodología, realizados a las probetas de las muestras de la materia prima del producto nacional e importado y uniones soldadas a tope (techo-ventana) y en T (techo-techo) de la zona de supervivencia, que fueron proporcionadas por las empresas fabricantes de carrocerías.

Es importante considerar que tanto la microestructura como el comportamiento mecánico de un material es esencial para verificar sus aplicaciones generales y/o específicas.

Además, se realiza una evaluación general acerca de los cálculos de la combinación de cargas aplicadas de acuerdo a lo estipulado en la NTE: INEN 1323:2009 [12] con un ejemplo de cálculo y análisis de los datos de la simulación proporcionada por las empresas fabricantes de carrocerías (Anexo C).

De los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos se realizan simulaciones, con la colaboración de un laboratorio acreditado para realizar este tipo de ensayos a estructuras de autobuses tanto de fabricación nacional e importada en Ecuador, haciendo énfasis en la observación del comportamiento de la zona de supervivencia (Anexo D).

3.1. Resultados de los ensayos planteados en la metodología

Resultados del Producto Nacional

3.1.1. Composición química material base

La cuantificación de los elementos presentes en la muestra de la materia prima de la zona de supervivencia, se observan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Composición química MBN, zona de supervivencia.

Elementos	Carbono [%]	Silicio [%]	Manganeso [%]	Fósforo [%]	Azufre [%]	Cromo [%]	Aluminio [%]	Hierro [%]
Muestra MBN	0,056	0,010	0,162	<0,001	0,005	0,027	0,023	99,62

* La tabla muestra los valores más representativos ANEXO E, se puede observar todos los elementos y sus respectivos valores.
(Fuente: ANEXO E)

3.1.2. Ensayo de tensión material base

Los valores obtenidos en el ensayo de tensión de la materia prima de la zona de supervivencia se muestran en la Tabla 3.2, Figuras 3.1 y 3.2.

Tabla 3.2. Valores obtenidos del ensayo de tensión MBN, zona de supervivencia.

Elementos	Área de la sección. [mm ²]	Carga de fluencia [kN]	Carga de rotura [kN]	Límite de fluencia [Mpa]	Resistencia a la tracción [Mpa]	Porcentaje de alargamiento [%]
MBN 1	27,40	10,50	11,13	383,13	406,3	15,14
MBN 2	25,51	9,07	10,03	355,77	393,09	22,46
MBN 3	24,90	9,77	9,90	392,44	397,65	18,98

* La tabla muestra los valores reportados por el laboratorio de ensayos INEN ANEXO F.
(Fuente: ANEXO F)

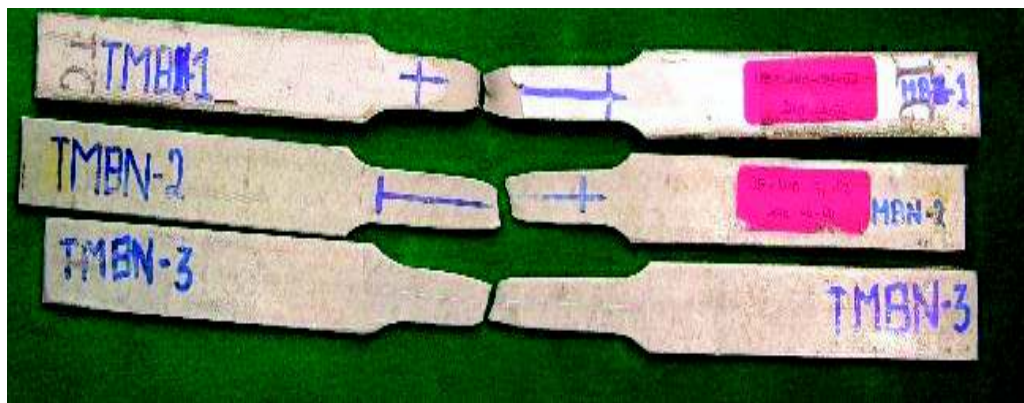


Figura 3.1. Probetas ensayadas del MBN, zona de supervivencia.
(Fuente: Propia, 2018)

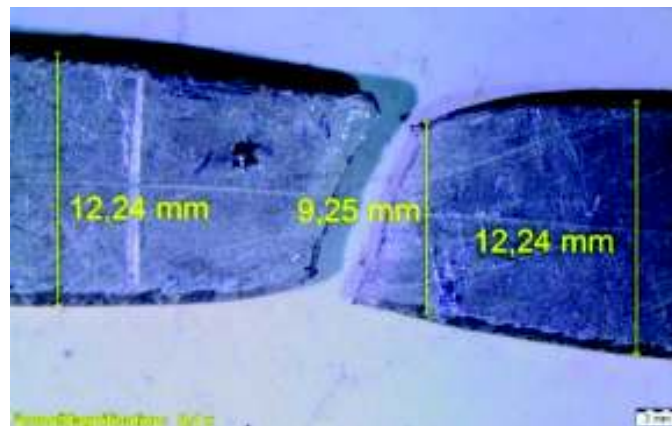


Figura 3.2. Detalle de una probeta del MBN, zona de supervivencia, después de realizar el ensayo de tensión.
(Fuente: Propia, 2018)

La Figura 3.3 permite establecer el grado del acero del material base de la zona de supervivencia, considerando los resultados de tensión y la norma NTE INEN 2415:2016 (Tablas 2.4 y 3.2).

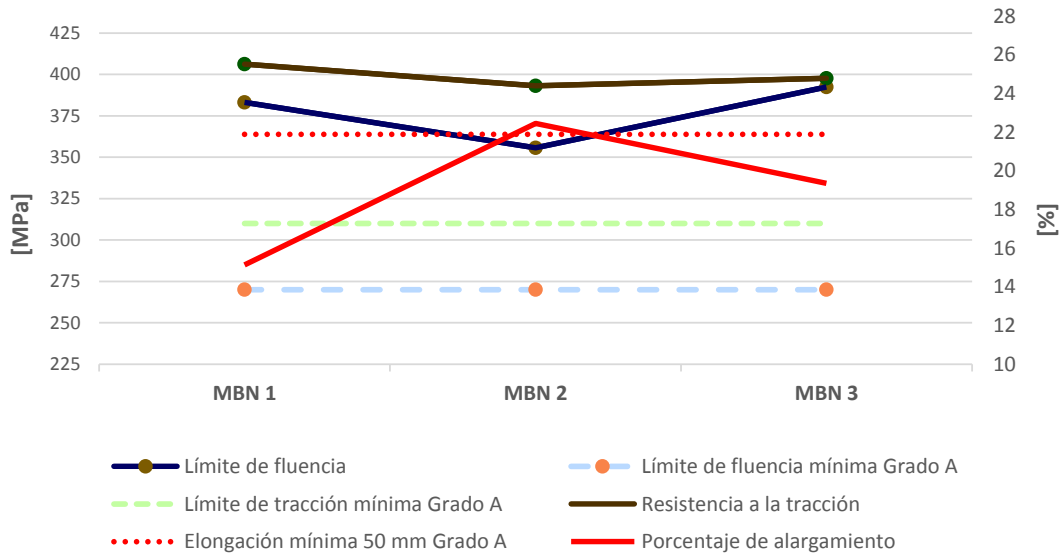


Figura 3.3. Valores del ensayo de tensión MBN, zona de supervivencia vs requisitos mecánicos tubo grado A.
(Fuente: Propia, 2018)

3.1.3. Determinación del espesor de galvanizado material base

Mediante el método de gravimetría, aplicado a la probeta de la materia prima de la zona de supervivencia, se toman los pesos iniciales y finales (Figura 3.4).



Figura 3.4. Peso inicial y final MBN, zona de supervivencia.
(Fuente: Propia, 2018)

Aplicando la ecuación 3.1 dada en la norma NTE INEN 1172:2013 [12] se calcula la masa por unidad de área del recubrimiento:

$$m_A = \frac{\Delta m}{A} \times 10^6 \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Donde:

A es el área en [mm²] de la superficie de la muestra; y

Δm es la diferencia de masas.

Para realizar el cálculo del espesor de recubrimiento se utiliza la ecuación 3.2 y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.3.

$$S = \frac{m_A}{7,20} [\mu\text{m}] \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Tabla 3.3. Determinación de la masa de zinc MBN, zona de supervivencia, método gravimétrico.

Designación	Área	Masa inicial	Masa final	Galvanizado	
	[mm ²]	[g]	[g]	[g/m ²]	[μm]
MBN	4094,38	61,52	60,79	176,58	24,53

(Fuente: Propia, 2018)

La determinación del espesor de galvanizado por el método de corte micrográfico, para la muestra de la materia prima de la zona de supervivencia, se observa en la Figura 3.5. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 3.4.

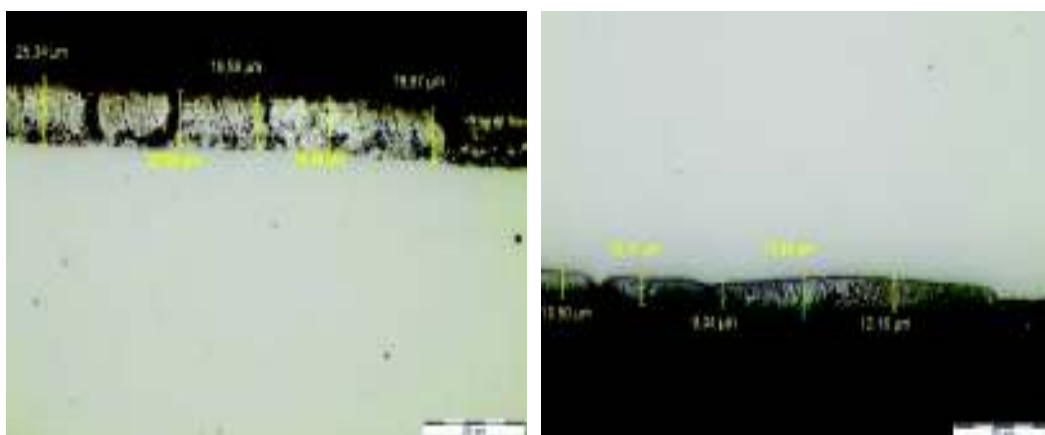


Figura 3.5. Medición de espesor de galvanizado MBN, zona de supervivencia.
(Fuente: Propia, 2018)

Tabla 3.4. Determinación de la masa de zinc MBN, zona de supervivencia, método de corte micrográfico

Designación	Superficie externa	Superficie interna	Galvanizado total	
	[μm]	[μm]	[μm]	[g/m ²]
MBN	21,07	11,52	32,59	230,30

*El resultado es el promedio de 5 mediciones **Se utiliza la relación de la NTE INEN 1172:2013 1μm equivale a 7,067 g/m².

(Fuente: Propia, 2018)

La Figura 3.6 permite establecer el cumplimiento del acero del material base, considerando los resultados del ensayo de determinación del espesor de galvanizado y la norma NTE INEN 2415:2016 (Tablas 2.6, 3.3 y 3.4).

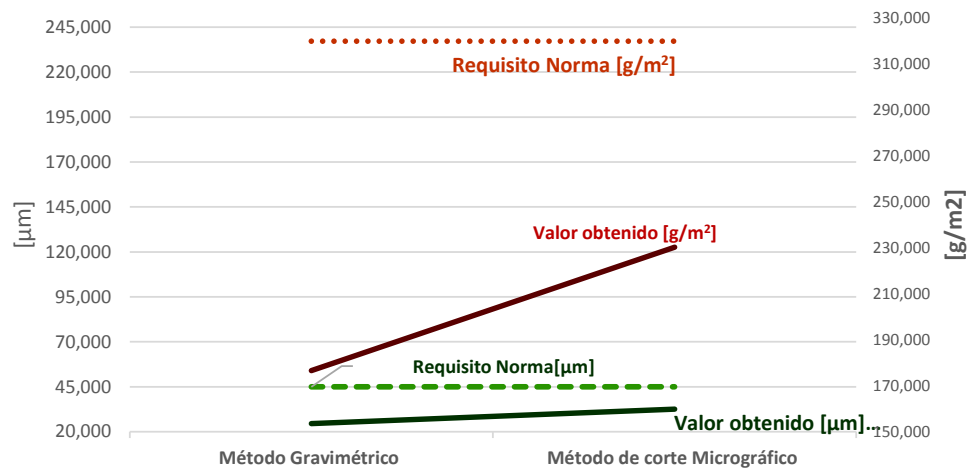


Figura 3.6. Resultados de la determinación de la masa de zinc MBN, zona de supervivencia vs requisito de norma.
(Fuente: Propia, 2018)

3.1.4. Prueba de adherencia de recubrimiento material base

La determinación de la adherencia del recubrimiento se realizó a una de las muestras de la materia prima de la zona de supervivencia de 30 cm de longitud, cuyo peso inicial es de 880 g (Figura 3.7), siguiendo los parámetros que establece la NTE INEN 950:2013 [22], los resultados se observan en las Figuras 3.8 y 3.9.



Figura 3.7. Peso inicial del MBN, zona de supervivencia.
(Fuente: Propia, 2018)



Figura 3.8. Ensayo por enfriamiento brusco MBN y MBI, zona de supervivencia.
(Fuente: Propia, 2018)

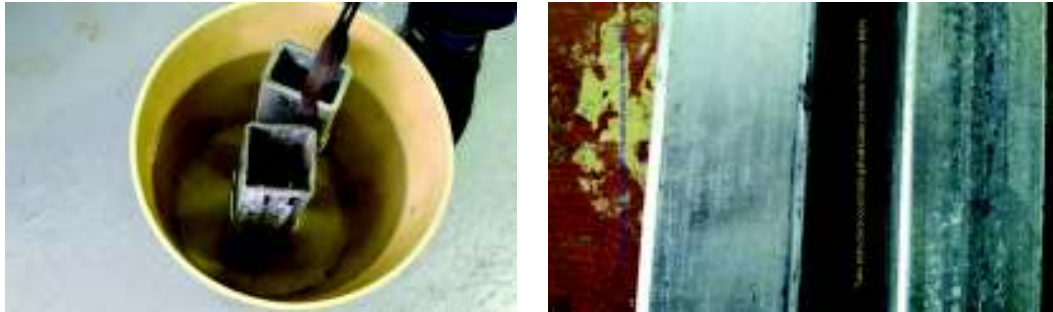


Figura 3.9. Fin del ensayo por enfriamiento brusco, detalle de las superficies de los tubos galvanizados, MBN y MBI, zona de supervivencia.
(Fuente: Propia, 2018)

3.1.5. Ensayo metalográfico material base

La metalografía de la probeta perteneciente a la muestra de la zona de supervivencia, a una magnificación de 100X, se observa que el material base es un acero, con gran cantidad de inclusiones no metálicas que presentan un tamaño promedio de 11,26 μm longitudinalmente y 18,8 μm transversalmente. Además, se observa una estructura monofásica de ferrita de granos equiaxiales recrystalizados y algunas colonias perlíticas en la confluencia de varios granos³, la medición del tamaño de grano en referencia a la norma ASTM E112 – 12 [32] es G10 como se muestra en las Figuras 3.10 y 3.11. (Anexo H).

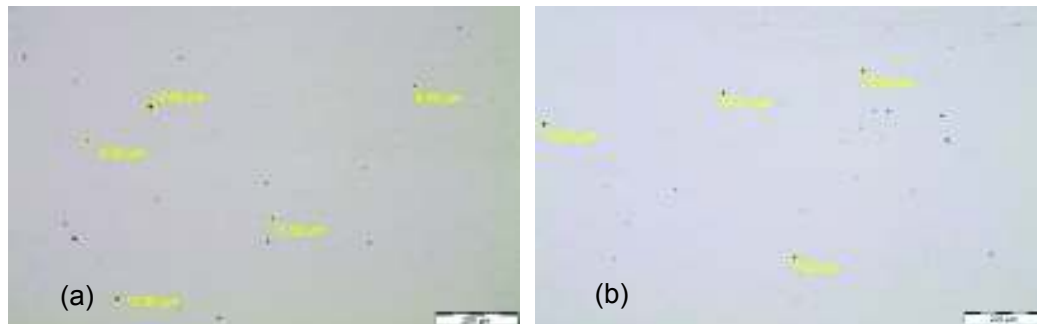


Figura 3.10. MBN, zona de supervivencia (a) sentido longitudinal (b) sentido transversal. 100X.
(Fuente Propia: 2018)

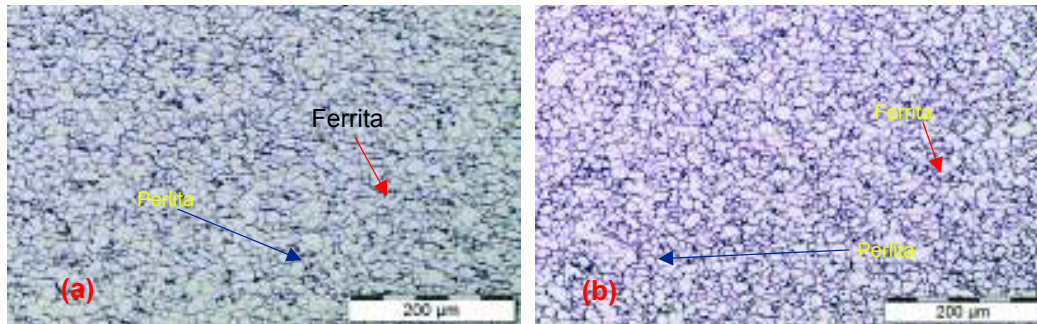


Figura 3.11. MBN, zona de supervivencia (a) sentido longitudinal (b) sentido transversal. 100X.
(Fuente: Propia, 2018)

³Proyecto de Innovación Atlas Metalográfico. (s. f.). Recuperado 28 de agosto de 2018, de <https://www.ucm.es/atlasmetalografico/x28> [31]

Al ampliar a una mayor magnificación de 500X, longitudinal y transversalmente, se observa a detalle la matriz del acero que es de tipo ferrítica (zonas claras), con presencia de precipitados, granos equiaxiales recristalizados y algunas colonias perlíticas (Figura 3.12).

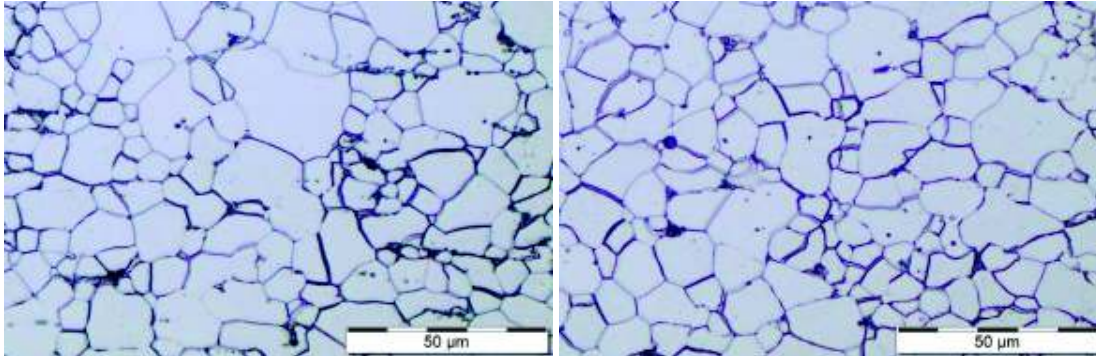


Figura 3.12. MBN, zona de supervivencia (a) sentido longitudinal y (b) sentido transversal, tamaño de grano G10. 500X.
(Fuente: Propia, 2018)

3.1.6. Ensayo de dureza material base

El mapeo de dureza realizado a la probeta de la zona de supervivencia, se efectuó transversalmente, sus resultados se muestran en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Valores obtenidos del ensayo de dureza del MBN, zona de supervivencia.

Muestra		Dureza					Promedio	
		[HRB]					[HRB]	[HV]*
MBN	Transversal	55	54	55	53	54	54	100

*ASTM E140:2012 [46]
(Fuente: Propia, 2018)

3.1.7. Estructura soldada

Los elementos de aleación en el acero afectan la soldabilidad del mismo y sus efectos se pueden estimar en términos del carbón equivalente (CE), utilizando la ecuación 3.3 [30]; para el presente proyecto se realiza el cálculo del CE de la muestra del producto nacional con los datos de la Tabla 3.1:

$$CE = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr+\%Mo+\%V}{5} + \frac{\%Cu+\%Ni}{15} \quad (\text{Ec. 3.3})$$

$$CE_{MBN} = 0,09$$

En base al resultado, se determina que el acero empleado para el ensamblaje de la carrocería nacional presenta una excelente soldabilidad ya que, la soldabilidad es inversamente proporcional al carbón equivalente [30].

3.1.7.1. Inspección visual de las muestras soldadas.

La inspección visual se realizó en las probetas con soldaduras a tope (muestras techo-techo) y en T (techo-ventana) de la zona de supervivencia. Se observa en la superficie de la soldadura una gran cantidad de discontinuidades, de las cuales se tomó en cuenta las más representativas para su análisis.

En la parte externa de la soldadura a tope (techo-techo) zona de supervivencia, se observa falta de homogeneidad, así como la presencia de una gran cantidad de salpicaduras y un poro superficial de 0,35 mm de diámetro en una longitud de 20,06 mm de soldadura (Figura 3.13).

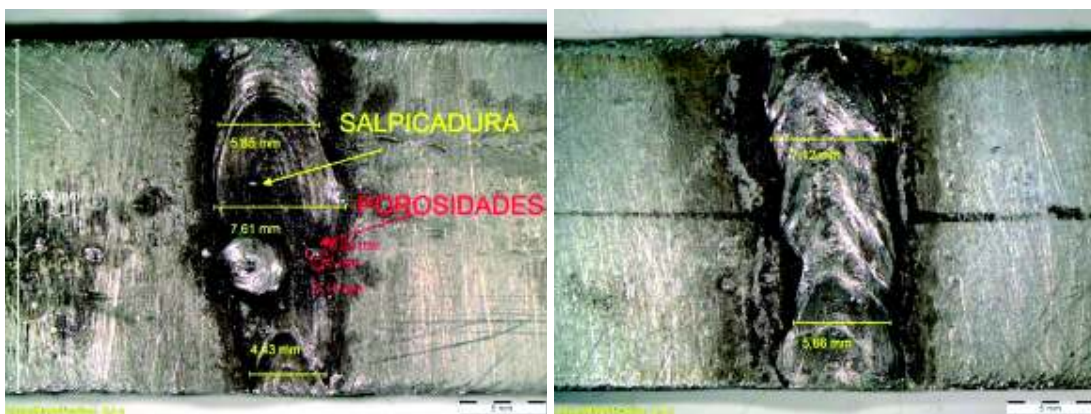


Figura 3.13. Discontinuidades TSN, superficie externa.
(Fuente: Propia, 2018)

En la parte interna del tubo, la soldadura a tope presenta falta de penetración, separación de placas entre 0,11 mm - 0,34 mm y gran cantidad de salpicaduras (Figura 3.14).



Figura 3.14. Discontinuidades TSN, superficie interna.
(Fuente: Propia, 2018)

La Tabla 3.6 permite verificar el grado de cumplimiento de las discontinuidades presentes en la soldadura a tope, considerando los resultados de la inspección visual, de acuerdo a la norma AWS D8.8M:2017 y AWS D1.1:2015 (Tablas 2.14, 2.15, Figuras 3.13 y 3.14).

Tabla 3.6. Resumen de las discontinuidades de la inspección visual TSN soldadura a tope (techo-techo) zona de supervivencia y requisitos de norma.

Muestra	Observación	Requisito de norma
Soldadura a tope nacional	Poros en longitud de 20,06 mm = 0,35	Se permitirá poros individuales, separados por su propio diámetro y otra porosidad dispersa; la longitud total de la porosidad no debe ser mayor a 6 mm en cualquier longitud de 25 mm de soldadura. La dimensión máxima de poro no debe ser mayor 1,6 mm.
	Falta de homogeneidad en la soldadura.	N/A
Soldadura a tope nacional	Falta de penetración, no hay fusión completa material de aporte y material base.	Fusión completa entre el material de aporte y metal base.

(Fuente: Propia, 2018)

En la superficie externa del tubo estructural cuadrado galvanizado soldadura en T (techo-ventana) de la zona de supervivencia, se observa un cordón homogéneo, y la presencia de gran cantidad de salpicaduras (Figura 3.15).



Figura 3.15. Superficie externa SNET.
(Fuente: Propia, 2018)

Además, se realizó inspecciones in situ a las estructuras terminadas de fabricación nacional observando varias uniones soldadas en la zona de supervivencia del autobús y en otras secciones del mismo (Figura 3.16).

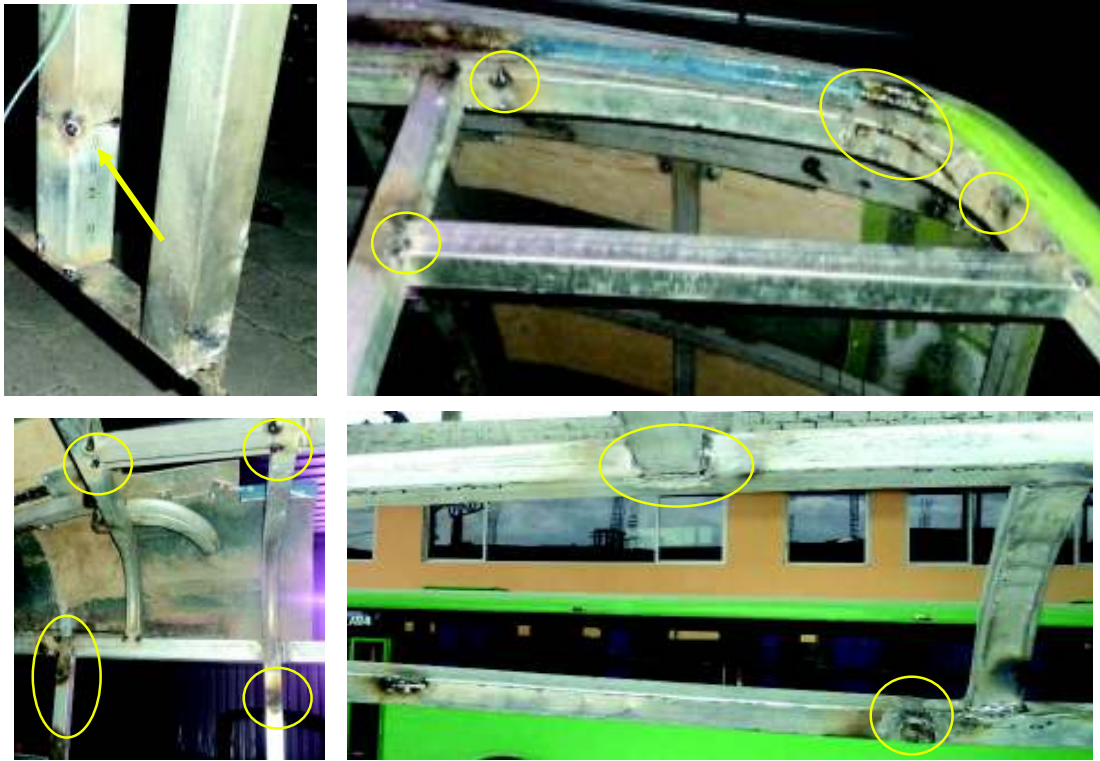


Figura 3.16. Inspección in situ, estructura nacional con varios cordones de soldadura.
(Fuente: Propia, 2018)

3.1.7.2. Doblado de cara y raíz de las muestras soldadas

En la Figura 3.17, se muestran las probetas de las soldaduras a tope (techo-techo) de la zona de supervivencia, sometidas a ensayos de doblado de cara y raíz.



Figura 3.17. Probetas TSN sometidas a ensayos de doblado de cara y raíz.
(Fuente: Propia, 2018)

A una magnificación de 4X, en el ensayo de doblado de cara (Figura 3.18), dos de las probetas se fracturaron, presentando una de ellas una superficie de fractura con presencia de deformación plástica y la otra una superficie totalmente lisa. En la probeta que no se

fractura, se observa la presencia de una grieta que atraviesa toda la longitud de la muestra, con una abertura de 2,33 mm.

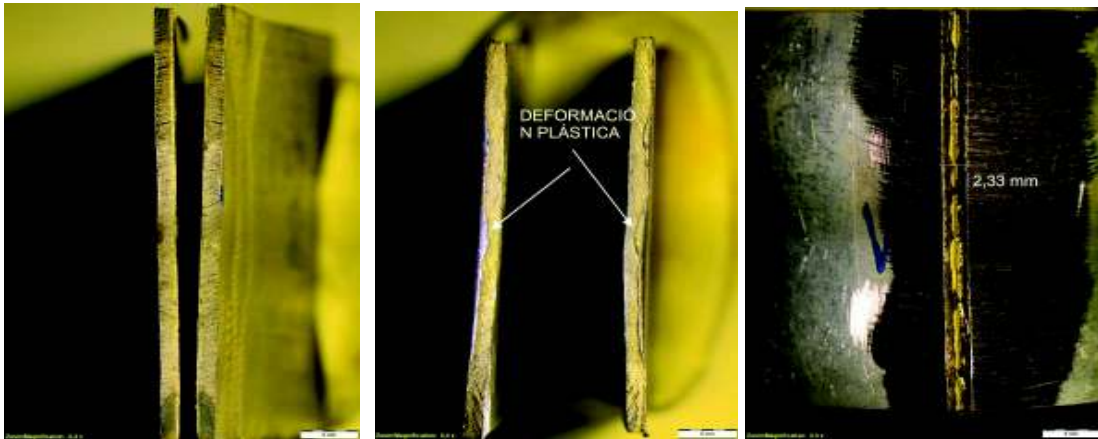


Figura 3.18. Probetas sometidas a ensayos de doblez de cara TSN.
(Fuente: Propia, 2018)

A la misma magnificación, en el ensayo de doblado de raíz (Figura 3.19), una de las probetas se fracturó. Las dos probetas restantes presentan aberturas que van desde 1,84 mm a 2,03 mm de longitud. Al aumentar la magnificación a 16X, se puede observar la presencia de porosidad de 0,81 mm (Figura 3.20).

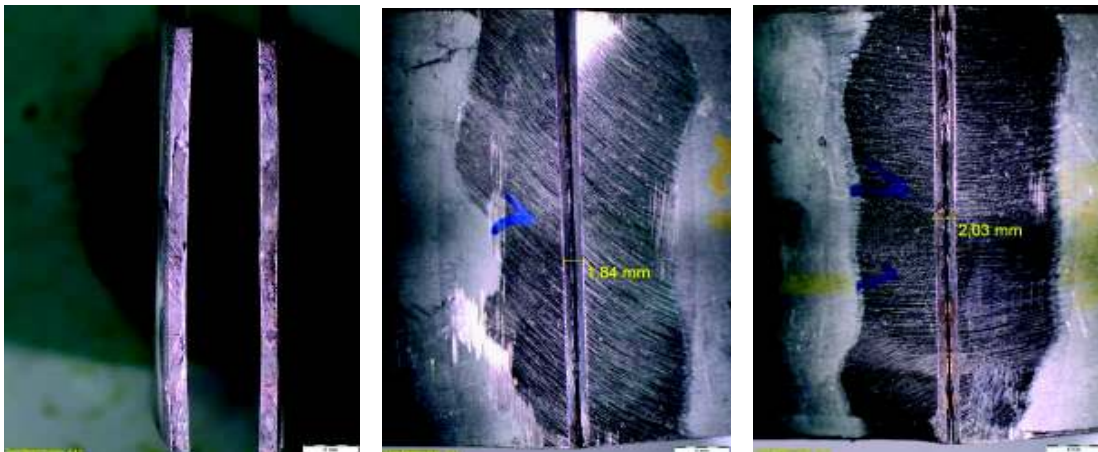


Figura 3.19. Probetas sometidas a ensayos de doblado de raíz TSN.
(Fuente: Propia, 2018)



Figura 3.20. Detalle de la porosidad probeta de doblado de raíz TSN
(Fuente: Propia, 2018)

La Tabla 3.7 permite verificar el grado de cumplimiento de las discontinuidades presentes en la soldadura a tope (techo- techo), con los resultados del doblado de cara y raíz, considerando la norma AWS D1.1:2015 (Tablas 2.17, Figuras 3.18, 3.19 y 3.20).

Tabla 3.7. Consolidado de los resultados de doblado de cara y raíz TSN soldadura a tope (techo-techo) zona de supervivencia y requisitos de norma.

Muestra	Observación	Requisito de norma	
SOLDADURA A TOPE NACIONAL	DCN1	Abertura de 2,3 mm.	No debe tener discontinuidades mayores a 3 mm medidas en cualquier dirección sobre la superficie
	DCN2	Fractura total.	
	DCN3	Fractura total.	
	DRN1	Abertura de 2,03 mm.	Las probetas con grietas que excedan 6 mm sin evidencia de inclusiones de escoria u otra discontinuidad de fusión deben descartarse y se debe ensayar una probeta de reemplazo de la soldadura original
	DRN2	Abertura de 1,84 mm.	
	DRN3	Fractura total: poro de 0,81 mm.	

(Fuente: Propia, 2018)

3.1.7.3. Ensayo tensión de las muestras soldadas

Se realizó ensayos de tensión a 3 probetas con soldaduras a tope (techo-techo) de la zona de supervivencia, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 3.8 y en las Figuras 3.21 a 3.23.

Tabla 3.8. Valores del ensayo de tracción de las probetas TSN.

Elementos	Área de la sección	Carga de fluencia	Carga de rotura	Límite de fluencia	Resistencia a la tracción	Porcentaje de alargamiento
	[mm ²]	[kN]	[kN]	[Mpa]	[Mpa]	[%]
TSN 1	41,95	7,76	8,01	185,10	190,96	0,16
TSN 2	40,02	7,44	7,52	185,92	188,01	1,18
TSN 3	41,28	0,16	2,84	3,83	68,68	0,04

* La tabla muestra los valores reportados por el laboratorio de ensayos INEN ANEXO F.
(Fuente: ANEXO F)



Figura 3.21. Probetas ensayadas TSN.
(Fuente: Propia, 2018)

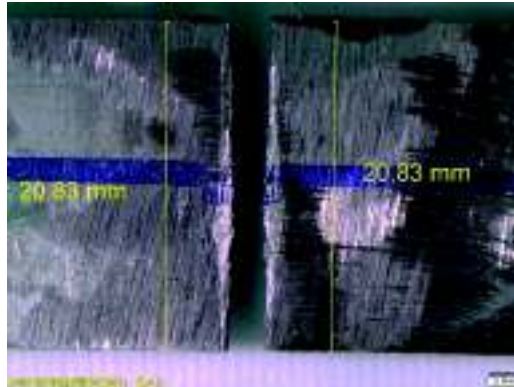


Figura 3.22. Detalle de la probeta TSN después de realizar el ensayo de tensión.
(Fuente: Propia: 2018)

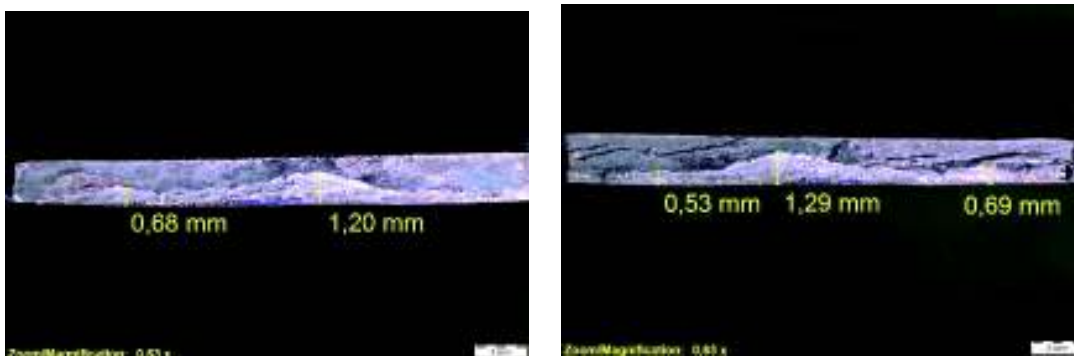


Figura 3.23. Superficie de fractura del ensayo de tensión TSN2.
(Fuente: Propia, 2018)

La Figura 3.24 permite observar el grado de cumplimiento de los resultados de tensión de las probetas de soldadura a tope (techo- techo) y el material base (Tablas 3.2 y 3.8).

