# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

## FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

## CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO

## MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO

---

**Tema**: "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".

---

Trabajo de Investigación

Previa a la obtención del Grado Académico de Magíster en Diseño Mecánico

**Autor**: Ing. César Hernán Arroba Arroba.

**Director:** Ing. Mg. Manolo Alexander Córdova Suárez

Ambato - Ecuador

2013

Al Consejo de Posgrado de la UTA.

El tribunal receptor de la defensa del trabajo de investigación con el tema: "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", presentado por: Ing. César Hernán Arroba Arroba y conformado por: Ing. Mg. Edisson Viera Alulema; el Ing. Mg. Pablo Valle Velasco, y el Ing. Mg. Jorge Cevallos Cabrera , Miembros del Tribunal; Ing. Mg. Manolo Alexander Córdova Suárez, Director del trabajo de investigación y presidido por: Ing. Mg. Francisco Pazmiño Gavilánez, Presidente del Tribunal; Ing. Mg. Juan Garcés Chávez Director del CEPOS – UTA, una vez escuchada la defensa oral el Tribunal aprueba y remite el trabajo de investigación para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

---
Ing. Mg. Francisco Pazmiño Gavilánes
Presidente del Tribunal de Defensa

---
Ing. Mg. Juan Garcés Chávez
DIRECTOR CEPOS

---
Ing. Mg. Manolo Córdova Suárez
Director de Trabajo de Investigación

---
Ing. Mg. Edisson Viera Alulema
Miembro del Tribunal

---
Ing. Mg. Pablo Valle Velasco
Miembro del Tribunal

---
Ing. Mg. Jorge Cevallos Cabrera
Miembro del Tribunal

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el trabajo de investigación con el tema "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", nos corresponde exclusivamente al: Ingeniero César Hernán Arroba Arroba y del Ingeniero Magister. Manolo Alexander Córdova Suárez, Director del trabajo de investigación; y el patrimonio intelectual del mismo a la Universidad Técnica de Ambato.

| | |
|---|---|
| ---------- | ---------- |
| Ing. César Hernán Arroba Arroba. | Ing. Mg. Manolo Córdova Suárez |
| Autor | Director de Tesis |

## DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo de investigación o parte de él un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

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

---

Ing. César Hernán Arroba Arroba.
C.I. 1803011277

## DEDICATORIA

A mi esposa Mercedes e hijo Hernán que son la razón y el sentido de mi vida que siempre están conmigo para bridarme su amor infinito. A mis padres César y Gloria por su gran esfuerzo y enseñanzas impartidas, a mi hermana Ligia y su hijo César y mi hermano David, que son el apoyo de mi vida.

## AGRADECIMIENTO

A mi familia por sacrificar su tiempo y permitirme la realización de este estudio, Ing. Mg. Manolo Cordova director de tesis, autoridades y Profesores de la Maestría de Diseño Mecánico por su gestión y conocimientos impartidos. A Miral Autobuses en su Gerente Ing. José Miranda por facilitar la realización de este Estudio en sus instalaciones. A COINAV en su Gerente Ing. Jorge Cepeda por facilitar su software y capacitación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PAGINAS PRELIMINARES

TEMA: ..... I

TRIBUNAL DE DEFENSA ..... ii

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN ..... iii

DERECHOS DE AUTOR ..... iv

DEDICATORIA ..... v

AGRADECIMIENTO ..... vi

ÍNDICE DE CONTENIDOS ..... vii

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y TABLAS ..... xiv

RESUMEN ..... xx

CAPÍTULO I ..... 1

1. EL PROBLEMA ..... 1
1.1 Tema. ..... 1
1.2 Planteamiento del problema. ..... 1
1.2.1 Contextualización. ..... 1
1.2.2 Análisis Crítico. ..... 2
1.2.3 Prognosis. ..... 3
1.2.4 Formulación del problema. ..... 4
1.2.5 Preguntas directrices. ..... 5
1.2.6 Delimitación del problema. ..... 5
1.2.6.1 Delimitación de contenido. ..... 5

1.2.6.2 Delimitación espacial. ..... 6
1.2.6.3 Delimitación temporal. ..... 6
1.3 Justificación. ..... 6
1.4 Objetivos. ..... 8
1.4.1 General. ..... 8
1.4.2 Específicos. ..... 8

CAPÍTULO II ..... 9

2 MARCO TEÓRICO ..... 9
2.1 Antecedentes investigativos ..... 9
2.2 Fundamentación filosófica ..... 10
2.3 Fundamentación legal ..... 10
2.4 Fundamentación teórica ..... 10
2.4.1 Mecánica de los materiales ..... 10
2.4.1.1 Desplazamiento y deformación ..... 11
2.4.1.2 Deformaciones elásticas ..... 11
2.4.1.3 Fluencia ..... 12
2.4.1.4 Deformación permanente de los materiales ..... 12
2.4.1.5 Impacto ..... 13
2.4.1.6 Ensayo de tracción del acero ..... 14
2.4.1.6.1 Maquina universal ..... 15
2.4.1.6.2 Diagrama esfuerzo deformación unitaria ..... 16
2.4.1.6.3 Ley de Hooke ..... 16
2.4.1.6.4 Módulo de elasticidad ..... 17
2.4.1.6.5 Porcentaje de alargamiento ..... 18
2.4.1.6.6 Probetas para el ensayo de tracción ..... 18
2.4.1.7 Mecánica clásica ..... 18
2.4.1.8 Propagación de onda de esfuerzo elástico ..... 21
2.4.2 Método de elementos finitos ..... 21
2.4.2.1 Principios básicos y aplicaciones del MEF ..... 23
2.4.2.2 Problemas no lineales ..... 24
2.4.2.3 Coordenadas en elementos finitos: formulación de análisis no lineales . 26

2.4.2.4 Ecuaciones gobernantes ..... 27
2.4.2.5 Principio de Hamilton ..... 29
2.4.2.6 Análisis transitorio ..... 31
2.4.2.7 Mallado por elementos finitos ..... 33
2.4.3 Reglamento n°66 de la comisión económica de las naciones unidas para Europa ..... 38
2.4.3.1 Ensayo de vuelco de autobús ..... 38
2.4.4 Estructura del autobús ..... 41
2.4.4.1 Carrocerías Metálicas ..... 41
2.4.4.2 Componentes estructurales principales del autobús. ..... 41
2.4.4.3 La carrocería. ..... 42
2.4.4.4 Partes de la carrocería. ..... 43
2.4.4.5 Estructura de esqueleto de refuerzo ..... 44
2.4.5 Seguridad en el Autobús ..... 45
2.4.5.1 El habitáculo ..... 47
2.4.6 Espacio de supervivencia ..... 47
2.5 Categoría fundamentales ..... 50
2.6 Hipótesis. ..... 50
2.7 Señalamiento de variables de la hipótesis. ..... 50
2.7.1 Variable independiente. ..... 50
2.7.2 Variable dependiente. ..... 50
2.7.3 Termino de relación. ..... 50

CAPÍTULO III ..... 51

3 METODOLOGÍA ..... 51
3.1 Enfoque. ..... 51
3.2 Modalidad y tipo de la investigación. ..... 51
3.2.1 Modalidad de la investigación. ..... 51
3.2.1.1 Bibliográfica ..... 51
3.2.1.2 Experimental. ..... 51
3.2.2 Niveles de la investigación. ..... 51
3.2.2.1 Descriptiva. ..... 51

3.2.2.2 Asociación de variables. ..... 52
3.2.2.3 Explicativo. ..... 52
3.3 Población y muestra. ..... 52
3.3.1 Población. ..... 52
3.3.2 Muestra. ..... 52
3.4 Operalización de variables. ..... 53
3.4.1 Variable independiente. ..... 53
3.4.2 Variable dependiente. ..... 54
3.5 Recolección de información. ..... 55
3.5.1 Observación. ..... 55
3.5.2 Documental. ..... 55
3.6 Procesamiento y análisis. ..... 55
3.6.1 Procesamiento de la información recogida. ..... 55
3.6.2 Análisis e interpretación de resultados. ..... 56

CAPÍTULO IV ..... 57

4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS ..... 57
4.1 Análisis de los resultados ..... 57
4.1.1 Proceso propuesto para el análisis de resultados ..... 57
4.2 Recopilación de datos preliminares ..... 59
4.2.1 Características del Chasis ..... 59
4.2.2 Materiales utilizado en la superestructura ..... 60
4.2.3 Dimensiones generales de la carrocería ..... 62
4.2.4 Capacidad de carga del autobús ..... 63
4.2.5 Determinación de la distribución de masas en los puntos de apoyo en del autobús Hino Ak con carrocería Miral Modelo Infiniti. ..... 63
4.2.6 Cálculo de la ubicación del centro de gravedad real del autobús ..... 65
4.2.6.1 Posición longitudinal del centro de gravedad ..... 65
4.2.6.2 Posición transversal del centro de gravedad ..... 66
4.2.6.3 Altura del transversal del centro de gravedad ..... 68
4.2.7 Distribución de masa por sección del superestructura del autobús ..... 71
4.2.8 Delimitación del espacio de supervivencia ..... 76

4.3 Ensayos preliminares. ..... 77
4.3.1 Ensayo de tracción del material utilizado en la superestructura ..... 77
4.3.2 Ensayo de la muestra de un tubo a flexión ..... 83
4.3.3 Ensayo de flexión en un sección del pórtico ..... 89
4.3.4 Comparación del análisis real versus simulación del ensayo de tracción.. 92
4.3.4.1 Simulación del ensayo de tracción ..... 92
4.3.4.2 Evaluación de similitud del ensayo de tracción real versus el ensayo de tracción simulado ..... 96
4.3.5 Comparación del análisis real versus simulación del ensayo de flexión ... 98
4.3.5.1 Simulación del ensayo Flexión del tubo ..... 98
4.3.5.2 Evaluación de similitud del ensayo de flexión real versus el ensayo de flexión simulado ..... 101
4.3.6 Comparación del análisis real versus simulación del ensayo de flexión de una sección del pórtico ..... 103
4.3.6.1 Simulación en del ensayo Flexión de una sección del pórtico ..... 103
4.3.6.2 Evaluación de similitud del ensayo de flexión de una sección del pórtico real versus el ensayo de flexión de una sección de pórtico simulado ..... 106
4.3.7 Simulación del ensayo de vuelco de la sección de la estructura ..... 107
4.4 Verificación de hipótesis ..... 117

CAPÍTULO V ..... 118

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 118
5.1 Conclusiones ..... 118
5.2 Recomendaciones ..... 119

CAPÍTULO VI ..... 120

6 PROPUESTA ..... 120
6.1 Datos Informativos ..... 120
6.2 Antecedentes de la propuesta ..... 120
6.3 Justificación ..... 121
6.4 Objetivos ..... 122

6.4.1 General ..... 122
6.4.2 Especifico ..... 122
6.5 Análisis de factibilidad ..... 122
6.6 Fundamentación ..... 123
6.6.1 Redistribución de elementos estructurales ..... 123
6.6.2 Análisis cuasiestático ..... 124
6.6.2.1 Descripción de la superestructura ..... 125
6.6.2.2 Descripción de cargas de diseño y sus combinaciones ..... 127
6.6.2.3 Ubicación del centro de gravedad ..... 127
6.6.2.4 Peso de la Carrocería (M) ..... 128
6.6.2.5 Carga debida a los ocupantes y equipaje (V) ..... 129
6.6.2.6 Cálculo y aplicación de carga de viento.(Raf) ..... 131
6.6.2.7 Cálculo y aplicación de carga de frenado.(F) ..... 133
6.6.2.8 Cálculo y aplicación de carga de giro.(G) ..... 133
6.6.2.9 Combinaciones de cargas ..... 134
6.6.2.10 Resultados de la simulación y comprobación ..... 135
6.6.2.11 Comprobación de la reistencia a carga estatica del techo ..... 136
6.6.3 Análisis del ensayo de vuelco ..... 138
6.6.3.1 Distribución de masa por sección de la subestructura del autobús ..... 138
6.6.3.2 Delimitación del espacio de supervivencia ..... 140
6.6.3.3 Velocidad de impacto de la sección del a superestructura ..... 141
6.6.4 Diseño de las uniones soldadas. ..... 147
6.6.4.1 Análisis de la uniones soldadas del techo ..... 148
6.6.4.2 Análisis de la uniones soldadas de los laterales ..... 158
6.6.4.3 Análisis de la uniones soldadas del piso ..... 165
6.7 Análisis de resultados ..... 171
6.8 Determinación de la aplicación ..... 172
6.9 Administración ..... 174
6.10 Previsión de la evaluación ..... 176
7 BIBLIOGRAFÍA. ..... 177
ANEXOS ..... 181

Anexo A1 Especificaciones del fabricante de tubería Utilizada en la superestructura ..... 182
Anexo A2 Especificaciones del fabricante de tubería Utilizada en la superestructura ..... 183
Anexo B1 Extracto de la Norma EN ISO 377 ..... 185
Anexo B2 Extracto de la Norma NTE INEN 109:2009 ..... 189
Anexo B3 Reglamento no 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE/ONU) — Prescripciones técnicas uniformes relativas a la homologación de vehículos de grandes dimensiones para el transporte de pasajeros por lo que respecta a la resistencia de su superestructura ..... 201
Anexo B4 Norma NTE INEN 1323 ..... 246
Anexo C1 Extraxto de archivo de texto para el Solver de Ls-Dyna para a la simulación del ensayo de tracción ..... 260
Anexo C2 Extraxto de archivo de texto para el Solver de Ls-Dyna para a la simulación del ensayo de Flexión ..... 264
Anexo C3 Extraxto de archivo de texto para el Solver de Ls-Dyna para a la simulación del ensayo de Flexión de una sección del pórtico ..... 270
Anexo C4 Extraxto de archivo de texto para el Solver de Ls-Dyna para a la simulación del ensayo de vuelco de una sección dela superestrcutura ..... 277
Anexo C5 Procedimiento de simulación del ensayo de vuelco ..... 281
Anexo D1 Ensayo de tracción ..... 289
Anexo D3 Ensayo de Flexión de una sección del pórtico ..... 301
Anexo D4 Medición del peso del autobús ..... 305
ANEXO E1 Plano de la probeta para ensayo de tracción ..... 306
Anexo E2 Plano de la probeta ensayo de flexión ..... 307
Anexo E3 Plano de la probeta para el ensayo de flexión de una sección del pórtico ..... 308
Anexo E4 Planos de la superestructura del Autobús propuesto ..... 309

# Índice de gráficos

Figura 2.1 Maquina Universal..... 15
Figura 2.2 Esquema del diagrama esfuerzo- deformación unitaria de materiales metálicos ..... 16
Figura 2.3 Curva tensión – deformación de un material..... 25
Figura 2.4 Muestra de elementos Lagrangianos (L) y Eulerianos (E), ..... 27
Figura 2.5 Sólido sujeto a fuerzas aplicadas dentro del sólido (body force) y en la superficie del sólido (surface force), ..... 30
Figura 2.6 Discontinuidades geométricas ..... 33
Figura 2.7 Modos de división con nodos de apoyo..... 35
Figura 2.8 Elmentos cuadrilateros..... 35
Figura 2.9 Relación largo/ancho o "Aspect Ratio”..... 36
Figura 2.10 Elementos triangulares y cuadriláteros..... 36
Figura 2.11 Malla en superficies curvas ..... 37
Figura 2.12 Cambios de espesor ..... 37
Figura 2.13 Esquema ensayo de vuelco por plataforma. Autobús completo (Fuente: Reglamento_n°_66_ ..... 39
Figura 2.14 Esquema ensayo en una sección de la carrocería ..... 39
Figura 2.15 Ensayo de péndulo en una sección de la carrocería ..... 40
Figura 2.16 Verificación de la resistencia mecánica de la superestructura por medio de cálculo ..... 41
Figura 2.17 Componentes de una unidad de transporte..... 42
Figura 2.18 Estructura de la carrocería ..... 43
Figura 2.19 Paneles externos de la carrocería ..... 44
Figura 2.20 Interior e instrumentación de carrocería..... 44
Figura 2.21 Estructura de esqueleto de refuerzo..... 45
Figura 2.22 Espacio de supervivencia..... 48
Figura 2.23 Esquema del espacio de supervivencia ..... 48

Figura 4. 1 Autobús interprovincial marca Miral Infiniti en chasis Hino Ak ..... 59

Figura 4. 2 Configuración de la estructura de Autobús interprovincial marca Miral Infiniti en chasis Hino Ak ..... 60
Figura 4. 3 Dimensiones generales del autobús ..... 62
Figura 4. 4 Distribución de asientos..... 63
Figura 4. 5 Medición de la reacción en cada neumático..... 64
Figura 4. 6 Posición longitudinal del centro de gravedad..... 66
Figura 4. 7 Posición transversal del centro de gravedad..... 67
Figura 4. 8 Altura del centro de gravedad..... 68
Figura 4. 9 Medición del centro la reacción del peso en el eje delantero ..... 69
Figura 4. 10Ubicación del centro de gravedad..... 71
Figura 4. 11 Secciones y pórticos que conforma la superestructura del autobús) 71
Figura 4. 12 Distribución y ubicación de cargas en el autobús..... 72
Figura 4. 13 Cargas aplicadas sobre el chasis ..... 72
Figura 4. 14 Punto tomado como origen para la sumatoria de momentos..... 73
Figura 4. 15 Distribución de cargas en la superestructura del bus..... 75
Figura 4. 16 Valor de cargas que debe soportar cada sección de la superestructura del autobús ..... 75
Figura 4. 17 Área de Supervivencia en la sección transversal..... 76
Figura 4. 18 Área de supervivencia en la sección longitudinal..... 77
Figura 4. 19 Ensayo de tracción..... 77
Figura 4. 20 Sección de la superestructura..... 83
Figura 4. 21 Ensayo de flexión del tubo ..... 83
Figura 4. 22 Seccion del portico a anlizar..... 89
Figura 4. 23 Ensayo de carga aplicada a la sección del pórtico..... 89
Figura 4. 24 Geometría de probeta..... 92
Figura 4. 25 Malla de la probeta ..... 93
Figura 4. 26 Aspect Ratio versus el número de elementos la probeta ..... 94
Figura 4. 27 Comparación entre datos reales y simulados..... 97
Figura 4. 28 Geometría de la muestra de tubo ..... 98
Figura 4. 29 Malla de la muestra de tubo..... 99
Figura 4. 30 Aspect Ratio versus el número de elementos de la muestra del tubo 99
Figura 4. 31 Comparación entre datos reales y simulados..... 102

Figura 4. 32 Geometría de la sección del pórtico..... 103
Figura 4. 33 Malla de la sección del pórtico ..... 103
Figura 4. 34 Malla de la sección del pórtico ..... 104
Figura 4. 35 Comparación entre datos reales y simulados..... 107
Figura 4. 36 Geometría de la sección de la Superestructura..... 108
Figura 4. 37Ubicación del centro de gravedad de la superestrcutura ..... 108
Figura 4. 38 Ubicación del centro de gravedad real y de la estrctura ..... 109
Figura 4. 39 Posicion inicial en la plataforma de vasculamiento..... 109
Figura 4. 40 Posicion inicial inestable para el ensayo de impacto..... 110
Figura 4. 41 Velocidad angular con la que impacta al piso ..... 112
Figura 4. 42 Geometría de la sección de la estructura ..... 112
Figura 4. 43 Malla de la de la sección de la estructura ..... 113
Figura 4. 44 Aspect Ratio versus el número de elementos de la sección de la estructura..... 113
Figura 4. 45 Desplazamiento del espacio de supervivencia con relación a la superestructura ..... 116
Figura 4. 46 Desplazamiento del espacio de supervivencia con relación a la superestructura ..... 116

Figura 6. 1Secciones del bus quepueden ser modificadas. ..... 124
Figura 6.2 Propuesta de una nueva distribución de miembros estucturales en la superestructura. ..... 124
Figura 6. 3Vista tridimensional de la superestructura del Bus. ..... 126
Figura 6. 4Vista tridimensional de la superestructura del autobus desde la parte posterior. ..... 127
Figura 6. 5 Ubicación del centro de gravedad ..... 128
Figura 6. 6 Peso de la carrocería según el software adicionado a la estructura el factor de mayoración. ..... 129
Figura 6. 7 Capacidad de pasajeros ..... 129
Figura 6. 8 Reacciones mostrado por el software debido al peso de los pasajeros. ..... 130

Figura 6. 9 Reacciones mostradas por el software debido a la carga por equipaje en las cajuelas. ..... 131
Figura 6. 10 Reacciones mostradas por el software debido a la carga por resistencia al viento. ..... 132
Figura 6. 11 Reacciones mostradas por el software debido a la carga por frenado. ..... 133
Figura 6. 12 Reacciones mostradas por el software debido a la carga por giro. 134
Figura 6. 13 Verificación de la resitencia de la suaperestructura bajo el codigo AISC LDRD. ..... 135
Figura 6. 14 Resultado de la verificacion de la resitecnia de la suaperestructura bajo el codigo AISC LDRD en los elementos las solictados. ..... 136
Figura 6. 15 Resultados emitidos por el software debido a la carga de comprobacion de reistencia a carga estatica del techo. ..... 137
Figura 6. 16 Deformación máxima producto de la comprobación de la reistencia a carga estatica del techo. ..... 137
Figura 6. 17 Secciones y pórticos que conforma la superestructura del autobús propuesto ..... 138
Figura 6. 18 Distribución y ubicación de cargas en el autobús propuesto ..... 138
Figura 6. 19 Distribución de cargas en la superestructura del bus ..... 139
Figura 6. 20 Valor de cargas que debe soportar cada sección de la superestructura propuesta del autobús ..... 139
Figura 6. 21 Área de Supervivencia en la sección transversal propuesta ..... 140
Figura 6. 22 Área de supervivencia en la sección longitudinal de la superestructura propuesta ..... 141
Figura 6. 23 Velocidad angular con la que impacta al piso ..... 142
Figura 6. 24 a) Geometría de la sección de la estructura colores según espesores b) geometría de la sección de colores según la sección c) Geometría de la sección con el piso y el espacio de supervivencia . ..... 143
Figura 6. 25 Malla de la muestra de tubo ..... 144
Figura 6. 26 a) Porcentaje de elementos versus Aspect ratio b) Porcentaje de elementos versus Jacobino ..... 144
Figura 6. 27 Estructura del techo ..... 148

Figura 6. 28 Elemento en análisis ..... 149
Figura 6. 29 Distribución de fuerzas en el elemento de análisis ..... 150
Figura 6. 30 Comprobación de resistencia de la unión soldada ..... 151
Figura 6. 31 Elemento en análisis ..... 152
Figura 6. 32 Distribución de fuerzas en el elemento de análisis ..... 152
Figura 6. 33 Comprobación de resistencia de la unión soldada ..... 153
Figura 6. 34 Elemento en análisis ..... 154
Figura 6. 35 Distribución de fuerzas en el elemento de análisis ..... 154
Figura 6. 36 Comprobación de resistencia de la unión soldada ..... 155
Figura 6. 37 Elemento en análisis ..... 156
Figura 6. 38 Distribución de fuerzas en el elemento de análisis ..... 156
Figura 6. 39 Comprobación de resistencia de la unión soldada ..... 157
Figura 6. 40 Estructura de los laterales ..... 158
Figura 6. 41 Elemento en análisis ..... 159
Figura 6. 42 Distribución de fuerzas en el elemento de análisis ..... 160
Figura 6. 43 Comprobación de resistencia de la unión soldada ..... 161
Figura 6. 44 Elemento en análisis ..... 161
Figura 6. 45 Distribución de fuerzas en el elemento de análisis ..... 162
Figura 6. 46 Comprobación de resistencia de la unión soldada ..... 163
Figura 6. 47 Elemento en análisis ..... 163
Figura 6. 48 Distribución de fuerzas en el elemento de análisis ..... 164
Figura 6. 49 Comprobación de resistencia de la unión soldada ..... 165
Figura 6. 50 Estructura del piso y parte baja ..... 165
Figura 6. 51 Elemento en análisis ..... 167
Figura 6. 52 Distribución de fuerzas en el elemento de análisis ..... 167
Figura 6. 53 Comprobación de resistencia de la unión soldada ..... 168
Figura 6. 54 Elemento en análisis ..... 169
Figura 6. 55 Distribución de fuerzas en el elemento de análisis ..... 169
Figura 6. 56 Comprobación de resistencia de la unión soldada ..... 170
Figura 6. 57 Desplazamiento del espacio de supervivencia con relación a la superestructura. ..... 171

Figura 6. 58 Desplazamiento del espacio de supervivencia con relación a la superestructura. ..... 172
Figura 6. 59 Configuración de la superestructura propuesta ..... 172
Figura 6. 60 Configuración de la estructura propuesta en la parte posterior ..... 173
Figura 6. 61 Configuración de la estructura propuesta en la parte delantera ..... 173

## Índice de Tablas

Tabla 4. 1 Especificaciones del chasis ..... 60
Tabla 4. 2 Lista de materiales que se utilizó en la fabricación del autobús ..... 61
Tabla 4. 3 Dimensiones generales de la carrocería ..... 62
Tabla 4. 4Obtención de la distribución de peso del Autobuses ..... 64
Tabla 4.5 Obtención de la distribución de peso del Autobuses en posición de basculamiento..... 70
Tabla 4.6 Distribución de peso del Autobuses por cada sección ..... 75
Tabla 4.7 Resultados del ensayo físico versus los de simulación ..... 96
Tabla 4.8 Resultados del ensayo físico versus los de simulación ..... 101
Tabla 4.9 Resultados del ensayo físico versus los de simulación ..... 106

Tabla 6. 1 Altura del centro de gravedad del autobús..... 128
Tabla 6. 2Descripción de peso del autobús..... 128
Tabla 6. 3 Carga debido a los pasajeros..... 130
Tabla 6. 4 Carga debido al equipaje en cajuelas ..... 130
Tabla 6. 5 Distribución de peso del Autobuses propuesto por cada sección ..... 139
Tabla 6. 6 tabla de aplicación de norma AWS según el espesor de la lámina .... 147
Tabla 6. 7 Elementos del techo con mayor estado de carga..... 148
Tabla 6. 8 Carga en el punto de conexión..... 149
Tabla 6. 9 Elementos del techo con mayor estado de carga..... 158
Tabla 6. 10 Carga en el punto de conexión de los laterales ..... 159
Tabla 6. 11 Elementos del piso con mayor estado de carga..... 166
Tabla 6. 12 Carga en el punto de conexión de los laterales ..... 166
Tabla 6. 13 Rubro de gasto de materiales ..... 174
Tabla 6. 14 Rubro de gasto recurso humano..... 175
Tabla 6. 15 Rubro de gasto recurso varios..... 175

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**"MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO**

"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**"**

**Autor:** Ing. César Hernán Arroba Arroba
**Tutor:** Ing. Mg. Manolo Alexander Córdova Suárez
**Fecha:** Junio 12, de 2013

## RESUMEN

La investigación de basa en la simulación del ensayo de vuelco en una sección de la superestructura del Autobús de servicio interprovincial fabricado por Miral Autobuses mediante los software, Ansys y Ls-Dyna para determinar si la configuración de la superestructura garantiza que el espacio de supervivencia determinado por el Reglamento CEPE/ONU 66 no es invadido al finalizar el ensayo.

Para realizar el ensayo de vuelco primero se caracterizó el material que utiliza Miral Autobuses en la fabricación de la superestructura del autobús determinando propiedades mecánicas que son necesarios para el software Ls-Dyna. Se realiza una validación de resultados emitidos por Ls-Dyna simulando los ensayos de tracción, flexión, y flexión de una sección del pórtico y comparando con los resultados de ensayos físicos realizados en la maquina universal.

Se efectúa la simulación de la sección de la superestructura del autobús para determinar si el espacio de supervivencia es invadido, encontrando oportunidades de mejora, realizando un rediseño de la superestructura que cumpla con la normativa NTE INEN 1323 y Reglamento_n°_66_(CEPE/ONU).

**Descriptores**: Ensayo de vuelco, Espacio de supervivencia, Simulación del ensayo de vuelco, Ansys, Ls-Dyna, Hino Ak, Miral Autobuses, NTE INEN 1323.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO**

**CENTER FOR POSTGRADUATE STUDIES**

**MASTER IN MECHANICAL DESIGN**

"STUDY OF MECHANICAL BEHAVIOR OF A SECTION OF THE SUPERSTRUCTURE OF AN INTERPROVICIAL BUS BRAND MIRAL INFFNITI CHASSIS HINO AK SUBJECTED TO TIPPING THROUGH PROGRAMS ANSYS LS-DYNA AND ITS IMPACT ON SURVIVAL SPACE"

**Author:** Mr. Cesar Hernán Arroba
**Tutor:** Mr. Mg. Manolo Alexander Córdova Suárez
**Date:** June 12, 2013

## ABSTRACT

The research is based on the simulation of rollover test on a section of the superstructure of an interprovincial bus manufactured by Miral using the software, Ansys y Ls-Dyna to determine whether the configuration of the superstructure that ensures the survival space determined by the Regulation CEPE/ONU66 is not invalidated by the end of the trial.

To perform the rollover test, first the material used by Miral Buses in the manufacture of bus superstructure was characterized to determine the mechanical properties that are necessary for the Ls-Dyna software. We performed a validation of results issued by Ls-Dyna tests by simulating the traction, flexibility, and flexibility of a section of the doorway and compared with physical test results done in a universal machine.

A simulation on the section of the superstructure of a bus was carried out to determine if the space of the superstructure is invalidated. Finding opportunities to make improvements, doing a redesign of the superstructure that complies with the normative standard NTE INEN 1323 and the Regulation _n°_66_(CEPE/ONU).

Descriptors: Rollover testing, Survival space, Simulations of rollover tests, Ansys, Ls-Dyna, Hino Ak, Miral Buses, NTE INEN 1323.

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo de investigación denominado: "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" es de gran importancia para las fábricas de autobuses del país especialmente para Miral Autobuses empresa en la que se realizó el presente estudio.

Se contó con el apoyo de la fábrica, para aplicar los instrumentos de investigación, se realizó la recopilación de datos de la superestructura del autobús Infiniti, también valide los resultados obtenidos mediante simulación en los Software Ansys ls-dyna con valores reales que se obtuvo de ensayos físicos del material utilizado en la superestructura, llegando a determinar el comportamiento mecánico de la sección de la superestructura en el caso de sufrir una volcadura, que debe garantizar el espacio de supervivencia descrito en el Reglamento no 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa

En Capítulo I, se encuentra el problema con el respectivo planteamiento, además se realizó la contextualización, análisis crítico, la prognosis, justificación y el planteamiento de los objetivos.

En el Capítulo II, está constituido por el Marco Teórico referente a la investigación, con los antecedentes, la fundamentación filosófica y legal, Hipótesis y el señalamiento de las variables.

En el Capítulo III, está integrado por la metodología con la modalidad de investigación, población, muestra y Operacionalización.

En el Capítulo IV, está formado por análisis e interpretación de resultados de la investigación y verificación de la Hipótesis.

En el Capítulo V, se encuentra las conclusiones y recomendaciones.

La propuesta se encuentra detallada en el Capítulo VI, con la introducción, objetivos, Justificación, análisis de factibilidad, fundamentación científico técnica, análisis de resultados y determinación de la aplicación.

# CAPÍTULO I

## 1. EL PROBLEMA

### 1.1 Tema.

"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".

### 1.2 Planteamiento del problema.

#### 1.2.1 Contextualización.

El interés de varios países del mundo en aumentar la seguridad en el transporte público cada año está en aumento, siendo los países de la Comunidad Europea los pioneros en implementar normas y reglamentos que garanticen la seguridad de sus ocupantes cuando el autobús tiene un vuelco.

La aplicación del Reglamento n° 66, el 3 de diciembre de 1977 se inició con el ensayo del vuelco del bus de forma física, siendo los costos del ensayo de muy alto costo económico que limitaba la cantidad de ensayos. IDIADA es un laboratorio europeo especializado en la homologación de vehículos para todo tipo de transporte; este laboratorio realiza ensayos de vuelco de forma física y también mediante simulación a través de software (Gonzalez, 2010).

En América en Estados Unidos se ha raizado investigaciones sobre el ensayo de vuelco, de forma física y simulaciones, para las simulaciones se ha utilizado el software I-DEAS Master que lo utiliza como un preprocesador que luego le transforma al lenguaje utilizados por los Solver de Ls-Dyna, Sin embargo el interés mayor es en impactos frontales en los buses de servicio escolar (Panneer, 1998).

Para el análisis de impacto, en centros de ingeniería y desarrollos de General Motors de Estados Unidos se utiliza el software Ls-Dyna como Solver utilizado en gran parte de la industria automotriz de este país por su alta confiabilidad de los resultados (Cepeda, 2011).

Brasil se encuentra en el proceso de adopción del Reglamento n° 66 de la Comunidad Europea realizando su ensayo de simulación en el Software Ansys Ls-Dyna, sin embargo este reglamento todavía no es de cumplimiento obligatorio para las fábricas de autobuses.

En el Ecuador al momento se está realizando ensayos por el laboratorio BSD Solutions y realiza Ensayos de Resistencia de Carrocerías de Buses y cuenta con la designación por parte del Ministerio de Industrias y Productividad del Ecuador, para ejecutar los ensayos bajo la Norma NTE INEN 1323:2009, para la evaluación de la deformación a la combinación de cargas, carga en el techo, así como el ensayo de volcamiento, de acuerdo a lo establecido por la recomendación 66 de Naciones Unidas, los resultados emitidos por este laboratorio es el cumplimiento o no de los requerimientos de la norma NTE INEN 1323 ("Business Solutions Development Solutdevelop Cia. Ltda," 2012) sin opciones para mejoras u optimización, o detalles del ensayo que es de mucho interés para Carrocerías Miral y el mejoramiento de su producto.

### 1.2.2 Análisis Crítico.

La fabricación de autobuses en nuestro país está en una fase de transformación de la construcción en forma artesanal a una forma industrial, constituyendo parte de este cambio aumentar la seguridad de los ocupantes, se está implementado el ensayo de vuelco como lo indica el Reglamento n$^{o}$ 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa y la norma NTE INEN 1323.

La falta de un laboratorio en nuestro país para la realizar el ensayo físico de vuelco y el alto costo que representaría para los fabricantes de autobuses utilizar un método de ensayo y error para saber el comportamiento de la superestructura del autobús

sometido a vuelco y llegar a un diseño optimizado que cumpla con los requerimientos establecidos.

El ensayo de vuelco mediante programas de simulación numérica basada en elementos finitos como son Ansys y Ls-Dyna no se ha realizado en las empresas fabricantes de carrocerías en nuestro país por falta de conocimiento en utilización de programas que garanticen la obtención de resultados coherentes dentro del criterio ingenieril. Esto conlleva por otra parte a que exista una reducida propuesta por los profesionales de nivel de consultoría en cálculo estructural la verificación del comportamiento de la superestructura del autobús a vuelco.

Es por ello la gran importancia de proponer el estudio del comportamiento mecánico de una sección de la superestructura del autobús interprovincial sometida a volcadura, mediante Ansys y Ls-Dyna que permita predecir el comportamiento de los elementos que constituyen la superestructura y que además sea parte de la solución de los problemas mencionados; esto contribuirá en la seguridad de los ocupantes y el desarrollo de los fabricantes de autobuses del país. Tecnológicamente es factible realizar en el departamento de Ingeniería de la empresa Miral que me facilitaran los equipos y software para la realización de este análisis y para pruebas físicas se cuenta con los laboratorios de Ingeniería Mecánica de Ambato y Riobamba.

### 1.2.3 Prognosis.

La falta del estudio del comportamiento mecánico de una sección de la superestructura del autobús interprovincial marca Miral Infiniti en chasis Hino Ak sometida a volcadura, mediante programas Ansys Ls-Dyna y su incidencia en el espacio de supervivencia, aplicando las condiciones de ensayo del Reglamento nº 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, permanecería dentro de un retraso en el desarrollo del aspecto de control de la resistencia de la superestructura mediante una técnica de nivel confiable, impidiendo de ésta manera efectuar una verificación cuantitativa de esfuerzos, deformaciones, cantidad de

energía de absorción de energía, que permita predecir las condiciones de seguridad del autobús.

### 1.2.4 Formulación del problema.

¿La determinación del comportamiento mecánico de una sección de la superestructura del autobús interprovincial marca Miral Infiniti en chasis Hino Ak sometida a volcadura, mediante programas Ansys Ls-Dyna incidirá en el espacio de supervivencia?

### 1.2.5 Preguntas directrices.

-¿Cuáles son las propiedades mecánicas del material con el que actualmente Miral Autobuses utiliza para la construcción de la superestructura del bus?

-¿Cuáles son los parámetros necesarios para los programas Ansys Ls-Dyna que permitan simular el comportamiento mecánico de una sección de la superestructura sometida a volcadura con resultados cercanos a la realidad?

-¿Determinar las condiciones de borde para la simulación de vuelco de la sección de la superestructura que cumplan con los requerimientos de la norma NTE INEN 1323 y Reglamento nº 66 de la comisión Económica de la naciones Unidas de Europa?

-¿Cuál será el comportamiento mecánico de una sección de la superestructura del autobús interprovincial marca Miral Infiniti en chasis Hino Ak sometida a volcadura en las condiciones indicadas en la norma NTE INEN 1323 y Reglamento nº 66 de la comisión Económica de la naciones Unidas de Europa?

-¿Cuál es la cantidad de energía que puede absorber una sección de la superestructura del autobús interprovincial marca Miral Infiniti en chasis Hino Ak sometida a volcadura?

### 1.2.6 Delimitación del problema.

#### 1.2.6.1 Delimitación de contenido.

Los parámetros científicos de investigación estarán enmarcados dentro del campo de Ingeniería Mecánica, específicamente en el área de Diseño Mecánico, Resistencia de los Materiales. Método de elementos finitos para lo cual se hará uso de documentos bibliográficos, empleando libros, normas que estén relacionados con la prueba de vuelco y simulación numérica basada en elementos finitos,

documentación de investigación relacionados al tema, y la simulación se realizará a través de los Software Ansys y Ls-Dyna.

El presente estudio no contemplara la construcción de la sección de la superestructura o realizar ensayos físicos de la misma.

#### 1.2.6.2 Delimitación espacial.

El análisis del comportamiento mecánico de una sección de la superestructura del autobús interprovincial Marca Miral Infiniti en chasis Hino Ak sometida a volcadura, mediante programas Ansys Ls-Dyna se desarrollara en el Departamento Técnico de Miral Autobuses /Panamericana Norte Km 7 ½ Sector El Pisque/ Ambato – Ecuador y los ensayos de tracción del material de la tubería utilizada en la superestructura se realizará en el laboratorio de resistencia de materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

#### 1.2.6.3 Delimitación temporal.

La presente investigación se efectuará durante el período establecido de septiembre 2012 – Julio de 2013.

### 1.3 Justificación.

La mejora en seguridad de autobuses de transporte de pasajeros, es una de las herramientas utilizadas para combatir la mortalidad en la carretera siendo en el vuelco del autobús que exista mayor probabilidad de mortalidad de los ocupantes. Esto requiere de un riguroso análisis de los accidentes que ocurren cada día en las carreteras para la posterior definición de procedimientos de ensayo y desarrollo de autobuses, componentes y sistemas de seguridad, tanto aquellos que pretenden evitar el accidente, como los que buscan la disminución de sus consecuencias

cuando se produzca el vuelco. Parámetros tomados en cuenta por normas nacionales e internacionales relacionadas con el tema.

La protección de los ocupantes en caso de un vuelco del autobús ha creado la necesidad de desarrollo de métodos de ensayo que reproduzcan fielmente la realidad de un accidente de estas características. Es una necesidad de los fabricantes de autobuses para garantizar una adecuada protección de los ocupantes en este tipo de accidentes.

El ensayo descrito en el Reglamento nº 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa para su posterior homologación, consiste en un vuelco que debe asegurar que ninguna parte desplazada del vehículo invada el espacio de supervivencia y que ninguna parte del espacio de supervivencia sobresalga de la estructura deformada.

Es necesario y de gran utilidad estudiar el comportamiento mecánico de la superestructura del autobús para observar el espacio de supervivencia para los usuarios que se transportan en autobuses, y para las empresas que fabrican carrocerías, siendo MIRAL AUTOBUSES una empresa que tiene un gran interés en que se realice el estudio en el autobús interprovincial sobre el chasis Hino Ak que es el de más demanda (MIRALAUTOBUES, 2012a). Uno de los caminos más eficientes que utilizan los fabricantes de autos y autobuses en otros países, para predecir el comportamiento que tendrá la superestructura es la modelación y simulación mediante Ansys Ls-Dyna (Gomez & Navarro, 2011).

## 1.4 Objetivos.

### 1.4.1 General.

Determinar el comportamiento mecánico de una sección de la superestructura del autobús interprovincial marca Miral Infiniti en el chasis Hino Ak sometida a volcadura, mediante Ansys y LS-DYNA y su incidencia en el espacio de supervivencia.

### 1.4.2 Específicos.

-Determinar el diagrama esfuerzo deformación del material que actualmente utiliza Miral Autobuses para la construcción de la superestructura mediante ensayos en la Maquina universal.

-Evaluar los resultados de ensayo físico de tracción y flexión con simulación del mismo ensayo.

-Realizar el modelo geométrico y matemático en los programas Ansys Ls-Dyna que permita simular el comportamiento de una sección de la superestructura del autobús de servicio interprovincial marca Miral Infiniti en chasis Hino Ak sometida a volcadura.

-Determinar las condiciones de borde para la simulación de vuelco de la sección de la superestructura que cumplan con los requerimientos de la norma NTE INEN 1323 y Reglamento nº 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa.

-Evaluar el cumplimento del espacio de supervivencia descrito Reglamento nº 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa.

# CAPÍTULO II

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes investigativos

En la universidad Carlos III de Madrid España en el departamento de Ingeniería Mecánica en septiembre de 2009 Sergio Gómez Cebrerizo realizó una simulación de un ensayo de impacto con péndulo sobre un autobús mediante LS-DYNA. En este análisis de la resistencia mecánica de la superestructura del autobús se verifica el cumplimiento del reglamento 66, en el cual realiza un modelado con el programa Ansys y el ensayo se realiza en el programa Ls-Dyna calculando las deformaciones y velocidades de deformación en cada uno de los elementos, verificando el comportamiento de la superestructura del autobús cuando está sometido a un ensayo de péndulo(Gómez, 2009).

En la universidad del Estado de Florida, se realizó el estudio "Verification, Valiation and Optimizacion of Finite Element Model of Bus Structure for Rollover Test" por Cezary Bojanowski, previo a la obtención del grado de Doctor de filosofía en el 2009 realizo la verificación, validación y optimización del modelo de elementos finitos de la estructura del autobús para la prueba de vuelco. En esta investigación se realiza un procedimiento para simular y utilizando el software Ls-Dyna hizo el análisis del comportamiento de la superestructura del autobús; también realizó la verificación de los resultados obtenidos por Ls-Dyna con los resultados de pruebas físicas realizadas en probetas, obteniendo resultados muy satisfactorios(Bojanowski, 2009).

En la universidad técnica de Istanbul en el departamento de Ingeniería Mecánica Kadir Elitok previo a la obtención de su maestría realizó el análisis dinámico explícito de la prueba de vuelco usando Ls-Dyna. Se realiza el análisis de la resistencia mecánica de la estructura sometida al ensayo de vuelco cumpliendo con los requisitos descritos en el Reglamento nº 66.

## 2.2 Fundamentación filosófica

La presente investigación sobre el comportamiento mecánico de una sección de la superestructura del autobús interprovincial marca Miral Infiniti en chasis Hino Ak sometida a volcadura, mediante Ansys y LS-DYNA y su incidencia en el espacio de supervivencia está ubicada dentro del paradigma cuanti-cualitativa debido a que en esta investigación aplicara técnicas cualitativas y cuantitativas buscando la compresión de los fenómeno de volcadura del autobús. Considerando los avances en la aplicación de software basados en el método de elementos finitos para simular diferentes fenómenos físicos los mismos que se han implementado más frecuentemente para predecir resultados cuantitativos muy aproximados que pueden ayudar a predecir el cumplimiento del Reglamento n° 66 en relación al ensayo del vuelco.

## 2.3 Fundamentación legal

La presente investigación se desarrollara basada en la norma técnica Reglamento n$^{o}$ 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE/ONU) Prescripciones técnicas uniformes relativas a la homologación de vehículos de grandes dimensiones para el transporte de pasajeros por lo que respecta a la resistencia de su superestructura.

Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1323:2009 primera revisión "Vehículos Automotores. Carrocerías de Buses Requisitos"

Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 109:2009 primera revisión "Ensayo de tracción para materiales metálicos a temperatura ambiente"

## 2.4 Fundamentación teórica

### 2.4.1 Mecánica de los materiales

Todos los sólidos, en una u otra medida, tienen las propiedades de resistencia y rigidez, o sea que dentro de ciertos límites son capaces sin romperse y sin sufrir grandes variaciones en sus dimensiones geométricas, de resistir cargas.

La mecánica de materiales es la ciencia que trata de la resistencia y la rigidez de los elementos de las estructuras, Por métodos de la mecánica de los materiales se realizan los cálculos de pórticos y se determinan las dimensiones necesarias seguras de los diferentes tipos de estructuras.(Feodosiev, 1985)

El objeto principal de la mecánica de los materiales es determinar los esfuerzos, deformaciones unitarias y desplazamientos en las estructuras y en sus componentes, debido a las cargas que actúan sobre ellos. Se pueden determinar esas cantidades para todos los valores de cargas, hasta llegar a los valores que causan la falla, tendremos una imagen completa del comportamiento mecánico de esas estructuras.

Es fundamental entender el comportamiento mecánico en el diseño de todo tipo de estructura sean de aviones, antenas, edificio, puentes, máquinas y motores o barcos, naves espaciales y autobuses(Gere).

#### 2.4.1.1 Desplazamiento y deformación

Todos los materiales no son absolutamente rígidos, sino que bajo la acción de fuerzas exteriores, dentro de ciertos límites, cambien su forman (se deforman)(Feodosiev, 1985)

#### 2.4.1.2 Deformaciones elásticas

En esta zona las deformaciones se reparten a lo largo de la probeta, son de pequeña magnitud y, si se retirara la carga aplicada, la probeta recuperaría su forma inicial. El coeficiente de proporcionalidad entre la tensión y la deformación se denomina módulo de elasticidad o de Young y es característico del material. Así, todos los aceros tienen el mismo módulo de elasticidad aunque sus resistencias puedan ser muy diferentes. La tensión más elevada que se alcanza en esta región se denomina límite de fluencia y es el que marca la aparición de este fenómeno. Pueden existir dos zonas de deformación elástica, la primera recta y la segunda curva, siendo el límite de proporcionalidad el valor de la tensión que marca la transición entre ambas. Generalmente, este último valor carece de interés práctico y se define entonces un límite elástico (convencional o práctico) como aquél para el que se

produce un alargamiento prefijado de antemano (0,2%, 0,1%,etc.). Se obtiene trazando una recta paralela al tramo proporcional (recto) con una deformación inicial igual a la convencional.

#### 2.4.1.3 Fluencia

Es la deformación brusca de la probeta sin incremento de la carga aplicada. El fenómeno de fluencia se da cuando las impurezas o los elementos de aleación bloquean las dislocaciones de la red cristalina impidiendo su deslizamiento, mecanismo mediante el cual el material se deforma plásticamente. Alcanzado el límite de fluencia se logra liberar las dislocaciones produciéndose la deformación bruscamente. La deformación en este caso también se distribuye uniformemente a lo largo de la probeta pero concentrándose en las zonas en las que se ha logrado liberar las dislocaciones No todos los materiales presentan este fenómeno, en cuyo caso la transición entre la deformación elástica y plástica del material no se aprecia de forma clara (Feodosiev, 1985).

#### 2.4.1.4 Deformación permanente de los materiales

El enlace metálico que une los átomos con orbitales detienen los electrones de estos orbitales compartidos por los distintos núcleos, circulando libremente a través de todo el material.

La temperatura del material afecta a la distancia media existente en los átomos:

A mayor temperatura, mayor será la amplitud de la vibración de los átomos y por lo tanto mayor distancia entre ellos.

La forma de los átomos y la distancia entre ellos hacen que el metal se cristalice de una manera característica. El aluminio se cristaliza cúbico centrado en caras, el titanio y el zinc se cristaliza en hexagonal compacto, el hierro y el cobalto tienen formas alotrópicas, es decir, dependiendo de la temperatura se cristalizan en cúbico centrado en cuerpo a temperatura ambiente y cúbico centrado en caras a altas temperaturas.

Según la forma de cristalizar, el metal tendrá unos planos característicos de deslizamiento. Procesos de conformado por deformación plástica de caras seguido del centrado en cuerpo y por último el hexagonal que sólo tiene un plano de deslizamiento. Un metal está formado por granos microscópicos, cada uno de los cuales es un cristal con miles de átomos y con una orientación determinada. La distinta orientación de los granos cuyo conglomerado forma el metal hace que el material tenga un comportamiento isotrópico a escala macroscópica.

Al deformar el metal siempre se encontrarán granos con planos cristalográficos orientados en la dirección del cortante máximo que se deformarán permanentemente, mientras que los que no lo están rotarán hasta que se encuentren en la dirección para deformarse. Esto hace que el metal deformado esté internamente muy distorsionado, y los granos deformados aumenten sus imperfecciones cristalinas (dislocaciones). Se dice entonces que el material posee acritud.

Esta acritud hace que localmente muchas partículas se encuentren tensionadas, aunque globalmente el material se encuentre en equilibrio, son las tensiones residuales.

Otro efecto de la acritud es el aumento de resistencia a la deformación permanente que se produce (endurecimiento), y la disminución de capacidad de deformación antes de la rotura (fragilizarían).

#### 2.4.1.5 Impacto

El estudio de impactos de diferentes tipos atrae el interés de científicos e ingenieros de diferentes áreas. El objetivo común es el desarrollo de teorías y modelos que puedan predecir el comportamiento de los objetos que colisionan. Dada la complejidad de la dinámica del fenómeno, específicamente, de la cuantificación de las cargas que intervienen en el fenómeno, así como la dificultad de la integración de los parámetros de estudio deseados en un modelo teórico, es preciso buscar alternativas para la explicación, análisis y entendimiento del fenómeno.

El impacto es considerado un fenómeno localizado, que puede causar deformación y/o falla en cualquiera de los cuerpos involucrados. Durante el impacto, parte o la totalidad de la energía cinética del cuerpo en movimiento se transfiere al cuerpo restante. Este proceso es función de la propagación de onda en el cuerpo que recibe el impacto, la deformación de éste y la velocidad. Debido a que el impacto es considerado como un fenómeno local, las deformaciones y fallas locales son de interés principal. Un impacto causa ondas de esfuerzo elásticas y plásticas, y su propagación a través de los cuerpos puede causar falla por desprendimiento (Silva, 2005). Dichos efectos generalmente ocurren en el lapso de microsegundos que dura el impacto.

El impacto es como un contacto repentino de un cuerpo en movimiento relativo respecto a una barrera inmóvil o con un cuerpo de mucho mayor tamaño. En contraste, en (Harris, 2002)se puede inferir que un impacto es una colisión de una masa en movimiento con una segunda masa, que puede estar en movimiento o en reposo relativo. En un sentido más amplio, un impacto puede ser definido como un cambio repentino en la cantidad de movimiento de cada cuerpo en contacto (Faik, 2000 International ADAMS User Conference), con el correspondiente cambio de posición que involucra la aplicación de una carga, la carga de impacto, a la cual se la conoce también como carga de choque, carga repentina o carga impulsiva(Juvinall & Marshek, 2000).

Para fines del presente estudio, las tres definiciones son aplicables, considerando que el fenómeno en estudio estipula la colisión de una masa de una rigidez dada respecto a otra de rigidez menor, pero de mayor tamaño. Es de interés el conocimiento de la relación entre las velocidades (energías) antes y después del impacto, así como de los esfuerzos (deformaciones unitarias).

#### 2.4.1.6 Ensayo de tracción del acero

El ensayo de tracción del acero comprende el estiramiento de una probeta por una fuerza axial de tracción proporcional a sus dimensiones, mediante una máquina

para ensayo de tracción para determinar durante su deformación una o más características mecánicas (INEN109, 2009) .

El ensayo de tracción en ingeniería es ampliamente utilizado, pues suministra información sobre las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en el diseño y también para la verificación de especificaciones de aceptación. El ensayo se llevará a cabo a temperatura ambiente comprendida entre + 10ºC y + 35ºC, a menos que se especifique de otra manera(INEN109, 2009)

#### 2.4.1.6.1 Maquina universal

La Máquina universal como se muestra en la Figura 2.1 constituye una prensa hidráulica, con la que es posible someter materiales a ensayos mecánicos. Esta máquina es ampliamente utilizada en la caracterización de materiales (Colcha & Villa, 2010). Todas las cargas de prueba son aplicadas por el movimiento hacia arriba del pistón impulsado hidráulicamente. Las válvulas de carga y descarga controlan el porcentaje de carga y descarga por la regulación del flujo de aceite desde la bomba montada en la unidad de potencia hidráulica al cilindro hidráulico bajo el tablero de peso. El tablero de peso está conformado por un cabezal superior y un cabezal inferior



Figura 2.1 Maquina Universal (Fuente:Colcha and Villa (2010),p31)

#### 2.4.1.6.2 Diagrama esfuerzo deformación unitaria

El diagrama de esfuerzos que se muestra Figura 2.2 es fundamental para determinar las propiedades físicas de los materiales.

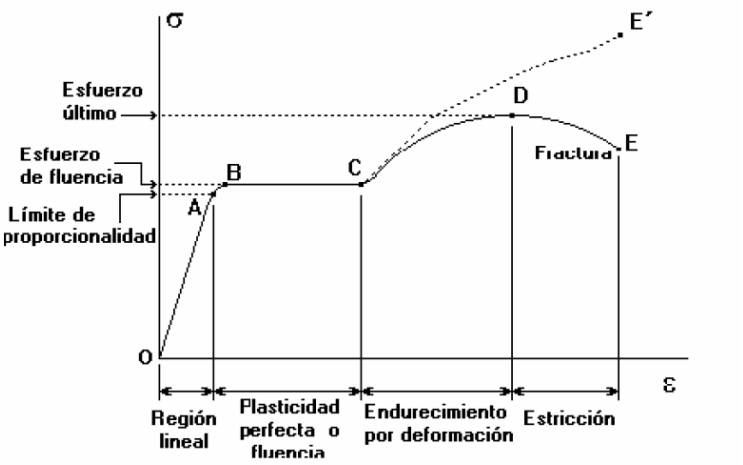



Figura 2.2 Esquema del diagrama esfuerzo- deformación unitaria de materiales metálicos (Fuente:Colcha and Villa (2010))

En la Figura 2.2 se observa que el diagrama comienza con una línea recta desde O hasta A que indica que en esta zona las deformaciones son directamente proporcionales a las tensiones, se dice que el material tiene un comportamiento lineal. El punto A se denomina límite de proporcionalidad, en esta zona se cumple la denominada ley de Hooke.

#### 2.4.1.6.3 Ley de Hooke

Las deformaciones unitarias lineales son proporcionales a las tensiones normales.

$$\sigma = E * \varepsilon \qquad (2.\ 1)$$

Donde

$\sigma$ = Esfuerzo axial

E = Módulo elástico del material o módulo de Young

ε = Deformación unitaria

#### 2.4.1.6.4 Módulo de elasticidad

El coeficiente de proporcionalidad entre la tensión y la deformación se denomina módulo de elasticidad o de Young y es característico del material y está representado por la pendiente de la recta OA.

A partir del punto A y hasta llegar a B el comportamiento no es lineal y se observa que las deformaciones crecen rápidamente con pequeños incrementos de tensión. En la zona AB la curva toma cada vez una pendiente más pequeña hasta llegar a B, punto en el que la curva se vuelve prácticamente horizontal.

Entre B y C sin variar la tensión se producen notables incrementos de longitud. Este fenómeno se conoce con el nombre de fluencia y el valor de la tensión en C se denomina límite de fluencia. En la zona BC el material se vuelve perfectamente plástico. El fenómeno de fluencia se da cuando las impurezas o los elementos de aleación bloquean las dislocaciones de la red cristalina impidiendo su deslizamiento, mecanismo mediante el cual el material se deforma plásticamente.

A partir de C aparece el denominado endurecimiento por deformación debido a que el material sufre cambios en su estructura cristalina. Así se observa hasta que llega al punto representado por D en el diagrama. El valor de la tensión en este punto se denomina esfuerzo último, máximo o admisible.

A partir de D el alargamiento posterior de la barra se acompaña de una reducción en la carga hasta que llega al punto E del diagrama denominado punto de fractura. En el punto E en la barra se aprecia una importante construcción con notable disminución de la sección transversal. Este fenómeno se conoce con el nombre estricción. La estricción es la responsable del descenso de la curva tensión – deformación; realmente las tensiones no disminuyen hasta la rotura, sucede que lo que se representa es el cociente de la fuerza aplicada (creciente) entre la sección inicial y cuando se produce la estricción la sección disminuye, efecto que no se tiene en cuenta en la representación grafica

#### 2.4.1.6.5 Porcentaje de alargamiento

Es el incremento de longitud que ha sufrido la probeta luego de ser ensayada. Se mide entre dos puntos cuya posición está normalizada y se expresa en tanto por ciento.

$$\%\ alargamiento = \frac{lf - lo}{lo} \qquad (2.\ 2)$$

Donde:

lf = longitud final de probeta

lo = longitud inicial de la probeta

#### 2.4.1.6.6 Probetas para el ensayo de tracción

Las probetas para el ensayo de tracción están establecidas en la norma **INEN 109: 2009**

### 2.4.1.7 Mecánica clásica

Involucra la aplicación de las leyes fundamentales de la mecánica para predecir las velocidades luego del impacto. La parte principal de ésta teoría la constituye el principio de conservación de la cantidad de movimiento(S.). La naturaleza principio de conservación de la cantidad de movimiento. La naturaleza algebraica de éste método lo hacen accesible y de aplicación relativamente sencilla. Este procedimiento toma en cuenta las pérdidas de energía inherentes al proceso real, y es adecuada para el estudio de velocidades. Sin embargo, no es posible obtener las fuerzas involucradas en el fenómeno.

Los problemas de impacto envuelven las tres leyes de conservación: conservación de masa, conservación de cantidad de movimiento y conservación de energía(Silva, 2005). A continuación se condensan dichas leyes en forma de ecuaciones:

$$\int_v \rho dV = const \quad (2.3)$$

$$F = m\frac{dv}{dt} \quad (2.4)$$

$$\sum E_i + \sum \frac{1}{2}\sigma v_i^2 = \sum E_f + \sum \frac{1}{2}\sigma v_f^2 \quad (2.5)$$

Donde:

$\rho$ = densidad del material

*V* = volumen

*F* = fuerza inherente del fenómeno

*m* = masa

*v* = velocidad

*E* = energía interna

*W* = trabajo

y los subíndices *i* y *f* representan los estados iniciales y finales respectivamente.

Dentro del principio de la conservación de la cantidad de movimiento, se asume que los cuerpos que impactan son perfectamente rígidos, y la duración del impacto debe ser instantánea. Sin embargo, dado que la ley de conservación de la cantidad de movimiento no es suficiente para predecir las velocidades de dos cuerpos después de un impacto, se introduce un coeficiente que toma en cuenta las pérdidas en la energía cinética inicial, el coeficiente de restitución e que relaciona las velocidades relativas antes y después del impacto, de acuerdo a:

$$v_{1f} - v_{2f} = -e[v_{1i} - v_{2i}] \quad (2.6)$$

Donde los subíndices 1 y 2 corresponden a los dos cuerpos y los subíndices i e f corresponden a los estados inicial y final respectivamente.

El coeficiente de restitución e es adimensional, y puede tomar valores entre 0 (impacto totalmente inelástico, donde toda la energía se disipa y ambos cuerpos se

mueven como uno luego del impacto) y 1 (impacto totalmente elástico, donde toda la energía cinética se conserva). Es evidente que los casos reales no concuerdan exactamente con los mencionados. El coeficiente de restitución es una medida global de las pérdidas de energía durante el impacto e incorpora diferentes formas de disipación de energía como trabajos viscoelásticos sobre los materiales, deformaciones plásticas en las superficies de contacto y vibraciones de los cuerpos en impacto(Faik, 2000 International ADAMS User Conference). No es una propiedad intrínseca del material, sino depende de los materiales del sistema, las superficies y la velocidad.

Variación del coeficiente de restitución con la velocidad

La variación del coeficiente de restitución respecto de la velocidad relativa inicial de los cuerpos en contacto ha sido examinada en varios trabajos de investigación(Faik, 2000 International ADAMS User Conference; Falcon) . Hay un acuerdo general sobre los modelos teóricos de interacción entre las velocidades de contacto y el coeficiente de restitución. Varios autores (Falcon)proponen la relación

$$e(v) = 1 - f\left[v^{\frac{1}{5}}\right] \qquad (2.\ 7)$$

Donde:

$f$ = factor que depende de las condiciones físicas del impacto(Ramırez, 1999)

A través de la relación inversa presentada, es notorio que a mayores velocidades, el coeficiente de restitución es más bajo, debido a que hay más energía disipada cuando los cuerpos se mueven rápido. La relación mostrada se deriva de modelos de comportamiento puramente viscoelástico. En la realidad, existen más mecanismos de disipación de energía que considerar, como la energía disipada en forma de ondas elásticas a altas velocidades, así como la deformación plástica, o los efectos de la adhesión o gravedad a bajas velocidades

#### 2.4.1.8 Propagación de onda de esfuerzo elástico

En ésta área de estudio se considera al impacto acompañado de una onda de esfuerzo que se propaga a través de los cuerpos que intervienen en el fenómeno (alejándose del área de impacto). Si la energía transformada en vibración constituye una fracción importante del total de la energía del impacto, la aproximación clásica se vuelve insuficiente para estudiar el fenómeno de impacto(Silva, 2005). El estudio de las teorías de propagación de esfuerzos es necesario para el entendimiento de fuerzas y deformaciones en el fenómeno, sin embargo la integración de dichas teorías con el análisis dinámico de sistemas complejos no es sencilla.

Inmediatamente después del impacto, la energía del mismo se induce a modo de esfuerzos y deformaciones unitarias. Las capas de partículas en el cuerpo que recibe el impacto se comprimen después del contacto, creando esfuerzos de compresión. Cuando el esfuerzo de compresión entre dos capas es igual a la presión aplicada, la compresión soporta toda la presión.

Las ondas de esfuerzo se propagan a través del material a la velocidad intrínseca del material es reflejada en tantas capas de material como sean alcanzadas. Se han identificado varios tipos de ondas de esfuerzo, dependiendo de la energía involucrada en el fenómeno y conferida el objeto que recibe el impacto.

La velocidad del impacto determina la velocidad de deformación unitaria (velocidad de deformación unitaria), modo de respuesta y el tipo de daño causado por el impacto. Si el impacto se da por debajo de cierto límite, solamente se generan ondas elásticas. Para altas velocidades, el impacto crea ondas inelásticas.

### 2.4.2 Método de elementos finitos

R. Courant desarrolló el Análisis mediante el Método de Elementos Finitos en 1943, cuando utilizó el método de Ritz de análisis numérico y minimización del cálculo vibraciones, para la obtención de soluciones aproximadas a los sistemas de vibración. En 1956, un estudio publicado estableció una definición más extensiva

del análisis numérico, centrándose en la “Rigidez y deflexión de estructuras completas”.

Un paso importante en la utilización del Método de Elementos Finitos fue dado por Boeing en los años 50, cuando usó elementos triangulares para modelar las alas de los aeroplanos y las fuerzas que estas sufrían. Durante los 60, otros investigadores comenzaron a aplicar el Método de Elementos Finitos a otros problemas ingenieriles como la transferencia de calor o la dinámica de fluidos.

El Análisis por Elementos Finitos a comienzo de los 70 se encontraba limitado a computadoras muy costosas, generalmente propiedad de las industrias aeronáuticas, de automoción, defensa y nucleares. Sin embargo, con el crecimiento experimentado de la potencia de los ordenadores, y la caída de precios, el Análisis por Elementos Finitos ha desarrollado su precisión hasta altos niveles, siendo posible en la actualidad obtener resultados precisos de todo tipo de parámetros gracias a la actividad de las supercomputadoras.

Uno de los retos que debe afrontar el ingeniero en el desarrollo de sus labores es el analizar y calcular soluciones para el diseño de distintos procesos, elementos o sistemas tecnológicos, es decir, la predicción cuantitativa y cualitativa del comportamiento de estos elementos o procesos(Lizarza, 2008).

Para lograr esto, el ingeniero ha de implantar sus conocimientos de física, química y matemática en un modelo matemático, este modelo no deja de ser un sistema de ecuaciones, cuyas incógnitas representan las magnitudes necesarias para resolver el comportamiento del objeto que se diseña. Por lo que el ingeniero, para conocer el valor de las incógnitas únicamente debe de resolver dicho sistema.

Debido a la dificultad para obtener dichas soluciones, los ingenieros han resuelto históricamente estos sistemas mediante el uso de modelos simplificados basados en resultados experimentales principalmente. Este sistema ha resultado suficientemente preciso para la ingeniería, pero es fácil darse cuenta que presenta muchas limitaciones en cuanto a posibilidades de análisis, limitaciones que se ven incrementadas por las mayores exigencias de la tecnología moderna.

Afortunadamente para el cálculo ingenieril, con la evolución de la electrónica y sus métodos computacionales, han aparecido numerosas herramientas y técnicas numéricas que facilitan el cálculo de estos sistemas de ecuaciones.

Una de estas técnicas numéricas es el método de elementos finitos (MEF).

Este método se ha desarrollado ligado principalmente al cálculo de ingeniería estructural. Antes de la computación electrónica, los métodos de resolución eran iterativos, había que resolverlos manualmente y ello conllevaba un consumo de tiempo y recursos humanos muy elevado. Con la llegada del cálculo por computadora, estas operaciones se han visto reducidas en tiempo increíblemente(Zienkeiwicz, 2007).

Se utiliza el método de elementos finitos (MEF) para resolver problemas gobernados por un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales (Liu & Quek, 2003). En la solución de un problema a través de FEM, el dominio es discretizado (dividido en partes más pequeñas), a cada uno de los cuales se asigna un perfil de desplazamientos asumido, obteniéndose una ecuación para cada elemento. Juntando todas las ecuaciones se forma la ecuación global para todo el dominio del problema, la cual puede ser resuelta para todo el campo de desplazamientos (Morris, 2008).

A pesar de poder crear un modelo matemático del sistema que se quiere diseñar, en muchas ocasiones sigue siendo necesaria la creación de prototipos reales del mismo para obtener resultados con mayor grado de exactitud o que implican una gran responsabilidad.

#### 2.4.2.1 Principios básicos y aplicaciones del MEF

En el método de elementos finitos se pretende ir de un medio continuo a una serie de elementos unidos entre sí, los cuales se definirán como nodos. Lo importante en este caso es que los elementos sean lo suficientemente pequeños como para que su aproximación resulte aceptable.

Al aplicar el MEF, lo que se hace es pasar de un sistema de infinitos grados de libertad a un sistema con un número de grados de libertad finitos, cuyo comportamiento viene definido por un sistema de ecuaciones, las cuales pueden ser lineales o no lineales.

Es necesario distinguir en cualquier sistema a analizar el dominio, que corresponde al espacio geométrico del sistema, las condiciones de contorno que corresponde a las variables conocidas como temperatura, cargas, etc. y las variables que se desean conocer del sistema, es decir las incógnitas.

El principio básico de funcionamiento del MEF es la discretización. Este método consiste en dividir el espacio geométrico del sistema en elementos que pueden ser puntos, líneas o superficies según sea lineal, bidimensional o tridimensional.

Una vez desratizado el sistema y aplicadas las condiciones de contorno, se resuelve de forma lineal hasta alcanzar el estado final. Si durante la resolución del sistema aparece alguna ecuación no lineal, esta ha de ser resuelta gradualmente de manera lineal.

El método de elementos finitos, a pesar de tener sus limitaciones, es una herramienta de cálculo altamente potente y es capaz de simular cualquier problema físico.

Las limitaciones que presenta el MEF vienen siendo las que presenta al implementar las condiciones del modelo a calcular. Por lo que muchas veces solo es posible realizar una aproximación del modelo. Por esta razón es muy importante comparar los resultados simulados con los obtenidos mediante ensayos reales.

#### 2.4.2.2 Problemas no lineales

Como se ha explicado, el método de elementos finitos calcula las incógnitas mediante discretización con ecuaciones lineales. Esta simplificación ayuda a resolver los cálculos, pero se hace evidente que no se adapta a la realidad en cuanto al comportamiento del elemento, ya sea debido al material o a la geometría del mismo, entre otros factores.

Para entender mejor este detalle, solo hace falta fijarse en el comportamiento de cualquier material elástico, ya que su curva tensión – deformación es lineal hasta alcanzar su límite elástico, una vez alcanzado, la curva pasa a ser no lineal.

En la Figura 2.3 se visualiza este fenómeno explicado.

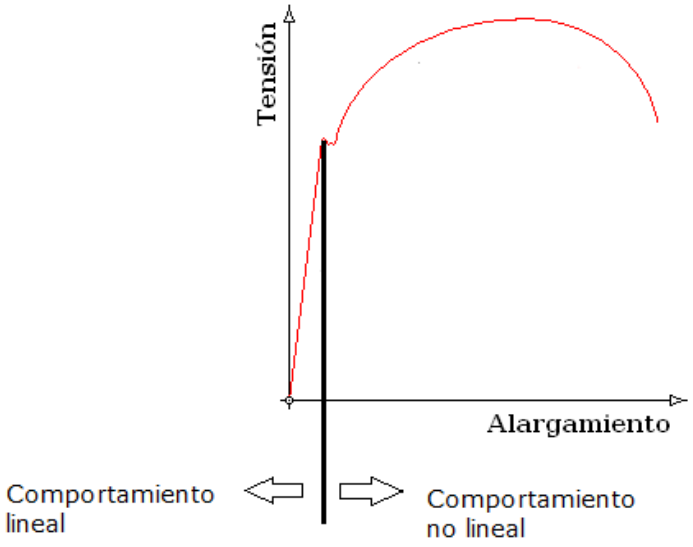



Figura 2.3 Curva tensión – deformación de un material (Fuente:Lizarza (2008))

Es fácil darse cuenta que en la simulación de un choque lateral, existirán multitud de parámetros y elementos que no se comportan de manera lineal durante todo el proceso de cálculo, por lo que es necesario introducir de manera correcta el comportamiento de no linealidad de estos elementos.

Un problema es no-lineal si la matriz de rigidez y el vector de cargas dependen de los desplazamientos(Wu & Qiu, 2008). En sólidos y estructuras, la no-linealidad puede ser clasificada como:

-No-linealidad de material, asociada con cambios en las propiedades del material como en la plasticidad.

-No-linealidad geométrico, asociada con cambios en la configuración del componente, como es en grandes deformaciones(Cook, Malkus, & Plesha, 1989).

Un análisis no-lineal consiste de las siguientes etapas (KIM, BEN, & SUGIMOTO, 2007).

-Desarrollo del modelo, dependiendo de las capacidades y necesidades.

-Formulación de las ecuaciones gobernantes, se profundizará más adelante sobre el tema.

-Discretización de las ecuaciones, proceso realizado por computadoras en la actualidad pero que requiere el entendimiento por parte del usuario.

-Solución de las ecuaciones, elección de parámetros decisivos para la solución del modelo.

-Interpretación de resultados, criterio para la detección de posibles errores.

#### 2.4.2.3 Coordenadas en elementos finitos: formulación de análisis no lineales

Se definen dos tipos de coordenadas para análisis con elementos finitos

Figura 2.4:

-Coordenadas espaciales (eulerianas), especifican la ubicación de un punto en el espacio.

-Coordenadas de material (lagrangianas), relacionadas con un punto de material

De lo anterior se deriva la descripción de:

-Mallas eulerianas: aquellas en las que los nodos permanecen fijos en sus posiciones originales.

-Mallas lagrangianas: aquellas en las que los nodos varían en el tiempo, conforme el movimiento de la malla.

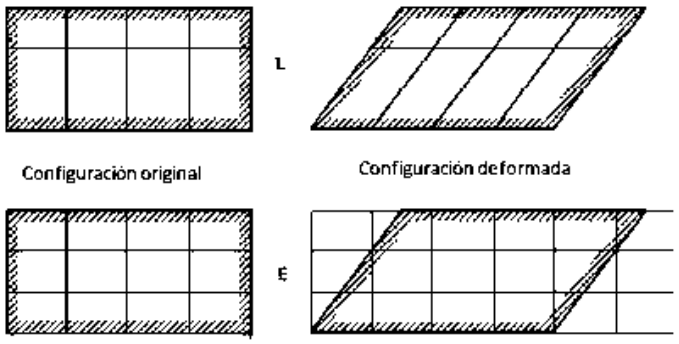



Figura 2.4 Muestra de elementos Lagrangianos (L) y Eulerianos (E), (Fuente: Belytschko (2000))

En mecánica de sólidos las mallas lagrangianas son preferidas por la facilidad de adaptarse a formas complicadas y la habilidad de seguir puntos de material(Belytschko, 2000).

Partiendo de lo anteriormente mencionado, se aceptan dos aproximaciones en la formulación de análisis no-lineales:

-Formulaciones en términos de medidas lagrangianas de esfuerzos y deformaciones tomadas respecto de coordenadas lagrangianas, (formulaciones lagrangianas totales).

-Formulaciones en términos de medidas eulerianas de esfuerzos y deformaciones tomadas respecto a coordenadas eulerianas (formulaciones lagrangianas actualizadas).

Ambas formulaciones emplean mallas lagrangianas (Fasanella & Jackson, 2002). La diferencia radica en que la primera formulación refiere los resultados a la configuración original, mientras que la segunda a la configuración actual (deformada).

### 2.4.2.4 Ecuaciones gobernantes

Las ecuaciones que rigen los fenómenos físicos son las *ecuaciones gobernantes.* No siempre es posible ni práctico (en términos de tiempo para problemas de

ingeniería) obtener soluciones para las ecuaciones gobernantes en su forma algébrica/matricial, llamada formulación fuerte (strong form por su término en inglés)(Liu & Quek, 2003) dado el requerimiento de una fuerte continuidad de las variables involucradas. Cualquier función que defina dichas variables debe ser diferenciable más allá del orden de las ecuaciones diferenciales que existen en el sistema de ecuaciones de formulación fuerte. En contraste se tiene una notación de las ecuaciones gobernantes conocida como formulación débil (weak form, por su término en inglés), que es una forma integral de las ecuaciones gobernantes que requiere una continuidad más débil en el campo de las variables (Liu & Quek, 2003). Debido a ello, una formulación obtenida de una "formulación fuerte" produce un sistema de ecuaciones discretizadas que proporciona resultados más exactos, especialmente en problemas de geometría compleja, por lo tanto, la formulación fuerte es la más usada para obtener soluciones aproximadas, siendo MEF un ejemplo típico de uso de éste tipo de formulaciones. Por ello, si el espacio de diseño es correctamente discretizado (tomando en cuenta los diferentes tipos de elementos que se tiene como opción), MEF puede ser aplicado a problemas prácticos de ingeniería, inclusive con geometrías muy complejas(Liu & Quek, 2003).

En general, las ecuaciones gobernantes consideran (Belytschko, 2000):

-Conservación de masa.

-Conservación de momentum (cantidad de movimiento).

-Conservación de energía.

-Una medida de deformación, llamada ecuación desplazamiento-deformación unitaria.

-Una ecuación constitutiva, que describa el comportamiento del material y relacione el esfuerzo con una medida de deformación.

Según reporta la bibliografía, una formulación fuerte de un sistema de ecuaciones diferenciales se puede crear mediante los métodos(Liu & Quek, 2003):

-Principios de energía (Energy principles).

-Método de residuos pesados (Weighted residual methods).

El primero puede catalogarse como una forma especial del principio variacional, usado especialmente para problemas de mecánica de sólidos y estructuras. El método de residuos pesados es una herramienta matemática más general aplicable para resolver cualquier tipo de ecuación diferencial (Timmela, 2007).

#### 2.4.2.5 Principio de Hamilton

El principio de Hamilton se utiliza debido a su simplicidad y porque puede usarse para problemas dinámicos. Estipula que "De todos los desplazamientos admisibles en el tiempo, la solución más exacta será la que hace mínimo al Lagrangiano". Los desplazamientos admisibles deben ser tales que sean compatibles con el dominio, se satisfagan las restricciones de desplazamiento y se verifiquen las restricciones en los tiempos inicial y final(Morris, 2008). Matemáticamente se expresa:

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} L \, dt = 0 \qquad (2.\ 8)$$

El lagrangiano funcional L se obtiene usando un conjunto admisible de desplazamientos en el tiempo y consiste de:

$$L = T - \Pi + W_f \qquad (2.\ 9)$$

Donde:

T = energía cinética

Π = energía potencial (entiéndase energía elástica de deformación) y

$W_f$ = trabajo realizado por fuerzas externas.

La energía cinética de todo el problema se define por:

$$T = \frac{1}{2}\int_v \rho U^T U dV \qquad (2.\ 10)$$

Donde:

V = volumen completo del sólido y

U = desplazamientos en el tiempo.

La energía de deformación para todo el dominio de un sólido elástico se define como:

$$\Pi = \frac{1}{2}\int_V \varepsilon^T \sigma dV = \frac{1}{2}\int_V \varepsilon^T c\varepsilon dV \qquad (2.\ 11)$$

Donde:

ε = deformaciones unitarias obtenidas usando el conjunto de desplazamientos admisibles en el tiempo.

El trabajo efectuado por las fuerzas externas se obtiene por:

$$W_f = \int_v U^T f_b dV + \int_{s_f} U^T f_{bs} dS_f \qquad (2.\ 12)$$

Donde:

$S_f$ = superficie del sólido sobre la cual actúan las cargas superficiales

$f_s$ y $f_b$ = fuerzas aplicadas dentro del sólido (body forces), como puede verse en Figura 2.5.

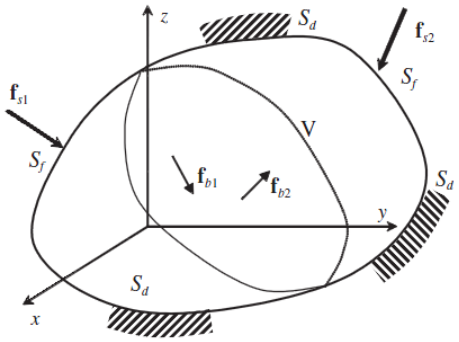



Figura 2.5 Sólido sujeto a fuerzas aplicadas dentro del sólido (body force) y en la superficie del sólido (surface force), (Fuente: Hallquist (1998))

Con la libertad que ofrece el principio de Hamilton de asumir desplazamientos, se pueden resolver problemas prácticos cuya solución sería imposible de obtener de otro modo, por lo que se considera que dicho principio provee el fundamento

para los métodos de elementos finitos aplicados a estudios de impacto (Liu & Quek, 2003).

#### 2.4.2.6 Análisis transitorio

Una excitación transitoria es una carga altamente dinámica y dependiente del tiempo aplicada sobre un componente, en este caso, un impacto. La ecuación gobernante del sistema es (Liu & Quek, 2003)

$$KD + C\dot{D} + M\ddot{D} = \mathbf{F} \qquad (2.\ 13)$$

que se conoce como la Ecuación de Movimiento de Newton (Timmela, 2007).

Donde:

**M** = matriz global de masa

**K** = matriz corresponde a la de rigidez global del sistema

**C** = matriz de coeficientes de amortiguamiento (determinados experimentalmente)

**D** = vector de todos los desplazamientos de todos los nodos del sistema

Dada la naturaleza de la ecuación y del fenómeno, se requiere un procedimiento de solución diferente al que se usa en análisis estáticos, que se conoce como método de integración directa.

El método de integración directa utiliza el método de diferencias finitas para resolver la ecuación de movimiento de Newton, dividiendo el tiempo de solución en pasos (time stepping, por su terminología en inglés) (Timmela, 2007). A su vez, el método de integración directa se divide en dos corrientes: implícito y explícito.

Los métodos implícitos son generalmente más eficientes para fenómenos relativamente lentos. En contraste, los métodos explícitos son muy eficientes para fenómenos relativamente rápidos, como el de impacto. Dentro de los métodos explícitos, el más conocido es el algoritmo de Diferencias Finitas Centradas(Timmela, 2007), en el cual se calculan iterativamente las

aceleraciones, velocidades y desplazamientos a partir del punto inicial y la condiciones iniciales:

$$M\ddot{D} = F - \left(KD + C\dot{D}\right) = F - F^{int} = F^{residual} \quad (2.\ 14)$$

Despejando D se tiene:

$$D = M^{-1}\ddot{F}^{residual} \quad (2.\ 15)$$

En la práctica, esto es lo que hace la diferencia en los métodos explícitos, dado que no se requiere invertir la matriz de la ecuación anterior usualmente, porque que se utilizan masas concentradas (lumped masses, por su término en inglés): matrices de masa diagonales , lo cual es un requerimiento para LS-DYNA. El algoritmo de diferencias finitas, en forma resumida, se expresa como sigue:

$$D_{t+\Delta t} = 2(\Delta t)\dot{D}_t + D_{t-\Delta t} \quad (2.\ 16)$$

$$\dot{D}_{t+\Delta t} = 2(\Delta t)\ddot{D}_t + \dot{D}_{t-\Delta t} \quad (2.\ 17)$$

$$\ddot{D}_t = \frac{1}{(\Delta t)^2}(D_{t+\Delta t} - 2D_t + D_{t-\Delta t}) \quad (2.\ 18)$$

En términos generales, el algoritmo de diferencias finitas centradas suma y resta dos expansiones de Taylor para dar como resultado las expresiones anteriores. Para un tiempo anterior al calculado, la expansión de Taylor se escribe:

$$D_{t-\Delta t} = D_t - (\Delta t)\dot{D}_t + \frac{(\Delta t)^2}{2}\ddot{D}_t \quad (2.\ 19)$$

Todos los parámetros se calculan en función de la combinación de las ecuaciones mostradas y de aquellos parámetros calculados para la división de tiempo anterior. Cabe destacar que el error de cálculo del orden de $(\Delta t)^2$

La solución en términos de desplazamientos, velocidades y aceleraciones se obtiene sin resolver ninguna ecuación matricial sino repitiendo las ecuaciones anteriores en un proceso iterativo. Por ésta razón, el manejo del tiempo en éste tipo de métodos es extremadamente rápido, el código es relativamente sencillo (Timmela, 2007)y es particularmente útil para simular eventos altamente no lineales que involucren

grandes deformaciones, contactos y que se desarrollen en un lapso de tiempo muy reducido.

Es importante recordar que no se utilizan todos los términos de la serie expandida de Taylor. En este caso, los tres primeros son usados para la variación del desplazamiento. Esto significa que el desplazamiento es parabólico, la velocidad es lineal y la aceleración es constante en el lapso.

#### 2.4.2.7 Mallado por elementos finitos

En problemas que presenten cargas concentradas y/o discontinuidades geométricas, aplicar el principio de St. Venant para hallar las regiones que requieren una malla refinada. Básicamente, el principio dice que las cargas concentradas o discontinuidades geométricas causan sólo tensiones y deformaciones en las zonas próximas a la carga o discontinuidad.

Un buen ejemplo utilizado por Timoshenko es considerar una abrazadera aplicada a una manguera de goma. La manguera se deforma sólo en la zona cercana a la abrazadera. (Iberisa, 2012)

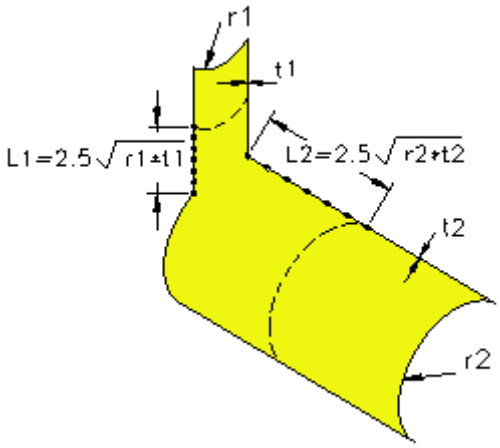



Figura 2.6 Discontinuidades geométricas (Fuente:Iberisa (2012))

La distancia entre el punto de aplicación de la carga y la zona donde los efectos de la carga se han disipado se llama "longitud de atenuación". El código ASME

especifica una longitud de atenuación de 2.5<rt para cilindros. Otras fuentes dan longitudes desde 2 a 4<rt.

Las longitudes de atenuación para vigas en fundaciones elásticas pueden usarse en estructuras "semi-infinitas" tales como sistemas de piping y recipientes a presión.

La longitud de atenuación ofrece una idea del mínimo tamaño del modelo. En muchos casos, otras consideraciones tales como simetrías y puntos de apoyo requieren un modelo más grande.

El principio de St. Venant es también útil para determinar el nº de elementos requerido en diferentes áreas del modelo. Basándonos en este principio, sólo áreas dentro de la longitud de atenuación de la carga aplicada o discontinuidad requieren una malla refinada. Áreas fuera de la longitud de atenuación pueden discretizarse con una malla grosera.

Como regla general, al menos 5 elementos son necesarios a lo largo de la distancia de atenuación. Por ejemplo, si la distancia de atenuación es 1.0 cm, requiere por lo menos 5 elementos de 0.2 cm cada uno.

Por lo general, un análisis de tensiones requiere una malla más densa que un análisis de desplazamientos. Los análisis térmicos requieren mallas aún más densas. Si fuera necesario, realizar estudios de convergencia.

Colocar nodos en apoyos, puntos de aplicación de cargas y en general donde sea necesario obtener información de desplazamientos, tensiones o temperaturas.

Por ejemplo, en un análisis modal hay que mallar con los nodos necesarios para representar con precisión los modos de vibración deseados, mallando con dos elementos por onda respecto al último modo de mayor interés.

Es importante recordar que los nodos son la única fuente de información (la información que dan los elementos se deriva de los nodos). Esta guía puede suponer algún trabajo de prueba y error, ya que la forma del modo más alto puede no ser evidente.(Iberisa, 2012)

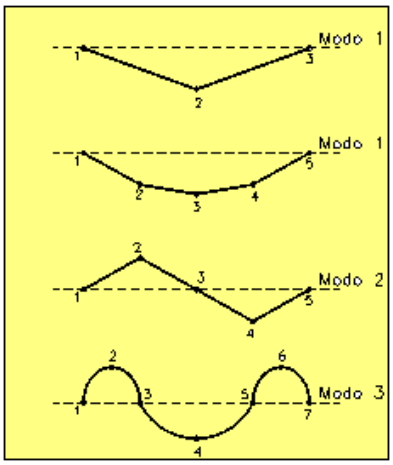



Figura 2.7 Modos de división con nodos de apoyo (Fuente:Iberisa (2012) )

Siempre que sea posible, usar mallado uniforme (igual separación entre nodos). En regiones de transición de alta a baja densidad de malla, no cambiar las dimensiones de los elementos adyacentes por un factor mayor de 2. Si fuera necesario, hacer la transición sobre una serie de elementos para mantener este factor.