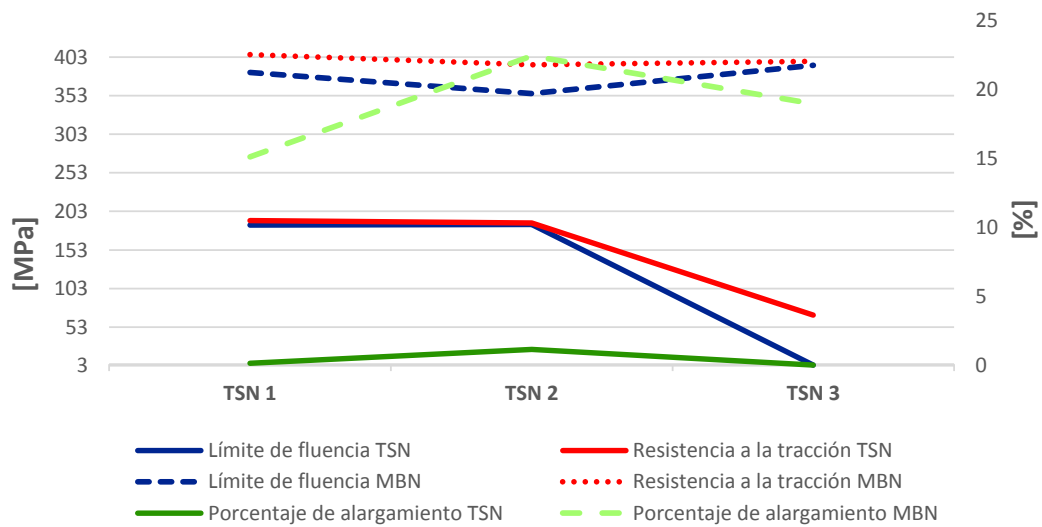


Figura 3.24. Resultados de los ensayos de tensión TSN vs resultados de ensayo de tensión MBN.
(Fuente: Propia, 2018)

Los resultados de los ensayos de tensión con soldadura en T (techo- ventana) de la zona de supervivencia se muestran en la Tabla 3.9 y Figura 3.25.

Tabla 3.9. Resultados del ensayo de tensión SNET.

Elementos	Carga de rotura
	[kN]
SNET 1	265,51
SNET 2	248,48

* La tabla muestra los valores reportados por el laboratorio de ensayos INEN ANEXO G.
(Fuente: ANEXO G)



Figura 3.25. Probetas ensayadas SNET.
(Fuente: Propia, 2018)

3.1.7.4. Macrografía de las muestras soldadas

En las macrografías realizadas a las probetas de las soldaduras a tope (techo-techo) de la zona de supervivencia, se observa un área de material de aporte de 6,95 mm² y zona afectada por el calor (ZAC) de 10,89 mm², con una distancia de separación entre tubos de 0,72 mm. Se muestra la penetración de cara de 0,72 mm, altura del refuerzo de 0,91 mm y falta de penetración en la raíz de 0,87 mm de longitud (Figura 3.26).

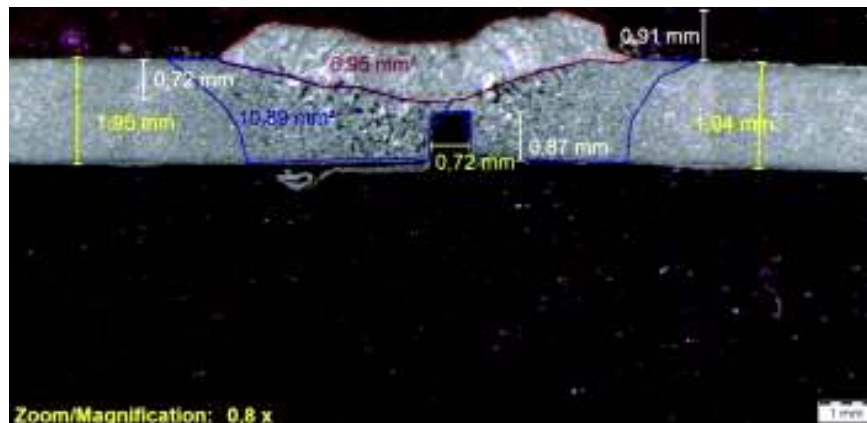


Figura 3.26. Probeta sometida a macroscopía óptica TSN 1.
(Fuente: Propia, 2018)

En la Figura 3.27, se observa un área de material de aporte de 10,31 mm² y zona afectada por el calor (ZAC) de 15,76 mm², con una distancia de separación entre tubos casi nula y penetración de cara es de 0,54 mm, altura del refuerzo de 1,37 mm. También, se observa falta de penetración en la raíz (longitud 1,36 mm).

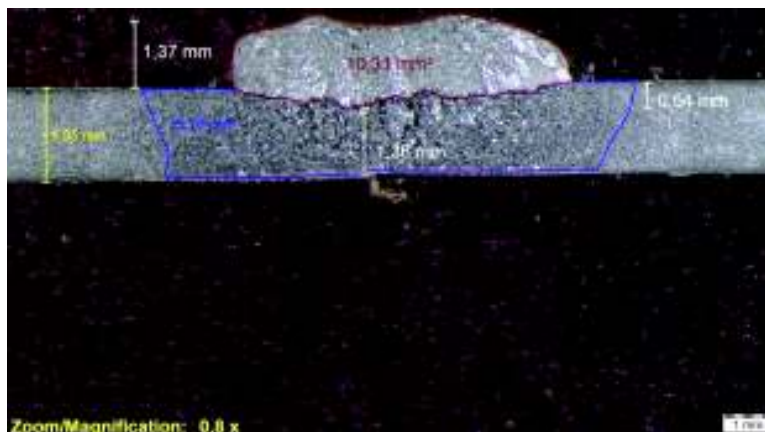


Figura 3.27. Probeta sometida a macroscopía óptica TSN 2.
(Fuente: Propia, 2018)

En la macrografía realizada a la probeta de soldadura en T (techo-ventana) de la zona de supervivencia, se observa que el área del material de aporte es 11,28 mm² y la de las zonas afectadas por el calor (ZAC) es de 6,85 mm² – 13,02 mm², con una distancia de separación entre tubos casi nula y la garganta efectiva de 2,81 mm, longitudes de piernas de 4,45 mm – 3,61 mm y ancho (W) de 5,79 mm. También se observa convexidad de 0,27 mm, concavidad de 0,23 mm y mordedura de 0,21 mm (Figura 3.28).

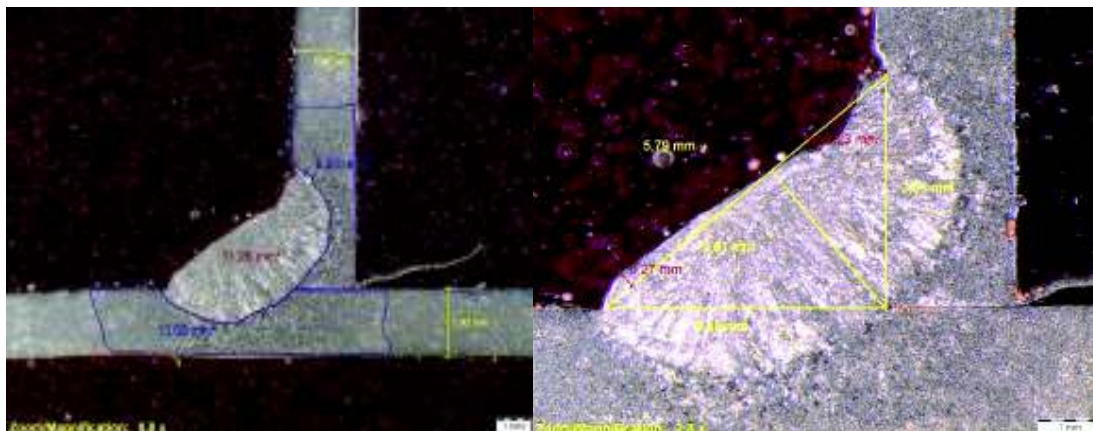


Figura 3.28. Probeta sometida a macroscopía óptica SNET.
(Fuente: Propia, 2018)

Las Tablas 3.10 y 3.11 permiten verificar el grado de cumplimiento de las discontinuidades presentes en la soldadura a tope y en T, considerando los resultados de la macroscopía y la norma AWS D1.1:2015 (Tablas 2.19 y Figuras desde la 3.26 a 3.28).

Tabla 3.10. Resultados de macroscopía óptica de las probetas TSN (techo-techo, zona de supervivencia) y requisitos de la norma.

Muestra	Área [mm ²]		Separación de probetas	Penetración de cara	Altura de refuerzo	Falta de penetración en raíz
	ZAC	MA	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Soldadura a tope nacional (TSN)	10,89	6,95	0,72	0,72	0,91	0,87
	15,76	10,31	0	0,54	1,37	1,36
Requisito de norma	N/A	N/A	N/A	N/A	R no deberá exceder 3 mm.	Fusión completa entre material de aporte y metal base.

(Fuente: Propia, 2018)

Tabla 3.11. Resultados de macroscopía óptica de las probetas SNET (techo-ventana, zona de supervivencia) y requisitos de la norma.

Muestra	Área [mm ²]		Garganta efectiva	Longitud de piernas	Ancho	Convexidad	Concavidad
	ZAC	MA	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Soldadura en T nacional	6,85	11,28	2,81	4,45	5,79	0,27	0,23
	13,02			3,61			
Requisito de norma	N/A	N/A	N/A	N/A	Si W es menor o igual a 8 mm C no deberá exceder 2 mm.		

(Fuente: Propia, 2018)

3.1.7.5. Ensayo de microscopía óptica muestras soldadas

Los ensayos metalográficos se realizaron a las probetas extraídas de muestras de uniones soldadas a tope (techo- techo) y en T (techo- ventana) de la zona de supervivencia, sin embargo al observar microestructuras similares se consideró solo una de las más representativas de las probetas (Anexo I).

Al analizar las probetas soldadas a tope (techo-techo), utilizando una magnificación de 50X, se puede identificar claramente tres zonas: material base MB; zona afectada por el calor ZAC y material de aporte MA; el espesor, de la ZAC o zona de transición varía entre 0,28 mm y 0,96 mm. A 100X se observa como varía la estructura monofásica de ferrita de granos equiaxiales presentes en el MB a un crecimiento de grano epiaxial en la ZAC a una

estructura dendrítica columnar presente en el MA, el cual es producto de la temperatura alcanzada y las altas velocidades de enfriamiento, durante el proceso de soldadura. Además a 500X, se observa a detalle el crecimiento de grano de la ZAC y que la zona del MA, corresponde a una microestructura de tipo ferrita Widmanstatten⁴ (Figuras 3.29 y 3.30).

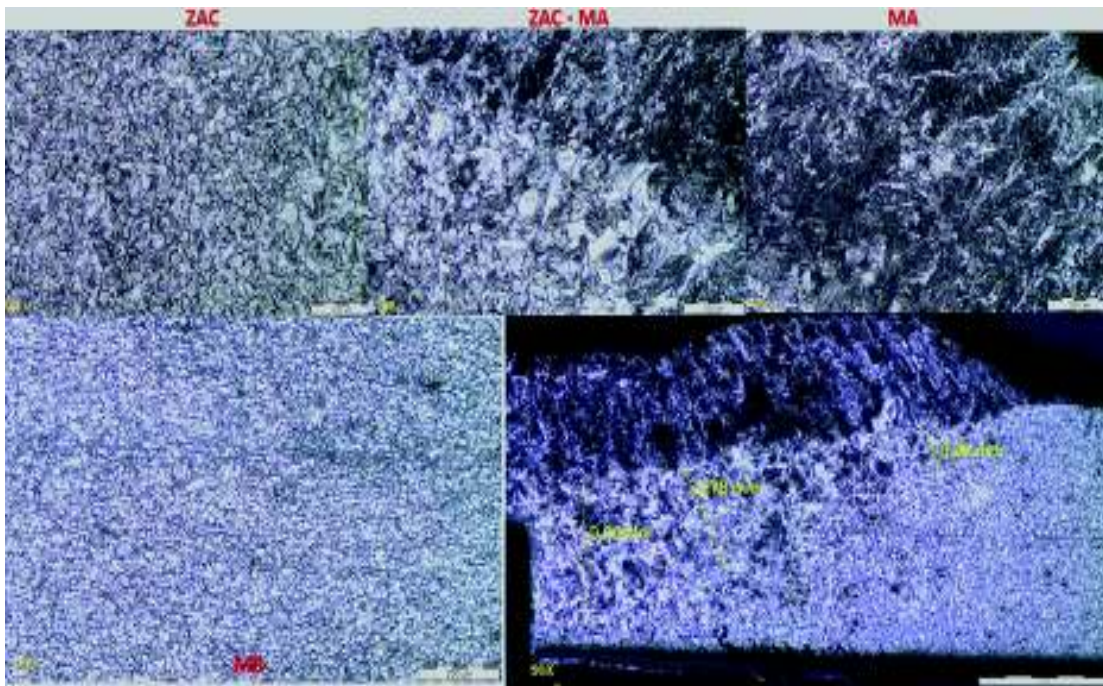


Figura 3.29. Micrografías TSN, material base (MB), zona afectada por el calor (ZAC) y material de aporte (MA) a 50X y 100X.
(Fuente: Propia, 2018)

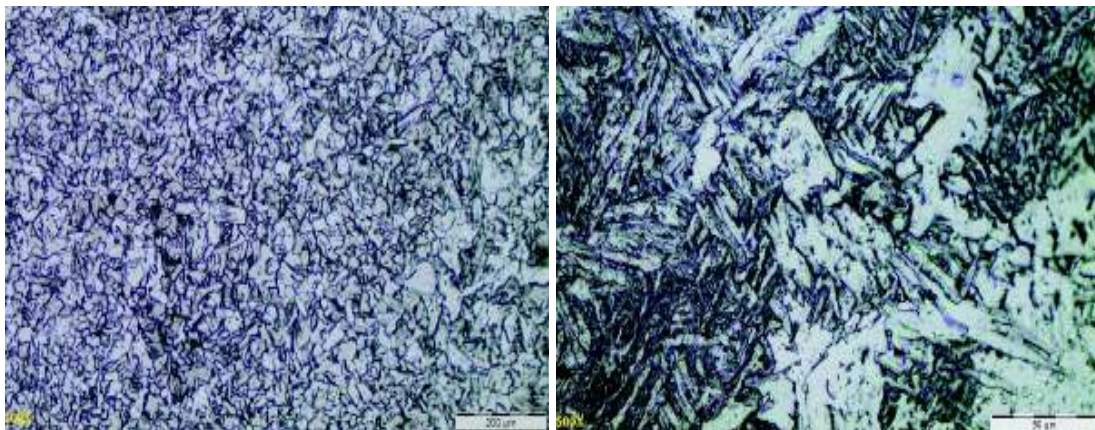


Figura 3.30. Detalle de las micrografías TSN, zona afectada por el calor (ZAC) y material de aporte (MA). 500X.
(Fuente: Propia, 2018)

⁴ Metalurgia+de+La+Soldadura. (s. f.). Recuperado 05 de noviembre de 2018, de <https://es.scribd.com/document/67500468/Metalurgia-de-La-Soldadura> [33]

3.1.7.6. Ensayo de microdureza soldadura.

El mapeo de microdurezas se realizó en diferentes secciones de las probetas extraídas de las muestras de las uniones soldadas pertenecientes a soldadura a tope (techo – techo) y en T (techo-ventana) de la zona de supervivencia (Figura 2.23), obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 3.12 y Figura 3.31.

Tabla 3.12. Microdurezas TSN (techo-techo) y SNET (techo- ventana) de la zona de supervivencia.

Muestra	Zona	Valor de dureza (0,2HV)				Promedio [HV]
TSN 1	*MA	170,12	160,57	160,99	164,88	164,14
	*ZAC	121,11	118,75	120,42	121,18	120,37
	*MB	121,40	130,24	121,54	---	124,39
TSN 2	*MA	157,75	162,71	161,62	177,21	164,82
	*ZAC	120,14	120,18	123,20	122,46	121,50
	*MB	124,76	116,09	107,83	128,71	119,35
SNET	*MA	166,84	152,58	170,52	173,66	165,90
	*ZAC	134,02	153,16	133,64	122,44	135,82
	*MB	121,80	117,79	121,05	124,34	121,25

*MA = Material de aporte; *ZAC = Zona afectada por el calor; *MB = Material base. Ver Anexo J (Fuente: Propia, 2018)

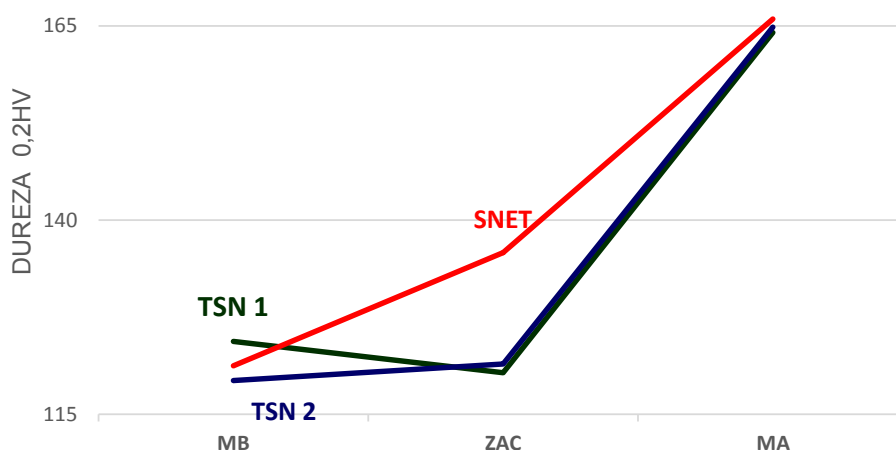


Figura 3.31. Barrido de durezas TSN (techo-techo) y SNET (techo- ventana) de la zona de supervivencia. (Fuente: Propia, 2018)

Resultados del Producto Importado

3.1.8. Composición química material base

La cuantificación de los elementos presentes en la muestra de la materia prima de la zona de supervivencia, se observan en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13. Composición química MBI, zona de supervivencia.

Elementos	Carbono [%]	Silicio [%]	Manganeso [%]	Fósforo [%]	Azufre [%]	Cromo [%]	Aluminio [%]	Hierro [%]
Muestra MBI	0,172	0,013	0,688	<0,001	0,003	0,014	0,039	98,99

* La tabla muestra los valores más representativos ANEXO E, se puede observar todos los elementos y sus respectivos valores
(Fuente: ANEXO E)

3.1.9. Ensayo de tensión material base

Los valores obtenidos en el ensayo de tensión de la materia prima de la zona de supervivencia se muestran en la Tabla 3.14 y Figuras 3.32 - 3.33.

Tabla 3.14. Valores obtenidos del ensayo de tensión MBI, zona de supervivencia.

Elementos	Área de la sección [mm ²]	Carga de fluencia [kN]	Carga de rotura [kN]	Límite de fluencia [Mpa]	Resistencia a la tracción [Mpa]	Porcentaje de alargamiento [%]
MBI 1	97,79	42,80	50,75	437,64	518,99	27,39
MBI 2	97,65	42,57	50,75	435,94	519,71	27,62
MBI 3	102,67	46,47	53,94	452,63	525,33	25,10

* La tabla muestra los valores reportados por el laboratorio de ensayos INEN ANEXO F,
(Fuente: ANEXO F)



Figura 3.32. Probetas ensayadas del MBI, zona de supervivencia.
(Fuente: Propia, 2018)

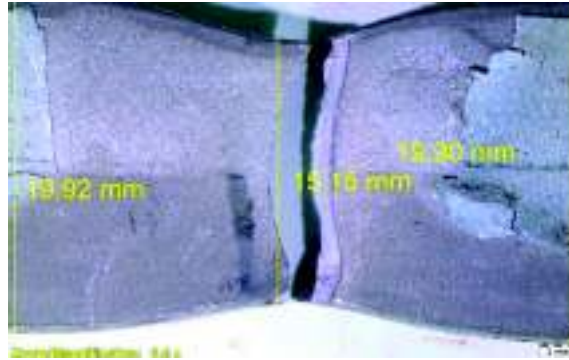


Figura 3.33. Detalle de una probeta del MBI, zona de supervivencia, después de realizar el ensayo de tensión.
(Fuente: Propia, 2018)

La Figura 3.34 permite establecer el grado del acero del material base de la zona de supervivencia, considerando los resultados de tensión y la norma NTE INEN 2415:2016 (Tablas 2.4 y 3.14).

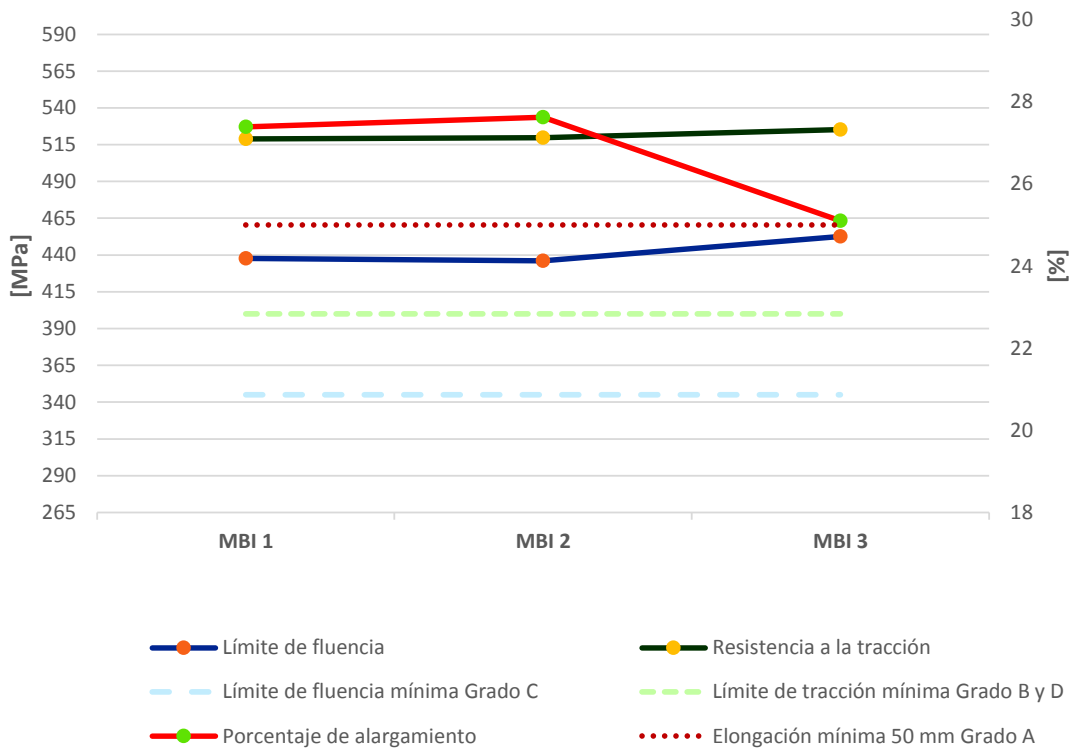


Figura 3.34. Valores del ensayo de tensión MBI, zona de supervivencia vs requisitos mecánicos “valor más exigente”.
(Fuente: Propia, 2018)

3.1.10. Determinación del espesor de galvanizado material base

Mediante el método de gravimetría, aplicado a la probeta de la materia prima de la zona de supervivencia, se toman los pesos iniciales y finales (Figura 3.35).



Figura 3.35. Peso inicial y final MBI, zona de supervivencia.
(Fuente: Propia, 2018)

Utilizando las ecuaciones 3.1 y 3.2, se obtiene los resultados que se muestran en la Tabla 3.15.

Tabla 3.15. Determinación de la masa de zinc MBI, zona de supervivencia, método gravimétrico.

Designación	Área	Masa inicial	Masa final	Galvanizado	
	[mm ²]	[g]	[g]	[g/m ²]	[μm]
MBI	4526,28	165,41	158,63	1497,70	208,01

(Fuente: Propia, 2018)

La determinación del espesor de galvanizado por el método de corte micrográfico, para la muestra de la materia prima de la zona de supervivencia, se observa en la Figura 3.36. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 3.16.

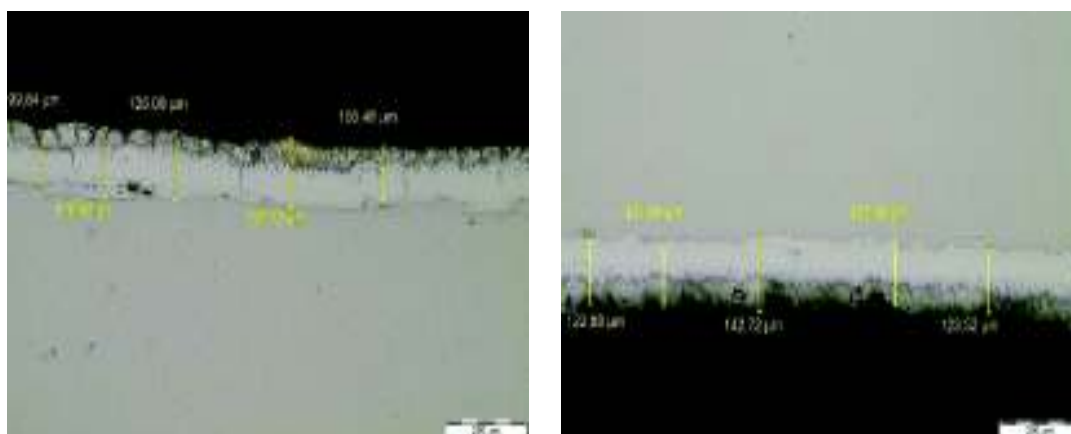


Figura 3.36. Medición de espesor de galvanizado MBI, zona de supervivencia.
(Fuente: Propia, 2018)

Tabla 3.16. Determinación de la masa de zinc, zona de supervivencia, método de corte micrográfico.

Designación	Superficie externa	Superficie interna	Galvanizado total	
	[μm]	[μm]	[μm]	[g/m^2]
MBI	116,61	126,85	243,46	1720,50

*El resultado es el promedio de 5 mediciones **Se utiliza la relación de la NTE INEN 1172:2013 1 μm equivale a 7,067 g/m^2 .

(Fuente: Propia, 2018)

La Figura 3.37 permite establecer el cumplimiento del acero del material base, considerando los resultados del ensayo de determinación del espesor de galvanizado y la norma NTE INEN 2415:2016 (Tablas 2.6, 3.15 y 3.16).

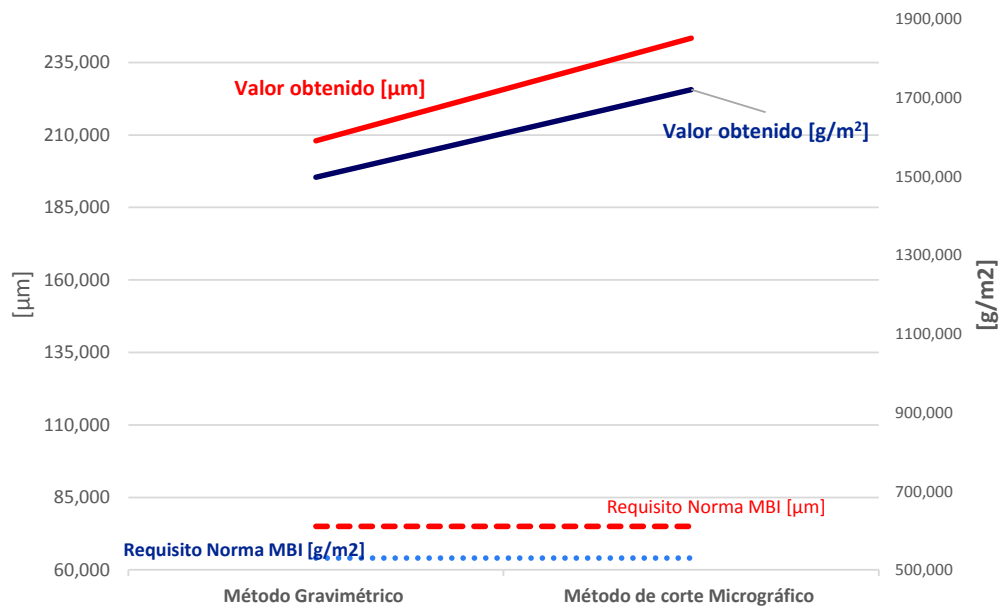


Figura 3.37. Resultados de la determinación de la masa de zinc MBI, zona de supervivencia vs requisito de norma.

(Fuente: Propia, 2018)

3.1.11. Prueba de adherencia de recubrimiento material base

La determinación de la adherencia de recubrimiento se realizó a una de las muestras de la materia prima de la zona de supervivencia de 30 cm de longitud, cuyo peso inicial es de 1900 g (Figura 3.38), siguiendo los parámetros que establece la NTE INEN 950:2013 [22]. Los resultados se muestran en las Figuras 3.8 y 3.9.



Figura 3.38. Peso inicial MBI, zona de supervivencia.
(Fuente: Propia, 2018)

3.1.12. Ensayo metalográfico material base

Las metalografías de la probeta perteneciente a la muestra de la zona de supervivencia, a una magnificación de 100X, muestra que el material base es un acero tratado térmicamente, con gran cantidad de inclusiones no metálicas que presentan un tamaño promedio de 17,01 μm longitudinalmente y 5,96 μm transversalmente, la microestructura es de ferrita poligonal con presencia de perlita y bainita acicular⁵, la medición del tamaño de grano es G13, de acuerdo a la norma ASTM E112 – 12 [32], como se observa en las Figuras 3.39 y 3.40 (Anexo H).

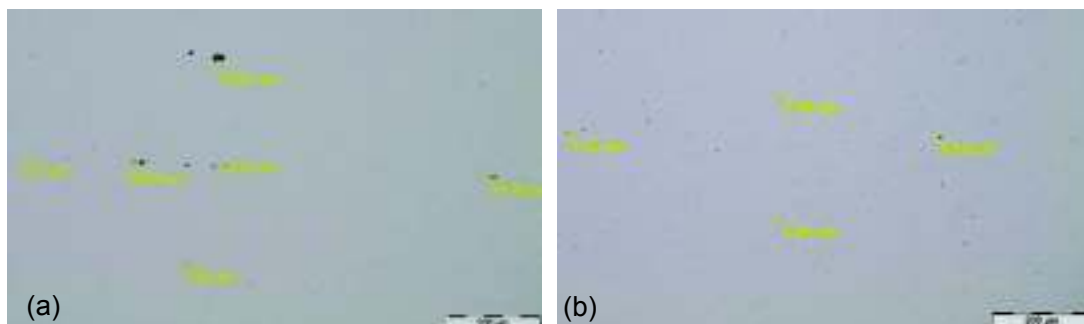


Figura 3.39. MBI, zona de supervivencia (a) sentido longitudinal (b) sentido transversal 100X.
(Fuente: Propia, 2018)

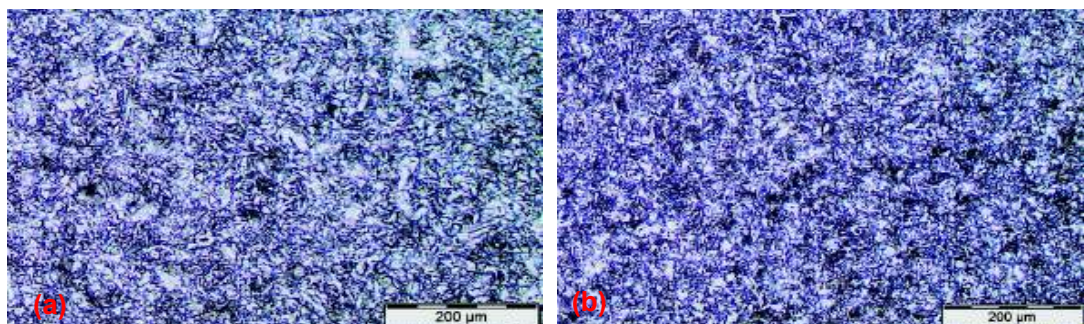


Figura 3.40. MBI, zona de supervivencia (a) sentido longitudinal (b) sentido transversal 100X.
(Fuente: Propia, 2018)

⁵ Thompson, M., Ferry, M., & Manohar, P. A. (2001). Simulation of Hot-band Microstructure of C-Mn Steels during High Speed Cooling. *ISIJ International*, 41(8), 891-899. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.41.891>

Al ampliar a una magnificación de 500X, longitudinal y transversalmente, se observa que el acero tratado térmicamente tiene una matriz de tipo ferrítica poligonal (fase blanca) y se puede ver en detalle la perlita y bainita acicular (Figura 3.41).

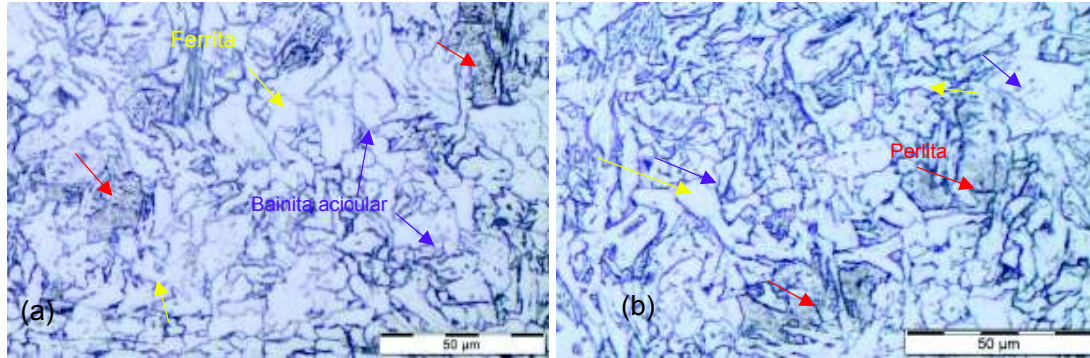


Figura 3.41. MBI, zona de supervivencia (a) sentido longitudinal y (b) sentido transversal, tamaño de grano G13 500X. (Fuente: Propia, 2018)

3.1.13. Ensayo de dureza material base

El mapeo de dureza realizado a la probeta de la zona de supervivencia, se efectuó transversalmente y sus resultados se observan en la Tabla 3.17.

Tabla 3.17. Valores obtenidos del ensayo de dureza del MBI, zona de supervivencia.

Muestra		Dureza					Promedio	
		[HRB]					[HRB]	[HV]*
MBI	Transversal	91	92	91	93	92	195	

*ASTM E140:2012 [46]
(Fuente: Propia, 2018)

3.1.14. Estructura soldada

Utilizando la ecuación 3.3 [30], para el cálculo del CE de la muestra de la materia prima del producto importado utilizando los datos de la Tabla 3.13 se obtiene el siguiente resultado:

$$CE_{MBI} = 0,29$$

En base a este resultado, se determina que el acero empleado para el ensamblaje de la carrocería importado presenta una excelente soldabilidad, pues la soldabilidad es inversamente proporcional al carbón equivalente [30].

3.1.14.1. Inspección visual de las muestras soldadas

La inspección visual se realizó en las probetas de soldaduras a tope (muestras techo-techo) y en T (techo-ventana) de la zona de supervivencia. Se observa en la superficie de la

soldadura una gran cantidad de discontinuidades, de las cuales se tomó en cuenta las más representativas para su análisis.

En la parte externa de la soldadura a tope de las muestras techo-techo, se observa la falta de homogeneidad, así como la presencia de gran cantidad de salpicaduras y un poro superficial de 1,21 mm de diámetro en una longitud de 23,17 mm de soldadura (Figura 3.42).



Figura 3.42. Discontinuidades TSI, superficie externa.
(Fuente: Propia, 2018)

En la parte interna del tubo, la soldadura a tope, presenta falta de penetración y gran cantidad de salpicaduras, la separación de placas es de 1,54 mm en promedio, Figura 3.43.

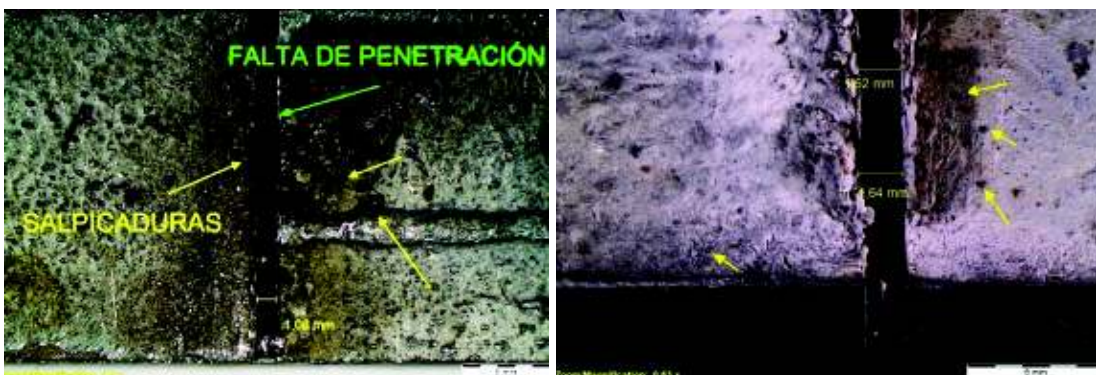


Figura 3.43. Discontinuidades TSI, superficie interna.
(Fuente: Propia, 2018)

La Tabla 3.18 permite verificar el grado de cumplimiento de las discontinuidades presentes en la soldadura a tope, evaluando los resultados de la inspección visual, en base a las normas AWS D8.8M:2017 y AWS D1.1:2015 (Tablas 2.14, 2.15, Figuras 3.42 y 3.43).

Tabla 3.18. Resumen de las discontinuidades de la Inspección visual TSI soldadura a tope (techo-techo) zona de supervivencia y requisitos de norma.

Muestra	Observación	Requisito de norma
Soldadura a tope importada	Poros en longitud de 23,17 mm = 1,21 mm	Se permitirá poros individuales, separados por su propio diámetro y otra porosidad dispersa; la longitud total de la porosidad no debe ser mayor a 6 mm en cualquier longitud de 25 mm de soldadura, La dimensión máxima de poro no debe sr mayor 1,6 mm
	Falta de homogeneidad en la soldadura	N/A
	Falta de penetración, no hay fusión completa material de aporte y material base,	Fusión completa entre el material de aporte y metal base,

(Fuente: Propia: 2018)

En la superficie externa del tubo estructural cuadrado galvanizado soldadura en T (techo-ventana) de la zona de supervivencia, se observa la falta de homogeneidad de la misma, como también la presencia de salpicaduras y micro rechupes en los cambios de sección del tubo (Figura 3.44).



Figura 3.44. Superficie externa SIET.
(Fuente: Propia, 2018)

También, se realizó inspecciones in situ a las estructuras terminadas de fabricación importada observando lo mostrado en la Figura 3.45.



Figura 3.45. Inspección in situ, estructura importada.
(Fuente: Propia, 2018)

3.1.14.2. Doblado de cara y raíz de las muestras soldadas

En la Figura 3.46, se muestran las probetas de las soldaduras a tope (techo-techo) de la zona de supervivencia, sometidas a ensayos de doblado de cara y raíz.



Figura 3.46. Probetas TSI sometidas a ensayos de doblado de cara y raíz.
(Fuente: Propia, 2018)

A una magnificación de 4X, en el ensayo de doblado de cara (Figura 3,47), una de las probetas se fracturo presentando una superficie de falla con presencia de deformación plástica, mientras que las probetas restantes dentro de la soldadura muestran grietas con longitudes de 5,96 mm y 22,69 mm.

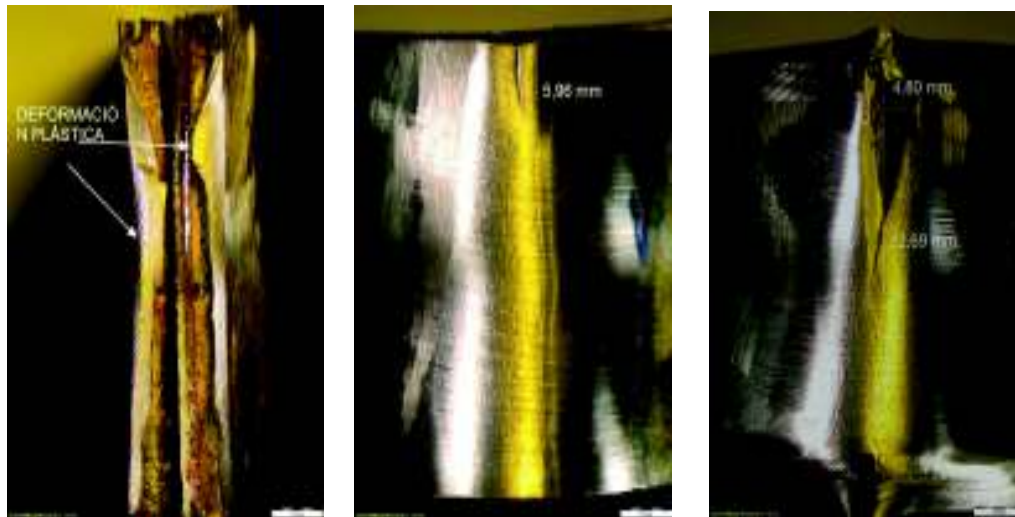


Figura 3.47. Probetas sometidas a ensayos de doblado de cara TSI.
(Fuente: Propia, 2018)

A la misma magnificación, en el ensayo de doblado de raíz, ninguna de las probetas se fracturó, pero presentan aberturas con longitudes entre 3,82 mm a 5,47 mm (Figura 3.48).



Figura 3.48. Probetas sometidas a ensayos de doblado de raíz TSI.
(Fuente: Propia, 2018)

La Tabla 3.19 permite verificar el grado de cumplimiento de las discontinuidades presentes en la soldadura a tope (techo- techo), con los resultados del doblado de cara y raíz, tomando como referencia la norma AWS D1.1:2015 (Tablas 2.17, Figuras 3.47 y 3.89).

Tabla 3.19. Consolidado de los resultados de doblado de cara y raíz TSI soldadura a tope (techo-techo) zona de supervivencia y requisitos de norma.

Muestra	Observación	Requisito de norma
Soldadura a tope Importada	DCI1	Grieta 5,96 mm
	DCI2	Fractura total
	DCI3	Grieta 22,69 mm con abertura de 4,80 mm
	DRI1	Abertura de 4,77 mm
	DRI2	Abertura de 5,47 mm
	DRI3	Abertura de 3,82 mm

(Fuente: Propia, 2018)

3.1.14.3. Ensayo tensión de las muestras soldadas

Se realizó el ensayo de tensión a 3 probetas de las soldaduras a tope (techo-techo) de la zona de supervivencia, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 3.20 y en las Figuras 3.49 a 3.51.

Tabla 3.20. Valores del ensayo de tracción de las probetas del TSI.

Elementos	Área de la sección [mm ²]	Carga de fluencia [kN]	Carga de rotura [kN]	Límite de fluencia [Mpa]	Resistencia a la tracción [Mpa]	Porcentaje de alargamiento [%]
TSI 1	95,97	20,23	22,09	210,76	230,19	5,66
TSI 2	95,23	18,28	29,28	191,94	307,49	4,98
TSI 3	95,53	30,32	33,09	317,39	346,36	4,58

* La tabla muestra los valores reportados por el laboratorio de ensayos INEN ANEXO F.
(Fuente: ANEXO F, 2018)



Figura 3.49. Probetas ensayadas TSI.
(Fuente: Propia, 2018)

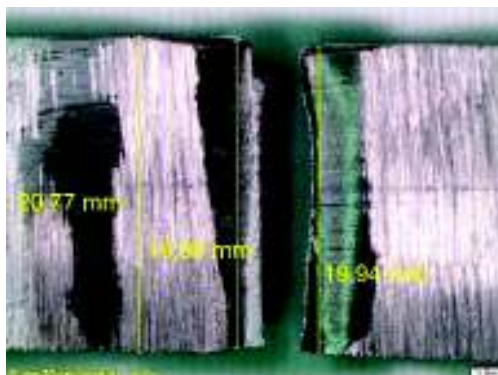


Figura 3.50. Detalle de la probeta del TSI después de realizar el ensayo de tensión.
(Fuente: Propia, 2018)

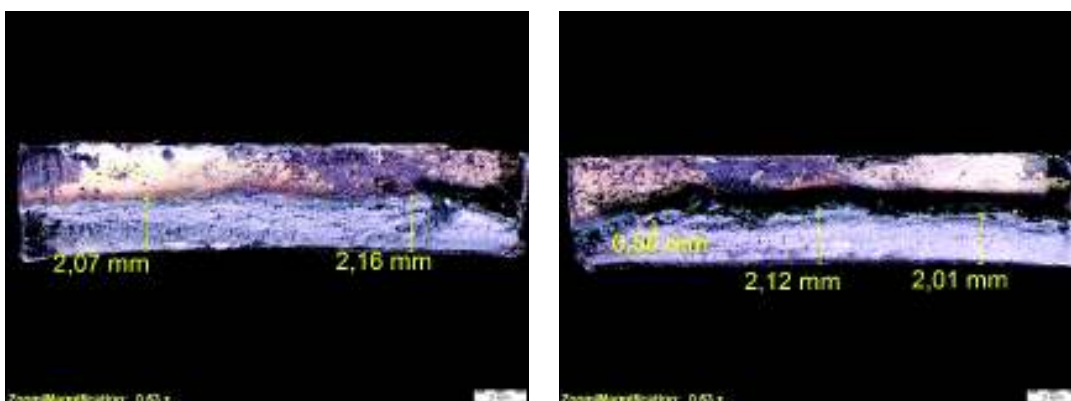


Figura 3.51. Superficie de fractura del ensayo de tensión TSI2.
(Fuente: Propia, 2018)

La Figura 3.52 permite observar el grado de cumplimiento de los resultados de tensión de las probetas de soldadura a tope (techo- techo) y el material base (Tablas 3.14 y 3.20).

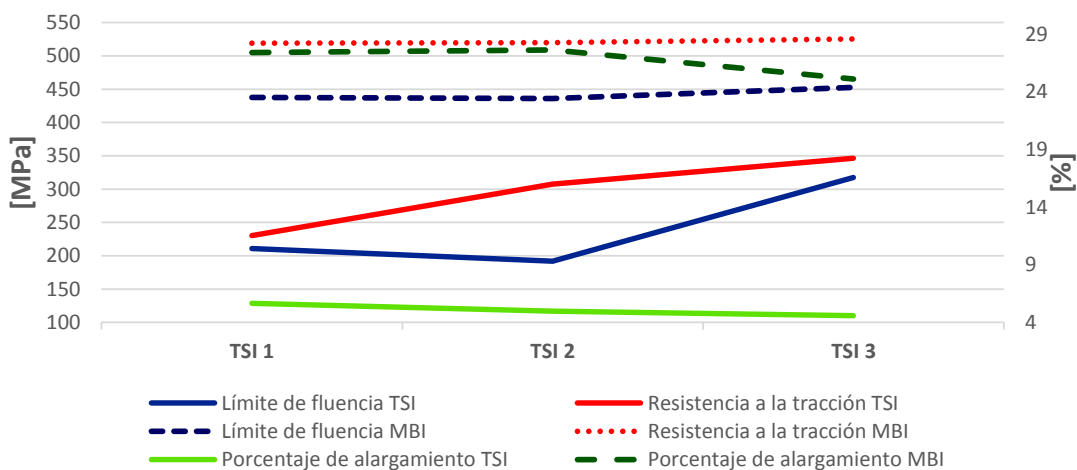


Figura 3.52. Resultados de los ensayos de tensión TSI vs resultados de ensayo de tensión MBI.
(Fuente: Propia, 2018)

Los resultados de los ensayos de tensión con soldadura en T (techo- ventana), de la zona de supervivencia) se muestran en la Tabla 3.21 y Figura 3.53.

Tabla 3.21. Resultados del ensayo de tensión SIET.

Elementos	Carga de rotura [kN]
SIET 1	126,61
SIET 2	118,37

* La tabla muestra los valores reportados por el laboratorio de ensayos INEN ANEXO G.
(Fuente: ANEXO G)



Figura 3.53. Probetas Ensayadas SIET.
(Fuente: Propia, 2018)

3.1.14.4. Macrografía de las muestras soldadas

En las macrografías realizadas a las probetas de las soldaduras a tope (techo-techo) de la zona de supervivencia, se observa un desfase de la unión soldada mientras que, el área del material de aporte es de 19,48 mm² y de las zonas afectadas por el calor (ZAC) son de 9,95 mm² y 15,08 mm². La distancia de separación de los tubos es 0,93 mm con una penetración de 2,82 mm, existe altura de refuerzo de cara de 1,64mm y de raíz de 0,22mm. Además, se muestra falta de fusión (FF) en la raíz, la cual se identifica como una sección recta y uniforme, que no fue afectada por la soldadura (longitud de 0,49 mm) y falta de penetración (longitud de 1,58 mm) (Figura 3.54).

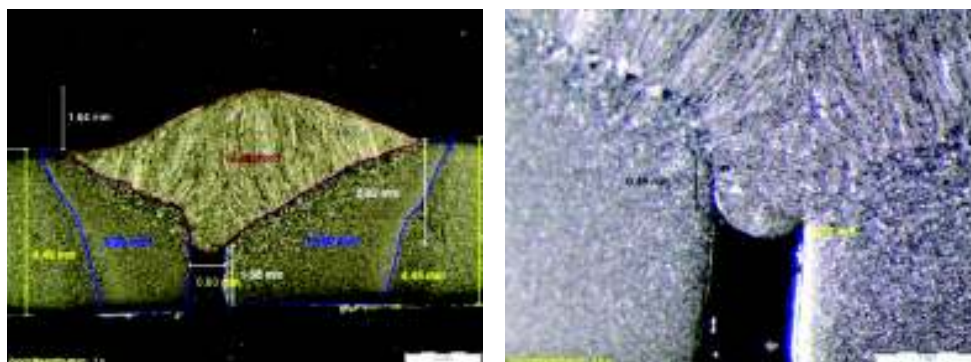


Figura 3.54. Probeta sometida a macroscopía óptica TSI 1.
(Fuente: Propia, 2018)

En la Figura 3.55, se observa un leve desfasamiento de la unión soldada, un área de material de aporte de 19,61 mm² y zonas afectadas por el calor (ZAC) de 13,39 mm² y 18,23 mm², la distancia entre tubos es 1,02 mm; con penetración de cara de 3,03 mm, altura de refuerzo de cara de 1,45 mm y de raíz de 0,14 mm. Además, se muestra la falta de fusión (FF) en la raíz, la cual se identifica como una sección recta y uniforme en ambos lados de la soldadura (longitudes de 0,35 mm – 0,53 mm) y falta de penetración (longitud de 1,37 mm).

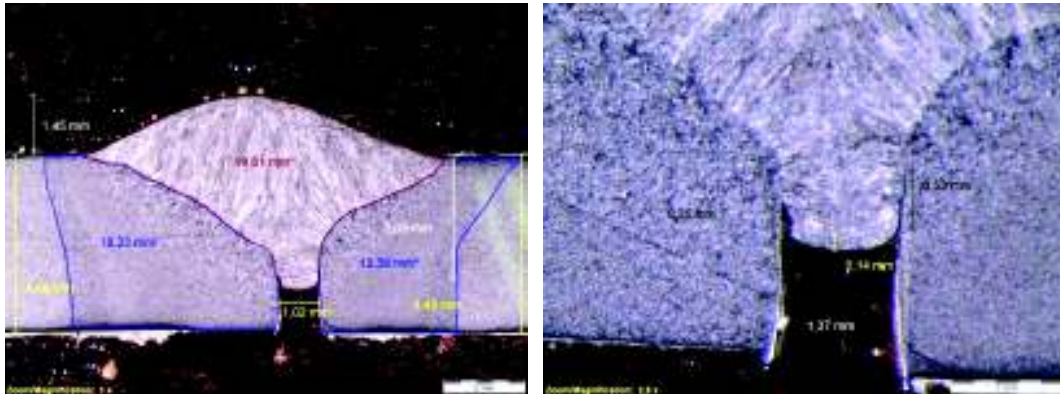


Figura 3.55. Probeta sometida a macroscopía óptica TSI 2.
(Fuente: Propia, 2018)

En la macrografía realizada a las probeta de la soldadura en T (techo- ventana) de la zona de supervivencia, se observa que el área del material de aporte es 27,14 mm² y las zonas afectadas por el calor (ZAC) de 23,42 mm² – 33,14 mm², con una distancia de separación entre tubos de 0,28 mm; garganta efectiva de 3,96 mm, longitud de piernas de 5,60 mm y ancho (W) de 7,92 mm. Además, se observa convexidad de 0,39 mm y mordedura de 0,34 mm (Figura 3.56).

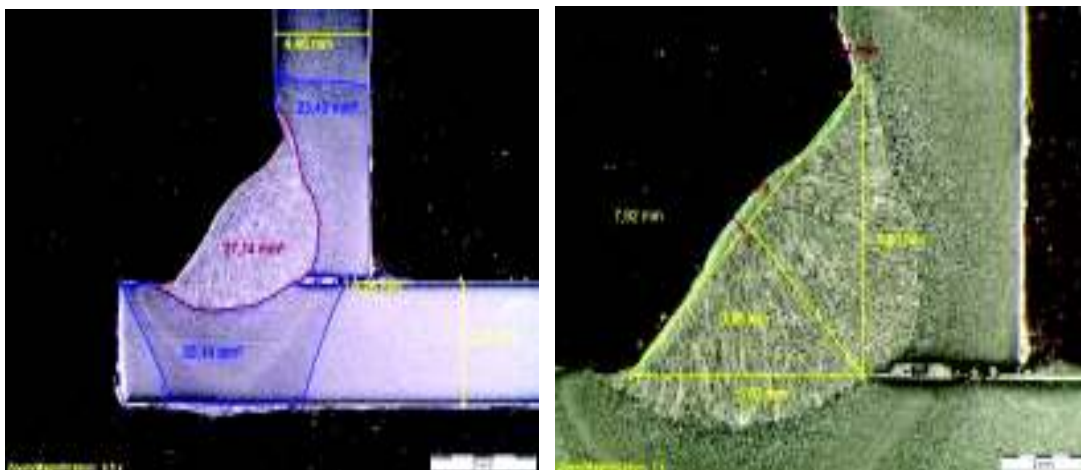


Figura 3.56. Probeta sometida a macroscopía óptica SIET.
(Fuente: Propia, 2018)

Las Tablas 3.22 y 3.23 permiten verificar el grado de cumplimiento de las discontinuidades presentes en la soldadura a tope y en T, considerando los resultados de la macroscopía y la norma AWS D1.1:2015 (Tablas 2.19 y Figuras desde la 3.54 a 3.56).

Tabla 3.22. Resultados de macroscopía óptica de las probetas TSI (techo-techo, zona de supervivencia) y requisitos de la norma.

Muestra	Área [mm ²]		Separación de probetas [mm]	Penetración de cara [mm]	Altura de refuerzo [mm]	Falta de penetración en raíz [mm]	
	ZAC	MA					
Soldadura a tope importada (TSI)	25,03	19,48	0,93	2,82	1,64	1,58	Falta de fusión recta de 0,49 mm.
	31,62	19,61	1,02	3,03	1,45	1,37	Falta de fusión recta de 0,53 mm.
Requisito de norma	N/A	N/A	N/A	N/A	R no deberá exceder 3 mm.		Fusión completa entre material de aporte y metal base.

(Fuente: Propia, 2018)

Tabla 3.23. Resultados de macroscopía óptica de las probetas SIET (techo-ventana, zona de supervivencia) y requisitos de la norma.

Muestra	Área (mm ²)		Separación probetas [mm]	Garganta efectiva [mm]	Longitud de piernas [mm]	W [mm]	C [mm]	Mordedura [mm]
	ZAC	MA						
Soldadura en T importada	23,42							
		27,14	0,28	3,96	5,6	7,92	0,39	0,34
Requisito de norma	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Si W es menor o igual a 8 mm C no deberá exceder 2mm.		La socavación del metal base no debe exceder de 1mm.

(Fuente: Propia, 2018)

3.1.14.5. Ensayo de microscopía óptica de las muestras soldadas

Los ensayos metalográficos se realizan a las probetas extraídas de las muestras de las uniones soldadas a tope (techo- techo) y en T (techo- ventana) de la zona de supervivencia, al observar microestructuras similares solo se consideró la más representativa de las probetas (Anexo I).

Al analizar las probetas soldadas a tope (techo-techo), utilizando una magnificación de 50X, se pueden identificar cuatro zonas: material base MB; zona afectada por el calor ZAC de grano fino, zona afectada por el calor ZAC de grano grueso y material de aporte MA; el espesor de la ZAC de grano fino varía entre 1,48 mm - 1,50 mm y el de la ZAC de grano grueso varía entre 0,42 mm y 1,68 mm. A 100X, se observa como varía la estructura de ferrita poligonal con presencia de perlita y bainita acicular presentes en el MB a una disminución de grano parcialmente refinado y al mismo tiempo un crecimiento de grano epiaxial de la ZAC a una estructura dendrítica columnar presente en el MA, el cual es producto de la temperatura alcanzada y las altas velocidades de enfriamiento durante el proceso de soldadura. Además a 500X, se observa a detalle la variación del grano y que la zona del MA, corresponde a una microestructura de tipo ferrita Widmanstätten⁶ (Figuras 3.57 y 3.58).

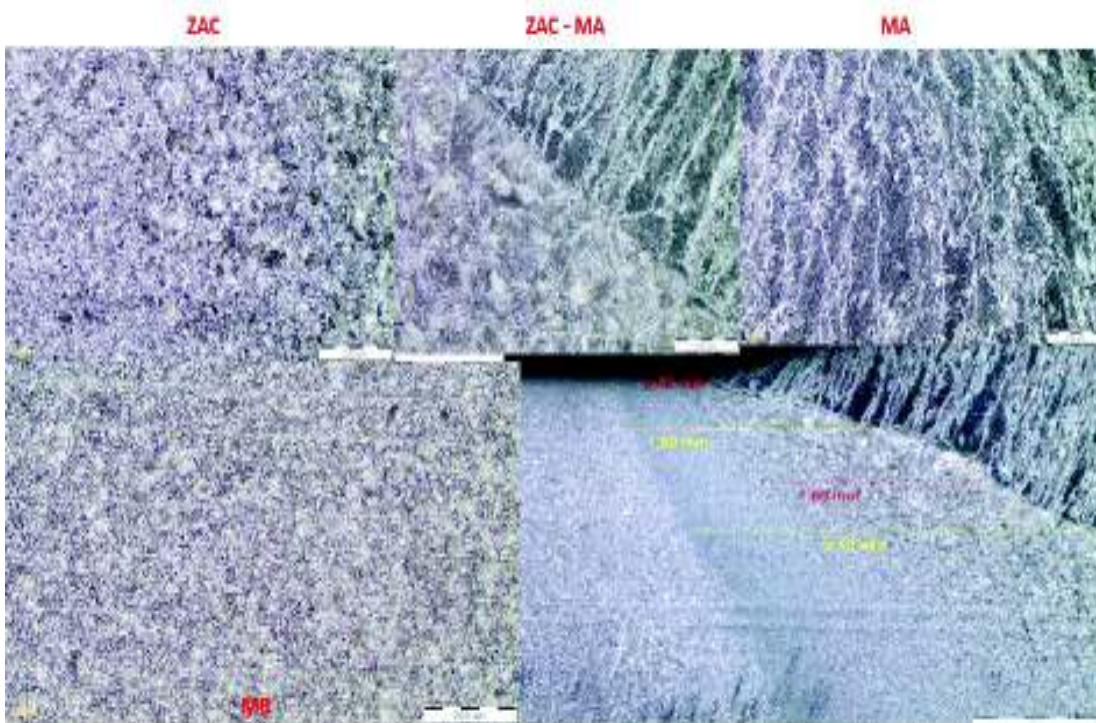


Figura 3.57. Micrografías TSI, material base (MB), zona afectada por el calor (ZAC) con grano fino / grueso y material de aporte (MA) a 50X y 100X.
(Fuente: Propia, 2018)

⁶ Metalurgia+de+La+Soldadura. (s. f.). Recuperado 05 de noviembre de 2018, de <https://es.scribd.com/document/67500468/Metalurgia-de-La-Soldadura> [33]

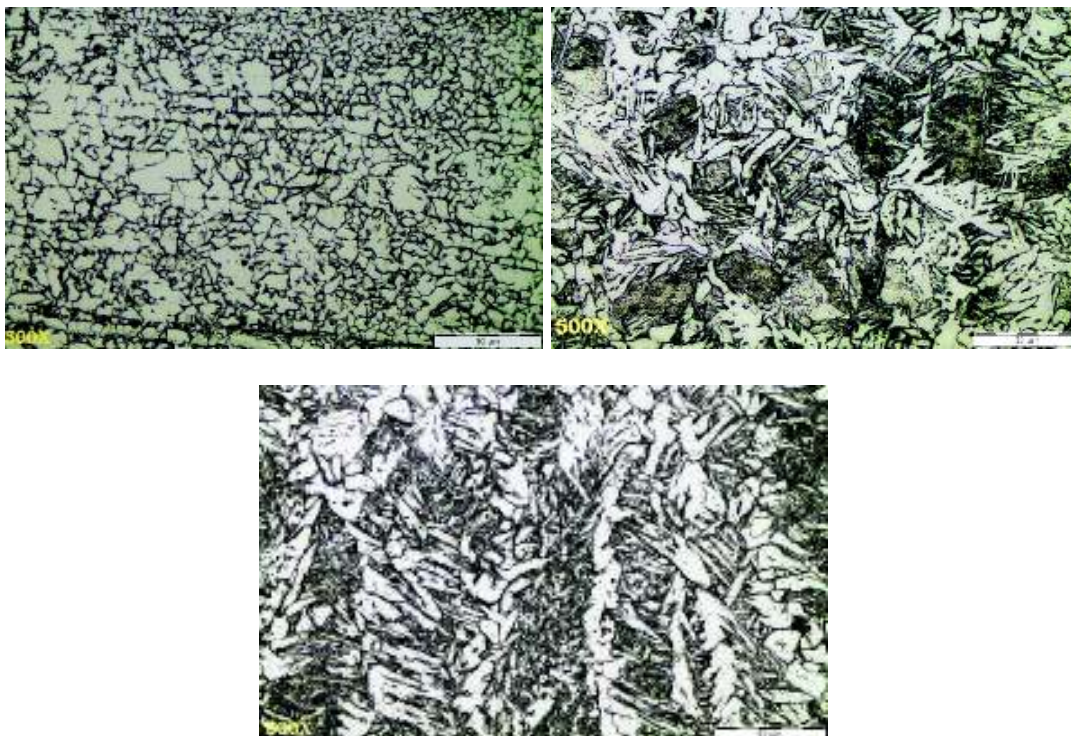


Figura 3.58. Detalle de las micrografías TSI, zona afectada por el calor (ZAC) grano fino / grano grueso y material de aporte (MA) 500X.
(Fuente: Propia, 2018)

3.1.14.6. Ensayo de microdureza soldadura

El mapeo de microdurezas se realizó en diferentes secciones de las probetas extraídas de las muestras de las uniones soldadas pertenecientes a soldadura a tope (techo – techo) y en T (techo-ventana) de la zona de supervivencia (Figura 2.23), obteniendo los resultados que se observan en la Tabla 3.24 y Figura 3.59.

Tabla 3.24. Microdurezas TSI (techo-techo) y SIET (techo- ventana) de la zona de supervivencia.

Muestra	Zona	Valor de dureza (0,2hv)				Promedio [HV]	
Tubo estructural galvanizado Importado	*MA	195,82	179,60	192,35	194,21	190,50	
	TSI 1	*ZAC	147,00	138,72	143,29	147,47	144,12
		*MB	163,11	162,21	175,16	169,27	167,44
		*MA	193,20	193,95	192,20	188,52	191,97
	TSI 2	*ZAC	149,15	154,31	153,35	150,49	151,83
		*MB	174,29	175,89	176,06	170,80	174,26
		*MA	185,44	180,53	183,94	174,85	181,19
	SIET	*ZAC	147,52	145,18	145,78	147,42	146,48
		*MB	181,77	163,65	170,16	172,70	172,07

*MA = Material de aporte; *ZAC = Zona afectada por el calor; *MB = Material base, Ver Anexo J.
(Fuente: Propia, 2018)

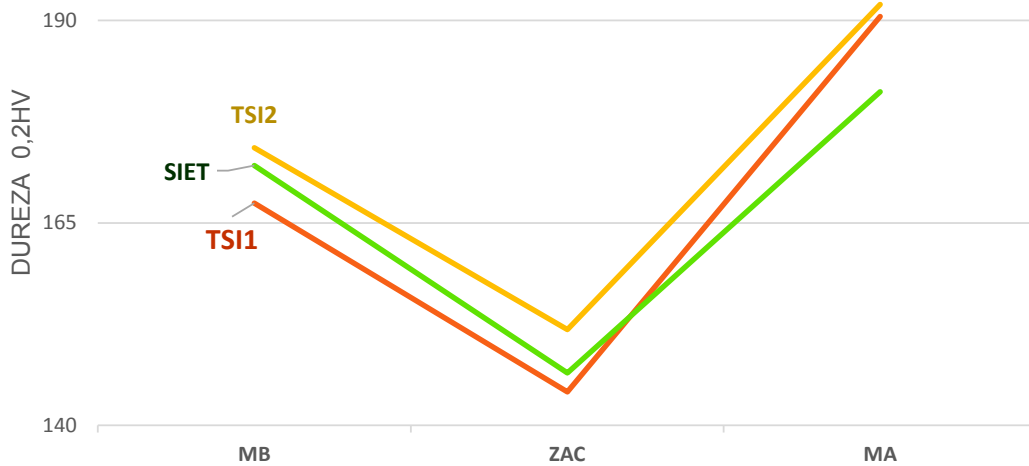


Figura 3.59. Barrido de durezas TSI (techo-techo) y SIET (techo- ventana) de la zona de supervivencia.
(Fuente: Propia, 2018)

3.2. Evaluación y resultados del ensayo de simulación de la estructura de los buses de fabricación nacional e importada

Las normativas, reglamentos técnicos y resoluciones que rigen al transporte público y comercial de pasajeros en el territorio ecuatoriano exigen el cumplimiento de requisitos mínimos para el control de la calidad y la seguridad de dichas unidades de transporte. El control tiene por objetivo brindar seguridad a los usuarios en caso de ocurrir un accidente de tránsito [4].

La norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1323:2009 [12], establece dichos requerimientos en términos de resistencia estructural. En lo referente al comportamiento ante eventos de vuelco se hace referencia al reglamento de la Unión Europea número 66 [8].

3.2.1. Revisión del estado del arte en simulación de vuelco lateral de autobuses de fabricación nacional e importada

A continuación, se describen los resultados de investigaciones, en las que se utilizaron diferentes programas de análisis no lineal explícito por elementos finitos para comprobar la resistencia de superestructuras de autobuses de fabricación nacional. En la mayoría ellas, solo se hace mención a simulaciones, que incluyen un rediseño y/o mejora de las propiedades de los materiales. Es así que; Cárdenas D, Escudero J y Quizhpi S (2014) consideran a la soldadura libre de imperfecciones y como parte rígida del automotor, al cambiar la geometría de la estructura, el software que aplican no reconoce las uniones

como partes soldadas; como conclusión al realizar los análisis en base a la normativa INEN 1323:2009 este tipo de carrocería no invade la zona de supervivencia.

Otro estudio como el realizado por Hidalgo D (2010), muestra que usando el acero A36 y asumiendo que la soldadura cumple todos los parámetros normativos, en la simulación realizada a la carrocería, la zona de supervivencia no es invadida, lo que permite incrementar la competitividad de la empresa PICOSA del bus urbano de tipo entrada baja realizado en base a la norma técnica ecuatoriana INEN 1323:2009.

Por otro lado Andrade L y Méndez P (2012), realizan el estudio del diseño de una carrocería mediante un análisis de esfuerzos estáticos y dinámicos en un autobús marca Patricio Cepeda, en función de la NORMA ISO 9001:2008 mediante la aplicación de un software para el cálculo de las fuerzas, utilizando para la simulación acero A36 y A500 como material para la superestructura, de acuerdo al diseño original los ensayos de simulación tomando como referencia la norma INEN:1323:2009, invaden la zona de supervivencia, sin embargo, las mejoras realizadas a la superestructura y soldaduras consideradas como uniones rígidas, hacen que los ensayos de simulación no invadan el espacio de supervivencia.

El estudio de análisis del comportamiento mecánico del sistema estructural del autobús realizado por Cepeda J (2006), para la empresa Carrocera Miral Buses, optimiza el diseño y realizar simulaciones para determinar la resistencia de la carrocería ante condiciones de carga, con lo que se observa que la mayor carga de flexión y torsión actúa en diferentes miembros pertenecientes a la secciones del esqueleto de la misma. En este estudio se menciona que las uniones soportan aproximadamente el 6% del total de cada una de las cargas aplicadas en la carrocería, lo que hace importante su análisis y construcción adecuada, pero para la simulación la soldadura es considerada como una unión rígida. Al utilizar un acero JIS G312 y ASTM A-36 con el rediseño de la estructura en la simulación se demuestra que al aplicar las cargas respectivas, no se invade la zona de supervivencia.