En áreas normales, tratar de mantener una malla uniforme. El mallado uniforme es fácil de crear en el ordenador y además los resultados y comportamiento de un mallado uniforme son más fáciles de interpretar.

El mallado no uniforme sólo está justificado en zonas de transición o en regiones de geometría rara. (Iberisa, 2012)

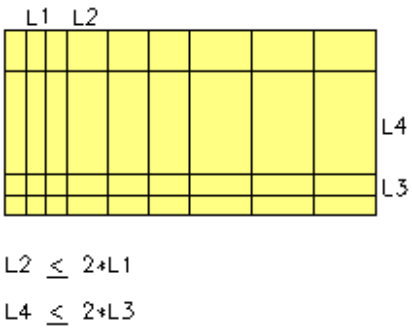



Figura 2.8 Elementos cuadrilateros (Fuente:Iberisa (2012))

Los elementos cuadriláteros son generalmente más exactos que los triángulos. Esto es particularmente cierto para elementos sólidos.

La excepción de esta regla se encuentra en el uso de elementos placa en problemas de flexión pura y en problemas no lineales donde los elementos triangulares se ha demostrado que dan resultados veraces.

Por supuesto que hay situaciones que requieren elementos triangulares como transiciones de malla o limitaciones geométricas. Pero en muchos casos, es preferible usar elementos cuadriláteros.

Para elementos triangulares y cuadriláteros, la relación largo/ancho o "Aspect Ratio" debe ser lo más cercana a 1.0. Se permiten Ratios de hasta 5, pero siempre que sea posible se mantendrá por debajo de 3.(Iberisa, 2012)

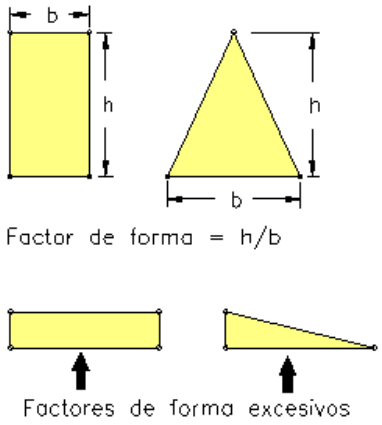



Figura 2.9 Relación largo/ancho o "Aspect Ratio" (Fuente:Iberisa (2012))

Los elementos triangulares y cuadriláteros no deben presentar ángulos extremadamente agudos u obtusos. No se permiten desviaciones superiores a 30º del ángulo óptimo equilátero en elementos triangulares y del ángulo recto en cuadriláteros.

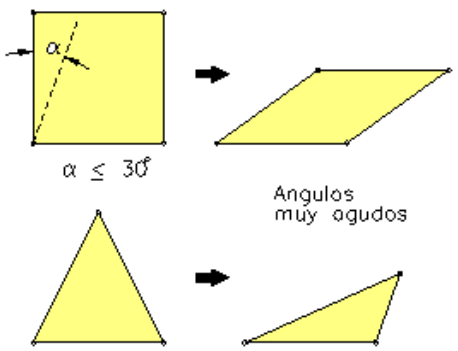



Figura 2.10 Elementos triangulares y cuadriláteros (Fuente:Iberisa (2012))

Las tensiones en elementos se derivan de funciones de interpolación basadas en formas razonables del elemento.

Elementos de longitud cero, excesivamente curvados u oblicuos producirán resultados impredecibles o causarán problemas durante la ejecución del programa.

Las superficies curvadas pueden mallarse con elementos planos SHELL, pero el ángulo barrido no debe ser mayor de 15º y los nodos del elemento deben estar en el mismo plano Figura 2.11.

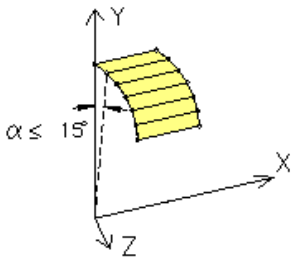



Figura 2.11 Malla en superficies curvas (Fuente:Iberisa (2012))

Los elementos no deben abarcar zonas de cambios de espesor o con discontinuidades geométricas, lo que causaría errores numéricos y resultados inexactos. En estos casos es recomendable añadir nodos adicionales y usar elementos de menor tamaño Figura 2.12.

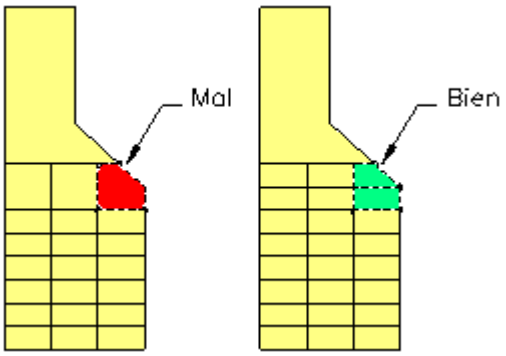



Figura 2.12 Cambios de espesor (Fuente:Iberisa (2012))

### 2.4.3 Reglamento n°66 de la comisión económica de las naciones unidas para Europa

#### 2.4.3.1 Ensayo de vuelco de autobús

En los países de la Comunidad Europea, fue España uno de los primeros países en establecer la obligatoriedad del ensayo de vuelco (Gómez, 2009) en la actualidad Ecuador también ha visto la necesidad de realizar esta prueba en nuestro país.

El ensayo de vuelco consiste en someter una volcadura del autobús en condiciones controladas para esto no es necesario que el autobús no esté totalmente terminado, será representativo de la producción de vehículos en cuanto a su masa en vacío en orden de marcha, centro de gravedad y distribución de masas. El área de impacto será de cemento u otro material rígido.

El ensayo se lo puede realizar de 4 formas:

-Ensayo de vuelco en un vehículo completo.

-Ensayo de vuelco una sección de la carrocería.

-Ensayo de péndulo en una sección de la carrocería.

-Verificación de la resistencia mecánica de la superestructura por medio de cálculo.

**El ensayo de vuelco de vehículo completo** consiste en colocar al autobús no necesariamente terminado en una plataforma como se indica en la (Reglamento_n°_66_(CEPE/ONU), 2007). Con las dimensiones indicadas. El vehículo se levantara hasta su basculamiento sin balanceo ni efectos dinámicos donde la velocidad angular no será superior cinco grados por segundo.

Para la toma de datos Se utilizará fotografía ultrarrápida, gálibos deformables u otros medios apropiados para determinar que se cumplen las condiciones previstas. Esto se verificará en al menos dos lugares, en principio en la parte delantera y trasera del compartimiento de viajeros; los lugares exactos serán elegidos por el servicio técnico. Los gálibos se fijarán en partes de la estructura prácticamente indeformables(Reglamento_n°_66_(CEPE/ONU), 2007)

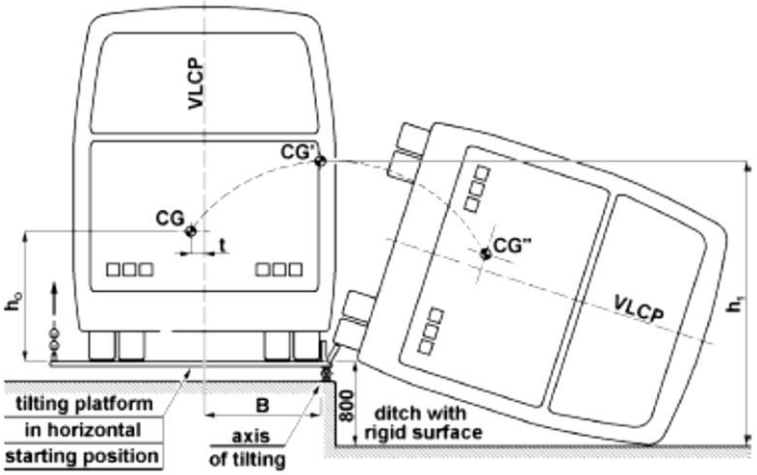



Figura 2.13 Esquema ensayo de vuelco por plataforma. Autobús completo (Fuente: Reglamento_n°_66_(CEPE/ONU) (2007))

**Ensayo de vuelco en una sección de la carrocería** esta representara a una sección del vehículo vacío, la sección de la carrocería, el eje de rotación y la aposición del centro de gravedad en sentido vertical y lateral serán representativo del vehículo completo Figura 2.14 (Reglamento_n°_66_(CEPE/ONU), 2007).



Figura 2.14 Esquema ensayo en una sección de la carrocería (Fuente:Gómez (2009))

**Ensayo de péndulo en una sección de la carrocería** el lateral golpeado será escogido por el fabricante, y en el momento del impacto, la dirección del movimiento del péndulo debe marcar un ángulo de 25º (+0º -5º) con el plano medio longitudinal vertical de la sección de la carrocería, alcanzando en el momento del impacto según la Figura 2.15 una velocidad comprendida entre 3 y 8 m/s (Gómez, 2009).

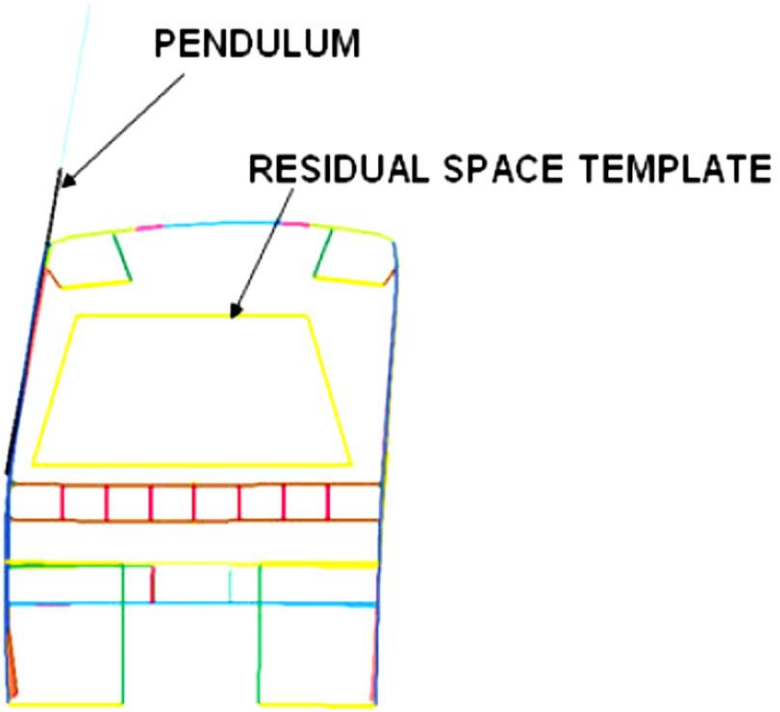



Figura 2.15 Ensayo de péndulo en una sección de la carrocería (Fuente:Gómez (2009))

**Verificación de la resistencia mecánica de la superestructura por medio de cálculo**. Se puede demostrar que la superestructura o una sección de la misma cumplen el requisito especificado en el Reglamento 66 Figura 2.16. Si la estructura es susceptible de ser deformada más allá del límite elástico de los materiales utilizados, los cálculos deben simular el comportamiento de la estructura cuando sufre importantes deformaciones plásticas. Los cálculos no podrán empezar hasta que se haya analizado la estructura y se haya construido un modelo matemático de ella. En esta operación se definirán los diversos largueros que deben ser considerados y se distinguirán los puntos donde pueden surgir articulaciones plásticas. Deberán indicarse las dimensiones de los largueros y las propiedades de los materiales utilizados. Deberán efectuarse ensayos en los puntos de articulación para determinar las características de la fuerza (momento de rotación)/deformación en el modo plástico, ya que son datos indispensables para los cálculos. Deberá determinarse la velocidad de deformación y el límite dinámico de elasticidad correspondiente a esta velocidad. Si los métodos de cálculo no indican cuándo se

producirá una rotura importante, será primordial determinarlo, mediante un experimento, un análisis separado o los ensayos dinámicos apropiados. Se debe indicar la repartición admitida en los cálculos de las cargas sobre la longitud del vehículo(Reglamento_n°_66_(CEPE/ONU), 2007).

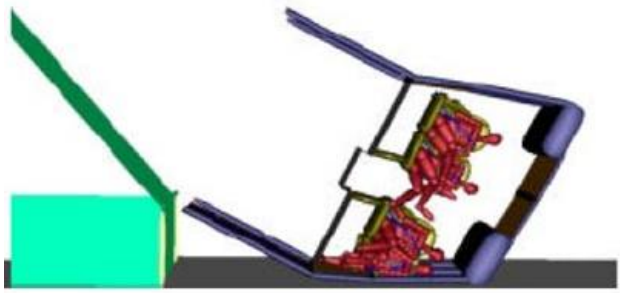


Figura 2.16 Verificación de la resistencia mecánica de la superestructura por medio de cálculo (Fuente:Gómez (2009))

### 2.4.4 Estructura del autobús

#### 2.4.4.1 Carrocerías Metálicas

La carrocería de autobús es el sistema estructural encargado de brindar soporte, fijación y forma a la unidad de transporte, y al mismo tiempo, seguridad a los pasajeros para los cuales está diseñada transportar(Cepeda, 2006).

Las carrocerías metálicas están presentes en una gran variedad de vehículos a motor.

Carrocerías Transporte Interprovincial: unidades no diseñadas para el transporte de pasajeros de pie, dotadas gran comodidad y de espacios para carga (cajuelas) que los hacen aptos para recorrer grandes distancias(Cepeda, 2006).

#### 2.4.4.2 Componentes estructurales principales del autobús.

En general, una unidad de transporte de pasajeros se compone de dos partes fundamentales:

-Chasis: constituye el bastidor que sirve de soporte físico para unidad, sobre el cual descansa la carrocería. Se emplea principalmente en vehículos de carga como

camiones y buses, y también como refuerzo en autos de competición, provee la soporte necesario para montar los componentes que mueven la unidad y todos los sistemas mecánicos que la componen (motor, transmisión, diferencial, tanques de carburante, refrigerante, fluidos hidráulicos, etc.)(HinoMotors, 2000).

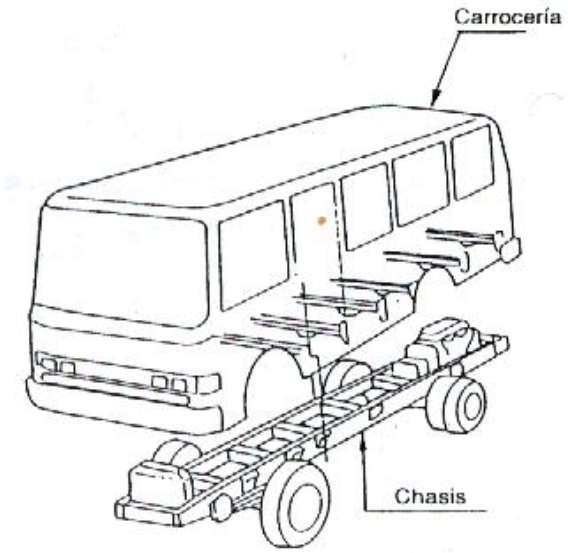



Figura 2.17 Componentes de una unidad de transporte (Fuente:HinoMotors (2000))

-Carrocería: es el sistema destinado al transporte de pasajeros y carga, constituye tanto la parte física de la unidad de transporte en contacto con el pasajero como los sistemas de soporte.

### 2.4.4.3 La carrocería.

La carrocería es el sistema mecánico destinado al transporte de pasajeros y carga, constituyendo tanto la interfaz entre el viajero y el vehículo, es decir, la parte física de la unidad de transporte en contacto con el pasajero, como los sistemas de soporte estructural.

### 2.4.4.4 Partes de la carrocería.

-Estructura: conocida también como superestructura o estructura de esqueleto, es el sistema estático que provee resistencia, rigidez y soporte físico a la carrocería; está diseñada para absorber y dispersar la energía proveniente de pesos muertos, condiciones de manejo, irregularidades, impactos y colisiones mediante el redireccionamiento de la misma desde miembros expuestos hacia miembros menos solicitados a través de juntas rígidas, consiguiendo su disipación.

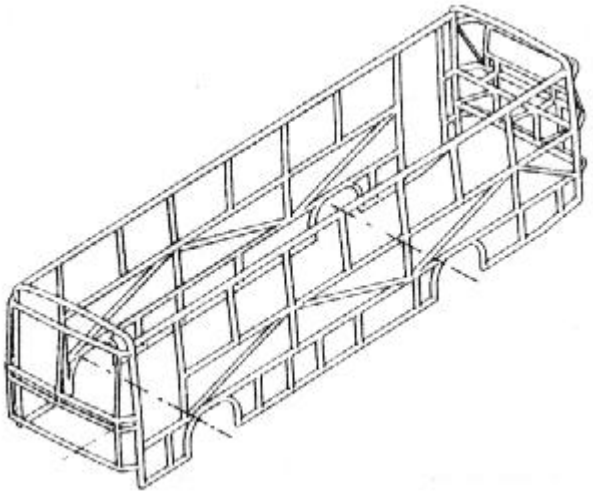


Figura 2.18 Estructura de la carrocería (Fuente:HinoMotors (2000))

-Paneles externos o forros: superficie exterior en contacto con el ambiente, constituida por laminas metálicas o piezas de materiales compuestos, dan la forma distintiva a la unidad y son las responsables de la protección de la estructura contra la corrosión a través de capas de recubrimiento.

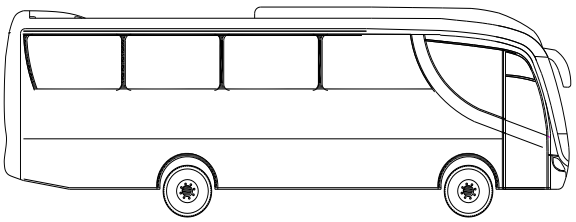


Figura 2.19 Paneles externos de la carrocería (Fuente:MiralAutobuses (2012))

-Juntas: constituyen las interfaces de unión de elementos estructurales principalmente, de funcionamiento del vehículo y de confort para los pasajeros. Las principales uniones utilizadas son las uniones soldadas, empernadas y aglutinadas, dependiendo si se quiere juntar elementos estructurales, de confort o funcionamiento y de recubrimiento y visibilidad, respectivamente.

-Interior: conjunto de componentes emplazados dentro de la estructura que sirven de interfaz al pasajero diseñados y ubicados para su comodidad.

-Instrumentación: dispositivos dotados a la unidad para brindar el máximo de comodidad al cliente (pasajeros y conductor) tanto en el interior como en el exterior de la unidad.

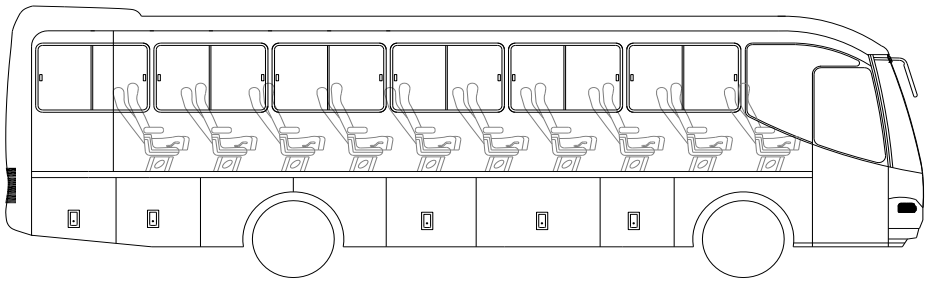


Figura 2.20 Interior e instrumentación de carrocería (Fuente:MiralAutobuses (2012))

**2.4.4.5 Estructura de esqueleto de refuerzo**

La resistencia y rigidez se deben a una integración entre el bastidor del chasis y la estructura de la carrocería, con el principio de diseño de carrocería completa y el bastidor del chasis forman una estructura integrada, es decir, el bastidor del chasis soporta solo una parte de toda la carga que recibirá el bus porque la misma se distribuye hacia todos los miembros de la estructura.

Este tipo de carrocería ofrece ventajas considerables por la libertad en el diseño y la mejora en la apariencia de la carrocería: La apariencia es limpia, sin remaches en los paneles exteriores y las ventanas y puertas pueden hacerse más grandes.

En la actualidad, ésta configuración es la más utilizada en la construcción de unidades de transporte por las ventajas antes descritas y por la disponibilidad y calidad de materiales en el mercado.

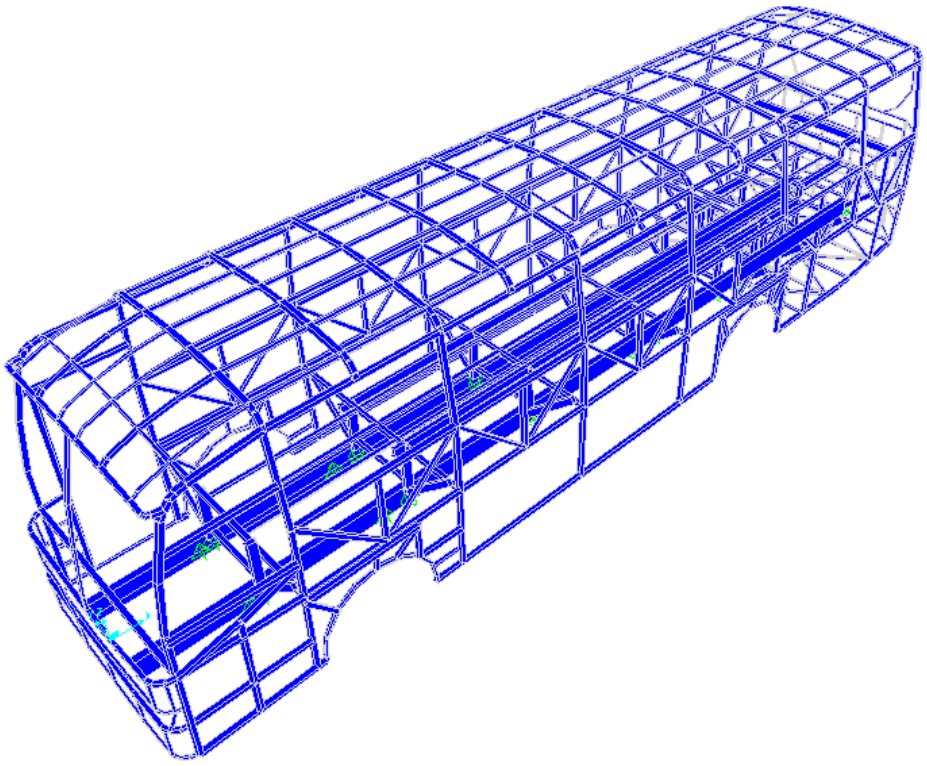


Figura 2.21 Estructura de esqueleto de refuerzo (Fuente:MiralAutobues (2012b))

### 2.4.5 Seguridad en el Autobús

Uno de los principales cometidos de la industria es el de desarrollar soluciones técnicas que puedan crear condiciones óptimas de conducción, contribuir a evitar los accidentes, reducir al máximo las consecuencias de un choque y proporcionar la inviolabilidad del vehículo.

Para garantizar un comportamiento seguro del vehículo es necesario diseñar los diferentes componentes de los ejes de modo que las ruedas efectúen movimientos

direcciona-les previsibles y que el conductor se encuentre en condiciones de controlar el vehículo incluso en casos extremos. En este sentido, dispositivos que aumentan la seguridad son, por ejemplo, un equipo de frenos de alto rendimiento o los sistemas modernos de estabilidad y tracción

El concepto de seguridad se caracteriza por su universalidad y decidido enfoque hacia la perfección. Por evidente que parezca, cabe sin embargo enfatizar que el concepto de seguridad de un vehículo suele ser interpretado con demasiada parcialidad, restringiéndose únicamente al comportamiento del impacto, pero en realidad, existen otros muchos factores que deben considerarse en la seguridad de un vehículo, siendo la rigidez a torsión uno de los más destacados dada su influencia en la capacidad del vehículo a no sufrir vuelco, accidente que, aunque no es el más frecuente, sí es el de mayor severidad. Los estudios y diseños deben de encaminarse a evitar accidentes de antemano teniendo en cuenta que el factor humano es también crítico, y es por ello que el empeño primordial está dedicado a la seguridad activa y a la seguridad pasiva por igual.

A la seguridad activa o preventiva pertenece todo aquello que sirve para prevenir situaciones de peligro, o lo que es lo mismo, todos aquellos elementos o características técnicas que contribuyen al dominio fiable del vehículo. Por seguridad pasiva o paliativa se entienden todas las medidas de precaución que se toman para limitar lo máximo posible el riesgo de que los pasajeros y terceros sufran lesiones en caso de accidente. Por tanto, la rigidez a torsión es una medida preventiva de gran importancia.

Actualmente está apareciendo reglamentación que impone requisitos a las estructuras y sistemas de retención de los autobuses y autocares para garantizar la seguridad de sus ocupantes. Este hecho está marcando de forma importante la evolución de la seguridad pasiva de este tipo de vehículos. La reglamentación Europea está consiguiendo que en los últimos años se hayan realizado numerosos avances en seguridad que han conllevado la necesidad de estudios de investigación para determinar los requisitos a imponer sobre los mismos(Gonzalez, 2010).

#### 2.4.5.1 El habitáculo

El acondicionamiento del habitáculo resulta vital para garantizar la seguridad de los ocupantes. Entre las medidas técnicas que suelen utilizar los fabricantes para aumentar la capacidad de seguridad pasiva del habitáculo, además de las mencionadas en los puntos anteriores, pueden citarse:

-Concepción estructural que permita un amplio margen de supervivencia (durante y después del impacto o vuelco)(Gomez & Navarro, 2011).

-Equipamiento de los sistemas apropiados para la sujeción de los ocupantes a la carrocería.

-Funcionalidad plena, después del accidente, de los elementos y conjuntos para la liberación de los ocupantes.

-Protección contra incendios.

-Sistema de fijación del parabrisas.

-Anti-intrusión de piezas de la carrocería por el parabrisas y luna trasera.

### 2.4.6 Espacio de supervivencia

El espacio de supervivencia es el que debe quedar en el compartimento de viajeros mientras se somete la superestructura a uno de los ensayos de vuelco y después de dicho ensayo Figura 2.22 ; También se denomina el volumen que se obtienen en el compartimento de ocupantes desplazando en línea recta el plano vertical y transversal indicado en Figura 2.23 de manera que se pase el punto $S_r$ de la Figura 2.23 desde el pinto $S_r$ de último asiento exterior a través del punto Sr de cada asiento exterior hasta el punto $S_r$ de primer asiento exterior del ocupante. (INEN1323, 2009)

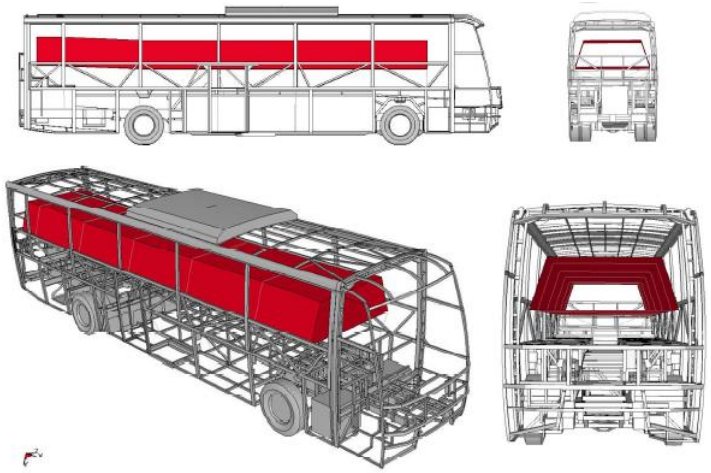


Figura 2.22 Espacio de supervivencia. (Fuente:Gómez (2009))

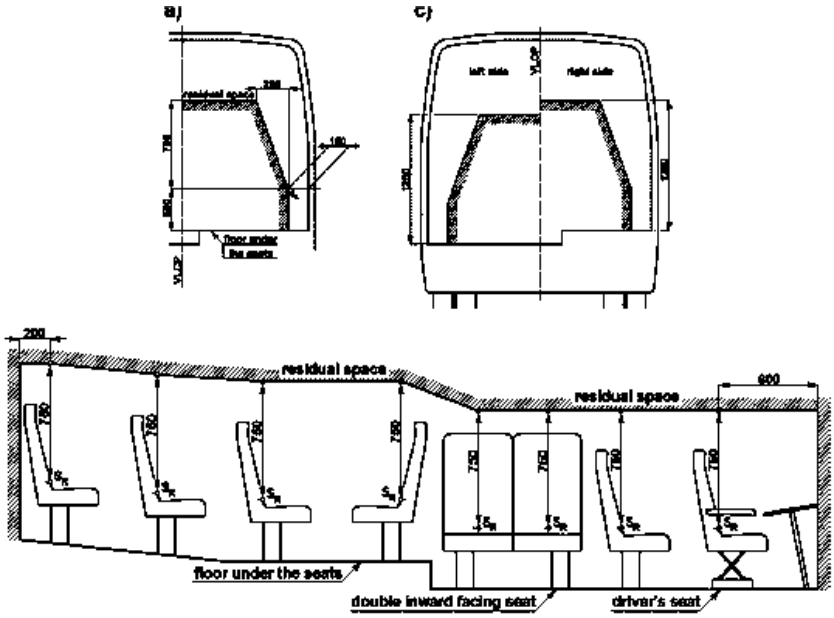



Figura 2.23 Esquema del espacio de supervivencia (Fuente: Reglamento_n°_66_(CEPE/ONU) (2007)).

Ninguna parte desplazada del vehículo invada el espacio de supervivencia y ninguna parte del espacio de supervivencia sobresalga de la estructura deformada(Reglamento_n°_66_(CEPE/ONU), 2007).

El punto $S_r$ estará situado en el respaldo de cada asiento exterior orientado hacia adelante o hacia atrás (o en la posición supuesta del asiento), 500 mm por encima del piso situado debajo del asiento y a 150 mm de la superficie interior de la pared

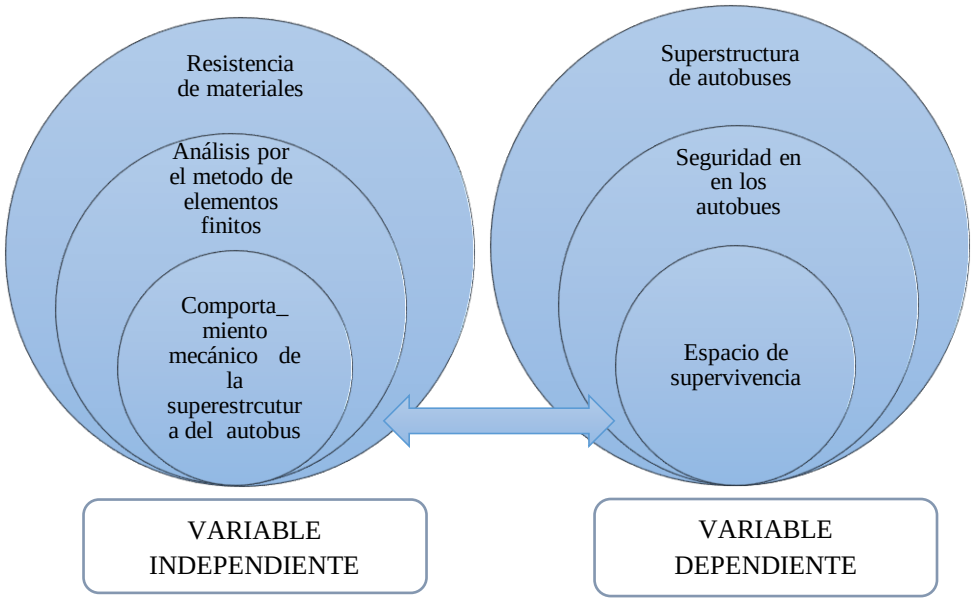
lateral; no se tendrán en cuenta los pasos de rueda ni demás variaciones de la altura del piso; estas dimensiones también se aplicarán a los asientos orientados hacia el interior, en sus planos centrales cuando los dos lados del vehículo no sean simétricos con respecto a la disposición del piso y, por tanto, la altura de los puntos $S_r$ sea diferente, se tomará como plano central longitudinal vertical del vehículo el escalón situado entre las dos líneas del piso del espacio de supervivencia; la posición más atrasada del espacio de supervivencia es un plano vertical situado 200 mm por detrás del punto $S_r$ del asiento exterior más atrasado o la cara interna de la pared trasera del vehículo cuando esté situada a menos de 200 mm por detrás del punto $S_r$; la posición más adelantada del espacio de supervivencia es un plano vertical situado 600 mm por delante del punto $S_r$ del asiento más adelantado (ya sea de viajero, conductor o miembro del personal) del vehículo, colocado en su posición más adelantada (Reglamento_n°_66_(CEPE/ONU), 2007)

Especificación del contorno de la estructura deformada si el asiento más adelantado y el más atrasado en los dos lados del vehículo no se encuentran en los mismos planos transversales, la longitud del espacio de supervivencia en cada lado será diferente.

El espacio de supervivencia entre el plano más atrasado y el más adelantado del compartimento o compartimentos de viajeros, del personal y del conductor es continuo y se determina desplazando, por toda la longitud del vehículo, a lo largo de líneas rectas y a través de los puntos $S_r$ situados a ambos lados del vehículo, el plano transversal vertical definido; detrás del punto $S_r$ del asiento más atrasado y delante del punto $S_r$ del asiento más adelantado las líneas rectas son horizontales.

Para simular el peor caso en un grupo de tipos de vehículo y permitir futuros avances de diseño, el fabricante podrá definir un espacio de supervivencia mayor de lo necesario para una disposición de asiento determinada(Reglamento_n°_66_(CEPE/ONU), 2007).

## 2.5 Categoría fundamentales




## 2.6 Hipótesis.

El comportamiento mecánico de una sección de la superestructura del autobús interprovincial marca Miral Infiniti en chasis Hino Ak sometida a volcadura; mediante el software Ansys Ls-Dyna incide en el espacio de supervivencia.

## 2.7 Señalamiento de variables de la hipótesis.

### 2.7.1 Variable independiente.

Comportamiento mecánico de una sección de la superestructura del autobús interprovincial marca Miral Infiniti en chasis Hino Ak sometida a volcadura; simulado mediante Ansys Ls-Dyna programas.

### 2.7.2 Variable dependiente.

Espacio de supervivencia.

### 2.7.3 Termino de relación.

Incidirá

# CAPÍTULO III

## 3 METODOLOGÍA

### 3.1 Enfoque.

En el presente proyecto de investigación predomina lo cuantitativo, razón por la cual se utilizaran variables cuantitativas de tipo continúas precisamente porque se manejaran datos numéricos con fraccionamientos. En lo referente a los indicadores se manejaran tablas, gráficas de deformación, esfuerzos, cantidad de energía absorbida, entre otros con la finalidad de detallar los resultados del comportamiento mecánico de una sección de la superestructura del autobús interprovincial marca Miral Infiniti en chasis Hino Ak sometida a volcadura.

### 3.2 Modalidad y tipo de la investigación.

#### 3.2.1 Modalidad de la investigación.

##### 3.2.1.1 Bibliográfica.

La investigación que se va a realizar es bibliográfica por qué se va a recurrir a información de varios libros, revistas, artículos, e Internet para obtener información referente al tema de investigación.

##### 3.2.1.2 Experimental.

Esta investigación es experimental porque se obtendrá información por medio de la simulación del comportamiento mecánico de la superestructura, se encuentra dirigida a modificar el estado natural de la sección de la superestructura, con el fin de describir y analizar lo que ocurriría en condiciones de vuelco.

#### 3.2.2 Niveles de la investigación.

##### 3.2.2.1 Descriptiva.

La presente investigación tiene la modalidad de estudio descriptiva pues trata de describir el fenómeno del comportamiento mecánico de la sección de la

superestructura del autobús sometida a volcadura para conservar el espacio de supervivencia.

#### 3.2.2.2 Asociación de variables.

El nivel de la investigación es de tipo de asociación de variables por qué se va a interpretar los datos de las variables ya mencionadas.

#### 3.2.2.3 Explicativo.

El estudio es explicativo porque los resultados obtenidos permitirán dar una explicación a Carrocerías Miral sobre las ventajas de estos tipos de ensayos para predecir la seguridad que tendrán los ocupantes del autobús en caso que sufra una volcadura.

## 3.3 Población y muestra.

### 3.3.1 Población.

La población en la presente investigación está conformada por diferentes modelos de autobuses destinados a:

-Servicio urbano.

-Servicio escolar.

-Servicio interprovincial.

Fabricados por Carrocerías Miral sobre chasises comercializados en Ecuador.

### 3.3.2 Muestra.

En el caso de esta investigación se selecciona una muestra direccionada al bus de servicio interprovincial Modelo Infiniti por ser el bus de mayor comercialización, y se estudiará la sección que contiene dos montantes (arcos) verticales idénticos de cada lado, representativos de la estructura del vehículo en vacío sometido al ensayo de vuelco según las condiciones descritos en el reglamento ECE 66.

### 3.4 Operalización de variables.

#### 3.4.1 Variable independiente.

Comportamiento mecánico de una sección de la superestructura del autobús interprovincial marca Miral Infiniti en chasis Hino Ak sometida a volcadura; mediante Ansys Ls-Dyna.

| CONCEPTUALIZACIÓN | CATEGORÍAS | INDICADORES | ÍNDICE | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS |
|---|---|---|---|---|
| Comportamiento de los cuerpos solidos que constituyen la sección de la superestructura del autobús en la situación de deformación elástica, plástica por acción del vuelco. Simulado atreves del método de elementos finitos siendo muy importante en este caso es que los elementos tengan el tamaño apropiado para que la aproximación resulte aceptable. | Resistencia mecánica del material utilizado en la superestructura | Límite de fluencia<br>Tensión máxima<br>Porcentaje de elongación | 210-290Mpa<br>400-600Mpa<br>>=20% | Ensayo de tracción<br>Formatos o fichas para toma de datos |
| | Calidad de malla | Aspecto Ratio | mayor a cero y menor a cinco | Simulación numérica |

### 3.4.2 Variable dependiente.

Espacio de supervivencia

| CONCEPTUALIZACIÓN | CATEGORÍAS | INDICADORES | ÍNDICE | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS |
|---|---|---|---|---|
| Se entenderá por espacio de supervivencia el espacio que ha de quedar en el compartimento, de los viajeros para que tengan más posibilidades de sobrevivir en caso de vuelco. | Deformación de la sección de la superestructura después del ensayo de vuelco | SEGURO | La deformación de la superestructura no invade el espacio de supervivencia requerido por el Reglamento número 66 de la comunidad Europea | Simulación del ensayo de vuelco en Ansys LS-DYNA<br>Observación directa |
| | | INSEGURO | La deformación de la superestructura invade el espacio de supervivencia requerido por el Reglamento número 66 de la comunidad Europea | Simulación del ensayo de vuelco en Ansys LS-DYNA<br>Observación directa |

## 3.5 Recolección de información.

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

### 3.5.1 Observación.

Para lo cual se tomó notas de todo lo que se consideró necesario, para describir y analizar los hechos de significación especial que ayudará a tener una base informativa suficiente.

### 3.5.2 Documental.

Para la recolección de información de libros, publicaciones, artículos, estudios, fichas técnicas y tabulaciones de datos resultado de la simulación de la volcadura de la sección de la estructura del autobús.

## 3.6 Procesamiento y análisis.

### 3.6.1 Procesamiento de la información recogida.

Los datos que se obtengan de los ensayos de las probetas del material que utiliza Miral Autobuses en la construcción de la superestructura se procesaran mediante:

-Tablas, Fichas de recolección de información y fotografías que permitirán la tabulación de los datos producto del ensayo de tracción del material utilizado por Miral Autobuses en la construcción de la superestructura.

-Representación de los resultados a través de curvas que permitan identificar las propiedades mecánicas del material que utiliza Miral Autobuses en la construcción de la superestructura.

-Análisis de la deformación de la sección de la superestructura con el área requerida en el Reglamento número 66 de la comunidad Europea.

### 3.6.2 Análisis e interpretación de resultados.

Se analizara los resultados de los ensayos preliminares del material que utiliza Miral Autobuses en la fabricación de la superestructura del autobús, datos que serán utilizados en Ansys Ls-Dyna para la simulación.

Se graficaran los resultados y se sacará las conclusiones y recomendaciones pertinentes para el análisis e interpretación de los resultados, con el objetivo de comprobación de la hipótesis.

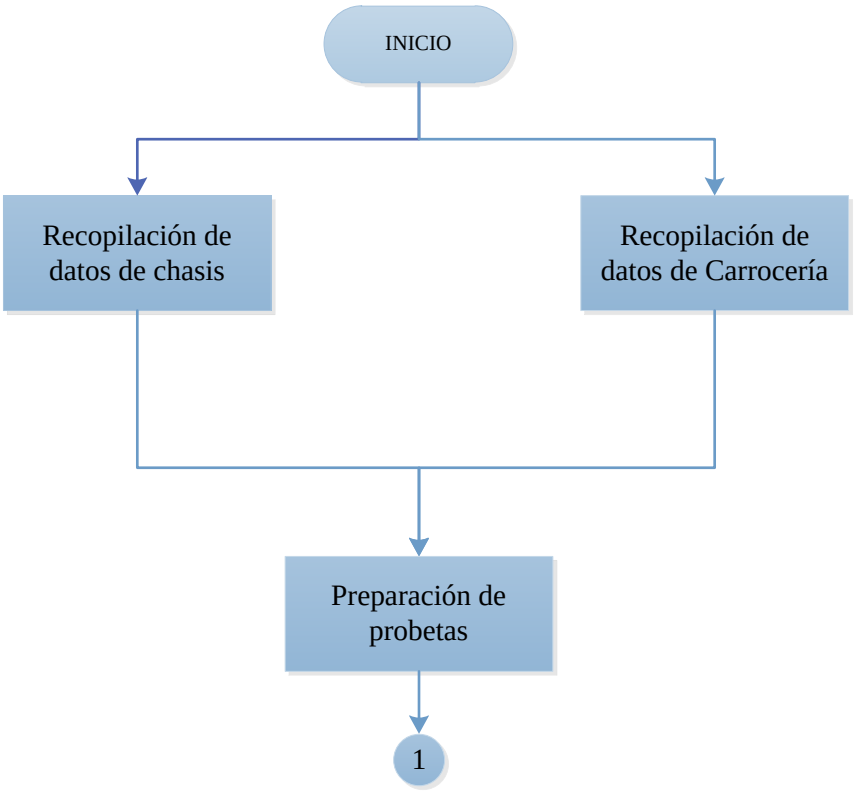
# CAPÍTULO IV

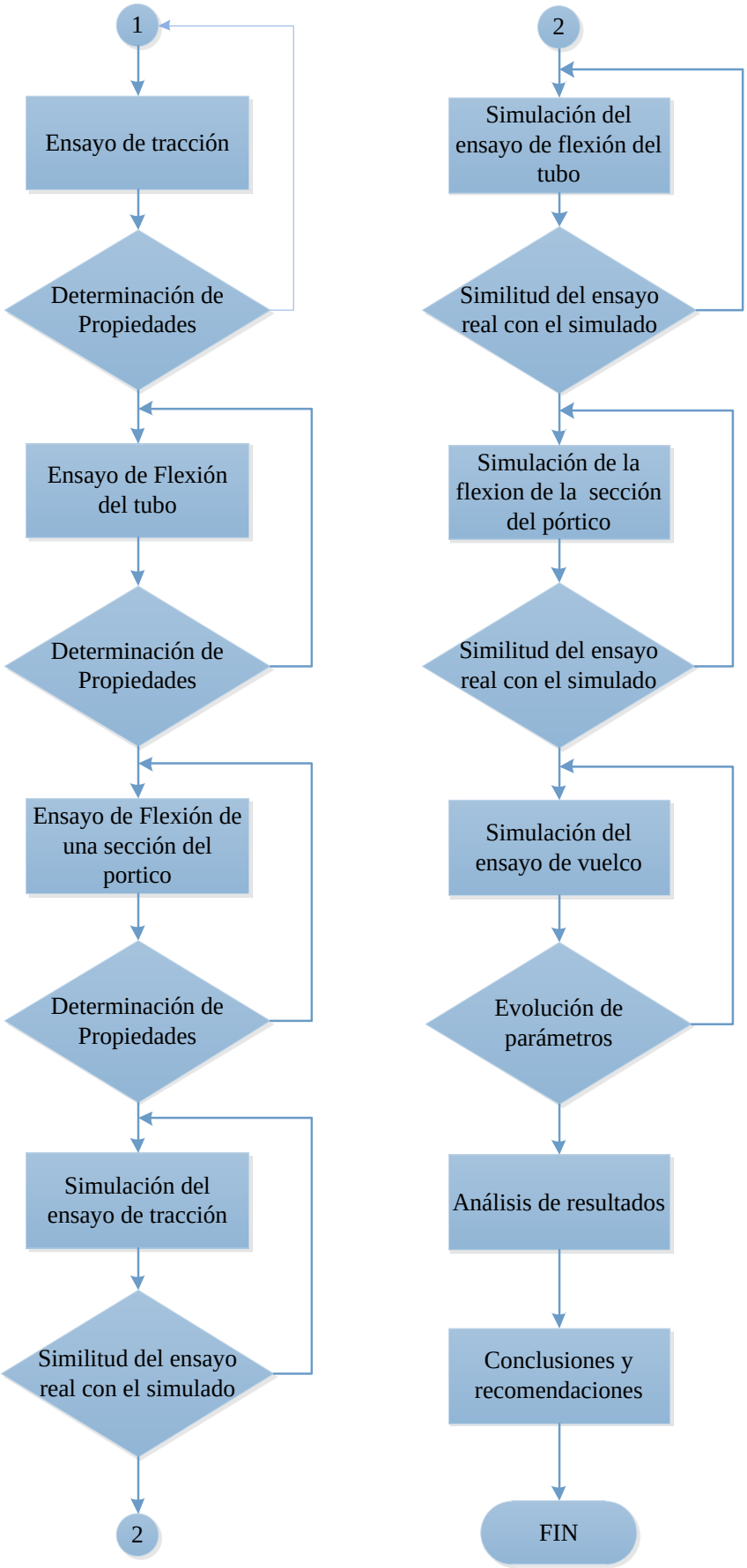
## 4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 Análisis de los resultados.

#### 4.1.1 Proceso propuesto para el análisis de resultados

El siguiente diagrama de flujo muestra el proceso de obtención de resultados el cual ha sido adaptado al 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.




1
Ensayo de tracción
Determinación de Propiedades
Ensayo de Flexión del tubo
Determinación de Propiedades
Ensayo de Flexión de una sección del portico
Determinación de Propiedades
Simulación del ensayo de tracción
Similitud del ensayo real con el simulado
2
2
Simulación del ensayo de flexión del tubo
Similitud del ensayo real con el simulado
Simulación de la flexion de la sección del pórtico
Similitud del ensayo real con el simulado
Simulación del ensayo de vuelco
Evolución de parámetros
Análisis de resultados
Conclusiones y recomendaciones
FIN

## 4.2 Recopilación de datos preliminares

Para el inicio del estudio se ha considerado importante conocer las características generales del autobús, así como también las características generales del chasis Hino Ak sobre el que fue montada la superestructura del autobús en estudio que se muestra en la Figura 4. 1.




Figura 4. 1 Autobús interprovincial marca Miral Infiniti en chasis Hino Ak (Fuente el autor)

### 4.2.1 Características del Chasis

El autobús en estudio está constituido de dos partes fundamentales el chasis y la carrocería que son acopladas para formar el autobús. Las características del chasis indispensable en el estudio se muestran en la Tabla 4. 1

Tabla 4. 1 Especificaciones del chasis

| Ítem | Valor | Unidad |
|---|---|---|
| Distancia entre ejes | 5800 | mm |
| Distancian entre centro de las ruedas delanteras (T1) | 2035 | mm |
| Distancian entre centro de las ruedas posteriores (T2) | 1840 | mm |
| Capacidad de carga eje delantero | 6500 | kg |
| Capacidad de carga eje posterior | 9200 | kg |
| Capacidad de carga llantas delanteras | 6000 | kg |
| Capacidad de carga llantas posteriores | 10900 | kg |
| Reacción del peso en el eje delantero | 2820 | kg |
| Reacción del peso en eje posterior | 1945 | kg |
| Peso total del chasis incluye agua, combustible y aceite | 4765 | kg |
| Altura del centro de gravedad desde el suelo | 744 | mm |
| Modelo de llanta | 11R22.5- | |
| Potencia del motor | 184 | kw |

(Fuente: HinoMotors (2010))

### 4.2.2 Materiales utilizado en la superestructura

La superestructura del autobús está constituida de varios elementos, de diferente geometría, y sección destinada a soportar las diferentes cargas que actúan sobre el autobús en su normal funcionamiento y en caso de un accidente

Figura 4. 2 .

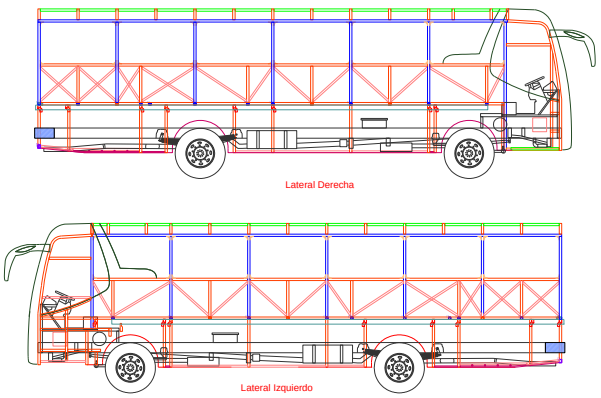



Figura 4. 2 Configuración de la estructura de Autobús interprovincial marca Miral Infiniti en chasis Hino Ak (Fuente Miral-Autobuses)

La lista general de materiales utilizados para la fabricación de la superestructura está indicados en la Tabla 4. 2

Tabla 4. 2 Lista de materiales que se utilizó en la fabricación del autobús

| PARTE | DESCRIPCIÓN | TIPO DE ACERO | APLICACIÓN |
|---|---|---|---|
| **Anclaje** | Doble L de 70x80x6 mm | ASTM A36 | Unión de carrocería - chasis |
| | Tubo 100x50x3 mm | ASTM A36 | Tubo de anclaje |
| | Tubo de 80x40x3 mm | ASTM A500 | Estabilizadores |
| **Piso** | Tubo de 50x50x3 mm | ASTM A500 | Durmientes transversales principales |
| | Tubo de 50x50x2 mm | ASTM A500 | Durmientes entre pórticos |
| | U 50x025x2 mm | ASTM A36 | Tejido longitudinal del piso |
| **Laterales** | Tubo de 50x50x3 mm | ASTM A500 | Pórtico principal de la estructura |
| | Tubo de 50x50x2 mm | ASTM A500 | Marco de puerta |
| | Tubo de 40x40x2 mm | ASTM A500 | Armado de la estructura rígida |
| | U 50x25x2 mm | ASTM A36 | Refuerzos y base de pegado |
| | Tubo de 50x50x2 mm | ASTM A500 | Refuerzos intermedios |
| | Perfil tipo C | ASTM A36 | Zócalo |
| **Techo** | Tubo de 50x50x2 mm | ASTM A500 | Tubo principal del pórtico |
| | Z de 45x50x35x2 mm | ASTM A36 | Largueros de techo |
| | Tubo de 50x50x2 mm | ASTM A500 | Intermedios entre pórticos |
| **Frontal** | Tubo de 25x25x 2 mm | ASTM A500 | Tejido frontal |
| | Tubo de 50x25x2 mm | ASTM A500 | Travesaño del tejido frontal |
| | Tubo de 40x40x2 mm | ASTM A500 | Estructura principal |
| | Tubo de 50x50x2 mm | ASTM A500 | Pórtico delantero |
| | Tubo de 70x50x3 mm | ASTM A36 | Estructura X |
| | Tubo de 60x40x3 mm | ASTM A500 | Estabilizadores de estructura X |
| | Tubo de 70x50x3 mm | ASTM A500 | Soporte de estructura X |
| | Tubo de 50x50x3 mm | ASTM A500 | Travesaño superior de X |
| | Tubo de 50x25x2 mm | ASTM A500 | Refuerzo y divisor de parabrisas |
| **Respaldo** | Tubo de 25x25x 2 mm | ASTM A500 | Tejido respaldo |
| | Tubo de 40x40x2 mm | ASTM A500 | Estructura principal |

(Fuente el Autor)

### 4.2.3 Dimensiones generales de la carrocería

Las dimensiones de la carrocería montada sobre el chasis Hino Ak se indican en la Tabla 4. 3. Estas dimensiones se tomaron del autobús terminado en condiciones de funcionamiento y corresponden a las de la Figura 4. 3

Tabla 4. 3 Dimensiones generales de la carrocería

| Ítem | Valor | Unidad |
|---|---|---|
| Distancia entre ejes | 5800 | mm |
| Voladizo delantero | 2290 | mm |
| Voladizo posterior | 3800 | mm |
| Ancho total | 2560 | mm |
| Altura total | 3700 | mm |
| Altura interior en el pasillo | 1970 | mm |
| Peso de carrocería | 6235 | kg |
| Peso de chasis | 4765 | kg |

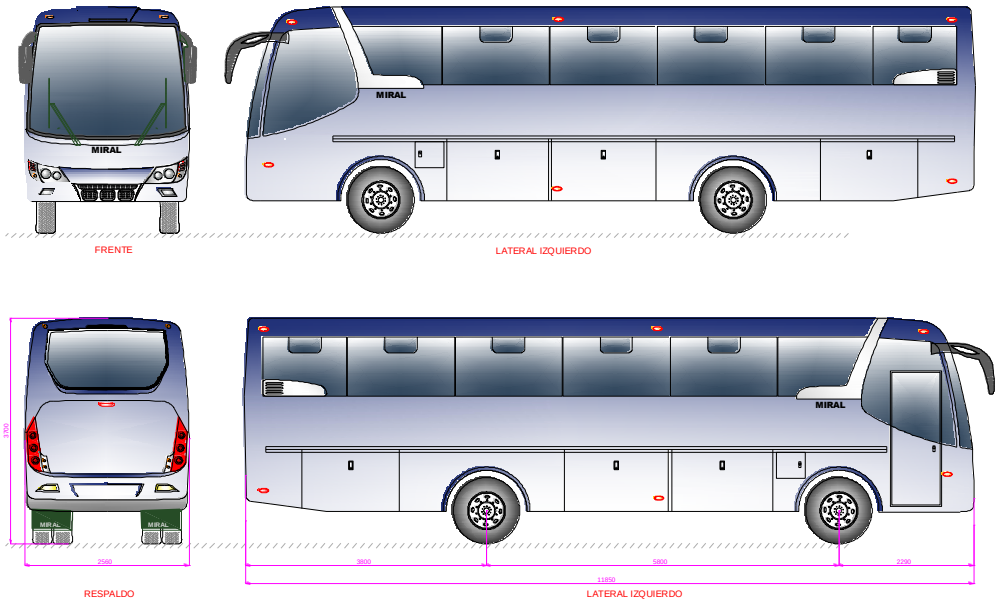



Figura 4. 3 Dimensiones generales del autobús (Fuente: Miral Autobuses)

### 4.2.4 Capacidad de carga del autobús

El autobús del presente estudio tiene una capacidad para transportar 43 pasajeros. Según la regulación nacional de transporte de pasajeros para el servicio interprovincial no es permitido transportar pasajero de pie, el peso estimado por pasajero es 70 Kg, también se considera un peso de 5Kg de equipaje de mano (INEN1323, 2009) Anexo B4

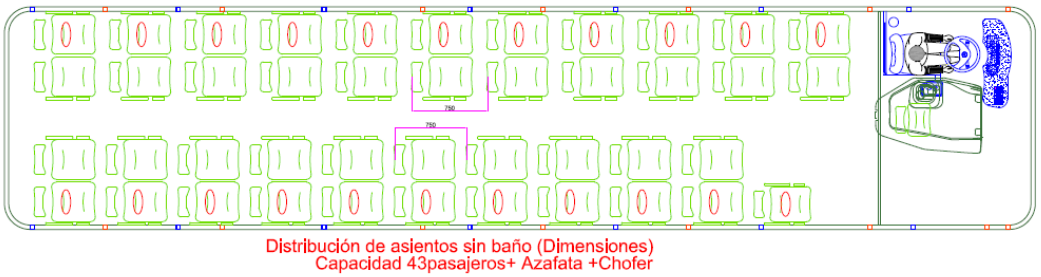



Figura 4. 4 Distribución de asientos (Fuente Miral Autobuses)

Se debe también considerar que el autobús tiene un volumen de cajuelas equivalente al 0,1 m3 por cada pasajero lo que corresponde un volumen de carga de 4.3$m^3$ equivalente a 430Kg (INEN1323, 2009) de carga adicional por equipaje en cajuelas todo este equipaje será contenido en el bus en la parte inferior, este equipaje no comprende el equipaje de mano.

### 4.2.5 Determinación de la distribución de masas en los puntos de apoyo en del autobús Hino Ak con carrocería Miral Modelo Infiniti.

La distribución de pesos en vacío que es soportado en cada uno de los neumáticos que se consideran puntos de apoyo del autobús fabricado en chasis marca Hino Ak y con carrocería Modelo Infiniti de la cooperativa Santo Domingo, se realizó en las instalaciones de BIOALIMENTAR en la balanza que se muestra en la Figura 4. 5 utilizada para la recepción y despacho de productos destinados a la alimentación de animales domésticos.




Figura 4. 5 Medición de la reacción en cada neumático (Fuente: El Autor)

En la balanza se midió la cantidad de peso que soporta el neumático delantero izquierdo, neumático delantero derecho, los neumáticos posteriores Izquierdos, los neumáticos posteriores derechos, los resultados de estas mediciones se muestran en la tabla 4.1 (Ver anexo D4)

Tabla 4. 4Obtención de la distribución de peso del Autobuses

| Descripción | Reacción (Kg) |
|---|---|
| Neumático delantero izquierdo (P1) | 2820 |
| Neumático delantero derecho (P2) | 2510 |
| Neumáticos posteriores izquierdo(P3) | 2890 |
| Neumáticos posteriores derecho(P4) | 2780 |

(Fuente el Autor)

Con los datos obtenidos Calculamos el peso total del bus

$$P_{total} = P1 + P2 + P3 + P4 \qquad (4.\ 1)$$

Donde:

P1 = reacción de la carga bajo la rueda izquierda del primer eje.

P2 = reacción de la carga bajo la rueda derecha del primer eje.

P3 = reacción de la carga bajo las ruedas izquierdas del segundo eje.

P4 = reacción de la carga bajo las ruedas derechas del segundo eje.

$P_{total}$= Peso total del autobús.

Remplazando valores se obtiene:

$$P_{total} = (2820 + 2510 + 2890 + 2780)Kg$$

$$P_{total} = 11000Kg$$

### 4.2.6 Cálculo de la ubicación del centro de gravedad real del autobús

La posición del centro de gravedad del vehículo se determinará en condición de masa en orden de marcha(Reglamento_n°_66_(CEPE/ONU), 2007). Se entenderá por masa en orden de marcha la masa del vehículo, sin ocupantes ni carga, la masa del combustible correspondiente al 90 % de la capacidad del depósito especificada por el fabricante y en su caso, la masa del refrigerante, el lubrificante, las herramientas y la rueda de repuesto.

#### 4.2.6.1 Posición longitudinal del centro de gravedad

La posición longitudinal del centro de gravedad se determinará en relación con el centro del punto de contacto de las ruedas frontales véase la Figura 4.6.

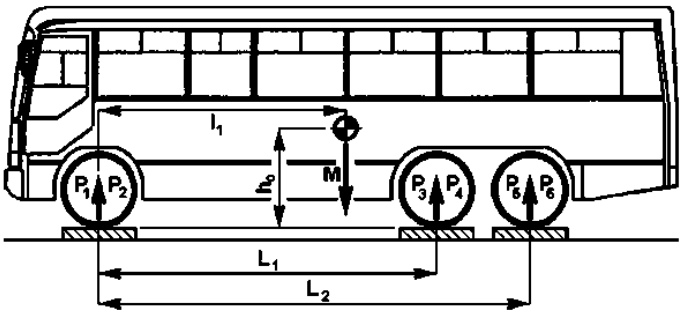



Figura 4.6 Posición longitudinal del centro de gravedad (Fuente: Reglamento_n°_66_(CEPE/ONU) (2007))

La posición longitudinal ($l1$) del centro de gravedad se determina con la siguiente ecuación:

$$l1 = \frac{(P3+P4)*L1}{P_{total}} \quad (4.\ 2)$$

Donde:

l1 = posición longitudinal del centro de gravedad ver Figura 4.6.

L1= distancia entre ejes del autobús.

l1= es la posición del centro de gravedad en la posición longitudinal.

Remplazando valores se obtiene:

$$l1 = \frac{(2890 + 2780)Kg * 5800mm}{11000Kg}$$

$$l1 = 2989.63mm \cong 2990mm$$

#### 4.2.6.2 Posición transversal del centro de gravedad

La posición transversal (t) del centro de gravedad del vehículo en relación con su plano central longitudinal vertical véase la Figura 4. 7

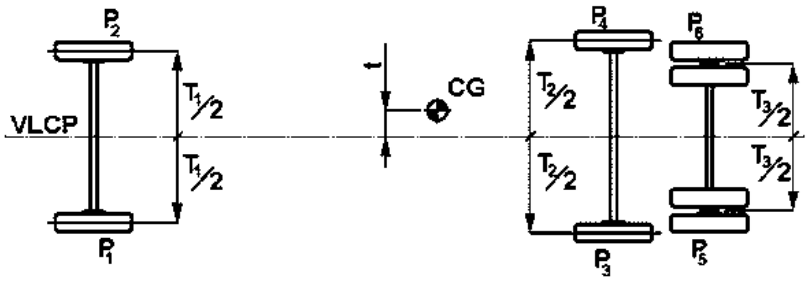



Figura 4. 7 Posición transversal del centro de gravedad (Fuente: Reglamento_n°_66_(CEPE/ONU) (2007))

Se determina con la siguiente ecuación:

$$t = \left((P1 - P2)\frac{T1}{2} + (P3 - P4)\frac{T2}{2}\right) * \frac{1}{P_{total}} \quad (4.\ 3)$$

Donde:

t = posición transversal del centro de gravedad ver Figura 4. 7.

T1 = la distancia entre los centros de la rueda a cada extremo del primer eje.

T2 = la distancia entre los centros de la rueda a cada extremo del segundo eje.

Remplazando los valores en la Ecuación 4.3

$$t = \left((2820 - 2510)Kg\frac{2020mm}{2} + (2890 - 2780)Kg\frac{1820mm}{2}\right) * \frac{1}{11000Kg}$$

$$t = 37.56mm$$

Este resultado indica que el centro de gravedad del bus en la posición transversal se encuentra desplazado para el extremo izquierdo del autobús bus como se muestra en la Figura 4. 7, si el valor de (t) es negativo, el centro de gravedad del vehículo está situado a la derecha de la línea central del vehículo (Reglamento_n°_66_(CEPE/ONU))

#### 4.2.6.3 Altura del transversal del centro de gravedad

La altura del centro de gravedad (h0) se determinará basculando el vehículo en sentido longitudinal y midiendo la carga en los dos ejes como se muestra en la

Figura 4. 8:

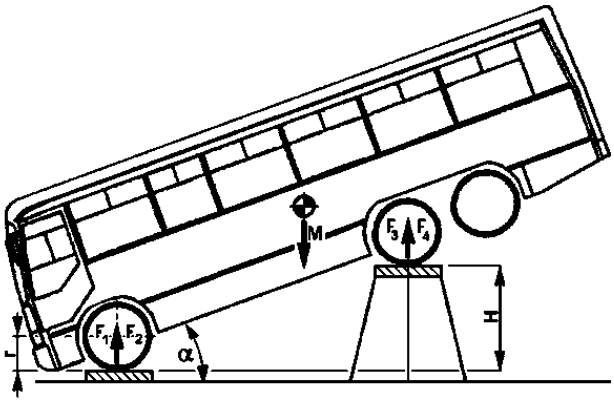



Figura 4. 8 Altura del centro de gravedad (Fuente: Reglamento_n°_66_(CEPE/ONU) (2007))

Se debe determinar la reacción del autobús en las llantas delanteras para lo cual es levantando el eje posterior hasta una altura de 200 mm (Reglamento_n°_66_(CEPE/ONU), 2007), y se midió en la balanza cual es el peso que está soportando los neumáticos delanteros, como se muestra en Figura 4. 9




Figura 4. 9 Medición del centro la reacción del peso en el eje delantero (Fuente: El Autor)

El ángulo de inclinación del ensayo de basculamiento se determinará mediante la ecuación

$$\alpha = arsin\left(\frac{H}{L1}\right) \quad (4.\ 4)$$

Donde:

H = la diferencia de altura entre los dibujos de las ruedas del primer y segundo eje.

$\alpha =$ Angulo formado entre el plano horizontal y la línea horizontal que se forma entre el eje delantero y posterior.

$$\alpha = arsin\left(\frac{200}{5800}\right)$$

$$\alpha = 20{,}17°$$

Verificamos la masa del vehículo de acuerdo a la siguiente ecuación

$$F_{total} = F1 + F2 + F3 + F4 \quad (4.\ 5)$$

Donde:

F1 = reacción de la carga bajo la rueda izquierda del primer eje.

F2 = reacción de la carga bajo la rueda derecha del primer eje.

F3 = reacción de la carga bajo las ruedas izquierdas del segundo eje.

F4 = reacción de la carga bajo las ruedas derechas del segundo eje.

$F_{total}$= Peso total del autobús = Ptotal.

Los datos obtenidos de la medición se muestran en la Tabla 4.5

Tabla 4.5 Obtención de la distribución de peso del Autobuses en posición de basculamiento

| Descripción | Reacción (Kg) |
|---|---|
| Neumático delantero izquierdo más neumático delantero derecho (F1+F2) | 6000 |
| Neumáticos posteriores izquierdos más neumáticos posteriores derechos (F3+F4) | 5000 |

$$F_{total} = 6000Kg + 5000Kg$$

$$F_{total} = 11000Kg$$

La altura del centro de gravedad del vehículo viene dada por:

$$h0 = r + \left(\frac{1}{tg\alpha}\right)\left(l1 - L1\frac{F3+F4}{Ptotal}\right) \quad (4.\ 6)$$

Donde:

r = la altura del centro de la rueda en el eje delantero por encima de la superficie de la balanza.

$$h0 = 500mm + \left(\frac{1}{tg\ 20{,}17}\right)\left(2989.63mm - 5800mm\frac{5000Kg}{11000Kg}\right)$$

$$h0 = 1461{,}7mm$$

La Figura 4. 10 muestra la ubicación real del centro de gravedad total del bus

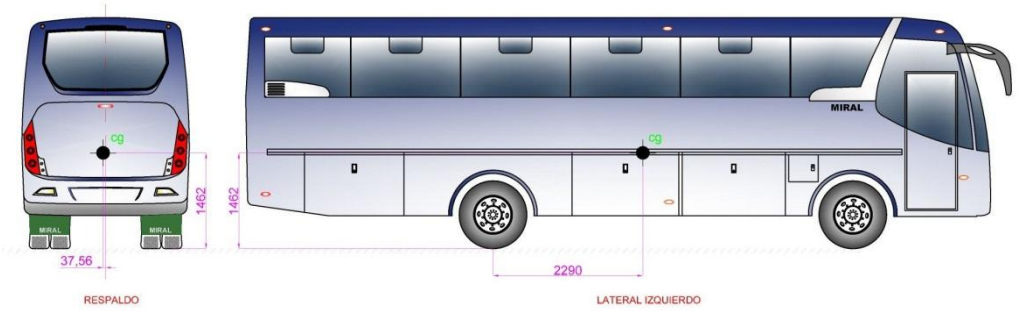



Figura 4. 10Ubicación del centro de gravedad (Fuente: El Autor)

### 4.2.7 Distribución de masa por sección del superestructura del autobús

En la Figura 4.11 se muestra la configuración general de la superestructura del autobús, en esta estructura está constituida por 8 pórticos que de acuerdo a Miral Autobuses son los que contribuyen a la resistencia y a la capacidad de absorción del impacto en el ensayo de la superestructura.

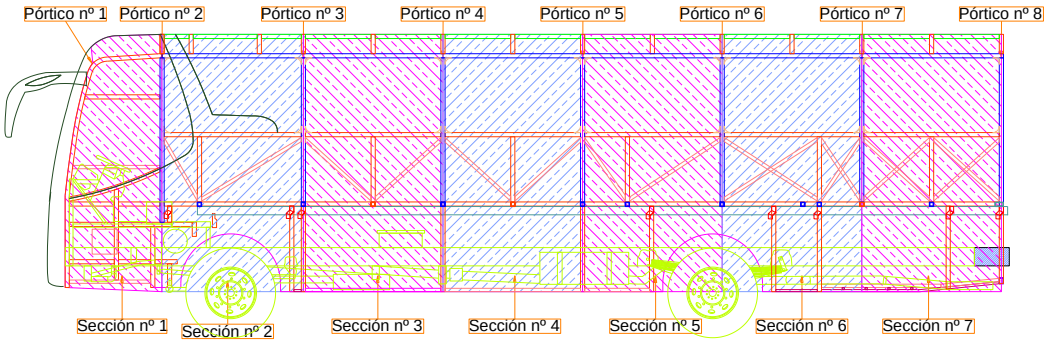



Figura 4.11 Secciones y pórticos que conforma la superestructura del autobús (Fuente: El autor)

Para la obtención de la distribución de masa se asume que la superestructura del autobús es una viga con dos apoyos que corresponde al eje delantero y posterior del autobús, la viga tendrá una longitud que resulta de la suma del voladizo delantero, distancia entre ejes, y voladizo posterior, en este cálculo no se toma en cuenta el frente y respaldo ya que se considera que no aporten significativamente a

la resistencia de la superestructura en el ensayo de vuelco, en la Figura 4. 12 se muestra las dimensiones de los voladizos y cargas y reacciones obtenidos en 4.1.1.2

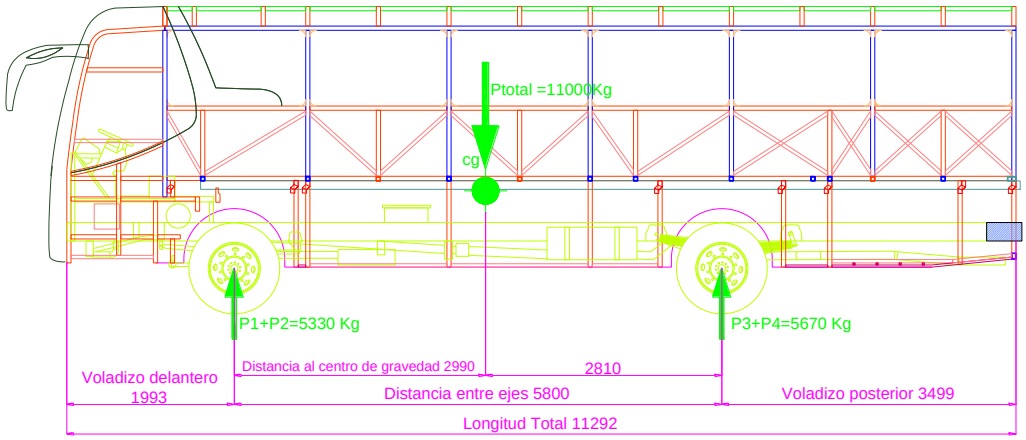



Figura 4. 12 Distribución y ubicación de cargas en el autobús (Fuente: El Autor)

Las cargas aplicadas al autobús se muestran en la Figura 4. 13. Es necesario convertir las cargas puntales que se tiene en la viga en cargas distribuidas que nos servirá para conocer cuál es la cantidad de masa que debe soportar cada una de las secciones de la superestructura en todo el autobús sin modificar la posición del autobús.

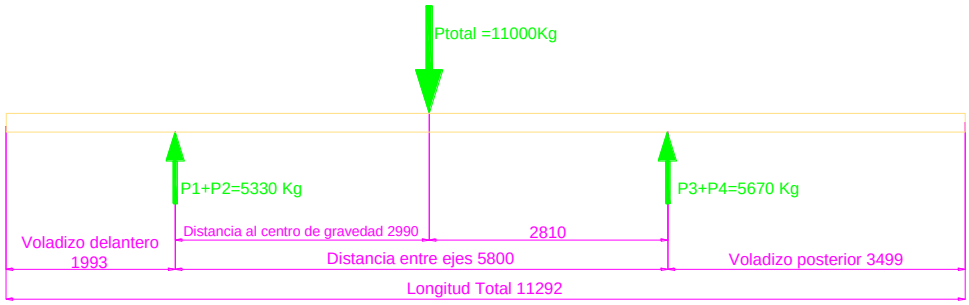



Figura 4. 13 Cargas aplicadas sobre el chasis (Fuente: El Autor)

La sumatoria de momentos en el punto 0 que se indica en la Figura 4. 14 muestra cual es la ubicación de las cargas actuantes en el autobús en forma distribuida.

$$\sum MO = 0 \qquad (4.\ 7)$$

$$(P1 + P2) * Vd + (P3 + P4) * (Vd + De) - Pud * \frac{(Vd + De + Vp)}{2} - Pid * \frac{(Vd + De + Vp)}{3} = 0$$

Donde

Vd = Distancia del voladizo delantero.

De = Distancia entre ejes.

Vp = Distancia del voladizo tomado desde el posterior desde el eje posterior.

Pud = Carga uniformemente distribuida en toda la longitud del autobús.

Pid = Carga distribuida triangular en tola la longitud del autobús.

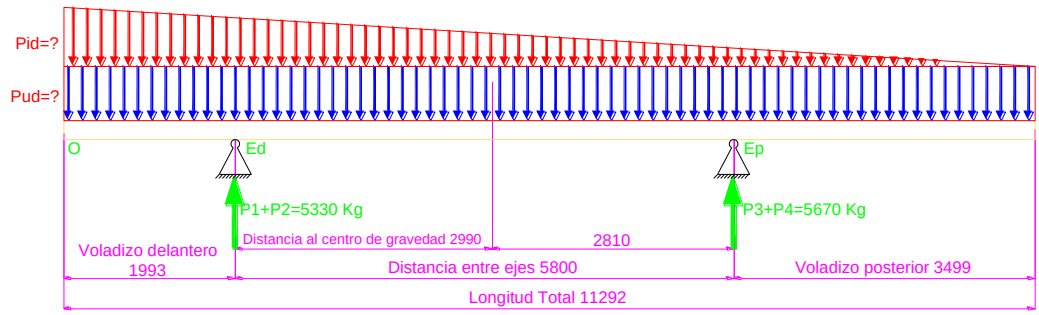



Figura 4. 14 Punto tomado como origen para la sumatoria de momentos (Fuente: El Autor)

$$(5330Kg * 1993mm) + (5670Kg * 7793mm) - (Pud * 5646mm) - (Pid * 3764mm) = 0$$

$$(Pud * 5646mm) + (Pid * 3764mm) = 54809000Kg * mm$$

$$(Pud * 5646mm) + (Pid * 3764mm) = 54809000Kg * mm \quad (4.\ 8)$$

$$\sum Fy = 0 \quad (4.\ 9)$$

$$(Pid + Pud) = (P1 + P2) + (P3 + P4) \quad (4.\ 10)$$

$$(Pid + Pud) = 11000Kg \quad (4.\ 11)$$

$$Pid = 11000Kg - Pud \quad (4.\ 12)$$

Remplazando (4.12) en (4.8)

$$(Pud * 5646mm) + [(11000Kg - Pud) * 3764mm] = 54809000Kg * mm$$

$$Pud = 7122.74Kg$$

Transformamos a carga uniformemente distribuida

$$Pud = \frac{7122.74Kg}{11292mm}$$

$$Pud = 0{,}6037\frac{Kg}{mm}$$

Remplazando en (4.12) el valor de Pud

$$Pid = 3877{,}2582Kg$$

Transformamos a carga distribuida de forma triangular

$$Pid = \frac{3877{,}2582Kg}{11292mm} * 2 \ \ para\ una\ distancia = 0$$

$$Pid = 0{,}6867\frac{Kg}{mm} \ \ para\ una\ distancia = 0$$

$$Pid = 0\frac{Kg}{mm} \ \ para\ una\ distancia = 11292$$

En la Figura 4. 15 se muestra como se distribuye las cargas en el autobús, se observa una concentración de cargas en la parte delantera del autobús, y es debido a la ubicación del motor y caja de cambios que se ubica en la parte delantera del autobús.

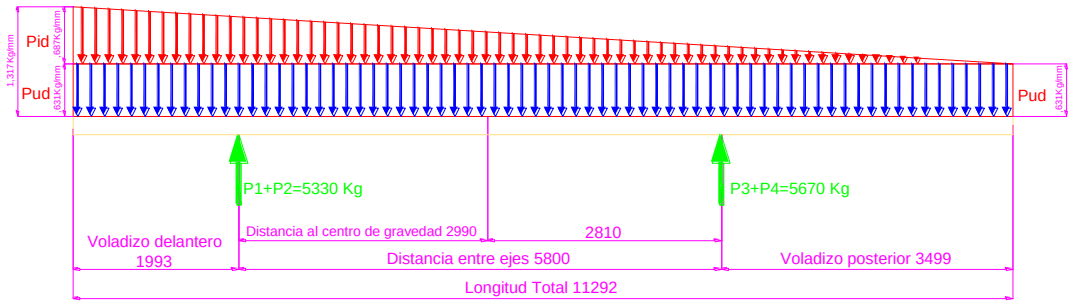



Figura 4. 15 Distribución de cargas en la superestructura del bus (Fuente: El Autor)

La distribución de masa en el autobús se realiza de acuerdo a lo indicado en Figura 4.11 resultado de este análisis se tiene cuál de las secciones de la superestructura del autobús debe absorber más energía en el caso se sufrir un vuelco.

Para obtener la carga que debe soporta cada sección se calcula el área de la carga distribuida como se muestra en la Figura 4. 16

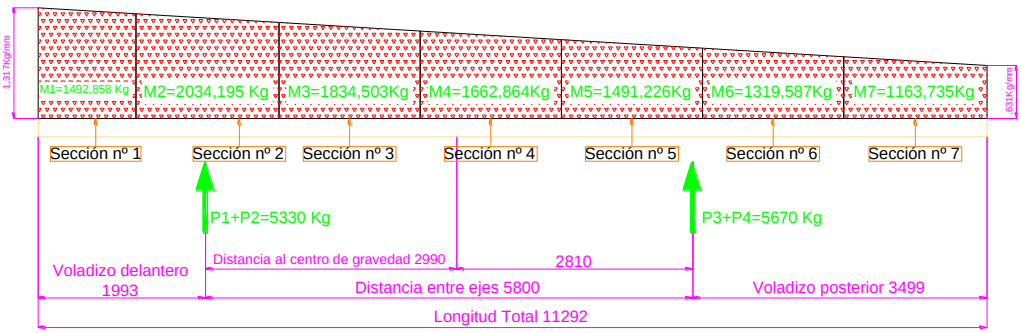



Figura 4. 16 Valor de cargas que debe soportar cada sección de la superestructura del autobús (Fuente: El Autor)

Tabla 4.6 Distribución de peso del Autobuses por cada sección

| Descripción | Carga a soportar (Kg) |
|---|---|
| Sección 1 | 1492.858 |
| Sección 2 | 2034.195 |
| Sección 3 | 1834.503 |

| | |
|---|---|
| Sección 4 | 1662.864 |
| Sección 5 | 1491.226 |
| Sección 6 | 1319.587 |
| Sección 7 | 1163.735 |

Resultado del análisis se obtuvo que la sección numero dos con una carga de 2034.195Kg es la tiene mayor solicitud de resistencia en el caso de vuelco. Con estos antecedentes se selecciona esta sección para realizará el ensayo de vuelco.

### 4.2.8 Delimitación del espacio de supervivencia

El espacio de supervivencia acuerdo con el Reglamento n°66 CEPE/ONU, Homologación de vehículos de gran capacidad para el transporte de personas respecto a la resistencia mecánica de su superestructura, define el perímetro del espacio de supervivencia del vehículo se determinará creando en el interior del vehículo mostrado en la Figura 4. 17. El punto $S_r$ estará situado en el respaldo de cada asiento exterior orientado 200mm hacia adelante o hacia atrás y a 150 mm de la superficie interior de la pared lateral.

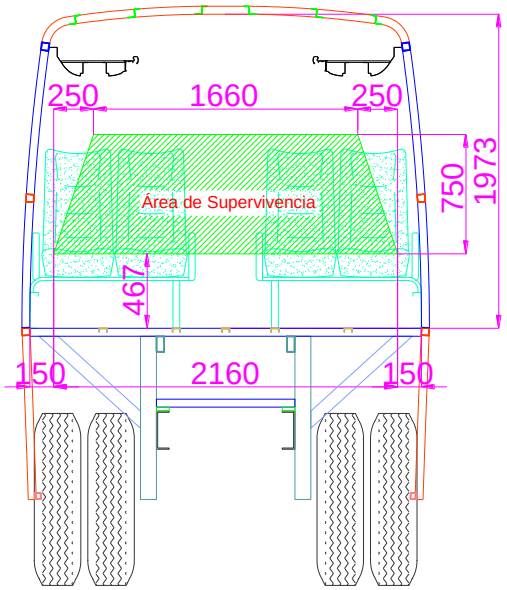



Figura 4. 17 Área de Supervivencia en la sección transversal (Fuente: El Autor)

El área de supervivencia visto longitudinalmente atreves del bus inicia 600mm hacia adelante del Punto $S_r$ del asiento de chofer, la altura del espacio de supervivencias inicia en el punto $S_r$ del asiento de pasajeros hasta una altura de 750mm hacia arriba de este punto, y se extiende hasta la última fila 200mm hacia atrás del punto $S_r$ del ultimo asiento como se muestra en la Figura 4. 18

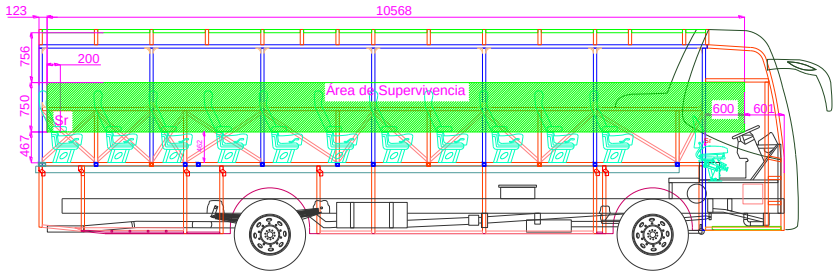



Figura 4. 18 Área de supervivencia en la sección longitudinal (Fuente: El Autor)

## 4.3 Ensayos preliminares.

### 4.3.1 Ensayo de tracción del material utilizado en la superestructura

El material utilizado para la construcción de la superestructura del autobús es un acero estructural ASTM A 500 (ver anexo A1), las probetas para el ensayo de tracción se extrajeron de tubos rectangulares de 60mm de lado por 40mm de lado y de un espesor de 2 mm, en la obtención de estas probeta se siguió las recomendaciones que se indican en la norma europea EN ISO 307 Anexo B1.