También, se realizan otros estudios de simulación donde solamente se analiza el ensayo de vuelco a un módulo de la estructura perteneciente al espacio de supervivencia. Por ejemplo: Arroba A y Hernán C (2013), simulan el comportamiento mecánico de una sección de la superestructura del autobús interprovincial sometida a volcadura, usando un acero A500 en la estructura y su incidencia en el espacio de supervivencia con uniones sin imperfecciones, determinando que el acero invade esta zona.

A nivel internacional se presentan algunas investigaciones, en las que se utilizaron diferentes programas de análisis no lineal explícito por elementos finitos para comprobar la resistencia de las superestructuras de autobuses de fabricación importada:

En un estudio realizado en México: Pozo J (2006), que propone procedimientos de análisis y diseño de superestructuras de autobuses, se realiza la simulación de una sección de la carrocería (superestructura) con vuelco lateral, usando un acero 304. El análisis determina que se produce intrusión de componentes estructurales dentro del espacio de supervivencia, por lo que esta sección de la superestructura no pasa la prueba de vuelco y se recomienda poner refuerzos y/o mejorar la resistencia de esta sección de la estructura.

En la simulación del vuelco lateral de una sección de una carrocería de autobús, Deshmukh (2006), utiliza una simulación de tipo shells QEPH para los perfiles estructurales y un modelo del material tipo MAT LAW 36. Ajustando el centro de gravedad del modelo de elementos finitos de la sección, al agregar masa uniformemente en ciertos puntos y usando en la simulación la estructura antes del impacto en el piso, con velocidad inicial calculada por simulaciones dinámicas (Multibody Dynamics) MBD. Los resultados de la simulación fueron comparados con una prueba real de vuelco en la que se pudo demostrar que el programa permite obtener resultados en conformidad con los ensayos de vuelco reales.

3.2.2. Identificación del método usado en las simulaciones

Se utilizó el Método DYSIM para simulación de eventos cuasi-estáticos, dinámicos no lineales y de impactos automotrices aplicados, además, de pruebas de vuelco de autobuses desarrolladas, patentadas y simuladas por uno de los laboratorios de ensayo de estructuras de autobuses debidamente acreditado en el Ecuador (Anexo C).

El método se basó en el modelado geométrico - matemático del autobús, utilizando criterios de mallado, en la solución y post-procesamiento del ensayo, procesos que han sido documentados en los procedimientos internos del laboratorio de ensayo, como se detalla a continuación:

- Se aplica la combinación de cargas de acuerdo con lo estipulado en la NTE INEN 1323:2009, literal 5.1.2.2 [12]; para determinar la deformación máxima de los elementos, la misma que no debe superar 1/240 de la longitud del elemento.
- Se aplica, según requerimiento de la norma NTE INEN 1323:2009, literal 5.1.5.1 [12], una carga equivalente al 50% del peso máximo admisible del chasis, distribuida uniformemente sobre el techo del autobús analizado. La deformación máxima no debe ser mayor a 70 mm.
- Se simula el volcamiento de la estructura mediante software especializado de alto nivel de ingeniería, teniendo en cuenta las propiedades del material,

geometría, formas, pesos reales y críticos soportados, según requerimiento de la norma NTE INEN 1323:2009, literal 5.1.5.2. [12].

3.2.3. Descripción del modelo para el ensayo de simulación

El material utilizado en las simulaciones para las estructuras de carrocerías de fabricación nacional e importada dependiendo de los diferentes casos son:

Caso 1: Se utiliza el material con especificación ASTM cuyas propiedades fueron proporcionadas por los fabricantes y ensambladores que facilitaron los materiales para el estudio (Anexo C).

Caso 2: Se utiliza el material cuyas propiedades mecánicas se determinaron con los ensayos realizados en el presente estudio, realizando el promedio de los valores obtenidos en las Tablas 3.2 y 3.14 (Anexo D).

Caso 3: Se utiliza el material considerando el 50% de las propiedades mecánicas para el caso 2, debido a los resultados obtenidos en las probetas soldadas de las estructuras de carrocerías de fabricación nacional e importada (Tablas 3.8 y 3.20) (Anexo K).

Cabe recalcar que los diseños de las carrocerías nacional e importada son las proporcionadas por el cliente, las cuales se mantienen para los tres casos.

3.2.3.1. Resumen de datos utilizados para la simulación

Para la simulación se proporcionó al laboratorio acreditado los datos mostrados en la Tabla 3.25, con el fin de comparar los diferentes resultados y observar el comportamiento de la zona de supervivencia (superestructura).

Tabla 3.25. Datos para simulación.

Elementos		Límite de fluencia	Resistencia a la tracción	Porcentaje de alargamiento
		[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]
MBN	Caso 1	344,74	427,47	21
	Caso 2	377,11	399,01	18,86
	Caso 3	188,56	199,51	9,4
MBI	Caso 1	296	360	46
	Caso 2	442,07	521,34	26,7
	Caso 3	221,04	260,67	13,35

*Los datos son promedios de los resultados obtenidos en los ensayos de tracción realizados al material base perteneciente a la zona de supervivencia.

(Fuente: Propia, 2018)

3.2.3.2. Tipo de malla

Para simular la estructura del autobús de fabricación nacional e importada, se utilizó elementos tipo SHELL, representando los detalles geométricos más importantes del diseño estructural para lograr la mayor concordancia con la realidad posible, (Anexo D).

3.2.3.3. Condiciones de borde

Para los análisis cuasi-estáticos, las condiciones de borde se cumplen de acuerdo a lo solicitado en la NTE INEN 1323:2009 [12]:

- Combinación de carga solicitadas (LRFD), literal 5.1.2.2 de la norma.
- Carga equivalente al 50% del peso máximo admisible del chasis, sobre el techo, literal 5.1.5.1.

3.2.4. Cálculo de las cargas aplicadas en las carrocerías

3.2.4.1. Carga viva (V)

La carga viva corresponde a la carga por ocupación y se asume que está distribuida uniformemente en los respectivos elementos estructurales de la carrocería⁷. Esta carga se aplica verticalmente y hacia abajo en el panel del piso. El valor para el diseño se observa en la Tabla 3.26.

Tabla 3.26. Cargas vivas de diseño para autobuses NTE INEN 1323:2009.

Tipo de servicio (ver nota 3)	Masa promedio de un ocupante [kg]	Masa mínima de equipaje de mano por pasajero [kg] (ver nota 4)	Masa mínima de equipaje a transportarse en bodegas porta equipajes [kg]	Espacio necesario por pasajero de pie [m ²]
Urbano.	70	-	-	0,16
Urbano (escolar e institucional).	70	-	-	Sin pasajeros de pie.
Interurbano (Intraprovincial).	70	5	100xVolumen	0,16
Larga Distancia (interprovincial y turismo).	70	5	100xVolumen	Sin pasajeros de pie.

(Fuente: Requisitos de la norma NTE INEN 1323:2009)

Se realiza el ejemplo de cálculo con la ecuación 3.4, considerando una capacidad de 44 pasajeros (sentados y conductor), tomando en cuenta la masa promedio de la población de la Tabla 3.26 (70 kg):

⁷ NTE INEN 1323:2009 Vehículos automotores. Carrocerías de buses. Requisitos. Página 1.

$$V = \# \text{ pasajeros} \times P \quad (\text{Ec. 3.4})$$

Donde:

P es el peso (masa promedio de ocupante x gravedad)

$$V = 32373 \text{ [N]}$$

3.2.4.2. Carga Muerta (M)

La carga muerta corresponde al peso total de la carrocería en condiciones operativas, lo que incluye todos los componentes estructurales y no estructurales permanentes; es decir, la carrocería terminada con todos sus accesorios⁸. Esta carga se aplica verticalmente y hacia abajo en toda la superestructura [12], En la Tabla 3.27 se observa la masa total de la carrocería (sin pasajeros).

Tabla 3.27. Masa de elementos que constituyen la carrocería.

Bus Interprovincial		
Elemento	Masa total [kg]	%
Carrocería Importada	8719	60,89
Chasis Scania K360 B4x2	5601	39,11
Sumatoria	14320	100

(Fuente: Fichas Técnicas de Homologación, Anexo C).

En el ejemplo de cálculo, se considera el peso total (chasis + carrocería):

$$M = P \quad (\text{Ec. 3.5})$$

3.5)

Donde:

P es el peso (masa total x gravedad)

$$M = 140479,2 \text{ [N]}$$

3.2.4.3. Carga de giro (G)

La carga de giro corresponde a la fuerza producida por el giro de un vehículo⁹, y se calcula en función de la fuerza centrífuga que se genera cuando un vehículo está en una curva con determinado radio de giro y a cierta velocidad. Por sugerencia de la NTE INEN 1323:2009

⁸ NTE INEN 1323:2009 Vehículos automotores. Carrocerías de buses. Requisitos. Página 1.

⁹ NTE INEN 1323:2009 Vehículos automotores. Carrocerías de buses. Requisitos. Página 1.

[12], la norma recomienda considerar una velocidad de al menos 90 Km/h (25 m/s) y un radio de curvatura de 350 m.

Tabla 3.28. Velocidades, radios mínimos y peraltes en carretera.

Velocidad del vehículo [Km/h]	Radio de curvatura de la carretera [m]	Peralte [%]
80	250	
85	300	
90	350	
95	400	
100	450	8
105	500	
110	550	
115	600	
120	700	
125	800	7,51
130	900	6,97
135	1050	6,25
140	1250	5,49
145	1475	4,84
150	1725	4,29

(Fuente: Requisitos de la norma NTE INEN 1323:2009)

Para el ejemplo, la carga se calcula con la ecuación 3.6, las especificaciones técnicas del chasis indican que el peso bruto vehicular (PBV) es de 19500 [kg] (Anexo C):

$$G = \frac{m v^2}{r} \quad (\text{Ec. 3.6})$$

Dónde:

m = masa del autobús [kg]

v = velocidad del bus [$\frac{m}{s}$]; y

r = radio de curvatura [m]

$$G = 34821,43 \text{ [N]}$$

3.2.4.4. Carga de frenado (F)

Corresponde a la fuerza producida por el frenado del vehículo¹⁰, en el ejemplo, se asume desaceleración mayor o igual a 4 m/s². Esta carga se aplica longitudinalmente hacia adelante:

$$F = m \times a \quad (\text{Ec. 3.7})$$

Dónde:

m = masa del bus [kg]; y

a = desaceleración del bus [$\frac{m}{s^2}$]

$$F = 78000 \text{ [N]}$$

3.2.4.5. Carga de aceleración brusca (A_b)

Corresponde a la fuerza producida por el frenado del vehículo¹¹, se calcula con el mismo criterio de carga de frenado, pero en sentido contrario (se aplica longitudinalmente hacia atrás):

$$A_b = m \times a \quad (\text{Ec. 3.8})$$

m = masa del bus [kg]; y

a = desaceleración del bus [$\frac{m}{s^2}$]

$$A_b = 78000 \text{ [N]}$$

3.2.4.6. Carga por resistencia del aire frontal (R_{af})

Corresponde a la fuerza del aire actuante sobre un área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal,¹² se aplica en el panel frontal, en sentido opuesto a la marcha del autobús. El cálculo se realiza a partir de la siguiente ecuación:

$$R_{af} = \left(\frac{1}{2}\right) \times (C_x) \times \rho \times A_f \times V^2 \quad (\text{Ec. 3.9})$$

¹⁰ NTE INEN 1323:2009 Vehículos automotores. Carrocerías de buses. Requisitos. Página 1.

¹¹ NTE INEN 1323:2009 Vehículos automotores. Carrocerías de buses. Requisitos. Página 1.

¹² NTE INEN 1323:2009 Vehículos automotores. Carrocerías de buses. Requisitos. Página 1.

Donde:

R_{af} = Carga por resistencia aerodinámica [N];

ρ = Densidad del aire a 20 °C y 1 atm= 1,2 kg/m³;

V = Velocidad del aire, se debe utilizar una velocidad mínima de 90 Km/h según NTE INEN 1323:2009 [12];

A_f = Área corresponde a la proyección del autobús en un plano perpendicular a su eje longitudinal (7,3 m²); y

C_x = Coeficiente de resistencia frontal al avance (mínimo 0,7).

$$R_{af} = 1916,25 \text{ [N]}$$

3.2.5. Tabla resumen de cargas aplicadas en carrocerías

La tabla 3.29, presenta los cálculos realizados antes de la simulación de las carrocerías nacionales e importadas.

Tabla 3.29. Tabla resumen de cargas aplicadas en carrocerías.

Tipo de carga	Carrocería Importada		Carrocería Nacional	
	Calculado	Utilizada por los OEC's	Calculado	Utilizada por los OEC's
Unidades	[N]	[N]	[N]	[N]
Carga viva (V)	32 373,00	34 496,00	33 844,50	35 280,00
Carga Muerta (M)	140 479,20	110 054,00	92 115,90	99 558,20
Carga de giro (G)	34 821,43	27 337,50	25 357,14	25 171,88
Carga de frenado (F)	78 000,00	69 984,00	56 800,00	64 440,00
Carga de aceleración brusca (A_b)	78 000,00	69 984,00	56 800,00	64 440,00
Carga por resistencia del aire frontal (R_{af})	1 916,25	3 399,82	1 968,75	3 318,1846

(Fuente: Fichas Técnicas de Homologación, Anexo C)

3.2.6. Combinaciones de carga método LRFD (Load Resistance Factor Design)

Las combinaciones de cargas aplicadas, son mostradas en las siguientes ecuaciones:

$$1,4M + V \quad (\text{Ec. 3.10})$$

$$1,2M + 1,6V + 0,5G \quad (\text{Ec. 3.11})$$

$$1,2M + 0,5V + 1,6G \quad (\text{Ec. 3.12})$$

$$1,2M + 1,6F + 0,8R_{af} \quad (\text{Ec. 3.13})$$

$$1,2M + 0,5V + 0,5F + 1,3R_{af} \quad (\text{Ec. 3.14})$$

$$1,2M + 1,5A_b + 0,5V \quad (\text{Ec. 3.15})$$

$$0,9M - 1,3R_{af} \quad (\text{Ec. 3.16})$$

$$0,9M + 1,3R_{af} \quad (\text{Ec. 3.17})$$

3.2.7. Resultado de la aplicación de cargas

Para evidenciar el desarrollo de los modelos y cálculos ejecutados para el presente estudio, se muestran imágenes representativas, de las simulaciones realizadas por el organismo acreditado en el Ecuador para cada caso analizado (Anexo C, D y K).

3.2.7.1. Modelado geométrico, matemático y análisis cuasi-estático

En las Figuras 3.60 y 3.61, se muestra el detalle alcanzado en el modelado geométrico y matemático para el caso 2 (nacional e importado), que contiene la información estructural del modelo.

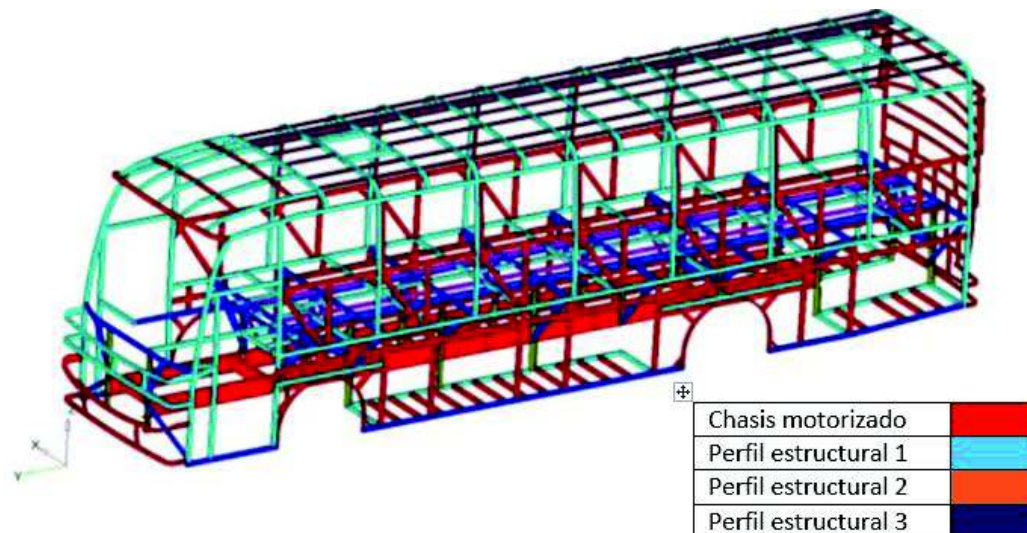


Figura 3.60. Modelado geométrico y matemático de la estructura-carrocería nacional caso 2. (Fuente: Anexo D)

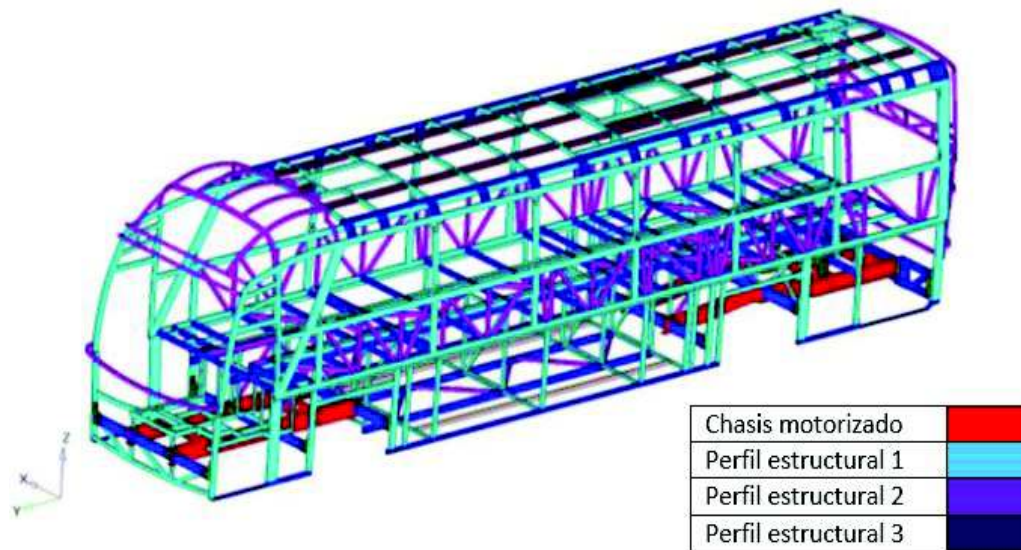


Figura 3.61. Modelado geométrico y matemático de la estructura-carrocería importada caso 2.
(Fuente: Anexo D)

3.2.7.2. Desplazamientos y esfuerzos de Von Mises resultantes

Dados los diversos tipos de magnitudes de cargas y esfuerzos presentes en la estructura de una unidad de transporte de pasajeros de fabricación nacional e importada, se hace necesario el análisis detallado de zonas que son propensas al fallo debido a la geometría o condiciones extremas de funcionamiento (ejemplo caso 2 Figuras 3.62 a 3.75).

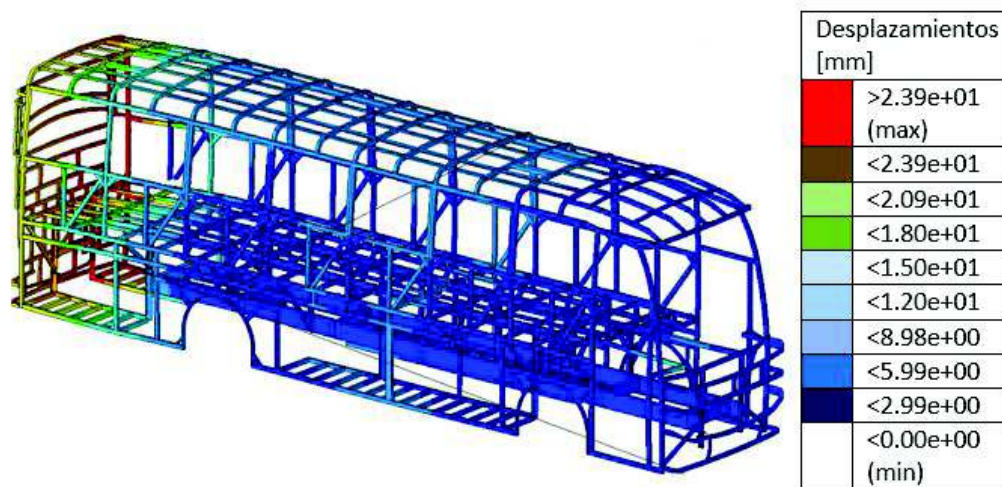


Figura 3.62. Desplazamientos resultantes de la aplicación de la combinación de cargas (Ec.3.10) en la estructura del autobús carrocería nacional (color rojo: deformación menor a 24mm).

(Fuente: Anexo D)

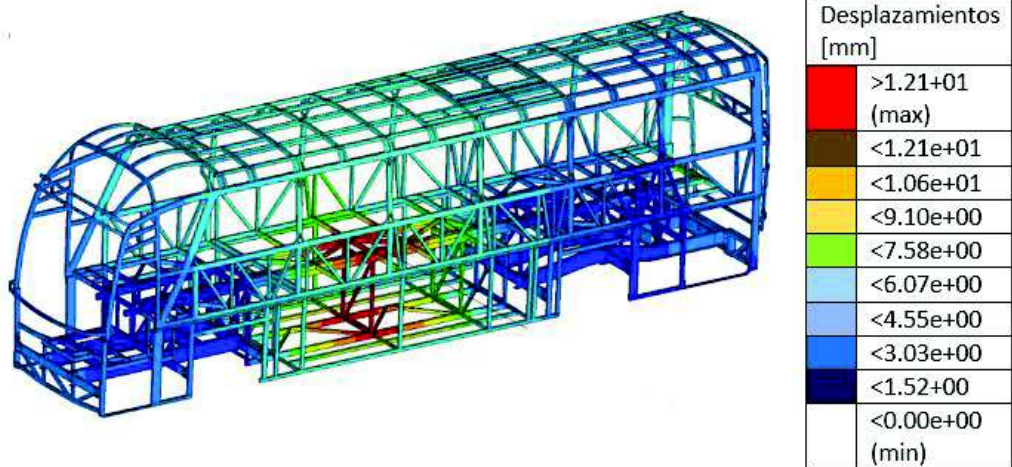


Figura 3.63. Desplazamientos resultantes de la aplicación de la combinación de cargas (Ec.3.10) en la estructura del autobús carrocería importada (color rojo: deformación menor de 12mm).
(Fuente: Anexo D)

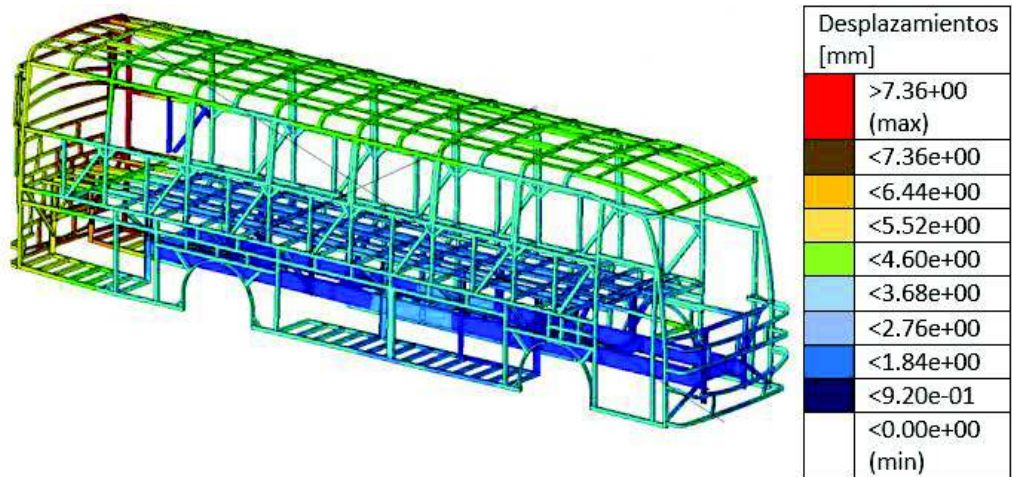


Figura 3.64. Desplazamientos resultantes de la aplicación de la combinación de cargas (Ec. 3.13) en la estructura del autobús carrocería nacional (color rojo: deformación menor a 8 mm).
(Fuente: Anexo D)

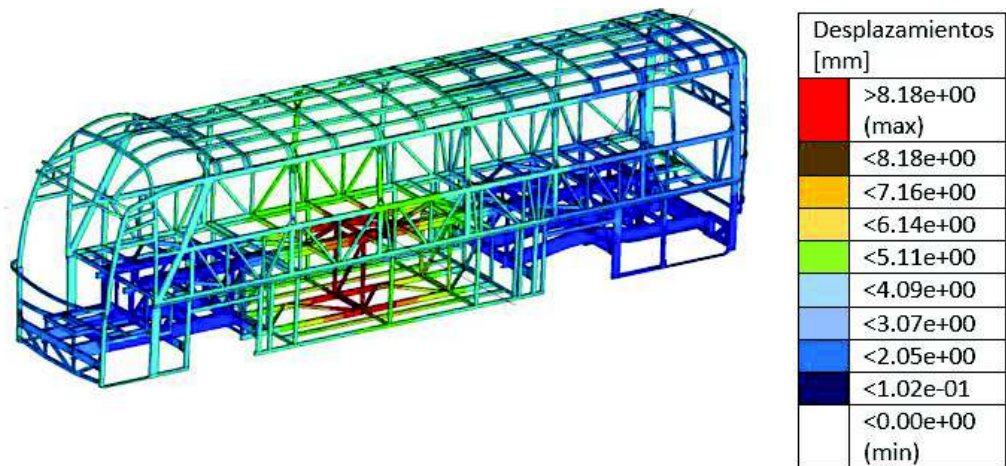


Figura 3.65. Desplazamientos resultantes de la aplicación de la combinación de (Ec. 3.13) en la estructura del autobús carrocería importada (color rojo: deformación menor a 8 mm).
(Fuente: Anexo D)

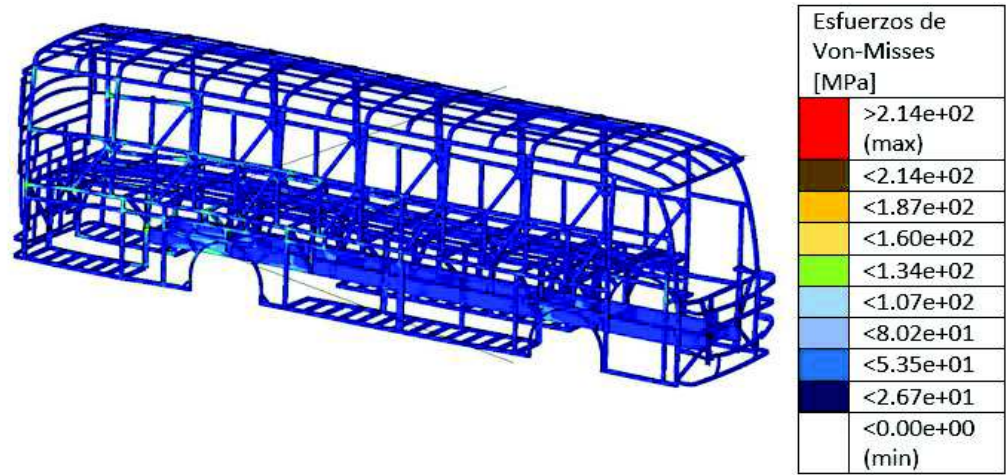


Figura 3.66. Esfuerzos de Von-Misses resultantes de la aplicación de la combinación de cargas (Ec. 3.11) en la estructura del autobús carrocería nacional. (Fuente: Anexo D)

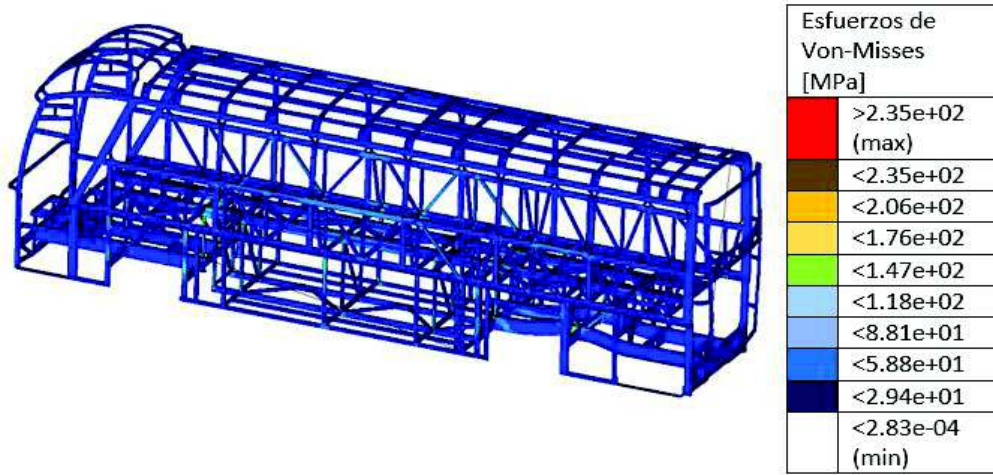


Figura 3.67. Esfuerzos Von-Misses resultantes de la aplicación de la combinación de cargas (Ec. 3.11) en la estructura del autobús carrocería importada. (Fuente: Anexo D)

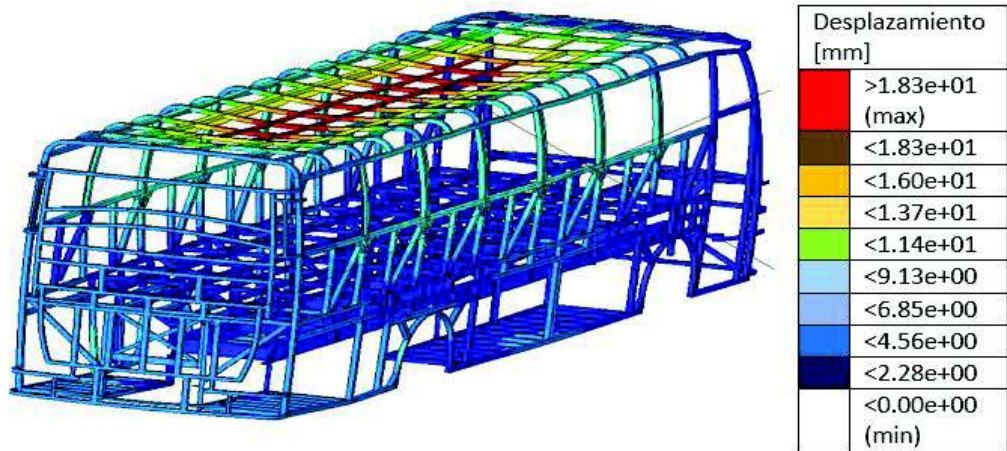


Figura 3.68. Desplazamientos resultantes de la aplicación de la carga en el techo, según normativa, de la estructura del autobús carrocería nacional (color rojo: deformación mayor a 19 mm). (Fuente: Anexo D)

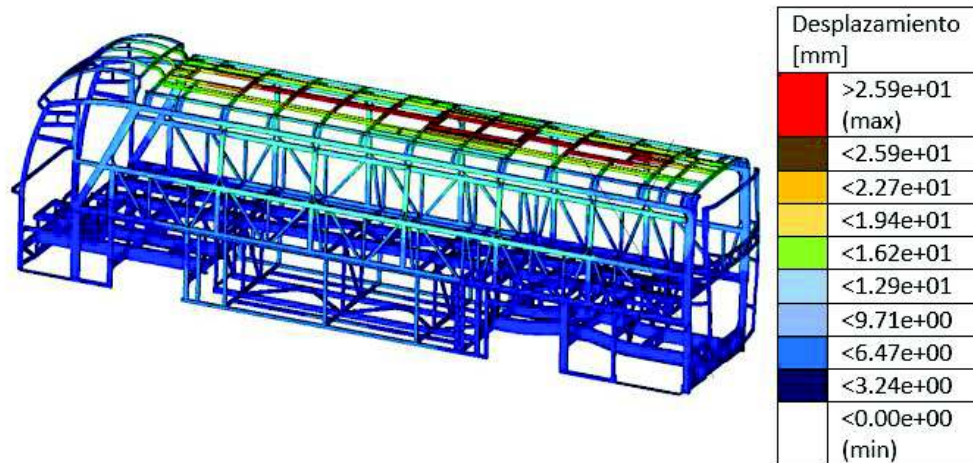


Figura 3.69. Desplazamientos resultantes de la aplicación de la carga en el techo, según normativa de la estructura del autobús carrocería importada (color rojo: deformación mayor a 26 mm). (Fuente: Anexo D)

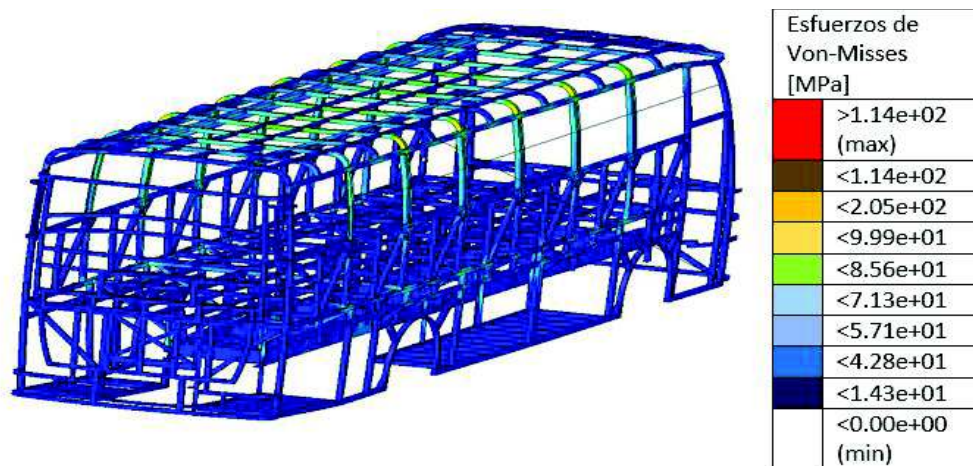


Figura 3.70. Esfuerzos de Von-Mises resultantes de la aplicación de la carga en el techo, según normativa, de la estructura del autobús carrocería nacional. (Fuente: Anexo D)

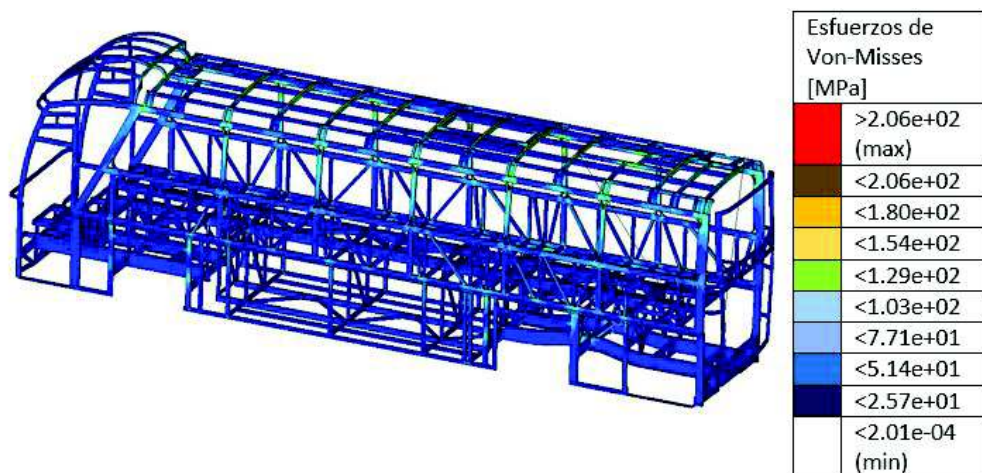


Figura 3.71. Esfuerzos de Von-Mises resultantes de la aplicación de la carga en el techo, según normativa, de la estructura del autobús carrocería importada. (Fuente: Anexo D)

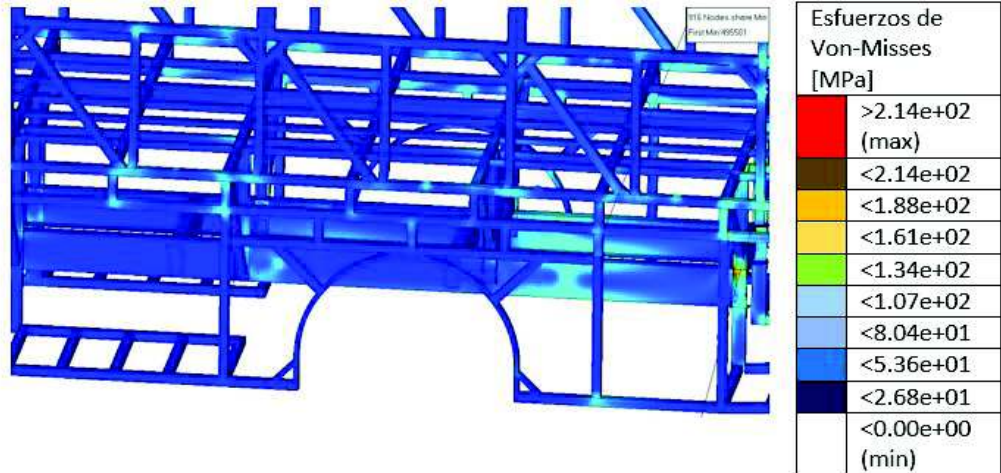


Figura 3.72. Distribución de esfuerzos en el lado interno del anclaje delantero derecho carrocería nacional.
(Fuente: Anexo D)

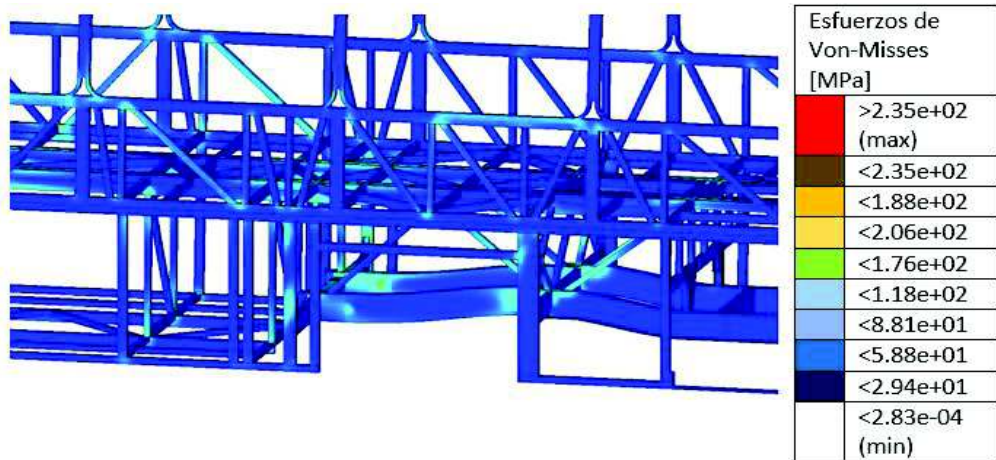


Figura 3.73. Distribución de esfuerzos en el lado interno del anclaje delantero derecho carrocería importada.
(Fuente: Anexo D)

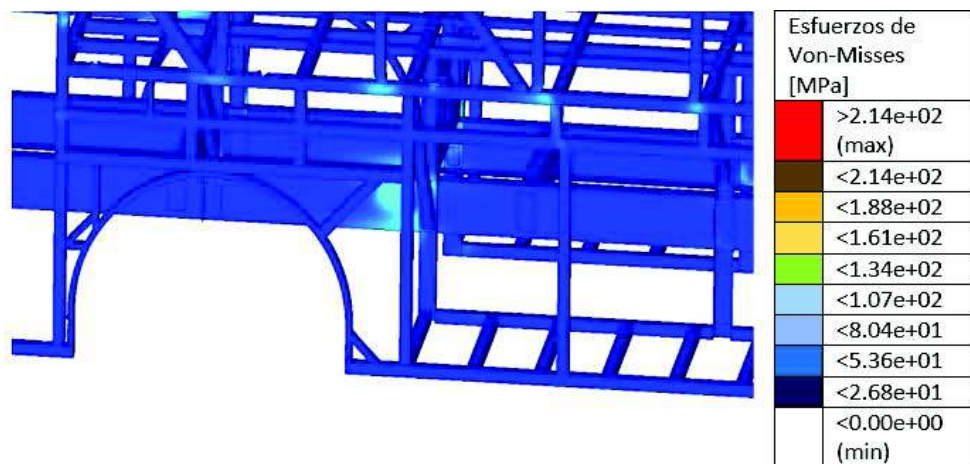


Figura 3.74. Distribución de esfuerzos en el lado interno del ángulo de anclaje posterior derecho carrocería nacional.
(Fuente: Anexo D)

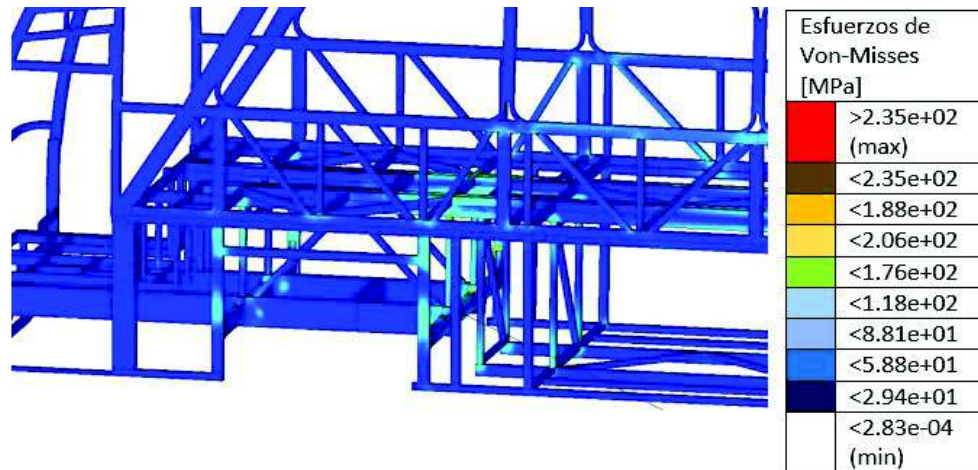


Figura 3.75. Distribución de esfuerzos en el lado interno del ángulo de anclaje posterior derecho carrocería importada.
(Fuente: Anexo C)

3.2.7.3. Prueba dinámica de vuelco

Las condiciones de borde, para la prueba de vuelco; fueron calculadas de acuerdo con los requerimientos solicitados en la NTE INEN 1323:2009, literal 5.1.5.2 [12], realizándose el análisis milisegundos antes que se produzca el impacto, con la conservación energética que conlleva el proceso y la velocidad angular resultante. Los datos de momentos de inercia, masas y demás dimensiones necesarias se tomaron del modelo matemático.

A continuación, se muestra el desarrollo de las pruebas dinámicas de vuelco en los autobuses sujetos a ensayo, donde es importante señalar que los datos de las dimensiones de la plataforma y demás medidas necesarias fueron tomados de la NTE INEN 1323:2009, literal 5.1.5.2 [12], y que la prueba de vuelco es netamente dinámica, con la estructura del autobús en movimiento, lo que es uno de los mejores indicativos de la resistencia de la misma (Figuras 3.76 y 3.77).

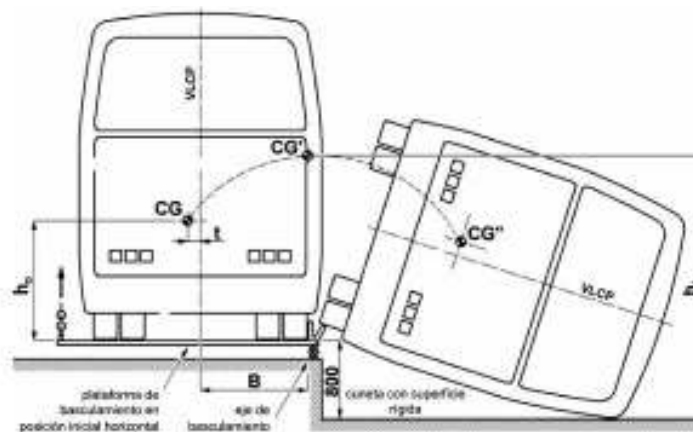


Figura 3.76. Recomendaciones para la realización de pruebas de vuelco.
(Fuente: NTE INEN 1323:2009)

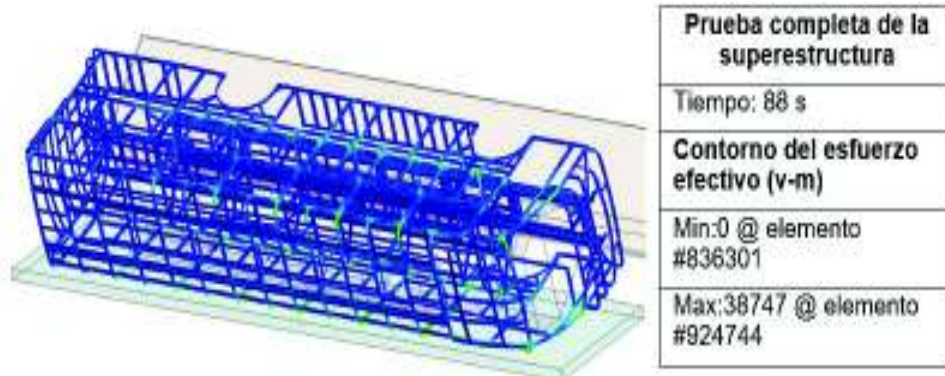


Figura 3.77. Análisis de los esfuerzos generados en volcadura.
(Fuente: Anexo D)

Los análisis cuasi-estáticos y dinámicos se efectuaron usando la plataforma AltairHyperWorks, la cual permite según el organismo acreditado en simulación, modelar la estructura del autobús de manera cercana a la realidad en HyperMesh, ejecutar las pruebas estructurales LRFD sobre el modelo de carrocería usando OptiStruct, y resolver el evento dinámico, explícito y no lineal de volcadura mediante el solver RADIOSS. Esta simulación se muestra en la Figura 3.78.

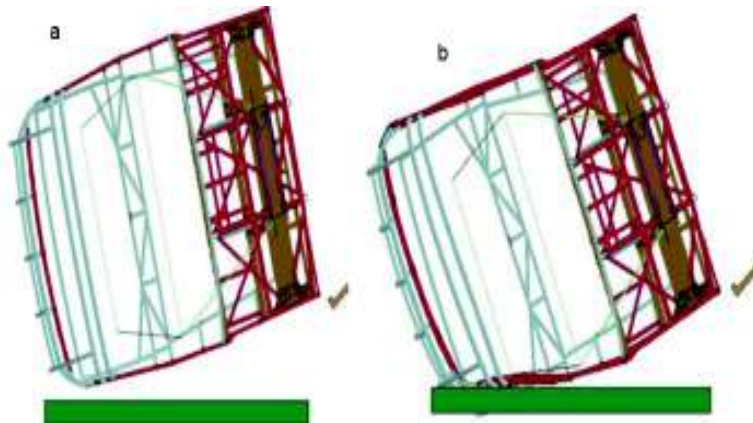


Figura 3.78. Análisis del espacio de supervivencia de la estructura luego de un evento de impacto:
(a) Estructura no deformada ANTES del impacto, (b) Estructura DEFORMADA después del impacto.
(Fuente: ANEXO D)

3.2.8. Tabla resumen de los resultados obtenidos del ensayo de simulación

Los resultados de los diferentes ensayos de simulación de las estructuras de los buses se observan en las Tabla 3.30 y 3.31, en las cuales se presentan los resultados de las combinaciones de carga, criterio de la resistencia estructural, las resistencias resultantes y permisibles, los desplazamientos resultantes de la combinación de carga, el esfuerzo de la carga del techo y por último se determina si existe intrusión a la zona de supervivencia de los pasajeros en las estructuras, para los tres casos presentados por el laboratorio de simulación.

Tabla 3.30. a) Tabla resumen de los resultados obtenidos del ensayo de simulación estructura nacional.

Descripción	Ecuación	Longitud [mm]	Deformación máx. [mm]	Deformación obtenida		
				caso 1 [mm]	caso 2 [mm]	caso 3 [mm]
	Ec.3.10	2640	18,86	14,6	18,9	26,9
	Ec.3.11	2640	18,86	15,1	19,5	27,9
	Ec.3.12	2640	18,86	30,5	39,4	56,3
	Ec.3.13	2640	18,86	8,28	10,7	15,3
	Ec.3.14	2640	18,86	10,7	13,9	19,8
	Ec.3.15	2640	18,86	14	18,1	25,8
	Ec.3.16	2640	18,86	7,09	9,16	13,1
	Ec.3.17	2640	18,86	7,29	9,42	13,5
Resistencia estructural:						
criterio de falla: esfuerzo de Von Mises comparado con propiedad del material NTE INEN 1323, literal 5.1.4		Ningún elemento excede el esfuerzo de fluencia del material, falla estática no presente				
Resistencia estructural:						
carga estática sobre techo NTE INEN 1323 literal 5.1.5.1		Deformación máxima permisible [mm]			70	
Deformación en estructura [mm]				11	11,1	20,5

Tabla 3.30 b) Tabla resumen de los resultados obtenidos del ensayo de simulación estructura nacional. Continuación.

Descripción	Deformación obtenida		
	caso 1 [mm]	caso 2 [mm]	caso 3 [mm]
Desplazamientos resultantes-combinación de cargas Ec. 3.13 [mm]	15	16,8	23,9
Desplazamientos resultantes-combinación de cargas Ec. 3.11 [mm]	8	16,8	13,6
Esfuerzos de Von-Misses-Combinación de cargas Ec. 3.11 [MPa]	214	214	214
Desplazamientos de carga en techo [mm]	11	12,8	18,3
Esfuerzos de Von-Misses-Carga en el techo [Mpa]	114	114	114
Simulación de prueba de vuelco NTE INEN1323 literal 5.1.2	NO	NO	NO

(Fuente: Propia, 2018)

Tabla 3.31 a) Tabla resumen de los resultados obtenidos del ensayo de simulación estructura importada.

Descripción	Ecuación	Longitud [mm]	Deformación máx. [mm]	Deformación obtenida		
				caso 1 [mm]	caso 2 [mm]	caso 3 [mm]
	Ec.3.10	2640	18,86	11,3	9,55	13,60
	Ec.3.11	2640	18,86	11,7	9,84	14,10
	Ec.3.12	2790	19,93	12,4	10,4	14,90
Combinaciones de carga	Ec.3.13	2640	18,86	7,65	6,44	9,21
LRFD NTE INEN 1323:2009	Ec.3.14	2640	18,86	8,84	7,45	10,60
5.1.2.2	Ec.3.15	2640	18,86	8,81	7,42	10,60
	Ec.3.16	2000	14,29	5,69	4,79	6,84
	Ec.3.17	2000	14,29	5,69	4,79	6,84

Resistencia estructural:
criterio de falla: esfuerzo de Von Mises comparado con propiedad del material NTE INEN 1323, literal 5.1.4

Ningún elemento excede el esfuerzo de fluencia del material, falla estática no presente

Tabla 3.31 b) Tabla resumen de los resultados obtenidos del ensayo de simulación estructura importada. Continuación.

Descripción	Deformación obtenida		
	caso 1 [mm]	caso 2 [mm]	caso 3 [mm]
Resistencia estructural: carga estática sobre techo		70	
NTE INEN 1323 literal 5.1.5.1	24,2	24,2	29,1
Deformación máxima permisible [mm]			
Deformación en estructura [mm]			
Desplazamientos resultantes-combinación de cargas Ec. 3.13 [mm]	15	15	8,49
Desplazamientos resultantes-combinación de cargas Ec. 3.11 [mm]	8	8	5,73
Esfuerzos de Von-Misses -Combinación de cargas Ec. 3.11 [MPa]	235	235	235
Desplazamientos de carga en techo [mm]	24	24	18,1
Esfuerzos de Von-Misses-Carga en el techo [Mpa]	206	206	206
Simulación de prueba de vuelco			
NTE INEN1323 literal 5.1.2	NO	NO	NO
Zona de supervivencia invadida			

(Fuente: Propia, 2018)

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se analizan y discuten los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados a las probetas de las muestras de la materia prima del producto nacional e importado en las uniones soldadas a tope (techo- techo) y en T (techo- ventana); materiales proporcionados por las empresas carroceras.

Además, se realiza el análisis y discusión de las simulaciones realizadas por el organismo acreditado en el país, con los datos proporcionados por las empresas carroceras y los valores obtenidos en el presente proyecto. Finalmente, se recopila toda la información en un cuadro resumen, en donde se verifica el cumplimiento de normas.

4.1. Material base nacional e importado

4.1.1. Material base producto nacional

Los contenidos porcentuales de los elementos como: carbono, manganeso, fósforo y azufre, obtenidos de la composición química (Tabla 3.1), presentan valores inferiores a los establecidos en la norma INEN 2415:2016 (Tabla 2.2), para materias primas con recubrimientos de Zn, Al -Mg (solo se especifican los valores máximos).

La norma INEN 2415:2016, muestra las propiedades mecánicas de tubos estructurales de la serie A500 (Tabla 2.4), es así que, los valores de los ensayos de tensión (Tabla 3.2), al ser comparados con la norma, determinan que:

- El valor del límite de fluencia es mayor a los límites mínimos que especifica la norma en todos sus grados. El promedio comparado con la norma para los diferentes grados tiene los siguientes incrementos: 28% para el Grado A, 16% Grado B; 9% Grado C y 34% Grado D.
- La resistencia última promedio a la tracción para el Grado A es 22% mayor al establecido por la norma.
- El porcentaje promedio de alargamiento (elongación), cumple para los Grados B, C y D; siendo 12% mayor para el Grado A y D. Se debe mencionar que para el grado C la aceptación de la norma dice que debe haber un consenso entre el productor y el fabricante.

En una de las probetas ensayadas y con magnificación de 4X (Figura 3.2), se puede observar que la rotura se produce dentro de la zona calibrada, teniendo como resultado una fractura de tipo dúctil con presencia de deformación plástica (Figura 3.3).

Los requisitos para recubrimientos metálicos de la norma INEN 2415:2016 (Tabla 2.6), en lo que respecta a la prueba de adherencia del recubrimiento cumple con lo especificado en la norma (no existe desprendimiento). En las Tablas 3.3, 3.4 y Figura 3.6., la masa de recubrimiento de zinc por el método gravimétrico y corte micrográfico, es menor al valor especificado en la norma (45% método gravimétrico y 28% método de corte micrográfico), la fina capa de recubrimiento puede ocasionar reducción en la vida útil de la estructura debido a la oxidación y/o corrosión en el material por efectos de la humedad y contaminación.

Con el análisis realizado y considerando los resultados del ensayo metalográfico (literal 3.1.5), dureza (54 HRB) y la ficha técnica del proveedor del MBN (Anexo A) que indica que es un acero de la serie A500 sin especificar su grado (A-B-C), se evidencia que el material reportado no cumple con lo que se especifica para un acero de este tipo. Los valores de tensión, composición química, metalográficos y de dureza pertenecen a un acero al carbono A513 grado 1010, que es un acero utilizado comúnmente en la industria automotriz y de construcción.

4.1.2. Material base producto importado

Los contenidos porcentuales de elementos como: carbono, manganeso, fósforo y azufre, obtenidos de la composición química (Tabla 3.13), presentan valores inferiores a lo que establece la norma INEN 2415:2016 (Tabla 2.2), para materias primas con recubrimientos de Zn, Al -Mg (solo se especifican los valores máximos).

La norma INEN 2415:2016, muestra las propiedades mecánicas de los tubos estructurales de la serie A500 (Tablas 2.4), los valores de los ensayos de tensión (Tabla 3.14), comparados con la norma, determinan que; el límite de fluencia, resistencia a la tracción y porcentaje de elongación; son mayor a los límites mínimos que especifica la norma en todos sus grados (Figura 3.34).

En una de las probetas ensayadas y con magnificación de 4X en la Figura 3.33., se puede observar que la fractura se produce dentro de la zona calibrada, teniendo como resultado una fractura dúctil con presencia de deformación plástica (copa – cono) y desprendimiento de la capa de recubrimiento.

Los requisitos para recubrimientos metálicos de la norma INEN 2415:2016 (Tabla 2.6), respecto a la prueba de adherencia del recubrimiento cumple con lo especificado en la norma (no existe desprendimiento). En las Tablas 3.15, 3.16 y Figura 3.37, la masa de

recubrimiento de zinc por el método gravimétrico y corte micrográfico, sobrepasa el valor especificado en la norma ($75 \mu\text{m}$ [530 g/m^2]).

Con el análisis realizado y considerando los resultados del ensayo metalográfico (literal 3.1.12), dureza (92 HRB) y la ficha técnica del proveedor del MBN (Anexo A) que indica que es un acero comercial A 653 con bajo contenido de carbono, se evidencia que el material no cumple con lo que se especifica para este tipo de acero (composición química porcentual es mayor un 76% en carbono y 75% en manganeso), ni lo establecido en la norma. Los valores de tensión y composición química, así como los ensayos metalográficos y de dureza pertenecen a un acero tratado térmicamente Fe-0,14C-0,74Mn, que es comúnmente utilizado en la industria automotriz.

4.2. Estructuras soldadas de los elementos de estudio

Los resultados obtenidos por inspección visual (Tablas 3.6 y 3.18) para los ensayos de doblado de cara y raíz (Tablas 3.7 y 3.19) de las probetas con soldaduras a tope (techo-techo) de la zona de supervivencia frente a los requisitos de la norma, evidencian que tanto el producto nacional como el importado, presentan falta de penetración en la raíz, porosidad, aberturas, grietas y fracturas, estos defectos al estar presentes durante el ensayo se comportan como concentradores de esfuerzos que pueden acelerar la fractura de la probeta sin deformación apreciable. Debido a la presencia de estos defectos propiedades como, límite de fluencia, resistencia a la tracción y porcentaje de alargamiento son menores que los obtenidos en las probetas de material base (Figuras 3.24 y 3.52). Además, a una magnificación de 4X, se puede observar que en la muestra del TSN, el cordón de soldadura se separa sin presentar deformación plástica manteniendo el espesor de la zona calibrada (Figura 3.22). Sin embargo, una de las muestras del TSI en el cordón de soldadura presenta una leve deformación plástica y disminución de espesor de la longitud calibrada de 20,44 a 19,96 mm (Figura 3.50). Estas deformaciones son insignificantes comparadas con las del material base (Figuras 3.2 y 3.33).

En las superficies de fractura de las soldaduras TSN y TSI, se comprueba la falta de penetración de la soldadura, y el espesor de la suelda del MA es aproximadamente de 0,89 mm, siendo el 55% del espesor de la materia prima que no presenta fusión (TSN), como se observa en la Figura 3.23. La superficie de fractura del TSI muestra la presencia de un poro de 0,5 mm y el espesor del MA promedio es de 2,09 mm, denotando que el 44% del espesor de la materia prima utilizada no se fusiono, como se observa en la Figura 3.51.

De los análisis de los ensayos de tensión y de las superficies de falla de las soldaduras a tope (techo-techo), se observa que la resistencia disminuye un 63% para la soldadura a

tope del producto nacional, mientras que para el TSI este valor es del 44%, comparado con sus respectivos materiales base. La unión soldada importada presenta mayor deformación plástica que la nacional.

Para el ensayo de tensión realizado a las probetas soldadas en T (techo- ventana), los valores de la resistencia a la tracción para el producto nacional es de aproximadamente 25 veces mayor a la resistencia que presenta el material base, produciéndose la falla en el material de aporte (MA), tal como se observa en la Figura 3.25. En el caso del producto importado este valor se triplica, produciéndose la falla en el material base (Figura 3.53), lo que favorece este tipo de juntas soldadas en la estructura, (Tablas 3.9 y 3.21).

Al analizar la macroscopía realizada a las muestras de la soldadura a tope (techo-techo) nacional e importada y compararla con los requisitos de la norma de conexiones tubulares de la soldadura en ranura (Tablas 3.10 y 3.22), los valores obtenidos de la altura del refuerzo para ambos casos, se encuentran dentro del valor especificado en la norma, la parte de fusión completa entre el MB y MA no cumplen, pues no existe penetración de raíz. En el caso del producto nacional existe una separación de los bordes de los dos tubos de 0,72 mm. Además, se calculó las áreas de ZAC y MA, notándose que la ZAC de la soldadura en ambos casos es mayor en un 36% al valor de área al MA. Estos resultados afectan a los valores de resistencia última a la tracción obtenidos durante el ensayo para estos elementos.

Al comparar las macrografías realizadas a las probetas de SNET y SIET (techo- ventana), con los requisitos de la norma de conexiones tubulares de la soldadura en filete (Tablas 3.11 y 3.23), para ambos casos: el ancho (W), concavidad, convexidad (C) y socavación, se encuentran dentro de los requisitos especificados en la norma. La zona afectada por el calor (ZAC) de la soldadura en T es mayor en un 43% en el caso del nacional y 52% el importado, con respecto al valor de área del MA, lo que significa que el comportamiento del material ante esfuerzos no es uniforme y podría influenciar en la forma de falla.

En las metalografías realizadas a las uniones soldadas a tope (techo- techo) y en T (techo-ventana) nacional e importada se muestra (literales 3.1.7.5 y 3.1.14.5) que las diferentes zonas: MB- MA y ZAC, presentan varios tipos de microestructura, debido a que al momento de soldar, el material experimenta un ligero tratamiento térmico de endurecimiento. Esto se comprueba con el ensayo de microdureza, donde para ambos casos los valores obtenidos en el MA son mayores a los valores del MB (28% mayor en el caso del nacional y 12% para el importado), como se muestra en las Figuras 3.13 y 3.59. En el caso del material importado es importante mencionar que la ZAC tiene menor valor en dureza que el material

de aporte debido a la variación de tamaño de grano que se observa en las Figuras 3.57 y 3.58.

4.3. Simulación de las estructuras de los autobuses de fabricación nacional e importada

Partiendo del hecho de que todas las operaciones de manufactura se sujetan a los estándares de calidad establecidos por los fabricantes y dichos estándares han sido verificados por organismos competentes, se han mantenido los diseños originales de las estructuras y se considera a todas las juntas soldadas como elementos rígidos que además cumplen con los requerimientos de la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1323:2009 [12], tal como se observa en las Tablas 3.30 y 3.31.

Se determina que al realizar la aplicación de la combinación de cargas a la estructura (literal 5.1.2.2), para los casos 1 y 2, el producto nacional cumple en un 87,5% y 75%, respectivamente, mientras que la estructura para el automotor importado cumple en un 100% para los mismos casos. Cuando se aplica una carga equivalente al 50% del peso máximo admisible del chasis, para los dos casos no se presentan variaciones significativas de deformación en el techo de la estructura (nacional - importado). En la simulación de volcamiento (del literal 5.1.5.2), la zona de supervivencia no es invadida (nacional - importado).

Cuando se realiza la aplicación de la combinación de cargas a la estructura, (caso 3), considerando el 50% de las propiedades mecánicas (Anexo K) el material nacional e importado cumple en un 37,5% y 100%, respectivamente. Cuando se aplica una carga equivalente al 50% del peso máximo admisible del chasis al techo, la carrocería nacional presenta una menor deformación (20,5 mm) que la importada (29,1 mm), sin sobrepasar los 70 mm que establece la norma, En la simulación de volcamiento (del literal 5.1.5.2), no se invade la zona de supervivencia (nacional - importado).

Los resultados obtenidos en las Tablas 3.30 y 3.31, demuestran que no existen variaciones de los esfuerzos de Von Mises presentes en la estructura para los tres casos. Esto se debe a que dentro de los cálculos para la simulación no se considera el esfuerzo de fluencia, pues el principal parámetro considerado para este tipo de simulaciones es el módulo de elasticidad, el cual es constante para todo tipo de aceros [35]. De esto se determina que las estructuras de fabricación nacional e importada independientemente del acero utilizado para su fabricación cumplen con los requisitos estructurales requeridos. De las simulaciones se observa que existen zonas que presentan esfuerzos menores al

esfuerzo de cedencia del material, lo que implica que estas zonas no deban ser reforzadas o que haya necesidad de un rediseño.

En las carrocerías de fabricación nacional es importante considerar que los elementos estructurales de sección cuadrada o rectangular son más rígidos y más estables que los miembros hechos de una gran cantidad de tubos estructurales soldados entre sí (Figura 3.16). Esto significa que la disposición prioritaria de los miembros estructurales tiende a transmitir cargas a lo largo del vehículo y permiten una distribución uniforme de esfuerzos en la estructura, razón por la cual se deben considerar estas disposiciones en los ensayos de simulación de las estructuras de las carrocerías fabricadas localmente.

Como se muestran en las Figuras 3.62 a 3.75 la distribución de esfuerzos evidencia que las zonas con mayor probabilidad de falla son las que se encuentran alrededor de los pernos de anclaje, también las zonas de la estructura alrededor de los neumáticos y puertas donde se concentran esfuerzos debido a los cambios de sección tanto para el producto nacional como para el importado.

Además es fundamental que las uniones soldadas cumplan con los requerimientos normativos, debido a que los cambios de sección o discontinuidades son considerados como concentradores de esfuerzos, lo que se evidencia en los ensayos mecánicos de tracción donde los especímenes muestran valores inferiores de resistencia a los establecidos por las respectivas normas. La simulación debería permitir considerar estas discontinuidades para reproducir con mayor precisión el comportamiento de la estructura frente a las cargas aplicadas.

4.4. Cumplimiento de las normas en base a los resultados obtenidos

Las Tablas 4.1 y 4.2, contienen los requerimientos en base a las normativas vigentes y ensayos realizados en el presente estudio, con el respectivo literal de requerimiento de norma. Así como también los resultados en base al cumplimiento de la norma, ficha técnica y el requerimiento para el proceso de homologación del organismo acreditado en el Ecuador. (Anexo L).

En las tablas 4.1 y 4.2, se puede ver que de los 16 ítems evaluados en producto nacional en base a los resultados de norma se cumple el 37,5% (4 ítems) y el 43,7% (7 ítems) para el producto importado, esto implica que el cumplimiento es solo de tipo documental para ambos casos. Hay ítems que no están especificados en la norma (18,8%), esto se refiere a ensayos mecánicos y metalográficos. Los ítems restantes que no cumplen de la norma

para el caso del producto nacional e importado corresponden al 43,7% y 37,5%, respectivamente.

La ficha técnica para el producto nacional de acuerdo a las tablas 4.1 y 4.2, cumple con el 31,3%, el importado el 18,8%, y lo que no especifica, o no aplica la ficha técnica es 62,5%. En lo que respecta al requerimiento de homologación tanto para el producto nacional e importado el 31% de los ítems analizados no son solicitados. Además, es importante mencionar que el 69% de los requerimientos de homologación para el producto nacional e importado son documentales, acompañados de inspecciones visuales in situ para carrocerías de fabricación nacional. Para carrocerías importadas el requerimiento de inspección visual de las estructuras no se está realizando a pesar de que la modificatoria 4 del RTE INEN 043 (2018-07-05) establece que en los informes de inspección se debe incluir todos los resultados de la constatación física del vehículo base en estado de estructura y terminado.

En base a los porcentajes de no especificado, no requerido, inspección visual y documental de cumplimiento de normas, ficha técnica y el proceso de homologación, se puede evidenciar que las empresas fabricantes de carrocerías no verifican las propiedades de los materiales que declaran los proveedores, tampoco se realizan ensayos de comprobación (químicos, metalográficos y/o físicos).

Además se determinó que, tanto las carrocerías de fabricación nacional e importada no cumplen con los requerimientos de soldadura, encontrándose fuera de los requisitos de las normas AWS, al no exigir la ejecución de ensayos a las uniones soldadas por los organismos de regulación y control, aun cuando se conoce que de acuerdo a los estudios realizados por: Cárdenas, D, et al, (2014) [40], de incidentes ocasionados, el Ecuador es el segundo país en muertes por accidentes de tránsito en Latinoamérica, donde el 8,55% de los accidentes de tránsito fueron provocados por buses de servicio interprovincial y de los cuales el 12,91% fueron choques frontales.

En base a todos estos análisis, se puede afirmar que no es suficiente una simulación para verificar el comportamiento de una estructura metálica frente a los esfuerzos aplicados; pues se debe prestar atención al material y a la soldadura utilizada en la fabricación de las carrocerías, ya que una falla o defecto de material o soldadura pueden comprometer la vida del conductor y pasajeros.