Las dimensiones de la probeta se realizaron de acuerdo la norma NTE INEN 109:2009 “ENSAYO DE TRACCIÓN PARA MATERIALES METÁLICOS A TEMPERATURA AMBIENTE” Anexo B2

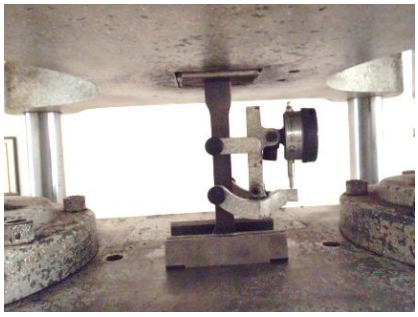


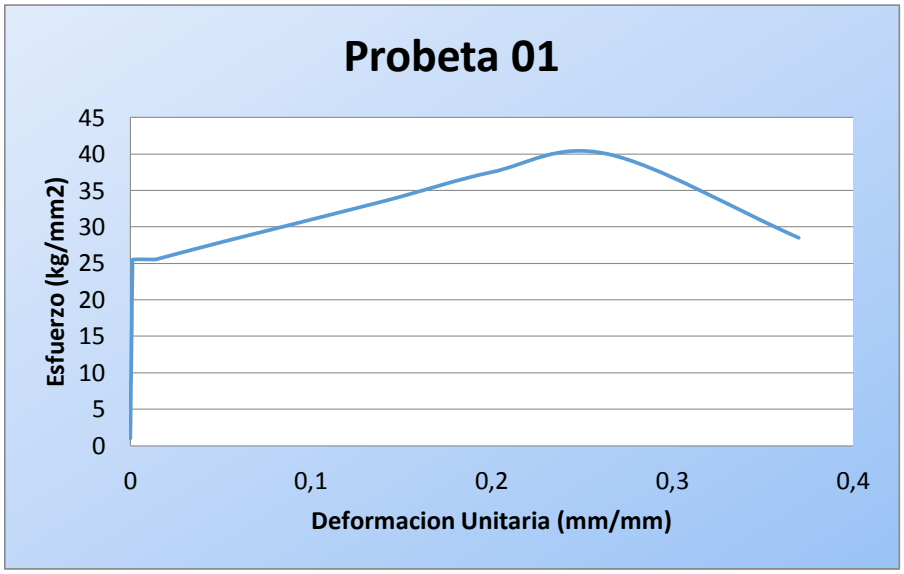
Figura 4. 19 Ensayo de tracción (Fuente: El Autor)

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

# ENSAYO DE TRACCIÓN (Anexo D1)

| | | | |
|---|---|---|---|
| Probeta Nº | 1 | Muestra de: | De tubo 60x40x2 |
| Normas Aplicables | NTE INEN 109:2009 y EN ISO 377 Anexo B1 Anexo B2 | | |
| Lugar del ensayo | Laboratorio de Resistencia de materiales de FIM ESPOCH | | |
| Fecha de ejecución | 30-01-2013 | Realizado por | Ing. César Arroba |
| | | Revisado por | Ing. Aníbal Viñan |
| Espesor: | 2mm | Longitud calibrada | 120mm (Anexo E1) |
| Ancho: | 20mm | | |

**RESULTADOS DEL ENSAYO:**




**RESULTADOS REGISTRADOS (Anexo D1)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Carga máxima | 1610Kg | Longitud Inicial | 50mm |
| Longitud Final | 68,5 | Deformación ultima | 18,5mm |
| Área inicial | 40 $mm^2$ | | |

**RESULTADOS CALCULADOS(Anexo D1)**

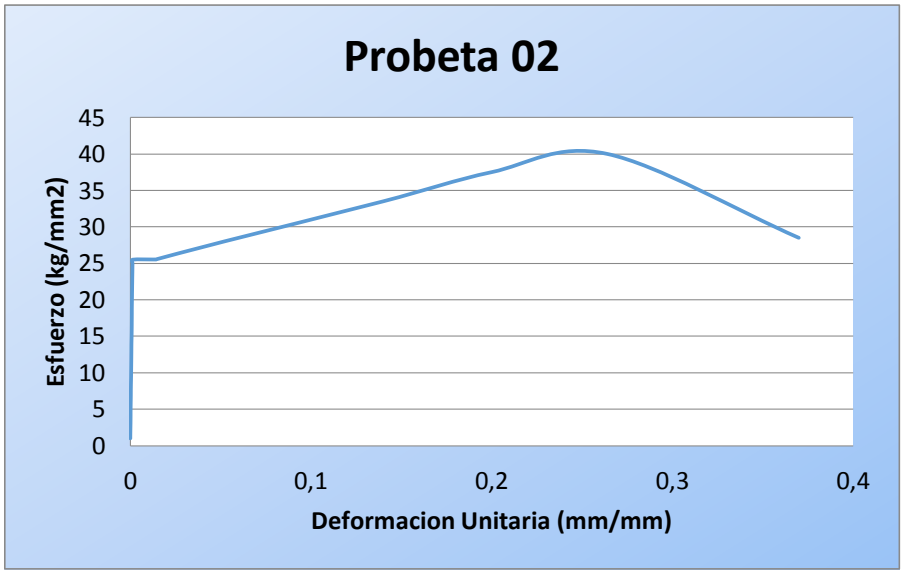
| | | | |
|---|---|---|---|
| Resistencia a la Tracción (Sut) | 40 $Kg/mm^2$ | Resistencia a la Cadencia (Sy): | 25,54$Kg/mm^2$ |
| % de elongación | 26.40% | Módulo de elasticidad | 21000. $Kg/mm^2$ |

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

# ENSAYO DE TRACCIÓN (Anexo D1)

| | | | |
|---|---|---|---|
| Probeta Nº | 2 | Muestra de: | De tubo 60x40x2 |
| Normas Aplicables | NTE INEN 109:2009 y EN ISO 377 Anexo B1 Anexo B2 | | |
| Lugar del ensayo | Laboratorio de Resistencia de materiales de FIM ESPOCH | | |
| Fecha de ejecución | 30-01-2013 | Realizado por | Ing. César Arroba |
| | | Revisado por | Ing. Aníbal Viñan |
| Espesor: | 2mm | Longitud calibrada | 120mm (Anexo E1) |
| Ancho: | 20mm | | |

**RESULTADOS DEL ENSAYO:**




**RESULTADOS REGISTRADOS (Anexo D1)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Carga máxima | 1610Kg | Longitud Inicial | 50mm |
| Longitud Final | 68,75 | Deformación ultima | 18,75mm |
| Área inicial | 40 $mm^2$ | | |

**RESULTADOS CALCULADOS(Anexo D1)**

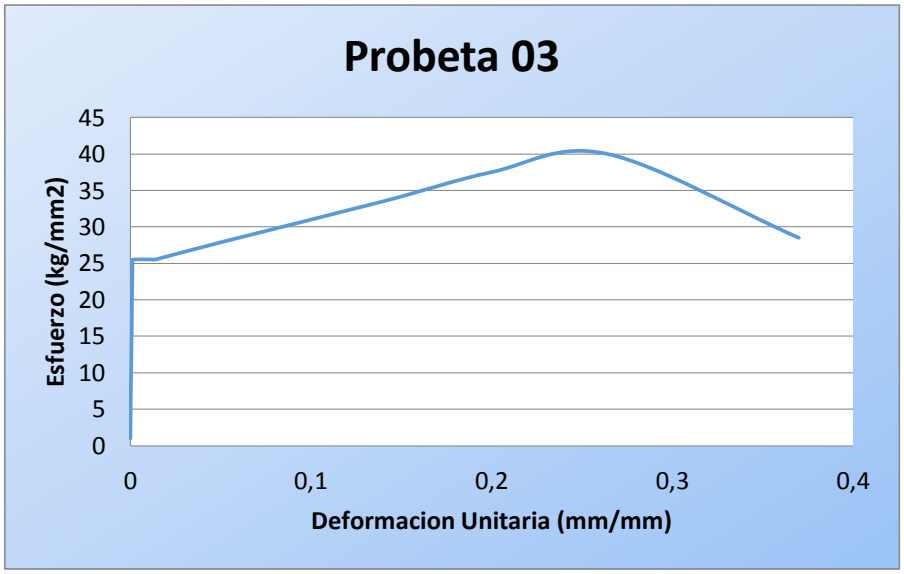
| | | | |
|---|---|---|---|
| Resistencia a la Tracción (Sut) | 40 $Kg/mm^2$ | Resistencia a la Cadencia (Sy): | 25,54$Kg/mm^2$ |
| % de elongación | 26.40% | Módulo de elasticidad | 21000. $Kg/mm^2$ |

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

# ENSAYO DE TRACCIÓN (Anexo D1)

| | | | |
|---|---|---|---|
| Probeta Nº | 3 | Muestra de: | De tubo 60x40x2 |
| Normas Aplicables | NTE INEN 109:2009 y EN ISO 377 Anexo B1 Anexo B2 | | |
| Lugar del ensayo | Laboratorio de Resistencia de materiales de FIM ESPOCH | | |
| Fecha de ejecución | 30-01-2013 | Realizado por | Ing. César Arroba |
| | | Revisado por | Ing. Aníbal Viñan |
| Espesor: | 2mm | Longitud calibrada | 120mm (Anexo E1) |
| Ancho: | 20mm | | |

**RESULTADOS DEL ENSAYO:**




**RESULTADOS REGISTRADOS (Anexo D1)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Carga máxima | 1610Kg | Longitud Inicial | 50mm |
| Longitud Final | 68,5 | Deformación ultima | 19.0mm |
| Área inicial | 40 $mm^2$ | | |

**RESULTADOS CALCULADOS(Anexo D1)**

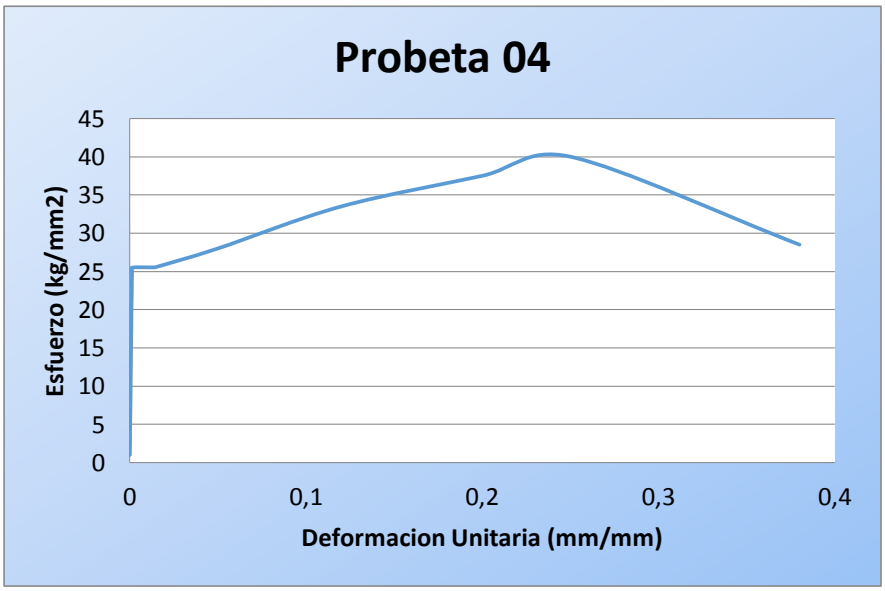
| | | | |
|---|---|---|---|
| Resistencia a la Tracción (Sut) | 40 $Kg/mm^2$ | Resistencia a la Cadencia (Sy): | 25,54$Kg/mm^2$ |
| % de elongación | 26.40% | Módulo de elasticidad | 21000. $Kg/mm^2$ |

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

# ENSAYO DE TRACCIÓN

| | | | |
|---|---|---|---|
| Probeta Nº | 4 | Muestra de: | De tubo 60x40x2 |
| Normas Aplicables | NTE INEN 109:2009 y EN ISO 377 | | |
| Lugar del ensayo | Laboratorio de Resistencia de materiales deFIM ESPOCH | | |
| Fecha de ejecución | 30-01-2013 | Realizado por | Ing. César Arroba |
| | | Revisado por | Ing. Aníbal Viñan |
| Espesor: | 2mm | Longitud calibrada | 120mm(Anexo E1) |
| Ancho: | 20mm | | |

**RESULTADOS DEL ENSAYO:**




**RESULTADOS REGISTRADOS (Anexo D1)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Carga máxima | 1615Kg | Longitud Inicial | 50mm |
| Longitud Final | 68,5 | Deformación ultima | 18,0mm |
| Área inicial | 40 $mm^2$ | | |

**RESULTADOS CALCULADOS(Anexo D1)**

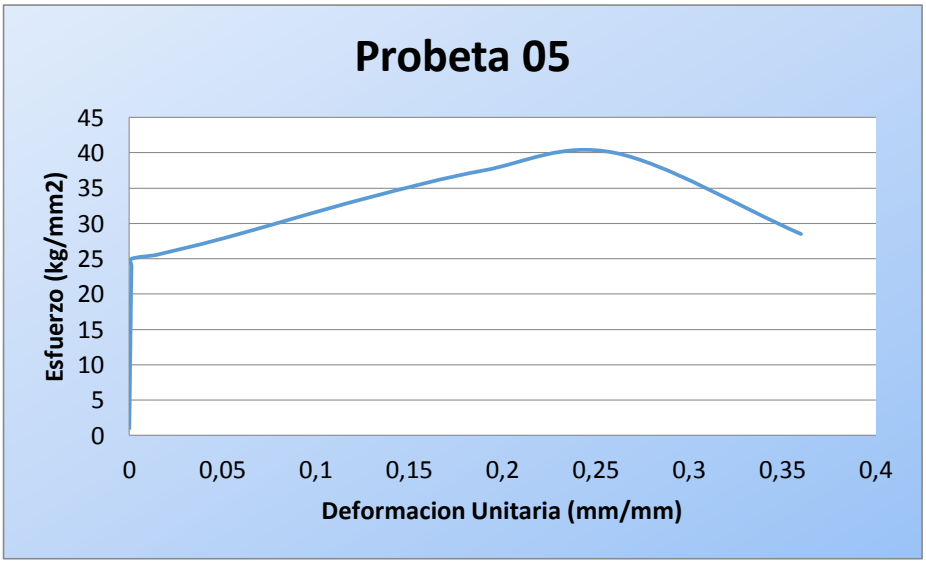
| | | | |
|---|---|---|---|
| Resistencia a la Tracción (Sut) | 40 $Kg/mm^2$ | Resistencia a la Cadencia (Sy): | 25,54$Kg/mm^2$ |
| % de elongación | 26.40% | Módulo de elasticidad | 21000. $Kg/mm^2$ |

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

# ENSAYO DE TRACCIÓN

| | | | |
|---|---|---|---|
| Probeta Nº | 5 | Muestra de: | De tubo 60x40x2 |
| Normas Aplicables | NTE INEN 109:2009 y EN ISO 377 | | |
| Lugar del ensayo | Laboratorio de Resistencia de materiales de FIM ESPOCH | | |
| Fecha de ejecución | 07-01-2013 | Realizado por | Ing. César Arroba |
| | | Revisado por | Ing. Aníbal Viñan |
| Espesor: | 2mm | Longitud calibrada | 120mm(Anexo E1) |
| Ancho: | 20mm | | |

**RESULTADOS DEL ENSAYO:**




**RESULTADOS REGISTRADOS (Anexo D1)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Carga máxima | 1610Kg | Longitud Inicial | 50mm |
| Longitud Final | 68,5 | Deformación ultima | 18,4mm |
| Área inicial | 40 $mm^2$ | Área final | |

**RESULTADOS CALCULADOS(Anexo D1)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Resistencia a la Tracción (Sut) | 40 $Kg/mm^2$ | Resistencia a la Cadencia (Sy): | 25,54$Kg/mm^2$ |
| % de elongación | 26.40% | Módulo de elasticidad | 21000. $Kg/mm^2$ |

### 4.3.2 Ensayo de la muestra de un tubo a flexión

El ensayo de flexión se realizó en muestras de tubos de 50x50x3mm tubo que se usa para en la construcción del paral principal de la ventana, formado el pórtico del autobús como de muestra en la Figura 4. 20

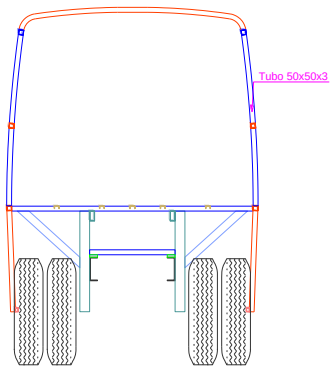



Figura 4. 20 Sección de la superestructura (Fuente: El Autor)

La muestra tiene una dimensión de 600mm de longitud se aplicara la carga en el centro de la probeta y se tomara lecturas de la deformación para cada carga aplicada ver Figura 4. 21

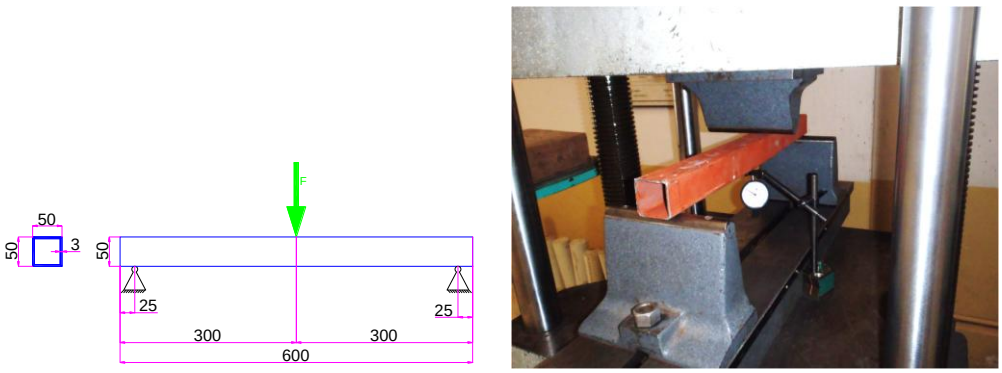


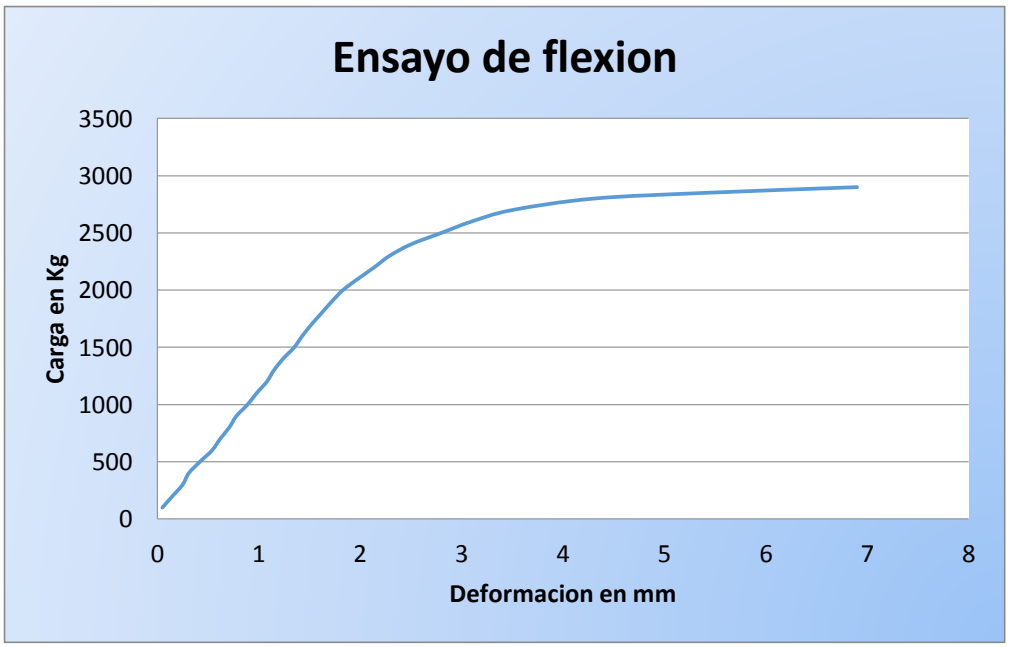

Figura 4. 21 Ensayo de flexión del tubo (Fuente: El Autor)

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

# ENSAYO DE FLEXIÓN

| | | | |
|---|---|---|---|
| Probeta Nº | 1 | Muestra de: | Paral de ventana |
| Lugar del ensayo | Laboratorio de Resistencia de materiales de FIM ESPOCH | | |
| Fecha de ejecución | 07-01-2013 | Realizado por | Ing. César Arroba |
| | | Revisado por | Ing. Aníbal Viñan |
| Espesor: | 3mm | Sección Cuadrada de | 50x50mm |
| Longitud de la probeta | 600mm | Longitud de la calibrada | 550mm(Anexo E2) |

**RESULTADOS DEL ENSAYO:**




**RESULTADOS REGISTRADOS (Anexo D2)**

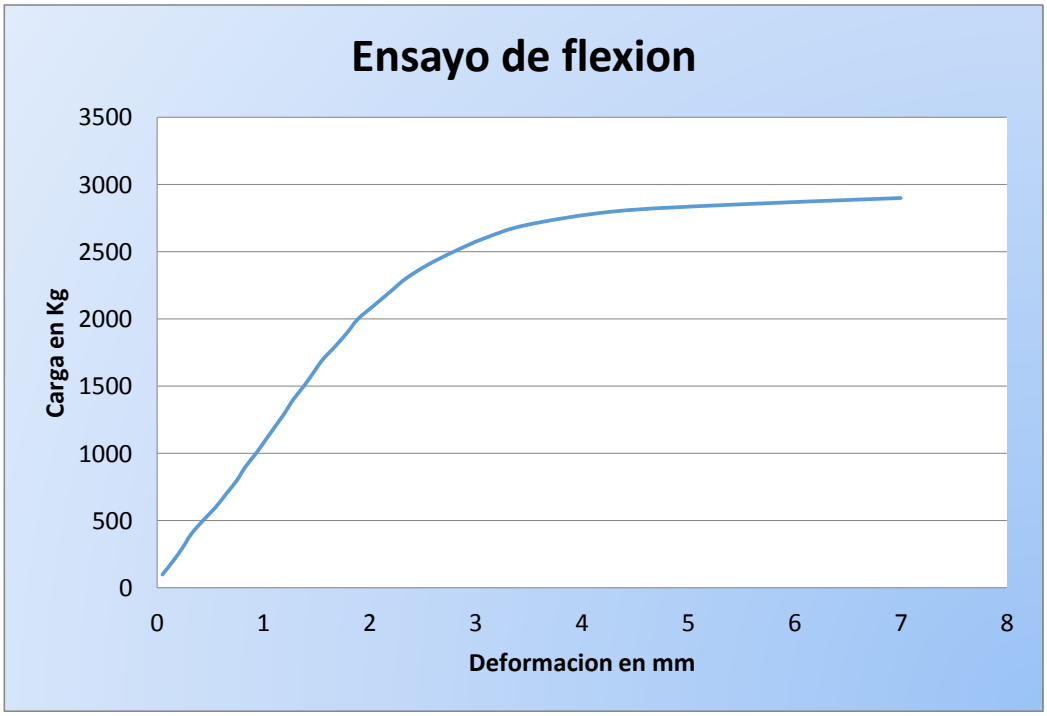
| | | | |
|---|---|---|---|
| Carga de fluencia | 2100Kg | Deformación a la carga de fluencia | 1,98 mm |
| Carga Máxima Registrada | 2900Kg | Deformación a la carga máxima registrada | 6,9 mm |

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

# ENSAYO DE FLEXIÓN

| | | | |
|---|---|---|---|
| Probeta Nº | 2 | Muestra de: | Paral de ventana |
| Lugar del ensayo | Laboratorio de Resistencia de materiales de FIM ESPOCH | | |
| Fecha de ejecución | 07-01-2013 | Realizado por | Ing. César Arroba |
| | | Revisado por | Ing. Aníbal Viñan |
| Espesor: | 3mm | Sección Cuadrada de | 50x50mm |
| Longitud de la probeta | 600mm | Longitud de la calibrada | 550mm(Anexo E2) |

**RESULTADOS DEL ENSAYO:**




**RESULTADOS REGISTRADOS (Anexo D2)**

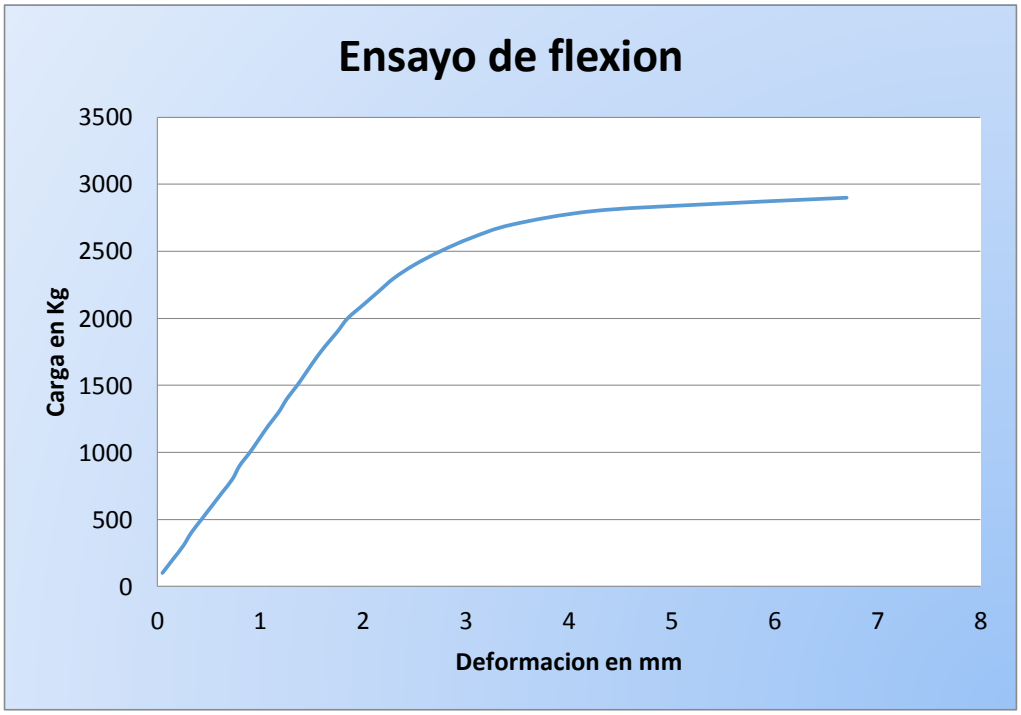
| | | | |
|---|---|---|---|
| Carga de fluencia | 2000Kg | Deformación a la carga de fluencia | 1,89 mm |
| Carga Máxima Registrada | 2900Kg | Deformación a la carga máxima registrada | 7 mm |

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

# ENSAYO DE FLEXIÓN

| | | | |
|---|---|---|---|
| Probeta Nº | 3 | Muestra de: | Paral de ventana |
| Lugar del ensayo | Laboratorio de Resistencia de materiales de FIM ESPOCH | | |
| Fecha de ejecución | 07-01-2013 | Realizado por | Ing. César Arroba |
| | | Revisado por | Ing. Aníbal Viñan |
| Espesor: | 3mm | Sección Cuadrada de | 50x50mm |
| Longitud de la probeta | 600mm | Longitud de la calibrada | 550mm(Anexo E2) |

**RESULTADOS DEL ENSAYO:**




**RESULTADOS REGISTRADOS (Anexo D2)**

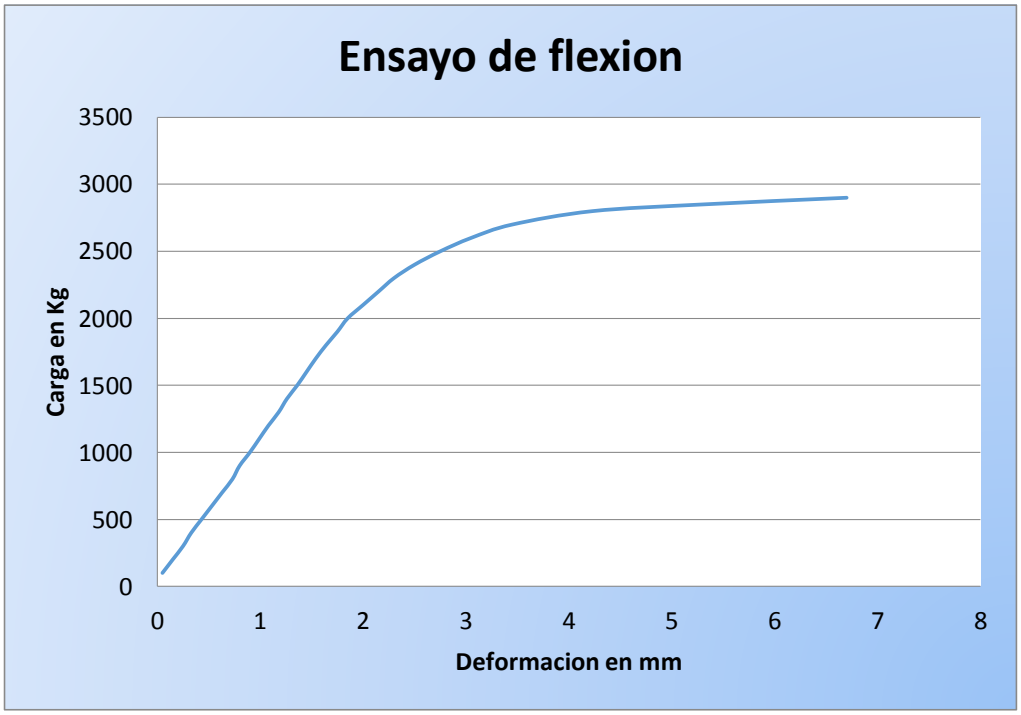
| | | | |
|---|---|---|---|
| Carga de fluencia | 2000Kg | Deformación a la carga de fluencia | 1,85 mm |
| Carga Máxima Registrada | 2900Kg | Deformación a la carga máxima registrada | 6,7 mm |

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

# ENSAYO DE FLEXIÓN

| | | | |
|---|---|---|---|
| Probeta Nº | 4 | Muestra de: | Paral de ventana |
| Lugar del ensayo | Laboratorio de Resistencia de materiales de FIM ESPOCH | | |
| Fecha de ejecución | 07-01-2013 | Realizado por | Ing. César Arroba |
| | | Revisado por | Ing. Aníbal Viñan |
| Espesor: | 3mm | Sección Cuadrada de | 50x50mm |
| Longitud de la probeta | 600mm | Longitud de la calibrada | 550mm(Anexo E2) |

**RESULTADOS DEL ENSAYO:**




**RESULTADOS REGISTRADOS (Anexo D2)**

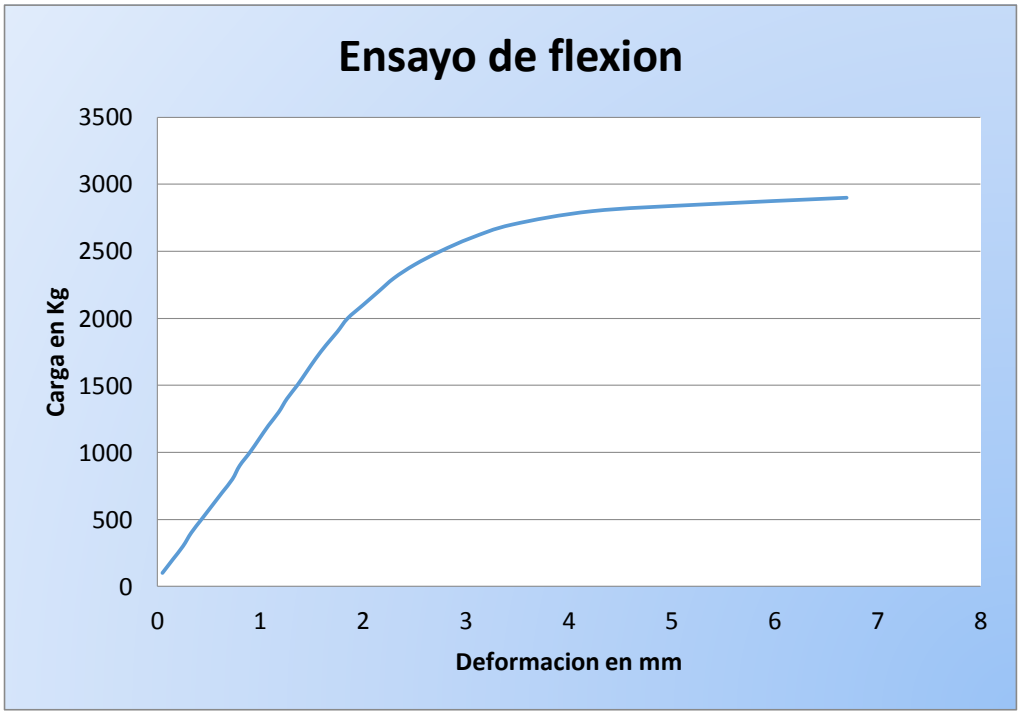
| | | | |
|---|---|---|---|
| Carga de fluencia | 2000Kg | Deformación a la carga de fluencia | 1,86 mm |
| Carga Máxima Registrada | 2900Kg | Deformación a la carga máxima registrada | 6,95 mm |

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

# ENSAYO DE FLEXIÓN

| | | | |
|---|---|---|---|
| Probeta Nº | 5 | Muestra de: | Paral de ventana |
| Lugar del ensayo | Laboratorio de Resistencia de materiales de FIM ESPOCH | | |
| Fecha de ejecución | 07-01-2013 | Realizado por | Ing. César Arroba |
| | | Revisado por | Ing. Aníbal Viñan |
| Espesor: | 3mm | Sección Cuadrada de | 50x50mm |
| Longitud de la probeta | 600mm | Longitud de la calibrada | 550mm(Anexo E2) |

**RESULTADOS DEL ENSAYO:**




**RESULTADOS REGISTRADOS (Anexo D2)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Carga de fluencia | 2000Kg | Deformación a la carga de fluencia | 1,85 mm |
| Carga Máxima Registrada | 2900Kg | Deformación a la carga máxima registrada | 6,8 mm |

### 4.3.3 Ensayo de flexión en un sección del pórtico

El ensayo de flexión de una sección del pórtico se realizó en la esquina superior, que conforma la curva del techo con parte del paral de la ventana como se muestra en la Figura 4. 22

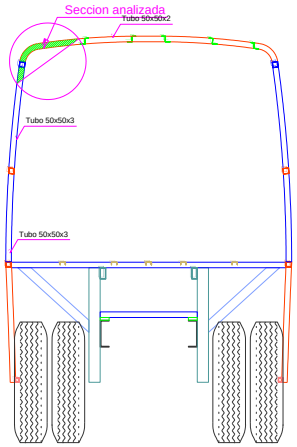



Figura 4. 22 Seccion del portico a anlizar (Fuente: El Autor)

La carga fue aplicada en curva que conecta el techo con el lateral y se midió la deformación que resulta de la aplicación de la carga ver Figura 4. 23

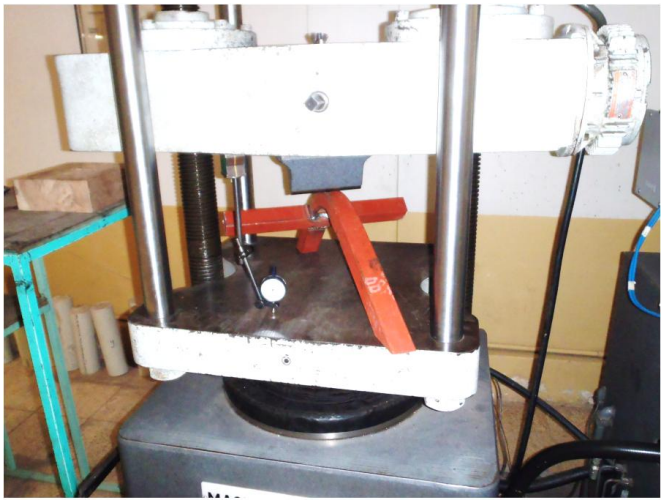


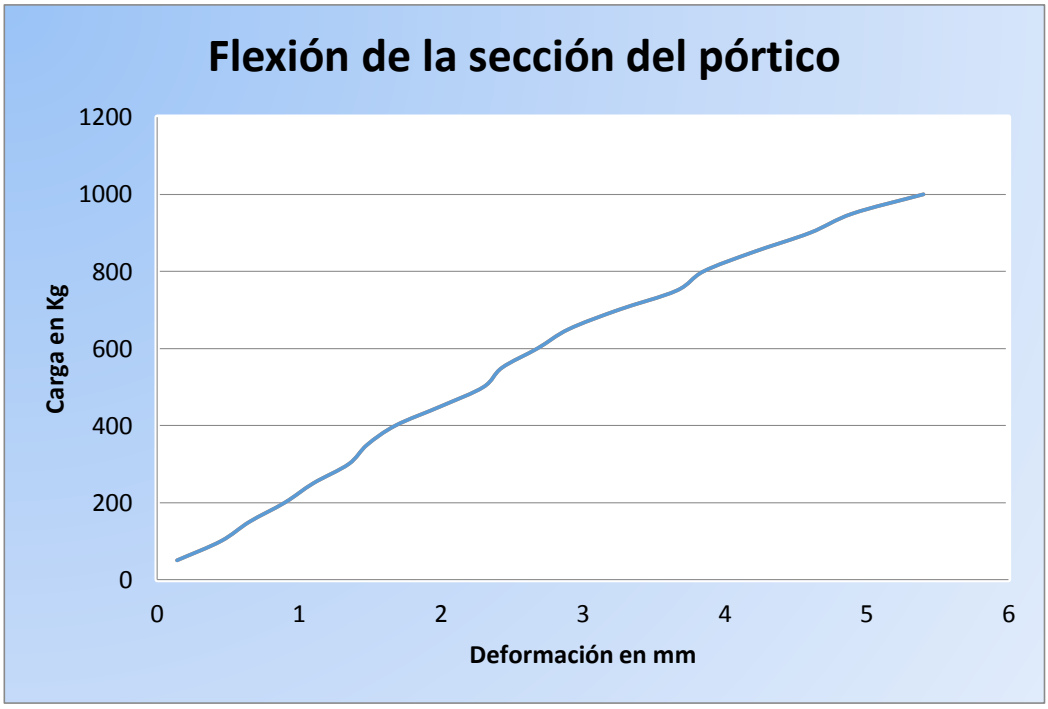
Figura 4. 23 Ensayo de carga aplicada a la sección del pórtico (Fuente: El Autor)

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

# ENSAYO DE FLEXIÓN EN UNA SECCIÓN DEL PÓRTICO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Probeta Nº | 1 | Muestra de: | Esquina Superior Del Pórtico |
| Lugar del ensayo | Laboratorio de Resistencia de materiales de FIM ESPOCH | | |
| Fecha de ejecución | 07-01-2013 | Realizado por | Ing. César Arroba |
| | | Revisado por | Ing. Aníbal Viñan |
| Espesor tubo del techo: | 2mm | Sección Cuadrada de | 50x50mm |
| Espesor tubo del paral de ventana: | 3mm | Sección Cuadrada de | 50x50mm |
| Longitud de la probeta | 860mm (Anexo E3) | | |

**RESULTADOS DEL ENSAYO:**




**RESULTADOS REGISTRADOS (Anexo D3)**

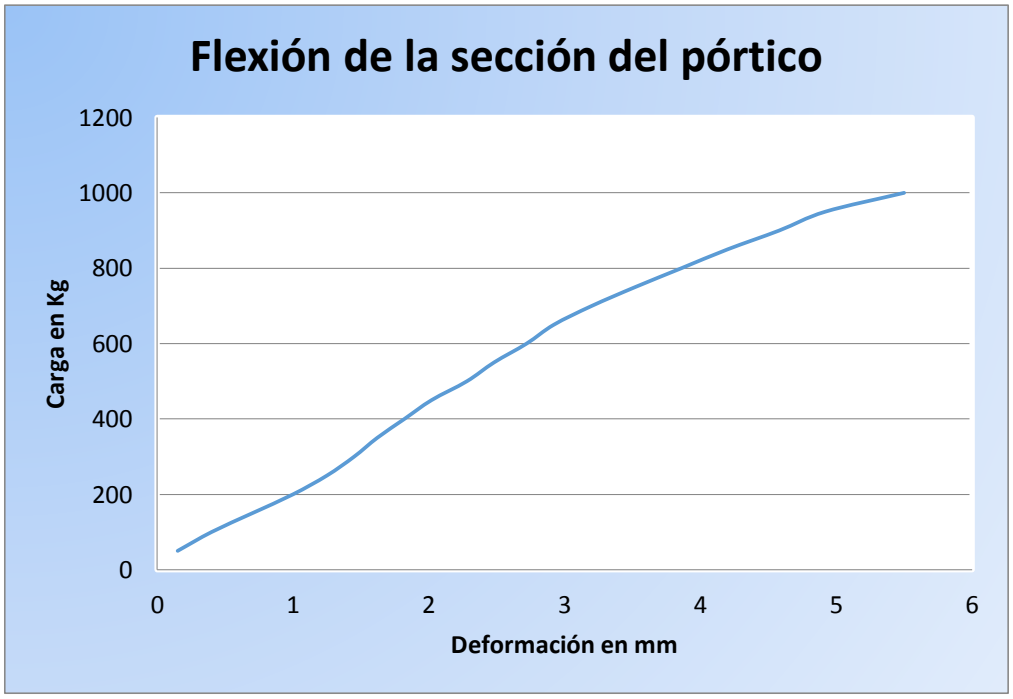
| | | | |
|---|---|---|---|
| Carga Máxima Registrada | 1000Kg | Deformación a la carga máxima registrada | 5,4 mm |

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

# ENSAYO DE FLEXIÓN EN UNA SECCIÓN DEL PÓRTICO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Probeta Nº | 2 | Muestra de: | Esquina Superior Del Pórtico |
| Lugar del ensayo | Laboratorio de Resistencia de materiales de FIM ESPOCH | | |
| Fecha de ejecución | 07-01-2013 | Realizado por | Ing. César Arroba |
| | | Revisado por | Ing. Aníbal Viñan |
| Espesor tubo del techo: | 2mm | Sección Cuadrada de | 50x50mm |
| Espesor tubo del paral de ventana: | 3mm | Sección Cuadrada de | 50x50mm |
| Longitud de la probeta | 860mm(Anexo E3) | | |

**RESULTADOS DEL ENSAYO:**




**RESULTADOS REGISTRADOS (Anexo D3)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Carga Máxima Registrada | 1000Kg | Deformación a la carga máxima registrada | 5,5 mm |

### 4.3.4 Comparación del análisis real versus simulación del ensayo de tracción.

En los términos de modelo de material específico a ser usado en LS-DYNA, la bibliografía (Elitok, 2006) recomienda el uso del material 24 MAT_PEICEWISE_LINEAR_PLASTIC que se utiliza cuando el cuerpo en análisis sufre una deformación plástica que será el caso en estudio.

#### 4.3.4.1 Simulación del ensayo de tracción

El dibujo de la geometría de la probeta de tubo se realizo en elemetos tipo superfice y se utiliza el color rojo para identificar que la probeta fue extraida de un tubo cuadrado de 50mm y de 2mm de espesor como se muestra en la Figura 4. 24.

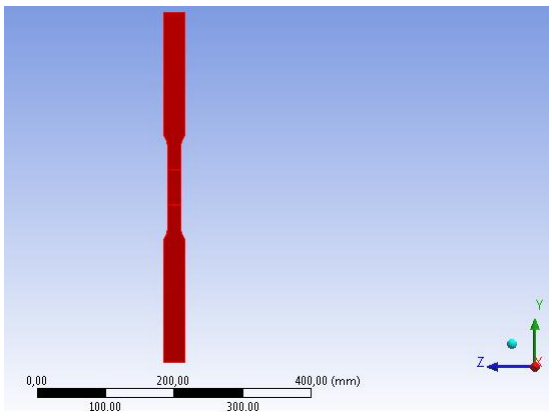
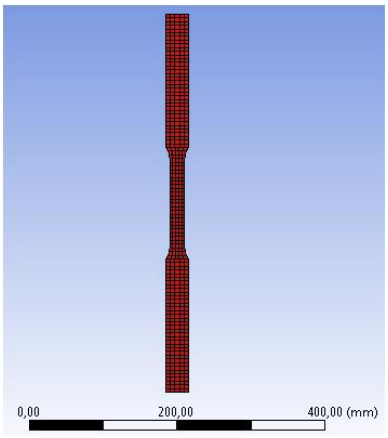
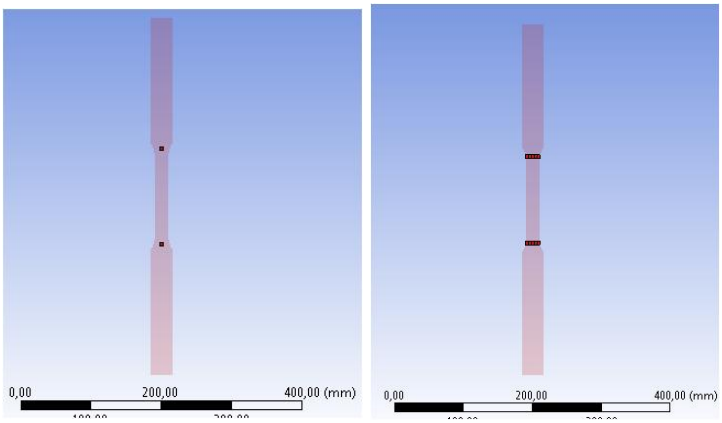



Figura 4. 24 Geometría de probeta (Fuente: El Autor)

El mallado y la calidad de la malla mostrada en la Figura 4. 25 se observa una malla muy uniforme de elementos tipo rectangular, la longitud máxima de la cara del elemento es de 5mm un valor del jacobiano máximo 1,2251y un mínimo de 1. El valor máximo del Aspec Ratio es de 1,3048 y mínimo de 1,1137; valores que están dentro del índice de caracterización de la variable Aspect Ratio.




**a)**




b) c)

Figura 4. 25 Malla de la probeta (Fuente: El Autor)

En el gráfico de barras de la Figura 4. 26 indica la cantidad de elemetos en el eje Y y en el eje X, indica el valor del Aspect Ratio. Obteniendo 2 elementos un aspect ratio de 1,12 y 10elemtos con aspect ratio de 1,3 los demas elementos se encuentran dentro de este rango.

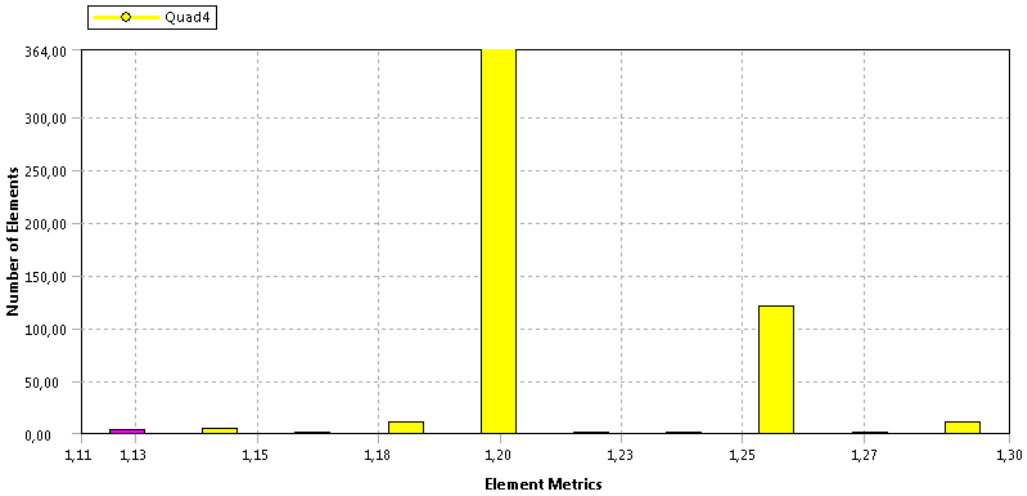



Figura 4. 26 Aspect Ratio versus el número de elementos la probeta (Fuente: El Autor)

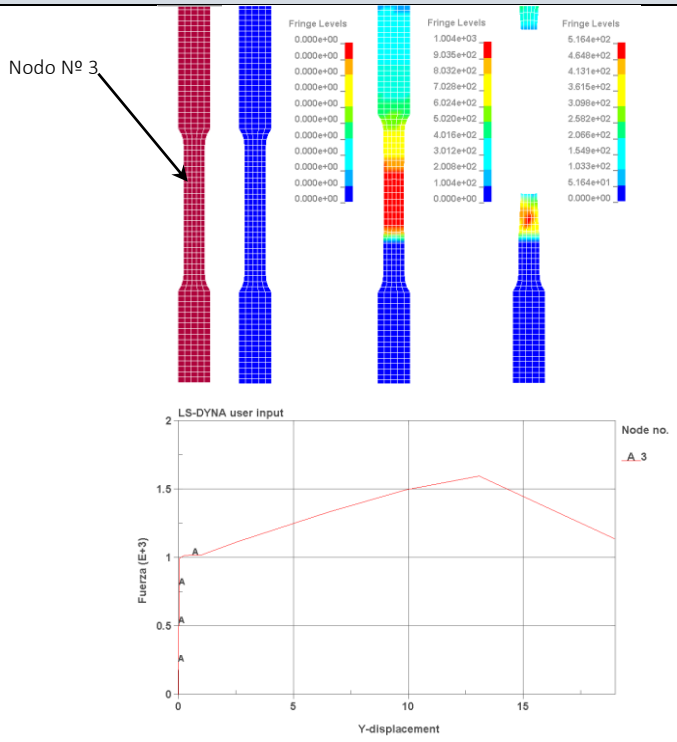
En el anexo C1 se indica el archivo de texto utilizado por el Solver de Ls-Dyna para la simulación del ensayo de tracción.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

## SIMULACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

| | | | |
|---|---|---|---|
| Probeta Nº | 1 | Muestra de: | Probeta |
| Normas Aplicables | NTE INEN 109:2009 y EN ISO 377 | | |
| Fecha de ejecución | 07-01-2013 | Realizado por | Ing. César Arroba |
| | | Revisado por | Ing. César Arroba |
| Espesor | 2mm | Longitud calibrada: | 50 |
| Aspect Ratio Max: | 1,3048 | Aspect Ratio Min: | 1,1137 |
| Cantidad de nodos | 618 | Cantidad de elementos | 510 |
| Tiempo de procesamiento | 2 horas 40 minutos | Numero de procesadores | 2 de 2.0 GHz |

## RESULTADOS DEL ENSAYO:




## RESULTADOS REGISTRADOS

| | | | |
|---|---|---|---|
| Carga mínima | 0 Kg | Carga Máxima | 1600Kg |
| Deformación Inicial | 0mm | Deformación ultima | 19mm |

#### 4.3.4.2 Evaluación de similitud del ensayo de tracción real versus el ensayo de tracción simulado

Los resultados del ensayo se comparan con los datos que se obtuvieron en el ensayo real, de los resultados del ensayo real se utilizara el promedio de los ensayos realizados como se muestra en la Tabla 4.7

Tabla 4.7 Resultados del ensayo físico versus los de simulación

| **Resultado Promedio Del Ensayo Físico** | | **Resultado Del Ensayo Simulado** | | **Error** |
|---|---|---|---|---|
| Carga (Kg) | Deformación (mm) | Carga (Kg) | Deformación (mm) | % |
| 40 | 0,0010 | 40 | 0,0014 | --- |
| 80 | 0,0034 | 80 | 0,0038 | 11,76 |
| 120 | 0,0068 | 120 | 0,0072 | 5,88 |
| 160 | 0,0084 | 160 | 0,0086 | 2,38 |
| 200 | 0,0106 | 200 | 0,010 | 5,66 |
| 240 | 0,0134 | 240 | 0,0144 | 7,46 |
| 280 | 0,0161 | 280 | 0,0168 | 4,35 |
| 320 | 0,0184 | 320 | 0,0191 | 3,80 |
| 360 | 0,0211 | 360 | 0,0215 | 1,90 |
| 400 | 0,0235 | 400 | 0,0239 | 1,70 |
| 440 | 0,0265 | 440 | 0,0263 | 0,75 |
| 480 | 0,0288 | 480 | 0,0287 | 0,35 |
| 520 | 0,0308 | 520 | 0,0311 | 0,97 |
| 560 | 0,0328 | 560 | 0,0335 | 2,13 |
| 600 | 0,0361 | 600 | 0,0359 | 0,55 |
| 640 | 0,0388 | 640 | 0,0383 | 1,29 |
| 680 | 0,0411 | 680 | 0,0407 | 0,97 |
| 720 | 0,0431 | 720 | 0,0431 | 0,00 |
| 760 | 0,0450 | 760 | 0,0455 | 1,11 |
| 800 | 0,0474 | 800 | 0,0479 | 1,05 |
| 840 | 0,0506 | 840 | 0,0503 | 0,59 |
| 880 | 0,0540 | 880 | 0,0526 | 2,59 |
| 920 | 0,0564 | 920 | 0,0551 | 2,30 |
| 960 | 0,0593 | 960 | 0,0575 | 3,04 |
| 1000 | 0,0633 | 1000 | 0,0598 | 5,53 |
| 1020 | 0,2224 | 1020 | 0,2583 | 16,14 |

| Carga (Kg) | Deformación unitaria (m/m) | Carga (Kg) | Deformación unitaria (m/m) | Error (%) |
|---|---|---|---|---|
| 1021 | 0,6963 | 1021 | 0,6401 | 8,07 |
| 1022 | 0,7125 | 1022 | 0,7684 | 7,85 |
| 1022 | 0,7263 | 1022 | 0,9081 | 25,03 |
| 1120 | 2,5620 | 1120 | 2,6000 | 1,48 |
| 1340 | 6,4500 | 1340 | 6,6000 | 2,33 |
| 1500 | 9,8750 | 1500 | 9,9000 | 0,25 |
| 1600 | 12,9000 | 1600 | 13,1000 | 1,55 |
| | | | Error promedio | 4,09 |

Error dentro de los parámetros recomendados (Cepeda, 2011)

En la Figura 4. 27 se muestra las curvas, esfuerzo deformación unitaria graficada de los resultados obtenidos en el ensayo real y simulado, la curva de color azul indica el ensayo de tracción real y la curva de color rojo indica el ensayo de tracción simulado.

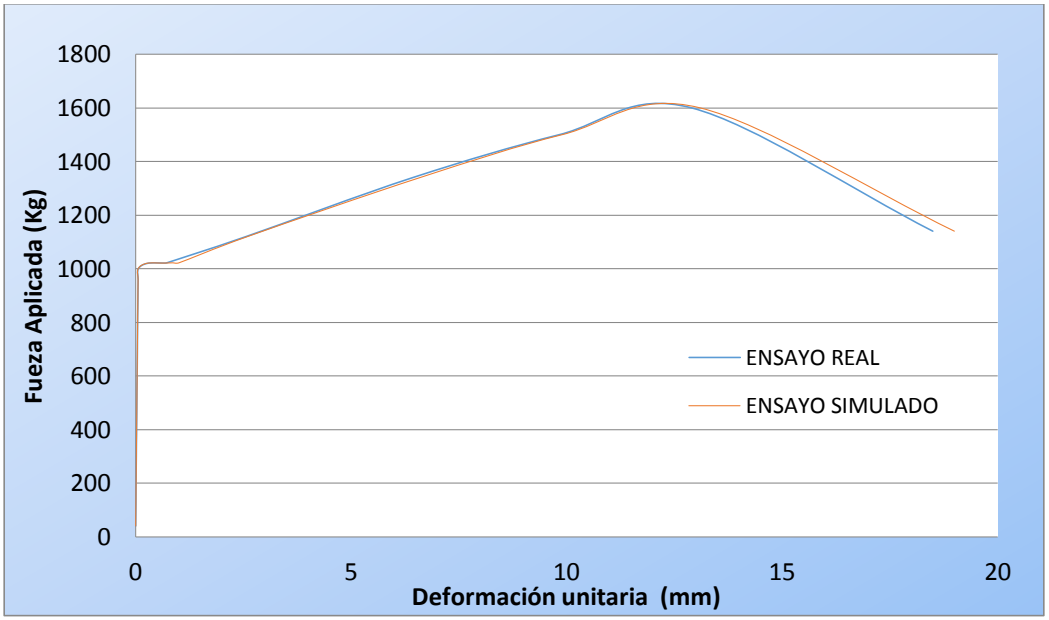



Figura 4. 27 Comparación entre datos reales y simulados (Fuente: El Autor)

La aproximación que se obtuvo, resultado de la simulación es muy aproximada a los resultados del ensayo real; razón por la cual que se puede decir que la simulación del ensayo de tracción esta validado y los resultados que se obtengan en elementos

que estén sometidos a tracción en el ensayo de vuelco serán muy próximos a los reales.

### 4.3.5 Comparación del análisis real versus simulación del ensayo de flexión

#### 4.3.5.1 Simulación del ensayo Flexión del tubo

El dibujo de la geometría del tubo se realizó en elemento tipo superficie, y se utilizara el color azul para identificar que la muestra fue extraída de un tubo cuadrado de 50mm y de 3mm de espesor, y el color verde al punzón el cual aplica la fuerzas y los apoyos laterales mostrado en la Figura 4. 28.

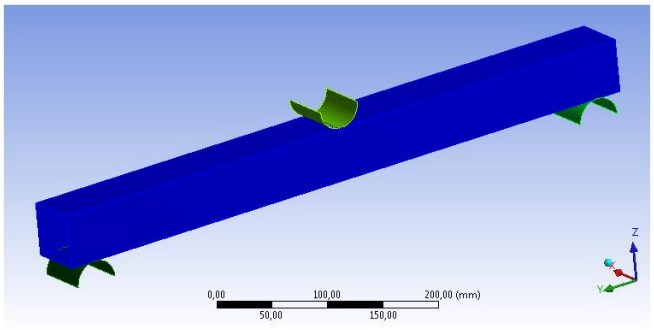
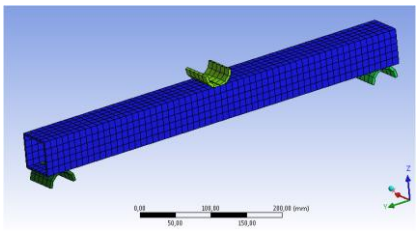
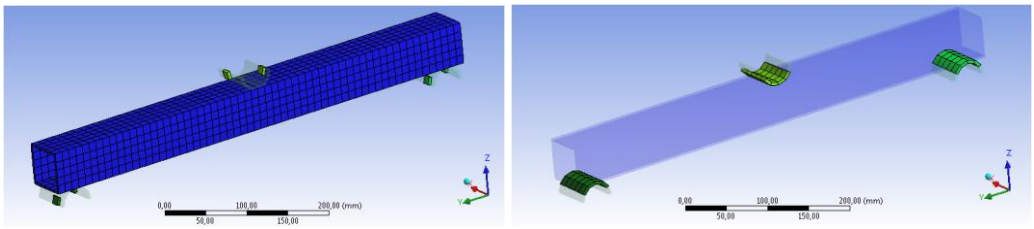



Figura 4. 28 Geometría de la muestra de tubo (Fuente: El Autor)

El mallado y la calidad de la malla mostrada en la Figura 4. 29 se observa una malla muy uniforme de elementos tipo rectangular la longitud máxima de la cara del elemento es de 10mm un valor del jacobiano máximo 1,0146 y un mínimo de 1. El valor máximo del Aspec Ratio es de 1,0473 y mínimo de 1; valores que están dentro del índice de caracterización de la variable Aspect Ratio.



**a)**



b) c)

Figura 4. 29 Malla de la muestra de tubo

En el gráfico de barras de la Figura 4. 30 indica la cantidad de elemetos en el eje Y y en el eje X se indica el valor del Aspect Ratio. Obteniendo 1210 elemtos co un aspect ratio de 1 y 60 elementos con aspect ratio de 1,04 los demas elementos se encuentran dentro de este rango.

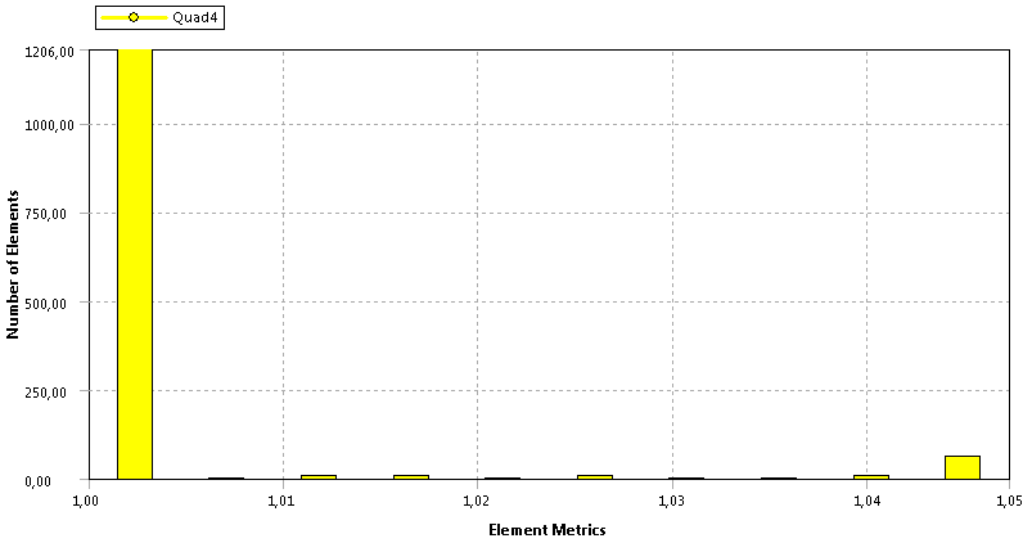



Figura 4. 30 Aspect Ratio versus el número de elementos de la muestra del tubo (Fuente: El Autor)

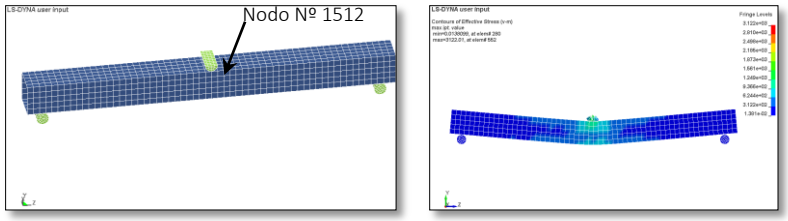
En el anexo C2 se indica el archivo de texto utilizado por el Solver de Ls-Dyna para la simulación del ensayo de flexión.

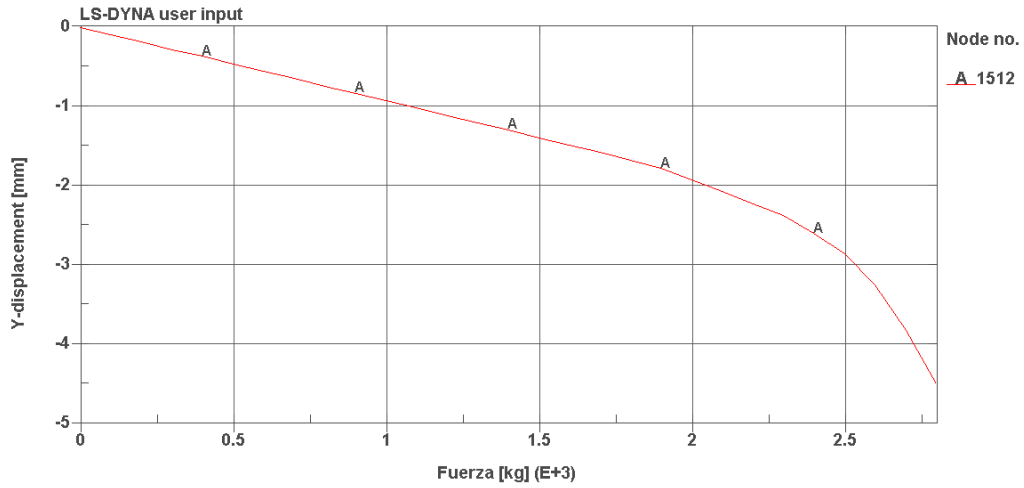
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

## SIMULACIÓN DEL ENSAYO FLEXIÓN DEL TUBO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Probeta Nº | 1 | Muestra de: | Tubo cuadrado de 50mm |
| Normas Aplicables | N/a | | |
| Fecha de ejecución | 07-01-2013 | Realizado por | Ing. César Arroba |
| | | Revisado por | Ing. César Arroba |
| Espesor | 3mm | Longitud: | 600 |
| Aspect Ratio Max: | 2,7969 | Aspect Ratio Min: | 1 |
| Cantidad de nodos | 2829 | Cantidad de elementos | 2771 |
| Tiempo de procesamiento | 2 horas 40 minutos | Numero de procesadores | 2 de 2.0 GHz |

## RESULTADOS DEL ENSAYO:




## Resultados Registrados

| | | | |
|---|---|---|---|
| Carga mínima | 0 Kg | Carga Máxima | 2800 Kg |
| Deformación Inicial | 0mm | Deformación ultima | -4.3mm |

#### 4.3.5.2 Evaluación de similitud del ensayo de flexión real versus el ensayo de flexión simulado

Los resultados del ensayo se comparan con los datos que se obtuvieron en el ensayo real, de los resultados del ensayo real se utilizaran el promedio de los ensayos realizados como se muestra en la Tabla 4.8

Tabla 4.8 Resultados del ensayo físico versus los de simulación

| **Resultado Promedio Del Ensayo Físico** | | **Resultado Del Ensayo Simulado** | | **Error** |
|---|---|---|---|---|
| Carga en (Kg) | Deformación (mm) | Fuerza(Kg) | Deformación (mm) | % |
| 100 | 0,050 | 100 | 0,062 | -- |
| 200 | 0,150 | 200 | 0,172 | 14,40 |
| 300 | 0,247 | 300 | 0,276 | 11,81 |
| 400 | 0,320 | 400 | 0,355 | 11,24 |
| 500 | 0,427 | 500 | 0,459 | 7,60 |
| 600 | 0,541 | 600 | 0,552 | 2,15 |
| 700 | 0,634 | 700 | 0,644 | 1,59 |
| 800 | 0,730 | 800 | 0,736 | 0,81 |
| 900 | 0,804 | 900 | 0,828 | 3,10 |
| 1000 | 0,907 | 1000 | 0,921 | 1,53 |
| 1100 | 0,997 | 1100 | 1,014 | 1,69 |
| 1200 | 1,091 | 1200 | 1,106 | 1,43 |
| 1300 | 1,177 | 1300 | 1,199 | 1,92 |
| 1400 | 1,260 | 1400 | 1,292 | 2,55 |
| 1500 | 1,364 | 1500 | 1,385 | 1,59 |
| 1600 | 1,450 | 1600 | 1,479 | 1,98 |
| 1700 | 1,540 | 1700 | 1,574 | 2,18 |
| 1800 | 1,647 | 1800 | 1,669 | 1,32 |
| 1900 | 1,754 | 1900 | 1,781 | 1,55 |
| 2000 | 1,857 | 2000 | 1,921 | 3,45 |
| 2100 | 2,007 | 2100 | 2,067 | 3,00 |
| 2200 | 2,161 | 2200 | 2,232 | 3,32 |
| 2300 | 2,311 | 2300 | 2,370 | 2,58 |
| 2400 | 2,514 | 2400 | 2,600 | 3,41 |
| 2500 | 2,782 | 2500 | 2,850 | 2,48 |
| 2600 | 3,078 | 2600 | 3,246 | 5,44 |
| 2700 | 3,478 | 2700 | 3,815 | 9,70 |
| 2800 | 4,279 | 2800 | 4,487 | 4,85 |
| | | | Error Promedio | 4,02 |

Error dentro de los parámetros recomendados (Cepeda, 2011)

En la Figura 4. 31 se muestra las curvas, carga versus deformación graficada de los resultados obtenidos en el ensayo real y simulado, la curva de color azul indica el ensayo de flexión real y la curva de color rojo indica el ensayo de flexión simulado.

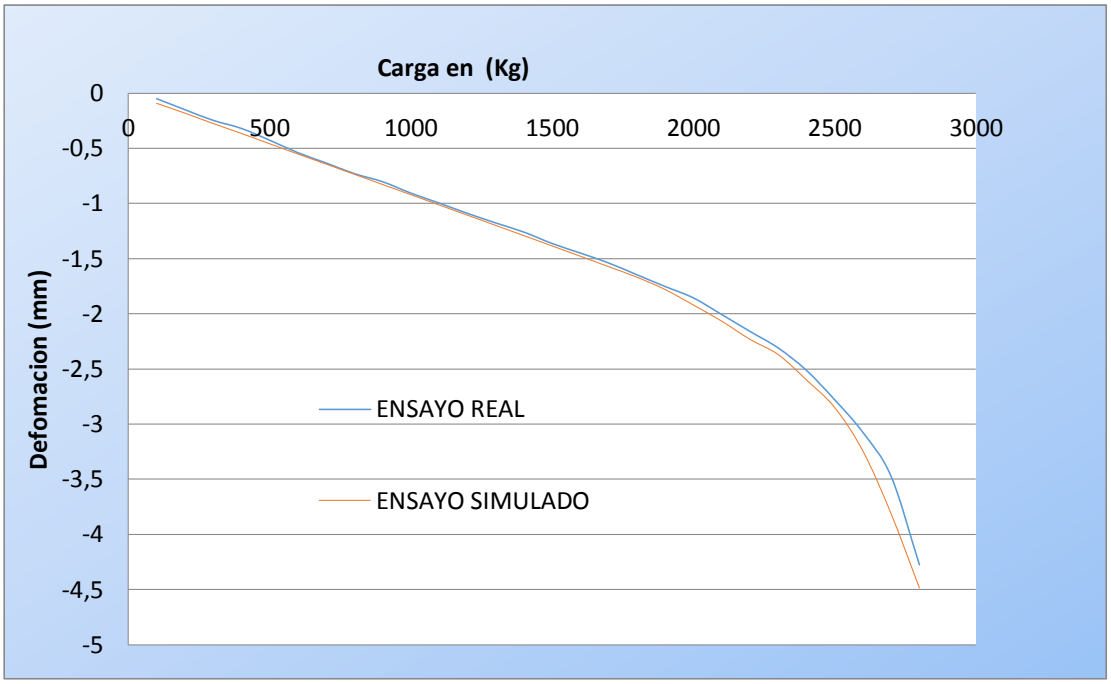



Figura 4. 31 Comparación entre datos reales y simulados (Fuente: El Autor)

La aproximación que se obtuvo resultado de la simulación es muy aproximada a los resultados del ensayo real; razón por la cual que se puede decir que la simulación del ensayo de flexión esta validado y los resultados que se obtengan en elementos que estén sometidos a flexión en el ensayo de vuelco serán muy próximos a los reales.

### 4.3.6 Comparación del análisis real versus simulación del ensayo de flexión de una sección del pórtico

#### 4.3.6.1 Simulación en del ensayo Flexión de una sección del pórtico

La geometría de la sección del portico se realizo en superfices, para su diferenciación de espesores que lo conforman se utilizo el color azul para los perfiles de 3mm de espesor, el color rojo los perfiles de 2mm de espesor y de color verde al punzón el cual aplica la fuerzas mostrado en la Figura 4. 32.

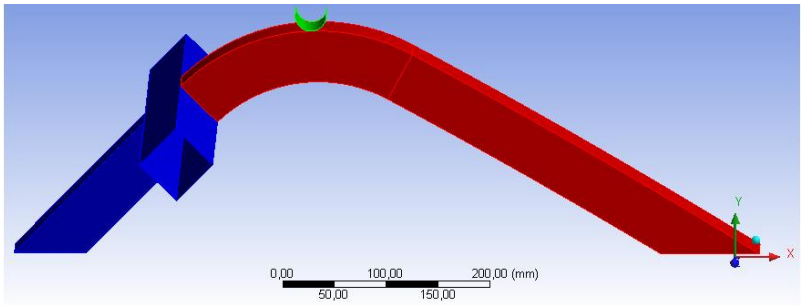
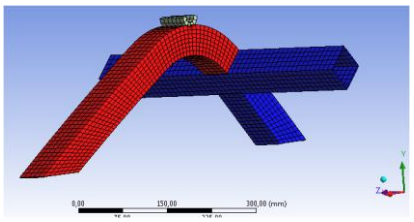
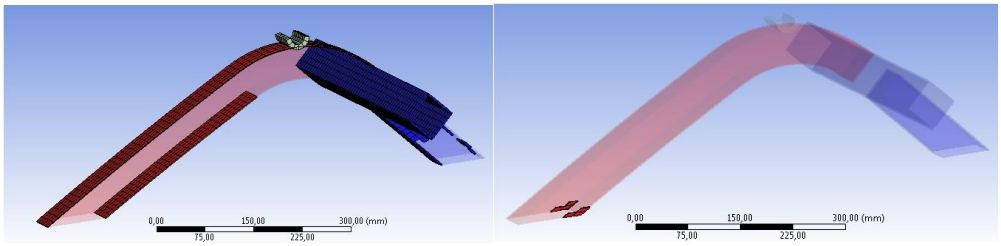



Figura 4. 32 Geometría de la sección del pórtico (Fuente: El Autor)

El mallado y la calidad de la malla mostrada en la Figura 4. 33 a) se observa una malla muy uniforme de elementos tipo rectangular, la longitud máxima de la cara del elemento es de 10mm un valor del jacobiano máximo 1,0774 y un mínimo de 1. El valor máximo del Aspec Ratio es de 2,7969 y mínimo de 1; valores que están dentro del índice de caracterización de la variable Aspect Ratio.



**a)**



b) c)

Figura 4. 33 Malla de la sección del pórtico (Fuente: El Autor)

El gráfico de barras de la Figura 4. 34 indica la cantidada de elemetos en el eje Y y en el eje X se indica el valor del Aspect Ratio. Obteniendo 1630 elementos un aspect ratio de 1 y 6 elemtos con aspect ratio de 2,7 los demás elemtos se encuentran dentro de este rango.

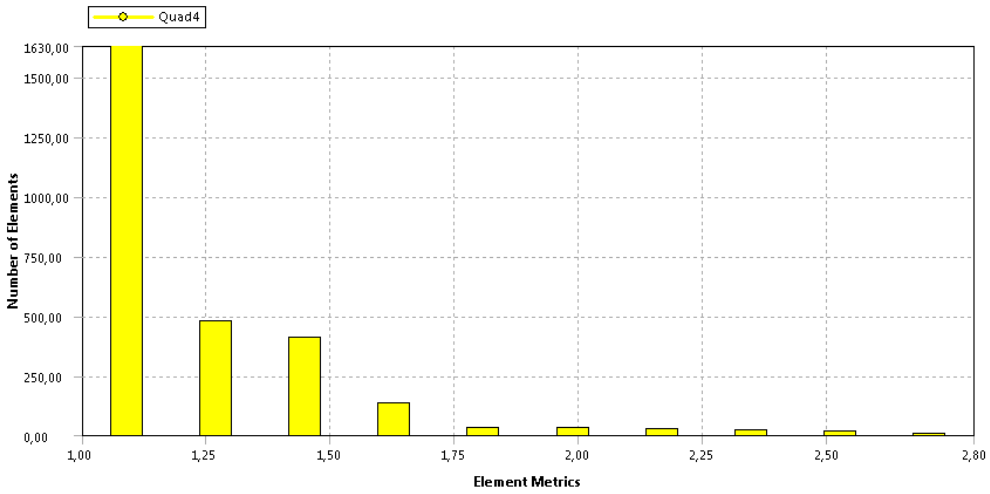



Figura 4. 34 Malla de la sección del pórtico (Fuente: El Autor)

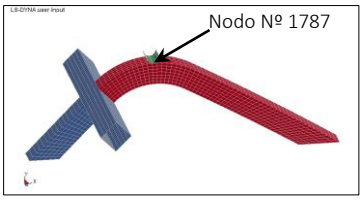
En el anexo C3 se indica el archivo de texto utilizado por el Solver de Ls-Dyna para la simulación de la sección del pórtico.

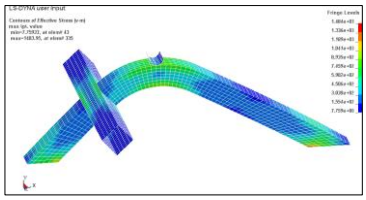
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

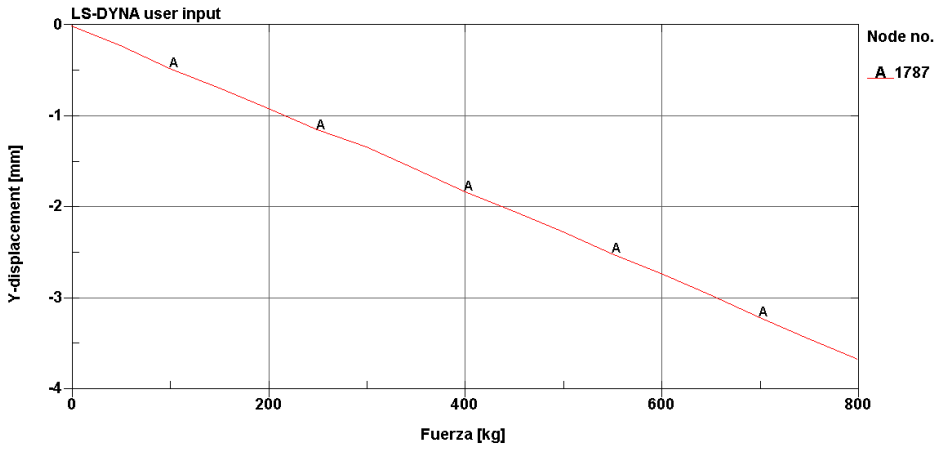
## SIMULACIÓN DEL FLEXIÓN DE LA SECCIÓN DEL PÓRTICO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Probeta Nº | 1 | Muestra de: | Sección del pórtico |
| Normas Aplicables | N/a | | |
| Fecha de ejecución | 07-01-2013 | Realizado por | Ing. César Arroba |
| | | Revisado por | Ing. César Arroba |
| Espesor del parante de ventana | 3mm | Espesor tubo del techo | 2mm |
| Espesor del tubo de conexión lateral techo | 3mm | | |
| Aspect Ratio Max: | 2,7969 | Aspect Ratio Min: | 1 |
| Cantidad de nodos | 2829 | Cantidad de elementos | 2771 |
| Tiempo de procesamiento | 29 minutos 40 segundos | Numero de procesadores | 2 de 2.0 GHz |

## RESULTADOS DEL ENSAYO:






## RESULTADOS REGISTRADOS

| | | | |
|---|---|---|---|
| Carga mínima | 0 Kg | Carga Máxima | 800 Kg |
| Deformación Inicial | 0mm | Deformación ultima | -3.7mm |

#### 4.3.6.2 Evaluación de similitud del ensayo de flexión de una sección del pórtico real versus el ensayo de flexión de una sección de pórtico simulado

Los resultado del ensayo de flexión de una sección del pórtico se compara con los datos que se obtuvo en el ensayo real, los resultados del ensayo real utilizaran el promedio de los ensayos realizados como se muestra en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9 Resultados del ensayo físico versus los de simulación

| **Resultado Promedio Del Ensayo Físico** | | **Resultado Del Ensayo Simulado** | | **Error** |
|---|---|---|---|---|
| Fuerza (Kg) | Deformación (mm) | Fuerza (Kg) | Deformación (mm) | % |
| 0 | 0,0000 | 0 | 0,0000 | 19,8 |
| 50 | 0,1450 | 50 | 0,1210 | 9,2 |
| 100 | 0,4250 | 100 | 0,4683 | 1,4 |
| 150 | 0,6750 | 150 | 0,6848 | 4,2 |
| 200 | 0,9500 | 200 | 0,9114 | 1,9 |
| 250 | 1,1750 | 250 | 1,1528 | 3,6 |
| 300 | 1,4000 | 300 | 1,3509 | 2,6 |
| 350 | 1,5500 | 350 | 1,5913 | 5,0 |
| 400 | 1,7500 | 400 | 1,8426 | 2,4 |
| 450 | 2,0100 | 450 | 2,0588 | 0,1 |
| 500 | 2,2900 | 500 | 2,2883 | 3,1 |
| 550 | 2,4550 | 550 | 2,5331 | 2,1 |
| 600 | 2,7000 | 600 | 2,7570 | 2,5 |
| 650 | 2,9100 | 650 | 2,9861 | 0,4 |
| 700 | 3,2250 | 700 | 3,2375 | 3,3 |
| 750 | 3,5900 | 750 | 3,4745 | 4,2 |
| 800 | 3,8550 | 800 | 3,7011 | 4,1 |
| | | | Error promedio | 4.1 |

Error dentro de los parámetros recomendados (Cepeda, 2011)

En la Figura 4. 35 se muestra las curvas, de carga en función de la deformación graficada de los resultados obtenidos en el ensayo real y simulado, la curva de color azul indica el ensayo de flexión de una sección del pórtico real y la curva de color rojo indica el ensayo de flexión de una sección del pórtico simulado.

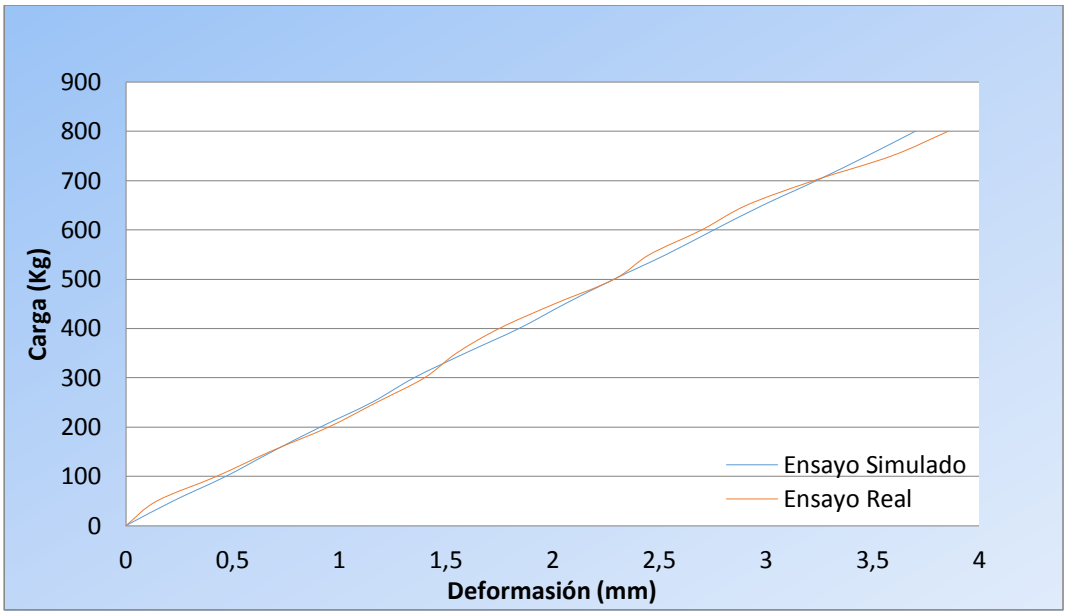



Figura 4. 35 Comparación entre datos reales y simulados (Fuente: El Autor)

La aproximación que se obtuvo, resultado de la simulación es muy aproximada a los resultados del ensayo real; razón por la cual que se puede decir que la simulación del ensayo de flexión de una sección del pórtico esta validado y los resultados que se obtengan en un conjunto de elementos que estén sometidos a flexión o carga en el ensayo de vuelco serán muy próximos a los reales.

### 4.3.7 Simulación del ensayo de vuelco de la sección de la estructura

La sección de la superestructura en el presente análisis es la numero 2 siendo la que soporta mayor carga como se indica en 4.2.7. El análisis se inicia dibujando la geometría de la sección de la superestructura tomando en cuento todos los elementos que contribuyen en la resistencia de la superestructura como se muestra en la Figura 4. 36 el procedimiento general para la simulación ver Anexo C5.

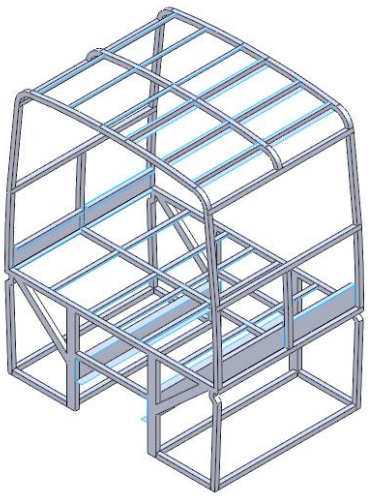


Figura 4. 36 Geometría de la sección de la Superestructura (Fuente: El Autor)

Para determinar el centro de gravedad de la sección de la superestructura se utiliza un software CAD en el que dibujamos la geometría, utilizando todos los espesores de cada uno de los elementos que la constituye, los resultados obtenidos de la masa, y ubicación del centro de gravedad indicados en la Figura 4. 37 se comparan con la ubicación real del centro de gravedad de la sección de la superestructura como se indica en la Figura 4. 37

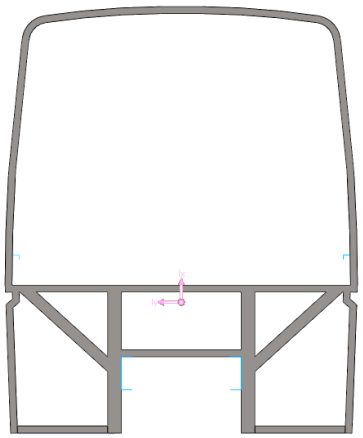


Figura 4. 37Ubicación del centro de gravedad de la superestrcutura (Fuente: El Autor)

En la Figura 4. 38 se muestra cual es la diferencia de ubicación entre el centro de gravedad solo de la superestructura y de la sección real, también se revisa la diferencia de masa que existe entre la estructura y la masa real de la sección.

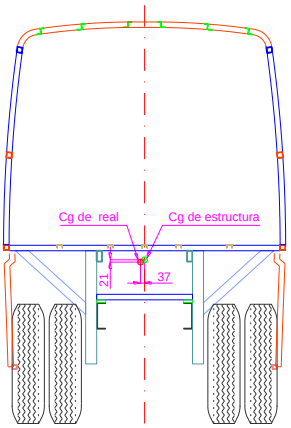



Figura 4. 38 Ubicación del centro de gravedad real y de la estrctura (Fuente: El Autor)

La diferencia en la ubicación del centro de gravedad de la sección de la superestructura con la ubicación del centro de gravedad real es 37 mm hacia a la derecha y 21 mm hacia arriba de la ubicación real de la estructura.

La masa calculada de la sección de la superestructura es de 380 Kg y la masa real de la sección del autobús es de 2034 Kg. En relación a los datos obtenidos tenemos que colocar masas en forma proporcional de 5,35 en toda sección de la superestructura sin alterar el centro de gravedad.

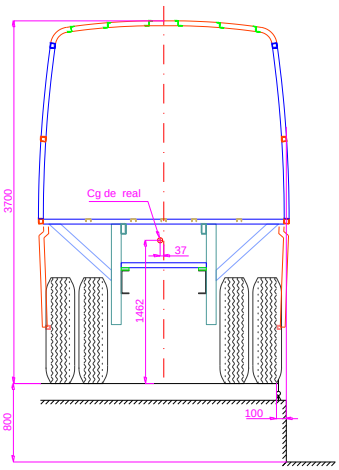



Figura 4. 39 Posición inicial en la plataforma de vasculamiento (Fuente: El Autor)

El ensayo en el banco se inicia como se indica en la Figura 4. 39 en el caso de simulación se realizara desde cuando la sección de la superestructura inicia a

impactar con el piso, para lo cual es necesario determina la velocidad con la que impacta al piso.

La energía previa al impacto de la superestructura con el piso es calculada con la siguiente formula (Reglamento_n°_66_(CEPE/ONU), 2007):

$$E_R = M * g * h_1 \quad (4.\ 13)$$

Donde:

M = es la masa en orden de marcha del Vehículo

g = la constante gravitacional

$h_1$ = la altura en metros del centro de gravedad del vehículo en su posición inicial, inestable con respecto al plano inferior horizontal ver Figura 4. 40.

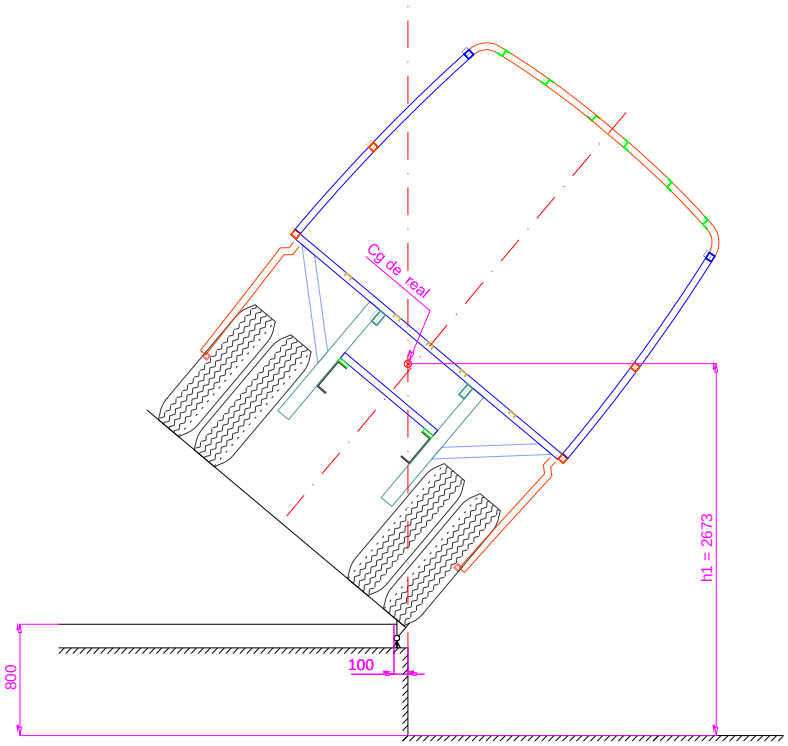



Figura 4. 40 Posición inicial inestable para el ensayo de impacto (Fuente: El Autor)

$$E_R = 2034\ Kg * 9.81 \frac{m}{s^2} * 2.673m$$

$$E_R = 53335.81\,J$$

La velocidad a la que va impactar la sección de la superestructura viene dada por

$$Vim = \sqrt{\frac{2*E_R}{M}} \qquad (4.\ 14)$$

Donde:

$v_{im}$ = es la velocidad que se impacta la superestructura al suelo respecto a su centro de gravedad

$$v_{im} = \sqrt{\frac{2 * 53335.81J}{2034\ Kg}}$$

$$v_{im} = 7{,}24\frac{m}{s}$$

La velocidad angular con la que se impacta la superestructura al piso se determina por:

$$w_{im} = \frac{v_{im}}{r} \qquad (4.\ 15)$$

Donde:

$w_{im}$ = es la velocidad angular con la que se impacta la superestructura al piso respecto a su centro de gravedad.

$$w_{im} = \frac{7{,}24\frac{m}{s}}{1.897m}$$

$$w_{im} = 3{,}81\ \frac{rad}{s}$$

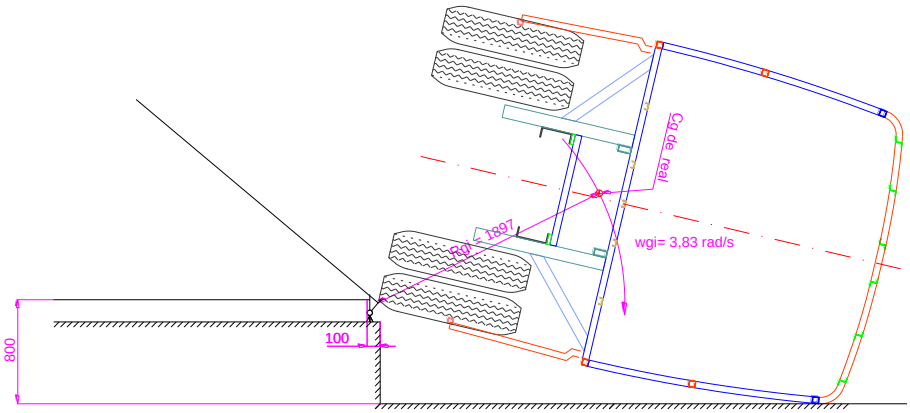



Figura 4. 41 Velocidad angular con la que impacta al piso (Fuente: El Autor)

La geometría del arco es en elemento tipo superficie, como se muestra en la Figura 4. 42.

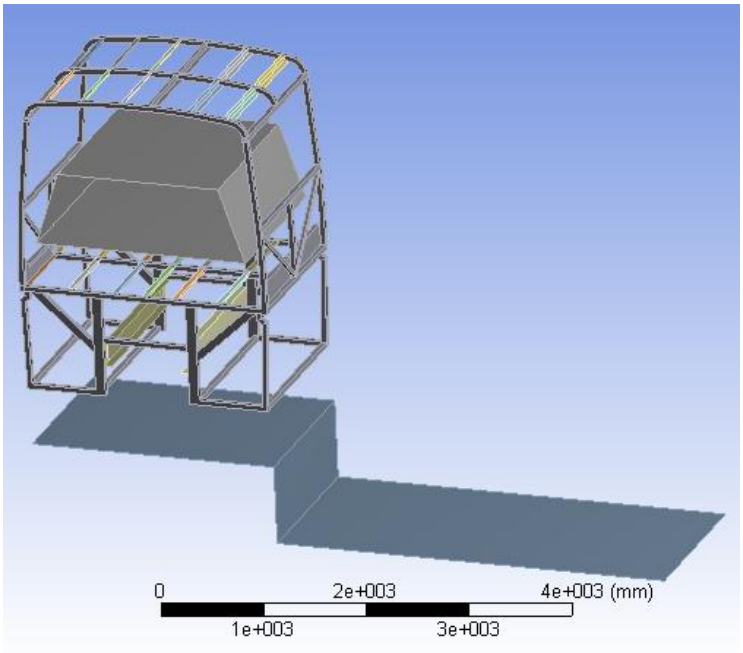



Figura 4. 42 Geometría de la sección de la estructura (Fuente: El Autor)

El mallado y la calidad de la malla mostrada en la Figura 4. 43 presenta una malla muy uniforme de elementos tipo rectangular, la longitud máxima de la cara del elemento es de 25 mm un valor del jacobiano máximo 1,0146 y un mínimo de 1. El valor máximo del Aspec Ratio es de 1,0473 y mínimo de 1; valores que están dentro del índice de caracterización de la variable Aspect Ratio.

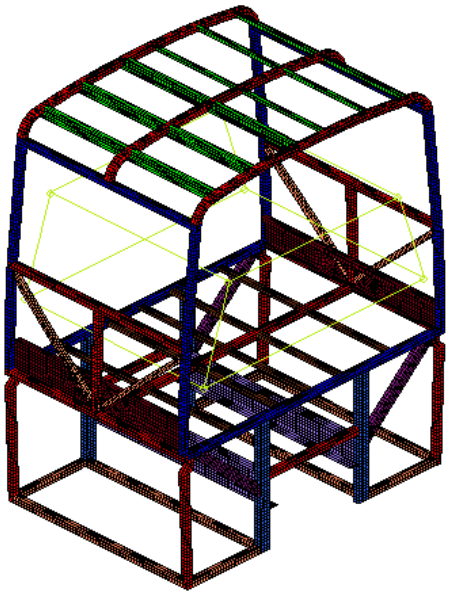


Figura 4. 43 Malla de la de la sección de la estructura (Fuente: El Autor)

En el gráfico de barras de la Figura 4. 44 se indica la cantidad de elemetos en el eje Y y en el eje X indica el valor del Aspect Ratio. Obteniendo 64289 elementos un aspect ratio de 1 y 5 elementos con aspect ratio de 1,15 los demas elementos se encuentran dentro de este rango.

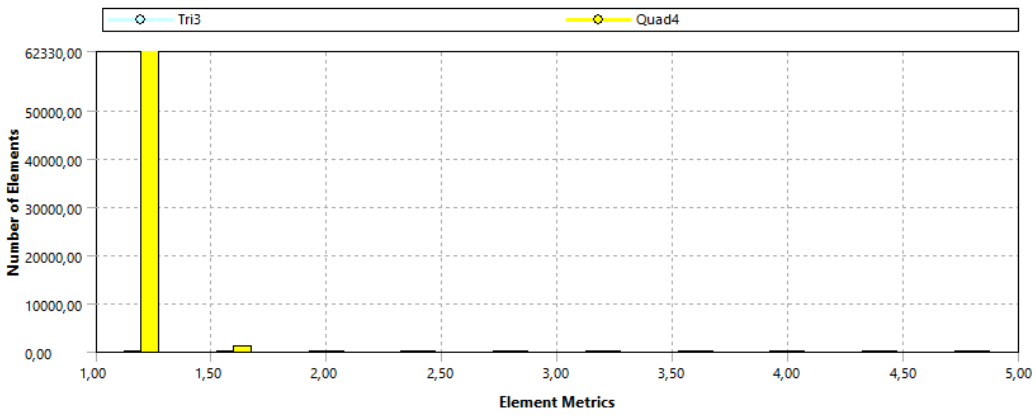



Figura 4. 44 Aspect Ratio versus el número de elementos de la sección de la estructura (Fuente: El Autor)

En el anexo C4 se indica el archivo de texto utilizado por el Solver de Ls-Dyna para la simulación de vuelco de una sección de la superestructura

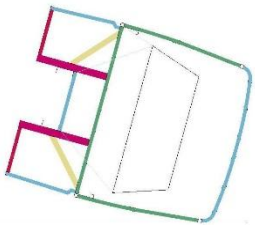
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

## SIMULACIÓN DEL ENSAYO DE VUELCO

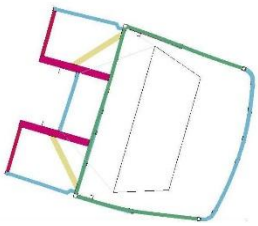
| | | | |
|---|---|---|---|
| Probeta Nº | 1 | Muestra de: | Superestructura del autobús modelo Infiniti en Chasis Hino Ak |
| Normas Aplicables | ReglamentoCEPE/ONU66 Anexo B3 | | |
| Fecha de ejecución | 07-01-2013 | Realizado por | Ing. César Arroba |
| | | Revisado por | Ing. Manolo Córdova |
| Aspect Ratio Max: | 5 | Aspect Ratio Min: | 1 |
| Cantidad de nodos | 66536 | Cantidad de elementos | 64289 |
| Tiempo de procesamiento | 8 horas 40 minutos | Número de procesadores | 2 de 2.0 GHz |
| Velocidad al momento de impacto | 3.81 rad/seg | Masa de la sección | 2034Kg |

## RESULTADOS DEL ENSAYO

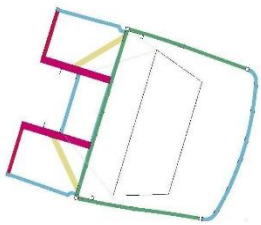
t=0.0000s



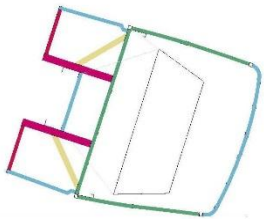
t=0.0089s



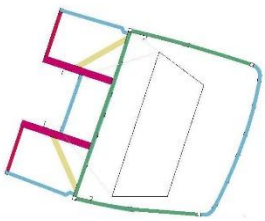
t=0.017s



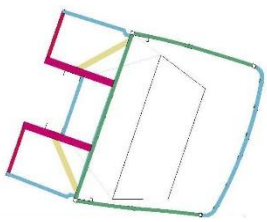
t=0.026s



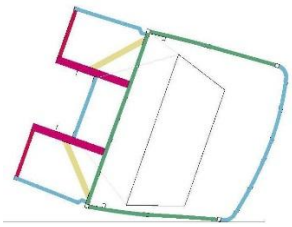
t=0.035s



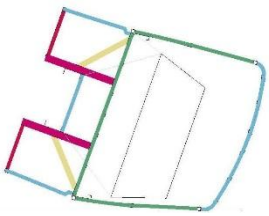
t=0.044s



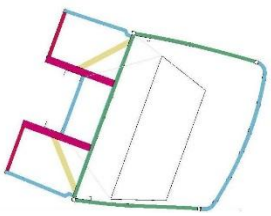
t=0.054s



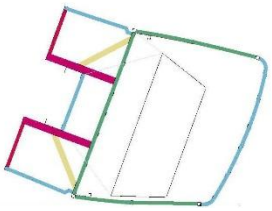
t=0.063s



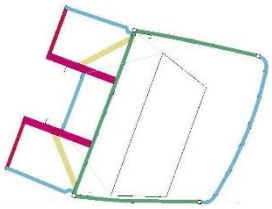
t=0.071s



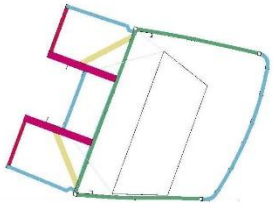
t=0.081s



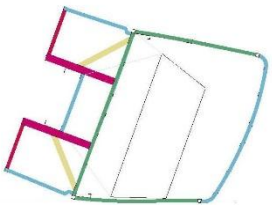
t=0.089s



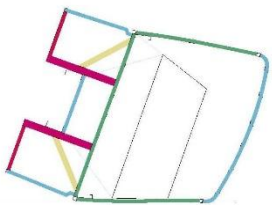
t=0.099s



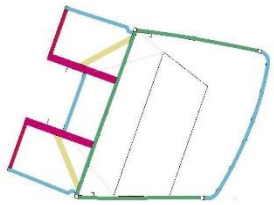
t=0.108



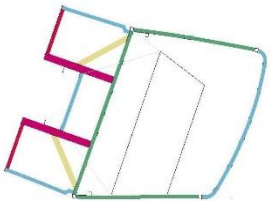
t=0.117s



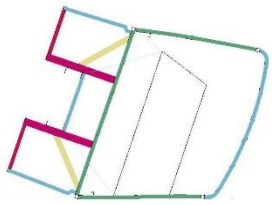
t=0.126s



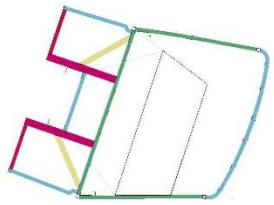
t=0.135s



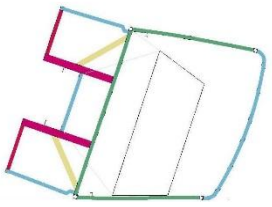
t=0.144s



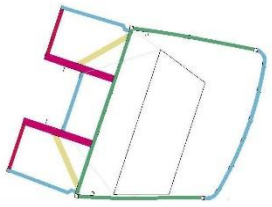
t=0.153s



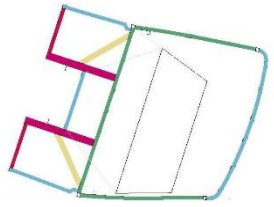
t=0.162s



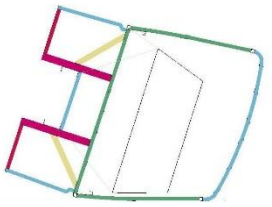
t=0.171s



t=0.180s



t=0.198s



| **RESULTADOS REGISTRADOS** | |
|---|---|
| Invade la Superestructura del autobús el espacio de supervivencia | **SI** |

Anexo C4 archivo de texto para el Solver de Ls-Dyna para la simulación del ensayo de vuelco de una sección de la superestructura

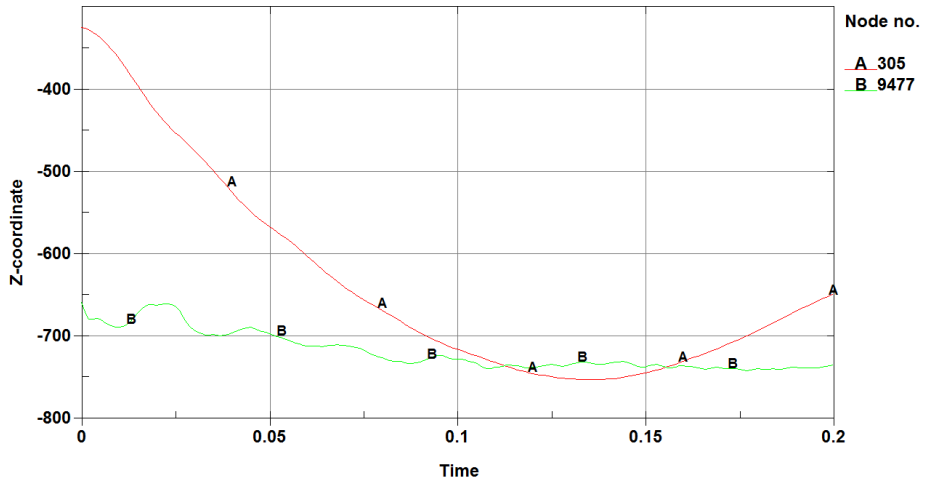



Figura 4. 45 Desplazamiento del espacio de supervivencia con relación a la superestructura. (Fuente: El Autor)

El resultado de restar las curvas A y B de la Figura 4. 45 se obtuvo la curva de la Figura 4. 45. muestra la distancia que existe entre el espacio de supervivencia y la superestructura con un maximo de 350mm al inicio del ensayo y luego es invadido por la superestrcutura en 20.78 mm cuando la superestuctura impacta al piso y sufre su mayor deformación, invadiendo el espacio de supervivencia.

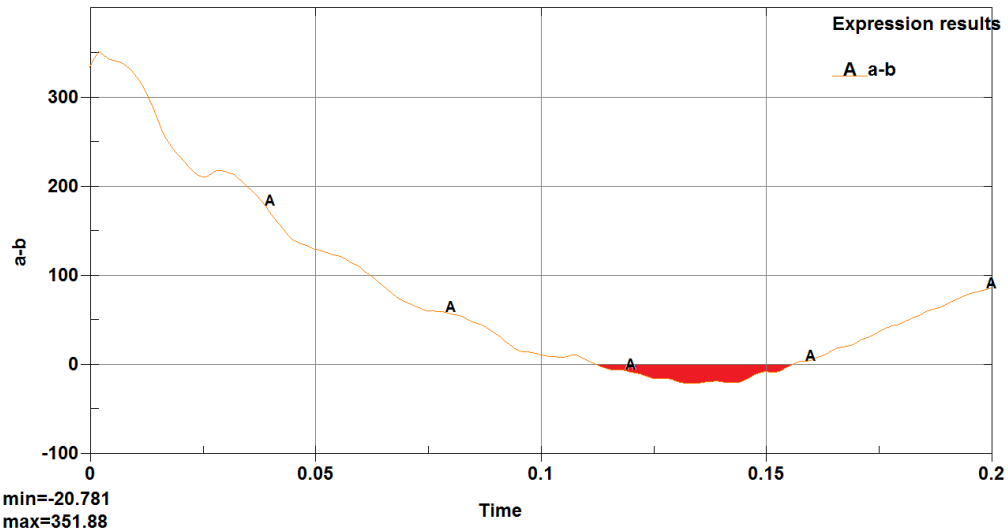



Figura 4. 46 Desplazamiento del espacio de supervivencia con relación a la superestructura (Fuente: El Autor)

## 4.4 Verificación de hipótesis

Como parte final del desarrollo del presente estudio se establece que la hipótesis que se planteó para dicha investigación, se pudo comprobar que mediante la simulación del ensayo de vuelco de una sección de la superestructura del autobús fabricado por Miral Autobuses y de acuerdo con la Figura 4. 45 y Figura 4. 46 se establece que el espacio de supervivencia determinado por el ReglamentoCEPE/ONU66 es invadido por la superestructura en 20.781 mm incidiendo en la seguridad de los ocupantes, determinando que la superestructura del autobús en estudio es insegura.

# CAPÍTULO V

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

-La aplicación de la norma ISO 307 para la extracción de la probeta y la norma técnica INEN 109 ensayo de tracción para materiales metálicos a temperatura ambiente; se determinó que el acero que utiliza Miral Autobuses en la construcción de la superestructura del autobús tiene zona lineal hasta límite de fluencia de 250Mpa y la zona de endurecimiento por deformación hasta llegar al límite de fractura de 400Mpa.

-En la evaluación de similitud del ensayo de tracción real versus el ensayo de tracción simulado se determinó que el porcentaje promedio de error es de 4,09 % siendo menor a 5% que es el valor de error máximo recomendado.

-En la evaluación de similitud de los resultados del ensayo real de flexión del tubo versus el ensayo simulado se determinó que el porcentaje promedio de error es de 4,02 % siendo menor a 5% que es el valor de error máximo recomendado.

-En la evaluación de similitud de los resultados del ensayo real de flexión de una sección del pórtico real versus el ensayo simulado se determinó que el porcentaje promedio de error es de 4,1 % es menor a 5% que es el valor de error máximo recomendado.

-El modelo geométrico de la sección de la superestructura, constituida en superficies de acuerdo a la geometría de cada componente, geometría aplicada a una malla que se encuentra dentro de los parámetros de Aspect Ratio menor o igual a 5.

-La masa que debe resistir la sección de la superestructura es 2034 Kg que produce una velocidad angular de impacto con el piso durante el ensayo de 3.81 rad/s con un radio de giro respecto al centro de gravedad de la sección de 1897mm.

-La simulación del ensayo de vuelco de la sección de la superestructura, dio como resultado que el espacio de supervivencia es invadido en 20.78mm. Razón por la cual la sección de la superestructura ensayada no cumple con lo descrito Reglamento nº 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa.

## 5.2 Recomendaciones

-Para la realización de los ensayos de materiales es necesario realizarlo en una máquina de mayor precisión y de lectura de datos digitales, para evitar errores por lecturas y mayor precisión de la máquina en rango de cargas pequeñas.

-En el proceso de dibujar la geometría de la sección de la superestructura es necesario que se realice lo más detallada en todos los elementos considerados que aporte a la resistencia de la superestructura, la conexión de estos elementos debe ser perfecta, esto ayudara que la malla que se obtenga de esta geometría sea continua.

-Verificar la continuidad de la malla en los cambios de secciones, áreas, o combinación de secciones para que exista uniformidad en la distribución de esfuerzo durante el ensayo.

-Para ensayos futuros utilizar el software HyperMesh para el proceso de mallado, las herramientas que tiene el software ayudan a realizar con más facilidad el proceso de mallado de geometrías complejas como es la sección del autobús, obteniendo una mejor calidad de malla y eliminando contactos que no están acorde a la realidad.

-Ejecución de prototipos para la realización de pruebas físicas de ensayo de vuelco en las mismas condiciones que los estudios del presente trabajo a efectos de comparación y validación de resultados.

# CAPÍTULO VI

## 6 PROPUESTA

## REDISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL AUTOBÚS INTERPROVINCIAL MODELO MIRAL INFINITI PARA CHASIS HINO AK.

### 6.1 Datos Informativos

Una vez realizado el análisis 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, se ha determinado que la configuración actual de la superestructura en una de sus secciones de la carrocería no presenta la suficiente resistencia mecánica, para garantizar que él es espacio de supervivencia no sea invadido en caso de vuelco.

Constituye un aporte importante para la seguridad de los ocupantes de este modelo de carrocería y para Miral Autobuses tener un bus que cumpla con el requerimiento de seguridad para sus ocupantes, garantizando el espacio de supervivencia y disminuyendo posibilidades de daños personales o pérdidas humanas.

Los ensayos del material que se ocuparan para la construcción de la superestructura de la carrocería se realizó en el laboratorio de resistencia de materiales de la ESPOCH de igual manera serán utilizado en el desarrollo de la propuesta.

### 6.2 Antecedentes de la propuesta

Se ha realizado proyectos de investigación sobre la resistencia mecánica que tiene una superestructura del autobús, únicamente dirigidos a la comprobación de superestructuras ya construidas a nivel nacional.

En la Escuela Politécnica del Ejército se desarrolló una investigación bajo el tema "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL DEL AUTOBÚS FELINE PARA LA EMPRESA CARROCERA MIRAL BUSES", ejecutada por el Ing. Jorge Luis Cepeda Miranda que fue un modelo de carrocería que al momento Miral Autobuses ha dejado de fabricar siendo del modelo Infiniti con otra configuración de estructura que se está fabricando.

## 6.3 Justificación

El rediseño de la superestructura del autobús interprovincial modelo Miral Infiniti para chasis Hino AK es de gran importancia para la seguridad de los ocupantes y a la vez para Miral Autobuses, que podrá tener un diseño de la superestructura que cumpla con la normativa nacional e internacional. La innovación que tendrá el diseño de la superestructura para sus cálculos y simulación no se realizara con datos empíricos sino con datos reales que serán tomadas del capítulo 4 como son el centro de gravedad, distribución de cargas y otros.

Por medio del rediseño de la superestructura del autobús interprovincial modelo Miral Infiniti para chasis Hino Ak se tendrá información de primera mano de la resistencia de su estructura, lo que repercute directamente en el mejoramiento en la calidad del producto que entrega para así satisfacer las necesidades del cliente. Del mismo modo la información proporcionada por el rediseño le permitirá tomar decisiones en proyectos futuros.

El transporte masivo de pasajeros, en especial el del servicio interprovincial para el cual está destinado este rediseño, se obtendrá unidades que sean seguras en caso de un siniestro como es el vuelco de bus.

## 6.4 Objetivos

### 6.4.1 General

-Rediseñar la superestructura del bus interprovincial modelo MIRAL Infiniti en el chasis Hino AK variando su configuración para que cumpla con el ensayo de vuelco.

### 6.4.2 Especifico

-Rediseñar la configuración de la superestructura, disminuyendo la distancia entre pórticos en las zonas más solicitadas, para aumentar la resistencia de la superestructura.

-Analizar mediante simulación, la resistencia cuasiestática de la superestructura propuesta según la norma técnica NTE INEN 1323 para determinar su resistencia.

-Evaluar el cumplimento del espacio de supervivencia descrito en el Reglamento no 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa mediante simulación de la sección más solicitada de la superestructura,

## 6.5 Análisis de factibilidad

El rediseño de la superestructura del bus interprovincial modelo MIRAL Infiniti para chasis Hino AK es totalmente factible, ya que se cuenta con la tecnología, y el recuso humano con experiencia en la construcción de autobuses, como también el apoyo de Miral Autobuses. De igual manera se tiene los datos necesarios de dimensiones de los componentes que son estandarizados en el proceso de fabricación por Miral Autobuses para este modelo.

Miral Autobuses y COINAV facilitaran el software de CAD y CAE para el diseño, calculo y simulación de la superestructura.

El costo del rediseño de la superestructura es manejable ya que se requiere el tiempo, conocimientos del investigador, manuales de programas CAD Y CAE y datos bibliográficos.

## 6.6 Fundamentación

La presente propuesta se basa en la información recolectada y presentada en el CAPITULO II que corresponde al marco teórico, donde se presentan los factores y características básicas para el diseño de una superestructura de autobús. Además se toma como referencia a la norma técnica NTE INEN 1323 (INEN, 2009).

### 6.6.1 Redistribución de elementos estructurales

Para la redistribución de los elementos estructurales de debe tomar en cuenta los siguientes aspectos constructivos que en el proceso de fabricación de este modelo son estandarizados, es así que muchos de los componentes del autobuses ya tiene matrices para la fabricación y montaje, para la modificación de estas partes es necesario la construcción de nuevas matrices y modificar los instructivos de fabricación y montaje de las partes, inversión que no está contemplada en el presupuesto de este año por Miral Autobuses.

Dentro de los componentes que no se pueden modificar sus dimensiones son:

- Dimensiones de puerta.
- Dimensiones de frente.
- Dimensiones de respaldo.
- Dimensiones de vidrios laterales pudiendo únicamente modificar los vidrios de la secciones de color verde que se muestra en la Figura 6. 1 ya que estos no son estandarizados las secciones de color rojo no se puede modificar.
- Dimensión de la altura del piso la parte baja de la ventana
- Capacidad de pasajeros

– Distancia entre asientos por requerimiento del Reglamento RTE. INEN 043
– Dimensión y ubicación de claraboyas

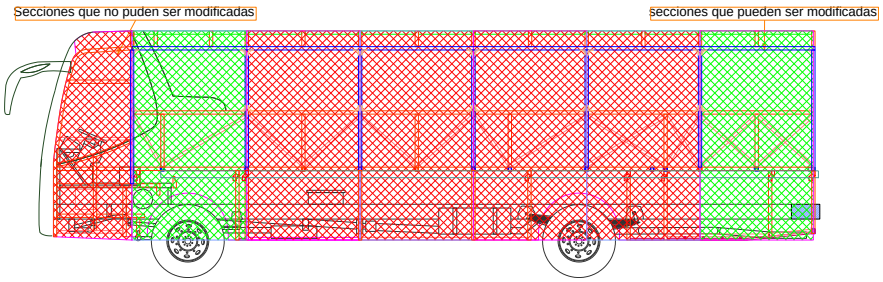



Figura 6. 1Secciones del bus quepueden ser modificadas. (Fuente: El Autor)

En base a estos parámetros se obtuvo la distribución de los elementos estructurales que se muestra la Figura 6.2 (Anexo E4)

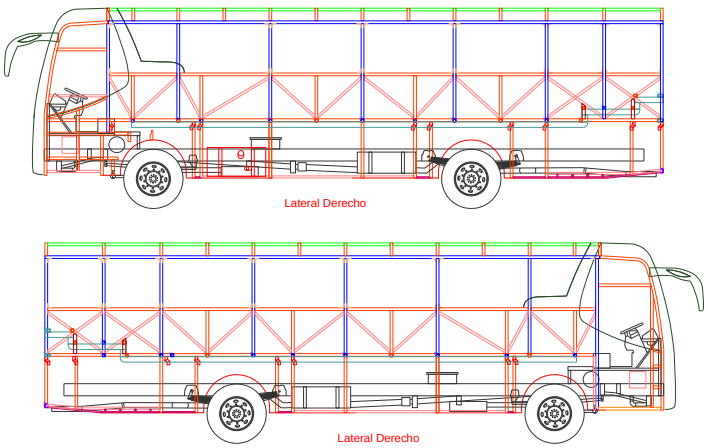



Figura 6.2 Propuesta de una nueva distribución de miembros estucturales en la superestructura. (Fuente: El Autor)

### 6.6.2 Análisis cuasiestático

La superestructura propuesta será analizada cuasi estáticamente y está diseñada para el transporte de pasajeros de rutas nacionales y servicio interprovincial, en 6.6.1 se ha considerado los diferentes parámetros de diseño y fabricación necesarias para satisfacer las necesidades de la empresa fabricante y usuarios.

La simulación y comprobación de la resistencia estructural en el análisis cuasi estático de la superestructura se realizará con la ayuda del programa de análisis estructural mediante elementos finitos, aplicando cargas extremas que ocurren y puedan ocurrir en el funcionamiento, lo cual puede repercutir en fallas estructurales si la misma no resistiese.

Los cálculos de cargas y pesos se ejecutaran de conformidad a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323 vigente (Vehículos automotores. Carrocerías de buses. Requisitos)(INEN1323, 2009). El proceso de simulación se inicia con el modelado tridimensional de la superestructura, manteniendo las proporciones geométricas de la superestructura propuesta, para luego representar cada uno de los elementos estructurales como vigas (elementos BEAM) y considerar que las uniones entre éstos son perfectas. Se generan luego matrices de posición y carga, partiendo de las coordenadas de los elementos finitos generados, que se resolverán internamente en el programa aplicando ecuaciones diferenciales de la teoría de elementos finitos, dando como resultado los desplazamientos sufridos por la estructura cuando actúan los estados de carga según (INEN1323, 2009).

La unión entre la carrocería y el chasis también se considera ideal. Dado que se considera un análisis estático, los 6 grados de libertad se consideran restringidos.

#### 6.6.2.1 Descripción de la superestructura

Las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en la construcción de la superestructura se utilizaran los obtenidos en el capítulo 4.

La estructura utilizada tiene las siguientes características generales de fabricación. La estructura de piso fabricado en tubería estructural cuadrado de 50x50x3mm correspondiente a los tubos de que conectan el anclaje del chasis con el piso de la carrocería, tubos cuadrados de 50x50X2mm que se utilizan en la parte intermedia del piso entre los tubos de 50x50x3mm y canal u de 50x25x2mm correspondiente al tejido del piso.

Las estructuras de laterales construidas en tubo cuadrado de 50x50x3mm y reticulado con tubo de 50x50x2mm y tubo de 40x40x2mm.

El techo en perfil cuadrado de 50x50x2mm, con y reticulado con perfil Z.

La estructura del frente y respaldo en tubería estructural cuadrada de 40x40x2mm 50x50x2mm, 25x25x2mm, elementos de refuerzo en perfiles de acero de 2mm de espesor.

El anclaje de la superestructura al chasis por medio de un arreglo perfil L 80x70x6mm y doble tubo 100x50x3mm, cada conexión con pernos de ½ in de diámetro grado 8.

Todos los elementos estructurales serán soldados mediante el proceso de soldadura MAG cumpliendo los requerimientos según lo descrito en la norma AWS D1.3, La estructura será modelada por medio de elementos finitos tipo frame o viga, como se muestra en la Figura 6. 3.

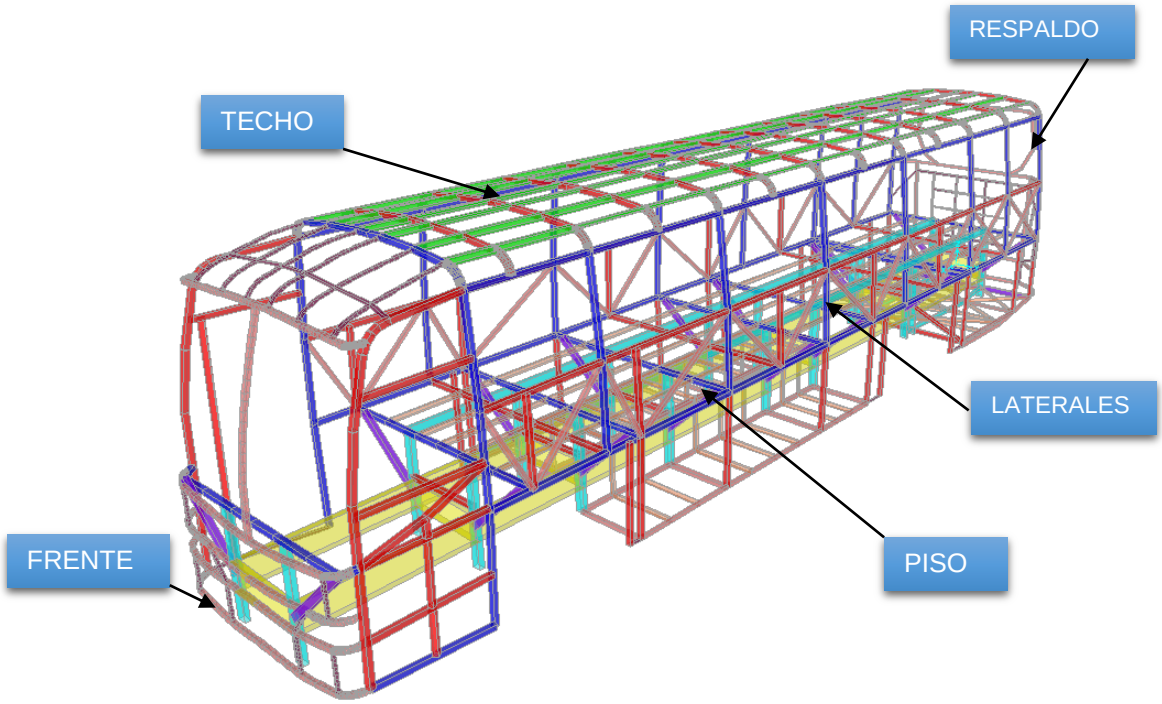



Figura 6. 3Vista tridimensional de la superestructura del  Bus. (Fuente: El Autor)

### 6.6.2.2 Descripción de cargas de diseño y sus combinaciones

El análisis cuasiestático de la superestructura se realizara en un modelo tridimensional, en este caso de propuesta, la superestructura es constituida por perfiles y tubería estructural, detallada anteriormente en sus diferentes partes, que se apoyan y transmiten la carga al chasis o viceversa mostrado en Figura 6. 4 .

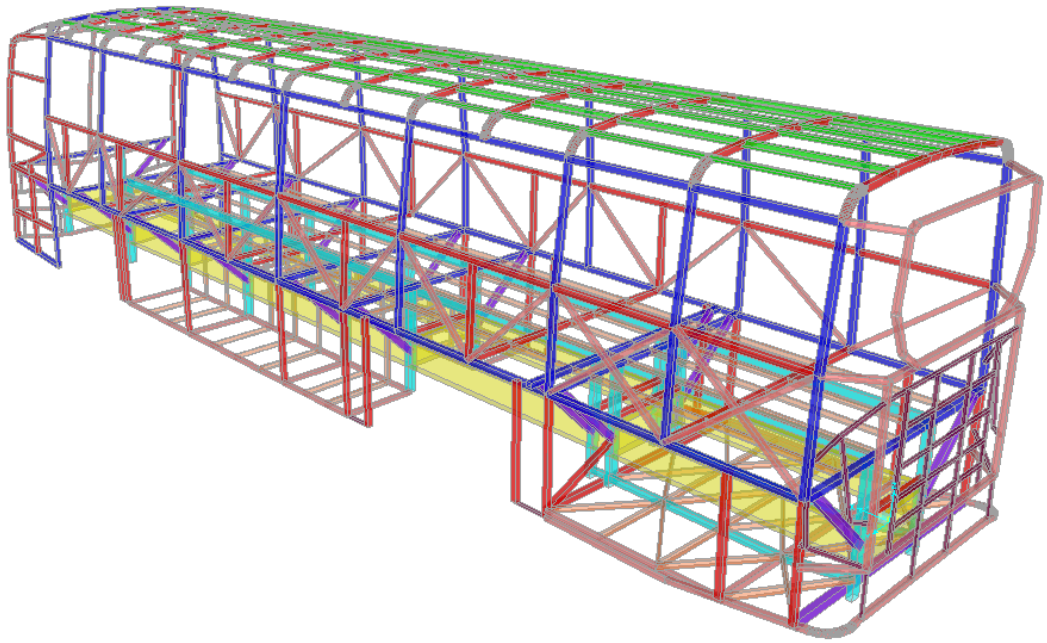


Figura 6. 4Vista tridimensional de la superestructura del autobus desde la parte posterior. (Fuente: El Autor)

### 6.6.2.3 Ubicación del centro de gravedad

La posición del centro de gravedad se asume el determinado físicamente en el capítulo 4 como se muestra en la Figura 6. 5.

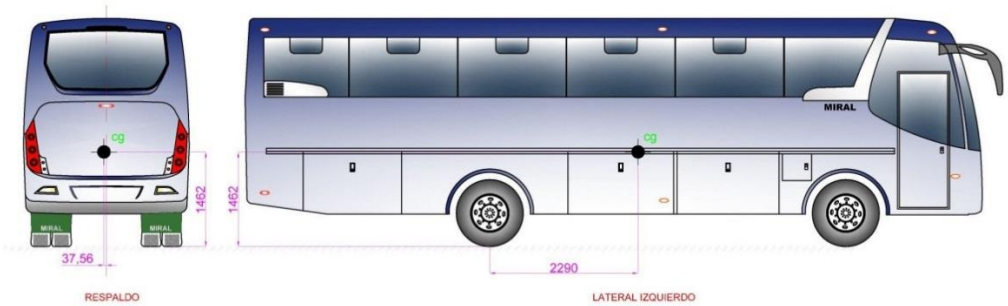



Figura 6. 5 Ubicación del centro de gravedad (Fuente: El Autor)

Tabla 6. 1 Altura del centro de gravedad del autobús

| | |
|---|---|
| Altura del bastidor al centro de gravedad de la carrocería | 462mm |
| Altura del suelo al nivel sup. del bastidor en el eje delantero | 1000mm |
| Altura del suelo a nivel sup. del bastidor en el eje posterior | 1000mm |
| Altura del suelo al centro de gravedad de la carrocería | 1462mm |

#### 6.6.2.4 Peso de la Carrocería (M)

El peso correspondiente a la carga muerta (M) del autobús tiene importancia para determinar un factor de mayoración que se debe aplicar a la carga muerta o peso de la estructura.

Tabla 6. 2Descripción de peso del autobús

| | | |
|---|---|---|
| Peso de carrocería | **6235** | **kg** |
| Peso de chasis | 4765 | kg |
| Peso de la estructura | 2634.56 | kg |
| Peso de la carrocería sin estructura | 3600.44 | kg |
| Factor de mayoración | 2,3667 | kg |

Analizamos los datos de la Tabla 6. 2 y comparamos con los resultado de las reacciones proporcionadas por el software se muestra en la Figura 6. 6 se tiene que el error es de 0.208 Kg, por los que asumo que el resultado del peso de la simulación del autobús esta validada.

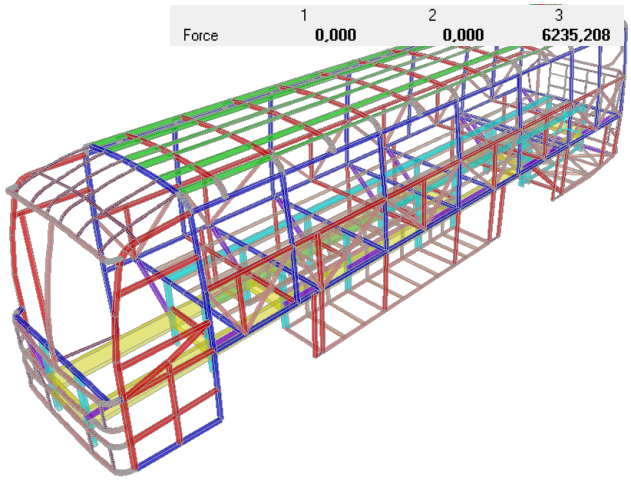



Figura 6. 6 Peso de la carrocería según el software adicionado a la estructura el factor de mayoración. (Fuente: El Autor)

### 6.6.2.5 Carga debida a los ocupantes y equipaje (V)

Esta carga se define como carga viva (V) y es la debida a los ocupantes a transportar el autobús y su equipaje, de acuerdo con la Figura 6. 7 es de 43 pasajeros sentados más el chofer. El peso que se asumirá por ocupante es de 70 Kg con un equipaje de mano de 5 Kg (INEN1323, 2009).

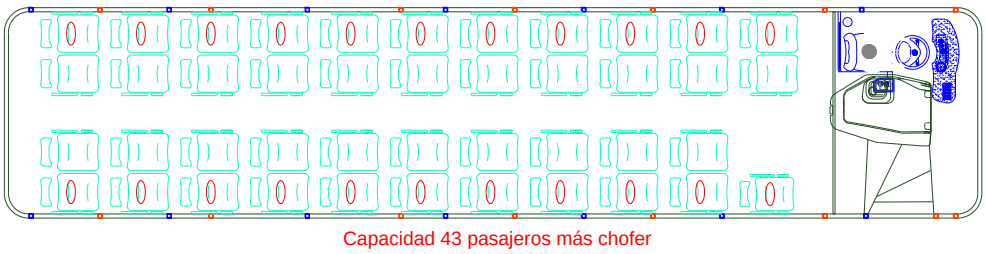



Figura 6. 7 Capacidad de pasajeros (Fuente: El Autor)

Tabla 6. 3 Carga debido a los pasajeros

| Descripción | Cantidad | Peso | Peso total | Unidad |
|---|---|---|---|---|
| Peso debido a pasajeros | 42 | 75 | 3150 | kg |
| Peso debido tripulante (controlador) | 1 | 75 | 75 | kg |
| Peso debido al chofer | 1 | 75 | 75 | kg |
| | **Carga Viva Personas (V)** | | 3300 | kg |

Los datos de la Tabla 6. 3 indican la carga aplicada debido a los pasajeros y se compara con los resultados de las reacciones proporcionadas por el software y se muestra en la Figura 6. 8 que no se tiene error, por los que se asume que el resultado de la carga debido a los pasajeros de la simulación del autobús esta validada.

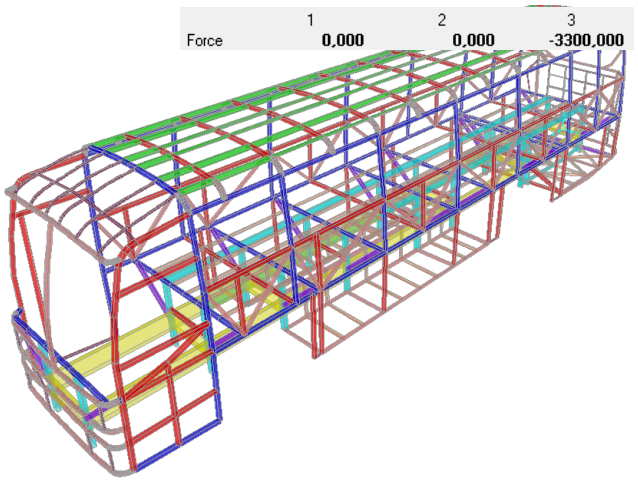



Figura 6. 8 Reacciones mostrado por el software debido al peso de los pasajeros. (Fuente: El Autor)

La carga debido al equipaje también es considerada como carga viva y equivale a 100 veces el volumen en kilogramos (INEN1323, 2009) en la Tabla 6. 4 se muestra la distribución de cargas debido al peso por equipaje.

Tabla 6. 4 Carga debido al equipaje en cajuelas

| Descripción | Volumen ($m^3$) | Equivalencia ($Kg/m^3$) | Carga (Kg) |
|---|---|---|---|
| Cajuela lateral derecha | 2.00 | 100 | 200 |
| Cajuela lateral Izquierda | 1.43 | 100 | 143 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Cajuela Posterior | 3.90 | 100 | 390 |
| (Fuente el Autor) | **Carga Viva cajuelas (V)** | | 733 |

La carga viva total resulta de sumar la carga viva debido a los pasajeros más la carga viva debido al equipaje que se transporta en las cajuelas.

Carga Viva Total = 3300Kg + 733Kg = 4033Kg

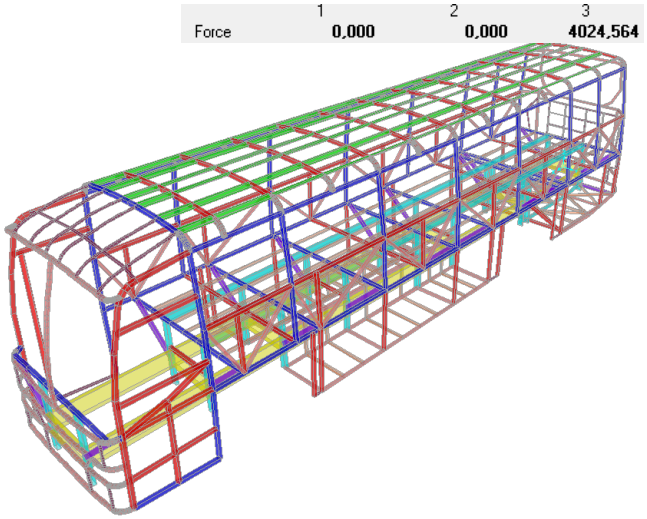



Figura 6. 9 Reacciones mostradas por el software debido a la carga por equipaje en las cajuelas. (Fuente: El Autor)

Los datos de la Tabla 6. 4 indican la carga aplicada debido al equipaje trasportado en las cajuelas y se compara con los resultados de las reacciones proporcionadas por el software se muestra en la Figura 6. 9 que existe una diferencia de 8.4Kg equivalente 0.209%, por lo que se asume que el resultado de la carga viva de la simulación del autobús esta validada.

### 6.6.2.6 Cálculo y aplicación de carga de viento.(Raf)

La carga del viento se produce por la resistencia que tiene el aire frente al movimiento del auto bus y viene dada por la siguiente ecuación (INEN1323, 2009)

$$Raf = \frac{1}{2} * Cx * p * Af * V^2$$

Donde:

Cx es el coeficiente de resistencia frontal del aire (Como Mínimo 0.7)

p es la densidad de aire en ($Kg/m^3$)

V es la velocidad del aire (m/s) (Como Mínimo 25m/s)

Af es el área correspondiente a la proyección del bus en el plano perpendicular a su eje longitudinal

Raf= Carga por resistencia aerodinámico (N)

$$Raf = \frac{1}{2} * 0.7 * 1.225 * 9.18 * 25^2$$

$$Raf = 2459.9531N$$

$$Raf = 251.0156Kg$$

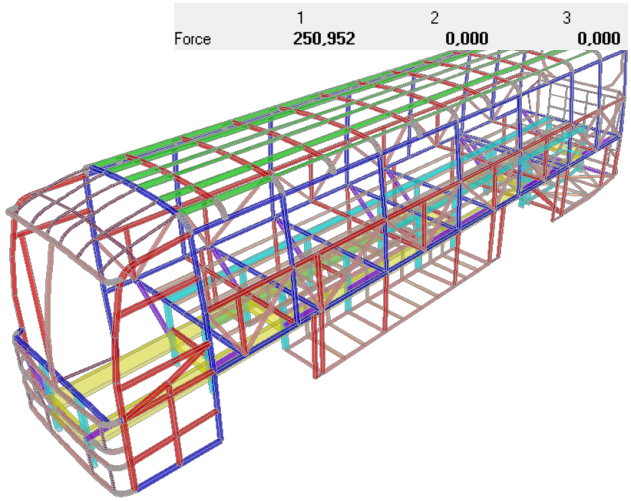



Figura 6. 10 Reacciones mostradas por el software debido a la carga por resistencia al viento. (Fuente: El Autor)

Los datos de *Raf* indican la carga aplicada debido al a la resistencia de aire frente al movimiento del autobús y se compara con los resultados de las reacciones proporcionadas por el software se muestra en la Figura 6. 10 que tiene una diferencia de 0.0636Kg equivalente 0.0253%, por lo que se asume que el resultado de la carga viva de la simulación del autobús esta validada.

### 6.6.2.7 Cálculo y aplicación de carga de frenado.(F)

La carga debido al frenado se asume una desaceleración mayor o igual 4 m/s$^2$ (INEN1323, 2009)

$$F = (M + V) * 4\frac{m}{s^2}$$

$$F = (4033 + 6235)Kg * 4\frac{m}{s^2}$$

$$F = 41072N = 4186.75Kg$$

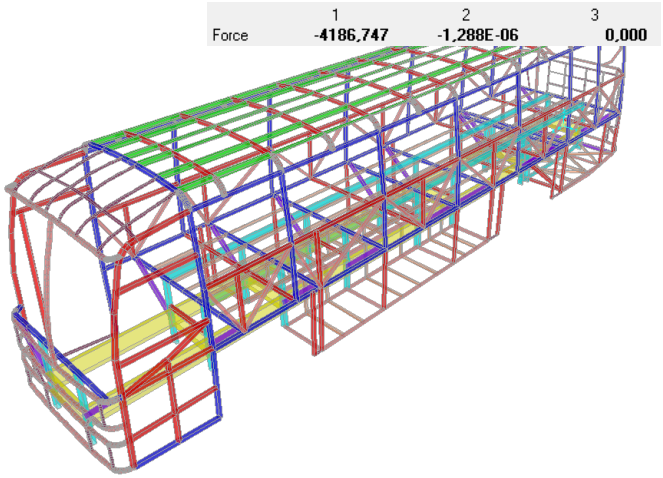



Figura 6. 11 Reacciones mostradas por el software debido a la carga por frenado. (Fuente: El Autor)

Los datos de *F* indican la carga aplicada debido al frenado del movimiento del autobús y se compara con los resultados de las reacciones proporcionadas por el software, se muestra en la Figura 6. 11 que tiene una diferencia de 0.003Kg equivalente 7.16x10$^{-5}$ %, por lo que se asume que el resultado de la carga por frenado de la simulación del autobús esta validada.

### 6.6.2.8 Cálculo y aplicación de carga de giro.(G)

Es la fuerza centrífuga que se genera al ingresar el vehículo en una curva, la carga será calculada con el autobús en su máxima capacidad, y la velocidad critica deberá ser considerada al menos de 90Km/h (25m/s ) (INEN1323, 2009).

El radio de curvatura es de 350m y un peralte de la calzada de 8% equivalente a 4.57°

$$G = (M + V)\frac{25^2}{350} + (M + V) * sen(4.57°)$$

$$G = \left[(4033 + 6235)\frac{25^2}{350} + (4033 + 6235) * sen(4.57°)\right]/9.81$$

$$G = 2689{,}82\text{Kg}$$

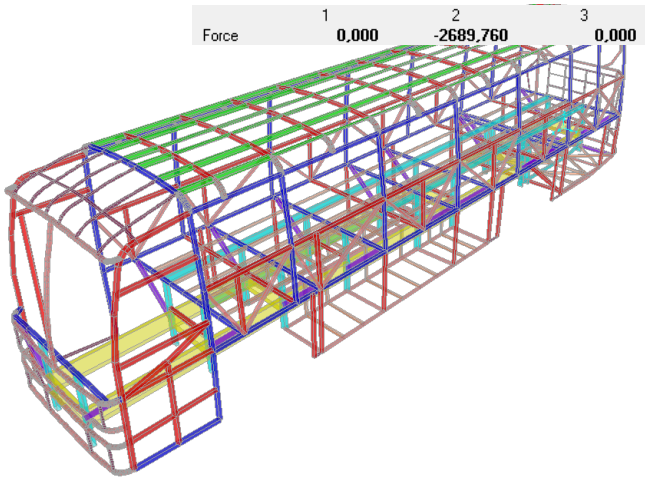



Figura 6. 12 Reacciones mostradas por el software debido a la carga por giro. (Fuente: El Autor)

Los datos de *G* indican la carga aplicada debido al giro del movimiento del autobús y se compara con los resultados de las reacciones proporcionadas por el software se muestra en la Figura 6. 12 tiene una diferencia de 0.06Kg equivalente $2.236x10^{-5}$ %, por lo que se asume que el resultado de la carga por frenado de la simulación del autobús esta validada.

### 6.6.2.9 Combinaciones de cargas

Las combinaciones de cargas sometidas al diseño están en concordancia a la Norma NTE INEN 1323 vigente bajo el método LRFD (Load Resistance Factor Desing). Las combinaciones aplicadas para el análisis cuasiestático:

Combo1= 1,4M + V

Combo2= 1,2M + 1,6V + 0,5G

Combo3= 1,2M + 0,5V +1,6G

Combo4= 1,2M + 1,6F +0,8 Raf

Combo5= 1,2M + 0,5V + 0,5F + 1,3Raf

Combo6= 1,2M + 1,5Ab + 0,5V

Combo7= 0,9M - 1,3Raf

Combo8= 0,9M + 1,3Raf

#### 6.6.2.10 Resultados de la simulación y comprobación

Los resultados emitidos por el software se muestra en el código de colores, los elementos que están de color celeste tienen una relación de esfuerzo del valor de 0 a 50% de la resistencia permisible los elementos de color verde están en el rango del 50 al 70% de la resistencia permisible, elementos que tenga una coloración amarilla están el rango del 70 al 90% del valor permisible, elementos que tengan una coloración tomate están en el rango del 90 al 100% y los elementos que presenten una coloración roja sobrepasa el valor de resistencia permisible

En la Figura 6. 13 se tiene en código de colores todos los elementos que conforman la superestructura del autobús, muestran que todos los elementos presentan una coloración celeste lo que indica que la superestructura del autobús cumple con lo requerido en la norma NTE INEN 1323 para el análisis cuasiestático.

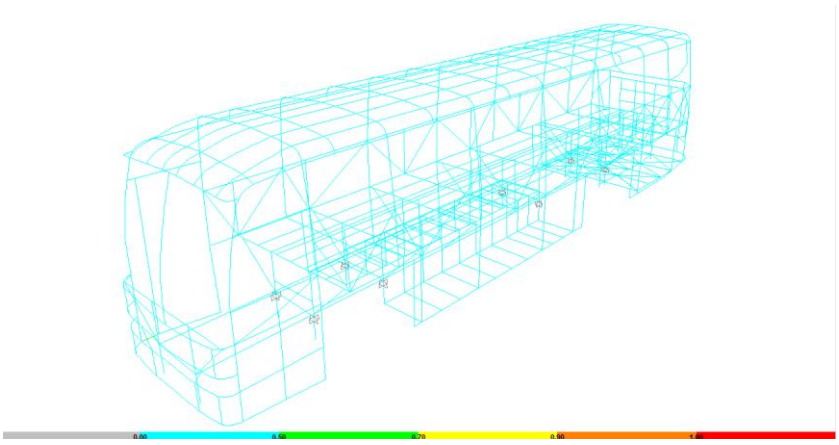


Figura 6. 13 Verificación de la resitencia de la suaperestructura bajo el codigo AISC LDRD. (Fuente: El Autor)

En la Figura 6. 14 se indica más detalladamente los resultados emitidos por el software en los elementos más solicitados

As Noted | Steel Design 1 - Summary Data - AISC-LRFD93

| Frame Text | DesignSect Text | DesignType Text | Ratio Unitless | Combo Text | Location cm |
|---|---|---|---|---|---|
| 2171 | T 100X50X3 | Column | 0,276955 | COMB6 | 44,906 |
| 2169 | T 100X50X3 | Column | 0,277428 | COMB4 | 44,906 |
| 2328 | T40x40x2 | Beam | 0,278598 | COMB6 | 32 |
| 2157 | T 100X50X3 | Column | 0,278694 | COMB4 | 44,906 |
| 2356 | T50X50X2 | Brace | 0,280158 | COMB4 | 24,422 |
| 2315 | T40x40x2 | Beam | 0,284925 | COMB6 | 32 |
| 2179 | T 100X50X3 | Column | 0,28989 | COMB6 | 44,906 |
| 2584 | U50X25X2 | Column | 0,289961 | COMB4 | 19,468 |
| 2572 | U50X25X2 | Column | 0,291898 | COMB4 | 17 |
| 2177 | T 100X50X3 | Column | 0,292795 | COMB2 | 0 |
| 2196 | T 100X50X3 | Column | 0,296223 | COMB3 | 0 |
| 39 | T 25x25x2 | Brace | 0,296333 | COMB4 | 0 |
| 2582 | U50X25X2 | Column | 0,305744 | COMB6 | 19,468 |
| 2586 | U50X25X2 | Column | 0,314475 | COMB4 | 19,468 |
| 2067 | chasis | Beam | 0,315276 | COMB3 | 0 |
| 2560 | U50X25X2 | Column | 0,315392 | COMB6 | 17 |
| 2570 | U50X25X2 | Column | 0,315706 | COMB4 | 17 |
| 2176 | T 100X50X3 | Column | 0,320862 | COMB6 | 44,906 |
| 2174 | T 100X50X3 | Column | 0,329094 | COMB6 | 44,906 |
| 2562 | U50X25X2 | Column | 0,349681 | COMB6 | 17 |
| 2580 | U50X25X2 | Column | 0,357079 | COMB6 | 19,468 |
| 2054 | chasis | Beam | 0,383838 | COMB3 | 0 |
| 2355 | T50X50X2 | Column | 0,396573 | COMB4 | 0 |
| 1975 | T70x50x3 | Brace | 0,398182 | COMB6 | 94,19 |

Figura 6. 14 Resultado de la verificacion de la resitecnia de la suaperestructura bajo el codigo AISC LDRD en los elementos las solictados. (Fuente: El Autor)

#### 6.6.2.11 Comprobación de la reistencia a carga estatica del techo

Según la norma NTE INEN 1323 el techo debe resistir el 50% del peso máximo admisible del chasis por lo que se aplica una carga de 14200Kg que es peso admisible de chasis Hino Ak, la carga se aplica distribuida en cada uno de los pórticos en forma distribuida.

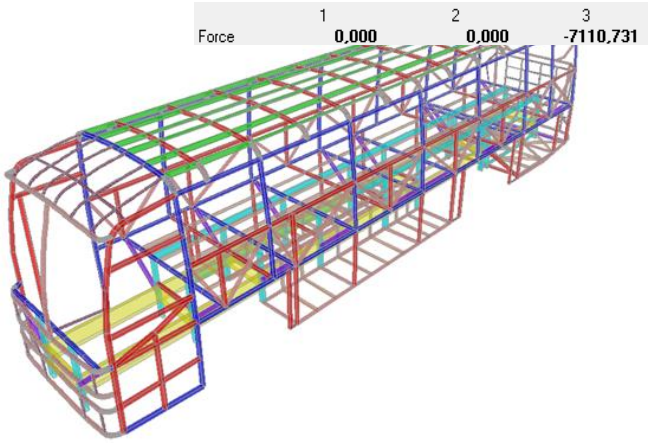
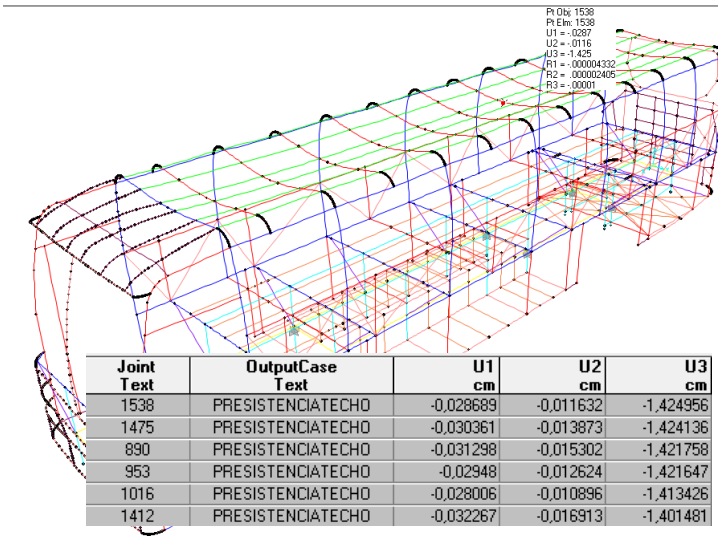



Figura 6. 15 Resultados emitidos por el software debido a la carga de comprobacion de reistencia a carga estatica del techo. (Fuente: El Autor)

La Figura 6. 15 muestra los resultados emitidos por el software con una diferencia de 10.31 Kg equivalente 1.5114x10-3 %, por lo que se asume que el resultado del software debido a la carga para comprobacion de la reistencia a carga estatica en la simulación del autobús esta validada.

La deformacion máxima producto de la deformación del techo es de -14.249mm siendo menor a la deformación máxima que indicado en 5.1.5.1 en la norma NTE INEN 1323 es de 70mm, por lo que se asume que la superestructura del autobus cumple el ensayo de resistencia del techo.




| Joint Text | OutputCase Text | U1 cm | U2 cm | U3 cm |
|---|---|---|---|---|
| 1538 | PRESISTENCIATECHO | -0,028689 | -0,011632 | -1,424956 |
| 1475 | PRESISTENCIATECHO | -0,030361 | -0,013873 | -1,424136 |
| 890 | PRESISTENCIATECHO | -0,031298 | -0,015302 | -1,421758 |
| 953 | PRESISTENCIATECHO | -0,02948 | -0,012624 | -1,421647 |
| 1016 | PRESISTENCIATECHO | -0,028006 | -0,010896 | -1,413426 |
| 1412 | PRESISTENCIATECHO | -0,032267 | -0,016913 | -1,401481 |

Figura 6. 16 Deformación máxima producto de la comprobación de la reistencia a carga estatica del techo. (Fuente: El Autor)

### 6.6.3 Análisis del ensayo de vuelco

#### 6.6.3.1 Distribución de masa por sección de la subestructura del autobús

En la Figura 6. 17 se muestra la nueva configuración general de la superestructura del autobús, en esta estructura está constituida por 9 secciones que contribuyen a la resistencia y a la capacidad de absorción del impacto en el ensayo de vuelco de la superestructura.

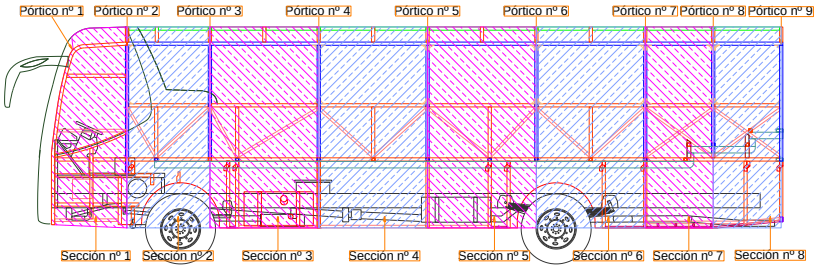



Figura 6. 17 Secciones y pórticos que conforma la superestructura del autobús propuesto (Fuente: El Autor)

Para la obtención de la distribución de masa al igual que en el capítulo 4 se asume que la superestructura del autobús es una viga con dos apoyos que corresponden al eje delantero y posterior del autobús, la viga tendrá una longitud que resulta de la suma del voladizo delantero, distancia entre ejes, y voladizo posterior, en este cálculo no se toma en cuenta el frente y respaldo ya que se considera que no aporten significativamente a la resistencia de la superestructura en el ensayo de vuelco, en la Figura 6. 18 se muestra las dimensiones de los voladizos y cargas.

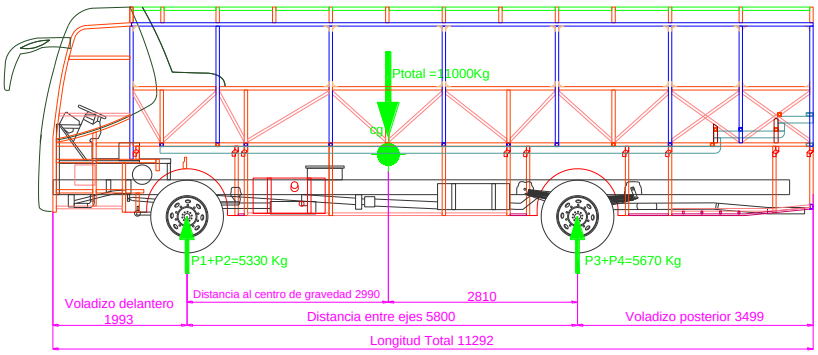



Figura 6. 18 Distribución y ubicación de cargas en el autobús propuesto (Fuente: El Autor)

En la determinación de distribución de cargas se asume lo determinado en el capítulo 4 como se muestra en la Figura 6. 19.

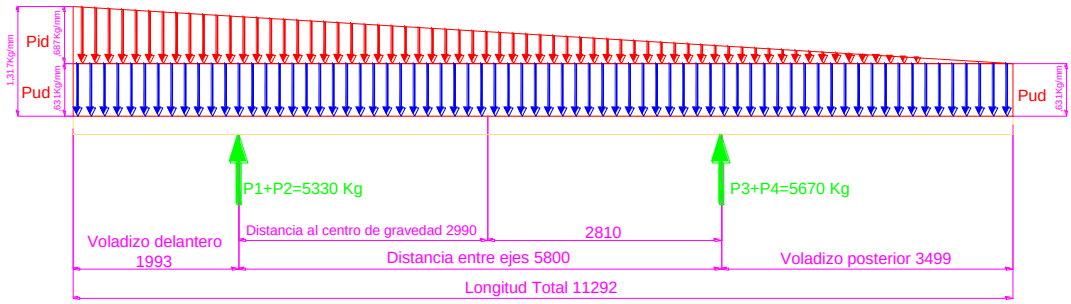



Figura 6. 19 Distribución de cargas en la superestructura del bus. (Fuente: El Autor)

La distribución de masa en el autobús se realiza de acuerdo a lo indicado en Figura 6. 20 resultado de este análisis se obtendrá que la sección de la superestructura del autobús más solicitada en el caso se sufrir un vuelco.

Para obtener la carga que debe soporta cada sección se calcula el área de la carga distribuida como se muestra en la Tabla 6. 5

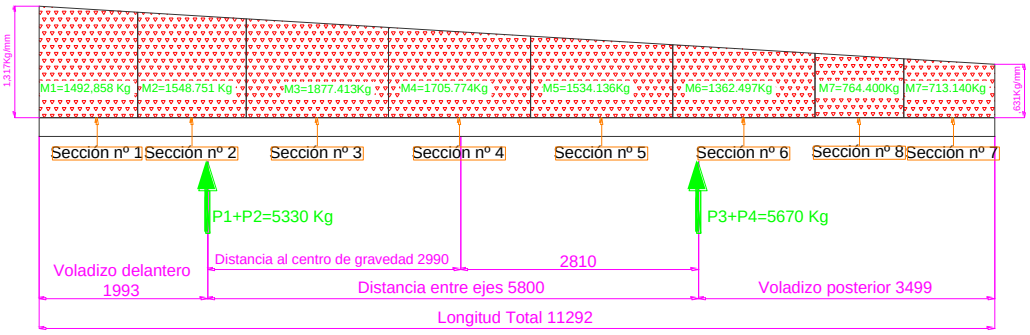



Figura 6. 20 Valor de cargas que debe soportar cada sección de la superestructura propuesta del autobús. (Fuente: El Autor)

Tabla 6. 5 Distribución de peso del Autobuses propuesto por cada sección

| Descripción | Carga a soportar (Kg) |
|---|---|
| Sección 1 | 1492.858 |
| Sección 2 | 1548.751 |

| | |
|---|---|
| Sección 3 | 1877.413 |
| Sección 4 | 1705.774 |
| Sección 5 | 1534.136 |
| Sección 6 | 1362.497 |
| Sección 7 | 764.400 |
| Sección 8 | 731.140 |

Resultado del análisis se obtuvo que la sección número tres con una carga de 1877.413 Kg es la tiene mayor solicitud de resistencia en el caso de vuelco. Con estos antecedentes se selecciona esta sección para realizar el ensayo de vuelco.

### 6.6.3.2 Delimitación del espacio de supervivencia

El espacio de supervivencia se determina bajos los mismos parámetros que se tomó en cuenta en el capítulo 4 mostrada en la Figura 6. 21

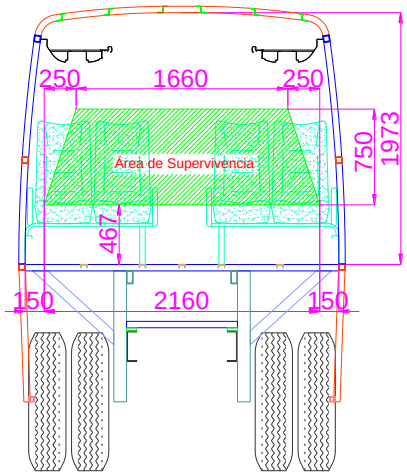



Figura 6. 21 Área de Supervivencia en la sección transversal propuesta. (Fuente: El Autor)

El área de supervivencia visto longitudinalmente atraves del bus inicia 600mm hacia adelante del Punto $S_r$ del asiento de chofer, la altura del espacio de supervivencia inicia en el punto $S_r$ del asiento de pasajeros hasta una altura de

750mm hacia arriba de este punto, y se extiende hasta la última fila 200mm hacia atrás del punto $S_r$ del ultimo asiento como se muestra en la Figura 6. 22

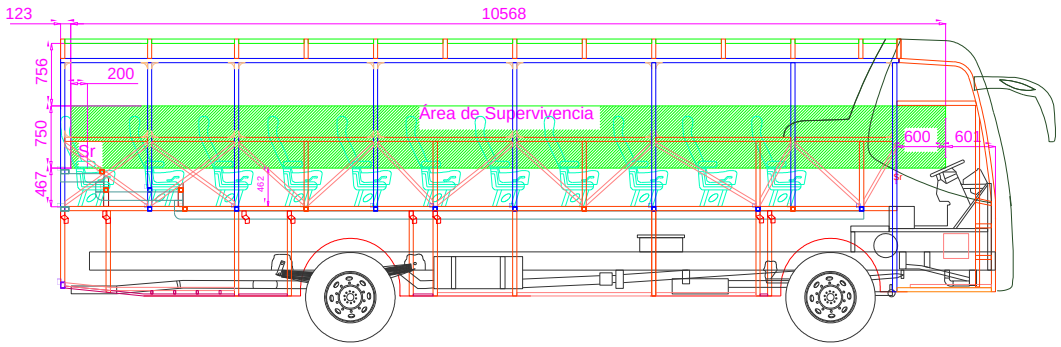



Figura 6. 22 Área de supervivencia en la sección longitudinal de la superestructura propuesta. (Fuente: El Autor)

### 6.6.3.3 Velocidad de impacto de la sección del a superestructura

La masa calculada de la sección de la superestructura es de 380 Kg ya que las dimensiones del pórtico son igual al del evaluado en el capítulo 4, la masa real de la sección del autobús es de 1877 Kg. En relación a los datos obtenidos tenemos que colocar masas en forma proporcional de 4.94 veces en toda sección en estudio.

La simulación se realizara desde que la sección de la superestructura inicia a impactarse con el piso como se muestra en la Figura 6. 23, para lo cual es necesario determina la velocidad con la que impacta al piso.

La energía previa al impacto de la superestructura con el piso es calculada con la siguiente formula (Reglamento_n°_66_(CEPE/ONU), 2007) al igual que en el capítulo 4:

$$E_R = M * g * h_1$$

$$E_R = 1877\ Kg * 9.81 \frac{m}{s^2} * 2.673m$$

$$E_R = 48427{,}1631J$$

La velocidad a la que se va impactar la sección de la superestructura viene dada por

$$Vim = \sqrt{\frac{2 * E_R}{M}}$$

$$v_{im} = \sqrt{\frac{2 * 48427{,}1631J}{1877\ Kg}}$$

$$v_{im} = 7{,}18\frac{m}{s}$$

La velocidad angular con la que se impacta la superestructura al piso se determina por:

$$w_{im} = \frac{v_{im}}{r}$$

$$w_{im} = \frac{7{,}18\frac{m}{s}}{1.897m}$$

$$w_{im} = 3{,}78\ \frac{rad}{s}$$

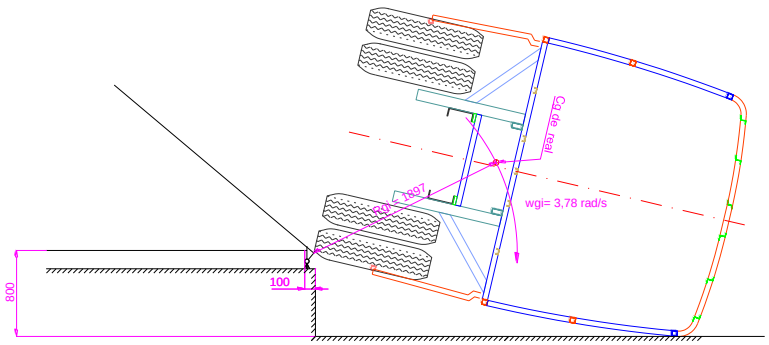
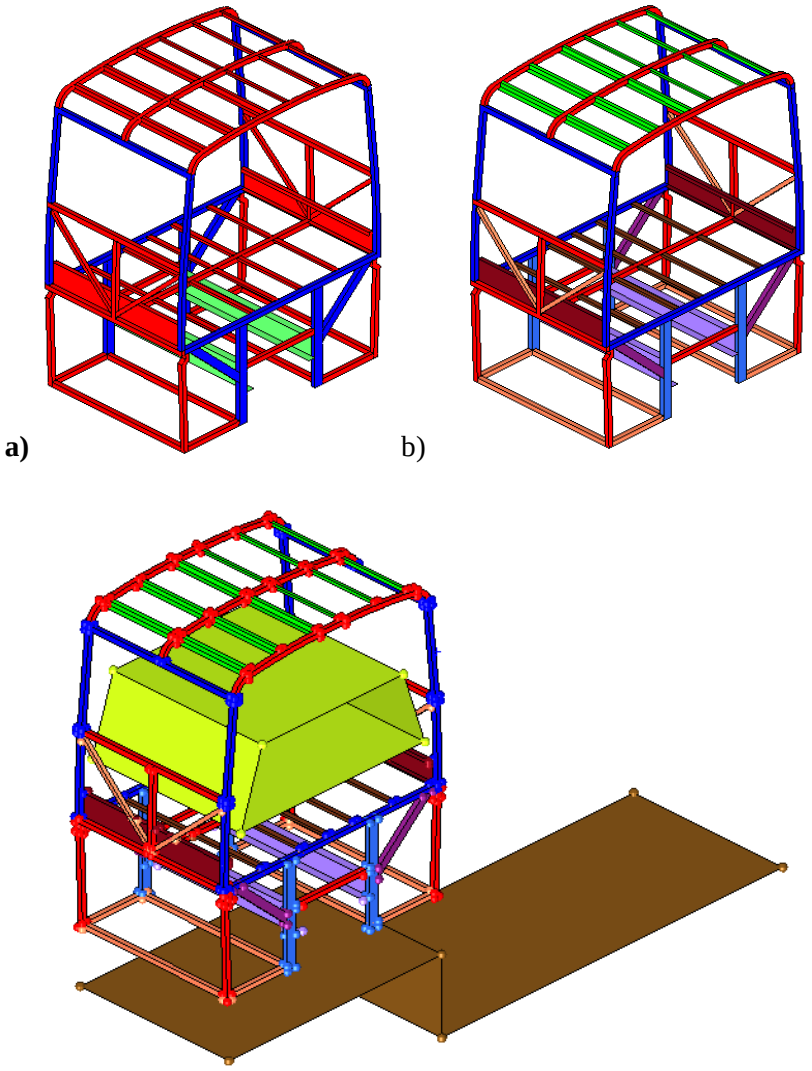



Figura 6. 23 Velocidad angular con la que impacta al piso. (Fuente: El Autor)

La geometría del arco se realizó en elemento tipo superficie, en la Figura 4. 42.a) se indican que los elementos de color rojo corresponde a elementos de 2mm de espesor, los elementos de color azul indican un espesor de 3mm los elementos de color verde son de espesor de 8mm. La Figura 4. 42 b) Indica la diferencia entre secciones, cada color está asociado a su geometría.



**a)** b)

**c)**

Figura 6. 24 a) Geometría de la sección de la estructura colores según espesores b) geometría de la sección de colores según la sección c) Geometría de la sección con el piso y el espacio de supervivencia. (Fuente: El Autor)

El mallado y la calidad de la malla mostrada en la Figura 6. 25 muestra una malla muy uniforme de elementos tipo rectangular, la longitud máxima de la cara del elemento es de 25 mm un valor del jacobino máximo de 1,0146 y un mínimo de 1. El valor máximo del Aspec Ratio es de 1,0473 y mínimo de 1; valores que están dentro del índice de caracterización de la variable Aspect Ratio.

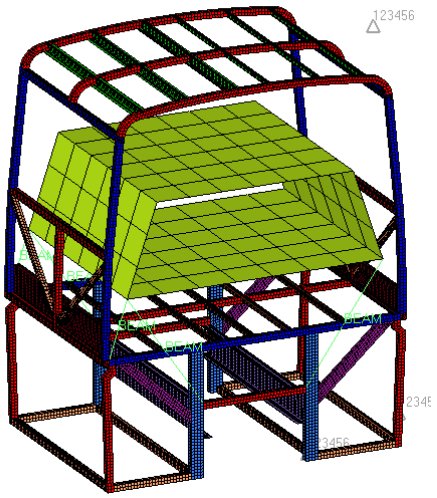


Figura 6. 25 Malla del pórtico en análisis. (Fuente: El Autor)

En el gráfico de la Figura 6. 26 se indica que en el eje X el valor del jacoviano y en el eje Y el porcentaje de elementos. Obteniendo que más del 80% de elementos un aspect ratio de 1 y un jacobiano de 1 sienedo una calidad de malla muy buena obtenida con el software hypermesh.

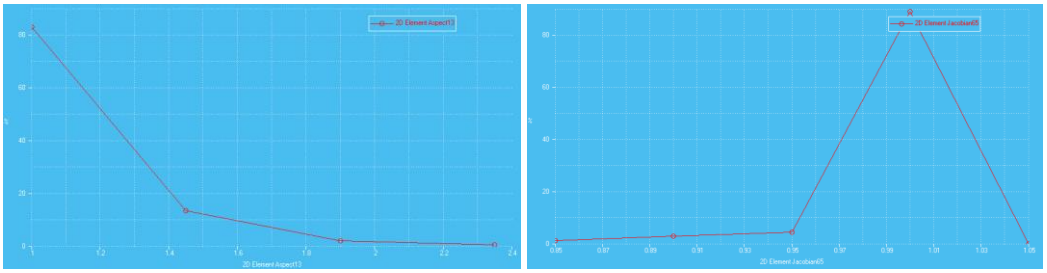


Figura 6. 26 a) Porcentaje de elementos versus Aspect ratio b) Porcentaje de elementos versus Jacobino. (Fuente: El Autor)

En los términos de modelo de material específico a ser usado en LS-DYNA, la bibliografía (Elitok, 2006) recomienda el uso del material 24 MAT_PEICEWISE_LINEAR_PLASTIC que se utiliza cuando el cuerpo en análisis sufre una deformación plástica.

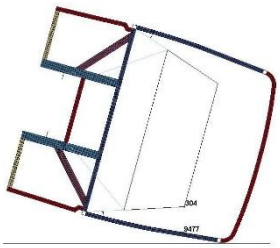
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

## SIMULACIÓN DEL ENSAYO DE VUELCO

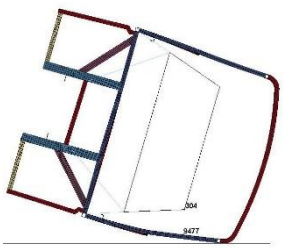
| | | | |
|---|---|---|---|
| Probeta Nº | 1 | Muestra de: | Superestructura del autobús modelo Infiniti en Chasis Hino Ak propuesto |
| Normas Aplicables | ReglamentoCEPE/ONU66 | | |
| Fecha de ejecución | 11-05-2013 | Realizado por | Ing. César Arroba |
| | | Revisado por | Ing. Manolo Córdova |
| Aspect Ratio Max: | 2.35 | Aspect Ratio Min: | 1 |
| Cantidad de nodos | 28241 | Cantidad de elementos | 27592 |
| Tiempo de procesamiento | 128 minutos | Numero de procesadores | 2 de 2.0 GHz |
| Velocidad al momento de impacto | 3.78 rad/seg | Masa de la sección | 1877 Kg |

## RESULTADOS DEL ENSAYO

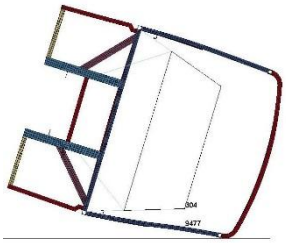
t=0.0000s



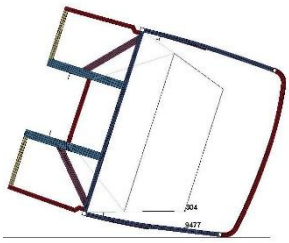
t=0.0089s



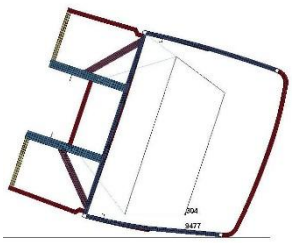
t=0.017s



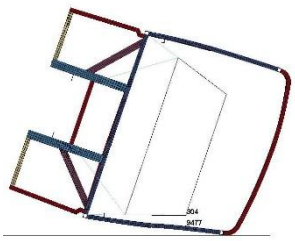
t=0.026s



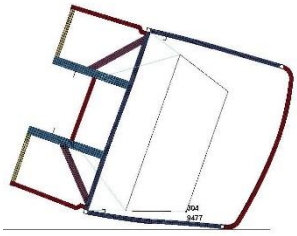
t=0.035s



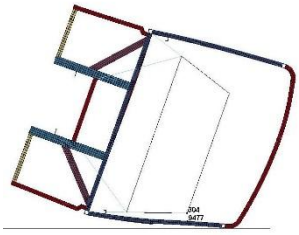
t=0.044s



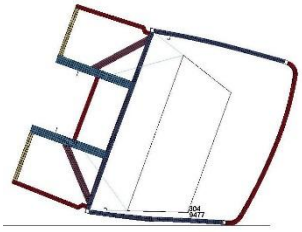
t=0.054s



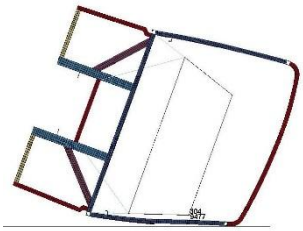
t=0.063s



t=0.071s



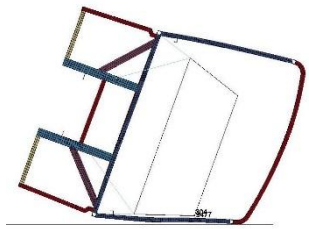
t=0.081s



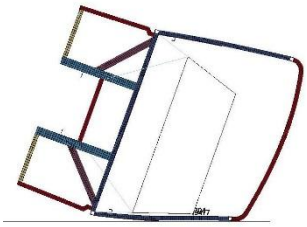
t=0.089s



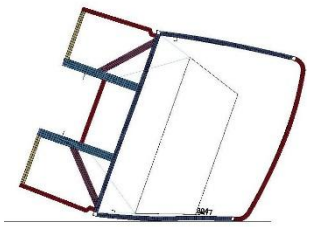
t=0.099s



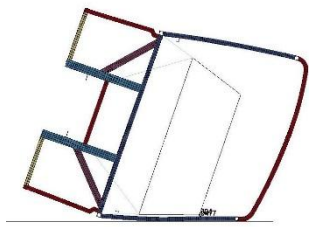
t=0.108



t=0.117s



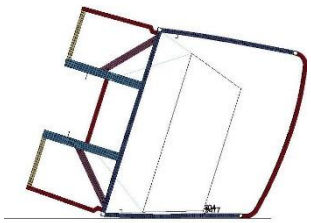
t=0.126s



t=0.135s



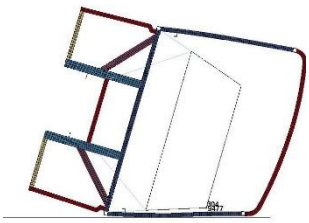
t=0.144s



t=0.153s



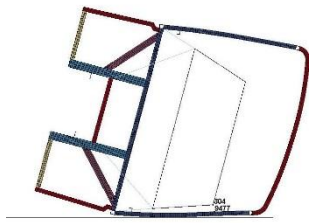
t=0.162s



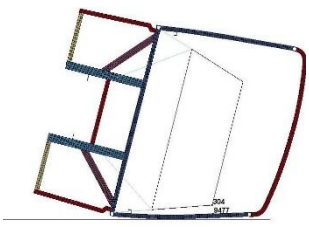
t=0.171s



t=0.180s



t=0.198s



| RESULTADOS REGISTRADOS | |
|---|---|
| Invade la Superestructura del autobús el espacio de supervivencia | **NO** |

### 6.6.4 Diseño de las uniones soldadas.

El diseño de las uniones soldadas se realizara de acuerdo a la norma AWS D1.3. Esta norma es específica para soldadura en espesores delgados como se muestra en la Tabla 6. 6, el procedimiento que ha calificado Miral Autobuses se indica en el Anexo A2, estos procedimientos se han realizado de acuerdo a lo indicado en la norma AWS D1.3.

El proceso de soldadura con el que Miral Autobuses suelda la superestructura es el MAG utilizando un electro ER70S6 de un diámetro de 0.9mm.

Tabla 6. 6 Tabla de aplicación de norma AWS según el espesor de la lámina

**Code Application Matrix of D1.3 and D1.1 Codes Based on Material Thickness Being Joined (see 1.1)**

| Material Thickness | $t_2 < 1/8$ in [3 mm] | 1/8 in $\le t_2 \le$ 3/16 in [3 mm $\le t_2 \le$ 5 mm] | $t_2 >$ 3/16 in. [5 mm] |
|---|---|---|---|
| $t_1 < 1/8$ in [3 mm] | D1.3 | D1.3 or Annex A | Annex A |
| 1/8 in. $\le t_1 \le$ 3/16 in [3 mm $\le t_1 \le$ 5 mm] | D1.3 or Annex A | D1.3 or Annex A or D1.1 | Annex A or D1.1 |
| $t_1 >$ 3/16 in [5 mm] | Annex A | Annex A or D1.1 | D1.1 |

Note: Annex A, Note 1 applications may be used without removal of coating or galvanizing, provided the application meets the requirements of Note 1.

(Fuente: AWS D1.3)

El diseño de la soldadura se realizara en el techo, laterales y piso, dentro de estas partes se ubicara elementos que estén más cargados, analizando varios elementos de diferente sección.

La ecuaciones que se utiliza para determina cual es la carga permisible que pude soportar las soldaduras son la ecuación 1, 2 y 3 de la norma AWS D1.3 como se indica a continuación.

$$P = 0.4(t)L(F_u) \quad (1)$$

$$P = 0.4\left(1 - 0.01\frac{L}{t}\right)t(L)F_u \; para \frac{L}{t} < 25 \quad (2)$$

$$P = 0.3(t)L(F_u) para \frac{L}{t} \geq 25 \quad (3)$$

#### 6.6.4.1 Análisis de la uniones soldadas del techo

En la figura Figura 6. 57 se muestra la configuración de la superestructura del techo.

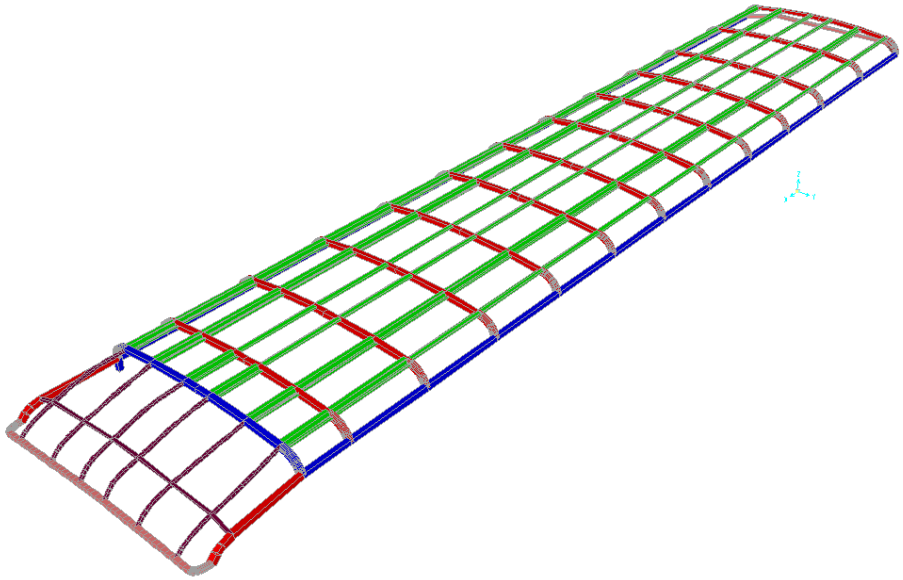


Figura 6. 27  Estructura del techo (Fuente: El Autor)

De la estructura del techo se selecciona los elementos con mayor estado de carga y se identifica cual es la combinación de carga que lo produce como se muestra en la Tabla 6. 7 y se analizará el elemento 1990, 792, 42, 404 que se trata de diferentes perfiles que son utilizado en la fabricación del tacho.