Tabla 4.1 Análisis de cumplimiento en base a la normativa vigente producto nacional

REQUERIMIENTO EN BASE A LA NORMATIVA Y ENSAYOS REALIZADOS	NORMA/ LITERAL	Resultado en base a norma	Resultado en base a Ficha técnica	Requerimiento de homologación
Composición química, del material base	NTE: INEN 2415 / Literal 5.1.2	Cumple	Cumple	
Ensayos mecánicos en material base	NTE: INEN 2415 / Literal 5.1 / 5.2	Cumple	Cumple	Presenta certificado de conformidad INEN
Ensayo determinación de espesor de galvanizado material base.	NTE: INEN 2415 / Literal 5.4.1	No Cumple	No Cumple	
Ensayo determinación de adherencia material base NTE: INEN 2415 / Literal 7.4	NTE: INEN 950 / Literal 4.3	Cumple	No especifica	
Ensayo metalográfico del material base	No especifica	No especifica	No especifica	
Ensayo de dureza de material base	No especifica	No especifica	No especifica	No se solicita
	AWS D8.8/ Literal 5	No Cumple	N / A	
	AWS D1.1/ Literal 9.25 (inspección visual)	No Cumple	N / A	
Ensayo de la estructura soldada NTE: INEN 1323 / Literal 5.1.7/ 5.1.7.1	AWS D1.1/ Literal 4.9.3.3 (doblado de cara y raíz)	No Cumple	N / A	Presenta procedimientos y procesos de soldadura WPS, WPQ y PQR
	AWS D1.1/ Literal 4.9.3.5(tracción)	No Cumple	N / A	
	AWS D1.1/ Literal 9.22.1.1 (macrografía)	No Cumple	N / A	
	AWS D8.8/ Literal 5.1.13	No Cumple	N / A	
Ensayo de dureza a la estructura soldada	No especifica	No Cumple	N / A	No se solicita
Resistencia estructural: criterio de falla: esfuerzo de Von Mises comparado con propiedad del material.	NTE INEN 1323:2009/ Literal 5.1.4	Cumple	Cumple	
Resistencia estructural: carga estática sobre techo	NTE INEN 1323:2009/ literal 5.1.5.1	Cumple	Cumple	Elaborado por organismo acreditado
Zona de supervivencia invadida	NTE INEN1323:2009/ Literal 5.1.2	Cumple	Cumple	

(Fuente: Propia: 2018)

Tabla 4.2 Análisis de cumplimiento en base a la normativa vigente producto importado

REQUERIMIENTO EN BASE A LA NORMATIVA Y ENSAYOS REALIZADOS	NORMA/ LITERAL	Resultado en base a norma	Resultado en base a Ficha técnica	Requerimiento de homologación
Composición química, del material base	NTE: INEN 2415 / Literal 5.1.2	Cumple	No Cumple	
Ensayo mecánicos en material base	NTE: INEN 2415 / Literal 5.1 / 5.2	Cumple	No Cumple	Presenta norma de cumplimiento del acero mediante declaración
Ensayo determinación de espesor de galvanizado material base.	NTE: INEN 2415 / Literal 5.4.1	Cumple	No Cumple	
Ensayo determinación de adherencia material base NTE: INEN 2415 / Literal 7.4	NTE: INEN 950 / Literal 4.3	Cumple	No especifica	
Ensayo metalográfico del material base	No especifica	No especifica	No especifica	
Ensayo de dureza de material base	No especifica	No especifica	No especifica	No se solicita
	AWS D8.8/ Literal 5	No Cumple	N / A	
	AWS D1.1/ Literal 9.25 (inspección visual)	No Cumple	N / A	
Ensayo de la estructura soldada NTE: INEN 1323 / Literal 5.1.7/ 5.1.7.1	AWS D1.1/ Literal 4.9.3.3 (doblado de cara y raíz)	No Cumple	N / A	Presenta declaración de cumplimiento en documentos técnicos
	AWS D1.1/ Literal 4.9.3.5 (tracción)	No Cumple	N / A	
	AWS D1.1/ Literal 9.22.1.1 (macrografía)	No Cumple	N / A	
	AWS D8.8/ Literal 5.1.13	No Cumple	N / A	No se solicita
Ensayo de dureza a la estructura soldada	No especifica	No especifica	N / A	
Resistencia estructural: criterio de falla: esfuerzo de Von Misses comparado con propiedad del material.	NTE INEN 1323:2009/ Literal 5.1.4	Cumple	Cumple	
Resistencia estructural: carga estática sobre techo	NTE INEN 1323:2009/ literal 5.1.5.1	Cumple	Cumple	Elaborado por organismo acreditado
Zona de supervivencia invadida	NTE INEN 1323:2009/ Literal 5.1.2	Cumple	Cumple	

(Fuente: Propia: 2018)

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

5.1. Conclusiones

- Los objetivos propuestos en el presente proyecto se cumplieron satisfactoriamente, se desarrolló y aplicó la metodología propuesta en el plan para la caracterización de los aceros nacionales e importados, utilizados en la zona de supervivencia de las estructuras de los autobuses de transporte de pasajeros interprovinciales.
- En base a los análisis realizados en los literales 4.1.1 y 4.1.2, de composición química, tensión, metalografía (literales 3.1.5 y 3.1.12) y durezas, se determina que la materia prima del producto nacional de la zona de supervivencia, corresponde a un tubo de acero al carbono A513 al grado 1010 y la materia prima del producto importado, corresponde a un tubo de acero al carbono tratado térmicamente Fe-0,14C-0,74Mn, este último presenta mejores propiedades mecánicas, químicas y microestructurales.
- De la resistencia última a la tracción, de los aceros utilizados en el material base tanto para el de fabricación nacional con respecto al importado existe una relación de 1 a 4. La estructura del bus importado resiste un 23% más que la estructura nacional.
- Con la ecuación del carbón equivalente, se determina que el acero empleado para el ensamblaje de la carrocería nacional e importada, presenta una excelente soldabilidad.
- En base al análisis realizado de las tablas de las discontinuidades de la inspección visual de la soldadura a tope de la estructura nacional e importada (3.6 y 3.18), los elementos de la zona de supervivencia, no presentan una fusión completa entre el material base y material de aporte, por lo que no se cumple la norma AWS D1.1:2015, lo que implica que las juntas soldadas de la estructura se comportarán de una manera frágil ante una colisión.
- Al existir falta de fusión y porosidades en las probetas de doblado de cara y raíz se presentan fracturas, aberturas y grietas en las probetas incumpliendo de esta manera con los criterios de aceptación de ensayo de la norma AWS D1.1:2015.

- Los ensayos de tensión de las soldaduras a tope nacional e importado (techo-techo) no cumplen lo establecido en la norma AWS D1.1: 2015, pues los valores no sobrepasan los ensayos del material base.
- Las imperfecciones que se observaron en las probetas como: falta de penetración, fisuras, rechupes, presencia de escoria y poros son las principales causas de la disminución de la resistencia a la tracción de las uniones soldadas.
- Los OECS's emiten los certificados de conformidad a las normas y reglamentos vigentes respaldados únicamente en fichas técnicas y declaraciones del fabricante, sin considerar las uniones soldadas de las estructuras de los buses nacionales e importados siendo una parte crítica del bus.
- La simulación debe ser utilizada como una herramienta para el sector carrocerero, con el fin de mejorar el diseño de la estructura y verificar que las vigas no invadan la zona de supervivencia, mas no como un criterio para homologar la entrada de autobuses al parque automotor ya que en ella no se evalúa los diferentes puntos de unión (soldadura "uniones rígidas") de la carrocería.

5.2. Recomendaciones

- En los requerimientos de homologación al no ser solicitado el 31% y el restante (69%) ser documental, se puede afirmar que es imprescindible modificar las normativas vigentes en el Ecuador con el fin de evaluar mediante ensayos químicos, mecánicos y metalográficos el material utilizado en la fabricación de carrocerías. Además de verificar las propiedades de uniones soldadas presentes en estos elementos.
- Se debe establecer un nuevo mecanismo de evaluación de la conformidad de tal forma que los autobuses de fabricación nacional e importada sean evaluados en etapa de fabricación y producto terminado.
- La documentación referente a fichas técnicas, certificados de conformidad y características del producto que entregan los representantes de las diferentes marcas de autobuses que ingresan al Ecuador para el proceso de homologación vehicular debe ser verificada con más rigurosidad, de tal forma que la misma corresponda al mercado donde van a circular los autobuses.

- Se puede exigir la realización de ensayos no destructivos a los diferentes puntos de soldadura para verificar la calidad de las uniones en la carrocería ya que el organismo de evaluación de la conformidad realiza las inspecciones in situ pero son visuales.
- Es importante realizar una revisión a la NTE INEN 1323:2009 debido a que las combinaciones de carga con el método LRFD se utiliza para el diseño estructural mas no para el análisis con deformación plástica del material por lo cual se debería optar por utilizar uno de los métodos virtuales de homologación que permite el Reglamento ECE R66 de Ginebra [8].
- Los modelos de simulación dinámica se perfilan como una herramienta muy útil en la elaboración de análisis y obtención de resultados, haciendo posible estudios que de otra manera serían difíciles y costosos de ejecutar. Sin embargo, estos resultados no deberían ser considerados nada más que como indicaciones con elevado grado de precisión de resultados reales. Para brindar robustez a estos resultados informáticos, se debe acompañar de verificación y ensayos experimentales.

5.3. Trabajos futuros

- Realizar ensayos de las uniones soldadas presentes en las diferentes secciones de soldadura con el material base obtenido en el presente proyecto, el cual es el que se está aplicando para la construcción de la superestructura y someterlas a ensayos de corrosión para determinar la velocidad de la misma ya que en el Ecuador, se tienen varios tipos de condiciones ambientales, verificando de esta manera la calidad en la fabricación de las carrocerías.
- Realizar los ensayos físicos, químicos y mecánicos con el fin de obtener las propiedades de los materiales que se están utilizando en la fabricación de carrocerías, al mismo tiempo realizar una simulación de la superestructura con los diseños estructurales originales y un ensayo de vuelco para determinar si invade la zona de supervivencia con los resultados obtenidos de las propiedades de los materiales. En el caso de invadir esta zona, realizar un rediseño con técnicas de optimización estructural.

Referencias Bibliográficas

- [1] Agencia Nacional de Tránsito, “Resolución No. ANT-NACDSGRD118-0000064
- [2] Plan-Operativo-de-Seguridad-Vial.pdf.(s.f.).Recuperado de <https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/12/Plan-Operativo-de-Seguridad-Vial.pdf>
- [3] Agencia Nacional de Tránsito, “Listado del Estado de Unidades Fabricadas o Ensambladas-2018”
- [4] RTE INEN. Vehículos de transporte público de pasajeros intraregional, interprovincial e intraprovincial. Std. 043:2015.
- [5] Marcopolo. Presentación de laboratorio, 2017
- [6] Palacios, P., & Antonio, J. (2014). Propuesta de procedimientos de análisis y de diseño de superestructuras de autobuses. Recuperado de <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/1437>
- [7] Miranda, C., & Luis, J. (2006). Análisis del comportamiento mecánico del sistema estructural del autobús Feline para la empresa Carrocera Miral buses. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/734>
- [8] UNECE 66, Uniform technical prescriptions concerning the approval of large passenger vehicles with regard to the strength of their superstructure. 2006.
- [9] CONTRAN, Resolución CONTRAN No. 811/96. Establece los requisitos de seguridad para vehículos de transporte colectivo de fabricación nacional y extranjera; 1996.
- [10] South African Standard. The strength of large passenger vehicle super-structures (roll-over protection). South African: The South African Bureau of Standards; 1992.
- [11] TESIS_ENRIQUE_ALCALA_FAZIO.pdf. (s. f.). Recuperado de http://oa.upm.es/37944/1/TESIS_ENRIQUE_ALCALA_FAZIO.pdf
- [12] INEN, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323. Vehículos automotores. Carrocerías de buses. Requisitos., 2009, Instituto Ecuatoriano de Normalización: Quito.
- [13] Cruz, M. G. H., & Viecelli, A. (2008). A methodology for replacement of conventional steel by micro alloyed steel in bus tubular structures. *Materials & Design*, 29(2), 539-545. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2006.12.010>
- [14] Oswaldo, A. P. D., & Patricia, D. A. V. (s. f.). ESTUDIO DE ACEROS ESTRUCTURALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARROCERÍAS PARA BUSES, 146

- [15] INEN, Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034(4R). Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores., 2016, Instituto Ecuatoriano de Normalización: Quito.
- [16] INEN, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1668. Vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, Interprovincial e Intraprovincial. Requisitos., 2015, Instituto Ecuatoriano de Normalización: Quito.
- [17] INEN, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2415. Tubos de acero al carbono soldados para aplicaciones estructurales y usos generales. Requisitos., 2016, Instituto Ecuatoriano de Normalización: Quito.
- [18] INEN, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1623. Perfiles abiertos de acero conformados en fríos negros o galvanizados para uso estructural. Requisitos e inspección., 2015, Instituto Ecuatoriano de Normalización: Quito.
- [19] INEN, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN ISO 6892-1. Materiales metálicos-Ensayo de tracción-Parte 1: Método de ensayo a temperatura ambiente. (ISO 6892-1:2016) 2017, Instituto Ecuatoriano de Normalización: Quito.
- [20] INEN, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1172. Recubrimientos de zinc por inmersión sobre materiales ferrosos. Determinación de la masa depositada por unidad de superficie. Método gravimétrico., 2013, Instituto Ecuatoriano de Normalización: Quito.
- [21] INEN, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 601. Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos no orgánicos. Determinación del espesor de recubrimiento por el método de corte micrográfico., 2013, Instituto Ecuatoriano de Normalización: Quito.
- [22] INEN, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 950. Recubrimientos metálicos. Determinación de la adherencia. Método de ensayo., 2013, Instituto Ecuatoriano de Normalización: Quito.
- [23] AWS, American Welding Society AWS D8.8. Specification for automotive weld quality- Arc welding of steel. 2007.
- [24] AWS, American Welding Society AWS D1.3. Structural Welding Code- Sheet Steel. 2008.
- [25] AWS, American Welding Society AWS D1.1. Structural Welding Code-Steel., 2015
- [26] ASTM, American Society of Testing Materials ASTM E3-11. Standard guide for preparation of metallographic specimens. 2017

- [27] ASTM, American Society of Testing Materials ASTM 407. Standard practice for micro etching metals and alloys 2015.
- [28] UNE-EN-ISO, Una Norma Española- European Norm- International Standardization Organization UNE-EN-ISO 9015-2. Destructive test on welds in metallic materials- Hardness testing-Part 2: Micro hardness testing of welded joints. 2016.
- [29] Thompson, M., Ferry, M., & Manohar, P. A. (2001). Simulation of Hot-band Microstructure of C-Mn Steels during High Speed Cooling. *ISIJ International*, 41(8), 891-899. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.41.891>
- [30] Weld. (2013, Agosto 10). SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS. Recuperado 5 de noviembre de 2018, de <https://metfusion.wordpress.com/2013/08/10/soldabilidad-de-los-aceros/>
- [31] Proyecto de Innovación Atlas Metalográfico. (s.f.). Recuperado 28 de agosto de 2018, de <https://www.ucm.es/atlasmetalografico/x28>
- [32] ASTM, American Society of Testing Materials ASTM E112. Standard Test Methods for Determining Average Grain Size. 2013
- [33] Metalurgia+de+La+Soldadura. (s.f.). Recuperado 05 de noviembre de 2018, de <https://es.scribd.com/document/67500468/Metalurgia-de-La-Soldadura> Scribd es el sitio social de lectura y editoriales más grandes del mundo
- [34] American Institute of steel Construction, 2010
- [35] Beer, F; Russell, DeWolf, J; Mazurek, D. *Mecánica de Materiales*, McGraw-Hill, Inc; sexta ed.; México, 2013. Capítulo 2
- [36] A01 Committee. (s. f.). Specification for Electric-Resistance-Welded Carbon and Alloy Steel Mechanical Tubing. ASTM International. https://doi.org/10.1520/A0513_A0513M-18
- [37] Moreira, R. R., Soares, T. F., & Ribeiro, J. (2014). Electrochemical Investigation of Corrosion on AISI 316 Stainless Steel and AISI 1010 Carbon Steel: Study of the Behaviour of Imidazole and Benzimidazole as Corrosion Inhibitors. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 04(04), 503-514. <https://doi.org/10.4236/aces.2014.44052>
- [38] CF Metals : Metal Selection Guide. (s. f.). Recuperado 21 de noviembre de 2018, de <http://cfmetals.net/metal-references.html>
- [39] Galvez, P., Quesada, A., Martinez, M. A., Abenojar, J., Boada, M. J. L., & Diaz, V. (2017). Study of the behaviour of adhesive joints of steel with CFRP for its application in

bus structures. Composites Part B: Engineering, 129, 41-46.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.07.018>

[40] Cárdenas, D., Escudero, J., & Quizhpi, S., Amaya M (2014). Propuesta de diseño estructural para buses de carrocería interprovincial.

[41] Palacios, P., & Antonio, J. (2014). Propuesta de procedimientos de análisis y de diseño de superestructuras de autobuses. Recuperado de <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/1437>

[42] Pérez - ESTUDIO ESTRUCTURAL DEL BUS URBANO ENTRADA BAJA DE.pdf. (s. f.). Recuperado de <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1231/1/Tesis%20I.%20M.%20127%20-%20Hidalgo%20P%c3%a9rez%20Daniel%20Eduardo.pdf>

[43] Andrade García, L. E., & Méndez Canchig, P. X. (2012). Estudio del diseño de una carrocería con análisis de esfuerzos estáticos y dinámicos de un autobús de la marca Patricio Cepeda calificada con norma ISO 9001-2008 mediante la aplicación de un software para el cálculo de las fuerzas. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/5761>

[44] Miranda, C., & Luis, J. (2006). Análisis del comportamiento mecánico del sistema estructural del autobús Feline para la empresa Carrocera Miral buses. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/734>

[45] Arroba, A., & Hernán, C. (2013). Estudio del comportamiento mecánico de una sección de la superestructura del autobús interprovincial marca Miral Infiniti en chasis Hino Ak sometida a volcadura, mediante los programas Ansys Ls-Dyna y su incidencia en el espacio de supervivencia. Recuperado de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/5705>


[46] Kumar, S. (2012). Rollover Analysis of Bus Body Structure as per AIS 031/ECE R66. HyperWorks Technology Conference. India.

[47] Deshmukh, P. (2006). Rollover and Roof Crush Analysis of Low - Floor Mass Transit Bus, Master Thesis. USA: Florida State University.

ANEXO A

Fichas Técnicas utilizadas en la fabricación de Carrocerías.

Ficha Técnica de elementos utilizados en la fabricación de carrocería nacional

 Agencia Nacional de Tránsito	DIRECCIÓN DE REGULACIÓN HOMOLOGACIÓN VEHICULAR	Código: DRTT5V-FHV-005
	FICHA TÉCNICA: VEHÍCULOS PARA TRANSPORTE INTRAREGIONAL/INTERPROVINCIAL/INTRAPROVINCIAL	Rev. 2/3
		Página 2 de 13

3.3. PESOS Y CAPACIDADES DEL CHASIS		
Peso bruto vehicular (PBV) (kg):	14 200	
Peso en vacío (kg):	4 890	
Capacidad de carga (kg):	9 310	
Capacidad del tanque de combustible (Ubicación, dimensiones y volumen)	Ubicación: Lateral izquierdo Dimensiones: 1 080 x 400 x 550 Volumen: 200 L	
3.4. PESOS Y CAPACIDADES DEL VEHICULO (corresponde a la unidad armada: chasis – carrocería)		
Peso bruto vehicular (PBV) (kg):	13 530	
Peso en vacío (kg):	9 390	
Capacidad de carga (kg):	4 140	
3.5. BARRA ANTIEMPOTRAMIENTO (Si aplica)		
Descripción:	Protección anti empotramiento fija con perfil redondo	
4. VERIFICACIÓN DE LA CONFORMIDAD SEGÚN RTE INEN 043-VIGENTE		
4.1. ESPECIFICACIONES DE LA CARROCERÍA		
a. Material estructural	Tipo:	Tubular, Planchas, Perfiles
	Norma:	INEN 2415, INEN 1623, INEN 115
	Protección Anticorrosiva:	Fondo y pintura anticorrosiva
b. Material piso	Tipo:	TR 80x40x3 mm/ TC 50x50x2 mm/TR 50x25x1.5 mm/ TR 40x20x1.5 mm/ "U" 100x40x2 mm/ "U" 60x30x2 mm/ TC 40x40x1.5 mm/ TC 50x50x3 mm/ Plancha Tol Galvanizado
	Norma:	ASTM A 500/ ASTM 653CS
c. Material de marco de ventanas	Tipo:	N/A
	Norma:	N/A
d. Material parachoques	Tipo:	TR 80x40x2 mm/ TC 40x40x2 mm/ "L" 40x40x3 mm/ TC 50x50x3 mm/ TC 40x40x1.5 mm/ TR 50x25x1.5 mm/ TR 40x20x1.5 mm/ Fibra de Vidrio
	Norma:	ASTM A 500/ ASTM A36/ ISO 3795
e. Aislamiento acústico	Tipo	Espuma de Poliuretano Inyectado
	Ubicación	Techo, Laterales, Respaldo y Tapa del motor
f. Aislamiento térmico	Tipo	Espuma de Poliuretano Inyectado
	Ubicación	Techo, Laterales, Respaldo y Tapa del motor
g. Inflamabilidad de materiales (Índice de propagación de llama (mm/min))	Revestimiento de Asientos:	España: 32.48 mm/min Tela: 100 mm/min
	Revestimiento de Paredes:	Fibra de vidrio: 38.55 mm/min Espuma de Poliuretano: 0 mm/min
	Revestimiento de Techo:	Fibra de Vidrio: 38.55 mm/min Espuma de Poliuretano: 0 mm/min
	Revestimiento de Piso:	Moqueta: 0 mm/min
	Demás Revestimientos:	Fibra de Vidrio: 38.55 mm/min
h. Habitáculo de pasajeros	Sistema de	Aire Acondicionado

Especificaciones de Producto

Estructurales Tubos Estructurales



- ⇒ <longitud comercial (m)>
- ⇒ <número de colada>
- ⇒ <orden de fabricación (O/F)>

Todos los productos son empaquetados y flejados para facilitar su transporte y manejo. Cada paquete tiene un peso teórico máximo de 2.000 Kg.

Propiedades Mecánicas

Norma ASTM A 500 Grado del Acero	Propiedades Mecánicas (mínimas)		
	Limite de Fluencia (psi)	Resistencia a la Tracción (psi)	% Elong
Grado A	39,000	45,000	25
Grado B	46,000	58,000	23
Grado C	50,000	62,000	21

Norma EN 10219 Grado del Acero	Propiedades Mecánicas (mínimas)						
	Limite de Fluencia		Resistencia a la Tracción Espesor ≤ 3 mm		Resistencia a la Tracción Espesor > 3 mm		%Elong
	MPa	psi	MPa	psi	MPa	psi	
S235	235	34,000	360 a 510	52,000 a 74,000	340 a 470	50,000 a 68,000	24
S275	275	40,000	430 a 580	62,000 a 84,000	410 a 560	59,000 a 81,000	20
S355	355	51,000	510 a 680	74,000 a 99,000	490 a 630	71,000 a 91,000	20

Requerimientos Químicos

Norma ASTM A 500 Grado del Acero	Propiedades Química (% máximo)			
	C Carbono	Mn Manganeso	P Fósforo	S Azufre
Grado A	0.23	1.35	0.035	0.035
Grado B	0.26	1.35	0.035	0.035
Grado C	0.26	1.35	0.035	0.035

Ficha Técnica de elementos utilizados en la fabricación de carrocería importada

	DIRECCIÓN DE REGULACIÓN HOMOLOGACIÓN VEHICULAR	Código: DRTTTSV-FHV-005
	FICHA TÉCNICA: VEHÍCULOS PARA TRANSPORTE INTRAREGIONAL/INTERPROVINCIAL/INTRAPROVINCIAL	Rev. 2/3
		Página 2 de 12

Peso en vacío (kg):	5601	
Capacidad de carga (kg):	13899	
Capacidad del tanque de combustible (Ubicación, dimensiones y volumen)	500 LIT, TRANSVERSAL TRAS EL PRIMER EJE, 2400 x 580 x 420 mm	
3.4. PESOS Y CAPACIDADES DEL VEHICULO (corresponde a la unidad armada: chasis – carrocería)		
Peso bruto vehicular (PBV) (kg):	19500	
Peso en vacío (kg):	14936	
Capacidad de carga (kg):	4564	
3.5. BARRA ANTIEMPOTRAMIENTO (Si aplica)		
Descripción:	N/A	
4. VERIFICACIÓN DE LA CONFORMIDAD SEGÚN RTE INEN 043:VIGENTE		
4.1. ESPECIFICACIONES DE LA CARROCERÍA		
a. Material estructural	Tipo:	Acero
	Norma:	ABNT NBR 6591 ABNT NBR 6656 ABNT NBR 7008 ASTM A-653 CS-B
	Protección Anticorrosiva:	Galvanización por inmersión en caliente y Pintura de primer galvánico anticorrosivo
b. Material piso	Tipo:	Compensado naval laminado tratado
	Norma:	ABNT NBR 15570 ABNT NBR 7190
c. Material de marco de ventanas	Tipo:	N/A
	Norma:	N/A
d. Material parachoques	Tipo:	Fibra de Vidrio
	Norma:	
e. Aislamiento acústico	Tipo:	Manta y Poliuretano
	Ubicación:	Cerca del motor
f. Aislamiento térmico	Tipo:	Manta y Poliuretano
	Ubicación:	En el techo, laterales y cerca del motor
g. Inflamabilidad de materiales (índice de propagación de llama (mm/min))	Revestimiento de Asientos:	Máx. 100mm/min
	Revestimiento de Paredes:	Máx. 100mm/min
	Revestimiento de Techo:	Máx. 100mm/min
	Revestimiento de Piso:	Máx. 100mm/min
	Demás Revestimientos:	Máx. 100mm/min
h. Habitáculo de pasajeros	Sistema de Climatización:	AIRE CONDICIONADO
	Ubicación:	TECHO DE LA CARROCERIA
	Rango de Temperatura:	16°C a 35°C

ANEXO B

Especificaciones del procedimiento de soldadura

Especificaciones del procedimiento de soldadura carrocería nacional

Especificaciones del procedimiento de soldadura carrocería importada

 <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> <p style="margin: 0;">Agencia Nacional de Tránsito</p> </div>	<p>DIRECCIÓN DE REGULACIÓN HOMOLOGACION VEHICULAR</p>	<p>Código: DRTTTSV-FHV-004</p>
	<p>FICHA TÉCNICA PARA HOMOLOGACIÓN DE CARROCERÍAS</p>	<p>Rev. 2/3</p>
		<p>Pág. 3 de 4</p>

Plano de conjunto de la carrocería:		FM 10171
Planos de subconjuntos ⁵ :	Módulo frontal:	244101
	Módulo posterior:	170267
	Módulo lateral izquierdo:	244099
	Módulo lateral derecho:	244033
	Piso – plataforma:	244029
	Gradas:	244031
	Mamparas:	244330
Planos de taller	Distribución de asientos:	244238
	Áncclajes:	FM 10171
	Juntas:	FM 10171
	Elementos:	FM 10171
Planos de conexión eléctrica:		198673
Planos de conexión neumática:		244521

7. PROCESO Y PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (Se deberán adjuntar)	
WPS (códigos)	IC-05-05,06,07,08,14,15,16,17,20,21 (GMAW)
PQR (códigos)	PQR FIX 001 16; PQR ISC 01 00 (GMAW)
WPQ (códigos)	WPQ SMBE003; WPQ SMP22 (GMAW)

8. ENSAYOS		RESULTADO
7.1. TIPO DE ENSAYO		
Resistencia de la estructura.	La estructura del bus se ensayará por cualquiera de los métodos de ensayo contemplados en el numeral 6 del documento <i>"Regulation No. 66 Uniform technical prescriptions concerning the approval of large passenger vehicles with regard to the strength of their superstructure"</i>	Aprobado
Ensayo de resistencia del techo	Bajo carga estática igual al 50% del peso máximo admisible del chasis NTE INEN 1323	Aprobado

9. OTROS REQUISITOS (Posee/No Posee)		
Tratamiento de los materiales	Protecciones contra la corrosión	Posee
Superficies de pisos y áreas de entrada y salida	Material antideslizante	Posee
Instalaciones eléctricas	Directiva Europea 2001/85 CE	
Pintura	Normas, tipo, tratamiento.	Posee
Flamabilidad de materiales	ASTM E 162 o ISSO 3795	Posee
Sujeción del parabrisas	FMVSS 212	Posee

ANEXO C

Resultados del Ensayo y Simulación CASO 1

Resultados del Ensayo y Simulación de la estructura de carrocería nacional CASO1

Resultados del Ensayo y Simulación de la estructura de carrocería importada
CASO 1

ANEXO D

Resultados del Ensayo y Simulación CASO 2

Resultados del Ensayo y Simulación de la estructura de carrocería nacional CASO 2

Resultados del Ensayo y Simulación de la estructura de carrocería importada
CASO 2

ANEXO E

Resultados de análisis por espectrometría de chispa

Resultados de análisis por espectrometría de chispa de material base de carrocería nacional e importada



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA



Resultados de análisis por Espectrometría de Chispa

Solicitante : Ing. Patricia Proaño / Ing. Cristian Aingla
No. Referencia : RM - 9447
Fecha : 17/08/2018
Muestras recibidas : Dos muestras de acero

La cuantificación de los metales presentes en la muestra se realizó empleando el Espectrómetro de Chispa marca BRUKER modelo Q-TASMAN y se reportan los datos con tres cifras decimales por pedido del cliente. A continuación los resultados obtenidos:

Metales	MBI (%)	MBN (%)
Carbono (C)	0,172	0,056
Silicio (Si)	0,013	0,010
Manganeso (Mn)	0,688	0,162
Fósforo (P)	<0,001	<0,001
Azufre (S)	0,005	0,005
Cromo (Cr)	0,014	0,027
Molibdeno (Mo)	0,005	0,002
Níquel (Ni)	0,602	0,002
Cobre (Cu)	0,005	0,008
Aluminio (Al)	0,039	0,033
Cerio (Ce)	0,040	0,036
Plomo (Pb)	0,008	0,008
Antimonio (Sb)	0,009	0,007
Titanio (Ti)	<0,001	<0,001
Vanadio (V)	<0,001	<0,001
Hierro (Fe)	98,99	99,62


Ing. Diana Encina D. Ph.D.
Jefe de Departamento (e)

ANEXO F

Gráficas de los Resultados de ensayos de tracción de material base de carrocería nacional y carrocería importada

MBN 1 DATOS



MBN 2 DATOS



MBN 3 DATOS



MBI 1 DATOS



MBI 2 DATOS



MBI 3 DATOS



Gráficas de los Resultados de ensayos de tracción del material con soldadura de carrocería nacional y carrocería importada

TSN1



TSN2



TSN3



TS11



TSI2



TSI3



Informe de los Resultados de ensayos de tracción de material base y soldadura de carrocería nacional y carrocería importada

	LABORATORIO DE ENSAYOS INFORME DE RESULTADOS	Hoja N° 1 de 1
Edición: 05	INFORME DE RESULTADOS N° LIFM-2018-142-02 FECHA: 2018-06-25	
INFORMACION GENERAL		
N° SOLICITUD DE TRABAJO: LIFM-DIC-2018-0143	CLIENTE: LAFAM	FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME: 2018-06-25
ENTIDAD EMPRESARIAL: Parques Pando	LABORATORIO: Parques Pando	PARTE DE PERSONA QUE SOLICITA EL SERVICIO: MTC S.A.S. No aplica
FECHA DE INGRESO DEL OBJETO DE ENSAYO: 2018-06-25	LABORATORIO: Parques Pando	LABORATORIO: Parques Pando
MUESTREO: TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR: MTC S.A.S. No aplica		
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN		
FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 2018-06-25	No aplica	
NORMA DE REGISTRO(S):	No aplica	
MATERIAL DE ENSAYO(S): LE-PTC-01-02 Tracción en materiales metálicos a temperatura ambiente. Referencia: NTC-ENEN - 9010823-2017. Materiales metálicos - Ensayo de tracción - Parte 1. Método de ensayo a tensión en ensayos	No aplica	
LUGAR DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS: Laboratorio de Ensayos Carrocerías	No aplica	
CONDICIONES AMBIENTALES: Temperatura: °C: No aplica	No aplica	
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS: Máquina Universal de Ensayo, Código: 2490, Calibrador, Código: 0145-11	No aplica	
INSERCIÓN DEL OBJETO DE ENSAYO(S): Material base carrocería Nacional	MARCAS: No aplica	
CODIGO DEL OBJETO DE ENSAYO: 00-2018-137-01	CODIGO DEL CLIENTE(S): 40992	

Área de sección mm ²	Carga de fluencia kN	Carga de rotura kN	Límite de fluencia MPa	Resistencia a la Tracción MPa	Porcentaje de Alargamiento %
25,55	9,07	10,03	355,77	393,00	22,46

COMENTARIOS: - La resistencia de la soldadura para el ensayo de tracción de Resistencia a la Tracción es responsabilidad de la UG. Parques Pando

- Los resultados de este informe se aplican al objeto de ensayo con su rotura y sus reducciones de área.

- Este Informe de Resultados es válido por reproducción, excepto en su totalidad, en la aprobación escrita del Laboratorio.

Solicitado por:

Ing. César Reyes

Aprobado por:

Ing. Margarita Celentis

DIRECCIÓN: ENEN, Av. Antonio Guzmán Roa, 1423, P.O. Box 1000, Lima 1000, Perú. Teléfono: (51) 1 426 1000. Fax: (51) 1 426 1001. Email: info@enen.gob.pe

	LABORATORIO DE ENSAYOS INFORME DE RESULTADOS	Hoja N° 1 de 1
Edición: 05	INFORME DE RESULTADOS N° LIFM-2018-142-01 FECHA: 2018-06-25	
INFORMACION GENERAL		
N° SOLICITUD DE TRABAJO: LIFM-DIC-2018-0143	CLIENTE: LAFAM	FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME: 2018-06-25
ENTIDAD EMPRESARIAL: Parques Pando	LABORATORIO: Parques Pando	PARTE DE PERSONA QUE SOLICITA EL SERVICIO: MTC S.A.S. No aplica
FECHA DE INGRESO DEL OBJETO DE ENSAYO: 2018-06-25	LABORATORIO: Parques Pando	LABORATORIO: Parques Pando
MUESTREO: TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR: MTC S.A.S. No aplica		
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN		
FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 2018-06-25	No aplica	
NORMA DE REGISTRO(S):	No aplica	
MATERIAL DE ENSAYO(S): LE-PTC-01-02 Tracción en materiales metálicos a temperatura ambiente. Referencia: NTC-ENEN - 9010823-2017. Materiales metálicos - Ensayo de tracción - Parte 1. Método de ensayo a tensión en ensayos	No aplica	
LUGAR DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS: Laboratorio de Ensayos Carrocerías	No aplica	
CONDICIONES AMBIENTALES: Temperatura: °C: No aplica	No aplica	
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS: Máquina Universal de Ensayo, Código: 2490, Calibrador, Código: 0145-11	No aplica	
INSERCIÓN DEL OBJETO DE ENSAYO(S): Material base carrocería Nacional	MARCAS: No aplica	
CODIGO DEL OBJETO DE ENSAYO: 00-2018-137-01	CODIGO DEL CLIENTE(S): 40992	

Área de sección mm ²	Carga de fluencia kN	Carga de rotura kN	Límite de fluencia MPa	Resistencia a la Tracción MPa	Porcentaje de Alargamiento %
27,40	10,59	11,13	385,13	406,30	15,14

COMENTARIOS: - La resistencia de la soldadura para el ensayo de tracción de Resistencia a la Tracción es responsabilidad de la UG. Parques Pando

- Los resultados de este informe se aplican al objeto de ensayo con su rotura y sus reducciones de área.

- Este Informe de Resultados es válido por reproducción, excepto en su totalidad, en la aprobación escrita del Laboratorio.