Tabla 6. 7 Elementos del techo con mayor estado de carga

| Elemento | Sección | Ratio | Combinación | Localización |
|---|---|---|---|---|
| 590 | T40x40x2 | 0,04423 | COMB5 | 0 |
| 1990 | z | 0,044296 | COMB1 | 0 |
| 793 | T50X50X2 | 0,090384 | COMB3 | 0 |
| 792 | T50X50X2 | 0,090603 | COMB3 | 0 |
| 89 | T 25x25x2 | 0,093164 | COMB4 | 0 |
| 42 | T 25x25x2 | 0,112298 | COMB3 | 0 |
| 404 | T40x40x2 | 0,119403 | COMB3 | 0 |

La Tabla 6. 14  indica los valores de las fuerzas que actúan en el punto de conexión de un elemento con el otro

Tabla 6. 8 Carga en el punto de conexión

| Elemento | Punto de inicio | Combinación | F1 | F2 | F3 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Lb | Lb | Lb |
| 42 | 60 | COMB3 | -30,63 | -29,92 | 16,86 |
| 404 | 439 | COMB3 | 15,41 | 45,55 | 91,64 |
| 792 | 796 | COMB3 | -22,93 | -25,97 | 123,36 |
| 1990 | 1082 | COMB1 | -77,52 | -2,6 | 25,97 |

**- Análisis del elemento 42**

Este elemento es un tubo cuadrado de 25mm (1in) de lado por un espesor de 2mm (0.0787in), se encuentra conectado mediante soldadura en todos sus cuatro lados a un tubo de sección cuadrada de 50mm (2in) de lado por un espesor de 2mm (0.0787in) como se muestra en la Figura 6. 28; el análisis se realizara en el punto de conexión, y se tomara los valores de la las fuerza indicadas en la Tabla 6. 8; estas fuerzas son distribuidas a los cordones de soldadura como se muestra en Figura 6. 29

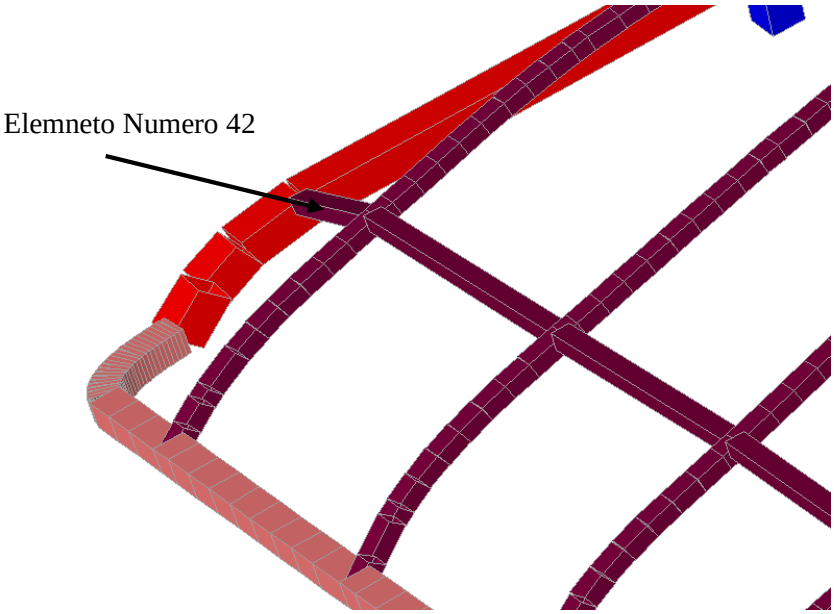



Figura 6. 28  Elemento en análisis. (Fuente: El Autor)

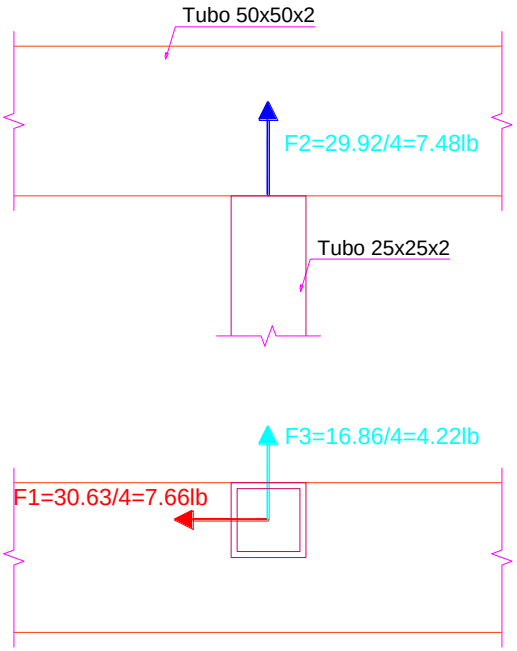



Figura 6. 29 Distribución de fuerzas en el elemento de análisis. (Fuente: El Autor)

Se calcula la carga permisible que tiene la junta y se la compara con la carga actuante determinando si la junta resistirá.

$$P = 0.4(t)L(F_u)$$

$$P = 0.4(0.0787in)1in(57ksi)$$

$$P = 1.794Kips$$

$P = 1794lb$ (Carga permisible para fuerza aplicada transversal a la soldadura)

$$\frac{L}{t} = \frac{1}{0.0787} = 12.7 < 25$$

$$P = 0.4\left(1 - 0.01\frac{L}{t}\right)t(L)F_u\ para\frac{L}{t} < 25$$

$$P = 0.4\left(1 - 0.01\frac{1in}{0.0787in}\right)0.0787in(1in)57ksi$$

$$P = 1.566Kips$$

$P = 1566lb$(Carga permisible para fuerza aplicada longitudinal a la soldadura)

En la Figura 6. 30 se muestra los valores de carga permisible y los valores de carga actuante, comprobándose que los valores de carga permisible son mayores que los valores de carga actuante comprobando que la junta va a resistir

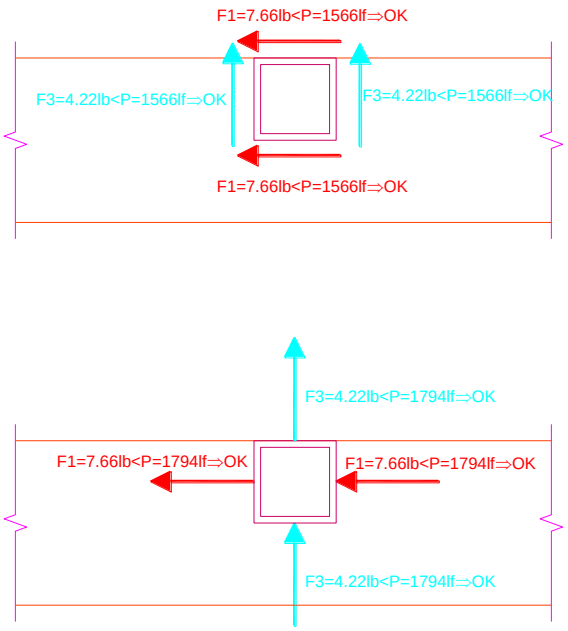



Figura 6. 30 Comprobación de resistencia de la unión soldada. (Fuente: El Autor)

**- Análisis del elemento 404**

Este elemento es un tubo cuadrado de 40mm (1.5in) de lado por un espesor de 2mm (0.0787in), se encuentra conectado mediante soldadura en todos sus cuatro lados a un tubo de sección cuadrada de 50mm (2in) de lado por un espesor de 3mm (0.118in) como se muestra en la Figura 6. 31; el análisis se realizara en el punto de conexión, y se tomara los valores de la las fuerza indicadas en la Tabla 6. 8; estas fuerzas son distribuidas a los cordones de soldadura como se muestra en Figura 6. 32

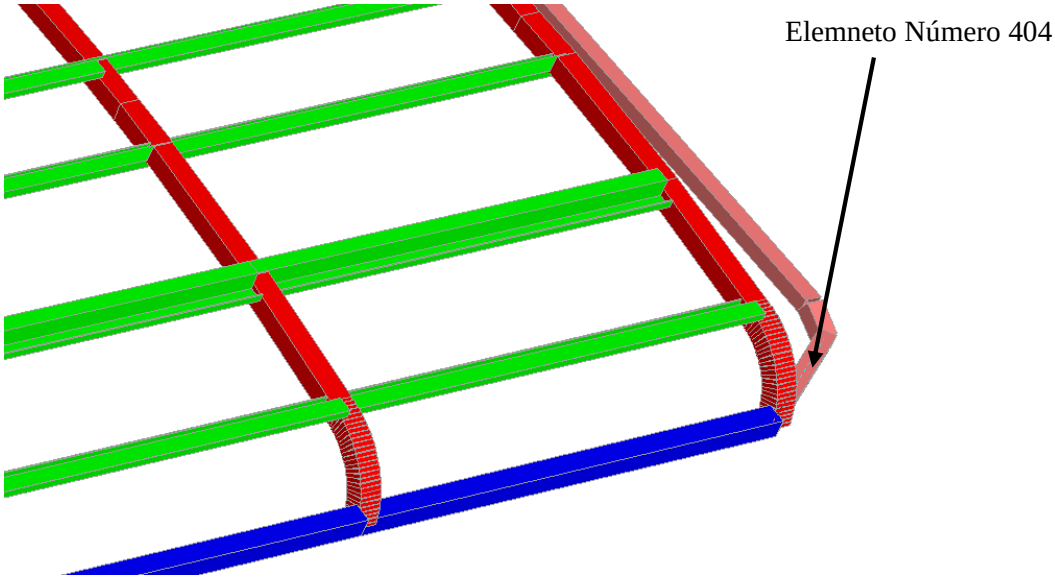



Figura 6. 31 Elemento en análisis. (Fuente: El Autor)

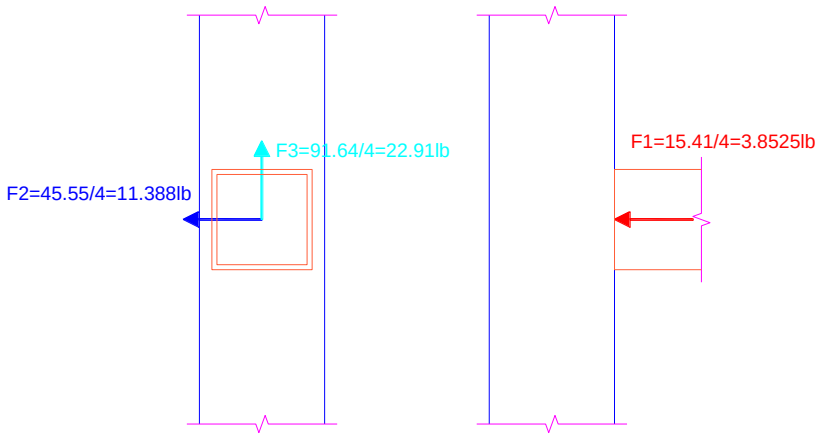



Figura 6. 32 Distribución de fuerzas en el elemento de análisis. (Fuente: El Autor)

Se calcula la carga permisible que tiene la junta y se la compara con la carga actuante determinando si la junta resistirá.

$$P = 0.4(t)L(F_u)$$

$$P = 0.4(0.0787in)1.5in(57ksi)$$

$$P = 2.691Kips$$

$P = 2691lb$ (Carga permisible para fuerza aplicada transversal a la soldadura)

$$\frac{L}{t} = \frac{1.5}{0.0787} = 19 < 25$$

$$P = 0.4\left(1 - 0.01\frac{L}{t}\right)t(L)F_u \; para \frac{L}{t} < 25$$

$$P = 0.4\left(1 - 0.01\frac{1.5in}{0.0787in}\right)0.0787in(1.5in)57ksi$$

$$P = 2.178Kips$$

$P = 2178lb$(Carga permisible para fuerza aplicada longitudinal a la soldadura)

En la Figura 6. 33 se muestra los valores de carga permisible y los valores de carga actuante, comprobándose que los valores de carga permisible son mayores que los valores de carga actuante comprobando que la junta va a resistir

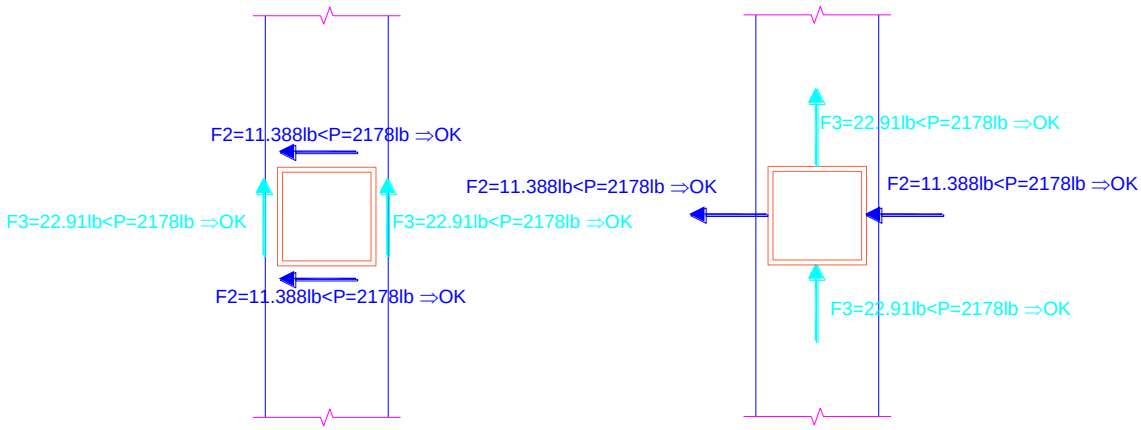



Figura 6. 33 Comprobación de resistencia de la unión soldada. (Fuente: El Autor)

**- Análisis del elemento 792**

Este elemento es un tubo cuadrado de 50mm (2in) de lado por un espesor de 2mm (0.0787in), se encuentra conectado mediante soldadura en todos sus cuatro lados a un tubo de sección cuadrada de 50mm (2in) de lado por un espesor de 3mm (0.118in) como se muestra en la Figura 6. 34; el análisis se realiza en el punto de conexión, y se tomara los valores de la las fuerza indicadas en la Tabla 6. 8; estas fuerzas son distribuidas a los cordones de soldadura como se muestra en Figura 6. 35.

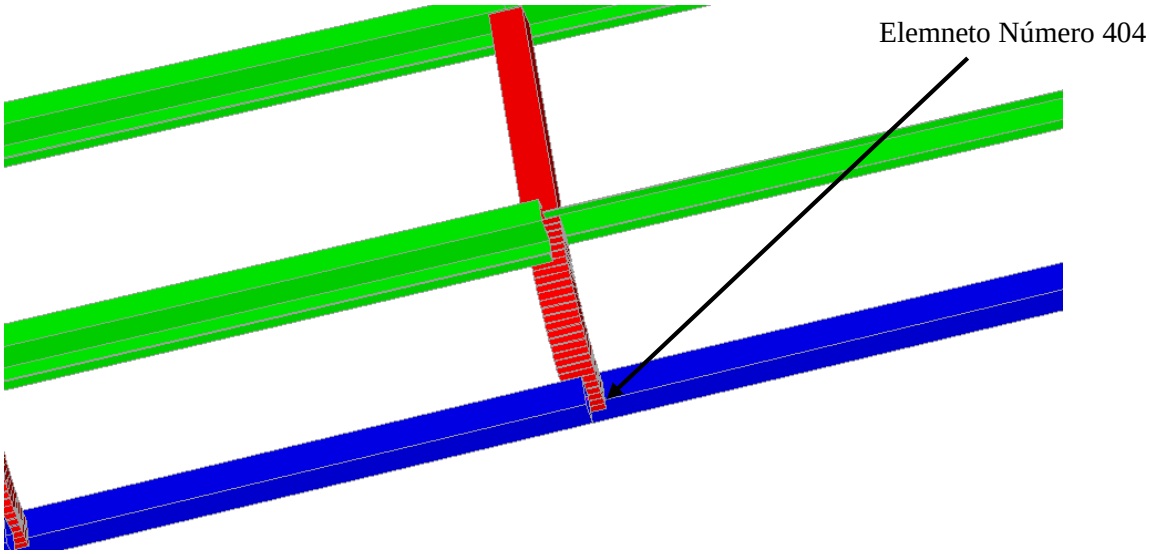



Figura 6. 34 Elemento en análisis. (Fuente: El Autor)

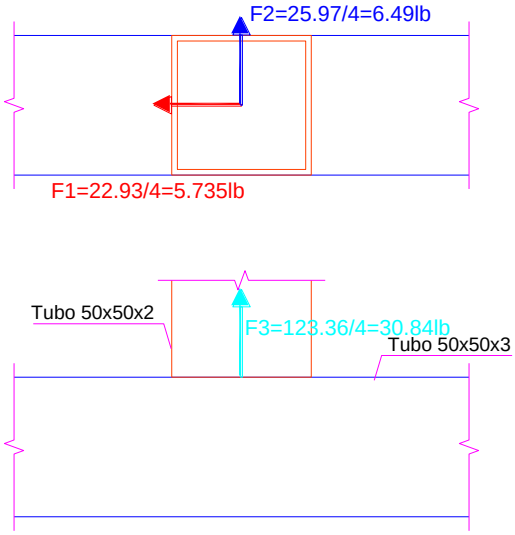



Figura 6. 35 Distribución de fuerzas en el elemento de análisis

Se calcula la carga permisible que tiene la junta y se la compara con la carga actuante determinando si la junta resistirá.

$$P = 0.4(t)L(F_u)$$

$$P = 0.4(0.0787in)2in(57ksi)$$

$$P = 3.588Kips$$

$P = 3588lb$ (Carga permisible para fuerza aplicada transversal a la soldadura)

$$\frac{L}{t} = \frac{2}{0.0787} = 25.41 > 25$$

$$P = 0.3(t)L(F_u)para\frac{L}{t} \geq 25$$

$$P = 0.3(0.0787)2(57)p$$

$$P = 2.691Kips$$

$P = 2691lb$(Carga permisible para fuerza aplicada longitudinal a la soldadura)

En la Figura 6. 36 se muestra los valores de carga permisible y los valores de carga actuante, comprobándose que los valores de carga permisible son mayores que los valores de carga actuante comprobando que la junta va a resistir

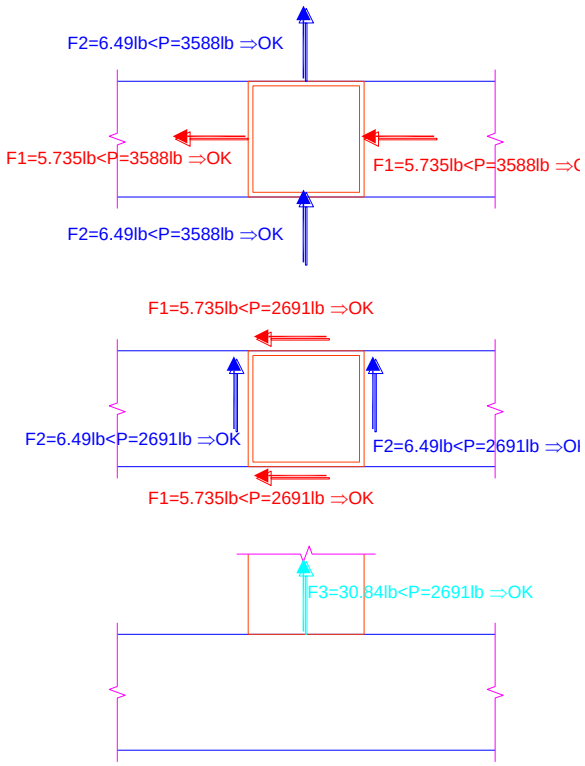



Figura 6. 36 Comprobación de resistencia de la unión soldada. (Fuente: El Autor)

**- Análisis del elemento 1990**

Este elemento es un perfil z de 45x50x35x2 por sus lados y un espesor de 2mm (0.0787in), se encuentra conectado mediante soldadura en todos sus lados a un tubo de sección cuadrada de 50mm (2in) de lado por un espesor de 2mm (0.0787in) como se muestra en laFigura 6. 37; el análisis se realizara en el punto de conexión, y se tomara los valores de la las fuerza indicadas en la Tabla 6. 8; estas fuerzas son distribuidas a los cordones de soldadura como se muestra en Figura 6. 38

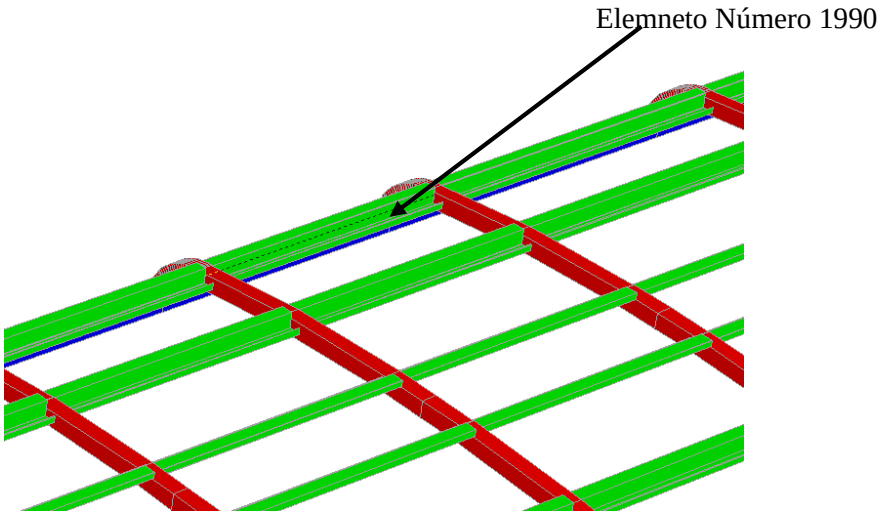



Figura 6. 37 Elemento en análisis. (Fuente: El Autor)

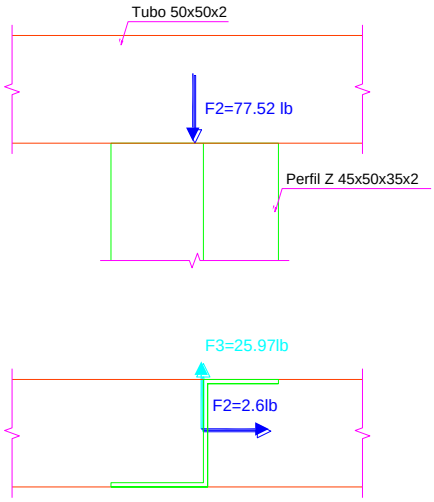



Figura 6. 38 Distribución de fuerzas en el elemento de análisis

Se calcula la carga permisible que tiene la junta y se la compara con la carga actuante determinando si la junta resistirá.

$$P = 0.4(t)L(F_u)$$

$$P = 0.4(0.0787in)1.37in(57ksi)$$

$$P = 2.458Kips$$

$P = 2458lb$ (Carga permisible para fuerza aplicada transversal a la soldadura)

$$\frac{L}{t} = \frac{1.37}{0.0787} = 17.4 < 25$$

$$P = 0.4\left(1 - 0.01\frac{L}{t}\right)t(L)F_u \; para \frac{L}{t} < 25$$

$$P = 0.4\left(1 - 0.01\frac{1.37in}{0.0787in}\right)0.0787in(1.37in)57ksi$$

$$P = 2.030Kips$$

$P = 2030lb$(Carga permisible para fuerza aplicada longitudinal a la soldadura)

En la Figura 6. 39 se muestra los valores de carga permisible y los valores de carga actuante, comprobándose que los valores de carga permisible son mayores que los valores de carga actuante comprobando que la junta va a resistir

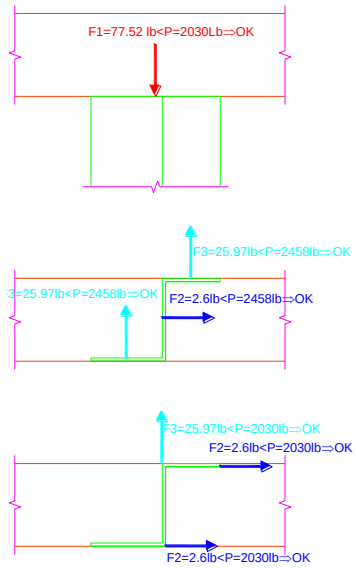



Figura 6. 39 Comprobación de resistencia de la unión soldada. (Fuente: El Autor)

### 6.6.4.2 Análisis de la uniones soldadas de los laterales

En la Figura 6. 40 se muestra la configuración de la superestructura de los laterales.

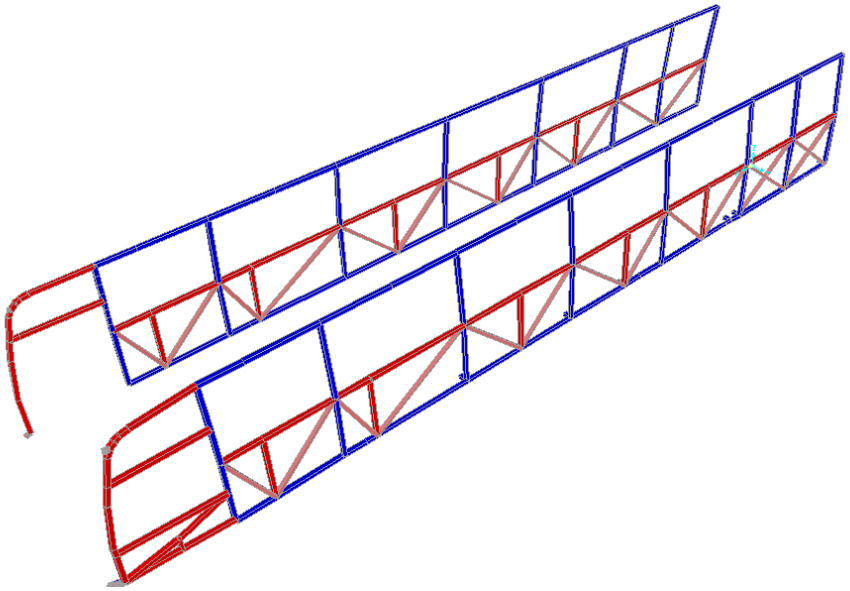


Figura 6. 40  Estructura de los laterales. (Fuente: El Autor)

De la estructura de los laterales se selecciona los elementos con mayor estado de carga y se identifica cual es la combinación de carga que lo produce como se muestra en la Tabla 6. 13 y se analizará los elementos 1700, 2092, 2356 que se trata de diferentes perfiles que son utilizado en la fabricación los laterales.

Tabla 6. 9 Elementos del techo con mayor estado de carga

| Elemento | Sección | Ratio | Combinación | Localización |
|---|---|---|---|---|
| 2095 | T40x40x2 | 0,21474 | COMB6 | 0 |
| 2372 | T50X50X2 | 0,215863 | COMB4 | 0 |
| 2094 | T40x40x2 | 0,233635 | COMB6 | 0 |
| 1700 | T50X50X3 | 0,236967 | COMB6 | 0 |
| 2093 | T40x40x2 | 0,253129 | COMB6 | 0 |
| 2092 | T40x40x2 | 0,272934 | COMB6 | 0 |
| 2356 | T50X50X2 | 0,278139 | COMB4 | 0 |

La Tabla 6. 14  indica los valores de las fuerzas que actúan en el punto de conexión de un elemento con el otro

Tabla 6. 10 Carga en el punto de conexión de los laterales

| Elemento | Punto de inicio | Combinación | F1 | F2 | F3 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Lb | Lb | Lb |
| 2356 | 1261 | COMB4 | -211.94 | 12.42 | 350.04 |
| 2092 | 1659 | COMB6 | -2.98 | -237.5 | 41.07 |
| 1700 | 1252 | COMB6 | -172.63 | -174.46 | -176.3 |

**- Análisis del elemento 2356**

Este elemento es un tubo cuadrado de 50mm (2in) de lado por un espesor de 2mm (0.0787in), se encuentra conectado mediante soldadura en todos sus cuatro lados a un tubo de sección cuadrada de 50mm (2in) de lado por un espesor de 2mm (0.0787in) como se muestra en la Figura 6. 41; el análisis se realizara en el punto de conexión, y se tomara los valores de la las fuerza indicadas en la Tabla 6. 10; estas fuerzas son distribuidas a los cordones de soldadura como se muestra en Figura 6. 42

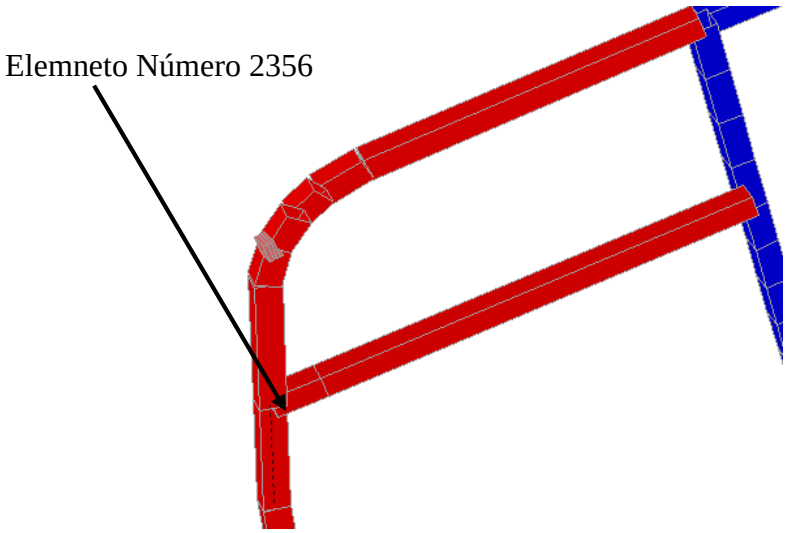



Figura 6. 41  Elemento en análisis. (Fuente: El Autor)

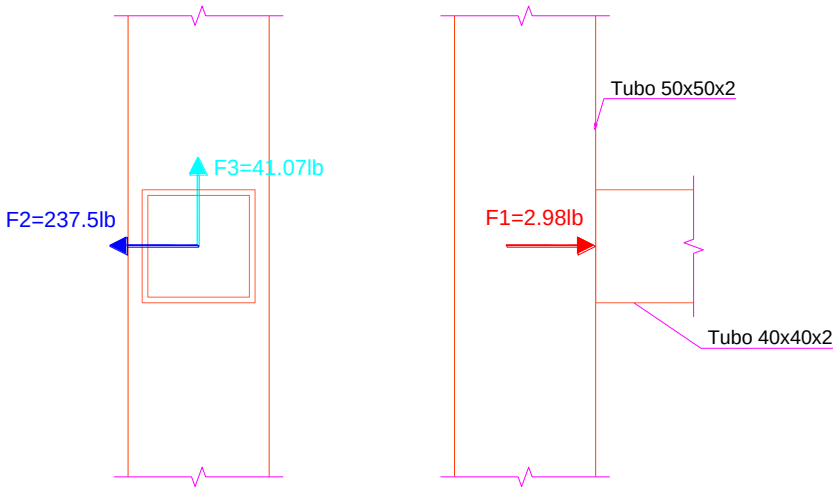



Figura 6. 42 Distribución de fuerzas en el elemento de análisis. (Fuente: El Autor)

Se calcula la carga permisible que tiene la junta y se la compara con la carga actuante determinando si la junta resistirá.

$$P = 0.4(t)L(F_u)$$

$$P = 0.4(0.0787in)2in(57ksi)$$

$$P = 3.588Kips$$

$P = 3588lb$ (Carga permisible para fuerza aplicada transversal a la soldadura)

$$\frac{L}{t} = \frac{2}{0.0787} = 25.41 > 25$$

$$P = 0.3(t)L(F_u)para\frac{L}{t} \geq 25$$

$$P = 0.3(0.0787)2(57)p$$

$$P = 2.691Kips$$

$P = 2691lb$(Carga permisible para fuerza aplicada longitudinal a la soldadura)

En la Figura 6. 43 se muestra los valores de carga permisible y los valores de carga actuante, comprobándose que los valores de carga permisible son mayores que los valores de carga actuante comprobando que la junta va a resistir

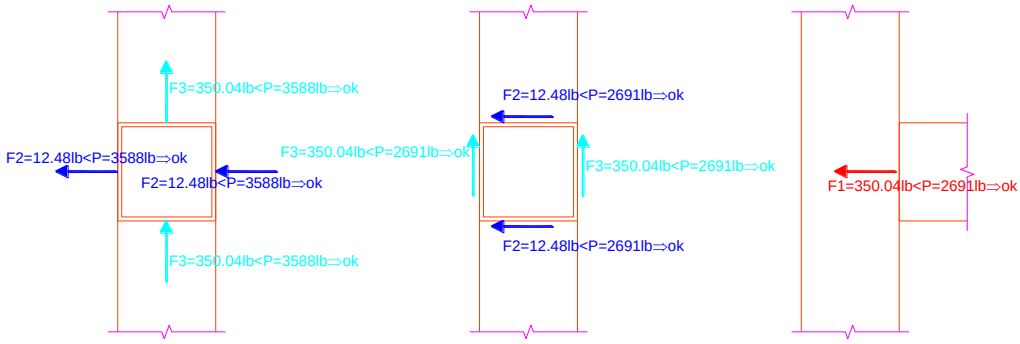



Figura 6. 43 Comprobación de resistencia de la unión soldada. (Fuente: El Autor)

**- Análisis del elemento 2092**

Este elemento es un tubo cuadrado de 40mm (1.5in) de lado por un espesor de 2mm (0.0787in), se encuentra conectado mediante soldadura en todos sus cuatro lados a un tubo de sección cuadrada de 50mm (2in) de lado por un espesor de 2mm (0.0787in) como se muestra en la Figura; el análisis se realizara en el punto de conexión, y se tomara los valores de la las fuerza indicadas en la Tabla 6. 10; estas fuerzas son distribuidas a los cordones de soldadura como se muestra en Figura 6. 45.

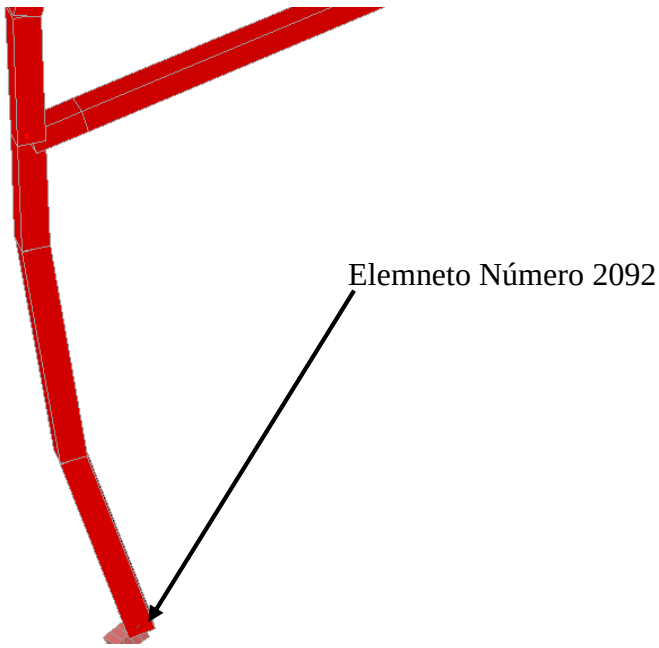



Figura 6. 44 Elemento en análisis. (Fuente: El Autor)

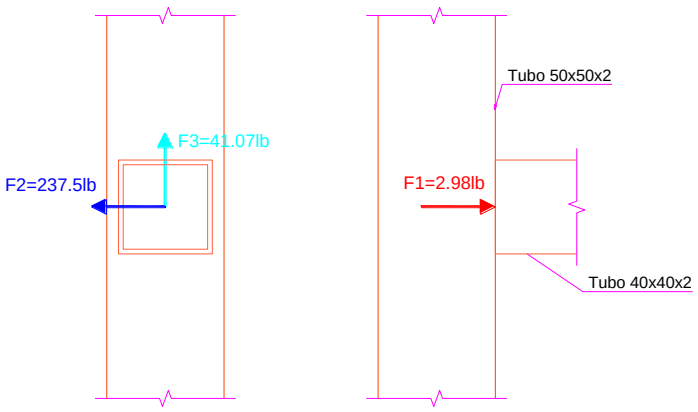



Figura 6. 45 Distribución de fuerzas en el elemento de análisis. (Fuente: El Autor)

Se calcula la carga permisible que tiene la junta y se la compara con la carga actuante determinando si la junta resistirá.

$$P = 0.4(t)L(F_u)$$

$$P = 0.4(0.0787in)1.5in(57ksi)$$

$$P = 2.691Kips$$

$P = 2691lb$ (Carga permisible para fuerza aplicada transversal a la soldadura)

$$\frac{L}{t} = \frac{1.5}{0.0787} = 19 < 25$$

$$P = 0.4\left(1 - 0.01\frac{L}{t}\right)t(L)F_u \; para \frac{L}{t} < 25$$

$$P = 0.4\left(1 - 0.01\frac{1.5in}{0.0787in}\right)0.0787in(1.5in)57ksi$$

$$P = 2.178Kips$$

$P = 2178lb$(Carga permisible para fuerza aplicada longitudinal a la soldadura)

En la Figura 6. 46 se muestra los valores de carga permisible y los valores de carga actuante, comprobándose que los valores de carga permisible son mayores que los valores de carga actuante comprobando que la junta va a resistir

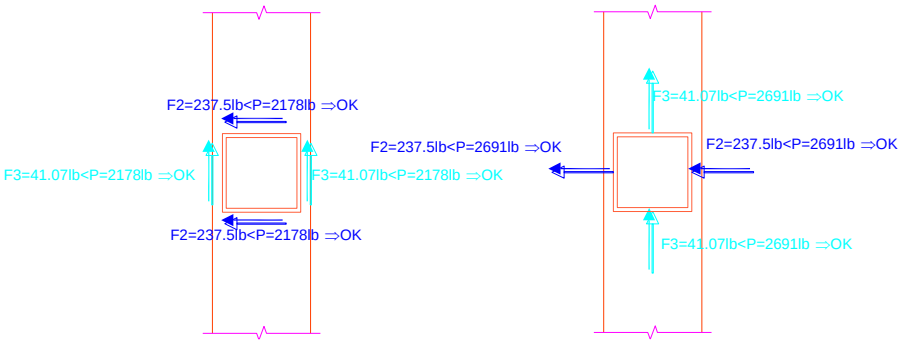



Figura 6. 46 Comprobación de resistencia de la unión soldada. (Fuente: El Autor)

**- Análisis del elemento 1700**

Este elemento es un tubo cuadrado de 50mm (2in) de lado por un espesor de 3mm (0.1181in), se encuentra conectado mediante soldadura en todos sus cuatro lados a un tubo de sección cuadrada de 50mm (2in) de lado por un espesor de 2mm (0.0787in) como se muestra en la Figura; el análisis se realizara en el punto de conexión, y se tomara los valores de la las fuerza indicadas en la Tabla 6. 10; estas fuerzas son distribuidas a los cordones de soldadura como se muestra en Figura 6. 48.

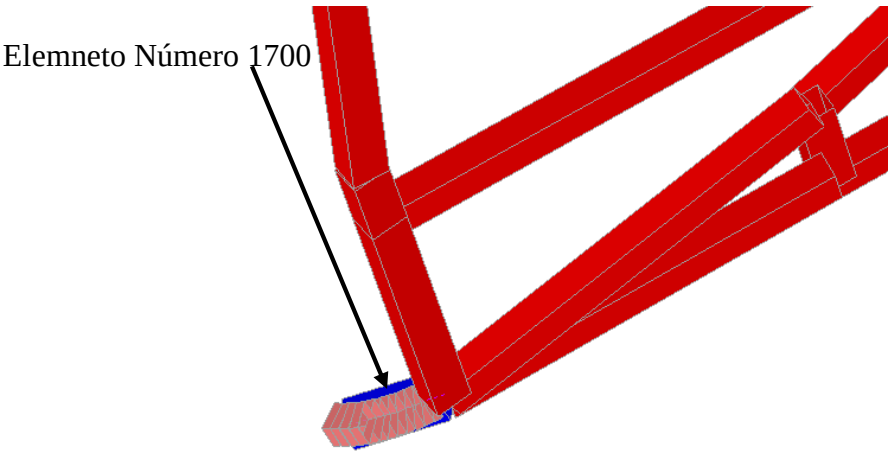



Figura 6. 47 Elemento en análisis. (Fuente: El Autor)

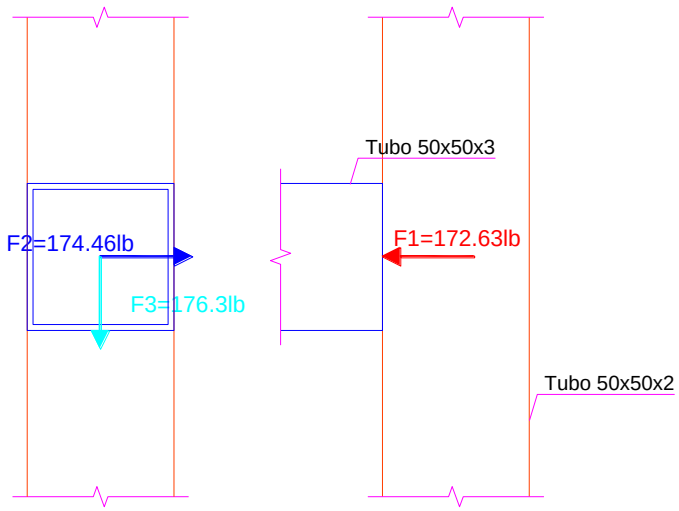



Figura 6. 48 Distribución de fuerzas en el elemento de análisis. (Fuente: El Autor)

Se calcula la carga permisible que tiene la junta y se la compara con la carga actuante determinando si la junta resistirá.

$$P = 0.4(t)L(F_u)$$

$$P = 0.4(0.0787in)2in(57ksi)$$

$$P = 3.588Kips$$

$P = 3588lb$ (Carga permisible para fuerza aplicada transversal a la soldadura)

$$\frac{L}{t} = \frac{2}{0.0787} = 25.41 > 25$$

$$P = 0.3(t)L(F_u)para\frac{L}{t} \geq 25$$

$$P = 0.3(0.0787)2(57)p$$

$$P = 2.691Kips$$

$P = 2691lb$(Carga permisible para fuerza aplicada longitudinal a la soldadura)

En la Figura 6. 49 se muestra los valores de carga permisible y los valores de carga actuante, comprobándose que los valores de carga permisible son mayores que los valores de carga actuante comprobando que la junta va a resistir

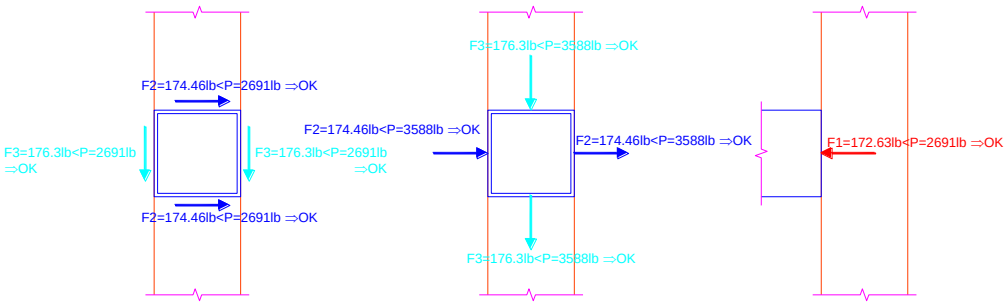



Figura 6. 49 Comprobación de resistencia de la unión soldada. (Fuente: El Autor)

### 6.6.4.3 Análisis de la uniones soldadas del piso

En la Figura 6. 50 se muestra la configuración de la superestructura de los laterales.

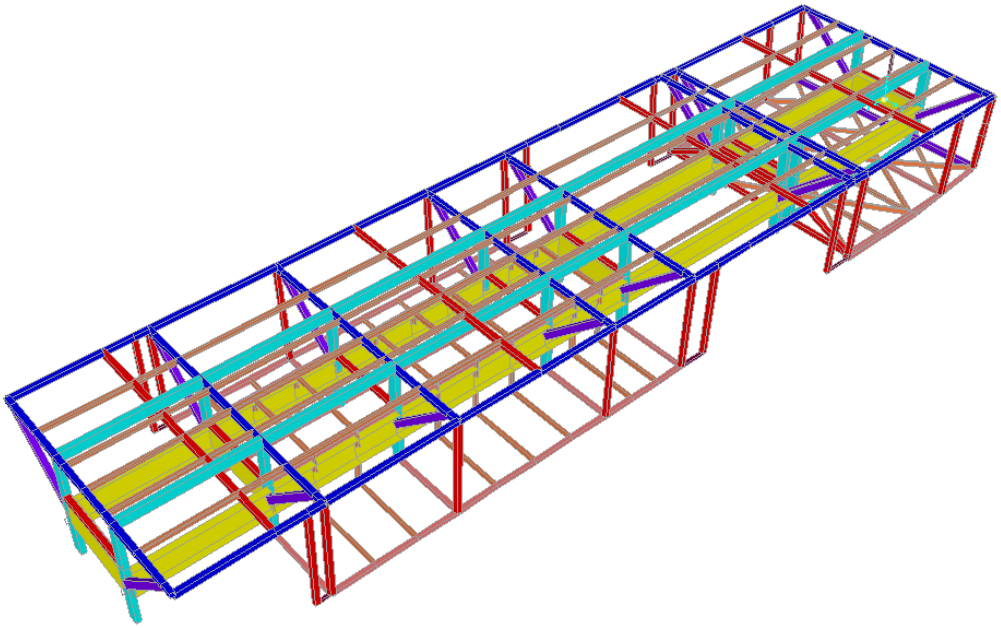


Figura 6. 50 Estructura del piso y parte baja. (Fuente: El Autor)

De la estructura del piso se selecciona los elementos con mayor estado de carga y se identifica cual es la combinación de carga que lo produce como se muestra en la Tabla 6. 11 y se analizará los elementos 2174, 2533, que se trata de diferentes perfiles que son utilizado en la fabricación de piso.

Tabla 6. 11 Elementos del piso con mayor estado de carga

| Elemento | Sección | Ratio | Combinación | Localización |
|---|---|---|---|---|
| 2533 | T60X40X3 | 0,248395 | COMB2 | 0 |
| 2161 | T 100X50X3 | 0,262999 | COMB3 | 0 |
| 2159 | T 100X50X3 | 0,26388 | COMB4 | 0 |
| 2185 | T 100X50X3 | 0,264759 | COMB4 | 0 |
| 2196 | T 100X50X3 | 0,299737 | COMB3 | 0 |
| 2176 | T 100X50X3 | 0,307314 | COMB6 | 0 |
| 2174 | T 100X50X3 | 0,319191 | COMB6 | 0 |

La Tabla 6. 12 indica los valores de las fuerzas que actúan en el punto de conexión de un elemento con el otro

Tabla 6. 12 Carga en el punto de conexión de los laterales

| Elemento | Punto de inicio | Combinación | F1 | F2 | F3 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Lb | Lb | Lb |
| 2174 | 21 | COMB6 | -472,28 | 12,07 | -37,55 |
| 2533 | 1659 | COMB6 | 67,89 | 0,66 | 150,43 |

**- Análisis del elemento 2174**

Este elemento es un tubo rectangular de 100x50 mm (4x2in) de lado por un espesor de 3mm (0.1181in), se encuentra conectado mediante soldadura en todos sus cuatro lados a un tubo de sección cuadrada de 50mm (2in) de lado por un espesor de 3mm (0.1181in) como se muestra en la Figura 6. 51; el análisis se realizara en el punto de conexión, y se tomara los valores de la las fuerza indicadas en la Tabla 6. 12; estas fuerzas son distribuidas a los cordones de soldadura como se muestra en Figura 6. 52

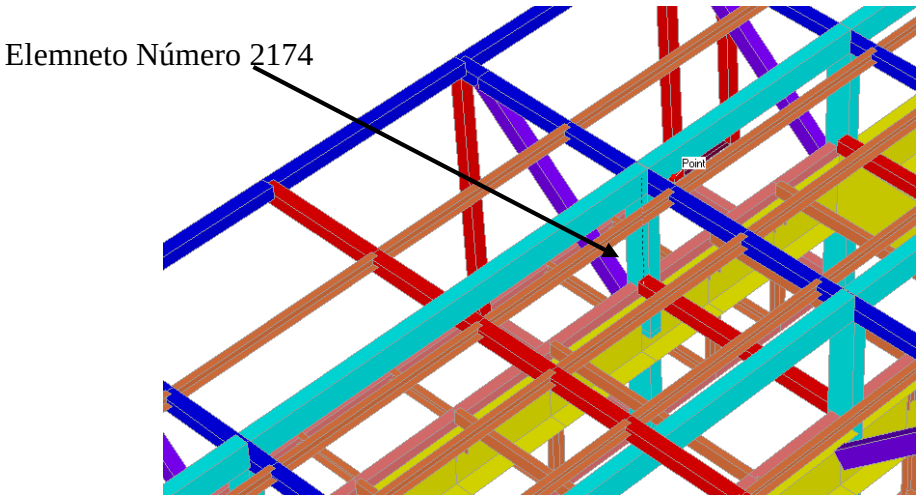



Figura 6. 51 Elemento en análisis. (Fuente: El Autor)

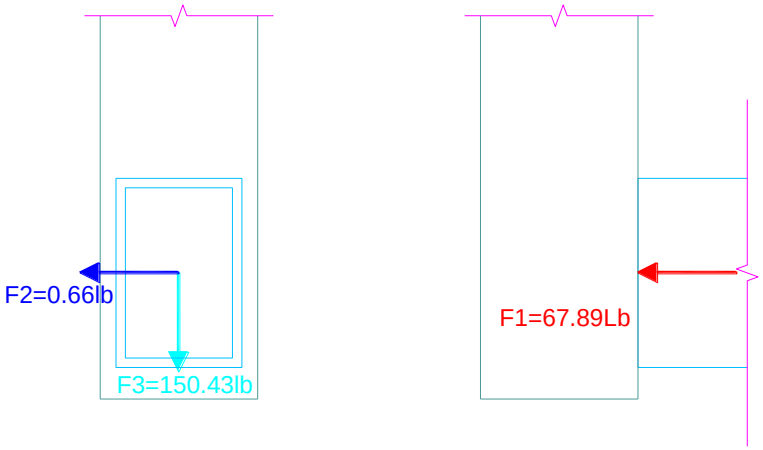



Figura 6. 52 Distribución de fuerzas en el elemento de análisis

Se calcula la carga permisible que tiene la junta y se la compara con la carga actuante determinando si la junta resistirá.

$$P = 0.4(t)L(F_u)$$

$$P = 0.4(0.1181in)2in(57ksi)$$

$$P = 5.385Kips$$

$P = 5385lb$ (Carga permisible para fuerza aplicada transversal a la soldadura)

$$\frac{L}{t} = \frac{2}{0.1181} = 16.94 < 25$$

$$P = 0.4\left(1 - 0.01\frac{L}{t}\right)t(L)F_u \; para \frac{L}{t} < 25$$

$$P = 0.4\left(1 - 0.01\frac{2in}{0.1181in}\right)0.1181in(2in)57ksi$$

$$P = 4.473Kips$$

$P = 4.473lb$(Carga permisible para fuerza aplicada longitudinal a la soldadura)

En la Figura 6. 53 se muestra los valores de carga permisible y los valores de carga actuante, comprobándose que los valores de carga permisible son mayores que los valores de carga actuante comprobando que la junta va a resistir

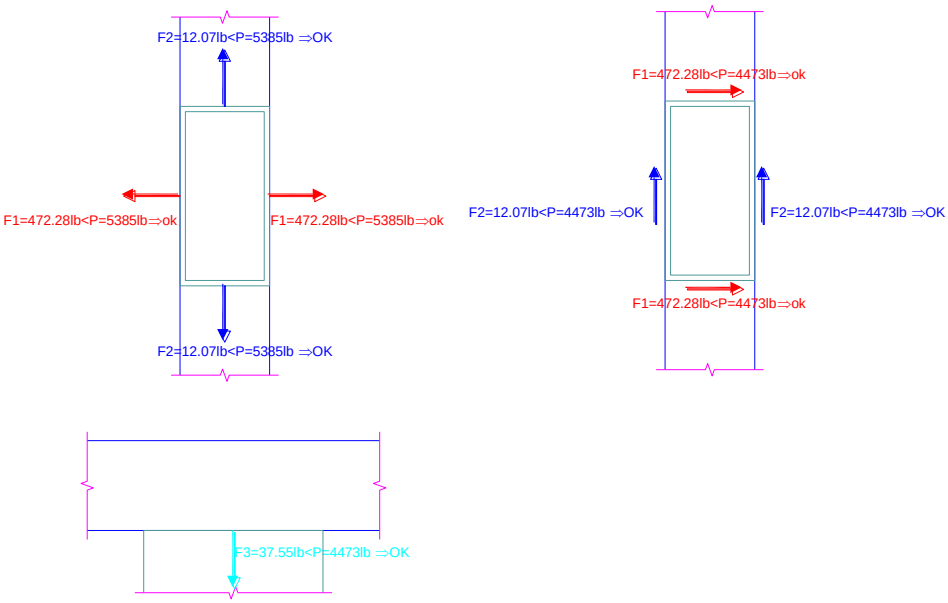



Figura 6. 53 Comprobación de resistencia de la unión soldada. (Fuente: El Autor)

**- Análisis del elemento 2533**

Este elemento es un tubo rectangualr de 60x40 mm (1_3/8x1.5in) de lado por un espesor de 3mm (0.1181in), se encuentra conectado mediante soldadura en todos sus cuatro lados a un tubo de sección rectangualr de 100x50 mm (4x2in) de lado por un espesor de 3mm (0.1181in) como se muestra en la Figura 6. 54; el análisis se realizara en el punto de conexión, y se tomara los valores de la las fuerza indicadas en la Tabla 6. 12; estas fuerzas son distribuidas a los cordones de soldadura como se muestra en Figura 6. 55.

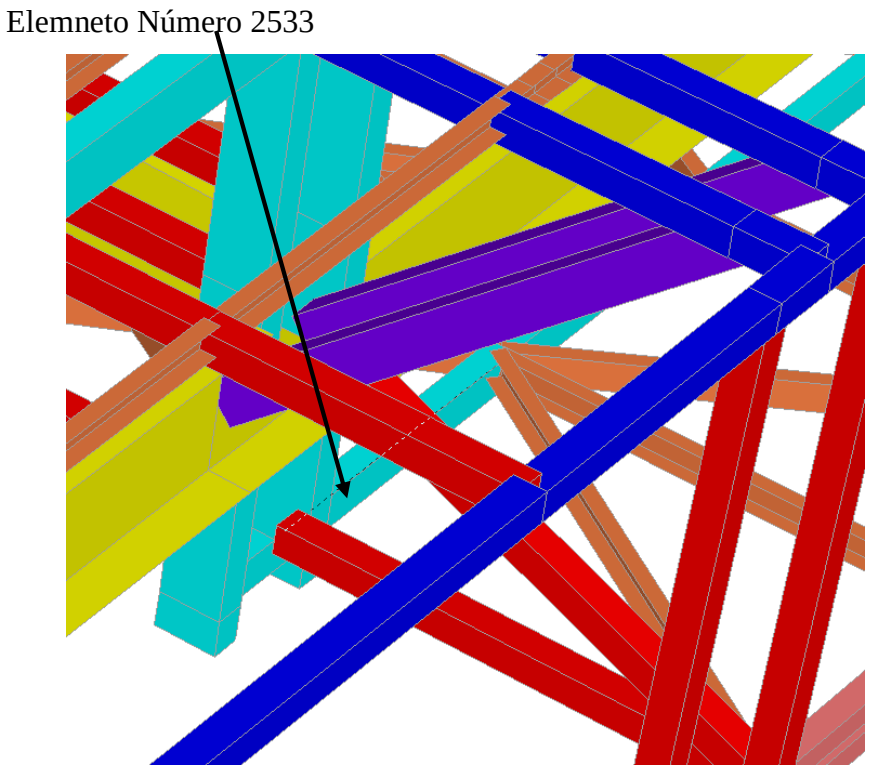



Figura 6. 54  Elemento en análisis. (Fuente: El Autor)

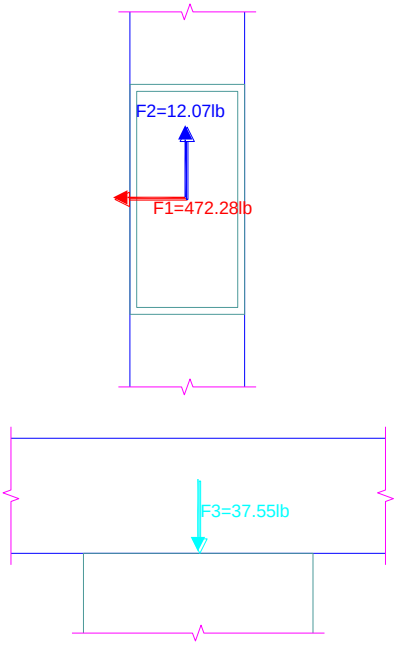



Figura 6. 55  Distribución de fuerzas en el elemento de análisis. (Fuente: El Autor)

Se calcula la carga permisible que tiene la junta y se la compara con la carga actuante determinando si la junta resistirá.

$$P = 0.4(t)L(F_u)$$

$$P = 0.4(0.1181in)2in(57ksi)$$

$$P = 5.385Kips$$

$P = 5385lb$ (Carga permisible para fuerza aplicada transversal a la soldadura)

$$\frac{L}{t} = \frac{2}{0.1181} = 16.94 < 25$$

$$P = 0.4\left(1 - 0.01\frac{L}{t}\right)t(L)F_u \; para \frac{L}{t} < 25$$

$$P = 0.4\left(1 - 0.01\frac{2in}{0.1181in}\right)0.1181in(2in)57ksi$$

$$P = 4.473Kips$$

$P = 4473lb$(Carga permisible para fuerza aplicada longitudinal a la soldadura)

En la Figura 6. 53 se muestra los valores de carga permisible y los valores de carga actuante, comprobándose que los valores de carga permisible son mayores que los valores de carga actuante comprobando que la junta va a resistir

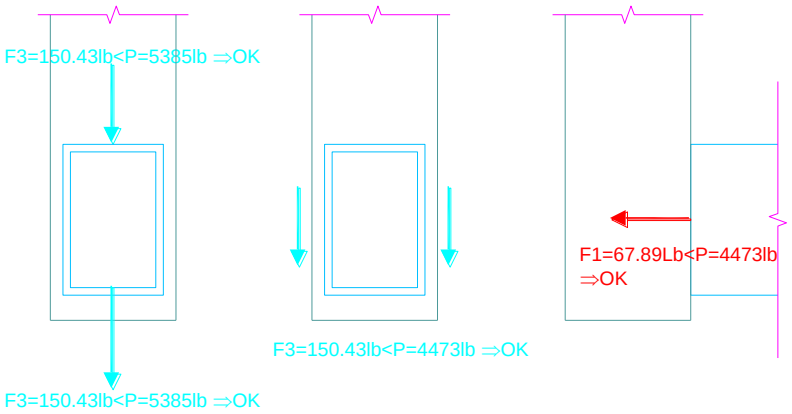



Figura 6. 56 Comprobación de resistencia de la unión soldada. (Fuente: El Autor)

## 6.7 Análisis de resultados

En al Figura 6. 57 se muestra las dos curvas de desplazamiento relativo del punto que más se aproxima al espacio se supervivencia durante el ensayo y la superestructura.

La modificación que se realizó en la superestructura ha mejorado el comportamiento de la misma cumpliendo de manera satisfactoria el ensayo de vuelco, aumentado la seguridad del autobús.

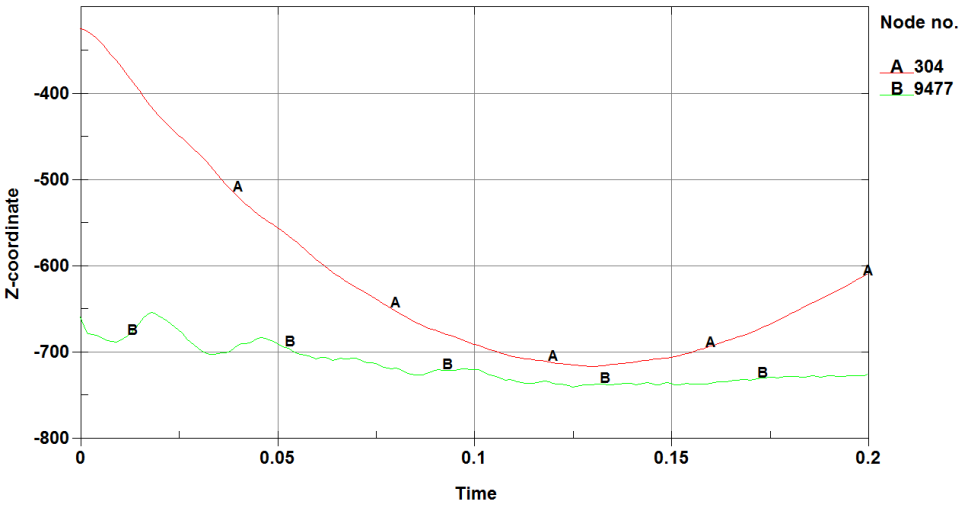



Figura 6. 57 Desplazamiento del espacio de supervivencia con relación a la superestructura. (Fuente: El Autor)

El resultado de restar las curvas A y B de la Figura 6. 57 se obtiene la curva de la Figura 6. 58. muestra la distancia que existe entre el espacio de supervivencia y la superestructura con un maximo de 350mm al inicio del ensayo y un minimo de 20.61mm cuando la superestuctura impacta al piso y sufre su mayor deformacion, sin invadir el espacio de supervivencia.

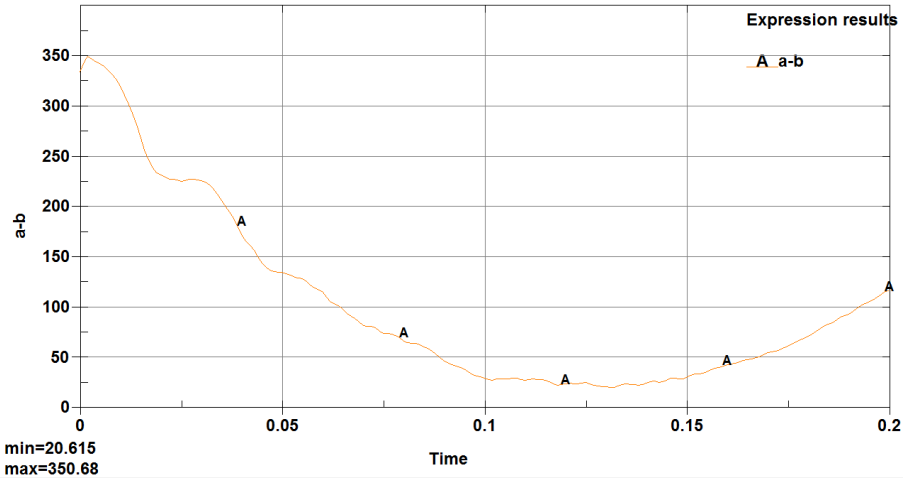



Figura 6. 58 Desplazamiento del espacio de supervivencia con relación a la superestructura. (Fuente: El Autor)

## 6.8 Determinación de la aplicación

De los resultados que se obtuvieron existe una gran factibilidad para la aplicación de la superestructura propuesta, ya que cumple con los requerimientos descritos en la norma NTE INEN 1323 como también el solicitado en el ensayo de vuelco en el Reglamento CEPE/ONU66 en la Figura 6. 59, Figura 6. 60, Figura 6. 61 muestra la construcción de la primera superestructura con la configuración que se ha desarrollado en esta propuesta.



Figura 6. 59 Configuración de la superestructura propuesta. (Fuente: El Autor)



Figura 6. 60 Configuración de la estructura propuesta en la parte posterior. (Fuente: El Autor)



Figura 6. 61 Configuración de la estructura propuesta en la parte delantera. (Fuente: El Autor)




Figura 6. 62 Autobus terminado de propuesta. (Fuente: El Autor)

## 6.9 Administración

A continuación se presenta los costos que fueron necesarios para el desarrollo del presente estudio.

Tabla 6. 13 Rubro de gasto de materiales

| CONCEPTO | UNIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
|---|---|---|---|
| Tubo 100x50x3mm | 3 | 45 | 135 |
| Tubo 50x50x2mm | 1 | 35 | 35 |
| Tubo 50x50x3mm | 1 | 40 | 40 |
| Soldadura de probetas y accesorios para elevar el autobús | 1 | 10 | 10 |
| Mediciones de peso del autobús | 10 | 25 | 250 |
| Día de utilización del autobús para realizar las mediciones | 1 | 150 | 150 |
| Computadora i7 de 8 núcleos | 1 | 1500 | 1500 |
| Probetas para el ensayo de tracción | 9 | 5 | 45 |
| Ensayo de tracción | 3 | 35 | 105 |
| Ensayo de flexión | 3 | 35 | 105 |
| Ensayo de flexión de la esquina | 2 | 35 | 70 |
| Bibliografía | 3 | 150 | 450 |
| Software Ansys Ls-Dyna | 150 h | 1 | 150 |
| Software Hypermesh | 50 h | 1 | 50 |
| Total | | | $ 3920,00 |

Tabla 6. 14 Rubro de gasto recurso humano

| CONCEPTO | UNIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
|---|---|---|---|
| Preparación de caballete para el izamiento del autobús | 40 | 2 | 80 |
| Preparación de probetas para el ensayo de tracción | 4 | 5 | 20 |
| Preparación de probetas para el ensayo de flexión | 3 | 2 | 6 |
| Preparación de probetas para el ensayo de flexión para una esquina | 2 | 10 | 20 |
| Izamiento del autobús con gato neumático | 2 | 15 | 30 |
| Chofer para la movilización del autobús | 1 | 25 | 25 |
| Entrenamiento en el manejo de software | 1 | 300 | 300 |
| | Total | | 481 |

Tabla 6. 15 Rubro de gasto recurso varios

| CONCEPTO | UNIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
|---|---|---|---|
| Resma de hojas | 3 | 5 | 15 |
| Impresiones | 1200 | 0.15 | 180 |
| Copias | 220 | 0.03 | 6,6 |
| Anillados | 6 | 3 | 18 |
| Empastados | 3 | 10 | 30 |
| Horas de internet | 220 | 0.8 | 176 |
| Trasporte | 1 | 100 | 100 |
| | | | 525.60 |

## 6.10 Previsión de la evaluación

Una vez concluido el presente trabajo de investigación, el mismo que fue realizado en el departamento técnico de Miral Autobuses, Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en las oficinas de la Corporación de Ingeniería Avanzada COINAV del Ecuador S.A. Se sugiere tomar en cuenta todas las conclusiones y recomendaciones presentes en éste trabajo, para investigaciones futuras sobre este tema y en la construcción de futuros nuevos modelos de autobuses.

Con la finalización del presente trabajo de investigación se determina que la superestructura propuesta para el autobús marca Miral modelo Infiniti para chasis Hino Ak en el caso de vuelco resiste sin invadir el espacio de supervivencia garantizando la seguridad de los ocupantes.

# 7 BIBLIOGRAFÍA.


1. Belytschko, T. (2000). *Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures*: John Wiley & Sons.

2. Bojanowski, C. (2009). *Verification, Valiation and Optimizacion of Finite Element Model of Bus Structure for Rollover Test.* Florida State University.

3. . Business Solutions Development Solutdevelop Cia. Ltda. (2012), from http://www.bsd.com.ec/laboratorio.html

4. Cepeda, J. (2006). *Análisis del comportamiento mecánico del sistema estructural del autobús feline para la empresa carrocera miral buses.*, Escuela Politécnica Del Ejército.

5. Cepeda, J. (2011). *Modelación, Pruebas De Impacto Y Diseño Robusto De Rejilla De Protección De Bocinas Automotrices Para General Motors De Mexico.* Instituto Tecnológico Y De Estudios Superiores De Monterrey.

6. Colcha, J., & Villa, M. (2010). *Diseño e implementación de un sistema electrónicoinformático para aplicaciones en ensayos en laMáquina universal.* Escuela Superior Politecnica de Chimborazo.

7. Cook, R., Malkus, D., & Plesha, M. (1989). *Concepts and applications of Finite Element Analysis*: John Wiley & Sons.

8. Elitok, K. (2006). *Explicit Dynamic Analysis of Vehicle Roll-Over Crashworthiness Using LS-DYNA.* Istanbul Technical University.

9. Faik, S. (2000 International ADAMS User Conference). *Modeling of Impact Dynamics: A Literature Survey*. Toronto, Canada.

10. Falcon, E. *Behavior of One Elastic Ball Bouncing Repeatedly off the Ground*. Paper presented at the The European Physical Journal.

11. Fasanella, E. L., & Jackson, K. E. ( 2002). Best Practices for Crash Modeling and Simulation. *Langley Research Center*.

12. Feodosiev, V. I. (1985). *Resistencia de Materiales*.

13. Gere, J. M. *Mecanica de Materiales* (Sexta Edicion ed.).

14. Gómez, S. (2009). *Simulación De Un Ensayo De Impacto Con Péndulo Sobre Un Autobús Mediante Ls-Dyna.* Universidad Carlos III

15. Gomez, T., & Navarro, J. (2011). *Estructura del Vehículo* (Seguda Edicion ed.): Paraninfo.

16. Gonzalez, P. (2010). *Modelacion y Analisis de la Superestrcutura de un Autobus y Diapress Mediante Elementos Finitos.* Carlos III

17. Hallquist, J. (1998). *LS-DYNA Theoretical Manual.* Paper presented at the Livermore Software Technology Corporation: Livermore, USA.

18. Harris, C. (2002). *Shock and Vibration Handbook* (Sexta ed.): McGraw-Hill.

*19.* HinoMotors. (2000). *Manual para Montaje de Carrocerias*

20. HinoMotors. (2010). MANUAL MONTAJE DE CARROCERIA MODELO AK8JRSA. In HinoMotors (Ed.).

21. Iberisa. (2012). Reglas Básicas de Mallado por Elementos Finitos, from http://www.iberisa.com/soporte/femap/reglas_mallado.htm

*22.* INEN109. (2009). Ensayo de traccion para materiales metalicos a temperatura ambiente *NTE INEN 109:2009 Primera Revision*

23. INEN1323. (2009). Vehiculos Automotores Carrocerias de Buses Requisitos: Instituto Ecuatoriano de Normalizacion.

24. Vehiculos Automotores Carrocerias de Buses Requicitos (2009).

25. Juvinall, R., & Marshek, K. (2000). Fundamentals of Machine Component Design.

26. KIM, H.-S., BEN, G., & SUGIMOTO, N. (2007). Comparison of Experimental Results with FEM for Impact Response Behavior of CFRP Tubes and CFRP/Al Hybrid Beams for Absorbing Impact Energy in Full-lap and Side Collisions of Automobiles: Institute of Industrial Technology, Nihon University.

27. Liu, G. R., & Quek, S. S. (2003). *The Finite Element Method: A Practical Course*: Burlington MA.

28. Lizarza, J. T. C. (2008). *Método de los Elementos Finitos para Análisis Estructural* (Tercera ed.): Tecnum.

29. MIRALAUTOBUES. (2012a). Registro de control de produccion MIRALAUTOBUES.

30. MiralAutobues. (2012b). Validacion de la Estructura In M. Autobuses (Ed.).

31. MiralAutobuses. (2012). Layout General de Buses. In M. Autobues (Ed.).

32. Morris, A. (2008). *A Practical Guide to Reliable Finite Element Modelling*.

33. Panneer, G. R. (1998). *School Bus Crashworthiness.* Virginia University.

34. Ramırez, R. (1999). *Coefficient of restitution of colliding viscoelastic spheres*. Paper presented at the Physical Review.

35. Reglamento_n°_66_(CEPE/ONU). (2007). Prescripciones técnicas uniformes relativas a la homologación de vehículos de grandes dimensiones para el transporte de pasajeros por lo que respecta a la resistencia de su superestructura *Reglamento n° 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE/ONU)*.

36. S., C. *Structural design review of LCD-TV module by Impact Analysis*. Paper presented at the in 4th European LS- DYNA User Conference, Munich, Alemania.

37. Silva, C. (2005). *Vibration and Shock Handbook. Mechanical Engineering Series*.

38. Timmela, M. (2007). finite element model for impact simulation with laminated glass

39. *International Journal of Impact Engineering*.

40. Wu, S. R., & Qiu, W. (2008). *Nonlinear transient dynamic analysis by explicit finite element with iterative consistent mass matrix*. Paper presented at the COMMUNICATIONS IN NUMERICAL METHODS IN ENGINEERING.

41. Zienkeiwicz, O. (2007). *El Metodo de los Elementos Finitos* (1ra ed.): Editorial Reverte

# Anexos

**Anexo A1** Especificaciones del fabricante de tubería Utilizada en la superestructura

## TUBOS PARA USO INDUSTRIAL

**Tubo cuadrado para muebles y estructuras producido bajo norma ASTM A 500 (Grado A)**

Tubos FUJI de acero con costura por el método ERW, negro o galvanizado



Los tubos se producen en longitudes de 6 mt.
Diferentes medidas, previa consulta a fábrica.

TUBOS FUJI®

### 2. MATERIA PRIMA

Norma: JIS G – 3141 SPCC – SD.
Para espesores ≤ -1.5 mm (LF)

Norma: JIS G-3132 SPHT – 1.
Para espesores ≥ 1.5mm (LC)

### 3. PROPIEDADES MECANICAS

**LF= Laminado en frío**
Resistencia a la tracción: Mín 28 Kg/mm$^2$
Elongación: Mín 37%
Doblamiento: Rad. mín. de Curvatura= 4 ø del tubo

**LC= Laminado en caliente**
Resistencia a la tracción: Mín 28 Kg/mm$^2$
Elongación: Mín 32%
Doblamiento: Rad. mín. de Curvatura= 4 ø del tubo

### 4. TOLERANCIA

Diámetro: ± 0.13 mm
Espesor: - 10.00%
Longitud: ±12.7mm
Peso: ±10%

### 5. GALVANIZACION

Peso del recubrmiento de zinc
CAPA PROMEDIO: no menor a 300 g/m$^2$ (42um)

21

**Anexo A2** Especificaciones del fabricante de tubería Utilizada en la superestructura

# ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

## DEPARTAMENTO DE MATERIALES

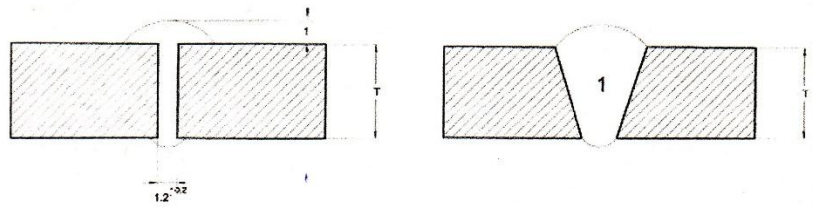
## LABORATORIO DE SOLDADURA

## ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Nombre Compañía:** | CARROCERÍAS "MIRAL" | **WPS No.:** | EPN - LDS - MIRAL – 002. |
| **PQR No.:** | EPN - LDS - MIRAL – 002. | **Fecha :** | 16/05/2007 |
| **Según norma :** | AWS D1.3 (STRUCTURAL WELDING CODE - SHEET STEEL) | **Realizado por:** | Ing. Gabriel E. Velasteguí. |

| **ARTÍCULO I. JUNTA UTILIZADA** | | **ARTÍCULO V. POSICIÓN DE SOLDADURA** | |
|---|---|---|---|
| Tipo de junta: | A TOPE ESCUADRADA | Posición de Soldadura: | 3G |
| Abertura raiz: | 1,2 mm. (+/- 0,2) | Progresión: | DESCENDENTE |
| Talón: | N/A | Técnica: | Un pase ☒ Varios pases ☐ |
| Angulo de ranura: | N/A | | |
| Placa de respaldo: | Si ☐ No ☒ | | |
| Preparar bisel: | Si ☐ No ☒ | | |
| **ARTÍCULO II. METAL BASE** | | **ARTÍCULO VI. PRECALENTAMIENTO** | |
| Especificación: | ASTM A - 36 | Temperatura: | N/A |
| Espesor: | 2,0 mm. | Temperatura entre pases: | N/A |
| | | Tiempo entre pases : | N/A |
| **ARTÍCULO III. METAL DE APORTE** | | **ARTÍCULO VII. TÉCNICA DE SOLDADURA** | |
| Proceso: | GMAW | Soldadura de : | RANURA |
| Especificación (SFA) No. | 5.18 | Proceso de soldadura: | GMAW |
| Diámetro : | 0,9 mm. | Tipo de Soldadura: | Manual ☐ Semiautomática ☒ Automática ☐ |
| Denominación AWS: | E R70S-6 | Soldadura a: | Un lado ☒ Dos lados |
| Marca: | INDUWAR | Cordón de respaldo: | Si ☐ No ☒ |
| Velocidad de alimentación(m/min) | 5,0 | Pase multiples o simples ( por lado) | Simple |
| **ARTÍCULO IV. GAS DE PROTECCIÓN** | | Electrodos Multiples o únicos | Único |
| Protección: | $CO_2$ | Cordón Recto u Oscilante | Recto |
| Caudal: | 15 – 20 lt / min. | Limpieza: | |
| | | Primer pase y siguientes : | Cepillo metálico (grata) |
| | | **ARTÍCULO VIII. NOTAS** | |
| | | • Asegurar limpieza de las partes. | |
| | | • Verificar alineación de la junta. | |

**Detalle de la Junta**




**ARTÍCULO IX. CUADRO DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN**

| No de pase | Metal de aporte | | Corriente | | Tensión de trabajo | Vel. De avance | Técnica de soldadura | | Vel alimentación (m/min) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Clase | Diámetro (mm.) | Tipo y polaridad | Intensidad (Amperios) | (Voltios) | (mm/min) | oscilado | recto | |
| 1 | ER70S-6 | 0,9 | $DC^+$ | 90-110 | 18-22 | 250-350 | | X | 5,0 |

| REALIZADO POR: | REVISADO POR: | APROBADO POR: |
|---|---|---|
| Ing. Gabriel V. | Ing. José Miranda | Ing. Homero Barragán |
| Lab. De Soldadura EPN. | Gerente Carrocerías "MIRAL" | Jefe de Lab. De Soldadura EPN. |

# ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

## DEPARTAMENTO DE MATERIALES

## LABORATORIO DE SOLDADURA

## ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Nombre Compañía:** | CARROCERÍAS "MIRAL" | **WPS No.:** | EPN - LDS - MIRAL - 001 |
| **PQR No.:** | EPN - LDS - MIRAL – 001. | **Fecha :** | 16/05/2007 |
| **Según norma :** | AWS D1.3 (STRUCTURAL WELDING CODE - SHEET STEEL) | **Realizado por:** | Ing. Gabriel E. Velasteguí. |

**ARTÍCULO I. JUNTA UTILIZADA**

| | |
|---|---|
| Tipo de junta: | EN T |
| Abertura raíz: | N/A |
| Talón: | N/A |
| Angulo de ranura: | N/A |
| Placa de respaldo: | Si ☐ No ☒ |
| Preparar bisel: | Si ☐ No ☒ |

**ARTÍCULO II. METAL BASE**

| | |
|---|---|
| Especificación: | ASTM A - 36 |
| Espesor: | 2,0 mm. |

**ARTÍCULO III. METAL DE APORTE**

| | |
|---|---|
| Proceso: | GMAW |
| Especificación (SFA) No. | 5.18 |
| Diámetro : | 0,9 mm. |
| Denominación AWS: | E R70S-6 |
| Marca: | INDUWAR |
| Velocidad de alimentación(m/min) | 5,0 |

**ARTÍCULO IV. GAS DE PROTECCIÓN**

| | |
|---|---|
| Protección: | $CO_2$ |
| Caudal: | 15 – 20 lt / min. |

**ARTÍCULO V. POSICIÓN DE SOLDADURA**

| | |
|---|---|
| Posición de Soldadura: | 3F |
| Progresión: | DESCENDENTE |
| Técnica: | Un pase ☒ Varios pases ☐ |

**ARTÍCULO VI. PRECALENTAMIENTO**

| | |
|---|---|
| Temperatura: | N/A |
| Temperatura entre pases: | N/A |
| Tiempo entre pases : | N/A |

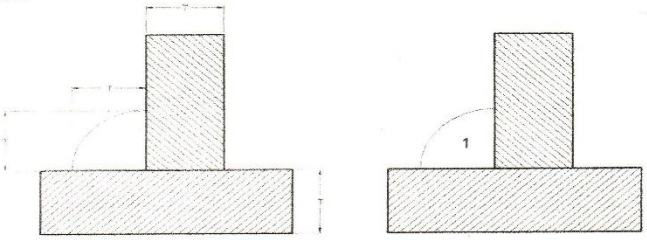
**ARTÍCULO VII. TÉCNICA DE SOLDADURA**

| | |
|---|---|
| Soldadura de : | FILETE |
| Proceso de soldadura: | GMAW |
| Tipo de Soldadura: | Manual ☐<br>Semiautomática ☒<br>Automática ☐ |
| Soldadura a: | Un lado ☒ Dos lados |
| Cordón de respaldo: | Si ☐ No ☒ |
| Pase multiples o simples ( por lado) | Simple |
| Electrodos Multiples o únicos | Único |
| Cordón Recto u Oscilante | Recto |
| Limpieza: | |
| Primer pase y siguientes : | Cepillo metálico (grata) |

**ARTÍCULO VIII. NOTAS**

- Asegurar limpieza de las partes.
- Verificar perpendicularidad de la junta.

**Detalle de la Junta**




**ARTÍCULO IX. CUADRO DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN**

| No de pase | Metal de aporte | | Corriente | | Tensión de trabajo | Vel. De avance | Técnica de soldadura | | Vel alimentación (m/min) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Clase | Diámetro (mm.) | Tipo y polaridad | Intensidad (Amperios) | (Voltios) | (mm/min) | oscilado | recto | |
| 1 | ER70S-6 | 0,9 | CC+ | 90-110 | 18-22 | 200-300 | | X | 5,0 |

| REALIZADO POR: | REVISADO POR: | APROBADO POR: |
|---|---|---|
| Ing. Gabriel Velasteguí<br>Lab. De Soldadura EPN | Ing. José Miranda<br>Gerente Carrocerías "MIRAL". | Ing. Homero Barragán<br>Jefe de Lab. De Soldadura EPN. |

**Anexo B1** Extracto de la Norma EN ISO 377

EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

# EN ISO 377

July 1997

ICS 77.040.10; 77.140.01

Descriptors: See ISO document

English version

# Steel and steel products — Location and preparation of samples and test pieces for mechanical testing

(ISO 377:1997)

Acier et produits en acier — Position et préparation des échantillons et éprouvettes pour essais mécaniques (ISO 377:1997)

This European Standard was approved by CEN on 1997-06-12. CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration.

Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the Central Secretariat or to any CEN member.

The European Standards exist in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the Central Secretariat has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.

**CEN**

European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung

**Central Secretariat: rue de Stassart 36, B-1050 Brussels**

© 1997 CEN — All rights of exploitation in any form and by any means reserved worldwide for CEN national Members.

Ref. No. EN ISO 377:1997 E

EN ISO 377 : 1997

INTERNATIONAL STANDARD

ISO 377

Second edition
1997-07-15

# Steel and steel products — Location and preparation of samples and test pieces for mechanical testing

*Acier et produits en acier — Position et préparation des échantillons et éprouvettes pour essais mécaniques*

Reference number
ISO 377:1997(E)

## Contents


| | | Page |
|---|---|---|
| Foreword | | iii |
| 1 | Scope | 1 |
| 2 | Normative references | 1 |
| 3 | Definitions | 1 |
| 4 | General requirements | 1 |
| 4.1 | Representative testing | 1 |
| 4.2 | Identification of sample products, samples, rough specimens and test pieces | 1 |
| 5 | Preparation of samples and selection of test pieces | 3 |
| 5.1 | Selection and dimensions of samples and location of test pieces | 3 |
| 5.2 | Direction of axis of test pieces | 3 |
| 5.3 | Condition and separation of samples | 3 |
| 6 | Preparation of test pieces | 3 |
| 6.1 | Cutting and machining | 3 |
| 6.2 | Reference heat treatment | 3 |
| Annex A (normative) Location of samples and test pieces | | 4 |
| Annex ZA (normative) Normative references to international publications with their relevant European publications | | Inside back cover |
| Figure 1 — Examples of terms defined in clause **3** | | 2 |
| Figure A.1 — Sections — Location of test pieces for tensile and impact testing in width of flange | | 6 |
| Figure A.2 — Sections — Location of test pieces for tensile testing in thickness of flange | | 7 |
| Figure A.3 — Sections — Location of test pieces for impact testing in thickness of flange | | 7 |
| Figure A.4 — Round bar and rod — Location of test pieces for tensile testing | | 8 |
| Figure A.5 — Round bar and rod — Location of test pieces for impact testing | | 9 |
| Figure A.6 — Hexagonal bar — Location of test pieces for tensile testing | | 10 |
| Figure A.7 — Hexagonal bar — Location of test pieces for impact testing | | 11 |
| Figure A.8 — Rectangular bar — Location of test pieces for tensile testing | | 12 |
| Figure A.9 — Rectangular bar — Location of test pieces for impact testing | | 12 |
| Figure A.10 — Flat products — Location of test pieces for tensile testing | | 13 |
| Figure A.11 — Flat products — Location of test pieces for impact testing | | 13 |
| Figure A.12 — Tubular products — Location of test pieces for tensile testing of tubes and circular hollow sections | | 14 |
| Figure A.13 — Tubular products — Location of test pieces for impact testing of tubes and circular hollow sections | | 15 |
| Figure A.14 — Tubular products — Location of test pieces for tensile testing of hollow sections | | 15 |
| Figure A.15 — Tubular products — Location of test pieces for impact testing of hollow sections | | 16 |



© BSI 09-1999

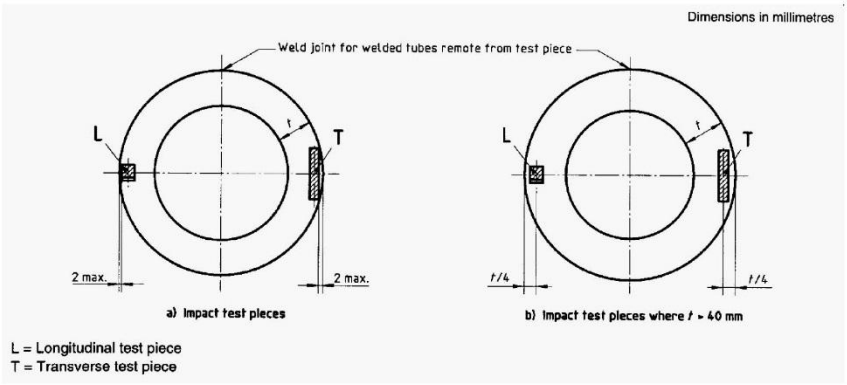



**Figure A.13 — Tubular products — Location of test pieces for impact testing of tubes and circular hollow sections** (see **A.7.1.2**)

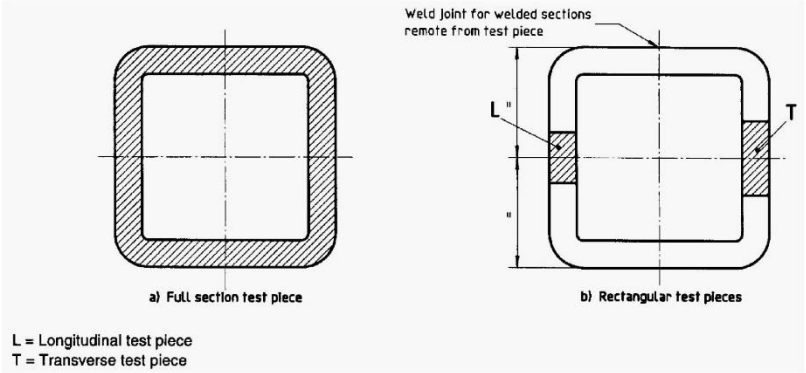



**Figure A.14 — Tubular products — Location of test pieces for tensile testing of hollow sections** (see **A.7.2.1**)

Anexo B2 Extracto de la Norma NTE INEN 109:2009

INEN

# INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA** **NTE INEN 109:2009**
**Primera revisión**

## ENSAYO DE TRACCION PARA MATERIALES METALICOS A TEMPERATURA AMBIENTE.

**Primera Edición**

TRACTION TEST FOR METALLIC MATERIALS TO AMBIENT TEMPERATURE.

First Edition

DESCRIPTORES: Productos metálicos, metales, ensayos, ensayos mecánicos, ensayo de tracción, determinación, elongación, extensión probetas
MC 01.02-301
CDU: 669.14:620.17
CIIU: 3710
ICS: 77.040.10

CDU: 669.14:620.17
ICS: 77.040.10

CIIU: 3710
MC 01.02-301

| Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria | ENSAYO DE TRACCIÓN PARA MATERIALES METÁLICOS A TEMPERATURA AMBIENTE | NTE INEN 109:2009 Primera revisión 2009-03 |
|---|---|---|

## 1. OBJETO

**1.1** Esta norma especifica el método para el ensayo de tracción de materiales metálicos y define las propiedades mecánicas que se pueden determinar a temperatura ambiente.

## 2. ALCANCE

**2.1** Esta norma se aplica al ensayo de tracción de todos los productos de acero de sección transversal constante.

**2.2** Para ciertos materiales metálicos y aplicaciones particulares, el ensayo de tracción debe estar sujeto a normas específicas o requerimientos particulares.

## 3. DEFINICIONES

**3.1** Para los efectos de esta norma se aplican las siguientes definiciones:

**3.1.1** *Longitud calibrada (L).* Es la longitud de la sección cilíndrica o prismática de la probeta de ensayo en la que se va a medir la elongación en cualquier momento durante el ensayo.

**3.1.2** *Longitud calibrada inicial ($L_o$).* Longitud calibrada antes de la aplicación de la carga.

**3.1.2.1** *Longitud calibrada final ($L_u$).* Longitud calibrada después de la rotura de la probeta ensayo (ver numeral 10.1)

**3.1.3** *Longitud paralela ($L_c$).* Longitud de la sección reducida paralela de la probeta de ensayo (ver nota 1).

**3.1.4** *Elongación.* Incremento de la longitud calibrada inicial ($L_o$) en cualquier instante del ensayo.

**3.1.4.1** *Porcentaje de elongación.* Alargamiento expresado como un porcentaje de la longitud calibrada inicial ($L_o$).

**3.1.4.2** *Porcentaje de elongación permanente.* Incremento de la longitud calibrada inicial en una probeta de ensayo después de eliminar el esfuerzo especificado (ver numeral 3.11), expresado como un porcentaje de la longitud calibrada inicial ($L_o$) (ver nota 1).

**3.1.4.3** *Porcentaje de elongación después de la rotura (A).* Elongación permanente de la longitud calibrada inicial (ver nota 2) después de la rotura ($L_u - L_o$) expresado como un porcentaje de la longitud calibrada inicial ($L_o$).

---

NOTA 1: El concepto de longitud paralela es reemplazado por el concepto de distancia entre mordazas para probetas no maquinadas.

NOTA 2. En el caso de las probetas de ensayo proporcionales, solamente si la longitud calibrada inicial es diferente de $5{,}65\sqrt{S_o}$ [1]

en donde $S_o$ es el área de la sección transversal inicial de la longitud paralela, el símbolo *A* se complementa con un índice que indica el coeficiente de proporcionalidad usado, por ejemplo:

$A_{11,3}$ = porcentaje de elongación en una longitud calibrada ($L_o$) de $11{,}3\sqrt{S_o}$

En el caso de probetas de ensayo no proporcionales, el símbolo A se complementa con un índice que indica la longitud calibrada inicial usada, expresada en milímetros, por ejemplo:
$A_{80\ mm}$ = porcentaje de elongación en una longitud calibrada ($L_o$) de 80 mm.

---

[1] $5{,}65\sqrt{S_o} = 5\sqrt{\frac{4S_o}{\pi}}$

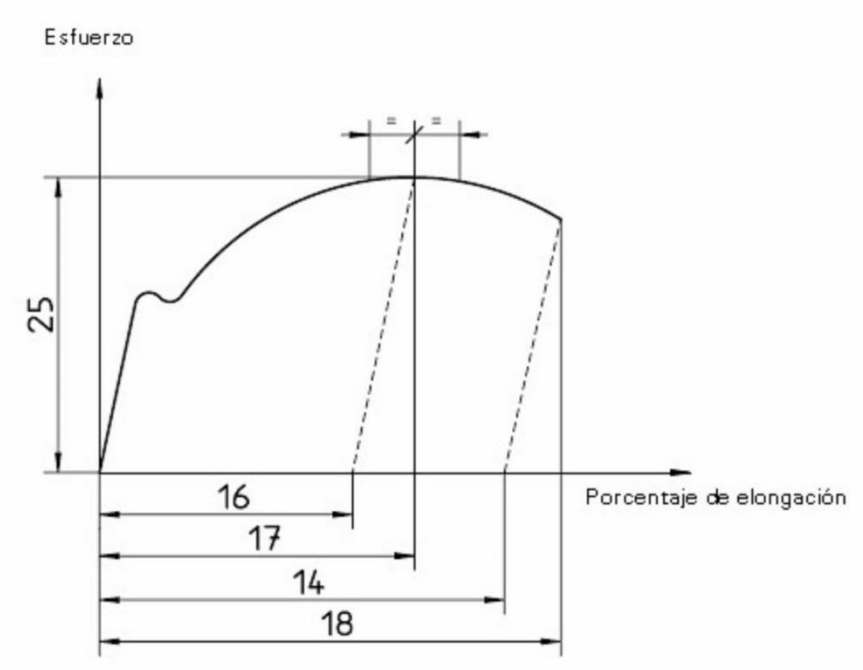
*(Continúa)*

DESCRIPTORES: Productos metálicos, metales, ensayos, ensayos mecánicos, ensayo de tracción, determinación, elongación, extensión probetas.

**3.1.4.4** *Porcentaje de elongación total a la rotura ($A_t$).* Es el alargamiento total (elongación elástica más elongación plástica) de la longitud calibrada en el momento de la rotura, expresado como un porcentaje de la longitud calibrada inicial ($L_o$).

**3.1.4.5** *Porcentaje de elongación al esfuerzo máximo.* Es el aumento en la longitud calibrada inicial de la probeta cuando la fuerza es máxima, expresado como un porcentaje de la longitud calibrada inicial ($L_o$) Se hace una distinción entre el porcentaje de elongación total a la carga máxima ($A_{gt}$) y el porcentaje de elongación no proporcional a la carga máxima ($A_g$) (ver figura 1).

**FIGURA 1. Definiciones de elongación (ver nota 3)**




**3.1.5** *Longitud calibrada del extensómetro ($L_e$).* Longitud de la sección paralela de la probeta de ensayo usada para la medición del alargamiento por medio de un extensómetro.

**3.1.5.1** Se recomienda la medición del límite de fluencia y el esfuerzo de prueba, para el parámetro

$$L_e \geq \frac{L_o}{2}$$

**3.1.5.2** Además se recomienda que para las medidas de los parámetros durante y después de la fuerza máxima, $L_e$ será aproximadamente igual a $L_o$.

**3.1.6** *Extensión.* Incremento de la longitud calibrada ($L_e$) del extensómetro en un momento dado del ensayo.

**3.1.6.1** *Porcentaje permanente de extensión.* Incremento de la longitud calibrada en el extensómetro después de suspender un esfuerzo especificado en la probeta de ensayo, se expresa como un porcentaje de la longitud calibrada del extensómetro ($L_e$).

NOTA 3: Ver tabla 1 para efectos de la explicación de los números indicados.

*(Continúa)*

**3.1.6.2** *Porcentaje de extensión en el límite de fluencia ($A_e$).* En materiales que presentan fluencia discontinua, el alargamiento entre el inicio de la fluencia dada por una deformación localizada y el comienzo de la deformación permanente dada por un uniforme trabajo de endurecimiento. Se expresa como un porcentaje de la longitud calibrada del extensómetro ($L_e$).

**3.1.7** *Porcentaje de reducción de área (Z):* Cambio máximo en el área de la sección transversal que ha ocurrido durante el ensayo ($S_o$ – $S_u$) expresado como un porcentaje del área de la sección transversal inicial ($S_o$).

**3.1.8** *Carga máxima ($F_m$):* Es la carga más alta que ha resistido la probeta durante el ensayo, una vez que ha sido superado el límite de fluencia. Para materiales que no presentan puntos de fluencia este es el máximo valor durante el ensayo.

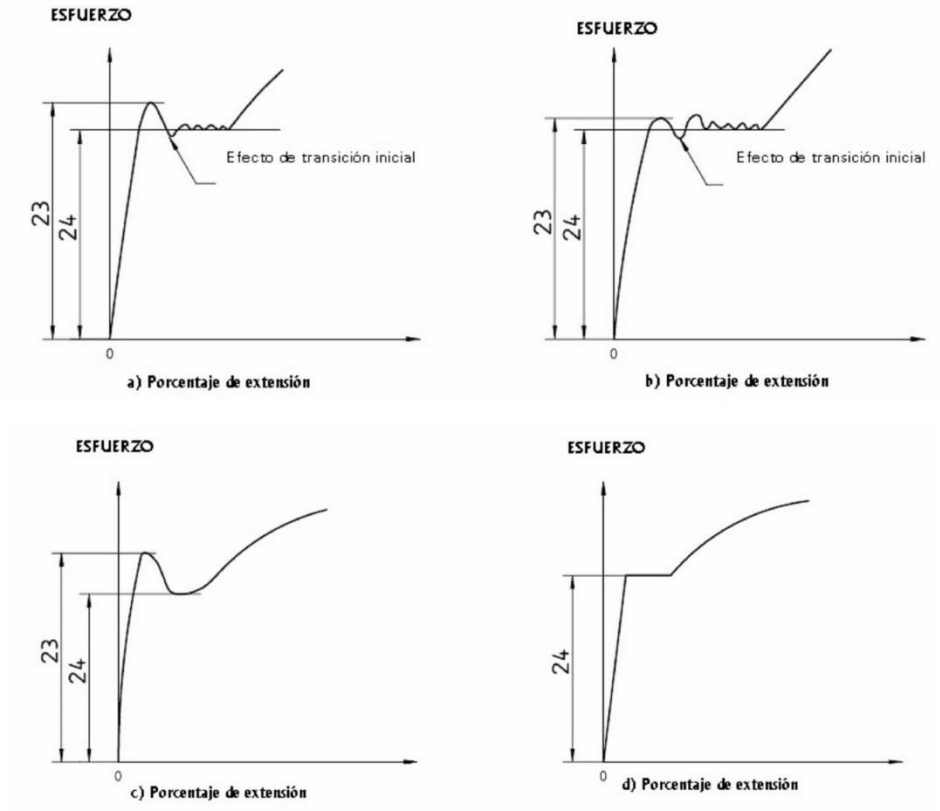
**3.1.9** *Esfuerzo.* Carga en cualquier momento del ensayo dividida por el área de la sección transversal inicial ($S_o$) de la probeta de ensayo.

**3.1.9.1** *Resistencia a la tracción ($R_m$).* Esfuerzo correspondiente a la carga máxima ($F_m$).

**3.1.9.2** *Resistencia a la fluencia (límite de fluencia).* Cuando el material metálico muestra un fenómeno de fluencia, se alcanza un punto durante el ensayo en el cual la deformación plástica se produce sin ningún incremento en la carga. Se hace una distinción entre:

a) *Límite de fluencia superior ($R_{eH}$).* Valor del esfuerzo en el momento en que se observa el primer decrecimiento de la carga (ver figura 2).

**FIGURA 2. Definiciones de límite de fluencia superior y límite de fluencia inferior para diferentes tipos de curvas (ver nota 4)**



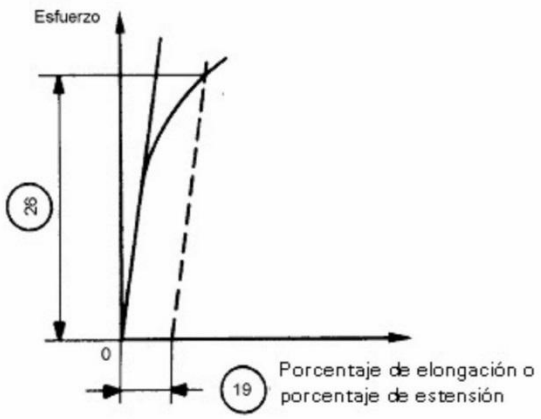

NOTA 4: ver tabla 1. Para le explicación respectiva a los números indicados.

*(Continúa)*

*b) Límite de fluencia inferior ($R_{eL}$).* El valor más bajo del esfuerzo en el campo plástico, ignorando cualquier efecto transitorio (ver figura 2).

**3.1.9.3** *Esfuerzo de prueba con alargamiento no proporcional ($R_p$):* El esfuerzo al cual la extensión no proporcional es igual al porcentaje especificado en la longitud calibrada del extensómetro ($L_e$) (ver figura 3). El símbolo que se usa es seguido por un sufijo que indica el porcentaje prescrito de la longitud calibrada del extensómetro, por ejemplo $R_{p0,2}$

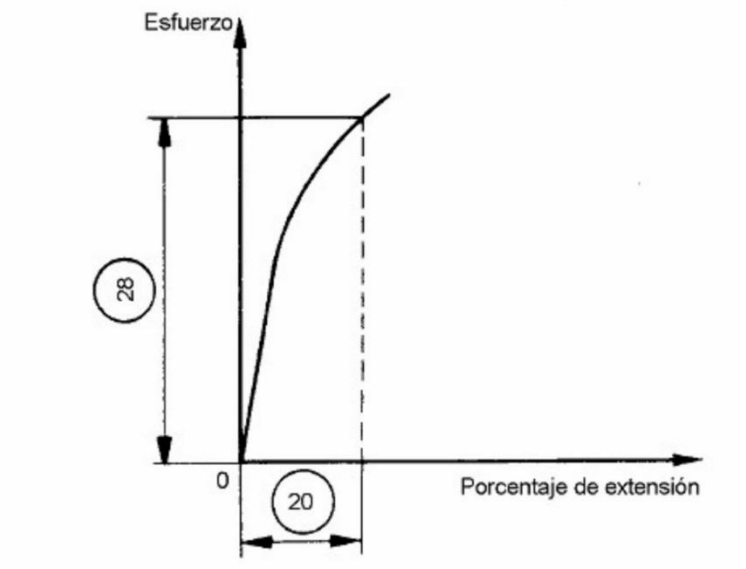
**FIGURA 3. Prueba de resistencia con alargamiento no proporcional ($R_p$) (ver nota 5)**




NOTA 5. Ver tabla 1. Para le explicación respectiva a los números indicados.

**3.1.9.4** *Esfuerzo de prueba con extensión total ($R_t$):* El esfuerzo al cual la extensión total (extensión elástica más extensión plástica) es igual al porcentaje especificado en la longitud calibrada del extensómetro ($L_e$) (ver figura 4). El símbolo es seguido por un sufijo que indica el porcentaje prescrito de la longitud calibrada inicial del extensómetro por ejemplo: $R_{t0,5}$

**FIGURA 4. Esfuerzo de prueba, extensión total ($R_t$) (ver nota 6)**

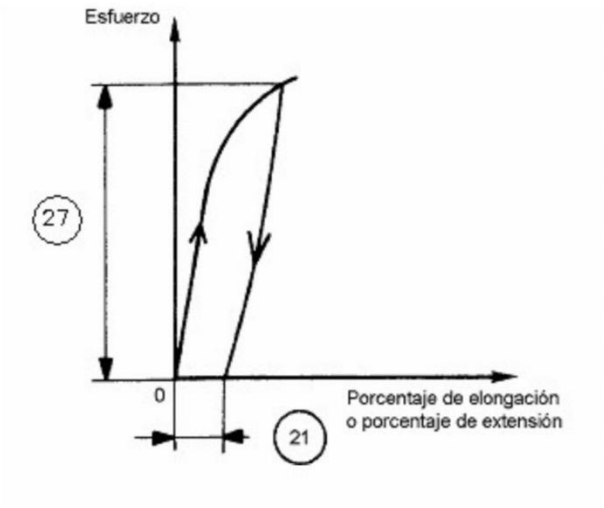



NOTA 6: Ver tabla 1. Para la explicación respectiva a los números indicados.

*(Continúa)*

**3.1.9.5** *Esfuerzo a la deformación permanente ($R_r$):* Es el esfuerzo al cual, después de eliminar la carga, una elongación o extensión permanente especificada, expresada como un porcentaje de la longitud calibrada inicial ($L_o$) o una longitud calibrada del extensómetro ($L_e$), respectivamente, no ha sido excedido (ver figura 5). El símbolo utilizado es seguido por un sufijo que indica el porcentaje especificado de la longitud calibrada inicial ($L_o$), o de la longitud calibrada del extensómetro ($L_e$), por ejemplo $R_{r\,0,2}$

**FIGURA 5. Esfuerzo a la deformación permanente ($R_r$) (ver nota 7)**




## 4. SIMBOLOGÍA Y DESIGNACIONES

**4.1** En el contenido de esta norma se utilizarán los símbolos y sus correspondientes designaciones que se establecen en la tabla 1.

**TABLA 1. Símbolos y designaciones.**

| Número de Referencia[1)] | Símbolo | Unidades | Designación |
|---|---|---|---|
| **Probeta** | | | |
| 1 | $a^{2)}$ | mm | Espesor de la probeta de ensayo plana o de la pared de un tubo |
| 2 | $b$ | mm | Ancho de la longitud paralela de la probeta de ensayo plana o ancho promedio de una tira longitudinal tomada de un tubo o ancho de un alambre plano |
| 3 | $d$ | mm | Diámetro de la longitud paralela de una probeta circular o diámetro de un alambre redondo o diámetro interno de un tubo |
| 4 | $D$ | mm | Diámetro externo de un tubo |
| 5 | $L_o$ | mm | Longitud calibrada inicial |
| - | $L'_o$ | mm | Longitud calibrada inicial para determinar $A_g$ |
| 6 | $L_c$ | mm | Longitud paralela |
| - | $L_e$ | mm | Longitud calibrada del extensómetro |
| 7 | $L_t$ | mm | Longitud total de la probeta |
| 8 | $L_u$ | mm | Longitud final calibrada después de la rotura |
| - | $L'_u$ | mm | Longitud calibrada final después de la rotura para determinar $A_g$ (Ver anexo H) |

NOTA 7. Ver la tabla 1. Para le explicación respectiva a los números indicados.

*(Continúa)*

*(Continuación tabla 1)*

| Número de Referencia[1)] | Símbolo | Unidades | Designación |
|---|---|---|---|
| **Probeta** | | | |
| 9 | $S_o$ | $mm^2$ | Área de la sección transversal inicial de la longitud paralela. |
| 10 | $S_u$ | $mm^2$ | Área mínima de la sección transversal después de la rotura. |
| | $k$ | | Coeficiente de proporcionalidad |
| 11 | $Z$ | % | Porcentaje de reducción de área $\frac{S_o - S_u}{S_o} x100$ |
| 12 | - | - | Superficie de agarre de la probeta para las mordazas |
| **Elongación** | | | |
| 13 | - | mm | Elongación después de la rotura $L_u - L_o$ |
| 14 | $A^{3)}$ | % | Porcentaje de elongación después de la rotura $\frac{L_u - L_o}{L_o} x100$ |
| 15 | $A_e$ | % | Porcentaje de extensión en el punto de fluencia |
| | $\Delta L_m$ | mm | Extensión a la carga máxima |
| 16 | $A_g$ | % | Porcentaje de elongación no proporcional, a la carga máxima ($F_m$) |
| 17 | $A_{gt}$ | % | Porcentaje de elongación total, a la carga máxima ($F_m$) |
| 18 | $A_t$ | % | Porcentaje de elongación total, a la rotura |
| 19 | - | % | Porcentaje especificado de extensión no proporcional |
| 20 | - | % | Porcentaje de extensión total.(Ver 28) |
| 21 | - | % | Porcentaje especificado de extensión a la deformación permanente o elongación. |
| **Carga** | | | |
| 22 | $F_m$ | N | Carga Máxima |
| **Límite de fluencia – Esfuerzo de prueba – Resistencia a la Tracción** | | | |
| 23 | $R_{eH}$ | MPa | Límite de fluencia superior[4)] |
| 24 | $R_{eL}$ | MPa | Límite de fluencia inferior |
| 25 | $R_m$ | MPa | Resistencia a la tracción |
| 26 | $R_p$ | MPa | Esfuerzo de prueba con extensión no proporcional |
| 27 | $R_r$ | MPa | Esfuerzo a la deformación permanente |
| 28 | $R_t$ | MPa | Esfuerzo de prueba con extensión total |
| - | $E$ | MPa | Módulo de elasticidad |

1) Ver figuras de la 1 a la 13
2) El símbolo T también se usa en tubos de acero, productos estándar.
3) Ver 3.1.4.3
4) 1 $N/mm^2$ = 1 MPa

## 5. FUNDAMENTO

**5.1** El ensayo comprende el estiramiento de una probeta por una fuerza axial de tracción proporcional a sus dimensiones, mediante una máquina para ensayo de tracción para determinar durante su deformación una o más características mecánicas definidas en el punto 3.

**5.1.1** El ensayo se llevara a cabo a temperatura ambiente comprendida entre + 10ºC y + 35ºC, a menos que se especifique de otra manera.

**5.2 Instrumental**

**5.2.1** *Máquina para ensayo de tracción.*

**5.2.1.1** *Precisión de las máquinas de ensayo.* Las máquinas de ensayo deben ser verificadas de acuerdo a las NTE INEN 1 502 y la NTE INEN 1 503.

*(Continúa)*

**5.2.1.2** El extensómetro debe ser de Clase 1 para la determinación de los límites de fluencia inferior y superior y resistencia de prueba (extensiones no proporcionales); para otras características (con mayor extensión) se pueden usar un extensómetro Clase 2.

**5.2.1.3** *Características de la máquina.*

a) Debe estar provista de dispositivos que aseguren la aplicación axial de los esfuerzos en la probeta.

b) Debe permitir la aplicación de las cargas progresivamente, sin choques ni vibraciones.

c) Debe estar provista de dispositivos de regulación y comando que permitan ejecutar el ensayo, con las velocidades especificadas en el numeral 7.1.

d) Debe permitir un error máximo del 1% de la carga indicada.

## 6. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

### 6.1 Forma y dimensiones de las probetas

**6.1.1** *Generalidades*

**6.1.1.1** La forma y las dimensiones de las probetas, dependen de la forma y dimensiones de los productos metálicos de los cuales se tomó la probeta y de las propiedades mecánicas que se van a determinar.

**6.1.1.2** La probeta, se obtiene generalmente por maquinado de una muestra del producto, de un elemento estampado o de un elemento fundido. Sin embargo, los productos de sección transversal uniforme (perfiles, barras, alambres, etc.) y también los elementos fundidos (fundiciones de hierro y aleaciones no ferrosas) pueden ser sometidas a ensayo sin maquinado.

**6.1.1.3** La sección transversal de las probetas puede ser circular, cuadrada, rectangular, anular o en casos especiales de alguna otra forma.

**6.1.1.4** Las probetas cuya longitud calibrada inicial se relaciona con el área inicial de la sección transversal por la ecuación $Lo = k\sqrt{S_o}$, son llamadas probetas proporcionales. El valor adoptado para esta norma es $k$ = 5,65. La longitud calibrada inicial no debe ser menor de 20 mm. Cuando el área de la sección transversal inicial de la probeta es demasiado pequeña es necesario convenir un valor del coeficiente $k$ más alto (preferiblemente 11,3) o se puede usar una probeta no proporcional.

**6.1.1.5** En el caso en que se usen probetas no proporcionales, la longitud calibrada inicial ($L_o$) se toma independientemente del área de la sección transversal inicial ($S_o$).

**6.1.1.6** Las tolerancias dimensionales de las probetas deben estar de acuerdo con los anexos referenciados (ver numeral 6.2).

**6.1.2** *Probetas maquinadas.*

**6.1.2.1** Las probetas maquinadas deben tener una curva de transición entre las superficies de agarre de las mordazas y la longitud paralela si estas son de diferentes dimensiones. Las dimensiones de este radio de transición pueden ser importantes y se recomienda que se definan en la especificación del material, si no están especificadas en el anexo indicado (ver numeral 6.2).

**6.1.2.2** Las superficies de agarre pueden ser de cualquier forma, siempre y cuando se adapten a las mordazas de la máquina de tracción.

**6.1.2.3** El eje de la probeta deberá coincidir con o ser paralelo al eje de aplicación de la fuerza.

*(Continúa)*

**6.1.2.4** La longitud paralela ($L_c$) o en el caso en donde la probeta no tiene curva de transición, la longitud libre entre las mordazas siempre debe ser mayor que la longitud inicial calibrada. ($L_o$).

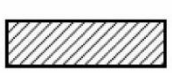
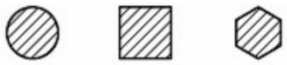
**6.1.3** *Probetas no maquinadas.*

**6.1.3.1** Si la probeta es de una longitud no maquinada del producto o una barra de ensayo sin maquinar, la longitud libre entre las mordazas debe ser suficiente para que las marcas calibradas queden a una distancia razonable de las mordazas (ver anexo A y D).

**6.1.3.2** Las probetas de ensayo fundidas, incorporarán un radio de transición entre las superficies de agarre y la longitud paralela. Las dimensiones de este radio de transición son importantes y se recomienda que se definan en la norma del producto. Las superficies de agarre pueden tener cualquier forma siempre y cuando se adapten a las mordazas de la máquina de tracción. La longitud paralela ($L_c$) siempre debe ser mayor que la longitud calibrada inicial ($L_o$)

**6.2 Tipos de probetas.** Los principales tipos de probetas de ensayo están definidos en los anexos A-D de acuerdo con la forma y tipo del producto, como se indica en la tabla 2. Se pueden especificar otros tipos de probetas según las normas de producto.

**TABLA 2. Tipos de producto**

| **Tipo de producto** | | |
|---|---|---|
| **Laminas - Planos**  **Espesor "e" en mm** | Alambres – Barras – Secciones  Diámetro o lado en mm | **Anexos correspondientes** |
| 0,1 ≤ e < 3 | ------ | A |
| --- | < 4 | B |
| ≥ 3 | ≥ 4 | C |
| Tubos | | D |

**6.3 Preparación de probetas para ensayo**. Las probetas de ensayo se deben tomar y preparar de acuerdo con los requerimientos de las normas para los diferentes materiales que se indica en la Norma ISO - INEN 377.

**6.4 Determinación del área de la sección transversal inicial ($S_o$).** El área de la sección transversal inicial se calcula a partir de las medidas de las dimensiones apropiadas. La precisión de estos cálculos depende de la naturaleza y del tipo de la probeta. Esta se indica en los anexos A - D para los diferentes tipos de probetas.

**6.5 Marcado de la longitud calibrada inicial ($L_o$)**

**6.5.1** Cada extremo de la longitud calibrada inicial se debe marcar por medio de marcas finas o rayaduras, pero no por medio de indentaciones que puedan producir fracturas prematuras.

**6.5.2** Para probetas proporcionales, el valor calculado de la longitud calibrada inicial puede aproximarse al múltiplo más cercano de 5 mm, cuidando que la diferencia entre la longitud calibrada inicial calculada y la marcada sea menor del 10% de $L_o$. La longitud calibrada inicial se debe marcar con una precisión de $\pm$ 1%. El anexo F indica un nomograma para determinar la longitud calibrada inicial correspondiente a una probeta de sección transversal inicial rectangular.

**6.5.3** Si la longitud paralela ($L_c$) es mucho mayor que la longitud calibrada inicial, como por ejemplo en probetas no maquinadas, se pueden marcar una serie de longitudes calibradas, algunas de ellas se pueden extender hasta las mordazas.

**6.5.4** En algunos casos, puede ser útil marcar sobre la superficie total de la probeta, en una línea paralela al eje longitudinal.

*(Continúa)*

**ANEXO A**
(Normativo)

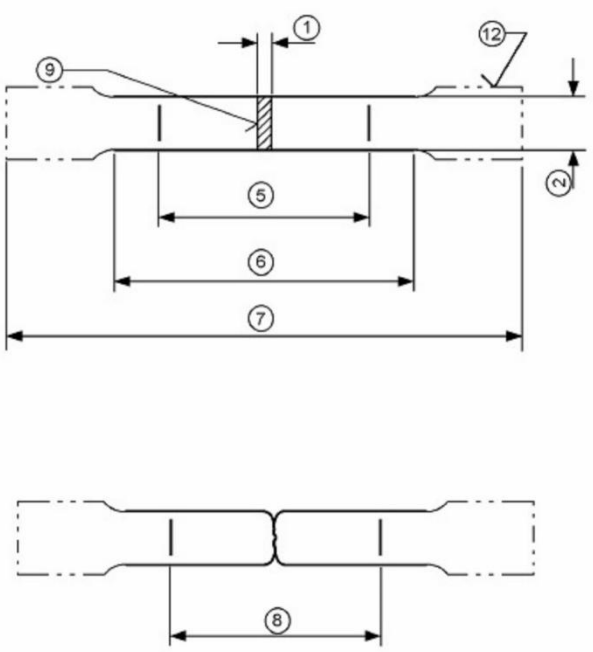
**TIPOS DE PROBETAS DE ENSAYO PARA PRODUCTOS DELGADOS: LÁMINAS, FLEJES Y PRODUCTOS PLANOS 0,1 mm Y 3,0 mm DE ESPESOR**

**A.1** Para productos con espesor menor de 0,5 mm, es necesario tener precauciones especiales.

**A.1.1** *Forma de la probeta*

**A.1.1** Generalmente, la probeta tiene los extremos para sujetarse a las mordazas, con extremos más anchos que su sección paralela. La longitud paralela ($L_c$) se une con los extremos de la probeta por medio de curvas de transición con un radio de por lo menos 20 mm (ver figura 9). El ancho de estos extremos debe ser por lo menos de 20 mm y de no más de 40 mm.

**FIGURA 9. Probetas maquinadas de sección transversal rectangular (ver notas)**




**A.1.2** Por acuerdo la probeta también puede consistir de un fleje con caras paralelas. Para productos de ancho igual o menor que 20 mm, el ancho de la probeta debe ser el mismo que el del producto.

**A.2 Dimensiones de la probeta**

**A.2.1** *Probetas no proporcionales*

**A.2.1.1** La longitud paralela no debe ser inferior de $L_o + \frac{b}{2}$

**A.2.1.2** En caso de desacuerdo, siempre se debe usar una longitud de $L_o$ + 2b a menos que el material sea insuficiente.

**A.2.1.3** En caso de probetas de lados paralelos de menos de 20 mm de ancho, y a menos que la norma del producto especifique otra cosa, la longitud calibrada inicial ($L_o$) debe ser igual a 50 mm. Para este tipo de probetas, la longitud libre entre las mordazas debe ser igual a $L_o$ +3*b*.

*(Continúa)*

**A.2.1.4** Existen dos tipos de probetas no proporcionales cuyas dimensiones se establecen en la tabla A.1.

**TABLA A.1 Dimensiones de las probetas (mm)**

| Tipo de probeta | Ancho b | Longitud calibrada inicial $L_o$ | Longitud paralela $L_c$ | Mínima longitud libre entre las mordazas para probetas de lados paralelos |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 12,5 ±1 | 50 | 75 | 87,5 |
| 2 | 20 ±1 | 80 | 120 | 140 |

**A.2.1.5** Cuando se determinan las dimensiones de las probetas, se aplican las tolerancias dadas en la tabla A.2.

**TABLA A.2 Tolerancias en el ancho de la probeta (mm)**

| Ancho nominal de la probeta | Tolerancias de maquinado[1)] | Tolerancias de forma[2)] |
|---|---|---|
| 12,5 | ± 0,09 | ± 0,043 |
| 20 | ± 0,105 | ± 0,052 |

[1)] Tolerancias js 12. Estas tolerancias están en concordancia con la ISO 286-2, son aplicables si el valor nominal del área transversal (So), se incluye en el cálculo sin necesidad de medir su valor.

[2)] Tolerancias IT 9. (Ver ISO 286-2). Máxima desviación entre la medida del ancho a lo largo de toda la longitud paralela ($L_c$) de la probeta.

**A.2.1.6** En el caso en que las probetas sean del mismo ancho del producto, el área inicial de la sección transversal ($S_o$) se debe calcular en base de las dimensiones medidas de la probeta.

**A.2.1.7** Se puede tomar como ancho nominal de la probeta el que resulte del maquinado con sus tolerancias, siempre y cuando cumpla las tolerancias de forma que se dan en la tabla A.2, con el fin de tener la medida del ancho de la probeta para efectos del ensayo.

**A.3 Preparación de las probetas**

**A.3.1** Las probetas se deben preparar de tal manera, que no afecten las propiedades del metal. Si algunas áreas se han endurecido por efectos de corte o prensado, se deben eliminar por maquinado.

**A.3.2** Para materiales muy delgados, se recomienda que las piezas del mismo ancho se corten ensambladas formando un paquete con separadores intermedios de papel que sea resistente al aceite de corte. Se recomienda que cada paquete se ensamble con sujetadores a cada lado antes del maquinado para darle las dimensiones finales a las probetas.

**A.3.3** El valor dado en A.2, por ejemplo ±0,09 mm para un ancho nominal de 12,5 mm significa que ninguna probeta debe tener un ancho fuera de los dos valores dados abajo, si el valor nominal del área de la sección transversal inicial ($S_o$) es incluido sin tener que medirlo:

12,5 + 0,09 = 12,59 mm
12,5 - 0,09 = 12,41 mm

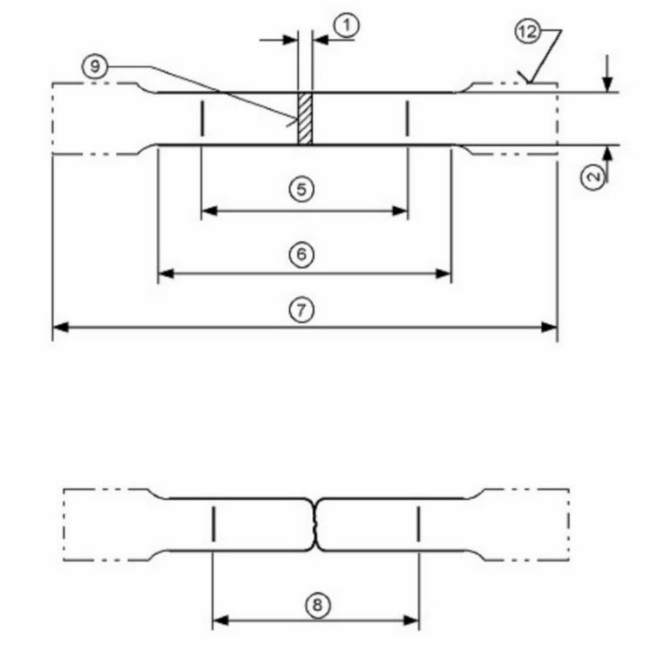
**A.4 Determinación del área de la sección transversal inicial ($S_o$)**

**A.4.1** El área de la sección transversal inicial se calcula a partir de las medidas de las dimensiones de la probeta.

*(Continúa)*

**A.4.2** El error en la determinación del área de la sección transversal inicial de la probeta no debe ser mayor de ± 2%. La mayor parte de este error, generalmente se debe a la medición de los espesores de la probeta, el error en la medición del ancho no debe ser mayor de ± 0,2%.

**Figura 9. Probetas maquinadas de sección transversal rectangular**




NOTA A.1: La forma de la cabeza de la probeta se indica a manera de guía.
NOTA A.2: Ver tabla 1 para la explicación de los números indicados

*(Continúa)*

**Anexo B3** Reglamento no 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE/ONU) — Prescripciones técnicas uniformes relativas a la homologación de vehículos de grandes dimensiones para el transporte de pasajeros por lo que respecta a la resistencia de su superestructura



Solo los textos CEPE/ONU originales tienen efecto jurídico en el marco del Derecho internacional público. La situación y la fecha de entrada en vigor del presente Reglamento deben consultarse en la última versión del documento de situación CEPE/ONU TRANS/WP.29/343, disponible en: http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29fdocstts.html

**Reglamento nº 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE/ONU) — Prescripciones técnicas uniformes relativas a la homologación de vehículos de grandes dimensiones para el transporte de pasajeros por lo que respecta a la resistencia de su superestructura**

**Adenda 65: Reglamento nº 66**

**Revisión 1**

**Incluye todos los textos válidos hasta:**

el suplemento 1 de la versión original del Reglamento, con fecha de entrada en vigor: el 3 de septiembre de 1997;

la serie 01 de modificaciones, con fecha de entrada en vigor: el 9 de noviembre de 2005.

ÍNDICE

REGLAMENTO

1. Ámbito de aplicación
2. Términos y definiciones
3. Solicitud de homologación
4. Homologación
5. Especificaciones y requisitos generales
6. Modificación y extensión de la homologación de un tipo de vehículo
7. Conformidad de la producción
8. Sanciones por no conformidad de la producción
9. Cese definitivo de la producción
10. Disposiciones transitorias
11. Nombres y direcciones de los servicios técnicos responsables de la realización de los ensayos de homologación, y de los departamentos administrativos

ANEXOS

Anexo 1 Comunicación relativa a un tipo de vehículo en lo que concierne a la resistencia de su superestructura, con arreglo al Reglamento nº 66

Anexo 2 Ejemplo de marca de homologación

Anexo 3 Determinación del centro de gravedad del vehículo

Anexo 4 Perspectivas de la descripción estructural de la superestructura

Anexo 5 Ensayo de vuelco como método básico de homologación

Anexo 6 Ensayo de vuelco utilizando secciones de la carrocería como método de homologación equivalente

Anexo 7 Ensayo de carga cuasiestática de secciones de la carrocería como método de homologación equivalente

Apéndice 1: Determinación del movimiento vertical del centro de gravedad durante el vuelco

Anexo 8 Cálculo cuasiestático basado en el ensayo de componentes como método de homologación equivalente

Apéndice 1: Características de las bisagras plásticas

Anexo 9 Simulación por ordenador del ensayo de vuelco de un vehículo completo como método de homologación equivalente

1. ÁMBITO DE APLICACIÓN

El presente Reglamento se aplica a los vehículos de un solo piso, rígidos o articulados, diseñados y construidos para el transporte de más de 22 viajeros, sentados o de pie, además del conductor y los miembros del personal.

2. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

A los efectos del presente Reglamento, se utilizarán los siguientes términos y definiciones:

2.1. **Unidades de medida**

Las unidades de medida serán las siguientes:

| | |
|---|---|
| dimensiones y distancias lineales | metros (m) o milímetros (mm) |
| masa o carga | kilogramos (kg) |
| fuerza (y peso) | newtons (N) |
| momento | newton-metros (Nm) |
| energía | julios (J) |
| constante gravitacional | 9,81 ($m/s^2$) |

2.2. Se entenderá por «vehículo» el autobús o autocar diseñado y equipado para el transporte de viajeros. El vehículo es una representación individual de un tipo de vehículo.

2.3. Se entenderá por «tipo de vehículo» la categoría de vehículos fabricados con la misma especificación técnica de diseño, las mismas dimensiones principales y la misma disposición de construcción. El tipo de vehículo vendrá definido por el fabricante del vehículo.

2.4. Se entenderá por «familia de tipos de vehículo» los tipos de vehículo, actuales y futuros, que estén incluidos en la homologación del peor caso, en relación con el presente Reglamento.

2.5. Se entenderá por «el peor caso» el tipo de vehículo, dentro de un grupo de tipos de vehículo, que tenga menos probabilidades de cumplir los requisitos del presente Reglamento por lo que respecta a la resistencia de su superestructura. Los tres parámetros que definen el peor caso son: la resistencia estructural, la energía de referencia y el espacio de supervivencia.

2.6. Se entenderá por «homologación de un tipo de vehículo» el proceso oficial completo mediante el cual el tipo de vehículo se somete a control y a ensayo para demostrar que cumple todos los requisitos especificados en el presente Reglamento.

2.7. Se entenderá por «extensión de la homologación» el proceso oficial mediante el cual un tipo de vehículo modificado se homologa sobre la base de un tipo de vehículo previamente homologado, comparando los criterios de estructura, energía potencial y espacio residual.

2.8. Se entenderá por «vehículo articulado» el formado por dos o más secciones rígidas, articuladas entre sí, en el cual los compartimentos de viajeros de cada sección se intercomuniquen, de manera que los viajeros puedan desplazarse libremente por ellos; las secciones rígidas han de estar permanentemente conectadas y solo podrán separarse mediante una operación en la que se utilicen herramientas que normalmente solo se encuentren en un taller.

2.9. Se entenderá por «compartimento de viajeros» el espacio destinado a ser utilizado por los viajeros, salvo el ocupado por instalaciones fijas, como bares, cocinas o aseos.

2.10. Se entenderá por «compartimento del conductor» el espacio destinado al uso exclusivo del conductor, en el que se encuentren el asiento del conductor, el volante, los mandos, los instrumentos y otros dispositivos necesarios para conducir el vehículo.

2.11. Se entenderá por «retención del ocupante» el dispositivo que, en caso de vuelco, mantenga unidos a su asiento a los viajeros, el conductor o los miembros del personal.

2.12. Se entenderá por «plano central longitudinal vertical» (VLCP) el plano vertical que atraviesa los puntos medios de la trayectoria del eje delantero y del eje trasero.

2.13. Se entenderá por «espacio de supervivencia» el espacio que ha de quedar en el compartimento o compartimentos del conductor, de los viajeros y del personal para que el conductor, los viajeros y el personal tengan más posibilidades de sobrevivir en caso de vuelco.

2.14. Se entenderá por «masa en orden de marcha» ($M_k$) la masa del vehículo, sin ocupantes ni carga, pero con 75 kg de masa del conductor, la masa del combustible correspondiente al 90 % de la capacidad del depósito especificada por el fabricante y, en su caso, la masa del refrigerante, el lubrificante, las herramientas y la rueda de repuesto.

2.15. Se entenderá por «masa total de ocupantes» ($M_m$) la masa combinada de los viajeros y el personal que ocupe asientos equipados con retenciones del ocupante.

2.16. Se entenderá por «masa total efectiva del vehículo» ($M_t$) la masa en orden de marcha del vehículo ($M_k$) combinada con la proporción (k = 0,5) de la masa total de ocupantes ($M_m$) que se considere que está firmemente sujeta al vehículo.

2.17. Se entenderá por «masa individual del ocupante» ($M_{mi}$) la masa de un solo ocupante, cuyo valor es de 68 kg.

2.18. Se entenderá por «energía de referencia» ($E_R$) la energía potencial del tipo de vehículo que se va a homologar, medida en relación con el nivel inferior horizontal de la cuneta en la posición inicial, inestable, del proceso de vuelco.

2.19. Se entenderá por «ensayo de vuelco de un vehículo completo» el ensayo realizado con un vehículo completo, a escala real, para probar la resistencia exigida de la superestructura.

2.20. Se entenderá por «banco de ensayo» el dispositivo técnico, compuesto por la plataforma de basculamiento, la cuneta y una superficie de cemento, utilizado en el ensayo de vuelco de un vehículo completo o de secciones de la carrocería.

2.21. Se entenderá por «plataforma de basculamiento» el plano rígido que puede rotar alrededor de un eje horizontal para hacer bascular a un vehículo completo o una sección de la carrocería.

2.22. Se entenderá por «carrocería» la estructura completa del vehículo en orden de marcha, incluidos todos los elementos estructurales que componen el compartimento de viajeros, el compartimento del conductor, el compartimento de equipajes y los espacios para las unidades y componentes mecánicos.

2.23. Se entenderá por «superestructura» los componentes de la carrocería que soportan la carga, con arreglo a la definición del fabricante, contienen las partes y elementos coherentes que contribuyen a la resistencia y la capacidad de absorción de energía de la carrocería y preservan el espacio de supervivencia en el ensayo de vuelco.

2.24. Se entenderá por «segmento» la sección estructural de la superestructura que forma una curva cerrada entre dos planos perpendiculares al plano central longitudinal vertical del vehículo. El segmento contiene un montante de ventana (o puerta) en cada lado del vehículo, así como elementos de la pared lateral, una sección de la estructura del techo y una sección de la estructura del piso y del falso piso.

2.25. Se entenderá por «sección de la carrocería» una unidad estructural que representa una parte de la superestructura a efectos del ensayo de homologación. Una sección de la carrocería contiene, al menos, dos segmentos unidos por elementos de conexión representativos (estructuras laterales, del techo y del falso piso).

2.26. Se entenderá por «sección original de la carrocería» una sección de la carrocería compuesta por dos o más segmentos que tengan exactamente la misma forma y posición relativa que presentan en el vehículo real. Los elementos de conexión entre los segmentos también estarán dispuestos exactamente igual a como lo están en el vehículo real.

2.27. Se entenderá por «sección artificial de la carrocería» una sección de la carrocería compuesta por dos o más segmentos, pero no colocados en la misma posición ni a la misma distancia unos de otros que en el vehículo real. Los elementos de conexión entre dichos segmentos no tendrán que ser idénticos a la estructura de la carrocería real, pero sí estructuralmente equivalentes.

2.28. Se entenderá por «parte rígida» una parte o elemento estructural que no presente una deformación ni una absorción de energía significativas durante el ensayo de vuelco.

2.29. Se entenderá por «zona plástica» una parte especial de la superestructura, limitada geométricamente, en la cual, como resultado de fuerzas dinámicas de impacto:

— se concentren grandes deformaciones plásticas,

— se produzca una distorsión esencial de la forma original (sección transversal, longitud u otra magnitud geométrica),

— se produzca una pérdida de estabilidad, como consecuencia del pandeo local,

— se absorba energía cinética debido a la deformación.

2.30. Se entenderá por «bisagra plástica» una zona plástica simple formada en un elemento tipo varilla (tubo sencillo, columna de ventana, etc.).

2.31. Se entenderá por «travesaño superior» la parte estructural longitudinal de la carrocería situada por encima de las ventanas laterales, que incluye la transición semicircular hacia la estructura del techo. En el ensayo de vuelco, el travesaño superior es el primero en golpear el suelo.

2.32. Se entenderá por «travesaño inferior» la parte estructural longitudinal de la carrocería situada por debajo de las ventanas laterales. En el ensayo de vuelco, el travesaño inferior puede ser la segunda zona que entre en contacto con el suelo, tras la deformación inicial de la sección transversal del vehículo.

3. SOLICITUD DE HOMOLOGACIÓN

3.1. La solicitud de homologación de un tipo de vehículo con respecto a la resistencia de su superestructura la presentará el fabricante del vehículo o su representante debidamente acreditado al departamento administrativo.

3.2. Irá acompañada de los documentos mencionados a continuación, por triplicado, y de los datos siguientes:

3.2.1. los principales datos identificativos y parámetros del tipo de vehículo o grupo de tipos de vehículo:

3.2.1.1. los dibujos de la disposición general del tipo de vehículo, su carrocería y distribución interior, con las dimensiones principales; se indicará claramente qué asientos están equipados con retenciones para viajeros, así como las dimensiones precisas de su ubicación en el vehículo;

3.2.1.2. la masa en orden de marcha del vehículo y las cargas por eje correspondientes;

3.2.1.3. la posición exacta del centro de gravedad del vehículo sin carga, junto con el informe de medidas; para determinar la posición del centro de gravedad, se utilizarán los métodos de medición y cálculo descritos en el anexo 3;

3.2.1.4. la masa total efectiva del vehículo y las cargas por eje correspondientes;

3.2.1.5. la posición exacta del centro de gravedad de la masa total efectiva del vehículo, junto con el informe de medidas; para determinar la posición del centro de gravedad, se utilizarán los métodos de medición y cálculo descritos en el anexo 3;

3.2.2. la totalidad de los datos y la información necesarios para evaluar los criterios del peor caso en un grupo de tipos de vehículo:

3.2.2.1. el valor de la energía de referencia ($E_R$), que es el resultado de multiplicar la masa del vehículo (M) por la constante de gravedad (g) y la altura ($h_1$) del centro de gravedad, con el vehículo en posición de equilibrio inestable al inicio del ensayo de vuelco (véase la figura 3):

$$E_R = M \cdot g \cdot h_1 = M \cdot g\left[0{,}8 + \sqrt{h_0^2 + (B \pm t)^2}\right]$$

donde:

M = $M_k$, la masa en orden de marcha del tipo de vehículo, si no está equipado con retenciones del ocupante, o

$M_t$, la masa total efectiva del vehículo, si está equipado con retenciones del ocupante, y

$M_t$ = $M_k + k \times M_m$, donde k = 0,5,

$h_0$ = la altura (en metros) del centro de gravedad del vehículo para el valor de masa (M) elegido

t = la distancia perpendicular (en metros) del centro de gravedad del vehículo desde su plano central longitudinal vertical

B = la distancia perpendicular (en metros) del plano central longitudinal vertical del vehículo al eje de rotación en el ensayo de vuelco

g = la constante gravitacional

$h_1$ = la altura (en metros) del centro de gravedad del vehículo en su posición inicial, inestable, con respecto al plano inferior horizontal de la cuneta;

3.2.2.2. los dibujos y la descripción detallada de la superestructura del tipo de vehículo o grupo de tipos de vehículo con arreglo al anexo 4;

3.2.2.3. los dibujos detallados del espacio de supervivencia con arreglo al apartado 5.2 para cada tipo de vehículo que se vaya a homologar;

3.2.3. otra documentación, parámetros y datos detallados, dependiendo del método de ensayo de homologación elegido por el fabricante, con arreglo a lo descrito en los anexos 5, 6, 7, 8 y 9;

3.2.4. en el caso de un vehículo articulado, toda esta información se facilitará por separado para cada sección del tipo de vehículo, excepto por lo que se refiere al apartado 3.2.1.1, que hace referencia al vehículo completo.

3.3. Previa petición del servicio técnico, se presentará un vehículo completo (o un vehículo correspondiente a cada tipo de vehículo, si la homologación se solicita para un grupo de tipos de vehículo) para comprobar su masa en orden de marcha, las cargas por eje, la posición del centro de gravedad y cualquier otro dato o información pertinente para la resistencia de la superestructura.

3.4. Dependiendo del método de ensayo de homologación elegido por el fabricante, se presentarán al servicio técnico, previa petición de este, muestras adecuadas. La disposición y el número de muestras se acordarán con el servicio técnico. Cuando las muestras hayan sido sometidas a ensayo anteriormente, se presentarán los informes correspondientes.

4. HOMOLOGACIÓN

4.1. Si el tipo de vehículo o el grupo de tipos de vehículo presentados para homologación con arreglo al presente Reglamento cumplen los requisitos del apartado 5, se les concederá la homologación.

4.2. Se asignará un número de homologación a cada tipo de vehículo homologado. Los dos primeros dígitos (actualmente 01, que corresponden a la serie 01 de modificaciones) indicarán la serie de modificaciones que incluya los cambios técnicos importantes más recientes introducidos en el Reglamento en el momento en que se expidió la homologación. La misma Parte contratante no deberá asignar el mismo número a otro tipo de vehículo.

4.3. La homologación, o la denegación o extensión de la homologación, de un tipo de vehículo con arreglo al presente Reglamento se comunicará a las Partes en el Acuerdo que apliquen el presente Reglamento por medio de un impreso de comunicación (véase el anexo 1) y de los dibujos y diagramas facilitados por el solicitante de la homologación en el formato acordado entre el fabricante y el servicio técnico. Los documentos en papel deberán poder doblarse en formato A4 (210 mm × 297 mm).

4.4. Se colocará una marca de homologación internacional, de manera visible y en un lugar fácilmente accesible especificado en el formulario de homologación, en cada vehículo que se ajuste a un tipo de vehículo homologado con arreglo al presente Reglamento, que consistirá en:

4.4.1. un círculo con la letra mayúscula «E» en su interior, seguido del número distintivo del país que haya concedido la homologación ([1]);

4.4.2. el número del presente Reglamento, seguido de la letra «R», un guión y el número de homologación a la derecha del círculo establecido en el apartado 4.4.1.

4.5. La marca de homologación deberá ser claramente legible e indeleble.

4.6. La marca de homologación se situará en la placa de datos del vehículo colocada por el fabricante, o cerca de la misma.

4.7. En el anexo 2 del presente Reglamento figura un ejemplo de marca de homologación.

5. ESPECIFICACIONES Y REQUISITOS GENERALES

5.1. **Requisitos**

La superestructura del vehículo tendrá la resistencia suficiente como para garantizar que el espacio de supervivencia no resulte dañado durante el ensayo de vuelco del vehículo completo ni una vez finalizado este; es decir:

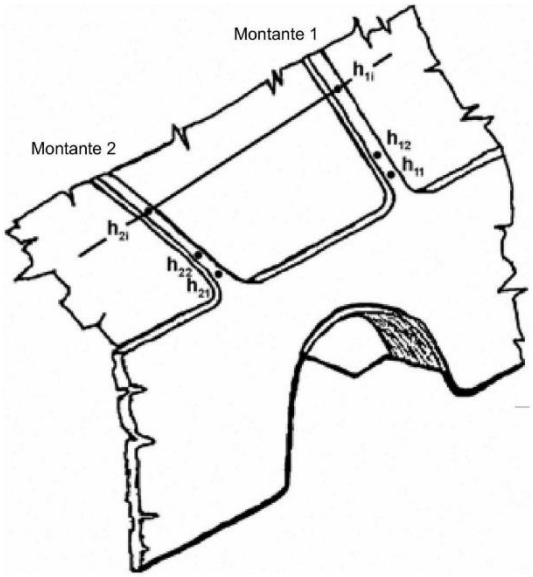
5.1.1. ninguna parte del vehículo que se encuentre fuera del espacio de supervivencia al inicio del ensayo (por ejemplo, montantes, anillas de seguridad o rejillas portaequipajes) invadirá el espacio de supervivencia durante el ensayo; a la hora de evaluar la invasión del espacio de supervivencia se ignorarán todas las partes estructurales que originalmente se encuentren en dicho espacio (por ejemplo, barras de sujeción verticales, tabiques, cocinas o aseos);

([1]) 1 para Alemania, 2 para Francia, 3 para Italia, 4 para los Países Bajos, 5 para Suecia, 6 para Bélgica, 7 para Hungría, 8 para la República Checa, 9 para España, 10 para Serbia y Montenegro, 11 para el Reino Unido, 12 para Austria, 13 para Luxemburgo, 14 para Suiza, 15 (sin asignar), 16 para Noruega, 17 para Finlandia, 18 para Dinamarca, 19 para Rumanía, 20 para Polonia, 21 para Portugal, 22 para Rusia, 23 para Grecia, 24 para Irlanda, 25 para Croacia, 26 para Eslovenia, 27 para Eslovaquia, 28 para Belarús, 29 para Estonia, 30 (sin asignar), 31 para Bosnia y Herzegovina, 32 para Letonia, 33 (sin asignar), 34 para Bulgaria, 35 (sin asignar), 36 para Lituania, 37 para Turquía, 38 (sin asignar), 39 para Azerbaiyán, 40 para la Antigua República Yugoslava de Macedonia, 41 (sin asignar), 42 para la Comunidad Europea (sus Estados miembros conceden las homologaciones utilizando su símbolo CEPE respectivo), 43 para Japón, 44 (sin asignar), 45 para Australia, 46 para Ucrania, 47 para Sudáfrica, 48 para Nueva Zelanda, 49 para Chipre, 50 para Malta y 51 para la República de Corea. Se asignarán números consecutivos a otros países en el orden cronológico en el que ratifiquen el Acuerdo sobre la adopción de prescripciones técnicas uniformes aplicables a los vehículos de ruedas y los equipos y piezas que puedan montarse o utilizarse en estos, y sobre las condiciones de reconocimiento recíproco de las homologaciones concedidas conforme a dichas prescripciones, o se adhieran a dicho Acuerdo, y el Secretario General de las Naciones Unidas comunicará los números así asignados a las Partes en el Acuerdo.

5.1.2. ninguna parte del espacio de supervivencia deberá sobresalir del contorno de la estructura deformada; el contorno de la estructura deformada se determinará secuencialmente, entre cada montante de ventana o puerta adyacente; el contorno entre dos montantes deformados será una superficie teórica, determinada por líneas rectas, que conecte los puntos del contorno interior de los montantes que se encontraban a la misma altura sobre el nivel del piso antes del ensayo de vuelco (véase la figura 1).

*Figura 1*

**Especificación del contorno de la estructura deformada**




5.2. **Espacio de supervivencia**

El envoltorio del espacio de supervivencia del vehículo se determinará creando en el interior del vehículo un plano transversal vertical que tenga los márgenes descritos en las figuras 2 a) y 2 c) y desplazándolo por la longitud del vehículo [véase la figura 2 b)], como se describe a continuación:

5.2.1. el punto $S_R$ estará situado en el respaldo de cada asiento exterior orientado hacia adelante o hacia atrás (o en la posición supuesta del asiento), 500 mm por encima del piso situado debajo del asiento y a 150 mm de la superficie interior de la pared lateral; no se tendrán en cuenta los pasos de rueda ni demás variaciones de la altura del piso; estas dimensiones también se aplicarán a los asientos orientados hacia el interior, en sus planos centrales;

5.2.2. cuando los dos lados del vehículo no sean simétricos con respecto a la disposición del piso y, por tanto, la altura de los puntos $S_R$ sea diferente, se tomará como plano central longitudinal vertical del vehículo el escalón situado entre las dos líneas del piso del espacio de supervivencia [véase la figura 2 c)];

5.2.3. la posición más atrasada del espacio de supervivencia es un plano vertical situado 200 mm por detrás del punto $S_R$ del asiento exterior más atrasado o la cara interna de la pared trasera del vehículo cuando esté situada a menos de 200 mm por detrás del punto $S_R$;

la posición más adelantada del espacio de supervivencia es un plano vertical situado 600 mm por delante del punto $S_R$ del asiento más adelantado (ya sea de viajero, conductor o miembro del personal) del vehículo, colocado en su posición más adelantada;

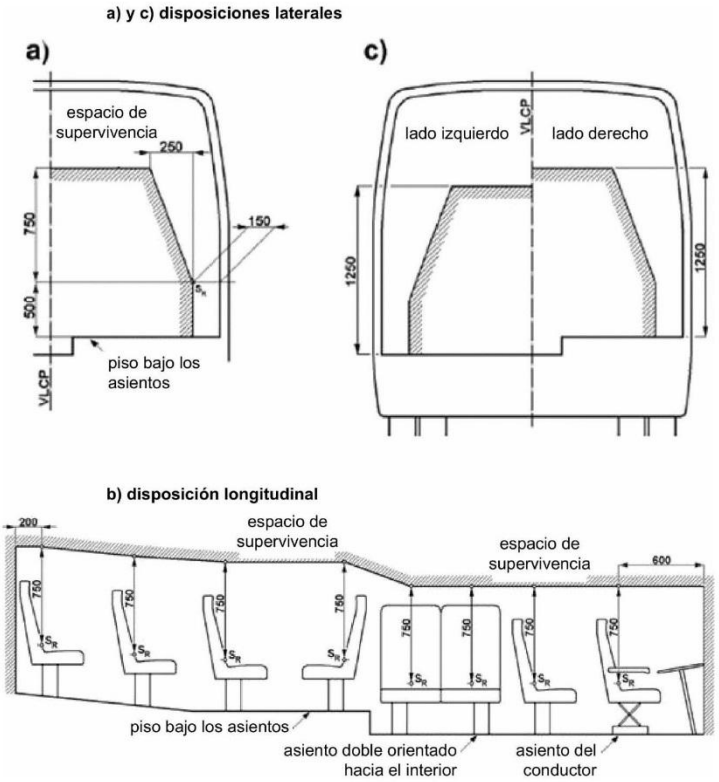
si el asiento más adelantado y el más atrasado en los dos lados del vehículo no se encuentran en los mismos planos transversales, la longitud del espacio de supervivencia en cada lado será diferente;

5.2.4. el espacio de supervivencia entre el plano más atrasado y el más adelantado del compartimento o compartimentos de viajeros, del personal y del conductor es continuo y se determina desplazando, por toda la longitud del vehículo, a lo largo de líneas rectas y a través de los puntos $S_R$ situados a ambos lados del vehículo, el plano transversal vertical definido; detrás del punto $S_r$ del asiento más atrasado y delante del punto $S_r$ del asiento más adelantado las líneas rectas son horizontales;

5.2.5. para simular el peor caso en un grupo de tipos de vehículo y permitir futuros avances de diseño, el fabricante podrá definir un espacio de supervivencia mayor de lo necesario para una disposición de asiento determinada.

*Figura 2*

**Especificación del espacio de supervivencia**




5.3. **Especificación del ensayo de vuelco de un vehículo completo como método básico de homologación**

El ensayo de vuelco es un ensayo de basculamiento lateral (véase la figura 3) que se desarrolla como sigue:

5.3.1. el vehículo completo se coloca en la plataforma de basculamiento, con la suspensión bloqueada, y va inclinándose poco a poco hacia su posición de equilibrio inestable; cuando el tipo de vehículo no esté equipado con retenciones del ocupante, se realizará el ensayo en condiciones de masa en orden de marcha; cuando el tipo de vehículo esté equipado con retenciones del ocupante, se realizará el ensayo en condiciones de masa total efectiva del vehículo;

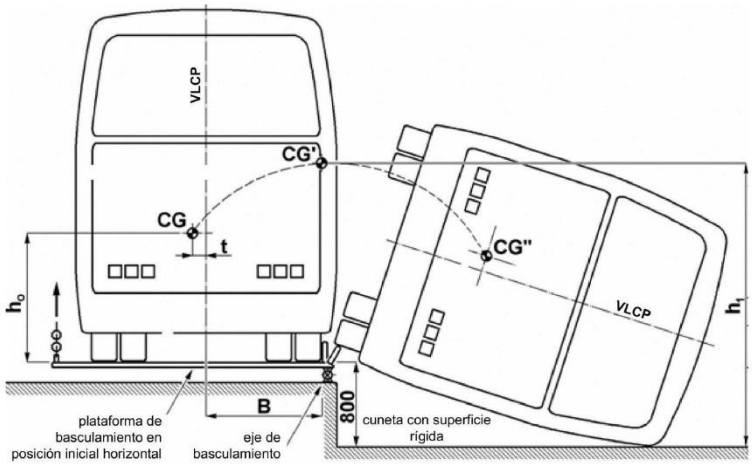
5.3.2. el ensayo de vuelco empieza en la posición inestable del vehículo, con velocidad angular cero y el eje de rotación pasando a través de los puntos de contacto de las ruedas con el suelo; en ese momento, el vehículo se caracteriza por la energía de referencia $E_R$ (véanse el apartado 3.2.2.1 y la figura 3);

5.3.3. el vehículo cae de lado en una cuneta con superficie de cemento, horizontal, seca y lisa, cuya profundidad nominal es de 800 mm;

5.3.4. en el anexo 5 figuran las especificaciones técnicas detalladas del ensayo de vuelco de un vehículo completo como ensayo básico de homologación.

*Figura 3*

**Especificación del ensayo de vuelco de un vehículo completo que muestra la trayectoria del centro de gravedad desde la posición inicial de equilibrio inestable**




5.4. **Especificaciones de ensayos de homologación equivalentes**

A iniciativa del fabricante, en lugar del ensayo de vuelco de un vehículo completo puede optarse por uno de los métodos de ensayo de homologación equivalentes que figuran a continuación:

5.4.1. ensayo de vuelco de secciones de la carrocería representativas del vehículo completo, de conformidad con las especificaciones del anexo 6;

5.4.2. ensayos de carga cuasiestática de secciones de la carrocería, de conformidad con las especificaciones del anexo 7;

5.4.3. cálculos cuasiestáticos basados en los resultados de ensayos de componentes, de conformidad con las especificaciones del anexo 8;

5.4.4. simulación por ordenador (mediante cálculos dinámicos) del ensayo básico de vuelco de un vehículo completo, de conformidad con las especificaciones del anexo 9;

5.4.5. el principio básico establece que el método de ensayo de homologación equivalente ha de llevarse a cabo de manera que represente el ensayo básico de vuelco especificado en el anexo 5; si el método de ensayo de homologación equivalente elegido por el fabricante no puede tener en cuenta algunas características especiales de diseño o fabricación del vehículo (por ejemplo, la instalación de aire acondicionado en el techo, la altura variable del travesaño inferior o la altura variable del techo), el servicio técnico podrá exigir que el vehículo completo se someta al ensayo de vuelco especificado en el anexo 5.

5.5. **Ensayo de autobuses articulados**

En el caso de un vehículo articulado, cada una de sus secciones rígidas cumplirá los requisitos generales especificados en el apartado 5.1. Cada sección rígida de un vehículo articulado podrá someterse a ensayo por separado o en combinación, con arreglo a lo descrito en el punto 2.3 del anexo 5 o en el punto 2.6.7 del anexo 3.

5.6. **Dirección del ensayo de vuelco**

El ensayo de vuelco se llevará a cabo en el lado del vehículo que sea más peligroso con respecto al espacio de supervivencia. La decisión la tomará el servicio técnico basándose en la propuesta del fabricante y teniendo en cuenta, como mínimo, los elementos siguientes:

5.6.1. la excentricidad lateral del centro de gravedad y su efecto sobre la energía de referencia en la posición inicial, inestable, del vehículo (véase el apartado 3.2.2.1);

5.6.2. la asimetría del espacio de supervivencia (véase el apartado 5.2.2);

5.6.3. las características de construcción diferentes y asimétricas de los dos lados del vehículo y el soporte que proporcionan los tabiques o habitáculos internos (por ejemplo, el ropero, el aseo o la cocina). El lado con menos soporte será el elegido como dirección del ensayo de vuelco.

6. MODIFICACIÓN Y EXTENSIÓN DE LA HOMOLOGACIÓN DE UN TIPO DE VEHÍCULO

6.1. Toda modificación de un tipo de vehículo homologado deberá notificarse al departamento administrativo que concedió la homologación. A continuación, dicho departamento podrá:

6.1.1. admitir que no es probable que las modificaciones introducidas tengan un efecto apreciable y que, en cualquier caso, el tipo de vehículo modificado sigue cumpliendo los requisitos del presente Reglamento y forma parte de la misma familia de tipos de vehículo que el tipo de vehículo homologado;

6.1.2. exigir un nuevo informe de ensayo al servicio técnico responsable de llevar a cabo los ensayos, para demostrar que el nuevo tipo de vehículo cumple los requisitos del presente Reglamento y forma parte del mismo grupo de tipos de vehículo que el tipo de vehículo homologado; o

6.1.3. denegar la extensión de la homologación y exigir que se lleve a cabo un nuevo procedimiento de homologación.

6.2. Las decisiones del departamento administrativo y el servicio técnico se basarán en los tres criterios del peor caso:

6.2.1. el criterio estructural, es decir, si la superestructura ha cambiado o no (véase el anexo 4); si no hay cambios o la nueva superestructura es más resistente, el resultado es favorable;

6.2.2. el criterio energético, es decir, si la energía de referencia ha cambiado o no; si el nuevo tipo de vehículo tiene la misma energía de referencia que el homologado o una energía de referencia menor, el resultado es favorable;

6.2.3. el criterio del espacio de supervivencia, basado en la superficie del envoltorio de dicho espacio; si el espacio de supervivencia del nuevo tipo de vehículo se encuentra en su totalidad dentro del espacio de supervivencia del tipo homologado, el resultado es favorable.

6.3. Si los tres criterios descritos en el apartado 6.2 han cambiado favorablemente, se concederá la extensión de la homologación sin necesidad de llevar a cabo nuevas investigaciones.

Si las tres respuestas son desfavorables, es necesario llevar a cabo un nuevo procedimiento de homologación.

Si las respuestas son mixtas, es necesario seguir investigando (ensayos, cálculos o análisis estructurales, por ejemplo). El servicio técnico determinará, en colaboración con el fabricante, las nuevas investigaciones que han de llevarse a cabo.

6.4. La confirmación o denegación de la homologación, en la que se especificarán los cambios realizados, se comunicará a las Partes en el Acuerdo que apliquen el presente Reglamento, mediante el procedimiento indicado en el apartado 4.3.

6.5. El departamento administrativo que expida la extensión de la homologación asignará un número de serie a cada impreso de comunicación cumplimentado en relación con dicha extensión.

7. CONFORMIDAD DE LA PRODUCCIÓN

7.1. El procedimiento de conformidad de la producción se ajustará a lo establecido en el apéndice 2 del Acuerdo (E/ECE/324-E/ECE/TRANS/505/Rev.2).

7.2. Todo vehículo homologado con arreglo al presente Reglamento estará fabricado de conformidad con el tipo homologado cumpliendo los requisitos establecidos en el apartado 5 del presente Reglamento. Solo se verificarán los elementos designados por el fabricante como parte de la superestructura.

7.3. La frecuencia normal de inspección autorizada por el departamento administrativo será cada dos años. Si, en el transcurso de una inspección, se detectase la no conformidad, el departamento administrativo podría incrementar dicha frecuencia para restablecer la conformidad de la producción lo más rápidamente posible.

8. SANCIONES POR NO CONFORMIDAD DE LA PRODUCCIÓN

8.1. Podrá retirarse la homologación concedida con respecto a un tipo de vehículo con arreglo al presente Reglamento si no se cumplen los requisitos establecidos en el apartado 7.

8.2. En caso de que una Parte en el Acuerdo que aplique el presente Reglamento retire una homologación que había concedido anteriormente, deberá notificarlo inmediatamente a las demás Partes contratantes que apliquen el presente Reglamento mediante una copia del formulario de homologación, al final del cual figure la indicación «HOMOLOGACIÓN RETIRADA» en mayúsculas, firmada y fechada.

9. CESE DEFINITIVO DE LA PRODUCCIÓN

Si el titular de la homologación dejara de producir definitivamente un tipo de vehículo homologado con arreglo al presente Reglamento, informará de ello al departamento administrativo que concedió la homologación. El departamento administrativo, una vez recibida la comunicación en cuestión, informará a las demás Partes en el Acuerdo que apliquen el presente Reglamento mediante una copia del formulario de homologación al final del cual figure la indicación «CESE DE LA PRODUCCIÓN» en mayúsculas, firmada y fechada.

10. DISPOSICIONES TRANSITORIAS

10.1. A partir de la fecha oficial de entrada en vigor de la serie 01 de modificaciones, ninguna Parte contratante que aplique el presente Reglamento denegará la concesión de la homologación CEPE con arreglo al mismo, modificado por la serie 01 de modificaciones.

10.2. Una vez transcurridos 60 meses después de la fecha de entrada en vigor, las Partes contratantes que apliquen el presente Reglamento concederán homologaciones CEPE a los nuevos tipos de vehículo definidos en el mismo únicamente si cumplen los requisitos del presente Reglamento, modificado por la serie 01 de modificaciones.

10.3. Las Partes contratantes que apliquen el presente Reglamento no denegarán la concesión de extensiones de la homologación con arreglo a las series anteriores de modificaciones del presente Reglamento.

10.4. Las homologaciones CEPE concedidas con arreglo al presente Reglamento en su forma original antes de que hayan transcurrido 60 meses desde la fecha de entrada en vigor y todas sus extensiones tendrán validez indefinida, sin perjuicio de lo dispuesto en el apartado 10.6. Cuando el tipo de vehículo homologado con arreglo a las series de modificaciones anteriores cumpla los requisitos del presente Reglamento, modificado por la serie 01 de modificaciones, la Parte contratante que concedió la homologación lo notificará a las demás Partes contratantes que apliquen el presente Reglamento.

10.5. Ninguna Parte contratante que aplique el presente Reglamento denegará la homologación nacional de un tipo de vehículo homologado con arreglo a la serie 01 de modificaciones de dicho Reglamento.

10.6. Transcurridos 144 meses desde la entrada en vigor de la serie 01 de modificaciones del presente Reglamento, las Partes contratantes que lo apliquen podrán denegar la primera matriculación nacional (primera puesta en circulación) de un vehículo que no cumpla los requisitos de la serie 01 de modificaciones de dicho Reglamento.

11. NOMBRES Y DIRECCIONES DE LOS SERVICIOS TÉCNICOS RESPONSABLES DE LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS DE HOMOLOGACIÓN, Y DE LOS DEPARTAMENTOS ADMINISTRATIVOS

Las Partes en el Acuerdo que apliquen el presente Reglamento comunicarán a la Secretaría de las Naciones Unidas los nombres y las direcciones de los servicios técnicos responsables de la realización de los ensayos de homologación, así como de los departamentos administrativos que concedan la homologación. Los certificados de homologación o de extensión, denegación o retirada de la misma expedidos en otros países se enviarán a los departamentos administrativos de todas las Partes en el presente Acuerdo.

*ANEXO 1*

**COMUNICACIÓN**

[Formato máximo: A4 (210 × 297 mm)]




Expedida por: Nombre de la administración:
.....
.....
.....

relativa a: (2) LA CONCESIÓN DE LA HOMOLOGACIÓN
LA EXTENSIÓN DE LA HOMOLOGACIÓN
LA DENEGACIÓN DE LA HOMOLOGACIÓN
LA RETIRADA DE LA HOMOLOGACIÓN
EL CESE DEFINITIVO DE LA PRODUCCIÓN

de un tipo de vehículo en lo que concierne a la resistencia de su superestructura, con arreglo al Reglamento nº 66.

Nº de homologación ..... Nº de extensión .....

1. Denominación comercial o marca del tipo de vehículo: .....
2. Tipo de vehículo: .....
3. Categoría/clase de vehículo: .....
4. Nombre y dirección del fabricante: .....
5. Nombre y dirección del representante del fabricante, en su caso: .....
6. Breve descripción de la superestructura con respecto al apartado 3.2.2.2 del presente Reglamento y al anexo 4: .....
7. Número de referencia del dibujo detallado que muestra el espacio de supervivencia utilizado en el procedimiento de homologación: .....
8. Masa en orden de marcha (kg): ..... y cargas por eje correspondientes (kg): .....
9. Número máximo de asientos que se permite equipar con retenciones del ocupante: .....
10. Posición del centro de gravedad del vehículo sin carga en los planos longitudinal, transversal y vertical: .....

10.1. en condiciones de masa en orden de marcha: .....

10.2. en condiciones de masa total efectiva: .....

11. Si el vehículo está equipado con retenciones del ocupante, además, la masa total efectiva (kg): ..... y las cargas por eje correspondientes (kg): .....
12. Valor de la energía de referencia ($E_R$), con arreglo a lo especificado en el apartado 3.2.2.1 del presente Reglamento: .....
13. Vehículo presentado para homologación el día: .....
14. Método de ensayo o cálculo utilizado para la homologación: .....
15. Dirección del ensayo de vuelco aplicada o supuesta durante el procedimiento de homologación: .....
16. Servicio técnico responsable de la realización de los ensayos de homologación: .....
17. Fecha del informe de ensayo expedido por dicho servicio: .....
18. Número del informe expedido por dicho servicio: .....
19. Homologación concedida/denegada/extendida/retirada: .....
20. Motivos de la extensión (si procede): .....

21. Emplazamiento de la marca de homologación en el vehículo: .....

Lista de documentos que contienen los datos especificados en el apartado 3.2 del presente Reglamento y en el anexo relativo al método de ensayo de homologación utilizado:

.....

.....

.....

.....

.....

Los documentos enumerados están en posesión del departamento administrativo y pueden obtenerse previa solicitud.

Lugar: .....

Fecha: .....

Firma: .....

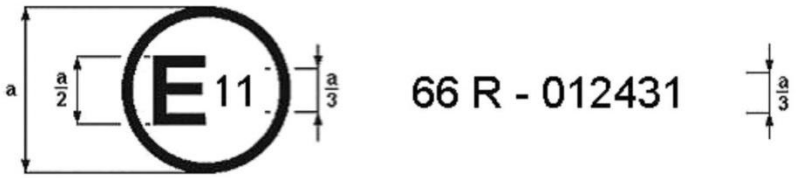
---

(1) Número distintivo del país que ha concedido/extendido la homologación (véanse las disposiciones de homologación del Reglamento).
(2) Táchese lo que no proceda.

*ANEXO 2*

**EJEMPLO DE MARCA DE HOMOLOGACIÓN**

**(véase el apartado 4.4 del presente Reglamento)**




a = 8 mm mín.

Esta marca de homologación colocada en un vehículo indica que el tipo de vehículo en cuestión ha sido homologado, con respecto a la resistencia de la superestructura, en el Reino Unido (E11) con arreglo al Reglamento nº 66 con el número de homologación 012431. Las dos primeras cifras del número de homologación indican que la homologación se concedió de conformidad con los requisitos de la serie 01 de modificaciones del Reglamento nº 66.

*ANEXO 3*

**DETERMINACIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD DEL VEHÍCULO**

1. PRINCIPIOS GENERALES

1.1. La energía de referencia y la energía total que van a ser absorbidas en el ensayo de vuelco dependen directamente de la posición del centro de gravedad del vehículo. Por tanto, su determinación debería ser lo más precisa posible. El servicio técnico registrará para su evaluación el método de medición de las dimensiones, los ángulos y los valores de carga, así como la precisión de las mediciones. Es necesario que los equipos de medición ofrezcan la precisión siguiente:

— para mediciones inferiores a 2 000 mm: precisión de ± 1 mm

— para mediciones superiores a 2 000 mm: precisión de ± 0,05 %

— para ángulos medidos: precisión de ± 1 %

— para valores de carga medidos: precisión de ± 0,2 %.

La distancia entre ejes y la distancia entre los centros del dibujo de la rueda o ruedas en cada eje (la vía de cada eje) se determinará a partir de los dibujos del fabricante.

1.2. El bloqueo de la suspensión se especifica como la condición para determinar el centro de gravedad y llevar a cabo el ensayo real de vuelco. La suspensión se bloqueará en la posición de funcionamiento normal definida por el fabricante.

1.3. La posición del centro de gravedad se define mediante tres parámetros:

1.3.1. distancia longitudinal ($l_1$), desde la línea central del eje frontal;

1.3.2. distancia transversal (t), desde el plano central longitudinal vertical del vehículo;

1.3.3. altura vertical ($h_0$), por encima del nivel del suelo plano horizontal cuando los neumáticos están inflados con arreglo a lo especificado para el vehículo.

1.4. Aquí se describe un método para determinar $l_1$, t y $h_0$ utilizando células de carga. El fabricante podrá proponer al servicio técnico métodos alternativos que utilicen equipos de levantamiento o plataformas de basculamiento, por ejemplo, y el servicio técnico decidirá si el método es aceptable en función de su grado de precisión.

1.5. La posición del centro de gravedad del vehículo sin carga (masa en orden de marcha $M_k$) se determinará mediante mediciones.

1.6. La posición del centro de gravedad del vehículo con masa total efectiva ($M_t$) podrá determinarse:

1.6.1. midiendo el vehículo en condiciones de masa total efectiva, o

1.6.2. utilizando la posición medida del centro de gravedad en condición de masa en orden de marcha y considerando el efecto de la masa total de ocupantes.

2. MEDICIONES

2.1. La posición del centro de gravedad del vehículo se determinará en condición de masa en orden de marcha o en condición de masa total efectiva del vehículo, con arreglo a lo establecido en los puntos 1.5 y 1.6. Para determinar la posición del centro de gravedad en condición de masa total efectiva del vehículo, la masa individual del ocupante (multiplicada por la constante k = 0,5) se colocará y sujetará con rigidez 200 mm por encima y 100 mm por delante del punto R del asiento (definido en el anexo 5 del Reglamento nº 21).

2.2. Las coordenadas longitudinal ($l_1$) y transversal (t) del centro de gravedad se determinarán sobre un suelo horizontal común (véase la figura A3.1), en el que cada rueda o rueda gemela del vehículo estará en una célula de carga individual. Las ruedas directrices se colocarán en posición de marcha en línea recta hacia delante.

2.3. Las indicaciones de las células de carga individuales se anotarán simultáneamente y se utilizarán para calcular la masa total del vehículo y la posición del centro de gravedad.

2.4. La posición longitudinal del centro de gravedad en relación con el centro del punto de contacto de las ruedas frontales (véase la figura A3.1) viene dada por:

$$l_1 = \frac{(P_3 + P_4) \cdot L_1 + (P_5 + P_6) \cdot L_2}{(P_{total})}$$

donde:

$P_1$ = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda izquierda del primer eje

$P_2$ = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda derecha del primer eje

$P_3$ = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda o ruedas izquierdas del segundo eje

$P_4$ = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda o ruedas derechas del segundo eje

$P_5$ = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda o ruedas izquierdas del tercer eje

$P_6$ = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda o ruedas derechas del tercer eje

$P_{total} = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6) = M_k$, la masa en orden de marcha, o

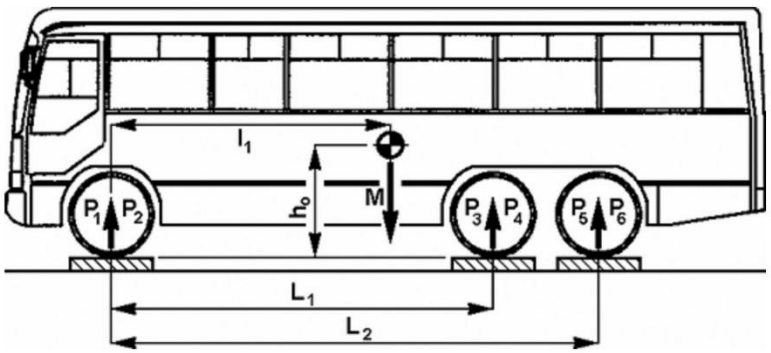
$= M_t$, la masa total efectiva del vehículo, según corresponda

$L_1$ = la distancia desde el centro de la rueda del primer eje hasta el centro de la rueda del segundo eje

$L_2$ = la distancia desde el centro de la rueda del primer eje hasta el centro de la rueda del tercer eje, de haberlo.

*Figura A3.1*

**Posición longitudinal del centro de gravedad**




2.5. La posición transversal (t) del centro de gravedad del vehículo en relación con su plano central longitudinal vertical (véase la figura A3.2) viene dada por:

$$t = \left( (P_1 - P_2)\frac{T_1}{2} + (P_3 - P_4)\frac{T_2}{2} + (P_5 - P_6)\frac{T_3}{2} \right) \cdot \frac{1}{P_{total}}$$

donde:

$T_1$ = la distancia entre los centros del dibujo de la rueda o ruedas a cada extremo del primer eje

$T_2$ = la distancia entre los centros del dibujo de la rueda o ruedas a cada extremo del segundo eje

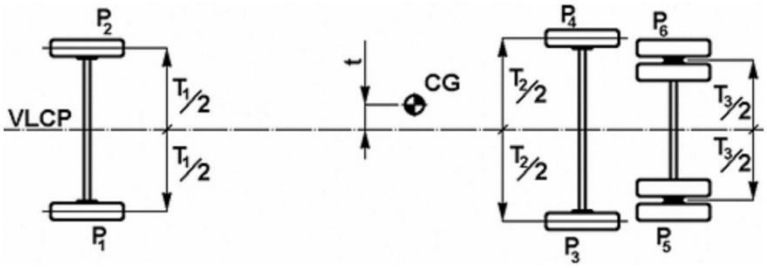
$T_3$ = la distancia entre los centros del dibujo de la rueda o ruedas a cada extremo del tercer eje.

Esta ecuación parte del supuesto de que es posible trazar una línea recta a través de los puntos centrales $T_1$, $T_2$ y $T_3$; de lo contrario, será necesario aplicar una fórmula especial.

Si el valor de (t) es negativo, el centro de gravedad del vehículo está situado a la derecha de la línea central del vehículo.