Solicitado por:

Ing. César Reyes

Aprobado por:

Ing. Margarita Celentis

DIRECCIÓN: ENEN, Av. Antonio Guzmán Roa, 1423, P.O. Box 1000, Lima 1000, Perú. Teléfono: (51) 1 426 1000. Fax: (51) 1 426 1001. Email: info@enen.gob.pe


LABORATORIO DE ENSAYOS
 INFORME DE RESULTADOS

Hoja N° 1 de 1

INFORME DE RESULTADOS N° LEM-2018-142-07 **FECHA:** 2018-06-25

INFORMACIÓN GENERAL

N° SERIE DE TRABAJO: LEM-005-2018-104-V
ENTIDAD AGENDA: Patricio Prado
FECHA DE INGRESO DE OBJETO DE ENSAYO: 2018-06-08
FECHA DE INGRESO DE RESULTADOS: 2018-06-25
MEETROLOGÍA: E-MAR-01
MEETROLOGÍA: E-MAR-01
MEETROLOGÍA: E-MAR-01
MEETROLOGÍA: E-MAR-01

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 2018-06-08
SERIE DE RESULTADOS: No aplica

MÉTODO DE ENSAYO: LE-PL-002 Tracción en un solo eje a temperatura ambiente. Referencia: NTL INEN - 893-892-1-2017.
 Método de ensayo: Tracción en un solo eje a temperatura ambiente

LUGAR DE ELECCIÓN DEL ENSAYO: Laboratorio de Ensayos Generales
CONDICIONES AMBIENTALES: Temperatura: No aplica Humedad Relativa: No aplica
CONDICIONES AMBIENTALES: Temperatura: No aplica Humedad Relativa: No aplica
CONDICIONES AMBIENTALES: Temperatura: No aplica Humedad Relativa: No aplica
CONDICIONES AMBIENTALES: Temperatura: No aplica Humedad Relativa: No aplica



DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ENSAYO: Muestra Unicidad de Ensayo: Código: C-040-17
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ENSAYO: Muestra Unicidad de Ensayo: Código: C-040-17
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ENSAYO: Muestra Unicidad de Ensayo: Código: C-040-17

CODIGO DEL OBJETO DE ENSAYO: LE-2018-142-07 **CODIGO DE CLIENTE:** INEN

Área de sección mm ²	Carga de fluencia kN	Carga de rotura kN	Límite de fluencia MPa	Resistencia a la Tracción MPa	Porcentaje de Alargamiento %	Observaciones
41,28	-	2,83	-	98,55	0,94	La falla se presenta en la soldadura del objeto de ensayo

OBSERVACIONES: La geometría de la proba para el ensayo de resistencia a la tracción es responsabilidad de la UG. Patricio Prado

- Los resultados de este informe se aplican al objeto de ensayo como se recibió y son excluyentes del mismo.
 - Por favor de brindarnos a este fin, un reporte de aceptación o rechazo de la aprobación escrita del laboratorio.

Revisado por:  **Asesorado por:** 
 Ing. César Becerra Ing. Margarita Cordero

DIRECCIÓN - INEN: Av. Aviación General Humboldt, Pasaje Nacional N° 5, 5to. y 6to. pisos, Distrito El Dorado.

LE-0006-07


LABORATORIO DE ENSAYOS
 INFORME DE RESULTADOS

Hoja N° 1 de 1

INFORME DE RESULTADOS N° LEM-2018-142-08 **FECHA:** 2018-06-25

INFORMACIÓN GENERAL

N° SERIE DE TRABAJO: LEM-005-2018-104-V
ENTIDAD AGENDA: Patricio Prado
FECHA DE INGRESO DE OBJETO DE ENSAYO: 2018-06-08
FECHA DE INGRESO DE RESULTADOS: 2018-06-25
MEETROLOGÍA: E-MAR-01
MEETROLOGÍA: E-MAR-01
MEETROLOGÍA: E-MAR-01
MEETROLOGÍA: E-MAR-01

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 2018-06-07
SERIE DE RESULTADOS: No aplica

MÉTODO DE ENSAYO: LE-PL-002 Tracción en un solo eje a temperatura ambiente. Referencia: NTL INEN - 893-892-1-2017.
 Método de ensayo: Tracción en un solo eje a temperatura ambiente

LUGAR DE ELECCIÓN DEL ENSAYO: Laboratorio de Ensayos Generales
CONDICIONES AMBIENTALES: Temperatura: No aplica Humedad Relativa: No aplica
CONDICIONES AMBIENTALES: Temperatura: No aplica Humedad Relativa: No aplica
CONDICIONES AMBIENTALES: Temperatura: No aplica Humedad Relativa: No aplica



DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ENSAYO: Muestra Unicidad de Ensayo: Código: C-040-17
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ENSAYO: Muestra Unicidad de Ensayo: Código: C-040-17
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ENSAYO: Muestra Unicidad de Ensayo: Código: C-040-17

CODIGO DEL OBJETO DE ENSAYO: LE-2018-142-08 **CODIGO DE CLIENTE:** INEN

Área de sección mm ²	Carga de fluencia kN	Carga de rotura kN	Límite de fluencia MPa	Resistencia a la Tracción MPa	Porcentaje de Alargamiento %	Observaciones
95,99	20,22	22,09	210,65	230,13	5,66	La falla se presenta en la soldadura del objeto de ensayo

OBSERVACIONES: La geometría de la proba para el ensayo de resistencia a la tracción es responsabilidad de la UG. Patricio Prado

- Los resultados de este informe se aplican al objeto de ensayo como se recibió y son excluyentes del mismo.
 - Por favor de brindarnos a este fin, un reporte de aceptación o rechazo de la aprobación escrita del laboratorio.

Revisado por:  **Asesorado por:** 
 Ing. César Becerra Ing. Margarita Cordero

DIRECCIÓN - INEN: Av. Aviación General Humboldt, Pasaje Nacional N° 5, 5to. y 6to. pisos, Distrito El Dorado.

LE-0006-07

SERVICIO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN
Edición: 05

LABORATORIO DE ENSAYOS
INFORME DE RESULTADOS

Hoja N° 1 de 1

INFORME DE RESULTADOS N° LEFM-2018-142-09 FECHA: 2018.06.25

INFORMACIÓN GENERAL

N° SOLICITUD DE TRABAJO: LEP500V-2018-142-09
 ENTIDAD EMPRESARIAL: Pucallpa Pucallpa
 FECHA DE INGRESO DE OBJETO DE ENSAYO: 2018.06.06 LABOR: Pucallpa Pucallpa
 MUESTREO: TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR: M.T.S.N. No aplica

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 2018.06.07
 NORMA DE REQUISITOS: No aplica

MÉTODO DE ENSAYO: LEPT-0-02. Prueba en tracción mecánica a temperatura ambiente. Referencia: N.TE.DIN - ISO 6892-1:2011. Método de ensayo a temperatura ambiente. Método de ensayo: Pucallpa Pucallpa

LUGAR DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: Pucallpa, Perú Laboratorio de Ensayos Mecánicos

CONDICIONES AMBIENTALES: Temperatura: No aplica Humedad Relativa: No aplica

EQUIPOS UTILIZADOS: Máquina Universal de Ensayo, Código: 1316, Código: 1312-15 MARE: No aplica


DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ENSAYO: Soldadura de acero a tope MARE: No aplica


CODIGO DE OBJETO DE ENSAYO: CE-2018-157-09 CODIGO DE CLIENTE: 1312

Área de sección mm ²	Carga de fluencia kN	Carga de rotura kN	Límite de fluencia MPa	Resistencia a la Tracción MPa	Porcentaje de Alargamiento %	Observaciones:
95,23	18,24	29,28	91,85	307,45	4,58	La falla se presenta en la soldadura del objeto de ensayo.

OBSERVACIONES: - La permitida de la prueba para ejecución del ensayo de Resistencia a la Tracción es responsabilidad de la Ing. Patricia Posada

Los resultados de este informe se aplican al objeto de ensayo como se explicó y son válidos del mismo.
 Este Informe de Resultados no debe ser reproducido, excepto en su totalidad, en la aproximada cercanía del Laboratorio.

Realizado por:  Ing. César Reyes

Revisado por:  Amparito Sánchez

EDICIÓN: INEN / ANS / Normativa General Revolucionada. Precio: Pucallpa N° 5, 200 en Lima directa. Barrios El Dorado.

13-1-MI-07

13) Información proporcionada por el cliente.

SERVICIO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN
Edición: 05

LABORATORIO DE ENSAYOS
INFORME DE RESULTADOS

Hoja N° 1 de 1

INFORME DE RESULTADOS N° LEFM-2018-142-10 FECHA: 2018.06.25

INFORMACIÓN GENERAL

N° SOLICITUD DE TRABAJO: LEP500V-2018-142-10
 ENTIDAD EMPRESARIAL: Pucallpa Pucallpa
 FECHA DE INGRESO DE OBJETO DE ENSAYO: 2018.06.21 LABOR: Pucallpa Pucallpa
 MUESTREO: TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR: M.T.S.N. No aplica

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 2018.06.23
 NORMA DE REQUISITOS: No aplica

MÉTODO DE ENSAYO: LEPT-0-02. Prueba en tracción mecánica a temperatura ambiente. Referencia: N.TE.DIN - ISO 6892-1:2011. Método de ensayo a temperatura ambiente. Método de ensayo: Pucallpa Pucallpa

LUGAR DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: Pucallpa, Perú Laboratorio de Ensayos Mecánicos

CONDICIONES AMBIENTALES: Temperatura: No aplica Humedad Relativa: No aplica

EQUIPOS UTILIZADOS: Máquina Universal de Ensayo, Código: 1316, Código: 1312-15 MARE: No aplica

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ENSAYO: Soldadura de acero a tope MARE: No aplica

CODIGO DE OBJETO DE ENSAYO: CE-2018-157-22 CODIGO DE CLIENTE: 1312

Área de sección mm ²	Carga de fluencia kN	Carga de rotura kN	Límite de fluencia MPa	Resistencia a la Tracción MPa	Porcentaje de Alargamiento %	Observaciones:
95,53	50,32	33,09	317,39	346,59	4,58	La falla se presenta en la soldadura del objeto de ensayo.

OBSERVACIONES: - La permitida de la prueba para ejecución del ensayo de Resistencia a la Tracción es responsabilidad de la Ing. Patricia Posada

Los resultados de este informe se aplican al objeto de ensayo como se explicó y son válidos del mismo.
 Este Informe de Resultados no debe ser reproducido, excepto en su totalidad, en la aproximada cercanía del Laboratorio.

Realizado por:  Ing. César Reyes

Revisado por:  Amparito Sánchez

EDICIÓN: INEN / ANS / Normativa General Revolucionada. Precio: Pucallpa N° 5, 200 en Lima directa. Barrios El Dorado.

13-1-MI-07

13) Información proporcionada por el cliente.

ANEXO G

Informe de los resultados de ensayos de tracción realizados a las soldaduras en T

<p style="font-size: small;">SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN Edición: 05</p>	<p>LABORATORIO DE ENSAYOS INFORME DE RESULTADOS</p>	<p>Hoja N° 1 de 1</p>				
<p>INFORME DE RESULTADOS N° LFFM-2018-142-18 FECHA: 2018-06-25</p>						
<p>INFORMACIÓN GENERAL</p>						
<p>N° SOLICITUD DE TRABAJO: LFFM-INV-2018-128-FY ENTIDAD EMPRESA: Puma Brando FECHA DE INGRESO DEL OBJETO DE ENSAYO: 2016-06-20 MEMBRO TOPO DE MUESTRA REALIZADO POR: J. RAMÍREZ PUESTA A DISPOSICIÓN: Puma Brando ACTA(S): No aplica</p>						
<p>CARGA MÁXIMA</p>						
<p>FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 2016-06-21 NORMA DE REQUISITOS: No aplica MATERIAL: M300-1000 TIPO DE ENSAYO: Laboratorio de Ensayo Mecánico LUGAR DE EFECTUACIÓN DEL ENSAYO: No aplica COMUNICACIÓN AMBIENTALES: Temperatura: 21°C Humedad Relativa: 51% EQUIPOS UTILIZADOS: Máquina Universal de Ensayo 344690 2799, Calentador Calor 14-1-11 REACTIVOS DEL OBJETO DE ENSAYO: M300-1000 CÓDIGO DE CLIENTE: No aplica LOGO DEL OBJETO DE ENSAYO: DE-2018-157-14 CÓDIGO DE CLIENTE: 0011</p>						
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th>Carga de rotura kN</th> <th>Observación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">238.18</td> <td>La falla se presenta en la soldadura del objeto de ensayo</td> </tr> </tbody> </table>			Carga de rotura kN	Observación	238.18	La falla se presenta en la soldadura del objeto de ensayo
Carga de rotura kN	Observación					
238.18	La falla se presenta en la soldadura del objeto de ensayo					
<p>OBSERVACIONES: (Se fotografian el ensayo y resultados en el Anexo I)</p>						
<p>Las resultados de este informe se aplica al objeto de ensayo como se recibió, sin exclusiones del mismo. Este informe de resultados no debe ser reproducido, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Laboratorio.</p>						
<p>Revisado por:</p> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 30px; margin: 5px auto;"></div> <p style="font-size: x-small;">Dr. Cesar Escob</p>	<p>Aprobado por:</p> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 30px; margin: 5px auto;"></div> <p style="font-size: x-small;">Ing. Victoria Flores</p>					
<p style="font-size: x-small;">DIRECCIÓN: IENES - Inspección General de Mercaderías y Defensa Patrimonial N° 3, 406 av. Amazonas, Quito (El informe de resultados pertenece al cliente)</p>						

<p style="font-size: small;">SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN Edición: 05</p>	<p>LABORATORIO DE ENSAYOS INFORME DE RESULTADOS</p>	<p>Hoja N° 2 de 3</p>
<p>ANEXO I</p>		
<p>CÓDIGO DE OBJETO DE ENSAYO: DE-2018-157-14</p>		
<p>OBSERVACIONES: Ninguna</p>		

INFORME DE RESULTADOS N° LEM-2018-142-19 **FECHA:** 2018-06-25

INFORMACION GENERAL
NOMBRE DE TRABAJO: LLENTOS/2018/02/19
ENTIDAD EMPRESARIAL: Puma Puma
FECHA DE INGRESO DEL OBJETO DE ENSAYO: 2018-06-08 **EMBARQUE:** PARTICIPACION EN PROYECTO
MUESTRO FORMA DE MUESTRA DE ENSAYO (M⁰): Puma Puma **ACTA N°:** No aplica

CARGA MAXIMA
FECHA DE REALIZACION DE LOS ENSAYOS: 2018-06-25
NORMA DE REQUISITOS (N°): No aplica
METODO DE ENSAYO (M⁰): Método de
LUGAR DE ELECCION DEL ENSAYO: Laboratorio de Ensayos Generales
CONDICIONES AMBIENTALES: Temperatura: 18 °C No aplica
CONDICIONES DE CALIDAD: Máquina (Universidad de Ingeniería Chile) - Código: 1152-10 No aplica
DESCRIPCION DEL OBJETO DE ENSAYO (M⁰): Soldadura de espaldas T **MARCA (M⁰):** No aplica
CODIGO DE OBJETO DE ENSAYO: 01-2018-05-19 **CODIGO DE CLIENTE (M⁰):** 3872

Carga de rotura EN	Observación
262.21	La falla se presenta en la soldadura del objeto de ensayo

OBSERVACIONES: (En el momento del ensayo se observó el Abate 1).
 A los resultados de cada ensayo se aplicó el método de ensayo como se indica y con exclusiones de acuerdo a los formatos de Resultado de ensayo se reportó, compare con el método de la siguiente tabla del Laboratorio.

Realizado por:  **Atestado por:** 
 Ing. César Muñoz Ing. Miriam Castro

INFORMACION - INEN: Avda. General Fernández, Puma Puma N° 5, 500 11a. Comuna de Ñuñoa, Santiago, Chile.
 115-000001

ANEXO I

CODIGO DE OBJETO DE ENSAYO: 01-2018-157-19

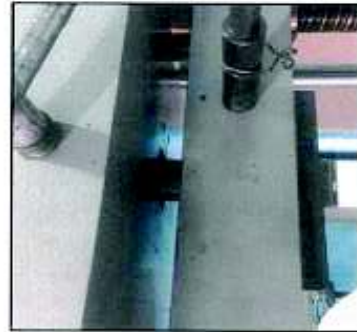
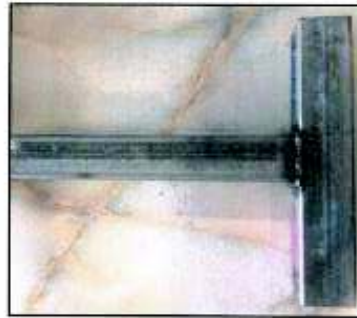


OBSERVACIONES: Ninguna

ANEXO I

CÓDIGO DE OBJETO DE ENSAYO:

01-2018-157-20



OBSERVACIONES: Ninguna

INFORME DE RESULTADOS N° LFM-2018-142-20 **FECHA:** 2018-06-25

INFORMACIÓN GENERAL

N. SOLICITUD DE TRABAJO: LE364903-2018-18679
ENTIDAD ASESORADA: Páramo Páramo
FECHA DE INGRESO DE OBJETO DE ENSAYO: 2018-06-25 **EMISOR:** KAMAR A.
MEMBRO TÉCNICO DE MUESTRA REALIZADO POR: Páramo Páramo **PARTE QUE PRESENTA LA SOLICITUD:** ACTA N.º 1, No aplica

CARGA MÁXIMA

FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 2018-06-25
NORMA DE REFERENCIA: S-001-2018
MÉTODO DE ENSAYO: Método de Tracción
LUGAR DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO: Laboratorio de Ensayos Generales
CONDICIONES AMBIENTALES: Temperatura: 20 No aplica Humedad Relativa: 50 No aplica
EMPRESA REALIZADORA: Laboratorio de Ensayos, Código 3000, Calle 10 de Agosto, Cuzco 12010
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ENSAYO: Soldadura de acero al C
CÓDIGO DE OBJETO DE ENSAYO: S-001-2018-157-20 **MARCA:** No aplica **ESPECIFICACIÓN:** S-001-2018-157-20

Carga de rotura KN	Observación
126,6	La falla se presenta en el material base del objeto de ensayo




OBSERVACIONES: - Cae la muestra de ensayo con el eje de la máquina.

- Las pruebas de este informe se aplican al objeto de ensayo como se recibió y no existen defectos.
 - Por Informe de Resultados no debe ser representado, excepto en su totalidad, en la aprobación escrita de los ensayos.

Realizado por:  Lic. Cesar Kasso
Autorizada por:  Lic. Víctor Cordero

DIRECCIÓN: INTEC, Instituto General de Normalización, Páramo Páramo N.º 5, 300 m. altura, Cuzco, Perú, El Bosque.

 SERVICIO EQUIVOCADO DE NORMATIZACIÓN Edición: 03	LABORATORIO DE ENSAYOS INFORME DE RESULTADOS		Hoja N° 2 de 2
	ANEXO I		
CÓDIGO DE OBJETO DE ENSAYO: 01-20 11-157-21			
			
			
OBSERVACIONES: Ninguna			

 SERVICIO EQUIVOCADO DE NORMATIZACIÓN Edición: 03	LABORATORIO DE ENSAYOS INFORME DE RESULTADOS		Hoja N° 1 de 2				
	INFORME DE RESULTADOS N° LLEM-2018-142-21 FECHA: 2018-06-25						
INFORMACION GENERAL							
N° SOLICITUD DE TRABAJO: LEM-001-2018-0357 ESTADISTADÍSTICA: Panamá Proada							
FECHA DE INGRESO DE OBJETO DE ENSAYO: 2018-06-06 E-MAIL: <input type="text"/>							
MESES DE EJECUCIÓN DE ESTADÍSTICA REALIZADA POR: <input type="text"/>							
FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 2018-06-28							
METODO DE ENSAYO: No aplica							
LUGAR DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: Laboratorio de Ensayos Generales							
EMPRESAS ASESORAS: Ingeniería S.C. <input type="checkbox"/> INSTITUCIÓN: Bancaria, Rotativa, S.A. <input type="checkbox"/>							
REQUISITOS CALIFICADOS: Ninguno (Instituto de Ensayos, Código: 1408, Certificado Código: 114215)							
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ENSAYO: Soldadura Succión en T MARCA: <input type="checkbox"/>							
CÓDIGO DE OBJETO DE ENSAYO: 01-2018-157-21 CÓDIGO DE CLIENTE: SURET							
COMENTARIOS: - Integración del contrato de suministro en el Anexo I							
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>Carga de rotura kN</th> <th>Observaciones:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>118.27</td> <td>La falla se presenta en el material base del objeto de ensayo.</td> </tr> </tbody> </table>				Carga de rotura kN	Observaciones:	118.27	La falla se presenta en el material base del objeto de ensayo.
Carga de rotura kN	Observaciones:						
118.27	La falla se presenta en el material base del objeto de ensayo.						
Realizado por:  Luz Reyes		Aprobado por:  María Gómez					
OBSERVACIONES: Ninguna							

ANEXO H

Resultados de ensayos de tamaño de grano de acero de carrocería nacional e importada

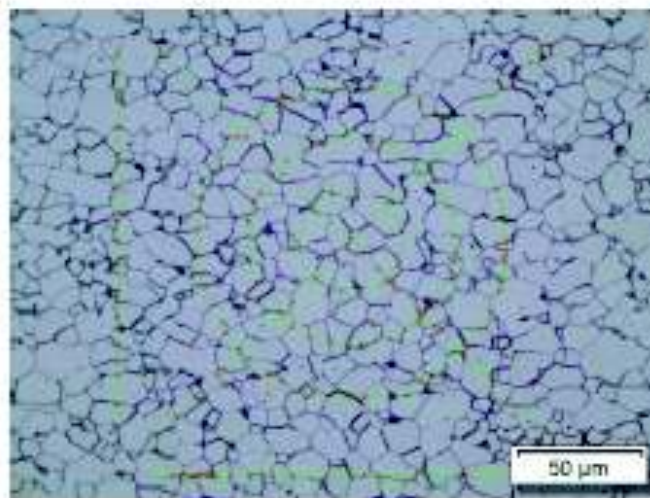
MBN

Grain Size according to Intercept Method ASTM E 112-12 (Summary)

Analysis summary:

Reference	M4 TRANV C.A 500X	
Group		
Sample Comment		
Date	24/08/2018 16:53:16	
Standard	ASTM E 112-12	
ASTM Grain Size Number G	10,57	+/- 0.00
Mean Intercept Length [µm]		8,22
Average Number of Intercepts		191,00
Number of Intercepts per Unit Length [1/mm]		121,68

Grain Size according to Intercept Method ASTM E 112-12 (Image Results)



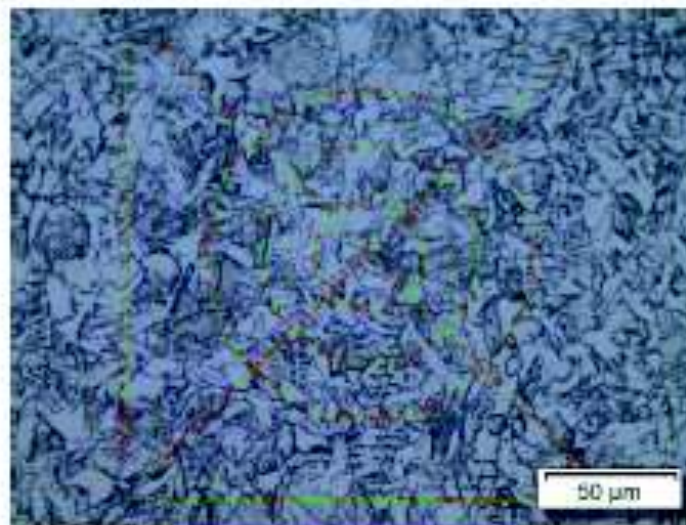
MBI

Grain Size according to Intercept Method ASTM E 112-12
(Summary)

Analysis summary:

Reference	ME TRANSV C.A 500X	
Group		
Sample Comment		
Date	27/08/2018 15:54:59	
Standard	ASTM E 112-12	
ASTM Grain Size Number G	12,78	+/- 0,00
Mean Intercept Length [µm]		3,82
Average Number of Intercepts		411,00
Number of Intercepts per Unit Length [1/mm]		261,84

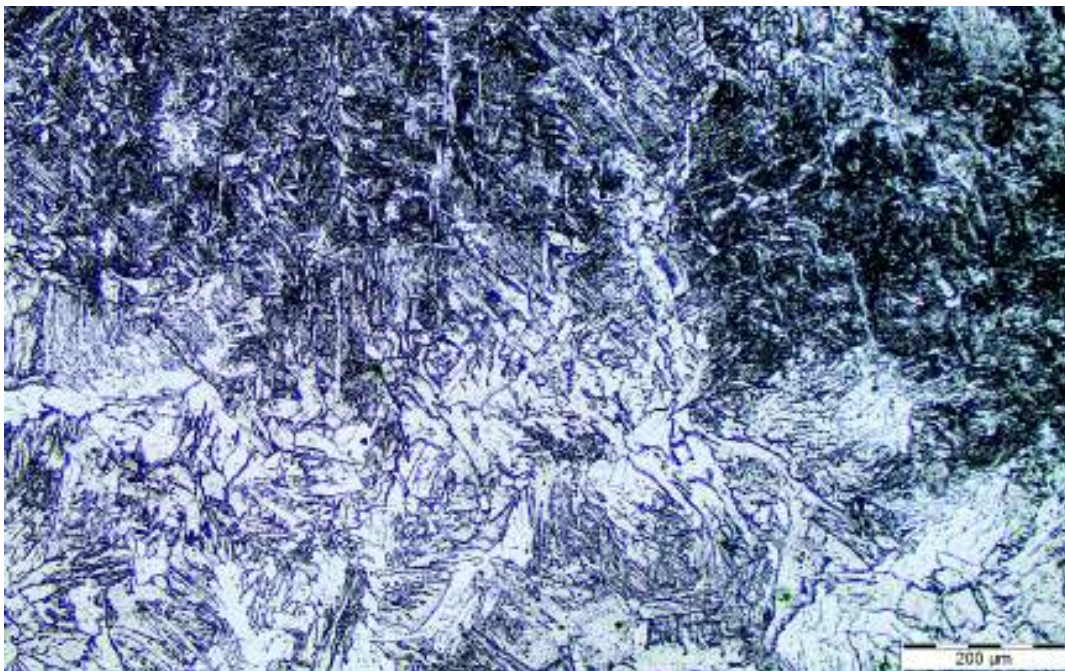
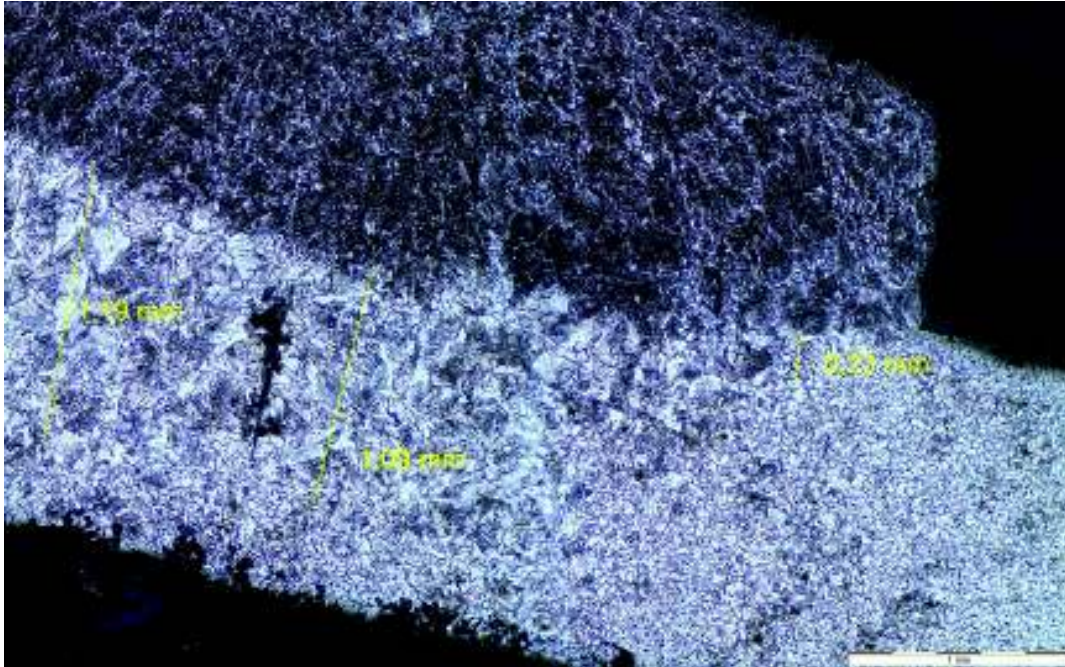
Grain Size according to Intercept Method ASTM E 112-12
(Image Results)



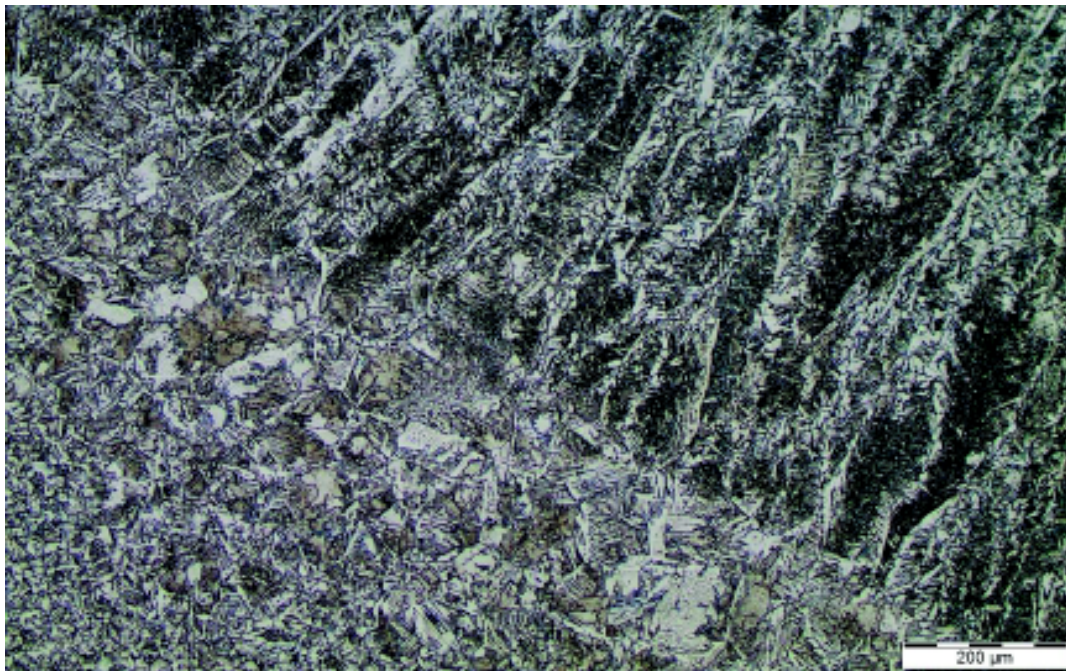
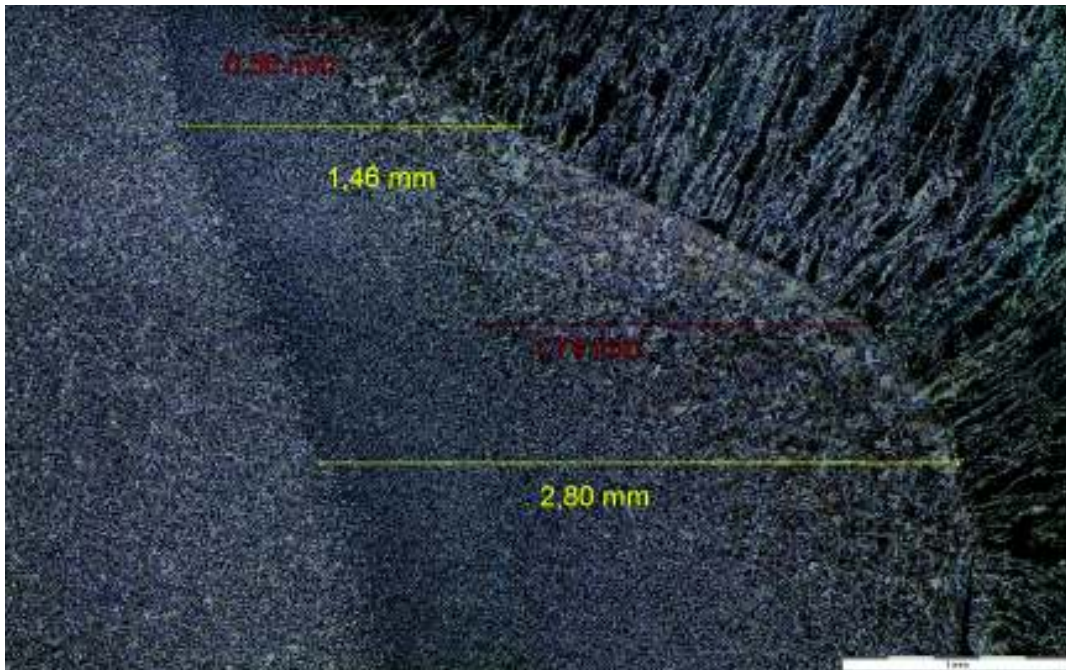
ANEXO I

Fotografía de las microestructura de los aceros de carrocería nacional e importada con soldadura

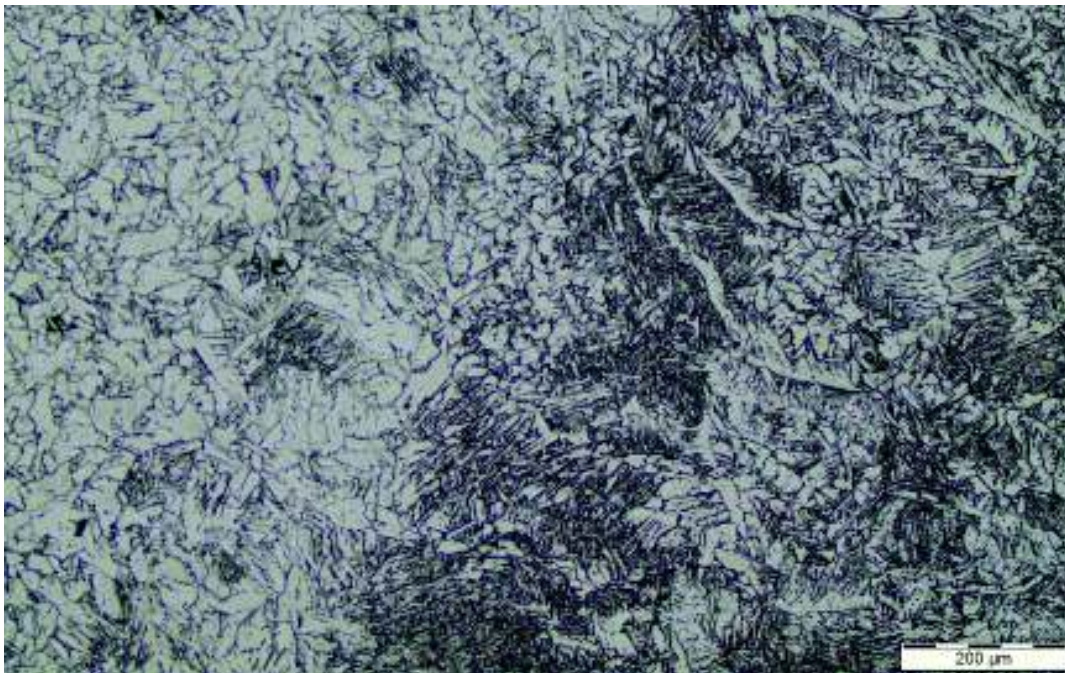
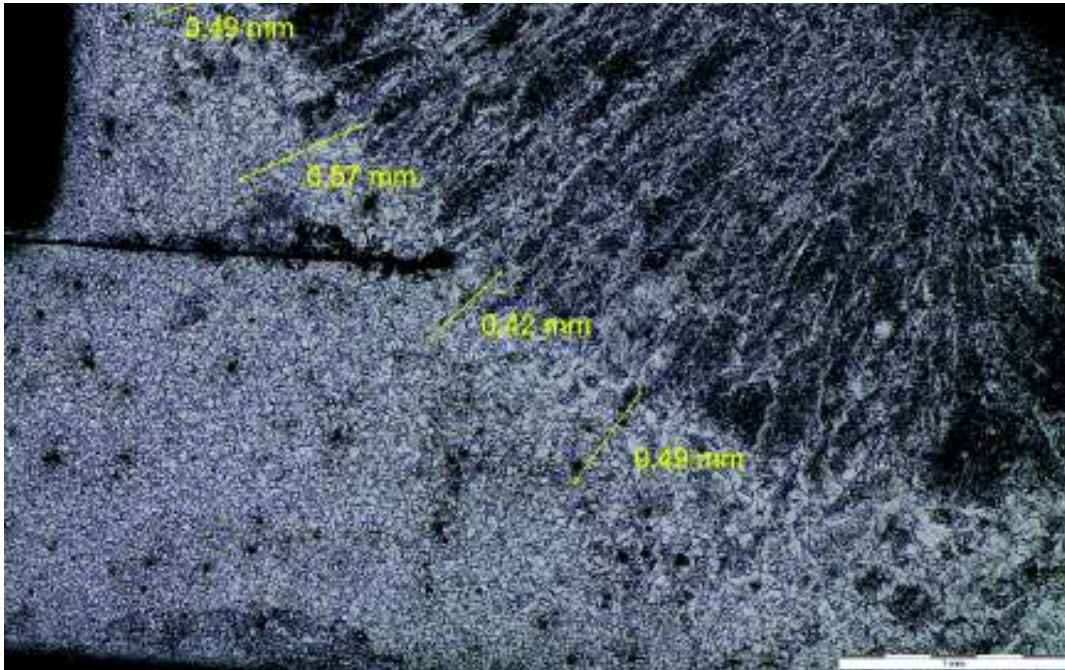
TSN



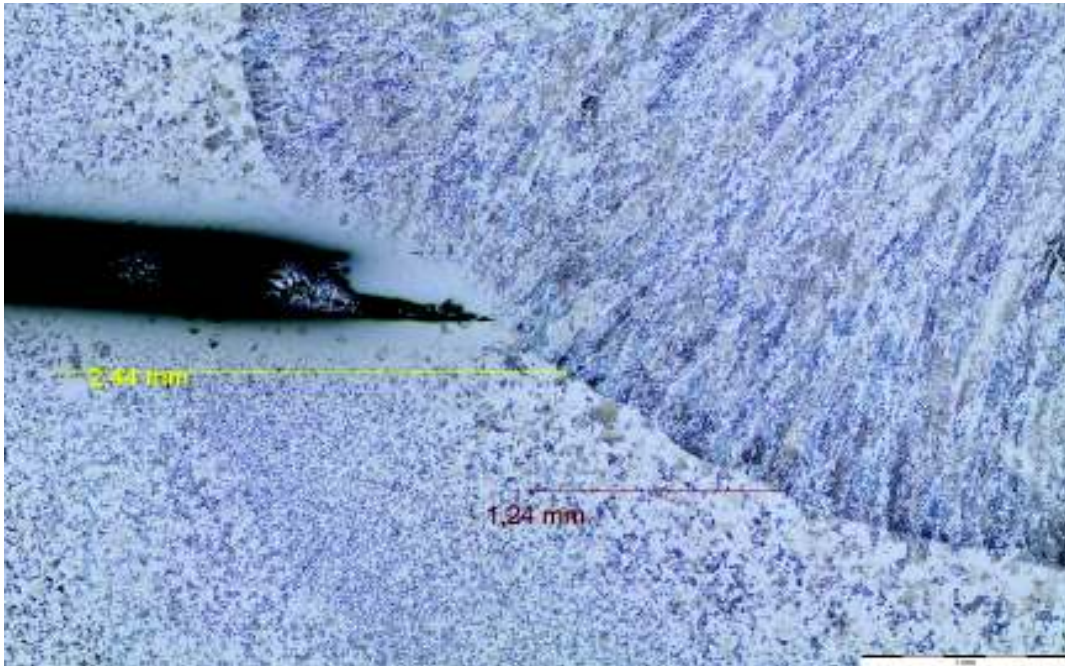
TSI



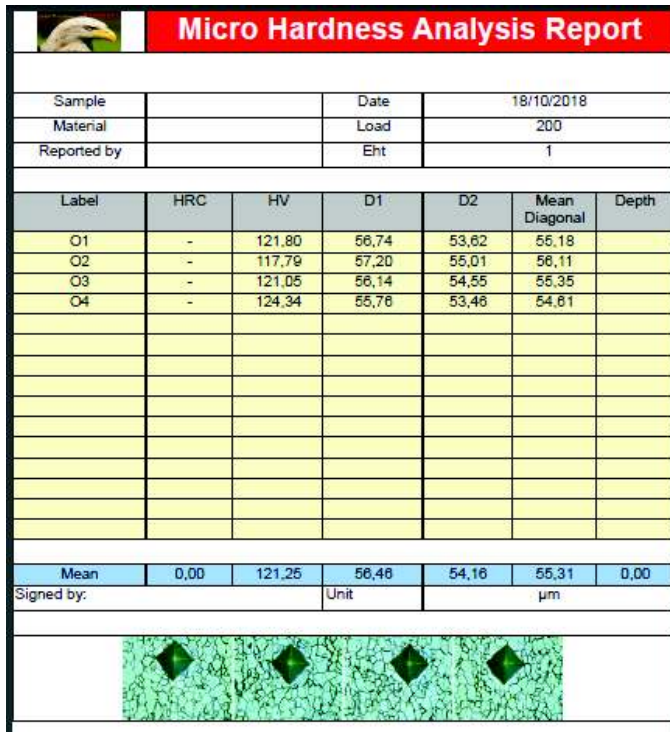
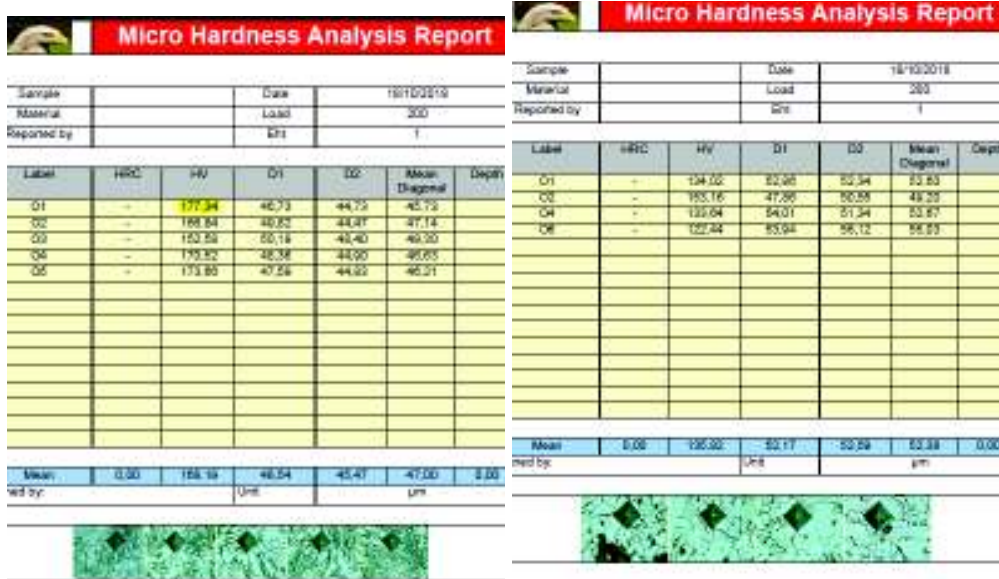
SNET



SIET



SNET



TSI

Micro Hardness Analysis Report

Sample		Date	18/10/2018			
Material		Load	200			
Reported by		Eht	1			

Label	HRC	HV	D1	D2	Mean Diagonal	Depth
O1	-	168,35	43,31	43,69	43,48	
O2	-	155,82	41,78	42,28	42,02	
O3	-	173,80	48,77	48,11	48,34	
O4	-	162,35	42,37	45,54	43,91	
O5	-	164,21	45,02	44,32	44,70	
O6	-	179,22	48,21	48,04	48,17	
O11	-	184,79	47,93	45,33	46,73	

Mean	0,00	166,48	44,48	45,07	44,76	0,00
Reported by:		Unit	µm			



Micro Hardness Analysis Report

Sample		Date	18/10/2018			
Material		Load	200			
Reported by		Eht	1			

Label	HRC	HV	D1	D2	Mean Diagonal	Depth
O1	-	147,00	50,30	50,12	50,21	
O2	-	135,72	42,05	51,38	51,75	
O3	-	142,28	50,81	51,13	50,97	
O4	-	147,27	50,47	49,82	50,19	

Mean	0,00	144,13	50,91	50,61	50,73	0,00
Reported by:		Unit	µm			




Micro Hardness Analysis Report

Sample		Date	18/10/2018			
Material		Load	200			
Reported by		Eht	1			

Label	HRC	HV	D1	D2	Mean Diagonal	Depth
O1	-	163,11	47,28	48,08	47,68	
O2	-	162,21	49,07	46,55	47,81	
O3	-	175,16	45,70	46,32	46,01	
O4	-	169,27	46,41	47,20	46,80	


Mean	0,00	167,44	47,12	47,04	47,08	0,00
Reported by:		Unit	µm			



SIET

Micro Hardness Analysis Report

Sample		Date	18/10/2018			
Material		Load	200			
Reported by		Eht	1			
Label	HRC	HV	D1	D2	Mean Diagonal	Depth
O1	-	147.84	46.18	51.04	50.11	
O2	-	145.44	46.06	43.34	44.72	
O3	-	160.93	46.07	44.67	45.32	
O4	-	166.15	45.17	44.09	44.63	
O5	-	163.84	46.24	43.95	44.00	
O6	-	174.89	46.59	46.61	46.05	
Mean	0.00	178.42	46.31	45.60	45.96	0.00
Unit			Unit		µm	




Micro Hardness Analysis Report

Sample		Date	18/10/2018			
Material		Load	200			
Reported by		Eht	1			
Label	HRC	Hv	D1	D2	Mean Diagonal	Depth
O1	-	147.82	51.10	46.09	50.13	
O2	-	145.18	50.61	50.27	50.54	
O3	-	157.36	50.96	48.44	48.50	
O4	-	145.76	50.19	50.68	50.43	
O5	-	150.81	46.28	46.30	46.29	
O6	-	147.42	46.46	50.65	50.15	
O7	-	127.56	51.77	51.90	51.84	
O8	-	150.87	52.96	52.79	52.83	
O9	-	152.11	52.72	52.00	52.85	
Mean	0.00	143.71	51.09	50.59	50.84	0.00
Unit			Unit		µm	



Micro Hardness Analysis Report

Sample		Date	18/10/2018			
Material		Load	200			
Reported by		Eht	1			
Label	HRC	HV	D1	D2	Mean Diagonal	Depth
O1	-	181.77	45.24	45.09	45.17	
O2	-	163.65	47.60	47.60	47.60	
O3	-	170.16	46.76	47.60	46.68	
O4	-	172.70	47.77	44.90	46.34	
Mean	0.00	172.07	46.59	46.30	46.45	0.00
Unit			Unit		µm	



ANEXO K

Simulación de la estructura de carrocería CASO 3

Resultados del Ensayo y Simulación de la estructura de carrocería nacional CASO 3

Resultados del Ensayo y Simulación de la estructura de carrocería importada CASO

3

ANEXO L

Check List para proceso de Homologación

Registro de inspección de evaluación de la conformidad en etapa de estructura (carrocería nacional)

INSPECCIÓN EN ESTRUCTURA (SEGÚN NTE INEN 1323)										
ESPECIFICACIONES DE LA CARROCERÍA										
MATERIALES				DESCRIPCIÓN						
Material del Piso	Tipo de Material									
	Norma									
Material del Techo	Tipo de Material									
	Norma									
Material de Laterales	Tipo de Material									
	Norma									
Material de Parachoques	Tipo de Material									
	Norma									
SUJECIONES DE LA CARROCERÍA										
Manual para carrozar				N/A	Uniones chasis - carrocería según recomendaciones de fabricante de chasis				N/A	
DISEÑO										
PLANOS DE DISEÑO				REFERENCIA			CONCORDANCIA CON EL DISEÑO			
Plano del piso										
Plano del techo				N° ESCOTILLAS	N/A					
Plano del frente										
Plano del respaldo										
Plano de los laterales		N° PUERTAS	N/A	UBICACIÓN	N/A					
Listado de materiales										
Plano de las uniones chasis-carrocería										
Diseño del producto (acabados: vista frontal, laterales y trasera)										
Plano instalaciones eléctricas y neumáticas										
Planos según evaluación de ensayo de vuelco										
SOLDADURA										
REQUERIMIENTOS GENERALES PARA EL PROCESO DE SOLDADURA										
WPS No.	N/A			NORMA DE REFERENCIA				INSPECTOR CWI - SCWI		
PQR No.	N/A			NORMA DE REFERENCIA				INSPECTOR CWI - SCWI		
WPQ No.	N/A			NORMA DE REFERENCIA				INSPECTOR CWI - SCWI		
				VIGENCIA				PROCESO		
				POSICIÓN / PROGRESIÓN				ESPESOR		
INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURAS										
Protección anticorrosiva de los cordones de soldadura				Protección anticorrosiva de la estructura						
INSPECCIÓN DE DISCONTINUIDADES EN CORDONES DE SOLDADURA (SEGÚN AWS D8.8)										
CATEGORÍA DE DISCONTINUIDAD				ESTADO DE LAS JUNTAS SOLDADAS		CATEGORÍA DE DISCONTINUIDAD			ESTADO DE LAS JUNTAS SOLDADAS	
GRIETAS, TRASLAPES Y PERFORACIONES (Quemones)						MUESCA				
SALPICADURAS						SOCAVACIONES				
CRÁTER DE SOLDADURA						POROS, INCLUSIONES (No metálicas)				
CHASIS										
Modificaciones en chásis:										

Registro de inspección de evaluación de la conformidad en etapa de producto terminado (carrocería nacional y carrocería importada)

ORGANIZACIÓN EXTERNA									
DIMENSIONES EXTERNAS (pto 5.6.4)									
LONGITUD TOTAL 2 EJES	BUS		(10250 - 13300)		ALTURA PISO PARACHOQUE POSTERIOR			(máx. 600)	
	MINIBÚS		(máx. 10000)		VOLADIZO DELANTERO	BUS		(2000 - 2900)	
LONGITUD TOTAL 3 EJES			(102500 - 15000)			MINIBUS		(800 - 2400)	
ALTO TOTAL	BUS		(máx. 3800)		VOLADIZO POSTERIOR			(máx. 66% DEE)	
	MINIBUS		(máx. 3300)		DISTANCIA ENTRE EJES				
CARROCEÍA - PARACHOQUE FRONTAL			(máx. 300)		ANCHO TOTAL			(máx. 2600)	
CARROCEÍA - PARACHOQUE POSTERIOR			(máx. 300)		DISTANCIA TROCHA - CARROCEÍA			(máx. 75)	
ALTURA PISO PARACHOQUE FRONTAL			(máx. 500)		ELEMENTOS DE DEFENSA ADICIONALES				
VENTANAS (pto 5.6.6)									
VENTANAS USUARIOS (pto 5.6.6 - b)					VENTANAS DE CONDUCTOR (pto 5.6.6 - a)				
TIPO (individuales o dobles (panorámicas))				% DE ABERTURA (30% - 60% del área total)				VISIBILIDAD	
CLASE (fijas o corredizas)				PROVISTAS DE CORTINAS				% DE ABERTURA (mín. 30% de su ancho)	
POSEE MANILLA (si es corrediza)				MARCO DE VENTANA SUJETO A CARROCEÍA				MARCO DE VENTANA SUJETO A CARROCEÍA	
ALTURA			(máx. 1000)						
PUERTAS DE INGRESO Y SALIDA (pto 5.6.8)									
TIPO (Abatible, Plegable, Corrediza, pantográfica, etc)					ÁREAS DE INGRESO, SALIDA Y TRÁNSITO LIBRES				
NÚMERO DE PUERTAS			(Ingreso y salida de pasajeros)		SEGURO DE PUERTAS EN MARCHA				
UBICACIÓN DE PUERTAS (lado derecho)	BUS		(DED)		ASIENTO RETRACTIL ACOMPAÑANTE (do de marcha)				
	MINIBÚS		(EE-motor sobre eje delantero)		ALTURA (mín. 2000)				
UBICACIÓN PUERTA POSTERIOR			(Lado derecho)		ANCHO LIBRE PUERTA (medido a h = 700-1500 mm) (mín. 850)				
TIPO DE MATERIAL			(Acero o Aluminio)		PUERTA CONDUCTOR			UBICACIÓN (izquierda)	
ACCIONAMIENTO DE PUERTAS			(hidráulico, neumático etc)		(opcional)			ANCHO (mín. 550)	
CONTROL DE EMERGENCIA			(interno o externo)						
VENTILACIÓN CON ESCOTILLA (pto 5.6.10 - a)					SALIDAS DE EMERGENCIA (pto 5.6.9)				
ESCOTILLAS	BUS		(mín. 2)		CANTIDAD			BUS (mín. 5)	
	MINIBÚS		(mín. 1)		(Según NTE INEN 1323)			MINIBÚS (mín 4 hasta 30 pasajeros)	
ÁREA TOTAL MÍNIMA (m ²)			(mín. 0.35)		VENTANAS DE EMERGENCIA IZQUIERDA (mín. 2)				
DISTANCIA ENTRE ESCOTILLAS			(mín. 2000)		VENTANAS DE EMERGENCIA DERECHA (mín. 2)				
DISPOSITIVO SALIDA DE EMERGENCIA					TIPO DE DISPOSITIVO				
VENTILACIÓN DELANTERA (pto 5.6.10 - b)					DISPOSITIVO FUO LUEGO DE HABER USADO				
SISTEMA ANTIWAHO PARA EL PARABRISAS					ÁREA			(mín. 0,4 m ² ; inscrito rectángulo de 500mmX700mm)	
ORGANIZACIÓN INTERNA									
DIMENSIONES Y DISTRIBUCIÓN INTERNAS									
ALTURA PISO-BORDE INFERIOR DE VENTANA			(mín. 700)		ASIENTO DEL CONDUCTOR (pto 5.7.1 - c.2)				
ALTURA INTERNA			(mín. 1900)		TIPO (ERGONÓMICO Y REGULABLE)				
ANCHO DEL CORREDOR			(mín. 300)		UBICACIÓN (Frente al panel del conductor)				
ALTURA ESTRIBO - CALZADA			(máx. 500)		ANCHO MÍNIMO (mín. 450)				
MATERIAL DEL PISO (ANTIDESLIZANTE)					PROFUNDIDAD MÍNIMA (mín. 450)				
INGRESO Y SALIDA DE PASAJEROS (pto 5.7.1 - a)					ALTURA PISO-BASE ASIENTO (mín. 400)				
PELDAÑOS (GRADAS)	HUELLA PRIMER PELDAÑO		(mín. r=300)		ALTURA MÍNIMA DEL ESPALDAR (mín. 500)				
	HUELLA PELDAÑOS INTERIORES		(mín. r=210)		FUJACIÓN ASIENTO				
	CONTRAHUELLA		(máx. 250)		DESPLAZAMIENTO VERTICAL (mm)			BUS (mín. 150)	
ESCALÓN RETRÁCTIL	ESTRIBO-CALZADA ENTRE 450-500 (Obligatorio)							MINIBÚS (N/A si tiene motor sobre eje)	
	FUNCIONAMIENTO CON PUERTA				DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL (mín. 120)				
	HUELLA		(mín. 210)		INCLINACIÓN (°) (90° - 110°)				
	ESQUINAS REDONDEADAS				APOYACABEZAS				
PANEL DE CONDUCCIÓN (pto 5.7.1 - c.1)					ASIENTO CONDUCTOR ALTERNO				
UBICACIÓN			(Frontal izquierda)		CINTURÓN DE TRES PUNTOS CONDUCTOR				
CONTENIDO					CINTURÓN DE TRES PUNTOS COND. ALTERNO				

VISIBILIDAD DEL CONDUCTOR (pto 5.6.5)										
FRONTAL SUPERIOR (m)	(15 H-4,5 V)		LATERAL IZQUIERDA (m)	(0,7 H-1,0 V)		HORIZONTAL (°)		(60° D - 60° I)		
FRONTAL INFERIOR (m)	(0,8 H-1,4 V)		LATERAL DERECHA (m)	(0,7 H-0,5 V)						
MAMPARAS Y CABINA DEL CONDUCTOR (pto 5.7.1 - d, e)										
MAMPARAS (pto 5.7.1 - d)					HABITÁCULO DEL CONDUCTOR					
UBICACIÓN	PASAJERO PROYECTADO HACIA ADELANTE				ASIENTO DE ACOMPAÑANTE				(máx. 1)	
	PASAJERO PROYECTADO HACIA GRADAS				DISTANCIA BORDE ASIENTO - TECHO CABINA				(min. 900)	
	PASAJ. PROYEC. HACIA ASIENTO CONDUCTOR				PROHIBICIÓN DE INSTALACIÓN DE LITERAS					
ANCHO	(min. 100 desde eje long. del asiento hacia el pasillo)									
DIVISIÓN DE HABITÁCULOS										
DISTANCIA ASIENTO - MAMPARA (DIVISIÓN HAB.)				(min. 300)	VISIBILIDAD DE LA DIVISIÓN				(no cortinas, polarizados, etc)	
ALTURA				(min. 700)	DISPOSITIVO INDICADOR DE VELOCIDAD A PASAJEROS					
ASIENTOS PARA PASAJEROS (pto 5.7.1 - f)										
POSICIÓN			(Sentido de la marcha o viceversa)			ANCHO ASIENTO SIMPLE			(min. 450)	
TIPO DE ESTRUCTURA Y FIJACIÓN ASIENTOS						PROFUNDIDAD			(min. 450)	
NORMA ASIENTO Y APOYACABEZAS						ALTURA PISO - BASE			(400 - 500)	
NORMA CINTURONES						DISTANCIA ENTRE ASIENTOS			(min. 720)	
RECLINABLES (°)			(12° - 40°)			(medida a una altura h: 620, desde el piso)				
RECLINABLES ÚLTIMA FILA						ALTURA TOTAL ESPALDAR			(min. 700)	
APOYA CABEZAS						MATERIAL			(Acotchados, tapizados)	
APOYA BRAZOS			(Mínimo 1 junto a corredor)			SEGURIDAD			(No poseer aristas, etc)	
APOYA PIES			(Obligatorio)			UBICACIÓN IDENTIFICACIÓN ASIENTOS				
ASIDEROS Y/O ACCESORIOS EN ESPALDAR						IDENTIFICACIÓN DE ASIENTOS DE PASAJEROS			(Verificar inicio)	
CINTURÓN DE SEGURIDAD 2 PUNTOS			(Ubicación)			NÚMERO DE ASIENTOS			(Incluido conductor)	
CINTURÓN DE SEGURIDAD 3 PUNTOS			(Ubicación)			ASIENTOS A NIVEL DEL PASILLO				
ASIENTOS ÚLTIMA FILA			(máx. 5)			DESNIVEL ULTIMA FILA			(solo motor posterior)	
ASIDEROS (pto 5.7.1 - h)										
UBICACIÓN				(min. 1 entrada - salida / pasillo)		MATERIAL				(anticorrosivo, lavable)
TIPO										
RÓTULOS DE PROHIBICIÓN (pto 5.8.4)					RÓTULOS DE SALIDAS DE EMERGENCIA (pto 5.8.5)					
UBICACIÓN					SALIDAS DE EMERGENCIA		INSTRUCCIONES			
DIMENSIÓN		(120x160)			DIMENSIÓN		(100 x 150)			
COLOR		(R/B/N)			COLOR		(R/B)			
PORTA PAQUETES (pto 5.7.1 - i)					AVISADOR ACÚSTICO (pto 5.8.3)					
TIPO					ORIGINAL					
UBICACIÓN					ADICIONALES					
BORDES O INCLINACIÓN										
RECIPIENTE DE BASURA (pto 5.8.6)										
PROFUNDIDAD					(máx. 800)					
ALTURA					(min. 1500)					
RÓTULO CON EL DESTINO DE VIAJE (pto 5.8.2)					PORTAEQUIPAJE (pto 5.6.11)					
TIPO					(Mecánico o Electrónico)					
ILUMINADO					ACCESO DESDE EL EXTERIOR DEL VEHÍCULO					
UBICACIÓN					(Frontal derecha superior o inferior)					
DIMENSIÓN					(min 600x200)					
VOLUMEN					(0,1m³ x pasajero)					
DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD QUE EVITEN APERTURA ACCIDENTAL										
ELEMENTOS AUXILIARES LEJOS DE EQUIPAJE										
AIRE ACONDICIONADO* (pto 5.8.7)										
GASES DE ESCAPE NO DEBEN INGRESAR AL INTERIOR					RENOVACIÓN DE AIRE UNIFORME					
CALEFACCIÓN* (pto 5.8.8)					BAR* (pto 5.8.9 - a)					
FUNCIONAMIENTO					(Prohibición de utilizar gases de escape)					
ELEMENTOS FUOS DURANTE MARCHA DEL VEHÍCULO										
*Opcional										
CABINA SANITARIA (pto 5.8.9 - b)										
UBICACIÓN					COMPARTIMIENTOS HERMÉTICOS					
ASIDEROS EN LUGARES ADECUADOS					PORTAPAPELES					
PUERTA DOTADA DE CERRADURA					VENTANA DE VIDRIO TRANSPARENTE					(prohibido)
SEÑAL LUMINOSA LIBRE/OCUPADO E ILUMINACIÓN ADECUAD.					SUSTANCIA PARA ELIMINAR DESECHOS					
EXTRACTOR DE OLORES					LAVABO					
CONTENEDORES HIGIENICOS					INODORO					
NO OBSTACULIZAR CIRCULACIÓN EN EL PASILLO										
ELEMENTOS DE SEGURIDAD Y CONTROL (pto 5.1.2.7)										
EXTINTOR DE INCENDIOS					(min. 4 kg polvo químico o CO2 con base)					
LIMITADOR DE VELOCIDAD					(según INEN 2712)					
TRIÁNGULOS DE SEGURIDAD					(500 mm de lado, 40 mm de ancho)					
TACÓGRAFO DIGITAL					(según autoridad)					
ROTULACIÓN					(Mayúsculas / Español)					
SE PROHIBE INSTALACIÓN DE PARRILLAS										
PLACA DE IDENTIFICACIÓN										
TAMAÑO MÍNIMO					(148,5 largo x 105 ancho)					
FECHA DE FABRICACIÓN										
NOMBRE DE LA EMPRESA					NÚMERO DE PRODUCCIÓN					(en dos lugares distintos)
NÚMERO DE CERTIFICADO DE EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD DE LA ESTRUCTURA					NÚMERO DE CHASIS					
CAPACIDAD DE PASAJEROS					PAÍS DE ORIGEN DE LA CARROCERÍA					
					UBICACIÓN					
PROTECCIÓN, AISLAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO										
SALIENTES O PROTUBERANCIAS					PROTECCIÓN DE MOTOR CON AISLAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO					
PROTECCIÓN DE MOTOR Y DEMÁS ACCESOS PARA MANTENIMIENTO					SELLADO DE PUERTAS Y GRADAS					
MATERIALES INFLAMABLES CERCA DEL MOTOR O DEL SISTEMA DE ESCAPE					SELLADO DE VENTANAS					
INFLAMABILIDAD DE MATERIALES					CERTIFICADO DE MATERIALES					
(Índice de llama máximo: 100 mm/min, ISO 3795)					POSEE		ENTIDAD		VIGENCIA	
ASIENTOS	DECLARACIÓN DEL FABRICANTE						FABRICANTE			
PAREDES	DECLARACIÓN DEL FABRICANTE						FABRICANTE			
TECHO	DECLARACIÓN DEL FABRICANTE						FABRICANTE			
PISO	DECLARACIÓN DEL FABRICANTE						FABRICANTE			
CONSOLAS	DECLARACIÓN DEL FABRICANTE						FABRICANTE			

VIDRIOS (SEGÚN NTE INEN 1669)						
PARABRISAS		VENTANA CONDUCTOR		PUERTAS DE INGRESO SALIDA		
MARCA		MARCA		MARCA		
NORMA		NORMA		NORMA		
ESPESOR (mm)		ESPESOR (min 4mm)				
LUNETAS		VENTANAS USUARIOS		MAMPARAS		
MARCA		MARCA		MARCA		
NORMA		NORMA		NORMA		
ESPESOR (mm)		ESPESOR (min 4mm)				
DISPOSITIVOS PARA MANTENER O MEJORAR LA VISIBILIDAD (SEGÚN NTE INEN 1155:2009)						
DISPOSICIONES GENERALES (pto. 4)						
CORRECTO FUNCIONAMIENTO		LUCES INTERMITENTES DIRECCIONALES Y EMERGENCIA				
LUCES NO DEBEN ACCIONARSE INADECUADAMENTE O POR SI SOLAS		PROHIBICION DE EMITIR LUZ ROJA HACIA ADELANTE				
DISPOSITIVOS PARALELOS AL PLANO DE APOYO SOBRE LA VIA		PROHIBICION DE EMITIR LUZ BLANCA HACIA ATRÁS		(EXCEPTO REVERSA)		
LUCES AGRUPADAS, COMBINADAS O RECIPROCAMENTE INCORPORADAS		PROHIBICION DE LUCES ESTROBOSCÓPICAS				
REQUISITOS (pto. 5)						
LUCES BAJAS Y ALTAS		OK	CANTIDAD	dos de cada tipo OK		
AJUSTE DE ORIENTACION		OK	POSICIÓN	un tipo a cada lado OK		
FAROS DELANTEROS (5.2; 4.3)		FOCOS INDEPENDIENTES O UNICO DUAL CONMUTADO		INDEPENDIENTES	COLOR (blanco o amarillo) BLANCO	
LUCES INDICADORAS DELANTERAS (pto. 5.3)						
TIPO	CANTIDAD (mínimo 1 por lado)	UBICACIÓN		COLOR		
		Horizontal: (máx. 400)	Altura: (350 - 1500)			
POSICIÓN	1	170	800	BLANCO O AMBAR		
DIRECCIONALES	1	100	970	AMBAR		
EMERGENCIA	1	100	970	AMBAR		
VOLUMEN*	1	400	(máxima altura posible)	BLANCO		
			OK	BLANCO		
*Aplicable a vehículos con carrocerías mayores a 2100 mm de ancho.						
LUCES INDICADORAS LATERALES* (pto. 5.4)						
TIPO	CANTIDAD (mínimo 1 por lado)	UBICACIÓN		COLOR		
		Horizontal: (máx. 1800)	Altura: (500 - 1500)			
DIRECCIONALES	1	1200	790	AMBAR		
EMERGENCIA	1	1200	790	AMBAR		
POSICIÓN	según longitud de	(1ra. Máximo a 3 m)	(última máximo a 1 m)	OK		
	5	1340	310	OK		
*Obligatorias para vehículos cuya longitud sea mayor o igual a los 6000 mm						
**La distancia entre luces no debe exceder de 3 m y cuando la estructura no lo permita se podrá ampliar a 4 m. Al menos una luz debe colocarse en el tercio medio del vehículo						
LUCES INDICADORAS POSTERIORES (pto. 5.5)						
TIPO	CANTIDAD (mínimo 1 por lado)	UBICACIÓN		COLOR		
		Horizontal: (máx. 400 mm)	Altura: (350 - 1500 mm)			
POSICIÓN	2	160	1380	ROJO		
DIRECCIONALES	2	160	1380	AMBAR O ROJO		
EMERGENCIA	2	160	1380	AMBAR		
FRENO	2	160	1380	OK		
VOLUMEN*	2	360	(máxima altura posible)	ROJO		
			OK	OK		
FRENO CENTRAL	(mínimo 1)	central en su parte posterior		OK		
	1	OK		OK		
REVERSA	(mínimo 1)	(máximo 1200)		OK		
	2	1190		OK		
PLACA	(mínimo 1)	la necesaria para iluminar la placa		BLANCO		
	2	OK		OK		
*Aplicable a vehículos con carrocerías mayores a 2100 mm de ancho.						
DISPOSITIVOS CATADIÓPTICOS (pto. 5.6)						
TIPO	DELANTEROS*		LATERALES**		POSTERIORES	
	NO TRIANGULAR		NO TRIANGULAR		NO TRIANGULAR TRIANGULAR**	
	OK		OK		OK	
CANTIDAD	(mínimo 1 por lado)		(en luces de posición)		(mínimo 1 por lado)	
	OK		OK		OK	
COLOR	BLANCO		AMBAR		ROJO	
	OK		OK		OK	
*Obligatorio para vehículos con carrocerías mayores a 2100 mm de ancho. **Obligatorio para vehículos cuya longitud sea mayor a 6000 mm.						
LUZ ANTINEBLA* (pto. 5.10)						
TIPO	CANTIDAD	UBICACIÓN			COLOR	
		ANCHO (max. 400)	ALTURA (entre 250 y faros)	LONGITUD (parte delantera)		
DELANTERAS**	2	230	590	OK	BLANCO	
POSTERIORES	(1 o 2)	(centro o lateral)	(250 a 1000)	(parte posterior)	ROJO	
	-	-	-	-	-	
*Opcional **La luz antineblantera debe estar orientada hacia delante.						
RETROVISORES EXTERIORES (pto. 5.7)			RETROVISOR INTERIOR (pto. 5.8)			
CANTIDAD (mínimo 2)	UBICACIÓN (convenientemente a cada lado)		CANTIDAD (1)	UBICACIÓN (convenientemente al lado derecho del conductor)		
OK	OK		N/A	-		
DESEMPAÑADOR (ANTIVAH) Y LIMPIAPARABRISAS (DELANTERO Y POSTERIOR) (pto. 5.9)						
SISTEMA DESEMPAÑADOR DELANTERO		OK	SISTEMA DESEMPAÑADOR POSTERIOR (opcional)		N/A	
SISTEMA LIMPIA Y LAVA PARABRISAS DELANTERO		OK	SISTEMA LIMPIA Y LAVA PARABRISAS POSTERIOR (opcional)		N/A	
ILUMINACIÓN INTERIOR (pto. 5.11)						
CANTIDAD	LÁMPARAS DE SALÓN (suficientes)		ÁREAS DE ENTRADA Y SALIDA (suficientes)		PANEL DE INSTRUMENTOS CON SISTEMAS DE ILUMINACIÓN	
	OK		OK		OK	
COLOR	BLANCO		BLANCO		INDICADORES DE ACCIONAMIENTO DE LUCES	
	OK		OK		OK	