*Figura A3.2*

**Posición transversal del centro de gravedad**




2.6. La altura del centro de gravedad ($h_0$) se determinará basculando el vehículo en sentido longitudinal y utilizando células de carga individuales en las ruedas de dos ejes:

2.6.1. se colocarán dos células de carga sobre un plano horizontal común para recibir las ruedas frontales; el plano horizontal estará, con respecto a la superficie circundante, a una altura suficiente para permitir que el vehículo pueda bascular hacia delante, hasta alcanzar el ángulo requerido (véase el punto 2.6.2, a continuación) sin que el morro toque dicha superficie;

2.6.2. se colocará un segundo par de células de carga en un plano horizontal común, encima de las estructuras de soporte, listo para recibir las ruedas del segundo eje del vehículo; las estructuras de soporte serán lo suficientemente altas como para crear un ángulo de basculamiento significativo α (> 20°) para el vehículo; cuanto mayor sea el ángulo, más preciso será el cálculo (véase la figura A3.3); el vehículo se colocará de nuevo sobre las cuatro células de carga, con las ruedas delanteras bloqueadas para evitar que se deslice hacia delante; las ruedas directrices se colocarán en posición de marcha en línea recta hacia delante;

2.6.3. las indicaciones de las células de carga individuales se anotarán simultáneamente y se utilizarán para verificar la masa total del vehículo y la posición del centro de gravedad;

2.6.4. la inclinación del ensayo de basculamiento se determinará mediante la ecuación (véase la figura A3.3):

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{H}{L_1}\right)$$

donde:

H = la diferencia de altura entre los dibujos de las ruedas del primer y el segundo eje

$L_1$ = la distancia desde el centro de las ruedas del primer y el segundo eje;

2.6.5. la masa en orden de marcha del vehículo se verificará de la manera siguiente:

$$F_{total} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \equiv P_{total} \equiv M_k$$

donde:

$F_1$ = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda izquierda del primer eje

$F_2$ = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda derecha del primer eje

$F_3$ = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda izquierda del segundo eje

$F_4$ = la carga de reacción sobre la célula de carga bajo la rueda derecha del segundo eje;

si esta ecuación no se cumple, deberán repetirse las mediciones y/o se pedirá al fabricante que modifique el valor de la masa en orden de marcha en la descripción técnica del vehículo;

2.6.6. la altura ($h_0$) del centro de gravedad del vehículo viene dada por:

$$h_0 = r + \left(\frac{1}{tg\alpha}\right)\left(l_1 - L_1\frac{F_3 + F_4}{P_{total}}\right)$$

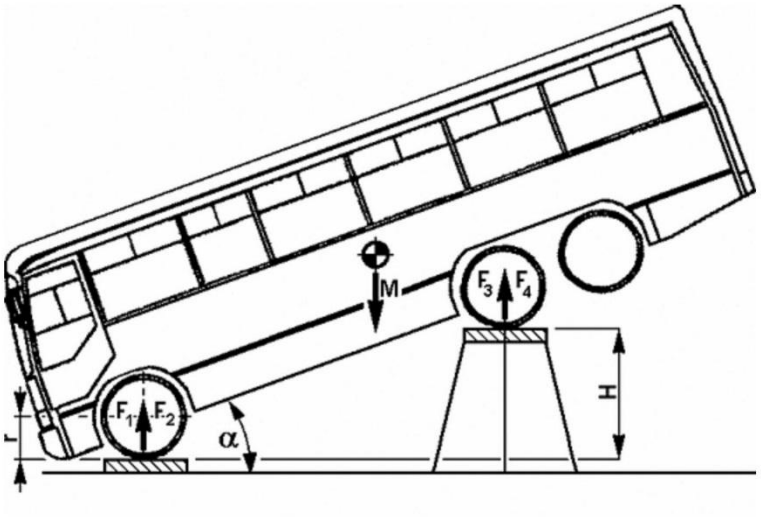
donde:

r = la altura del centro de la rueda (en el primer eje) por encima de la superficie superior de la célula de carga;

2.6.7. si el vehículo articulado se somete a ensayo en secciones separadas, la posición del centro de gravedad se establecerá por separado para cada sección.

*Figura A3.3*

**Determinación de la altura del centro de gravedad**



*ANEXO 4*

**PERSPECTIVAS DE LA DESCRIPCIÓN ESTRUCTURAL DE LA SUPERESTRUCTURA**

1. PRINCIPIOS GENERALES

1.1. El fabricante definirá de forma inequívoca la superestructura de la carrocería (véase la figura A4.1, por ejemplo) y establecerá:

1.1.1. qué segmentos contribuyen a la resistencia y a la capacidad de absorción de la superestructura;

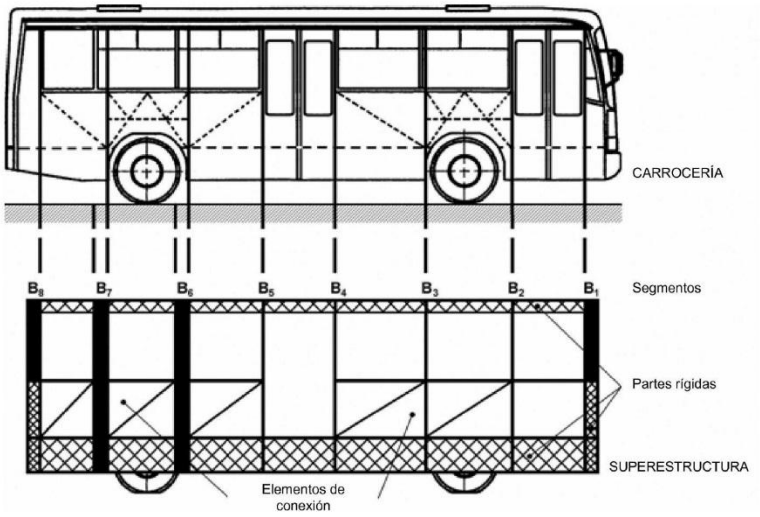
1.1.2. qué elementos de conexión entre los segmentos contribuyen a la rigidez a la torsión de la superestructura;

1.1.3. la distribución de la masa entre los segmentos designados;

1.1.4. qué elementos de la superestructura se consideran partes rígidas.

*Figura A4.1*

**Definición de la superestructura a partir de la carrocería**




1.2. El fabricante facilitará la siguiente información sobre los elementos de la superestructura:

1.2.1. dibujos, con todas las medidas geométricas significativas necesarias para fabricar los elementos y para evaluar cualquier cambio o alteración de estos;

1.2.2. el material de los elementos, en referencia a las normas nacionales o internacionales;

1.2.3. la técnica de unión entre los elementos estructurales (remachado, atornillado, encolado, soldado, tipo de soldadura, etc.).

1.3. Cada superestructura deberá tener, al menos, dos segmentos: uno delante y otro detrás del centro de gravedad.

1.4. No es necesario facilitar información acerca de los elementos de la carrocería que no formen parte de la superestructura.

2. SEGMENTOS

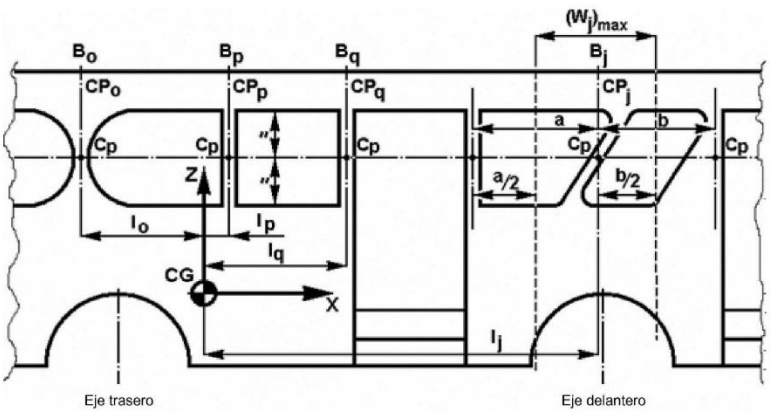
2.1. El segmento se define como la sección estructural de la superestructura que forma una curva cerrada entre dos planos perpendiculares al plano central longitudinal vertical del vehículo. Un segmento contiene un montante de ventana (o puerta) en cada lado del vehículo, elementos de la pared lateral, una sección de la estructura del techo y una sección de la estructura del piso y del falso piso. Todo segmento tiene un plano central transversal, perpendicular al plano central longitudinal vertical del vehículo, que atraviesa los puntos centrales ($C_p$) de los montantes de las ventanas (véase la figura A4.2).

2.2. El punto central ($C_p$) es el situado a media altura de la ventana y a medio camino del ancho del montante. Si los $C_p$ de los montantes situados a la izquierda y a la derecha de un segmento no se encuentran en el mismo plano transversal, el $C_p$ del segmento se situará a medio camino entre los planos transversales de los dos $C_p$.

2.3. La longitud de un segmento se mide en la dirección del eje longitudinal del vehículo y viene determinada por la distancia entre dos planos perpendiculares al plano central longitudinal vertical del vehículo. Dos límites determinan la longitud de un segmento: la disposición de la ventana (puerta) y la forma y construcción de los montantes de la ventana (puerta).

*Figura A4.2*

**Determinación de la longitud de los segmentos**




2.3.1. La longitud máxima de un segmento viene definida por la longitud de los marcos de dos ventanas (puertas) contiguas según la fórmula:

$$(W_j)_{max} = \frac{1}{2}(a + b)$$

donde:

a = la longitud del marco de la ventana (puerta) situado detrás del montante j-ésimo, y

b = la longitud del marco de la ventana (puerta) situado delante del montante j-ésimo.

Si los montantes situados a ambos lados del segmento no se encuentran en un plano transversal o los marcos de las ventanas situadas en ambos lados del vehículo tienen longitudes diferentes (véase la figura A4.3), la longitud global, Wj, del segmento vendrá definida por:

$$(W_j)_{max} = \frac{1}{2}(a_{min} + b_{min} - 2L)$$

donde:

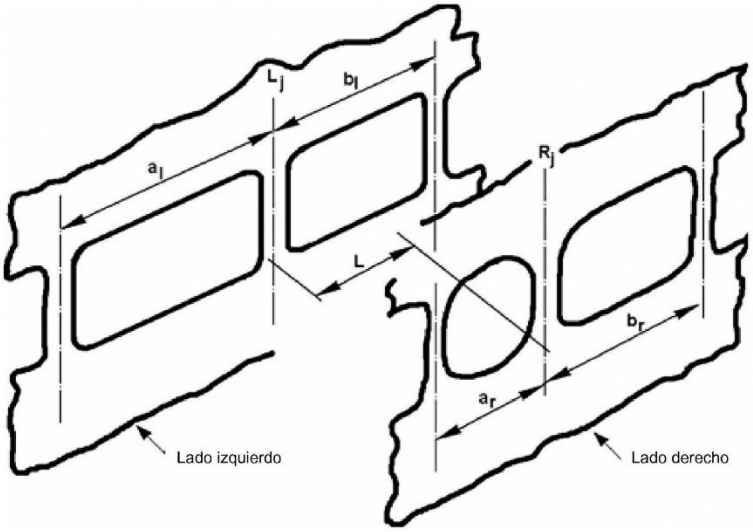
$a_{mín}$ = el valor más pequeño de $a_{lado\ derecho}$ o $a_{lado\ izquierdo}$

$b_{mín}$ = el valor más pequeño de $b_{lado\ derecho}$ o $b_{lado\ izquierdo}$

L = la compensación longitudinal entre las líneas centrales de los montantes situados en los lados izquierdo y derecho del vehículo.

*Figura A4.3*

**Determinación de la longitud del segmento cuando los montantes situados a cada lado no están en un plano transversal**




2.3.2. La longitud mínima de un segmento incluirá la totalidad del montante de la ventana (incluida su inclinación, los radios de las esquinas, etc.). Si la inclinación y los radios de las esquinas superan la mitad de la longitud de la ventana adyacente, el montante siguiente se incluirá en el segmento.

2.4. La distancia entre dos segmentos será la distancia entre sus $C_p$.

2.5. La distancia de un segmento desde el centro de gravedad del vehículo será la distancia perpendicular desde su $C_p$ hasta el centro de gravedad del vehículo.

3. ESTRUCTURAS DE CONEXIÓN ENTRE LOS SEGMENTOS

3.1. Las estructuras de conexión entre los segmentos estarán definidas claramente en la superestructura. Estos elementos estructurales pertenecen a dos categorías diferentes:

3.1.1. las estructuras de conexión que forman parte de la superestructura y que el fabricante identificará en su presentación del diseño; incluyen:

3.1.1.1. la estructura de la pared lateral, la estructura del techo y la estructura del piso que conecten varios segmentos;

3.1.1.2. los elementos estructurales que refuercen uno o varios segmentos; por ejemplo, los cajetines situados debajo de los asientos, los pasos de rueda, las estructuras de los asientos que conecten la pared lateral con el piso y las estructuras de la cocina, el ropero y el aseo;

3.1.2. los elementos adicionales que no contribuyen al refuerzo estructural del vehículo, pero que pueden invadir el espacio de supervivencia, por ejemplo: los conductos de ventilación, los compartimentos de equipaje de mano o los conductos de calefacción.

4. DISTRIBUCIÓN DE LA MASA

4.1. El fabricante determinará claramente el porcentaje de la masa del vehículo atribuido a cada uno de los segmentos de la superestructura. La distribución de la masa reflejará la capacidad de cada segmento para absorber energía y soportar carga. A la hora de determinar la distribución de la masa, se cumplirán los requisitos siguientes:

4.1.1. la suma de las masas atribuidas a cada segmento se pondrá en relación con la masa M del vehículo completo:

$$\sum_{j=1}^{n} (m_j) \geq M$$

donde:

$m_j$ = la masa atribuida al segmento j-ésimo

n = el número de segmentos de la superestructura

M = $M_k$, la masa en orden de marcha, o
$M_t$, la masa total efectiva del vehículo, según corresponda;

4.1.2. el centro de gravedad de las masas distribuidas estará en la misma posición que el centro de gravedad del vehículo:

$$\sum_{j=1}^{n} (m_j l_j) = 0$$

donde:

$l_j$ = la distancia del segmento j-ésimo desde el centro de gravedad del vehículo (véase el punto 2.3);
el valor de $l_j$ es positivo si el segmento está delante del centro de gravedad y negativo si está detrás.

4.2. El fabricante determinará la masa $m_j$ de cada segmento de la superestructura de la manera siguiente:

4.2.1. las masas de los componentes del segmento j-ésimo se pondrán en relación con su masa $m_j$ mediante la fórmula siguiente:

$$\sum_{k=1}^{s} m_{jk} \geq m_j$$

donde:

$m_{jk}$ = la masa de cada componente del segmento

s = el número de masas individuales del segmento;

4.2.2. el centro de gravedad de las masas de los componentes de un segmento tendrá la misma posición transversal en el interior del segmento que el centro de gravedad del segmento (véase la figura A4.4):

$$\sum_{k=1}^{s} m_{jk} y_k \equiv \sum_{k=1}^{s} m_{jk} z_k \equiv 0$$

donde:

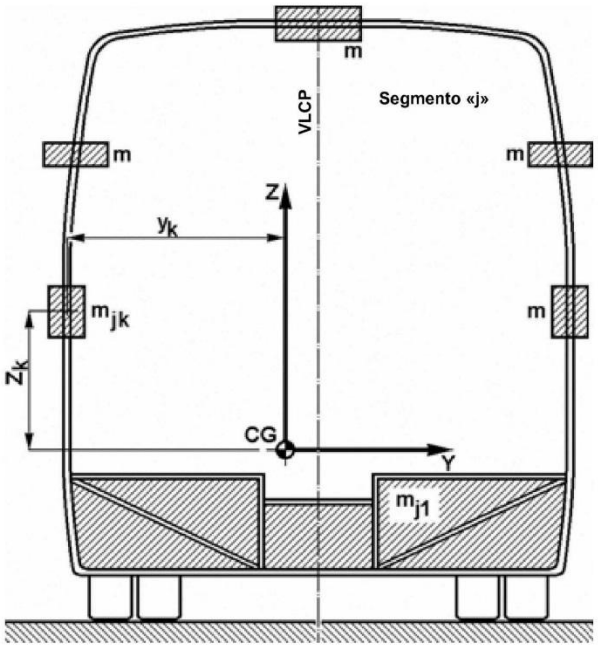
$y_k$ = la distancia de la masa del componente k-ésimo del segmento desde el eje Z (véase la figura A4.4)
el valor de $y_k$ será positivo en un lado del eje y negativo en el otro;

$z_k$ = la distancia de la masa del componente k-ésimo del segmento desde el eje Y
el valor de $z_k$ será positivo en un lado del eje y negativo en el otro.

4.3. En caso de que las retenciones del ocupante formen parte de la especificación del vehículo, la masa de ocupantes atribuida a un segmento se fijará a la parte de la superestructura diseñada para absorber las cargas de los asientos y de los ocupantes.

*Figura A4.4*

**Distribución de la masa en la sección transversal de un segmento**



*ANEXO 5*

**ENSAYO DE VUELCO COMO MÉTODO BÁSICO DE HOMOLOGACIÓN**

1. BANCO DE ENSAYO

1.1. La plataforma de basculamiento será lo suficientemente rígida y la rotación estará lo suficientemente controlada como para garantizar el levantamiento simultáneo de los ejes del vehículo con una diferencia inferior a 1° en los ángulos de basculamiento de la plataforma, medidos debajo de los ejes.

1.2. La diferencia de altura entre el plano inferior horizontal de la cuneta (véase la figura A5.1) y el plano de la plataforma de basculamiento sobre la que está colocado el autobús será de 800 ± 20 mm.

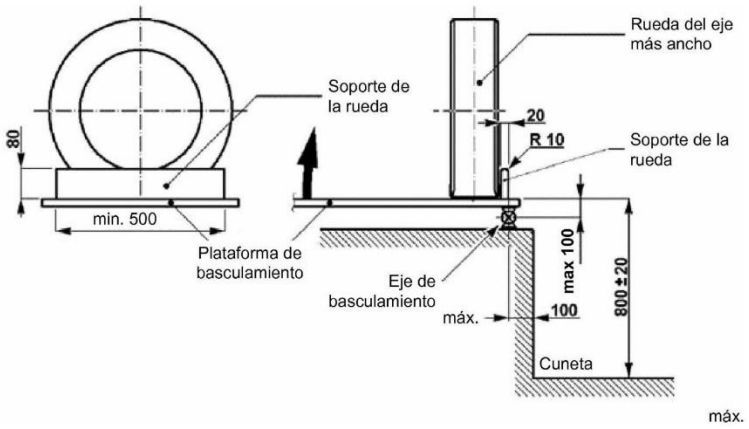
1.3. La plataforma de basculamiento se colocará de la manera siguiente con respecto a la cuneta (véase la figura A5.1):

1.3.1. su eje de rotación será de un máximo de 100 mm desde la pared vertical de la cuneta;

1.3.2. su eje de rotación será de un máximo de 100 mm por debajo del plano de la plataforma de basculamiento horizontal.

*Figura A5.1*

**Geometría del banco de ensayo**




1.4. Los soportes de las ruedas se aplicarán a las ruedas cercanas al eje de rotación para evitar que el vehículo se deslice hacia los lados al bascular. Las características principales de los soportes de las ruedas (véase la figura A5.1) serán las siguientes:

1.4.1. dimensiones del soporte de la rueda:

| | |
|---|---|
| altura: | no superará los dos tercios de la distancia entre la superficie sobre la que está situado el vehículo antes de bascular y la parte de la llanta de la rueda que se encuentre más cerca de la superficie |
| anchura: | 20 mm |
| radio del borde: | 10 mm |
| longitud: | 500 mm como mínimo; |

1.4.2. los soportes de las ruedas situados en el eje más ancho se colocarán en la plataforma de basculamiento de manera que el lateral del neumático esté a 100 mm como máximo del eje de rotación;

1.4.3. los soportes de las ruedas situados en los demás ejes se ajustarán de manera que el plano central longitudinal vertical del vehículo quede paralelo al eje de rotación.

1.5. La plataforma de basculamiento estará hecha de manera que impida que el vehículo se desplace a lo largo de su eje longitudinal.

1.6. La zona de impacto de la cuneta tendrá una superficie de cemento horizontal, uniforme, lisa y seca.

2. PREPARACIÓN DEL VEHÍCULO DE ENSAYO

2.1. No es necesario que el vehículo que se vaya a someter a ensayo esté completamente terminado, «listo para funcionar». En general, se acepta cualquier alteración de la condición de vehículo completamente terminado si las características básicas y el comportamiento de la superestructura no se ven afectados. El vehículo de ensayo será el mismo que su versión completamente terminada con respecto a lo siguiente:

2.1.1. la posición del centro de gravedad, el valor total de la masa del vehículo (masa en orden de marcha, o masa total efectiva del vehículo cuando esté equipado con retenciones) y la distribución y el emplazamiento de las masas, con arreglo a lo declarado por el fabricante;

2.1.2. todos los elementos que, según el fabricante, contribuyan a la resistencia de la superestructura estarán instalados en su posición original (véase el anexo 4 del presente Reglamento);

2.1.3. los elementos que no contribuyan a la resistencia de la superestructura y sean demasiado valiosos como para correr el riesgo de que se dañen (por ejemplo, la cadena de transmisión, los instrumentos del salpicadero, el asiento del conductor, el equipamiento de la cocina y del aseo, etc.) podrán ser sustituidos por elementos adicionales equivalentes en masa y método de instalación; estos elementos adicionales no deberán tener efecto reforzador en la resistencia de la superestructura;

2.1.4. el carburante, el ácido de batería y los demás materiales combustibles, explosivos o corrosivos podrán sustituirse por otros materiales siempre que se cumplan las condiciones del punto 2.1.1;

2.1.5. en caso de que los dispositivos de retención del ocupante formen parte del tipo de vehículo, a cada asiento equipado con una retención del ocupante se fijará una masa siguiendo uno de los métodos siguientes, a elección del fabricante:

2.1.5.1. en el primer método, la masa:

2.1.5.1.1. será del 50 % de la masa individual del ocupante ($M_{mi}$), igual a 68 kg,

2.1.5.1.2. estará colocada de manera que su centro de gravedad se encuentre 100 mm por encima y 100 mm por delante del punto R del asiento, con arreglo a la definición del anexo 5 del Reglamento nº 21,

2.1.5.1.3. estará sujeta de manera rígida y segura, de forma que no se rompa durante el ensayo;

2.1.5.2. en el segundo método, la masa:

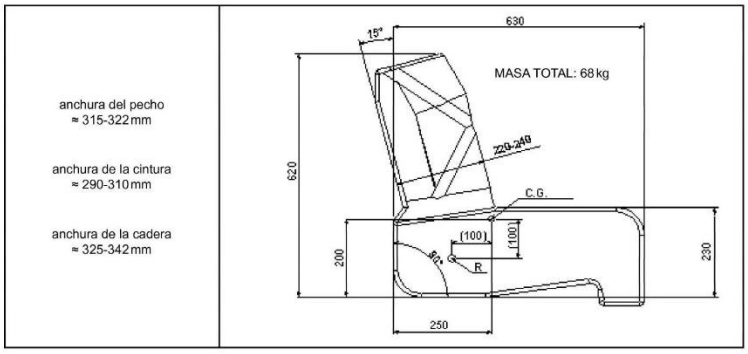
2.1.5.2.1. será un maniquí antropomórfico, de 68 kg de masa, y estará sujeto con un cinturón de seguridad de dos puntos; el maniquí deberá permitir el movimiento y la colocación de los cinturones de seguridad,

2.1.5.2.2. estará colocada de manera que su centro de gravedad y sus dimensiones se ajusten a lo establecido en la figura A5.2,

2.1.5.2.3. estará sujeta de manera rígida y segura, de forma que no se rompa durante el ensayo.

*Figura A5.2*

**Dimensiones del maniquí antropomórfico**




2.2. El vehículo de ensayo se preparará como sigue:

2.2.1. los neumáticos estarán inflados a la presión recomendada por el fabricante;

2.2.2. el sistema de suspensión del vehículo estará bloqueado, es decir, los ejes, los resortes y los elementos de suspensión del vehículo estarán fijos con respecto a la carrocería;

la altura del piso por encima de la plataforma de basculamiento horizontal se ajustará a las especificaciones del fabricante para el vehículo, dependiendo de si este se encuentra en condiciones de masa en orden de marcha o de masa total del vehículo;

2.2.3. todas las puertas y ventanas practicables del vehículo estarán cerradas, pero no bloqueadas.

2.3. Las secciones rígidas de un vehículo articulado podrán someterse a ensayo por separado o en combinación:

2.3.1. para someter a ensayo las secciones articuladas en combinación, estas deberán fijarse entre sí de manera que:

2.3.1.1. no se produzca ningún movimiento relativo entre ellas durante el proceso de vuelco,

2.3.1.2. no se produzca ningún cambio significativo en la distribución de las masas ni en las posiciones del centro de gravedad,

2.3.1.3. no se produzca ningún cambio significativo en la resistencia ni en la capacidad de deformación de la superestructura;

2.3.2. para someter a prueba las secciones articuladas por separado, las secciones con un solo eje se sujetarán a un soporte artificial que las mantenga fijas con respecto a la plataforma de basculamiento durante su movimiento desde la posición horizontal hasta el punto de vuelco; dicho soporte cumplirá los requisitos siguientes:

2.3.2.1. estará sujeto a la estructura de manera que ni refuerce ni aporte carga adicional a la superestructura,

2.3.2.2. estará hecho de manera que no sufra ninguna deformación que pueda cambiar la dirección de vuelco del vehículo,

2.3.2.3. su masa será equivalente a la masa de aquellos elementos que, siendo partes de la junta articulada, pertenezcan nominalmente a la sección que se somete a ensayo, pero no estén colocados en ella (por ejemplo, el plato giratorio y su piso, las barras de sujeción, las cortinas de cierre de caucho, etc.),

2.3.2.4. su centro de gravedad tendrá la misma altura que el centro de gravedad común de las partes enumeradas en el punto 2.3.2.3,

2.3.2.5. tendrá un eje de rotación paralelo al eje longitudinal de la sección con múltiples ejes del vehículo y atravesará los puntos de contacto de los neumáticos de dicha sección.

3. PROCEDIMIENTO Y PROCESO DE ENSAYO

3.1. El ensayo de vuelco es un proceso muy rápido y dinámico con etapas diferenciadas, lo que debería tenerse en cuenta a la hora de planificar el ensayo, sus instrumentos y sus mediciones.

3.2. El vehículo basculará sin balancearse y sin efectos dinámicos hasta que alcance el equilibrio inestable y comience el vuelco. La velocidad angular de la plataforma de basculamiento no superará los 5 grados por segundo (0,087 radianes por segundo).

3.3. Para la observación interior, se utilizará fotografía ultrarrápida, vídeo, gálibos deformables, sensores de contacto eléctrico u otros medios adecuados, que determinarán si se cumplen los requisitos del apartado 5.1 del presente Reglamento. Esta verificación se llevará a cabo en todas las zonas de los compartimentos de viajeros, del personal y del conductor en las que pueda parecer que el espacio de supervivencia se encuentra en peligro; las posiciones exactas las decidirá el servicio técnico. Se utilizarán al menos dos posiciones, en principio en la parte delantera y trasera del compartimento de viajeros.

3.4. Se recomienda la observación exterior y la grabación del proceso de vuelco y deformación, lo que significa lo siguiente:

3.4.1. utilización de dos cámaras ultrarrápidas: una delante y otra detrás, que deberán estar colocadas lo suficientemente lejos de las paredes delantera y trasera del vehículo, para ofrecer una imagen mensurable, evitando la distorsión de gran angular en la zona con sombra, como se muestra en la figura A5.3a;

3.4.2. la posición del centro de gravedad y del contorno de la superestructura (véase la figura A5.3b) estará marcada con tiras y bandas para garantizar la correcta medición en las imágenes.

*Figura A5.3a*

**Campo de visión recomendado de la cámara exterior**

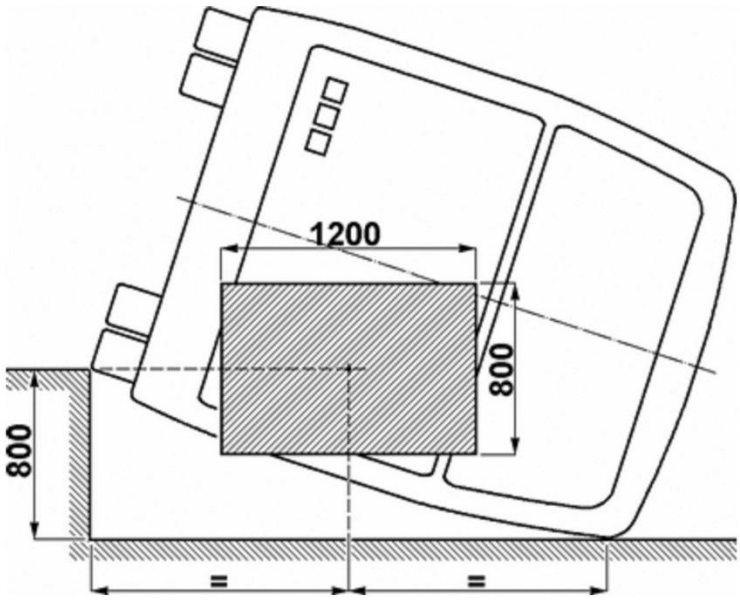
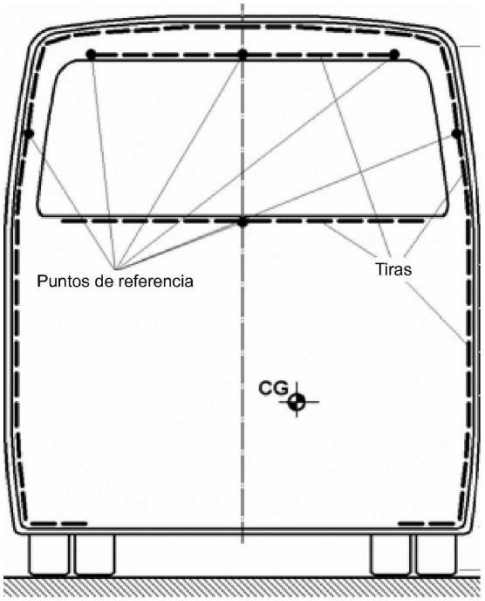


*Figura A5.3b*

**Marcado recomendado de la posición del centro de gravedad y del contorno del vehículo**




4. DOCUMENTACIÓN DEL ENSAYO DE VUELCO

4.1. El fabricante facilitará una descripción detallada del vehículo sometido a ensayo, en la cual:

4.1.1. se enumerarán todas las desviaciones entre el tipo de vehículo completamente terminado en orden de marcha y el vehículo sometido a ensayo;

4.1.2. se demostrará la sustitución equivalente (con respecto a la masa, la distribución de la masa y la instalación) en cada caso, cuando las partes estructurales y las unidades se sustituyan por otras unidades o masas;

4.1.3. se incluirá una declaración precisa de la posición del centro de gravedad en el vehículo sometido a ensayo, que podrá estar basada en las mediciones realizadas en el vehículo de ensayo, cuando este esté preparado para el ensayo, o en una combinación de medidas (tomadas en el tipo de vehículo completamente terminado) y un cálculo basado en las sustituciones de las masas.

4.2. El informe de ensayo incluirá todos los datos (imágenes, grabaciones, dibujos, valores medidos, etc.) que muestren:

4.2.1. que el ensayo se ha realizado de conformidad con el presente anexo;

4.2.2. que se cumplen (o no) los requisitos de los apartados 5.1.1 y 5.1.2 del presente Reglamento;

4.2.3. la evaluación individual de las observaciones internas;

4.2.4. todos los datos y la información necesarios para identificar el tipo de vehículo, el vehículo de ensayo, el propio ensayo y el personal responsable del ensayo y de su evaluación.

4.3. Se recomienda indicar en el informe de ensayo la posición más alta y más baja del centro de gravedad con respecto al nivel del suelo de la cuneta.

*ANEXO 6*

**ENSAYO DE VUELCO UTILIZANDO SECCIONES DE LA CARROCERÍA COMO MÉTODO DE HOMOLOGACIÓN EQUIVALENTE**

1. DATOS E INFORMACIÓN ADICIONALES

Si el fabricante opta por este método de ensayo, además de los datos, la información y los dibujos enumerados en el apartado 3 del presente Reglamento, se facilitará al servicio técnico la información siguiente:

1.1. los dibujos de las secciones de la carrocería que van a someterse a ensayo;

1.2. la verificación de la validez de la distribución de masas que figura en el punto 4 del anexo 4, una vez completados con éxito los ensayos de vuelco de las secciones de la carrocería;

1.3. las masas medidas de las secciones de la carrocería que van a someterse a ensayo y la verificación de que las posiciones de su centro de gravedad coinciden con las del vehículo en condiciones de masa en orden de marcha, si no está equipado con retenciones del ocupante, o en condiciones de masa total efectiva del vehículo, si está equipado con retenciones del ocupante (presentación de informes de medición).

2. BANCO DE ENSAYO

El banco de ensayo deberá cumplir los requisitos del punto 1 del anexo 5.

3. PREPARACIÓN DE LAS SECCIONES DE LA CARROCERÍA

3.1. El número de secciones de la carrocería que van a someterse a ensayo quedará determinado por las reglas siguientes:

3.1.1. las distintas configuraciones de los segmentos que forman parte de la superestructura se someterán a ensayo, como mínimo, en una sección de la carrocería;

3.1.2. cada sección de la carrocería tendrá, como mínimo, dos segmentos;

3.1.3. en una sección artificial de la carrocería (véase el apartado 2.27 del presente Reglamento), la proporción de la masa de cualquier segmento con respecto a cualquier otro no excederá de 2;

3.1.4. el espacio de supervivencia del vehículo completo estará bien representado en las secciones de la carrocería, incluida cualquier combinación peculiar que surja de la configuración de la carrocería de los vehículos;

3.1.5. la estructura completa del techo deberá estar bien representada en las secciones de la carrocería cuando presente particularidades locales, como altura variable, instalación de aire acondicionado, depósitos de combustible, portaequipajes, etc.

3.2. Los segmentos de la sección de la carrocería coincidirán exactamente, desde el punto de vista estructural, con los representados en la superestructura por lo que se refiere a la forma, la geometría, el material y las juntas.

3.3. Las estructuras de conexión entre los segmentos representarán la descripción de la superestructura por parte del fabricante (véase el punto 3 del anexo 4) y se tendrán en cuenta las siguientes reglas:

3.3.1. en el caso de una sección original de la carrocería tomada directamente de la disposición real del vehículo, las estructuras de conexión básica y adicional (véase el punto 3.1 del anexo 4) coincidirán con las de la superestructura del vehículo;

3.3.2. en el caso de una sección artificial de la carrocería, las estructuras de conexión coincidirán con las de la superestructura del vehículo por lo que se refiere a resistencia, rigidez y comportamiento;

3.3.3. los elementos rígidos que no formen parte de la superestructura, pero que puedan invadir el espacio de supervivencia durante la deformación, se instalarán en las secciones de la carrocería;

3.3.4. la masa de las estructuras de conexión se incluirá en la distribución de la masa, por lo que se refiere a la atribución a un segmento determinado y la distribución en el interior de dicho segmento.

3.4. Las secciones de la carrocería estarán equipadas con soportes artificiales, de manera que las posiciones de su centro de gravedad y sus ejes de rotación sobre la plataforma de basculamiento coincidan con los del vehículo completo. Dichos soportes cumplirán los requisitos siguientes:

3.4.1. estarán sujetos a la sección de la carrocería de manera que no la refuercen ni le aporten carga adicional;

3.4.2. serán lo suficientemente fuertes y rígidos como para resistir cualquier deformación que pudiera modificar la dirección del movimiento de la sección de la carrocería durante los procesos de basculamiento y vuelco;

3.4.3. su masa estará incluida en la distribución de la masa y la posición del centro de gravedad de la sección de la carrocería.

3.5. La distribución de la masa en la sección de la carrocería se establecerá teniendo en cuenta lo siguiente:

3.5.1. a la hora de verificar la validez de las ecuaciones 5 y 6 del punto 4.2 del anexo 4, se tendrá en cuenta la sección completa de la carrocería (segmentos, estructuras de conexión, elementos estructurales adicionales y soportes);

3.5.2. todas las masas fijadas a los segmentos (véanse el punto 4.2.2 y la figura 4 del anexo 4) se colocarán y fijarán a la sección de la carrocería de manera que no la refuercen ni le aporten carga adicional ni limiten la deformación;

3.5.3. en caso de que las retenciones del ocupante formen parte del tipo de vehículo, se tendrán en cuenta las masas de ocupantes de la manera descrita en los anexos 4 y 5.

4. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

El procedimiento de ensayo será el mismo que se describe en el punto 3 del anexo 5, para un vehículo completo.

5. EVALUACIÓN DE LOS ENSAYOS

5.1. Se homologará el tipo de vehículo cuando todas las secciones de la carrocería superen el ensayo de vuelco y se cumplan las ecuaciones 2 y 3 del punto 4 del anexo 4.

5.2. Si una de las secciones de la carrocería no supera el ensayo, no se homologará el tipo de vehículo.

5.3. Cuando una sección de la carrocería supere el ensayo de vuelco, se considerará que todos los segmentos que forman dicha sección de la carrocería han superado el ensayo de vuelco, y podrá citarse el resultado en futuras solicitudes de homologación, siempre y cuando la proporción de sus masas sea la misma en la superestructura en cuestión.

5.4. Cuando una sección de la carrocería no supere el ensayo de vuelco, se considerará que ningún segmento de dicha sección de la carrocería ha superado el ensayo de vuelco, incluso cuando el espacio de supervivencia solo se haya visto invadido en uno de los segmentos.

6. DOCUMENTACIÓN DE LOS ENSAYOS DE VUELCO DE SECCIONES DE LA CARROCERÍA

El informe de ensayo contendrá todos los datos necesarios para demostrar lo siguiente:

6.1. la construcción de las secciones de la carrocería sometidas a ensayo (dimensiones, materiales, masas, posición del centro de gravedad y métodos de construcción);

6.2. que los ensayos se han realizado de conformidad con el presente anexo;

6.3. si se cumplen o no los requisitos del apartado 5.1 del presente Reglamento;

6.4. la evaluación individual de las secciones de la carrocería y sus segmentos;

6.5. la identidad del tipo de vehículo, su superestructura, las secciones de la carrocería sometidas a ensayo, los ensayos en sí y el personal responsable de llevarlos a cabo, así como de su evaluación.

*ANEXO 7*

**ENSAYO DE CARGA CUASIESTÁTICA DE SECCIONES DE LA CARROCERÍA COMO MÉTODO DE HOMOLOGACIÓN EQUIVALENTE**

1. DATOS E INFORMACIÓN ADICIONALES

Este método de ensayo utiliza secciones de la carrocería como unidades de ensayo, cada una de ellas compuesta de, al menos, dos segmentos del vehículo sometido a evaluación, conectados entre sí mediante elementos estructurales representativos. Si el fabricante opta por este método de ensayo, además de los datos y los dibujos enumerados en el apartado 3.2 del presente Reglamento, se facilitará al servicio técnico la información adicional siguiente:

1.1. los dibujos de las secciones de la carrocería que van a someterse a ensayo;

1.2. los valores de la energía que absorberán los diferentes segmentos de la superestructura, así como los valores de la energía correspondiente a las secciones de la carrocería que van a someterse a ensayo;

1.3. la verificación del requisito de energía (véase el punto 4.2 del presente anexo), una vez completados con éxito los ensayos de carga cuasiestática de las secciones de la carrocería.

2. PREPARACIÓN DE LAS SECCIONES DE LA CARROCERÍA

2.1. El fabricante tendrá en cuenta los requisitos de los puntos 3.1, 3.2 y 3.3 del anexo 6, a la hora de diseñar y fabricar las secciones de la carrocería que van a someterse a ensayo.

2.2. Las secciones de la carrocería estarán equipadas con el perfil del espacio de supervivencia, en las posiciones en las que se considere que es probable que los montantes u otros elementos estructurales lo invadan como resultado de la deformación prevista.

3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

3.1. Cada sección de la carrocería que vaya a someterse a ensayo se fijará de manera firme y segura al banco de ensayo mediante una estructura rígida de base, de manera que:

3.1.1. no se produzcan deformaciones plásticas locales alrededor de los puntos de fijación;

3.1.2. la ubicación y el método de fijación no impidan la formación y el funcionamiento de las zonas y bisagras plásticas previstas.

3.2. Para la aplicación de la carga a la sección de la carrocería, se tendrán en cuenta las reglas siguientes:

3.2.1. la carga se distribuirá de manera uniforme en el travesaño superior mediante una viga rígida que sea más larga que el travesaño para simular el suelo en un ensayo de vuelco, y que siga la geometría del travesaño;

3.2.2. la dirección de la carga aplicada (véase la figura A7.1) dependerá del plano central longitudinal vertical del vehículo y su inclinación (α) se determinará de la manera siguiente:

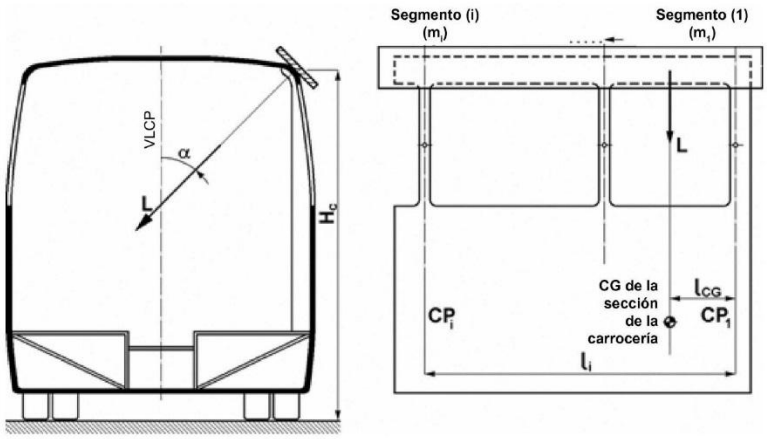
$$\alpha = 90^{0} - \arcsin\left(\frac{800}{H_c}\right)$$

donde:

$H_c$ = la altura del travesaño superior (en mm) del vehículo, medida desde el plano horizontal sobre el que se encuentra el vehículo;

*Figura A7.1*

**Aplicación de la carga a la sección de la carrocería**




3.2.3. la carga se aplicará a la viga en el centro de gravedad de la sección de la carrocería, derivado de las masas de sus segmentos y los elementos estructurales que los conectan; utilizando los símbolos de la figura A7.1, la posición de la sección de la carrocería puede determinarse mediante la fórmula siguiente:

$$l_{CG} = \frac{\sum_{i=1}^{s} m_i l_i}{\sum_{i=1}^{s} m_i}$$

donde:

$s$ = el número de los segmentos en la sección de la carrocería

$m_i$ = la masa del segmento i-ésimo

$l_i$ = la distancia del centro de gravedad del segmento i-ésimo desde un punto de pivotación seleccionado [el plano central del segmento (1) de la figura A7.1]

$l_{CG}$ = la distancia del centro de gravedad de la sección de la carrocería desde el mismo punto de pivotación seleccionado;

3.2.4. la carga se incrementará gradualmente, tomando las medidas de la deformación asociada, a intervalos discretos, hasta la deformación máxima ($d_u$), cuando uno de los elementos de la sección de la carrocería invada el espacio de supervivencia.

3.3. Al trazar la curva de desviación de la carga:

3.3.1. la frecuencia de la medición será tal que dé lugar a una curva continua (véase la figura A7.2);

3.3.2. los valores de carga y deformación se medirán simultáneamente;

3.3.3. la deformación del travesaño superior cargado se medirá en el plano y en la dirección de la carga aplicada;

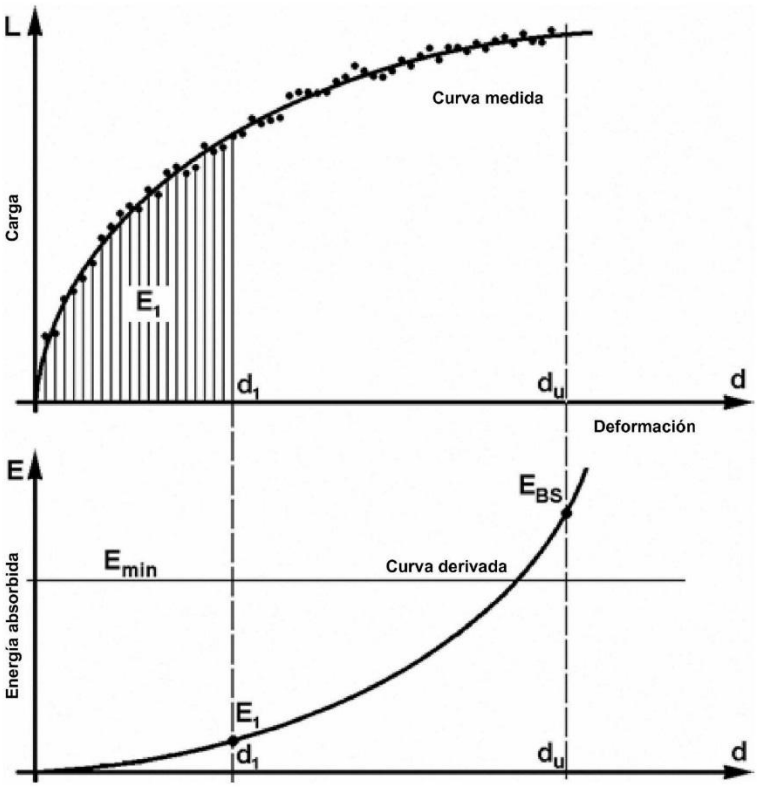
3.3.4. tanto la carga como la deformación se medirán con una precisión del ± 1 %.

4. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO

4.1. A partir del trazado de la curva carga-deformación, la energía real absorbida por la sección de la carrocería ($E_{BS}$) se expresará como el área por debajo de la curva (véase la figura A7.2).

*Figura A7.2*

**Energía absorbida por la sección de la carrocería, derivada de la curva carga-deformación medida**




4.2. La energía mínima que es necesario que absorba la sección de la carrocería ($E_{min}$) se determinará de la manera siguiente:

4.2.1. la energía total ($E_T$) que ha de absorber la superestructura es:

$$E_T = 0.75 M\, g\, \Delta h$$

donde:

M = $M_k$, la masa en orden de marcha del vehículo, si no está equipado con retenciones del ocupante, o $M_t$, la masa total efectiva del vehículo, si está equipado con retenciones del ocupante

g = la constante gravitacional

Δh = el movimiento vertical (en metros) del centro de gravedad del vehículo durante un ensayo de vuelco, tal y como se determina en el apéndice 1 del presente anexo;

4.2.2. la energía total ($E_T$) se distribuirá entre los segmentos de la superestructura en las proporciones de sus masas:

$$E_i = E_T \frac{m_i}{M}$$

donde:

$E_i$ = la energía absorbida por el segmento i

$m_i$ = la masa del segmento i, tal y como se determina en el punto 4.1 del anexo 4;

4.2.3. la energía mínima que es necesario que absorba la sección de la carrocería ($E_{mín}$) es la suma de la energía de los segmentos que comprende la sección de la carrocería:

$$E_{min} = \sum_{i=1}^{s} E_i$$

4.3. La sección de la carrocería supera el ensayo de carga cuando:

$$E_{BS} \geq E_{min}$$

En este caso, se considera que todos los segmentos que forman dicha sección de la carrocería han superado el ensayo de carga cuasiestática y podrán citarse los resultados en futuras solicitudes de homologación, siempre y cuando no se espere que los segmentos componentes soporten una masa superior en la superestructura en cuestión.

4.4. La sección de la carrocería no supera el ensayo de carga cuando:

$$E_{BS} < E_{min}$$

En este caso, se considera que ninguno de los segmentos que forman dicha sección de la carrocería ha superado el ensayo, incluso cuando el espacio de supervivencia solo resulte invadido en uno de los segmentos.

4.5. Se homologará el tipo de vehículo cuando todas las secciones de la carrocería sometidas a ensayo superen el ensayo de carga.

5. DOCUMENTACIÓN DE LOS ENSAYOS DE CARGA CUASIESTÁTICA DE SECCIONES DE LA CARROCERÍA

El informe de ensayo tendrá la forma y el contenido establecidos en el punto 6 del anexo 6.

*Apéndice 1*

**DETERMINACIÓN DEL MOVIMIENTO VERTICAL DEL CENTRO DE GRAVEDAD DURANTE EL VUELCO**

El movimiento vertical (Δh) del centro de gravedad en relación con el ensayo de vuelco podrá determinarse mediante el método gráfico que figura a continuación:

1. Utilizando dibujos a escala de la sección transversal del vehículo, se determina la altura inicial ($h_1$) del centro de gravedad (posición 1) por encima del plano inferior de la cuneta correspondiente al vehículo situado en su punto de equilibrio inestable sobre la plataforma de basculamiento (véase la figura A7.A1.1).

2. Partiendo del supuesto de que la sección transversal del vehículo gira alrededor del borde de los soportes de la rueda (punto A de la figura A7.A1.1), se dibuja la sección transversal del vehículo con el travesaño superior solo tocando el plano inferior de la cuneta (véase la figura A7.A1.2); en esta posición, se determina la altura ($h_2$) del centro de gravedad (posición 2) relativa al plano inferior de la cuneta.

*Figura A7.A1.1*

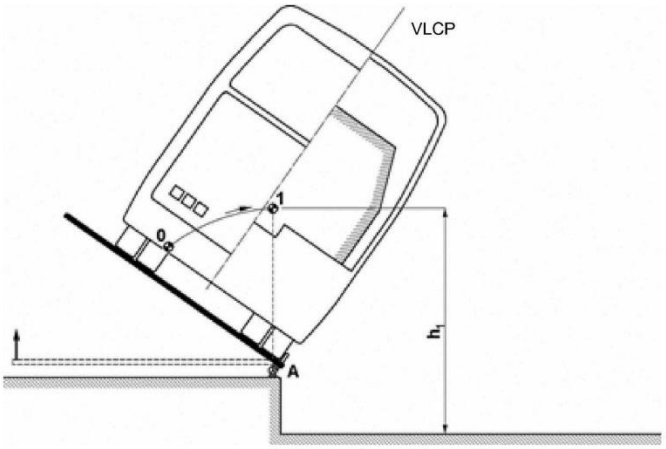
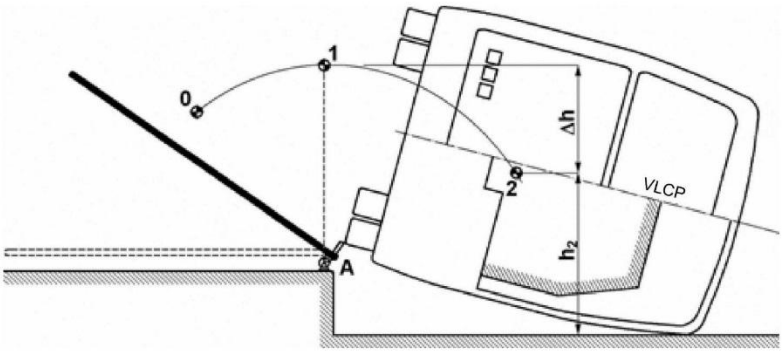



*Figura A7.A1.2*

**Determinación del movimiento vertical del centro de gravedad del vehículo**



3. El movimiento vertical del centro de gravedad (Δh) es:

$$\Delta h = h_1 - h_2$$

4. Si se somete a ensayo más de una sección de la carrocería y cada sección tiene una forma deformada final diferente, se determinará el movimiento vertical del centro de gravedad ($\Delta h_i$) para cada una de las secciones y se tomará el valor medio combinado (Δh) como:

$$\Delta h = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} \Delta h_i$$

donde:

$\Delta h_i$ = el movimiento vertical del centro de gravedad de la sección de la carrocería i-ésima

k = el número de secciones de la carrocería sometidas a ensayo.

*ANEXO 8*

## CÁLCULO CUASIESTÁTICO BASADO EN EL ENSAYO DE COMPONENTES COMO MÉTODO DE HOMOLOGACIÓN EQUIVALENTE

1. DATOS E INFORMACIÓN ADICIONALES

Si el fabricante opta por este método de ensayo, además de los datos y los dibujos enumerados en el apartado 3.2 del presente Reglamento, se facilitará al servicio técnico la información siguiente:

1.1. la ubicación de las zonas plásticas (PZ) y las bisagras plásticas (PH) en la superestructura:

1.1.1. en el dibujo de la superestructura, cada una de las PZ y PH se identificará individualmente en su emplazamiento definido geográficamente (véase la figura A8.1),

1.1.2. los elementos estructurales entre las PZ y las PH pueden tratarse como partes rígidas o elásticas en el cálculo, y su longitud vendrá determinada por sus dimensiones reales en el vehículo;

1.2. los parámetros técnicos de las PZ y las PH:

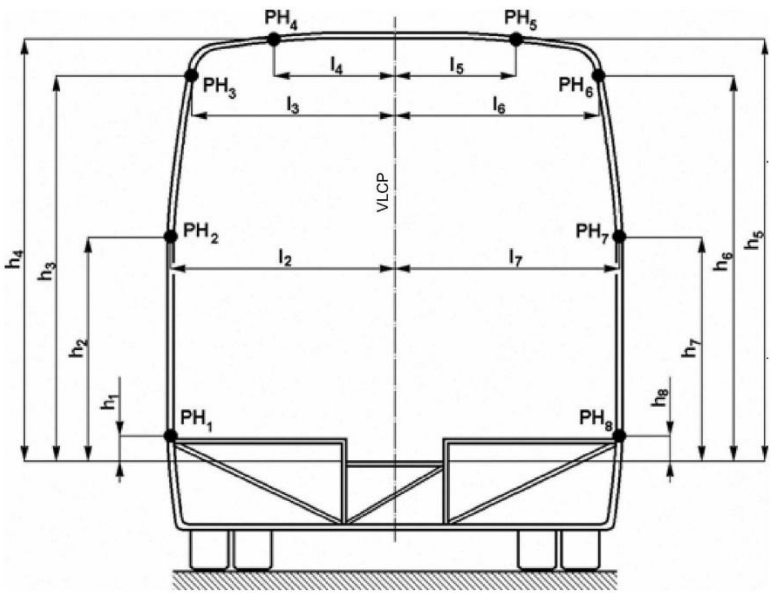
1.2.1. la geometría transversal de los elementos estructurales en los que están situadas las PZ y las PH,

1.2.2. el tipo y la dirección de la carga aplicada a cada PZ y PH,

1.2.3. la curva carga/deformación de cada PZ y PH, tal y como se describe en el apéndice 1 del presente anexo; para el cálculo, el fabricante podrá utilizar tanto las características estáticas como las dinámicas de las PZ y las PH, pero no deberá mezclar ambas en un mismo cálculo;

*Figura A8.1*

**Parámetros geométricos de las bisagras plásticas en un segmento**



1.3. una declaración de la energía total ($E_T$) que ha de absorber la superestructura, utilizando la fórmula establecida en el punto 3.1 del presente anexo;

1.4. una breve descripción técnica del algoritmo y el programa informático utilizados para el cálculo.

2. REQUISITOS PARA EL CÁLCULO CUASIESTÁTICO

2.1. Para el cálculo, se modelará matemáticamente la superestructura completa como una estructura deformable y capaz de soportar carga, teniendo en cuenta lo siguiente:

2.1.1. la superestructura se modelará como una única unidad cargada que contenga PZ y PH deformables, conectados mediante elementos estructurales adecuados;

2.1.2. la superestructura tendrá las dimensiones reales de la carrocería; el contorno interno de los montantes de las paredes laterales y la estructura del techo se utilizarán a la hora de verificar el espacio de supervivencia;

2.1.3. las PH utilizarán las dimensiones reales de los montantes y los elementos estructurales en los que estén situadas (véase el apéndice 1 del presente anexo).

2.2. Las cargas aplicadas en el cálculo cumplirán los requisitos siguientes:

2.2.1. la carga activa se aplicará en el plano transversal que contenga el centro de gravedad de la superestructura (vehículo), perpendicular al plano central longitudinal vertical del vehículo; la carga activa se aplicará en el travesaño superior de la superestructura, mediante un plano de aplicación de carga totalmente rígido, que se extienda en ambas direcciones más allá del travesaño superior y de cualquier estructura adyacente;

2.2.2. al inicio de la simulación, el plano de aplicación de la carga tocará el travesaño superior en su parte más distante del plano central longitudinal vertical; los puntos de contacto entre el plano de aplicación de la carga y la superestructura se definirán para garantizar una transferencia exacta de la carga;

2.2.3. la carga activa tendrá una inclinación α relacionada con el plano central longitudinal vertical del vehículo (véase la figura A8.2):

$$\alpha = 90° - \arcsin\left(\frac{800}{H_c}\right)$$

donde:

$H_c$ = la altura del travesaño superior (en mm) del vehículo, medida desde el plano horizontal sobre el que se encuentra.

La dirección de acción de la carga activa no se modificará durante el cálculo;

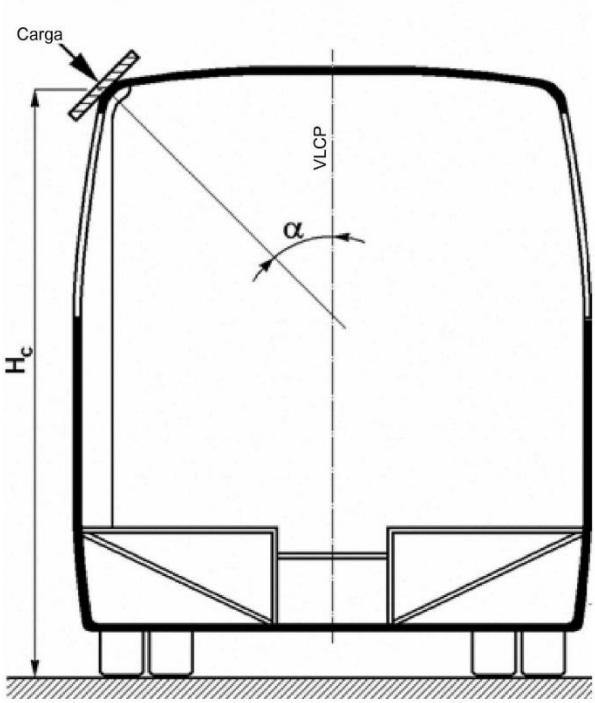
2.2.4. la carga activa se incrementará poco a poco, y la deformación estructural completa se calculará en cada incremento; el número de incrementos de la carga excederá de 100 y cada incremento será prácticamente igual;

2.2.5. durante el proceso de deformación, podrá permitirse que el plano de aplicación de la carga, además del movimiento de traslación paralelo, gire alrededor del eje de intersección del plano de aplicación de la carga con el plano transversal que contiene el centro de gravedad, para seguir la deformación asimétrica de la superestructura;

2.2.6. las fuerzas pasivas (de soporte) se aplicarán a la estructura rígida del falso piso sin influir en la deformación estructural.

*Figura A8.2*

**Aplicación de carga a la superestructura**




2.3. El algoritmo del cálculo y el programa informático cumplirán los siguientes requisitos:

2.3.1. el programa tendrá en cuenta la no linealidad en las características de las PH y las deformaciones estructurales a gran escala;

2.3.2. el programa tendrá en cuenta la gama de funcionamiento de las PH y PZ e interrumpirá el cálculo si la deformación de las PH excede de la gama de funcionamiento validada (véase el apéndice 1 del presente anexo);

2.3.3. el programa deberá poder calcular la energía total absorbida por la superestructura en cada incremento de carga;

2.3.4. en cada incremento de carga, el programa deberá poder demostrar la forma deformada de los segmentos que componen la superestructura, así como la posición de cada parte rígida que pueda invadir el espacio de supervivencia; el programa identificará el incremento de carga en el que el espacio de supervivencia sea invadido por primera vez por cualquiera de las partes estructurales rígidas;

2.3.5. el programa deberá poder detectar e identificar el incremento de carga en el que se inicie el colapso general de la superestructura, es decir, cuando la superestructura deje de ser estable y la deformación continúe sin que se incremente la carga.

3. EVALUACIÓN DEL CÁLCULO

3.1. La energía total ($E_T$) que ha de absorber la superestructura se determinará de la manera siguiente:

$$E_T = 0{,}75M \cdot g \cdot \Delta h$$

donde:

M = $M_k$, la masa en orden de marcha del vehículo, si no está equipado con retenciones, o
$M_t$, la masa total efectiva del vehículo, si está equipado con retenciones del ocupante

G = la constante gravitacional

Δh = el movimiento vertical (en metros) del centro de gravedad del vehículo durante un ensayo de vuelco, con arreglo a lo establecido en el apéndice 1 del anexo 7.

3.2. La energía absorbida ($E_a$) de la superestructura se calcula en el incremento de carga en el que el espacio de supervivencia sea invadido por primera vez por cualquiera de las partes estructurales rígidas.

3.3. Se homologará el tipo de vehículo si $E_a \geq E_T$.

4. DOCUMENTACIÓN DEL CÁLCULO CUASIESTÁTICO

El informe de cálculo contendrá la siguiente información:

4.1. una descripción mecánica detallada de la superestructura, que contenga la ubicación de las PZ y PH y defina las partes rígidas y elásticas;

4.2. los datos obtenidos en los ensayos y los gráficos resultantes;

4.3. una declaración de si se cumple o no el requisito del apartado 5.1 del presente Reglamento;

4.4. la identificación del tipo de vehículo y el personal responsable de los ensayos, los cálculos y la evaluación.

*Apéndice 1*

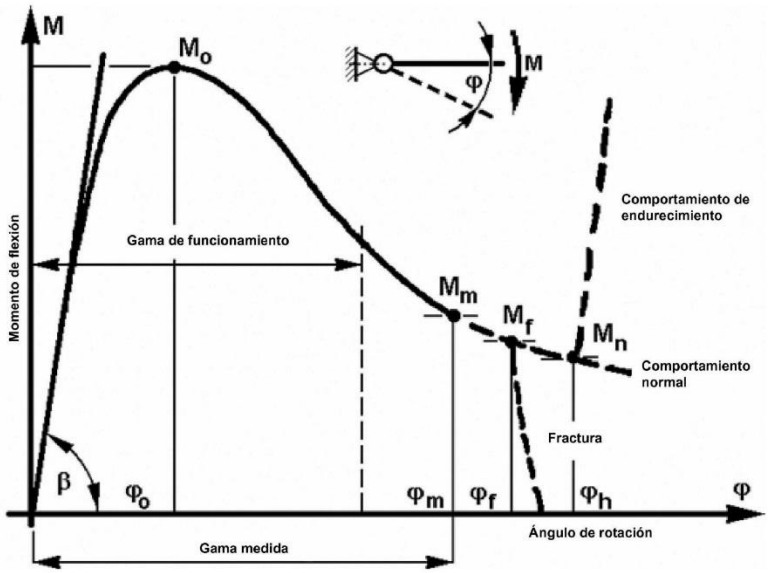
**CARACTERÍSTICAS DE LAS BISAGRAS PLÁSTICAS**

1. CURVAS CARACTERÍSTICAS

La forma general de una curva característica de zona plástica (PZ) es una relación no lineal entre la carga y la deformación medida en las partes estructurales del vehículo en ensayos de laboratorio. Las curvas características de las bisagras plásticas constituyen la relación entre el momento de flexión (M) y el ángulo de rotación (φ). La forma general de una curva característica de PH se muestra en la figura A8.A1.1.

*Figura A8.A1.1*

**Curva característica de una bisagra plástica**




2. ASPECTOS DE LAS GAMAS DE DEFORMACIÓN

2.1. Se entiende por «gama medida» de la curva característica de una PH, la gama de deformación en la que se han realizado las mediciones. La gama medida puede contener la fractura, la gama de endurecimiento rápido o ambas. En el cálculo, solo se utilizarán valores de las características de la PH que figuren en la gama medida.

2.2. Se entiende por «gama de funcionamiento» de la curva característica de una PH, la gama cubierta por el cálculo.

La gama de funcionamiento no excederá de la gama medida y podrá contener la fractura, pero no la gama de endurecimiento rápido.

2.3. Las características de la PH que se utilicen en el cálculo deberán contener la curva M-φ en la gama medida.

3. CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS

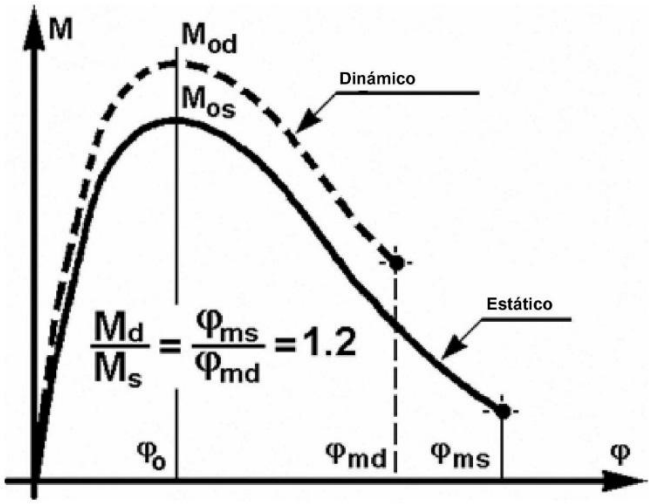
Las características de las PH y las PZ son de dos tipos: cuasiestáticas y dinámicas. Las características dinámicas de una PH pueden determinarse de dos maneras:

3.1. mediante el ensayo de impacto dinámico del componente;

3.2. utilizando un factor dinámico $K_d$ para transformar las características cuasiestáticas de la PH; esta transformación significa que los valores del momento de flexión cuasiestático pueden incrementarse en $K_d$ y, para los elementos estructurales de acero, puede utilizarse $K_d = 1,2$ sin ensayo de laboratorio.

*Figura A8.A1.2*

**Derivación de las características dinámicas de la bisagra plástica a partir de la curva estática**



*ANEXO 9*

**SIMULACIÓN POR ORDENADOR DEL ENSAYO DE VUELCO DE UN VEHÍCULO COMPLETO COMO MÉTODO DE HOMOLOGACIÓN EQUIVALENTE**

1. DATOS E INFORMACIÓN ADICIONALES

Para demostrar que la superestructura cumple los requisitos de los apartados 5.1.1 y 5.1.2 del presente Reglamento, puede utilizarse un método de simulación informática homologado por el servicio técnico.

Si el fabricante opta por este método de ensayo, además de los datos y los dibujos enumerados en el apartado 3.2 del presente Reglamento, se facilitará al servicio técnico la información siguiente:

1.1. una descripción de la simulación aplicada y el método de cálculo que se ha utilizado, así como la identificación clara y precisa del *software* de análisis, que incluya, como mínimo, el nombre del fabricante, la marca comercial, la versión utilizada y los datos de contacto del desarrollador;

1.2. los modelos de material y los datos de alimentación utilizados;

1.3. los valores de las masas, el centro de gravedad y los momentos de inercia definidos que se han utilizado en el modelo matemático.

2. EL MODELO MATEMÁTICO

Se utilizará un modelo que permita describir el comportamiento físico real del proceso de vuelco de conformidad con el anexo 5. Dicho modelo, y los supuestos prescritos, estarán configurados de manera que el cálculo ofrezca resultados conservadores. Se establecerá el modelo a partir de las siguientes consideraciones:

2.1. el servicio técnico podrá exigir que se realicen ensayos de la estructura del vehículo real para demostrar la validez del modelo matemático y verificar los supuestos establecidos en el modelo;

2.2. la masa total y la posición del centro de gravedad utilizados en el modelo matemático deberán ser idénticas a las del vehículo que se quiere homologar;

2.3. la distribución de la masa en el modelo matemático corresponderá al vehículo que se quiere homologar; los momentos de inercia utilizados en el modelo matemático se calcularán sobre la base de dicha distribución de la masa.

3. REQUISITOS DEL ALGORITMO Y EL PROGRAMA DE SIMULACIÓN, ASÍ COMO DEL EQUIPO INFORMÁTICO

3.1. Se especificarán la posición del vehículo en equilibrio inestable en el punto de vuelco y la posición al primer contacto con el suelo. El programa de simulación podrá empezar en la posición de equilibrio inestable y, a más tardar, en el punto de primer contacto con el suelo.

3.2. Las condiciones iniciales en el punto de primer contacto con el suelo se establecerán utilizando el cambio de energía potencial desde la posición de equilibrio inestable.

3.3. El programa de simulación funcionará, como mínimo, hasta que se alcance la máxima deformación.

3.4. El programa de simulación generará una solución estable en la que el resultado sea independiente del incremento temporal.

3.5. Se utilizará un programa de simulación que permita calcular los componentes energéticos para el equilibrio de la energía en cada incremento temporal.

3.6. Los componentes energéticos no físicos introducidos mediante el proceso de modelación matemática (por ejemplo, «reloj de arena» y amortiguamiento interno) no excederán en ningún momento del 5 % de la energía total.

3.7. El coeficiente de fricción utilizado en el contacto con el suelo se validará con resultados de ensayos físicos, o el cálculo demostrará que el coeficiente de fricción elegido genera resultados conservadores.

3.8. En el modelo matemático se tendrán en cuenta todos los posibles contactos físicos entre las partes del vehículo.

4. EVALUACIÓN DE LA SIMULACIÓN

4.1. Cuando se cumplan los requisitos establecidos para el programa de simulación, la simulación de los cambios en la geometría de la estructura interior y la comparación con la forma geométrica del espacio de supervivencia podrán evaluarse con arreglo a los apartados 5.1 y 5.2 del presente Reglamento.

4.2. Si no se invade el espacio de supervivencia durante la simulación del vuelco, se concederá la homologación.

4.3. Si se invade el espacio de supervivencia durante la simulación del vuelco, se denegará la homologación.

5. DOCUMENTACIÓN

5.1. El informe sobre la simulación contendrá la información siguiente:

5.1.1. la totalidad de los datos y la información enumerados en el punto 1 del presente anexo;

5.1.2. una ilustración del modelo matemático de la superestructura;

5.1.3. una declaración de los valores de ángulo, velocidad y velocidad angular en la posición de equilibrio inestable del vehículo y en la posición de primer contacto con el suelo;

5.1.4. un cuadro del valor de la energía total y los valores de todos sus componentes (energía cinética, energía interna y energía de «reloj de arena»), a incrementos temporales de 1 ms que cubran, al menos, el período que va desde el primer contacto con el suelo hasta que se alcance la deformación máxima;

5.1.5. el coeficiente supuesto de fricción del suelo;

5.1.6. los gráficos o datos que muestren, de manera adecuada, que se cumplen los requisitos de los apartados 5.1.1 y 5.1.2 del presente Reglamento; este requisito podrá cumplirse facilitando un gráfico, en función del tiempo, de la distancia entre el contorno interior de la estructura deformada y los márgenes del espacio de supervivencia;

5.1.7. una declaración de si se cumplen o no los requisitos de los apartados 5.1.1 y 5.1.2 del presente Reglamento;

5.1.8. la totalidad de los datos y la información necesarios para identificar claramente el tipo de vehículo, su superestructura, el modelo matemático de la superestructura y el propio cálculo.

5.2. Se recomienda que el informe también contenga gráficos de la estructura deformada en el momento en el que se alcance la máxima deformación, que ofrezcan una visión general de la superestructura y de las zonas de amplia deformación plástica.

5.3. A petición del servicio técnico, se facilitará e incluirá en el informe más información.

**Anexo B4** Norma NTE INEN 1323

INEN

# INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA** **NTE INEN 1 323:2009**
**Primera revisión**

# VEHICULOS AUTOMOTORES. CARROCERIAS DE BUSES REQUISITOS.

**Primera Edición**

ROAD VEHICLES. BUS BODIES. REQUIREMENTS

First Edition

DESCRIPTORES: Ingeniería automotriz, sistemas para vehículos automotores, carrocerías y componentes, buses, requisitos
MC 01.01-401
CDU: 629.11.011.6
CIIU: 3843
ICS: 43.020.60

| Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria | VEHÍCULOS AUTOMOTORES. CARROCERIAS DE BUSES. REQUISITOS | NTE INEN 1 323:2009 Primera Revisión 2009-02 |
|---|---|---|

## 1. OBJETO

**1.1** Esta norma establece los requisitos generales para el diseño, fabricación y montaje de carrocerías de buses para todas sus modalidades.

## 2. ALCANCE

**2.1** Esta norma se aplica a todas las carrocerías de buses, sean importadas o de construcción nacional. (Ver nota 1).

**2.2** Esta norma incluye a las carrocerías que son parte de los chasis carrozados importados y carrocerías autoportantes

## 3. DEFINICIONES

**3.1** Para los efectos de la presente NTE INEN se adoptan las definiciones establecidas en las NTE INEN ISO 3833 vigente, NTE INEN 1 155 vigente, y las que a continuación se detallan:

**3.1.1** *Carga de aceleración brusca* ($A_b$). Corresponde a la fuerza producida por la aceleración brusca del vehículo.

**3.1.2** *Carga de frenado* (F).Corresponde a la fuerza producida por el frenado del vehículo.

**3.1.3** *Carga de giro* (G).Corresponde a la fuerza producida por el giro de un vehículo.

**3.1.4** *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.

**3.1.5** *Carga muerta* (M). 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 accesorios.

**3.1.6** *Carga viva* (V). Corresponde a la carga por ocupación y se la considerará como distribuida uniformemente en los respectivos elementos estructurales de la carrocería.

**3.1.7** *Carrocería.* Conjunto de estructura, elementos de seguridad y confort que se adiciona al chasis de forma fija, para el transporte de personas.

**3.1.8** *Carrocería autoportante.* Aquella que en su diseño conforma el bastidor e incluye en su estructura los anclajes necesarios para el equipo mecánico y eléctrico.

**3.1.9** Bastidor o chasis. Constituye el soporte de todos los órganos principales del vehículo (motor, transmisión, suspensión sobre la que se apoya, dirección, ruedas, frenos).

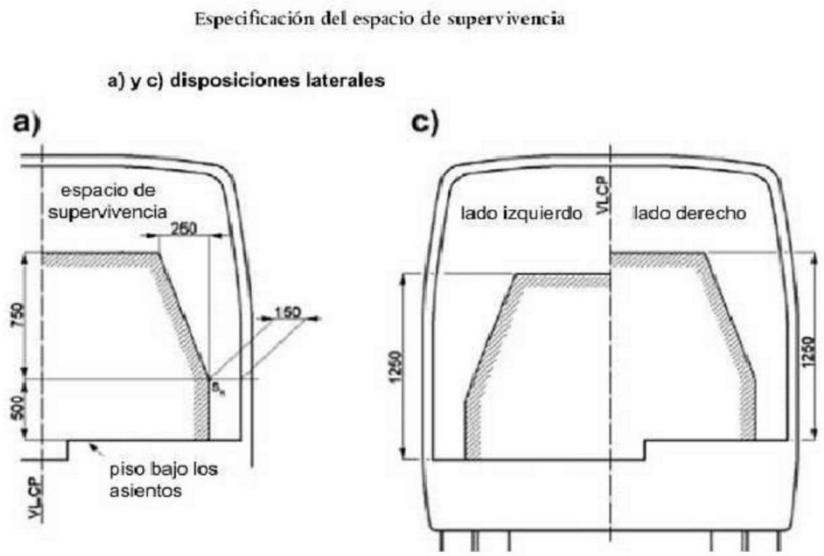
**3.1.10** Espacio de supervivencia. Es el volumen que se obtiene en el compartimento de ocupantes, desplazando en línea recta el plano vertical y transversal indicado en la figura 1, de manera que se pase el punto $S_R$ de la figura 2 desde el punto $S_R$ del último asiento exterior a través del punto $S_R$ de cada asiento exterior intermedio hasta el punto $S_R$ del primer asiento exterior del ocupante.

NOTA 1.- La definición de buses de acuerdo a la NTE INEN ISO 3833 vigente.

*(Continua)*

DESCRIPTORES: Ingeniería automotriz, sistemas para vehículos automotores, carrocerías y componentes, buses, requisitos

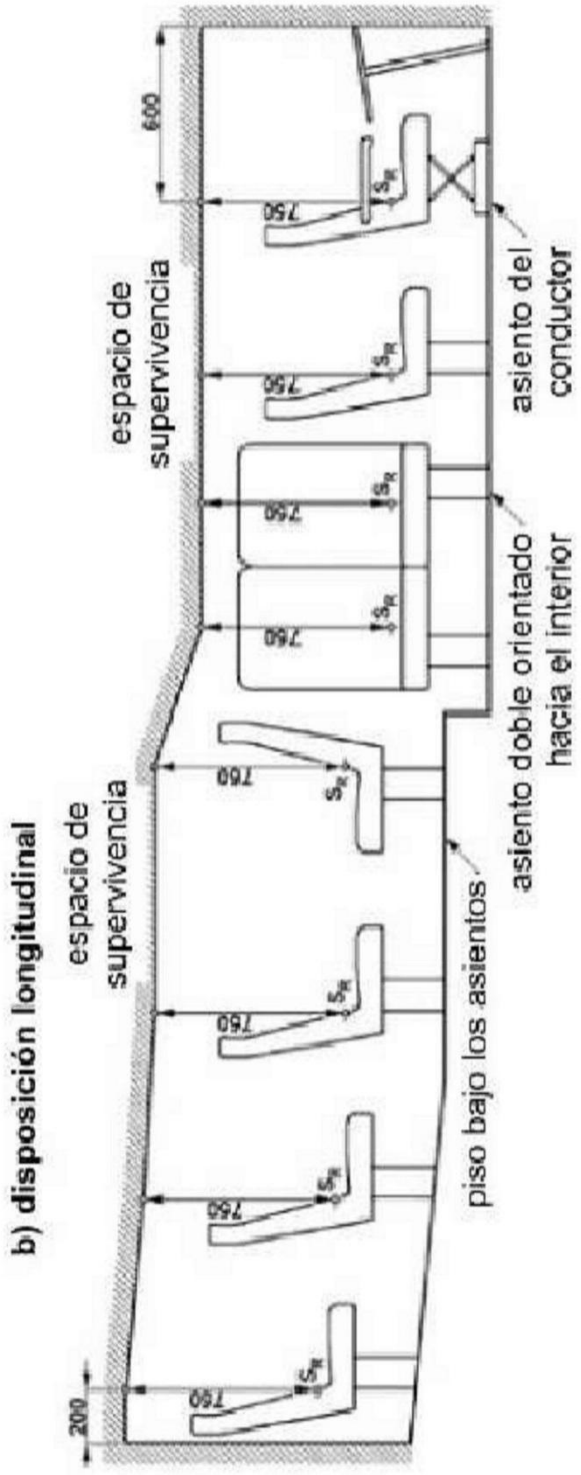
**FIGURA 1. Vista transversal del espacio de supervivencia. (Ver nota 2)**




NOTA 2. El objetivo de las figuras 1 y 2 es indicar las dimensiones en milímetros del espacio de supervivencia. Las figuras 1 y 2 no están relacionadas con una forma geométrica o distribución de asientos específica en las carrocerías.

*(Continúa)*

**FIGURA 2 Vista longitudinal del espacio de supervivencia**



**3.1.11** Peso máximo admisible para el chasis. Conocida también como capacidad de carga. Es la carga útil máxima emitida para la cual fue diseñado el vehículo. Este valor es proporcionado por el fabricante del chasis.

## 4. DISPOSICIONES GENERALES

**4.1** Consideraciones de diseño de la carrocería. Se debe considerar lo siguiente:

**4.1.1** Las especificaciones del chasis, lo cual incluye:

- Tipo de Servicio de la carrocería.
- Peso bruto vehicular (PBV).
- Capacidad de carga de los ejes.
- Peso del chasis en vacío o tara, total y por ejes.
- Relación peso/potencia.

**4.1.2** La estabilidad, lo cual incluye:

- Distribución de masa
- Altura del centro de gravedad
- Dimensiones de la carrocería
- Rigidez de suspensión.
- Capacidad de inclinación (rolido).

**4.1.3** El confort, lo cual incluye:

- Aislamiento acústico y térmico.
- Ventilación.
- Hermeticidad.
- Ergonomía.

**4.1.4** El mantenimiento, lo cual incluye:

- Accesibilidad a los elementos del vehículo.

**4.1.5** La seguridad, lo cual incluye:

- Seguridad activa y pasiva.

**4.1.6** Método de anclaje y montaje, lo cual incluye:

- Disposiciones y recomendaciones del fabricante del chasis (manual de carrozado).

**4.1.7** Estructura, lo cual incluye:

- Materiales metálicos y no metálicos.
- Uniones y juntas.
- Tratamientos de materiales.
- Geometría.
- Resistencia estructural.

*(Continúa)*

## 5. REQUISITOS

### 5.1 Estructura de las carrocerías de buses

**5.1.1** *Cargas de Diseño.* Para el análisis cuasi estático de la estructura de la carrocería se aplicarán las cargas especificadas en el presente numeral.

**5.1.1.1** *Cargas vivas.* Se determinarán de acuerdo con la tabla 1.

**TABLA 1. Cargas vivas de diseño.**

| TIPO DE SERVICIO (ver nota 3) | MASA DE UN OCUPANTE (kg) | MASA MÍNIMA DE EQUIPAJE DE MANO POR PASAJERO (kg) | MASA MÍNIMA DE EQUIPAJE A TRANSPORTARSE EN BODEGAS PORTA EQUIPAJES (kg) (ver nota 4) | 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 | 100 x Vol | 0,16 |
| Larga Distancia (Interprovincial y turismo) | 70 | 5 | 100 x Vol | Sin pasajeros de pie |

**5.1.1.2** Carga de Giro (G). Debe calcularse en función de la fuerza centrífuga que se genera al ingresar el vehículo en una curva de determinado radio de giro y a cierta velocidad. Esta fuerza centrífuga deberá ser inferior a la fuerza de vuelco, calculada sobre la base del peso total del bus a plena carga y su centro de gravedad. La velocidad crítica deberá ser considerada de al menos 90 km/h y el radio de giro se establece en función de la tabla 2.

**TABLA 2.- Velocidades, radios mínimos y peraltes en carretera. (Ver Nota 5)**

| Velocidad (del vehiculo) (km/h) | Radio de curvatura de la carretera (m) | Peralte (%) |
|---|---|---|
| 80 | 250 | 8 |
| 85 | 300 | |
| 90 | 350 | |
| 95 | 400 | |
| 100 | 450 | |
| 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 |

NOTA 3.- De acuerdo a la NTE INEN ISO 3833 vigente y al Reglamento de la Ley de Tránsito y Transporte Terrestre vigente.

NOTA 4.- Vol.- Volumen de las bodegas portaequipajes en $m^3$

NOTA 5.- Tabla determinada al documento Norma 3.1-IC

*(Continúa)*

**5.1.1.3** Carga de frenado (F). Se asume una desaceleración mayor o igual a 4 $m/s^2$ (ver Nota 6).

**5.1.1.4** *Carga de aceleración brusca* ($A_b$). Se calcula con el mismo criterio de la carga de frenado pero en sentido contrario.

**5.1.1.5** *Carga por resistencia del aire frontal* ($R_{af}$). Se la aplicará como la fuerza del aire actuante sobre un área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal. Se utilizará la siguiente fórmula:

$$Raf = (1/2) \times (Cx) \times p \times Af \times V^2$$

Donde:

$R_{af}$ = Carga por resistencia Aerodinámica, en (N).
$p$ = Densidad del aire, en ($kg/m^3$).
V = Velocidad del aire, en (m/s). (Como mínimo 25 m/s).
Af = Área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal, en ($m^2$).
Cx = Coeficiente de resistencia frontal del aire. (Como mínimo 0.7)

**5.1.2** *Combinaciones de cargas básicas*. Las estructuras de las carrocerías deben ser diseñadas de tal manera que resistan los esfuerzos determinados en base al menos a las siguientes combinaciones de cargas básicas:

**5.1.2.1** Según método ASD (Allowable strength design)

1: M
2: M + V
3: M + V + G
4: M + V + F
5: M + V + F + $R_{af}$
6: M + V + $R_{af}$
7: M + V + $A_b$
8: M + V + $A_b$ + $R_{af}$

**5.1.2.2** Según método LRFD (Load resistance factor design)

1: 1,4M+V
2: 1,2M + 1,6V + 0,5G
3: 1,2M + 0,5V + 1,6G
4: 1,2M + 1,6F+ 0,8 $R_{af}$
5: 1,2M + 0,5 V+ 0,5F+ 1,3$R_{af}$
6: 1,2M +1,5$A_b$ +0,5V
7: 0,9M – 1,3$R_{af}$
8: 0,9M + 1,3$R_{af}$

**5.1.3** *Factores*. Los factores a utilizarse según el método ASD o LRFD serán los indicados en: Specification for Structural Steel Buildings (AISC) y North American Specification for the design of Cold Formed Steel-Structural Members (AISI).

**5.1.4** Las cargas combinadas, según los dos métodos (ASD y LRFD), deben alcanzar una deformación elástica de todos los componentes de la estructura de la carrocería iguales o menores a 1/240 veces su longitud.

NOTA 6. De acuerdo con el Ensayo del Tipo 0 con motor embragado para vehículos clase N de la DIRECTIVA 98/12/CE DE LA COMISIÓN EUROPEA, Anexo 2, Ensayos de frenado y rendimiento de los dispositivos de frenado.

*(Continúa)*

**5.1.5** *Resistencia de la estructura*. Las estructuras de carrocerías deberán cumplir las siguientes condiciones:

**5.1.5.1** Debe resistir una carga estática sobre el techo, equivalente al cincuenta por ciento (50%) del peso máximo admisible para el chasis, distribuido uniformemente a lo largo del mismo, sin experimentar deformaciones en ningún punto, que superen los setenta milímetros (70 mm).

**5.1.5.2** Durante el ensayo de resistencia de la estructura o ni una vez finalizado el mismo, la estructura de la carrocería debe resistir para que el espacio de supervivencia no resulte invadido según el alcance del documento Regulation 66. Uniform Provisions Concerning the Approval of Large Passenger Vehicles with Regard to the Strength of their Superstructure de las Naciones Unidas. (Ver Nota 7)

**5.1.6** *Materiales de la estructura*. Deben ser perfiles estructurales protegidos contra la corrosión que cumplan con las NTE INEN correspondientes vigentes. (Ver nota 8).

**5.1.7** *Soldadura de carrocerías*. Las carrocerías de buses deben soldarse de acuerdo con las normas vigentes AWS D8.8 para componentes de acero y/o AWS D8.14 para componentes de aluminio.

**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.

**5.1.8** *Manuales*. El fabricante de carrocerías debe disponer y aplicar la información indicada en los manuales de fabricación y montaje de carrocerías provistos por el fabricante de chasis. Para ello el fabricante de chasis debe entregar obligatoriamente dichos manuales específicos para cada modelo de chasis.

**5.2 Unión chasis-carrocería**. Las uniones entre el chasis y la carrocería se realizarán siguiendo exclusivamente las recomendaciones del fabricante del chasis para bus de transporte de pasajeros, indicadas en su manual de fabricación y montaje de carrocerías de buses.

**5.3 Documentos técnicos**. El proveedor de carrocerías debe disponer de memorias de cálculo estructural, listado de materiales, planos de construcción dimensionales, eléctricos, y neumáticos; para cada modelo de carrocería y chasis. El formato de los planos debe cumplir con el CPE INEN 03 Código de Dibujo Técnico-Mecánico.

**5.4 Vidrios de seguridad.** Los vidrios deben cumplir con la NTE INEN 1669 vigente y con el RTE INEN 034 Elementos de Seguridad en vehículos automotores vigente.

**5.5 Elementos de seguridad**. Las carrocerías de buses deben cumplir con el RTE INEN 034 Elementos de Seguridad en vehículos automotores vigente.

**5.6** Los dispositivos de alumbrado, espejos retrovisores y señalización luminosa deben cumplir con la NTE INEN 1 155 vigente y con el RTE INEN 034 Elementos de Seguridad en vehículos automotores vigente.

**5.7 Otros Requisitos**

**5.7.1** *Superficies de pisos y áreas de entrada y salida*. Deben ser de material antideslizante.

**5.7.2** *Equipo e instalación eléctrica*. Deben cumplir con lo indicado en el numeral 7.5.2 y 7.5.3 de la Directiva Europea 2001/85 CE (ver anexo A).

**5.7.3** *Pintura*. Debe cumplir con las NTE INEN correspondientes vigentes (ver nota 8).

---

NOTA 7. Mientras no exista un documento normativo INEN equivalente

NOTA 8. En el caso de no existir Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN se deben utilizar las normas o reglamentos equivalentes de reconocido prestigio, tales como: ASTM, DIN, JIS, ANSI.

*(Continúa)*

**5.7.4** *Aislamiento térmico y acústico*. Debe cumplir con lo indicado en el numeral 7.5.1 de la Directiva Europea 2001/85 CE (ver Anexo A).

**5.7.5** *Flamabilidad de materiales*. Retardante al fuego con un índice de llama no menor de 150 bajo la norma ASTM E 162 o un máximo de 250 mm/min según la norma ISO 3795.

**5.7.6** *Sujeción de Parabrisas*. Debe cumplir con lo dispuesto en el documento normativo FMVSS 212 vigente.

**5.7.7** Los materiales del piso, la perfileria de las ventanas y de las puertas deben cumplir con las NTE INEN vigentes (ver Nota 8).

**5.7.8** Los sistemas eléctricos y neumáticos deben estar ocultos (ver Anexo A).

**5.7.9** *Salidas de emergencia*. El número mínimo de salidas de emergencia será de acuerdo a la tabla 3.

**TABLA 3. Número mínimo de salidas de emergencia**

| Número de pasajeros | Número total mínimo de salidas de emergencia |
|---|---|
| 17-30 | 4 |
| 31-45 | 5 |
| 46-60 | 6 |
| 61-75 | 7 |
| 76-90 | 8 |
| Mayor a 90 | 9 |

## 6. ENSAYOS

**6.1** Los ensayos serán los indicados en la presente norma.

**6.2 Métodos de ensayo de resistencia de la estructura.**

La estructura del bus se ensayará por cualquiera de los métodos de ensayo contemplados en el numeral 6 del documento Regulation 66. Uniform Provisions Concerning the Approval of Large Passenger Vehicles with Regard to the Strength of their Superstructure, de las Naciones Unidas.

## 7. ROTULADO

**7.1** Las carrocerías deben disponer de una placa inalterable de identificación, con fines de rastreo, de fácil acceso, visible, legible y debe disponer de al menos la siguiente información:

- Nombre de la empresa fabricante de la carrocería.
- Número de certificado de evaluación de la conformidad de la estructura (NCE).
- Capacidad de pasajeros.
- Fecha de la fabricación (de finalización) (MM/AAAA).
- Número de producción (seis dígitos alfanuméricos).
- Número de chasis (VIN)
- País de origen de la carrocería.

Tamaño mínimo de la placa: 148,5 mm de largo
105 mm de ancho (formato A6).

**7.2** El fabricante será responsable de marcar el número de producción indeleblemente en al menos dos lugares de la carrocería.

*(Continua)*

## ANEXO A

Texto de los numerales 7.5.1, 7.5.2 y 7.5.3 de la Directiva 2001/85/CE.

**7.5.1** *Compartimento del motor*

**7.5.1.1** En el compartimento del motor no se utilizará ningún material de isonorización inflamable o susceptible de impregnarse de combustible o lubricante, salvo que dicho material esté recubierto de un revestimiento impermeable.

**7.5.1.2** Se adoptarán las debidas precauciones, ya sea configurando de forma adecuada el compartimiento del motor, ya sea disponiendo orificios de drenaje, para evitar en la medida de lo posible que pueda acumularse combustible o aceite lubricante en alguna parte del compartimiento del motor.

**7.5.1.3** Entre el compartimento del motor o cualquier otra fuente de calor (como un dispositivo destinado a absorber la energía liberada cuando un vehículo desciende por una larga pendiente, por ejemplo un ralentizador, o un dispositivo utilizado como calefactor del habitáculo, exceptuando sin embargo, los que funcionan por circulación de agua caliente) y el resto del vehículo, deberá colocarse una pantalla de separación resistente al calor. Todas las mordazas, juntas, etc. utilizadas en unión con dicha pantalla de separación deberán ser resistentes al fuego.

**7.5.1.4** Podrá instalarse en el compartimento de viajeros un dispositivo calefactor que funcione por un método distinto del de circulación de agua caliente, siempre que este rodeado de material que resista las temperaturas que produzca el dispositivo, no emita gases tóxicos y esté situado de forma que los viajeros no puedan entrar en contacto con una superficie caliente.

**7.5.2** *Equipo e instalación eléctricos*

**7.5.2.1** Todos los cables deben estar bien aislados y todos los cables y material eléctrico deben resistir las condiciones de temperatura y humedad a las que están expuestos. En cuanto al compartimiento del motor, se prestará especial atención a su resistencia a la temperatura ambiente y a los efectos de todos los posibles productos contaminantes.

**7.5.2.2** Ninguno de los cables utilizados en los circuitos eléctricos deben transmitir una corriente de intensidad superior a la admisible para el cable en cuestión. Habida cuenta de su forma de montaje y de la temperatura ambiente máxima.

**7.5.2.3** Cada circuito eléctrico que alimente un elemento del sistema distinto del motor de arranque, el circuito de encendido ( encendido por chispa), las bujías de incandescencia, el dispositivo de parada del motor, el circuito de carga y la conexión a tierra de la batería, deben estar provisto de un fusible o de un disyuntor. No obstante, podrán ir protegidos por un fusible o un disyuntor comunes, siempre que su potencia nominal no sobrepase los 16 A.

**7.5.2.4** Todos los cables deben ir bien protegidos y firmemente fijados, de manera que no puedan ser dañados por cortes, abrasiones o roces.

**7.5.2.5** Cuando la tensión eficaz supere los 100 voltios en uno o más de los circuitos eléctricos de un vehículo, se conectará un conmutador manual de aislamiento, capaz de desconectar dichos circuitos de la alimentación eléctrica principal, a todos los polos que no vayan conectados eléctricamente a tierra, situándolo en el interior del vehículo de modo que el conductor pueda acceder fácilmente a él, todo ello, siempre que dicho conmutador de asilamiento no pueda desconectar ninguno de los circuitos eléctricos que alimentan las luces exteriores obligatorias del vehículo. No obstante esto no será aplicable cuando se trate de circuitos de encendido de alta tensión o de circuitos autónomos incorporados a un elemento de equipo en el vehículo.

**7.5.2.6** Todos los cables eléctricos deben estar colocados de tal forma que ninguna parte de los mismos pueda entrar en contacto con ningún tubo de carga de combustible ni con ninguna parte del sistema de escape, ni pueda estar sometida a calor excesivo, a menos que vayan provistos de aislamiento y protección especial, por ejemplo en el caso de una válvula de escape solenoide.

**7.5.3** *Baterías*

**7.5.3.1** Todas las baterías deben estar sólidamente fijadas y fácilmente accesibles.

**7.5.3.2** El compartimento de las baterías estará separado del habitáculo destinado a los viajeros y del habitáculo del conductor y contará con ventilación por aire del exterior.

**7.5.3.3** Los polos de la batería irán provistos de protección contra el riesgo de cortocircuito.

## APENDICE Z

### Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

| | |
|---|---|
| Código de Práctica Ecuatoriano CPE INEN 03:1989 | *Código de Dibujo Técnico Mecánico.* |
| Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1155:2008 | *Vehículos automotores. Dispositivos para mantener o mejorar la visibilidad. Primera Revisión.* |
| Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1669:1990 | *Vidrios de seguridad para automotores. Requisitos.* |
| Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 3833:2008 | *Vehículos automotores. Tipos. Términos y definiciones. Primera Revisión.* |
| Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE 034:2008 | *Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores.* |

Reglamento a la Ley de Tránsito y Transporte Terrestre.

ASTM E 162 Standard Test Method for Surface Flammability of Materials Using a Radiant Heat Energy Source.

AWS D1.2 Structural Welding Code- Aluminium.

AWS D1.3 Structural Welding Code- Sheet Steel.

AWS D1.6 Structural Welding Code- Stainless Steel.

AWS D8.8M. Specification for Automotive weld quality-Arc Welding of Steel.

AWS D8.14M/D8.14. Specification for automotive and light truck components weld quality aluminium arc welding.

Directiva Europea: Directiva 98/12/CE de la Comisión del 27 de enero de 1998 por la que se adapta al progreso técnico la Directiva 71/320/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre los dispositivos de frenado de determinadas categorías de vehículos a motor y sus remolques.

Directiva Europea: Directiva 2001/85/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 20 de noviembre del 2001, relativa a las disposiciones especiales aplicables a los vehículos utilizados para el transporte de viajeros con más de ocho plazas además del asiento del conductor, y por la que se modifican las Directivas 70/156/CEE y 97/27/CE.

FMVSS 212. Federal Motors Vehicles Safety Standard 212. Windshield Mounting.

ISO 3795. Road Vehicles, and tractors and machinery for agriculture and forestry. Determination of burning behaviour of interior materials.

Norma 3.1-IC: *Trazado*. O.M. de 27 de diciembre de 1999. Boletín Oficial del Estado, número 28, de 2 de febrero de 2000.MINISTERIO DE FOMENTO (2000) Madrid.

Regulation 66. Uniform Provisions Concerning the Approval of Large Passenger Vehicles with Regard to the Strength of their Superstructure

Specification for Structural Steel Buildings. American Institute Steel Construction.

North American Specification for the design of Cold Formed Steel-Structural Members. American Iron and Steel Institute.

### Z.2 BASES DE ESTUDIO

Regulation 36. Uniform Provisions Concerning the Approval of Large Passenger Vehicles with Regard to their General Construction.

## INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

| **Documento:** NTE INEN 1 323 Primera Revisión | **TÍTULO: VEHÍCULOS AUTOMOTORES. CARROCERIAS DE BUSES. REQUISITOS** | **Código:** **MC 01.01-401** |
|---|---|---|

| ORIGINAL: | REVISIÓN: |
|---|---|
| Fecha de iniciación del estudio: 2007-06 | Fecha de aprobación anterior por Consejo Directivo 1985-07-05<br>Oficialización con el Carácter de Obligatoria<br>Por Acuerdo No. 545 de 1985-07-31<br>publicado en el Registro Oficial No. 260(s) de 1985-08-29<br><br>Fecha de iniciación del estudio: 2007-06 |

Fechas de consulta pública: de a

Subcomité Técnico: Carrocerías de buses
Fecha de iniciación: 2008-04-22 Fecha de aprobación: 2008-07-15
Integrantes del Subcomité Técnico:

| **NOMBRES:** | **INSTITUCIÓN REPRESENTADA:** |
|---|---|
| Ing. Alexis Ortiz, (Presidente) | CIMEPI |
| Ing. Christian Villacrés | IBIMCO |
| Ing. Santiago Mena | CIMEPI |
| Sr. Luis A. Mosquera T. | IMETAM C.A |
| Sr. Pedro Santos | COOPERATIVA ARTESANAL DE PRODUCCIÓN DE CARROCERIAS METALICAS TUNGURAHUA-IMPEDSA. ARTESANOS |
| Sr. Raúl Ruiz Dueñas | SIKA ECUATORIANA SA |
| Sr. Johnny Lowndes | AUTEC S.A. |
| Ing. Ángel Portilla | EPN-CCICEV |
| Sr. Carlos Jácome | SERMAN |
| Sr. Iván Paredes | CINAE |
| Ing. Lenin Jimenez | I. MUNICIPIO DE LOJA- UMTTT-L |
| Sr. Medardo Cepeda | CEPEDA CIA LTDA |
| Sr. Ricardo Medina | AEADE |
| Ing. James Casteline | METROVIA |
| Arq. Vinicio Manzano | DIRECCIÓN NACIONAL DE TRÁNSITO |
| Sr. Luis Patricio Pérez | METÁLICAS PAPER´S |
| Sr. Robert Velasco | ESPE |
| Sr. Jorge Enrique Salgado. | LA CASA DEL PARABRISAS Y VIDRIERIA J.S |
| Sr. Carlos Laniano | ALUVID VENTANAS |
| Sr. Raúl Morales | CHARLIE AUTOGLASS- CRISETSA |
| Ing. Pedro Cabrera | UMT-CUENCA |
| Sbte. Luis Palacios | DIRECCION NACIONAL DE TRANSITO Y TRANSPORTE TERRESTRE |
| Sr. Jorge Ledesma | ATTE |
| Sr. Bladimir Pico | PICOSA-CANFAC |
| Ing. Luigi M. Lertora Velarde | CIMEG-COLEGIO DE ING. MEC. DEL |
| Sr. Rubén Román | GUAYAS |
| Sr. Francisco Borja | DINA-VOLKSWAGEN |
| Sr. Moisés Flores | COVIAL |
| Ing. Jorge Álvarez | FAIRIS C.A. |
| Sr. Vicente Chávez | CORPAIRE |
| | CÁMARA DE TRANSPORTE – TRANSPORTES |
| Sr. Carlos Carchi | SAN CRISTOBAL |
| Ing. Jorge Cevallos | GLASSUIT LOJA |
| Sr. Carlos Pillapa | D.N.T. |
| Ing. José Sánchez López | CARROCERIAS PILLAPA |
| | STARMOTORS |

| | |
|---|---|
| Ing. Marco Grijalva | GM OBB |
| Ing. Víctor Paredes | MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚLICAS |
| Ing. Elizabeth Guamán | CCICEV |
| Sr. Francisco Velasco | MOVIMIENTO JUSTICIA VIAL |
| Lcda. Piedad Aguilar | CANFAC |
| Ing. Geovany Novillo A | ESPOCH- FACULTAD INGENIERIA. MECÁNICA- |
| Sr. Clemente Ponce | AEADE |
| Sr. Víctor Jimenez | COVIAL |
| Ing. Flavio Cotacachi | CONSEJO NACIONAL DE TRANSITO Y TRANSPORTE TERRESTRE |
| Ing. Patricio Lara | CCICEV |
| Sr. Marco García | ATTE ASOCIACIÓN TRANSPORTE TURÍSTICO DEL ECUADOR |
| Ing. Pablo Viteri | NEOHYUNDAI |
| Ing. Alvaro Meza | CARROCERIAS PATRICIO CEPEDA |
| Srta. Myriam Salgado | LA CASA DEL PARABRISAS |
| Ing. Santiago Benavides | CIMEPI |
| Ing. John A. Quintana I. | CIMEG |
| Ing. Diego Dávila | ANETA |
| Dr. Freddy Sánchez | POLISAN |
| Ing. Santiago Vargas | VARMA S.A. |
| Ing. Carlos Landires | COLEGIO DE INGENIEROS MECANICOS DEL GUAYAS-CIMEG |
| Ing. Galo Espín | CRILAMIT S.A. |
| Ing. Ángel Tierra | ESPOCH-FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA |
| Sr. Julio Llerena | CARROCERIAS JC LLERENA |
| Ing. Santiago Montero | SIKA |
| Ing. José Miranda | MIRAL |
| Ing. Santiago Moya | PICOSA |
| Sra. América Núñez | CARROCERIAS CUENCA |
| Ing. Antonio Chamorro | EMSAT |
| Sr. Marcelo Valencia r | DINA S.A. |
| Tlgo. Daniel Mosquera | IMETAM |
| Ing. Juan Revelo | ROOFTEC ECUADOR S.A. |
| Sr. Damián Llerena | CARROCERIAS JC LLERENA |
| Ing. Hugo Paredes, (Secretario Técnico) | INEN |

Otros trámites:

El Directorio del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2008-11-28

Oficializada como: Obligatoria Por Resolución No. 142-2009 de 2009-01-29
Registro Oficial No. 519 de 2009-02-02

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815
Dirección General: E-Mail:furresta@inen.gov.ec
Área Técnica de Normalización: E-Mail:normalizacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Certificación: E-Mail:certificacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Verificación: E-Mail:verificacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail:inencati@inen.gov.ec
Regional Guayas: E-Mail:inenguayas@inen.gov.ec
Regional Azuay: E-Mail:inencuenca@inen.gov.ec
Regional Chimborazo: E-Mail:inenriobamba@inen.gov.ec
URL:www.inen.gov.ec

**Anexo C1** Extraxto de archivo de texto para el Solver de Ls-Dyna para a la simulación del ensayo de tracción

```
*KEYWORD
*TITLE

$           Created with ANSYS Workbench v13.0  Beta
$
$           Units: mm, tonne, s, N, K
$
*DATABASE_FORMAT
$  1IFORM  2IBINARY
      0
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                    NODE DEFINITIONS                    $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*NODE
$  1NID          2X          3Y          4Z    5TC    6RC
    1          0         230          -5
----------------------------------------------
----------------------------------------------
   618          0         510          -6
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                   ELEMENT DEFINITIONS                  $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*ELEMENT_SHELL
$  1EID   2PID     N1     N2     N3     N4
    1      1    615    349    563     11
   510     1    202      2    287    196
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                   SECTION DEFINITIONS                  $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*SECTION_SHELL
$  1SECID  2ELFORM    3SHRF    4NIP   5PROPT  6QR/IRID   7ICOMP   8SETYP
      1      16 0.833333       3
$    1T1      2T2      3T3      4T4    5NLOC   6MAREA    7IDOF   8EDGSET
      2       2       2       2
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                   MATERIAL DEFINITIONS                 $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY
$     MID       RO        E       PR      SIG     ETAN     FAIL
      1 7.890E-09 2.000E+05 3.000E-01 2.100E+02 0.000E+00    0.440
$      C        P     LCSS
    40.0        5        0
$ (EPS) effective plastic strain vs efftive stress (ES)
     0.0    0.013     0.03    0.111     0.22    0.330    0.416     0.869
     210     210    285.2    333.8    336.2   440.43     347       0
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                    PARTS DEFINITIONS                   $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*PART
$  HEADING
Part 1
$    1PID   2SECID    3MID   4EOSID    5HGID    6GRAV   7ADPORT    8TMID
      1       1       1       0       0
$
```

```
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                    LOAD DEFINITIONS                    $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*DEFINE_CURVE
$   1LCID    2SIDR     3SFA     4SFO    5OFFA    6OFFO   7DATTYP
     1
$             1A             2O
              0          1e+008
            0.5          1e+008
              5          1e+008
*DEFINE_CURVE
$   1LCID    2SIDR     3SFA     4SFO    5OFFA    6OFFO   7DATTYP
     2
$             1A             2O
              0              0
           0.01        1.39149
           0.02        2.78298
           0.03        4.17447
           0.04        5.56596
           0.05        6.95745
           0.06        8.34894
           0.07        9.74043
           0.08        11.1319
           0.09        12.5234
            0.1        13.9149
           0.11        15.3064
           0.12        16.6979
           0.13        18.0894
           0.14        19.4809
           0.15        20.8723
           0.16        22.2638
           0.17        23.6553
           0.18        25.0468
           0.19        26.4383
            0.2        27.8298
           0.21        29.2213
           0.22        30.6128
           0.23        32.0043
           0.24        33.3957
           0.25        34.7872
           0.26        36.1787
           0.27        37.5702
           0.28        38.9617
           0.29        40.3532
            0.3        41.7447
           0.31        43.1362
           0.32        44.5277
           0.33        45.9192
           0.34        47.3106
           0.35        48.7021
           0.36        50.0936
           0.37        51.4851
           0.38        52.8766
           0.39        54.2681
            0.4        55.6596
           0.41        57.0511
           0.42        58.4426
           0.43         59.834
           0.44        61.2255
           0.45         62.617
           0.46        64.0085
           0.47           65.4
           0.48        66.7915
           0.49         68.183
            0.5        69.5745
              5        69.5745
```

```
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                     CONTROL OPTIONS                     $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*CONTROL_TERMINATION
$  1ENDTIM   2ENDCYC   3DTMIN   4ENDENG   5ENDMAS
     0.5  10000000     0.01       10        0
*CONTROL_TIMESTEP
$  1DTINIT   2TSSFAC    3ISDO   4TSLIMT    5DT2MS    6LCTM    7ERODE    8MS1ST
       0      0.9        0        0        1        1        0
*CONTROL_HOURGLASS
$     1IHQ       2QH
       1      0.1
*CONTROL_BULK_VISCOSITY
$      1Q1       2Q2     3TYPE
     1.5     0.06       -2
*CONTROL_SHELL
$  1WRPANG   2ESORT    3IRNXX   4ISTUPD   5THEORY     6BWC    7MITER    8PROJ
      20        1       -2        4        2        1        1        1
*DAMPING_GLOBAL
$    1LCID   2VALDMP     3STX      4STY      5STZ      6SRX      7SRY      8SRZ
       0        0
*CONTROL_ENERGY
$    1HGEN     2RWEN   3SLNTEN    4RYLEN
       2        1        2        2
*CONTROL_ACCURACY
$     1OSU      2INN   3PIDOSU
       1        4
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                       TIME HISTORY                      $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*DATABASE_GLSTAT
$      1DT   2BINARY     3LCUR    4IOOPT    5DTHFF    6BINHF
0.00980392
*DATABASE_MATSUM
$      1DT   2BINARY     3LCUR    4IOOPT    5DTHFF    6BINHF
0.00980392
*DATABASE_NODOUT
$      1DT   2BINARY     3LCUR    4IOOPT    5DTHFF    6BINHF
0.00980392
*DATABASE_ELOUT
$      1DT   2BINARY     3LCUR    4IOOPT    5DTHFF    6BINHF
0.00980392
*DATABASE_BINARY_D3PLOT
$      1DT     2LCDT     3BEAM    4NPLTC
0.00980392
*DATABASE_BINARY_RUNRSF
$      1DT       2NR
    5000
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                        LIST SETS                        $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*SET_NODE_LIST
$     1SID      2DA1      3DA2      4DA3      5DA4
       1
$    1NID1     2NID2     3NID3     4NID4     5NID5     6NID6     7NID7     8NID8
       1        2        5        6        7        8        9       10
     281      282      283      284      285      286      287      288
     289      290
*SET_NODE_LIST
```

```
$   1SID    2DA1    3DA2    4DA3    5DA4
     2
$   1NID1   2NID2   3NID3   4NID4   5NID5   6NID6   7NID7   8NID8
     3      4      11      12      13      14      15      16
    347     348     349     350     351     352     345     346
    353     354     355     356     357     358     359     360
    361     362     363     364     365     366     367     368
    369     370     371     372     373     374     375     376
    377     378     379     380     381     382     383     384
    385     386     387     388     389     390     391     392
    393     394     395     396     397     398     399     400
    401     402     403     404     405     406     407     408
    409     410     411     412     413     414     415     416
    417     418     419     420     421     422     423     424
    425     426     427     428     429     430     431     432
    437     438     439     440     433     434     435     436
    441     442     443     444     445     446     447     448
    449     450     451     452     453     454     455     456
    457     458     459     460     461     462     463     464
    465     466     467     468     469     470     471     472
    473     474     475     476     477     478     479     480
    481     482     483     484     485     486     487     488
    489     490     491     492     493     494     495     496
    497     498     499     500     501     502     503     504
    505     506     507     508     509     510     511     512
    513     514     515     516     517     518     519     520
    521     522     523     524     525     526     527     528
    529     530     531     532     533     534     535     536
    537     538     539     540     541     542     543     544
    545     546     547     548     549     550     551     552
    553     554     555     556     557     558     559     560
    561     562     563     564     565     566     567     568
    569     570     571     572     573     574     575     576
    577     578     579     580     581     582     583     584
    585     586     587     588     589     590     591     592
    593     594     595     596     597     598     599     600
    601     602     603     604     605     606     607     608
    609     610     611     612     613     614     615     616
    617     618
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                   BOUNDARY CONDITIONS                     $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*LOAD_NODE_SET
$    1ID    2DOF    3LCID    4SF    5CID    6M1    7M2    8M3
     2      2       2   1.000      0
*BOUNDARY_SPC_SET
$   1NSID    2CID   3DOFX   4DOFY   5DOFZ   6DOFRX   7DOFRY   8DOFRZ
     1       0      1       1       1       1        1        1
*END
```

**Anexo C2** Extraxto de archivo de texto para el Solver de Ls-Dyna para a la simulación del ensayo de Flexión

```
*KEYWORD
*TITLE

$           Created with ANSYS Workbench v13.0  Release
$
$           Units: mm, tonne, s, N, K
$
*DATABASE_FORMAT
$  1IFORM  2IBINARY
     0
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                   NODE DEFINITIONS                    $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*NODE
$  1NID          2X          3Y          4Z    5TC    6RC
    1          5     -12.4358      23.4248

  2089         50          40          0
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                  ELEMENT DEFINITIONS                  $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*ELEMENT_SOLID
$  1EID   2PID    N1    N2    N3    N4    N5    N6    N7    N8
    1     1     1   127   136    82   154   168   169   163
   230     1   135   144   207   262   173   172   195   194
*ELEMENT_SOLID
$  1EID   2PID    N1    N2    N3    N4    N5    N6    N7    N8
   231     2   468   477   486   495   518   519   520   521
   460     2   485   494   639   633   524   523   540   553
*ELEMENT_SOLID
$  1EID   2PID    N1    N2    N3    N4    N5    N6    N7    N8
   461     2   369   396   510   507   405   405   511   511
   480     2   467   476   525   526   503   503   522   522
*ELEMENT_SOLID
$  1EID   2PID    N1    N2    N3    N4    N5    N6    N7    N8
   481     3   694   730   739   703   753   751   752   748
   580     3   738   796   810   820   756   768   769   764
*ELEMENT_SHELL
$  1EID   2PID    N1    N2    N3    N4
   581     4  2086  1846  1180   874
  1780     4  1122   875  1114  1113
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                  SECTION DEFINITIONS                  $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*SECTION_SOLID
$  1SECID  2ELFORM    3AET
     1       1
*SECTION_SOLID
$  1SECID  2ELFORM    3AET
     2       1
*SECTION_SOLID
$  1SECID  2ELFORM    3AET
     3       1
*SECTION_SHELL
$  1SECID  2ELFORM    3SHRF    4NIP   5PROPT  6QR/IRID   7ICOMP   8SETYP
```

```
       4       16  0.833333        3
$     1T1      2T2      3T3      4T4     5NLOC    6MAREA     7IDOF   8EDGSET
       3        3        3        3
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                       MATERIAL DEFINITIONS                        $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*MAT_ELASTIC
$    1MID      2RO       3E      4PR      5DA      6DB       7K
       1 7.85e-009    2000000000       0.3
$
*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY
$     MID       RO        E       PR      SIG      ETAN      FAIL
       1 7.890E-09 2.000E+05 3.000E-01 2.100E+02 0.000E+00     0.440
$       C        P     LCSS
    40.0        5        0
$ (EPS) effective plastic strain vs efftive stress (ES)
     0.0     0.013      0.03     0.111      0.22     0.330     0.416      0.869
     210       210     285.2     333.8     336.2    440.43       347        0
$*MAT_ELASTIC
$    1MID      2RO       3E      4PR      5DA      6DB       7K
$        2 7.75e-009    193000     0.31
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                         PARTS DEFINITIONS                         $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*PART
$  HEADING
Part 1
$    1PID    2SECID     3MID    4EOSID     5HGID     6GRAV   7ADPORT     8TMID
       1        1        1        0        0
*PART
$  HEADING
Part 2
$    1PID    2SECID     3MID    4EOSID     5HGID     6GRAV   7ADPORT     8TMID
       2        2        1        0        0
*PART
$  HEADING
Part 3
$    1PID    2SECID     3MID    4EOSID     5HGID     6GRAV   7ADPORT     8TMID
       3        3        1        0        0
*PART
$  HEADING
Part 4
$    1PID    2SECID     3MID    4EOSID     5HGID     6GRAV   7ADPORT     8TMID
       4        4        2        0        0
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                          LOAD DEFINITIONS                         $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*DEFINE_CURVE
$   1LCID    2SIDR     3SFA     4SFO    5OFFA     6OFFO   7DATTYP
       1
$              1A                 2O
                0             1e+008
              0.5             1e+008
                5             1e+008
*DEFINE_CURVE
$   1LCID    2SIDR     3SFA     4SFO    5OFFA     6OFFO   7DATTYP
       2
$              1A                 2O
                0                  0
```

```
          0.01          -17.3905
          0.02          -34.7809
          0.03          -52.1714
          0.04          -69.5618
          0.05          -86.9523
          0.06          -104.343
          0.07          -121.733
          0.08          -139.124
          0.09          -156.514
           0.1         -173.905
          0.11          -191.295
          0.12          -208.685
          0.13          -226.076
          0.14          -243.466
          0.15          -260.857
          0.16          -278.247
          0.17          -295.638
          0.18          -313.028
          0.19          -330.419
           0.2         -347.809
          0.21            -365.2
          0.22           -382.59
          0.23           -399.98
          0.24          -417.371
          0.25          -434.761
          0.26          -452.152
          0.27          -469.542
          0.28          -486.933
          0.29          -504.323
           0.3         -521.714
          0.31          -539.104
          0.32          -556.495
          0.33          -573.885
          0.34          -591.275
          0.35          -608.666
          0.36          -626.056
          0.37          -643.447
          0.38          -660.837
          0.39          -678.228
           0.4         -695.618
          0.41          -713.009
          0.42          -730.399
          0.43           -747.79
          0.44           -765.18
          0.45           -782.57
          0.46          -799.961
          0.47          -817.351
          0.48          -834.742
          0.49          -852.132
           0.5         -869.523
             5         -869.523
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                    CONTACT DEFINITIONS                    $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*CONTACT_TIED_SURFACE_TO_SURFACE_OFFSET
$   1SSID    2MSID    3SSTYP    4MSTYP   5SBOXID   6MBOXID     7SPR     8MPR
      3        4        0        0                    1        1
$     1FS      2FD      3DC      4VC      5VDC   6PENCHK      7BT      8DT

$    1SFS     2SFM     3SST     4MST    5SFST     6SFMT     7FSF     8VSF
             -8.333e-5 -8.333e-5
$   1SOFT   2SOFSCL   3LCIDAB   4MAXPAR    5SBOPT    6DEPTH    7BSORT   8FRCFRQ
      2                             3        5
*CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE
$   1SSID    2MSID    3SSTYP    4MSTYP   5SBOXID   6MBOXID     7SPR     8MPR
```

```
     5      6      0      0                1      1
$    1FS     2FD     3DC     4VC    5VDC  6PENCHK     7BT     8DT
    0.3     0.3      0      0      10
$    1SFS    2SFM    3SST    4MST   5SFST   6SFMT    7FSF    8VSF

$   1SOFT  2SOFSCL  3LCIDAB  4MAXPAR   5SBOPT   6DEPTH   7BSORT  8FRCFRQ
     2                     3      5
*CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE
$   1SSID   2MSID   3SSTYP   4MSTYP  5SBOXID  6MBOXID    7SPR    8MPR
     7      8      0      0                1      1
$    1FS     2FD     3DC     4VC    5VDC  6PENCHK     7BT     8DT
    0.3     0.3      0      0      10
$    1SFS    2SFM    3SST    4MST   5SFST   6SFMT    7FSF    8VSF

$   1SOFT  2SOFSCL  3LCIDAB  4MAXPAR   5SBOPT   6DEPTH   7BSORT  8FRCFRQ
     2                     3      5
*CONTACT_AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE
$   1SSID   2MSID   3SSTYP   4MSTYP  5SBOXID  6MBOXID    7SPR    8MPR
     0      0      5      0                1      1
$    1FS     2FD     3DC     4VC    5VDC  6PENCHK     7BT     8DT
     0      0      0      0      10
$    1SFS    2SFM    3SST    4MST   5SFST   6SFMT    7FSF    8VSF

$   1SOFT  2SOFSCL  3LCIDAB  4MAXPAR   5SBOPT   6DEPTH   7BSORT  8FRCFRQ
     2                     3      5
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                    CONTROL OPTIONS                    $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*CONTROL_TERMINATION
$ 1ENDTIM  2ENDCYC   3DTMIN  4ENDENG  5ENDMAS
    0.5  10000000     0.01      10       0
*CONTROL_TIMESTEP
$ 1DTINIT  2TSSFAC   3ISDO  4TSLIMT   5DT2MS   6LCTM   7ERODE   8MS1ST
     0     0.9       0      0      0      1      1       0
*CONTROL_HOURGLASS
$    1IHQ     2QH
     1     0.1
*CONTROL_BULK_VISCOSITY
$    1Q1     2Q2    3TYPE
    1.5    0.06      -2
*CONTROL_CONTACT
$ 1SLSFAC  2RWPNAL  3ISLCHK  4SHLTHK  5PENOPT  6THKCHG   7ORIEN  8ENMASS
     0      0       1       1       1       0       2       0
$ 1USRSTRC  2USRFRC   3NSBCS  4INTERM   5XPENE   6SSTHK    7ECDT  8TIEDPRJ

$  1SFRIC   2DFRIC    3EDC    4VFC     5TH   6TH_SF  7PEN_SF

$ 1IGNORE  2FRCENG  3SKIPRWG  4OUTSEG  5SPOTSTP  6SPOTDEL 7SPOTTHIN
     2      0       0       1       0       1     0.5
*CONTROL_SHELL
$ 1WRPANG   2ESORT   3IRNXX  4ISTUPD  5THEORY    6BWC   7MITER    8PROJ
    20       1      -2       4       2       1       1       1
*CONTROL_SOLID
$  1ESORT  2FMATRX  3NIPTETS  4SWLOCL
     1
*DAMPING_GLOBAL
$   1LCID  2VALDMP    3STX    4STY    5STZ    6SRX    7SRY    8SRZ
     0      0
*CONTROL_ENERGY
$   1HGEN    2RWEN  3SLNTEN   4RYLEN
     2       1       2       2
*CONTROL_ACCURACY
$    1OSU     2INN  3PIDOSU
     1       4
$
```

```
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                         TIME HISTORY                         $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*DATABASE_GLSTAT
$    1DT  2BINARY    3LCUR    4IOOPT    5DTHFF    6BINHF
 0.0102041
*DATABASE_MATSUM
$    1DT  2BINARY    3LCUR    4IOOPT    5DTHFF    6BINHF
 0.0102041
*DATABASE_NODOUT
$    1DT  2BINARY    3LCUR    4IOOPT    5DTHFF    6BINHF
 0.0102041
*DATABASE_ELOUT
$    1DT  2BINARY    3LCUR    4IOOPT    5DTHFF    6BINHF
 0.0102041
*DATABASE_BINARY_D3PLOT
$    1DT    2LCDT    3BEAM    4NPLTC
 0.0102041
*DATABASE_BINARY_RUNRSF
$    1DT      2NR
    5000
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                         LIST SETS                         $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*SET_NODE_LIST
$   1SID     2DA1     3DA2     4DA3     5DA4
       1
$   1NID1    2NID2    3NID3    4NID4    5NID5    6NID6    7NID7    8NID8
     188      189      190      191      192      193      194      195
     682      683      684      685      686      687      688      689
     690      691      692      693
*SET_NODE_LIST
$   1SID     2DA1     3DA2     4DA3     5DA4
       2
$   1NID1    2NID2    3NID3    4NID4    5NID5    6NID6    7NID7    8NID8
     760      761      762      763      764      765      766      767
     770      771      772      773      774      775      768      769
     776      777      778      779      780      781      782      783
     784      785      786      787      788      789      790      791
     792      793      794      795      796      797      798      799
     800      801      802      803      804      805      806      807
     808      809      810      811      812      813      814      815
     816      817      818      819      820      821      822      823
     824      825      826      827      828      829      830      831
     832      833      834      835      836      837      838      839
     840      841      842      843      844      845      846      847
     848      849      850      851      852      853      854      855
     860      861      862      863      856      857      858      859
     864      865      866      867      868      869
*SET_SEGMENT
$   1SID     2DA1     3DA2     4DA3     5DA4
       3
$    1N1      2N2      3N3      4N4      5A1      6A2      7A3      8A4
     810      820      764      769

     865      800      801      864
*SET_SEGMENT
$   1SID     2DA1     3DA2     4DA3     5DA4
       4
$    1N1      2N2      3N3      4N4      5A1      6A2      7A3      8A4
    1845     1543     1782      877

    1786      870     1484     1778
```

```
*SET_SEGMENT
$    1SID     2DA1     3DA2     4DA3     5DA4
      5
$     1N1      2N2      3N3      4N4      5A1      6A2      7A3      8A4
     262      282      193      194
     336      272      273      335
*SET_SEGMENT
$    1SID     2DA1     3DA2     4DA3     5DA4
      6
$     1N1      2N2      3N3      4N4      5A1      6A2      7A3      8A4
    1118      878     1239      871


    1122      875     1114     1113
*SET_SEGMENT
$    1SID     2DA1     3DA2     4DA3     5DA4
      7
$     1N1      2N2      3N3      4N4      5A1      6A2      7A3      8A4
     614      634      545      546

     687      625      626      681
     688      624      625      687
*SET_SEGMENT
$    1SID     2DA1     3DA2     4DA3     5DA4
      8
$     1N1      2N2      3N3      4N4      5A1      6A2      7A3      8A4
    1118      878     1239      871
    1122      875     1114     1113
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                         BOUNDARY CONDITIONS                         $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*LOAD_NODE_SET
$     1ID     2DOF    3LCID      4SF     5CID      6M1      7M2      8M3
       2        2        2    1.000        0
*BOUNDARY_SPC_SET
$   1NSID     2CID    3DOFX    4DOFY    5DOFZ   6DOFRX   7DOFRY   8DOFRZ
       1        0        1        1        1        1        1        1
*END
```

**Anexo C3** Extraxto de archivo de texto para el Solver de Ls-Dyna para a la simulación del ensayo de Flexión de una sección del pórtico

```
*KEYWORD
*TITLE

$         Created with ANSYS Workbench v13.0  Beta
$
$         Units: mm, tonne, s, N, K
$
*DATABASE_FORMAT
$  1IFORM  2IBINARY
     0
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                 NODE DEFINITIONS                 $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*NODE
$  1NID        2X         3Y        4Z   5TC   6RC
  2829     168.074     157.227      -225
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                ELEMENT DEFINITIONS                 $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*ELEMENT_SHELL
$  1EID   2PID    N1    N2    N3    N4
     1     1   118    85    84   117
  1715     2  1661  1724  1723  1662
*ELEMENT_SHELL
$  1EID   2PID    N1    N2    N3    N4
  1716     3  1784  1745  1785  1741
  1751     3  1775  1744  1774  1769
*ELEMENT_SHELL
$  1EID   2PID    N1    N2    N3    N4
  1752     4  2595  2622  2829  1791

  2771     4  2009  1801  2040  2005
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                SECTION DEFINITIONS                 $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*SECTION_SHELL
$  1SECID  2ELFORM   3SHRF   4NIP   5PROPT  6QR/IRID   7ICOMP   8SETYP
     1      16  0.833333      3
$    1T1     2T2     3T3     4T4    5NLOC   6MAREA    7IDOF   8EDGSET
     2       2       2       2
*SECTION_SHELL
$  1SECID  2ELFORM   3SHRF   4NIP   5PROPT  6QR/IRID   7ICOMP   8SETYP
     2      16  0.833333      3
$    1T1     2T2     3T3     4T4    5NLOC   6MAREA    7IDOF   8EDGSET
     3       3       3       3
*SECTION_SHELL
$  1SECID  2ELFORM   3SHRF   4NIP   5PROPT  6QR/IRID   7ICOMP   8SETYP
```

```
       3       16  0.833333        3
$     1T1      2T2      3T3      4T4     5NLOC    6MAREA     7IDOF   8EDGSET
       8        8        8        8
*SECTION_SHELL
$   1SECID   2ELFORM     3SHRF      4NIP    5PROPT  6QR/IRID    7ICOMP    8SETYP
       4       16  0.833333        3
$     1T1      2T2      3T3      4T4     5NLOC    6MAREA     7IDOF   8EDGSET
       3        3        3        3
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                        MATERIAL DEFINITIONS                          $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY
$     MID        RO         E        PR       SIG      ETAN      FAIL
       1 7.890E-09 2.000E+05 3.000E-01 2.100E+02 0.000E+00     0.440
$       C         P     LCSS
    40.0         5         0
$ (EPS) effective plastic strain vs efftive stress (ES)
     0.0     0.013      0.03     0.111      0.22     0.330     0.416      0.869
     210       210     285.2     333.8     336.2    440.43       347          0
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                         PARTS DEFINITIONS                            $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*PART
$  HEADING
Surface Body
$     1PID    2SECID      3MID    4EOSID     5HGID     6GRAV   7ADPORT     8TMID
       1        1        1        0        0
*PART
$  HEADING
Surface Body
$     1PID    2SECID      3MID    4EOSID     5HGID     6GRAV   7ADPORT     8TMID
       2        2        1        0        0
*PART
$  HEADING
Surface Body
$     1PID    2SECID      3MID    4EOSID     5HGID     6GRAV   7ADPORT     8TMID
       3        3        1        0        0
*PART
$  HEADING
Surface Body
$     1PID    2SECID      3MID    4EOSID     5HGID     6GRAV   7ADPORT     8TMID
       4        4        1        0        0
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                          LOAD DEFINITIONS                            $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*DEFINE_CURVE
$    1LCID     2SIDR      3SFA      4SFO     5OFFA     6OFFO   7DATTYP
       1
$                 1A                  2O
                   0              1e+008
                 0.2              1e+008
```

```
          2          1e+008
*DEFINE_CURVE
$   1LCID    2SIDR     3SFA     4SFO     5OFFA     6OFFO   7DATTYP
      2
$             1A               2O
             0               0
          0.01         -60.0612
          0.02         -120.122
          0.03         -180.184
          0.04         -240.245
          0.05         -300.306
          0.06         -360.367
          0.07         -420.429
          0.08          -480.49
          0.09         -540.551
           0.1         -600.612
          0.11         -660.673
          0.12         -720.735
          0.13         -780.796
          0.14         -840.857
          0.15         -900.918
          0.16          -960.98
          0.17         -1021.04
          0.18          -1081.1
          0.19         -1141.16
           0.2         -1201.22
             2         -1201.22
*DEFINE_CURVE
$   1LCID    2SIDR     3SFA     4SFO     5OFFA     6OFFO   7DATTYP
      3
$             1A               2O
             0               0
           0.2               0
             2               0
*DEFINE_CURVE
$   1LCID    2SIDR     3SFA     4SFO     5OFFA     6OFFO   7DATTYP
      4
$             1A               2O
             0               0
           0.2               0
             2               0
*DEFINE_CURVE
$   1LCID    2SIDR     3SFA     4SFO     5OFFA     6OFFO   7DATTYP
      5
$             1A               2O
             0               0
           0.2               0
             2               0
*DEFINE_CURVE
$   1LCID    2SIDR     3SFA     4SFO     5OFFA     6OFFO   7DATTYP
      6
$             1A               2O
             0               0
           0.2               0
             2               0
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                     CONTACT DEFINITIONS                      $
```

```
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*CONTACT_TIED_SURFACE_TO_SURFACE_OFFSET
$   1SSID    2MSID    3SSTYP    4MSTYP   5SBOXID   6MBOXID     7SPR      8MPR
     4       5       0       0                     1       1
$    1FS      2FD      3DC      4VC      5VDC   6PENCHK      7BT      8DT

$    1SFS     2SFM      3SST      4MST     5SFST     6SFMT      7FSF      8VSF
          -8.333e-5 -8.333e-5
$   1SOFT   2SOFSCL   3LCIDAB   4MAXPAR    5SBOPT    6DEPTH    7BSORT   8FRCFRQ
     2                             3       5
*CONTACT_TIED_SURFACE_TO_SURFACE_OFFSET
$   1SSID    2MSID    3SSTYP    4MSTYP   5SBOXID   6MBOXID     7SPR      8MPR
     6       7       0       0                     1       1
$    1FS      2FD      3DC      4VC      5VDC   6PENCHK      7BT      8DT

$    1SFS     2SFM      3SST      4MST     5SFST     6SFMT      7FSF      8VSF
          -8.333e-5 -8.333e-5
$   1SOFT   2SOFSCL   3LCIDAB   4MAXPAR    5SBOPT    6DEPTH    7BSORT   8FRCFRQ
     2                             3       5
*CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE
$   1SSID    2MSID    3SSTYP    4MSTYP   5SBOXID   6MBOXID     7SPR      8MPR
     8       9       0       0                     1       1
$    1FS      2FD      3DC      4VC      5VDC   6PENCHK      7BT      8DT
    0.3      0.3       0       0      10
$    1SFS     2SFM      3SST      4MST     5SFST     6SFMT      7FSF      8VSF

$   1SOFT   2SOFSCL   3LCIDAB   4MAXPAR    5SBOPT    6DEPTH    7BSORT   8FRCFRQ
     2                             3       5
*CONTACT_AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE
$   1SSID    2MSID    3SSTYP    4MSTYP   5SBOXID   6MBOXID     7SPR      8MPR
     0       0       5       0                     1       1
$    1FS      2FD      3DC      4VC      5VDC   6PENCHK      7BT      8DT
     0       0       0       0      10
$    1SFS     2SFM      3SST      4MST     5SFST     6SFMT      7FSF      8VSF

$   1SOFT   2SOFSCL   3LCIDAB   4MAXPAR    5SBOPT    6DEPTH    7BSORT   8FRCFRQ
     2                             3       5
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                       CONTROL OPTIONS                          $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*CONTROL_TERMINATION
$  1ENDTIM   2ENDCYC    3DTMIN   4ENDENG   5ENDMAS
    0.2  10000000     0.01      10       0
*CONTROL_TIMESTEP
$  1DTINIT   2TSSFAC     3ISDO   4TSLIMT    5DT2MS     6LCTM    7ERODE    8MS1ST
     0      0.9       0       0       0       1       1       0
*CONTROL_HOURGLASS
$    1IHQ      2QH
     1      0.1
*CONTROL_BULK_VISCOSITY
$     1Q1      2Q2     3TYPE
    1.5     0.06      -2
*CONTROL_CONTACT
$  1SLSFAC   2RWPNAL   3ISLCHK   4SHLTHK   5PENOPT   6THKCHG    7ORIEN   8ENMASS
     0       0       1       1       1       0       2       0
```

```
$ 1USRSTRC  2USRFRC   3NSBCS  4INTERM   5XPENE   6SSTHK    7ECDT  8TIEDPRJ

$  1SFRIC   2DFRIC    3EDC    4VFC     5TH   6TH_SF  7PEN_SF

$ 1IGNORE  2FRCENG  3SKIPRWG  4OUTSEG  5SPOTSTP  6SPOTDEL 7SPOTTHIN
     2       0       0       1       0       1      0.5
*CONTROL_SHELL
$ 1WRPANG   2ESORT   3IRNXX  4ISTUPD  5THEORY    6BWC   7MITER    8PROJ
    20       1      -2       4       2       1       1       1
*DAMPING_GLOBAL
$   1LCID  2VALDMP    3STX    4STY    5STZ    6SRX    7SRY    8SRZ
     0       0
*CONTROL_ENERGY
$   1HGEN    2RWEN  3SLNTEN   4RYLEN
     2       1       2       2
*CONTROL_ACCURACY
$   1OSU     2INN  3PIDOSU
     1       4
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                     TIME HISTORY                      $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*DATABASE_GLSTAT
$    1DT   2BINARY    3LCUR   4IOOPT   5DTHFF   6BINHF
0.00952381
*DATABASE_MATSUM
$    1DT   2BINARY    3LCUR   4IOOPT   5DTHFF   6BINHF
0.00952381
*DATABASE_NODOUT
$    1DT   2BINARY    3LCUR   4IOOPT   5DTHFF   6BINHF
0.00952381
*DATABASE_ELOUT
$    1DT   2BINARY    3LCUR   4IOOPT   5DTHFF   6BINHF
0.00952381
*DATABASE_BINARY_D3PLOT
$    1DT    2LCDT    3BEAM   4NPLTC
0.00952381
*DATABASE_BINARY_RUNRSF
$    1DT     2NR
    5000
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                     LIST SETS                         $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*SET_NODE_LIST
$   1SID    2DA1    3DA2    4DA3    5DA4
     1
$   1NID1   2NID2   3NID3   4NID4   5NID5   6NID6   7NID7   8NID8
    1741    1742    1743    1744    1745    1746    1747    1748
    1751    1752    1753    1754    1755    1756    1749    1750
    1757    1758    1759    1760    1761    1762    1763    1764
    1765    1766    1767    1768    1769    1770    1771    1772
    1773    1774    1775    1776    1777    1778    1779    1780
    1781    1782    1783    1784    1785    1786    1787    1788
    1789
```

```
*SET_NODE_LIST
$   1SID    2DA1    3DA2    4DA3    5DA4
     2
$   1NID1   2NID2   3NID3   4NID4   5NID5   6NID6   7NID7   8NID8
    1411    1412    1413    1414    1415    1486    1487    1488
    1589    1590    1591    1592    1677    1678    1489    1490
    1679    1680    1737    1738    1739    1740
*SET_NODE_LIST
$   1SID    2DA1    3DA2    4DA3    5DA4
     3
$   1NID1   2NID2   3NID3   4NID4   5NID5   6NID6   7NID7   8NID8
     49      50      51      52     218     219     220     221
    539     540     541     542     543     544     222     223
    955     956     957     958    1361    1364    1365    1367
*SET_SEGMENT
$   1SID    2DA1    3DA2    4DA3    5DA4
     4
$    1N1     2N2     3N3     4N4     5A1     6A2     7A3     8A4
     1      30      27      33
     2      40      41       3
    31      47       3      41
     4      32      44       5
    29      28      32       4
     5      44      45       6
     6      45      46       7
     7      46      40       2
     8      35      26       9
    36      37      35       8
     9      26      25      10
    10      25      42      11
    11      42      43      12
    12      43      30       1
     3      47      48      13
    13      48      34      14
    14      34      36       8
     1      33      39      15
    15      39      38      16
    16      38      29       4
    17       2       3      13
    17      13      14      18
    16       4       5      19
    18      14       8       9
    20      11      12      21
    21      12       1      15
    21      15      16      19
    19       5       6      22
    20      21      19      22
    23       7       2      17
    22       6       7      23
    23      17      18      24
    24      20      22      23
    20      24      10      11
    10      24      18       9
*SET_SEGMENT
$   1SID    2DA1    3DA2    4DA3    5DA4
     5
$    1N1     2N2     3N3     4N4     5A1     6A2     7A3     8A4
   2595    2622    2829    1791
   2825    1795    2339    2821
```

```
*SET_SEGMENT
$   1SID    2DA1    3DA2    4DA3    5DA4
     6
$    1N1     2N2     3N3     4N4     5A1     6A2     7A3     8A4
    1391    1389    1402    1369
    1388    1372    1373    1374
    1374    1375    1383    1388
*SET_SEGMENT
$   1SID    2DA1    3DA2    4DA3    5DA4
     7
$    1N1     2N2     3N3     4N4     5A1     6A2     7A3     8A4
    2088    1806    2013    1802
    2009    1801    2040    2005
*SET_SEGMENT
$   1SID    2DA1    3DA2    4DA3    5DA4
     8
$    1N1     2N2     3N3     4N4     5A1     6A2     7A3     8A4
    1273    1348    1347    1274
    1337    1317    1316    1336
*SET_SEGMENT
$   1SID    2DA1    3DA2    4DA3    5DA4
     9
$    1N1     2N2     3N3     4N4     5A1     6A2     7A3     8A4
    1784    1745    1785    1741
    1775    1744    1774    1769
$
$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                   BOUNDARY CONDITIONS                     $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
*LOAD_NODE_SET
$    1ID    2DOF    3LCID     4SF    5CID     6M1     7M2     8M3
     1       2       2    1.000       0
*BOUNDARY_PRESCRIBED_MOTION_SET_ID
$  1KeyID  2HEADING
     1Displacement
$    1ID    2DOF    3VAD    4LCID     5SF    6VID   7DEATH   8BIRTH
     2       2       2       3    1.000       0       0       0
*BOUNDARY_PRESCRIBED_MOTION_SET_ID
$  1KeyID  2HEADING
     2Displacement
$    1ID    2DOF    3VAD    4LCID     5SF    6VID   7DEATH   8BIRTH
     2       3       2       4    1.000       0       0       0
*BOUNDARY_PRESCRIBED_MOTION_SET_ID
$  1KeyID  2HEADING
     1Displacement 2
$    1ID    2DOF    3VAD    4LCID     5SF    6VID   7DEATH   8BIRTH
     3       2       2       5    1.000       0       0       0
*BOUNDARY_PRESCRIBED_MOTION_SET_ID
$  1KeyID  2HEADING
     2Displacement 2
$    1ID    2DOF    3VAD    4LCID     5SF    6VID   7DEATH   8BIRTH
     3       3       2       6    1.000       0       0       0
*END
```

**Anexo C4** Extraxto de archivo de texto para el Solver de Ls-Dyna para a la simulación del ensayo de vuelco de una sección dela superestrcutura

```
*KEYWORD
*CONTROL_TERMINATION
$$  ENDTIM    ENDCYC     DTMIN    ENDENG    ENDMAS
     0.2   1000000       0.0       0.0       0.0
*CONTROL_TIMESTEP
$$  DTINIT    TSSFAC      ISDO    TSLIMT     DT2MS      LCTM     ERODE     MSIST
     0.0       0.9         0       0.03.0000E-06         0         0         0
$$DATABASE_OPTION -- Control Cards for ASCII output
*DATABASE_ELOUT
     1.0         0
*DATABASE_GLSTAT
     1.0         0
*DATABASE_MATSUM
     1.0         0
*DATABASE_NODFOR
     1.0         0
*DATABASE_BINARY_D3PLOT
$$ DT/CYCL      LCDT      BEAM     NPLTC
1.0000E-03         0         0         0
       0
*NODE
     1 3082.3786426034  583.3333415775         -800.0

  28243 2426.1087333886 1700.0000249898 -583.4472312218
*MAT_ELASTIC
$HMNAME MATS      4elastic
       47.8900E-09  210000.0       0.3
*MAT_NULL
$HMNAME MATS      2ESPACIO_SUPERVIVENCIA
       27.8900E-09  210000.0       0.3
*MAT_RIGID
$HMNAME MATS      1piso
       17.8900E-09  210000.0       0.3


$
*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY
$     MID       RO        E       PR      SIG     ETAN     FAIL
       1 7.890E-09 2.000E+05 3.000E-01 2.100E+02 0.000E+00    0.440
$       C        P     LCSS
     40.0        5        0
$ (EPS) effective plastic strain vs efftive stress (ES)
     0.0    0.013     0.03    0.111     0.22    0.330    0.416     0.869
     210      210    285.2    333.8    336.2    440.43      347         0
$$$ HM Entries in Stress-Strain Curve =
*PART
$HMNAME COMPS      1TUBO_40X40X2
$HWCOLOR COMPS       1     25
1
       1       1       3       0       0       0
$HMNAME COMPS      2TUBO_50X50X2
$HWCOLOR COMPS       2      3

       2       1       3                                0
$HMNAME COMPS      3TUBO_50X50X3
$HWCOLOR COMPS       3      5
```

```
     3       2       3
$HMNAME COMPS     4ESPACIO_SUPERVIVENCIA
$HWCOLOR COMPS     4     62

     4       1       1
$HMNAME COMPS     5Z
$HWCOLOR COMPS     5     4

     5       1       3
$HMNAME COMPS     6T100X50X3
$HWCOLOR COMPS     6     22

     6       2       3
$HMNAME COMPS     7U50X25X2
$HWCOLOR COMPS     7     28

     7       1       3
$HMNAME COMPS     8PISO
$HWCOLOR COMPS     8     52

     8       1       1
$HMNAME COMPS     9T70X50X3
$HWCOLOR COMPS     9     48

     9       2       3
$HMNAME COMPS     10ZOCALO
$HWCOLOR COMPS     10     20

    10       1       3
$HMNAME COMPS     11CHASIS
$HWCOLOR COMPS     11     37

    11       3       3
$HMNAME COMPS     12soprte_espacio_super
$HWCOLOR COMPS     12     53

    12       4       4
$HMBEAMSEC SECBEAMASSOC        4     1
*SECTION_BEAM
$HMNAME PROPS     4seccion_beam
     4       2
SECTION_05     50.0      2.0     50.0      2.0
*SECTION_SHELL
$HMNAME PROPS     12mm
     1      16 0.8333333       3
    2.0      2.0      2.0      2.0
*SECTION_SHELL
$HMNAME PROPS     23mm
     2      16  0.83333       3
    3.0      3.0      3.0      3.0
*SECTION_SHELL
$HMNAME PROPS     38mm
     3      16  0.833333       3
    8.0      8.0      8.0      8.0
*INITIAL_VELOCITY_GENERATION
$HMNAME LOADCOLS      1VELOCIDAD_INICIAL
$HWCOLOR LOADCOLS     1     11
     1       1     -3.81
```

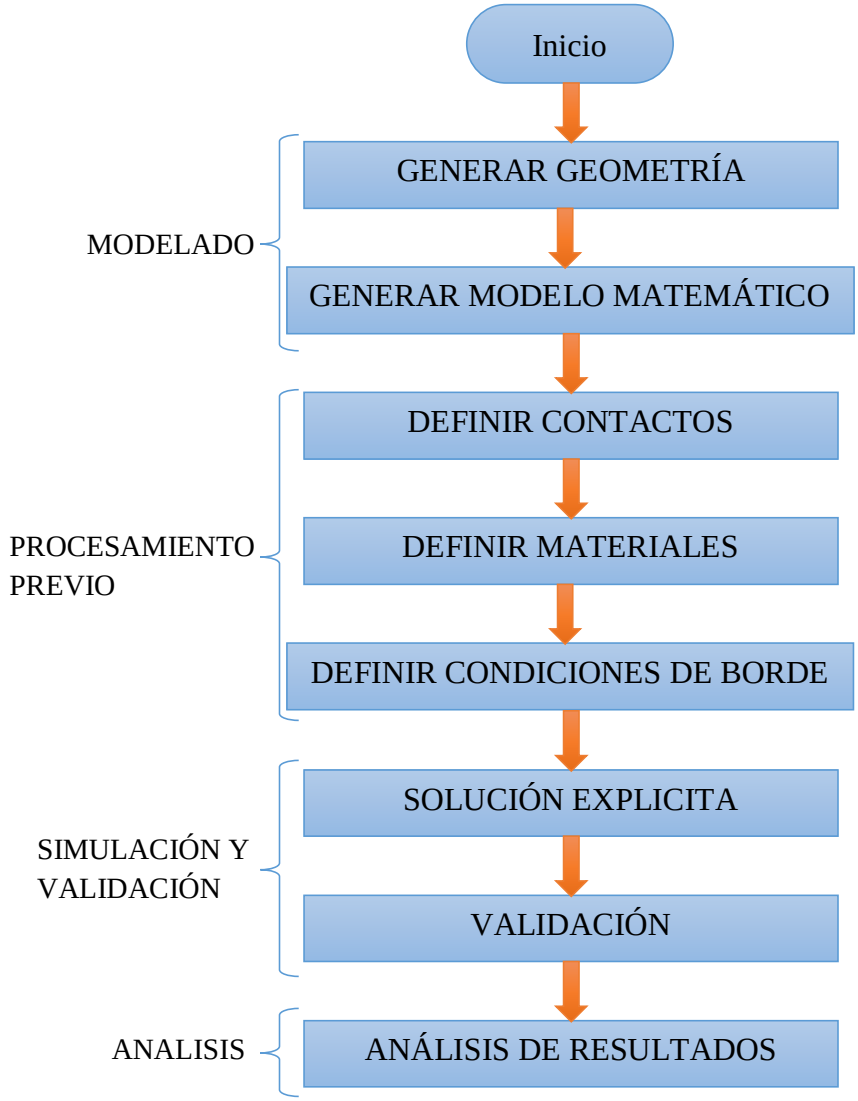
```
    0.0      0.0      0.0      0.0     -1.0      0.0
*CONTACT_AUTOMATIC_GENERAL_ID
$HMNAME GROUPS      1contacto
$HWCOLOR GROUPS      1     11
      1
      2              2
    0.15     0.15      0.1             20.0

*ELEMENT_BEAM
  27595     12    268   16112    5254
  27596     12    308   16151   16482
  27597     12    296   15833   14701
  27598     12    274   15798   14729
 159199     12    268   10362   10363
 159201     12    274    8446    7677
*ELEMENT_SHELL
     1      1   20226    7497   20225   20225
  27594     11   23756   23755   23751   23757
$$
$$ Sets Defined In HyperMesh
$$
*SET_NODE_LIST
$HMSET
$HMNAME SETS      3nodosfijos
      3
     66      91     107     112     153     161     167     175
$$
$$ Sets Defined In HyperMesh
$$
*SET_PART_LIST
$HMSET
$HMNAME SETS      1arco
      1
      1      2      3      5      6      7      9     10
     11
*SET_PART_LIST
$HMSET
$HMNAME SETS      2contancto
      2
      1      2      3      5      6      7      8      9
     10      11
*BOUNDARY_SPC_NODE
$HMNAME LOADCOLS      1VELOCIDAD_INICIAL
$HWCOLOR LOADCOLS      1     11
     66              1      1      1      1      1      1
     91              1      1      1      1      1      1
    107              1      1      1      1      1      1
    112              1      1      1      1      1      1
    153              1      1      1      1      1      1
    161              1      1      1      1      1      1
    167              1      1      1      1      1      1
    175              1      1      1      1      1      1
*END
$HMNAME BEAMSECTCOLS         1auto1
$HMNAME BEAMSECTS
$HMCONT       1      1t50x50x2
$HMCONT       2      7      1      01.0     1.0     0.0     0.0     0.0
$HMCONT 0.0          9
$HMNAME BEAMSECTS  BEAMSECTIONSTANDARD        0      6      0Tubular box
```

```
$HMNAME BEAMSECTS  BEAMSECTIONSTANDARD  PARAMETERS     2.0    0.5    2.0
$HMNAME BEAMSECTS  BEAMSECTIONSTANDARD  PARAMETERS    50.0   10.0   50.0
$HMNAME BEAMSECTS  BEAMSECTIONSTANDARD  PARAMETERS    50.0   10.0   50.0
$HMNAME BEAMSECTS  BEAMSECTIONSTANDARD  PARAMETERS     2.0    0.5    0.5
$HMNAME BEAMSECTS  BEAMSECTIONSTANDARD  PARAMETERS     2.0    0.5    0.5
$HMNAME BEAMSECTS  BEAMSECTIONSTANDARD  PARAMETERS     2.0    0.5    0.5
$HMNAME BEAMSECTS  END
```

**Anexo C5** Procedimiento de simulación del ensayo de vuelco

El procedimiento general que se utiliza en para la realización del ensayo de vuelco utilizando los software Ansys Ls-Dyna se muestra en el siguiente diagrama de flujo. La simulación mediante elementos finitos, consta de cuatro etapas fundamentales que son el modelado, procesamiento previo, simulación y validación, y el análisis de resultados.



**MODELADO.**

Es uno de los primeros pasos y consta de dos actividades principales que son:

**a) Generación de la geometría**. En esta actividad se dibuja la geometría de la sección de la superestructura, para lo cual se puede utilizar un software CAD o utilizamos el graficador ANSYS DesignModeler el cual posee la herramientas necesarias para dibujar la geometría, se recomienda dibujar todos los componentes de la sección de la superestructura con superficies como se muestra en la Figura C5. 1

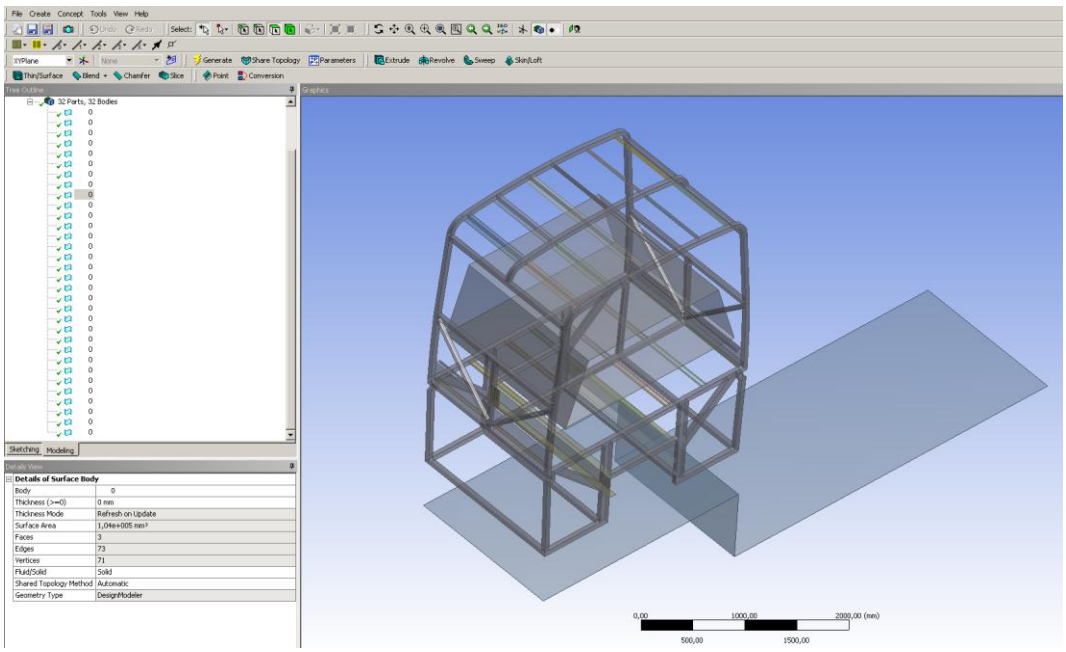



Figura C5. 1Geometría del Arco

En el dibujo de la geometría se usaron herramientas de sketches, extrusión de superficie, unión, la geometría que se obtuvo es la más cercana a la realidad, se dibujó todos los elementos que aportan a la rigidez de la superestructura.

**b) Generación del Modelo Matemático (Mallado).-** Se debe transformar la geometría de superficies en un modelo matemático denominado malla del elemento, este es uno de los pasos más importante y que determina la calidad de resultados que se a obtener.

En este proceso se elige el tipo de elemento que se utilizara, en el caso que estamos analizando utilizamos elementos cuadrangulares, se define también el tamaño de elemento con un máximo de 30 mm y un minino de 25mm, es fácil de entender que a más pequeño el tamaño de malla mayores son los recursos de hardware que se necesitara o mayor tiempo se tomara el análisis, es importante también que el tamaño de elemento se encuentre acorde con la geometría del componente.

La Figura C5. 2 muestra la ventana de Ansys para definir los parámetros de malla anteriormente descritos

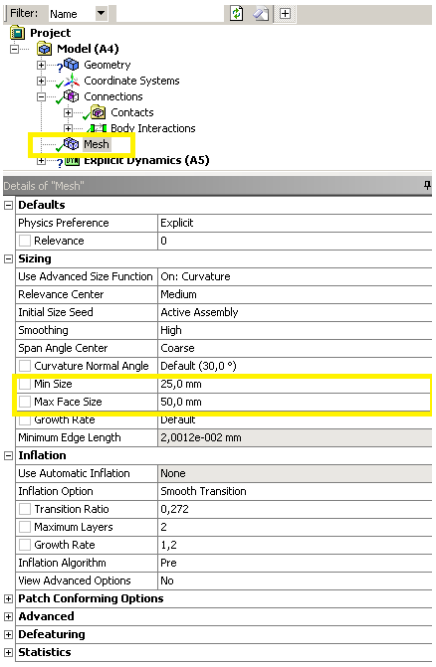



Figura C5. 2 Ventana de parámetros de malla

Luego de definido los parámetros de malla se verifica la calidad de la misma cumpla con los parámetros requeridos, la Figura C5. 3 indica los iconos y ventanas con las que Ansys evalúa los parámetros de calidad de la malla, los principales valores a considerar son el Aspect Ratio y el Jacobian Ratio.

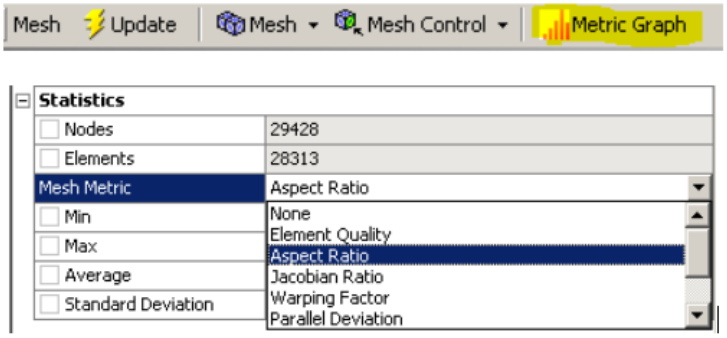



Figura C5. 3 Evaluar la calidad de la malla

Resultado de lo seleccionado en la ventana de la Figura C5. 3 el programa no da un gráfico de barras que se muestra en la Figura C5. 4 donde se indica el número de elemento en relación al valor del Aspect ratio, de igual forma nos graficara si elegimos la opción de Jacobiano ratio, queda a criterio del investigador elegir valores máximos de Aspect ratio y Jacobiano de estos valores dependerá también los resultados a obtener producto de la simulación.

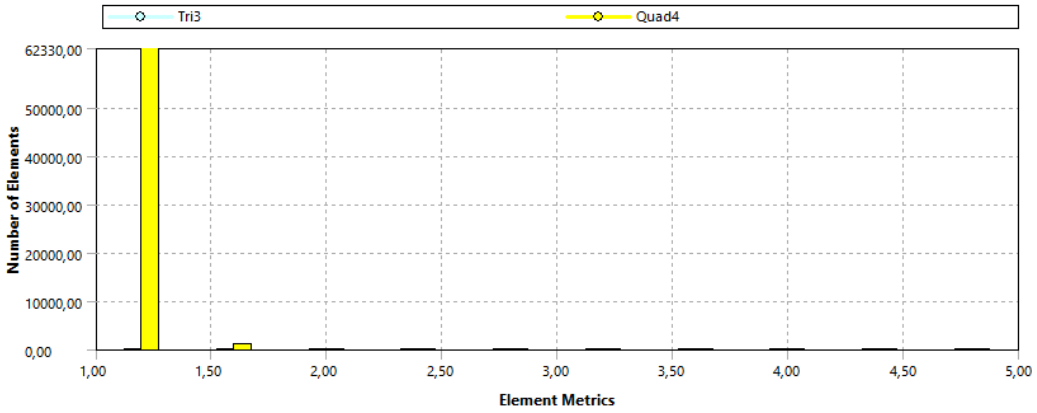



Figura C5. 4 Valores de Aspec Ratio

Los análisis no-lineales de la complejidad del presente estudio requieren de mallas de tan alta calidad, que no se recomienda ser generadas automáticamente. Específicamente para análisis de impacto, la experiencia ha demostrado que la malla debe estar alineada en la dirección de la transmisión de la fuerza de la colisión, por lo cual, usualmente debe ser ajustada a mano.

## PROCESAMIENTO PREVIO

Luego de tener definido totalmente la geometría y mallado se procede a definir los parámetros de preprocesamineto que se describen a continuación:

**a) Definición de Contactos.-** Para la simulación de vuelco es necesario definir como interactúan las partes del modelo entre si es decir que la geometría de la estructura debe interactuar con la geometría del piso, la geometría de la superestructura no debe traspasar la geometría del piso, además se define como va a interactuar el espacio de supervivencia con la geometría de la superestructura y la geometría del piso como se indica en la Figura C5. 5

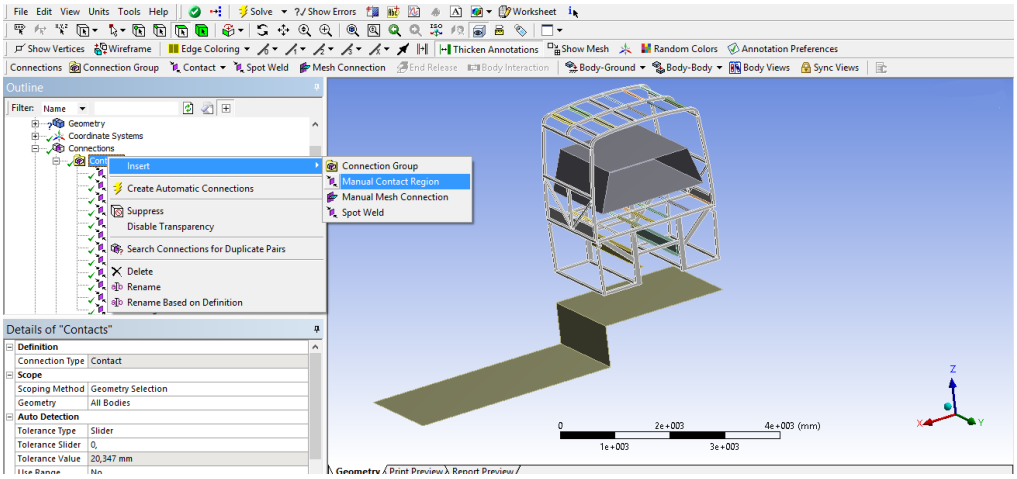



Figura C5. 5 Definición de contactos

**b) Definición de Materiales.-** Se define tres tipos de materiales que se modificaran en el archivo .k que es el que interpreta el Ls- Dyna, lo editemos y modifiquemos los parámetros a los obtenidos en laboratorio en el ensayo de tracción físico Ver Anexo C1, C2, C3, C4.

Los materiales que se define y asigna es ver Figura C5. 6:

Material 24 MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY se utilizara para toda la sección de la superestructura.

Material 20 MAT_RIGID que se asignara a toda la superficie del piso para garantizar que el piso al recibir el impacto de la superestructura no se deforme

Material 9 MAT_NULL que se asignara al espacio de supervivencia para que no altere la rigidez y el centro de gravedad de la superestructura.

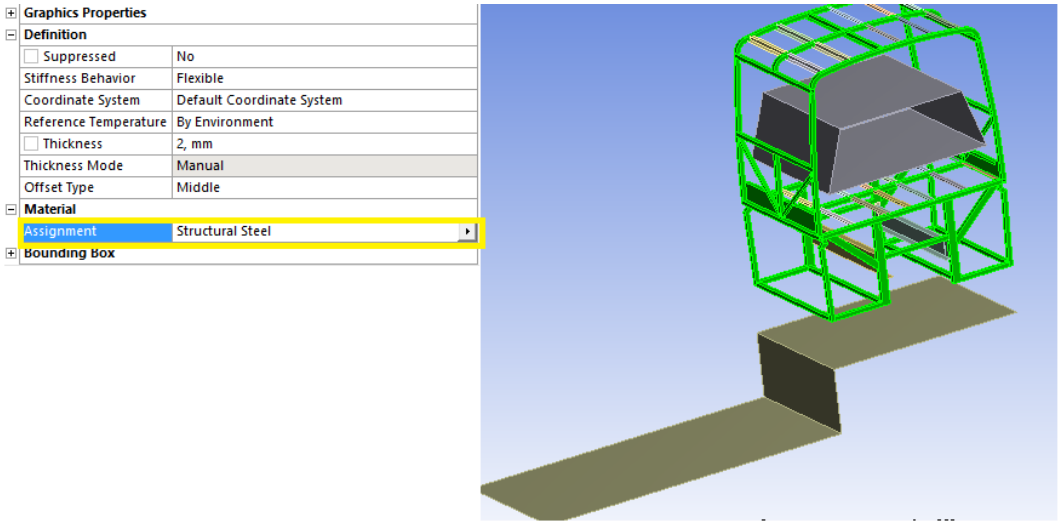



Figura C5. 6 Asignación de Materiales

**c) Definición de condiciones de borde.-** Las condiciones de se refiere a todas fuerzas internas y externas que actúan en cada uno de ellos, es decir en el caso de la sección de la superestructura es la velocidad a la que se impacta con el piso.

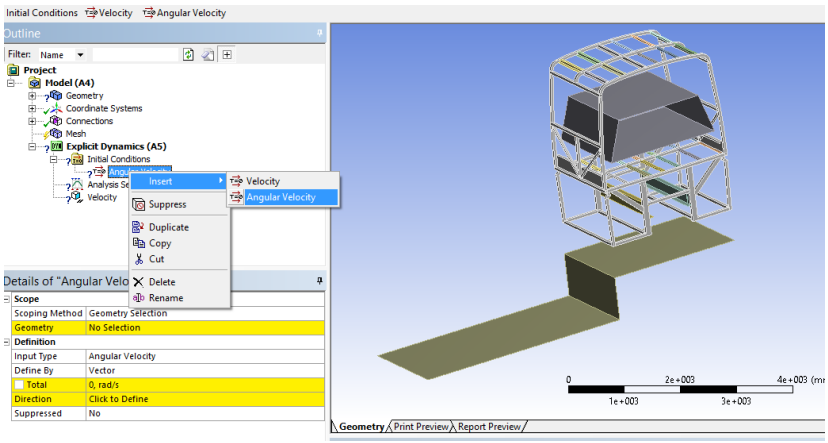



Figura C5. 7 Condiciones de Borde

En la Figura C5. 7 indica las celdas en color amarillo que debemos definir o asignar según el caso por ejemplo la velocidad de impacto de 3,81 $\frac{rad}{s}$

## SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN

Definidos todos los parámetros anteriormente descrito se genera un archivo .k presionando el icono solve.

**a) Simulación.-** En archivo punta se lo edita con el bloc de Notas y se modifica las propiedades de material y se especifica los parámetros de solución. Comandos de control, que estipulan instrucciones como, por citar ejemplos, el tiempo en el que el análisis debe terminar (CONTROL_TERMINATION), controlan el intervalo de tiempo en el modelo (CONTROL_TIMESTEP), controlan aspectos geométricos de elementos 2D (CONTROL_SHELL), controlan las energías aparecidas por los modos de deformación con energía cero, sin esfuerzo ni deformación, que producen deformaciones no físicas (hourglass, por el término en inglés del fenómeno, y CONTROL_HOURGLASS para el comando en LS-DYNA), entre otros.

Comandos de creación de bases de datos, como por ejemplo una base de datos con estadísticas globales (DATABASE_GLSTAT), una base de datos con energías de los materiales (DATABASE_MATSUM) o con las salidas de los resultados, por intervalo de tiempo (DATABASE_BINARY_D3PLOT), entre otros.

Comandos específicos, como por ejemplo (MAT_PIECEWISE_LINEAR_ PLASTICITY) o Comandos para determinación de velocidades iniciales (INITIAL_VELOCITY_RIGID_BODY)

Definidos y comprobados todos los comando se carga en el Solver de Ls-Dyna el archivo con extensión. K y se presiona Run como se muestra en la Figura C5. 8

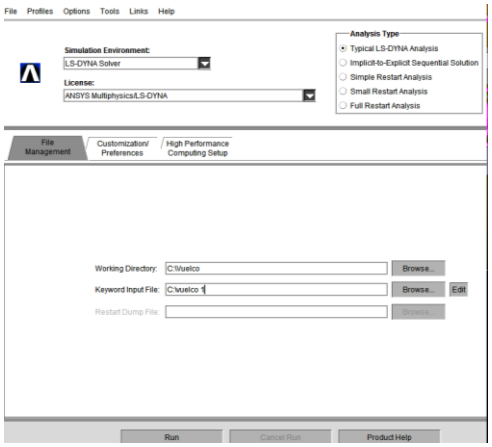



Figura C5. 8 Solver de Ls-Dyna

**b) Validación.-** En el proceso de validación se realiza lo indicado en el Numeral 4.3.6 del presente estudio

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con la ayuda del Software Ls-PrePost se importa los resultados de análisis que es un archivo d3plot como se muestra en Figura C5. 9.

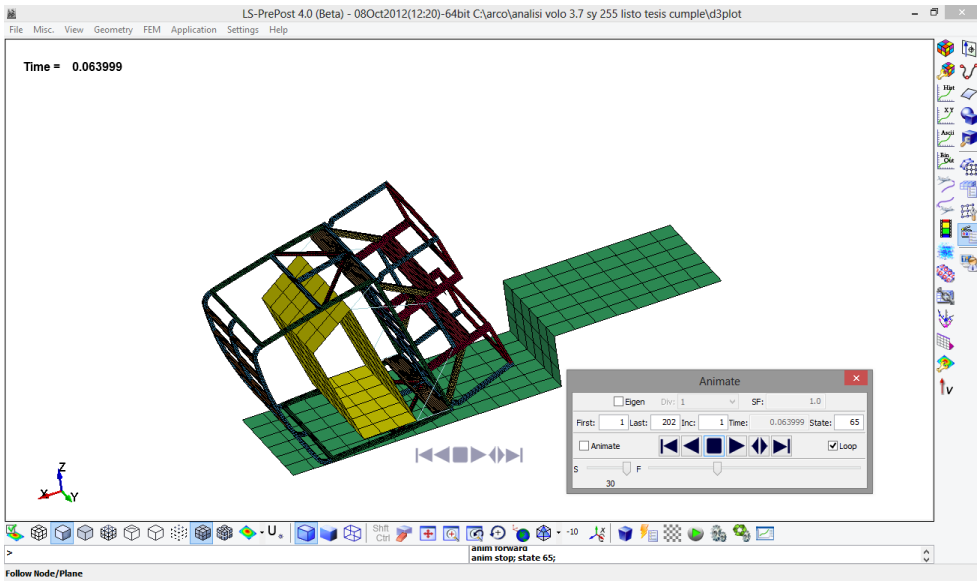



Figura C5. 9 Ls-PrePost para análisis de resultados

Con la ayuda de este software se puede revisar todas las variables que actúan en el fenómeno en forma de curvas o códigos de colores.

**Anexo D1** Ensayo de tracción

espoch

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

## ENSAYO DE TRACCIÓN

**MATERIAL:** TUBO RECTANGULAR 60x40x2

**TIPO DE MATERIAL** ACERO ESTRUCTURAL - NORMA ASTM A500

**EMPRESA:** MIRAL - PANAMERICANA NORTE Km 7,1/2 PISQUE - AMBATO

**FECHA DE ENSAYO** 30-ene-2013

**RESULTADOS DEL ENSAYO:**

| | |
|---|---|
| **MUESTRA Nº** | 1 |
| **DESIGNACIÓN DEL MATERIAL** | TR60x40x2 |
| **CARACTERISTICA** | PROBETA |
| **ESPESOR [mm]** | 2 |
| **ANCHURA [mm]** | 20 |
| **SECCION TRANSVERSAL [$cm^2$]** | 0,400 |
| **MODULO DE ELASTICIDAD [$Kg/cm^2$]** | 2,1,E+06 |
| **CARGA DE FLUENCIA [Kg]** | 1022 |
| **ESFUERZO DE FLUENCIA [$Kg/cm^2$]** | 2554 |
| **CARGA MAXIMA [Kg]** | 1600 |
| **ESFUERZO MAXIMO [$Kg/cm^2$]** | 4000,00 |
| **PORCENTAJE DE ELONGACION [%]** | 26,40 |
| **TIPO DE FALLA:** | P.T.C. |

Riobamba, 30-ene-2013

**OBSERVACIONES:** P.T.C = PARCIAL DE TAZA Y CONO

Revisado por:

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
PROFESOR RESPONSABLE, LABORATORIO
RESISTENCIA DE MATERIALES

espoch

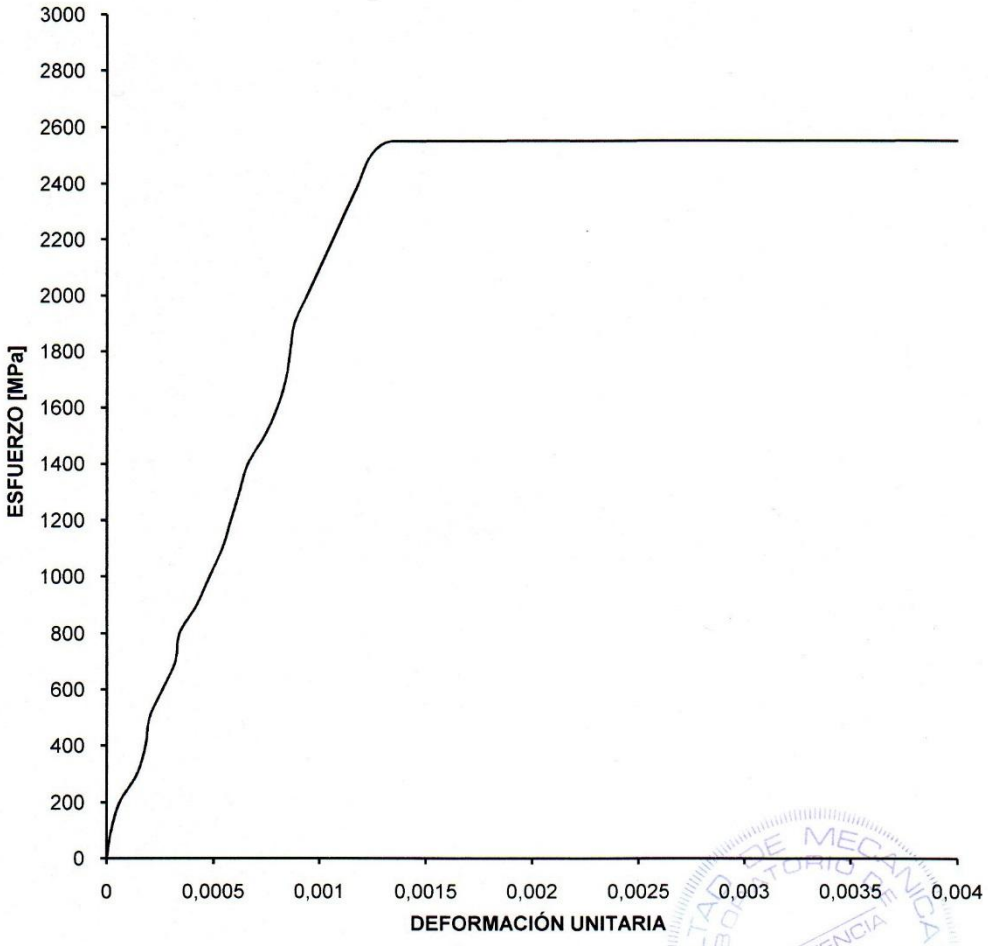
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

**ENSAYO DE TRACCIÓN**

DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN

**MUESTRA Nº:** 1
**TIPO DE MATERIAL:** ACERO ESTRUCTURAL - NORMA ASTM A500
**DESIGNACIÒN DEL MATERIAL:** TR60x40x2

**FECHA DE ENSAYO:** 30/01/2013




Aprobado por:

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc
PROFESOR RESPONSABLE LABORATORIO
DE RESISTENCIA DE MATERIALES

espoch

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

## E N S A Y O  D E  T R A C C I Ó N

**MATERIAL:** TUBO RECTANGULAR 60x40x2

**TIPO DE MATERIAL** ACERO ESTRUCTURAL - NORMA ASTM A500

**EMPRESA:** MIRAL - PANAMERICANA NORTE Km 7,1/2 PISQUE - AMBATO

**FECHA DE ENSAYO** 30-ene-2013

**RESULTADOS DEL ENSAYO:**

| | |
|---|---|
| **MUESTRA Nº** | 2 |
| **DESIGNACIÓN DEL MATERIAL** | TR60x40x2 |
| **CARACTERISTICA** | PROBETA |
| **ESPESOR [mm]** | 2 |
| **ANCHURA [mm]** | 20 |
| **SECCION TRANSVERSAL [$cm^2$]** | 0,400 |
| **MODULO DE ELASTICIDAD [$Kg/cm^2$]** | 2,1,E+06 |
| **CARGA DE FLUENCIA [Kg]** | 1022 |
| **ESFUERZO DE FLUENCIA [$Kg/cm^2$]** | 2554 |
| **CARGA MAXIMA [Kg]** | 1600 |
| **ESFUERZO MAXIMO [$Kg/cm^2$]** | 4000,00 |
| **PORCENTAJE DE ELONGACION [%]** | 25,60 |
| **TIPO DE FALLA:** | D. |

Riobamba, 30-ene-2013

**OBSERVACIONES:** D. = DIAGONAL

Revisado por:

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
PROFESOR RESPONSABLE, LABORATORIO
RESISTENCIA DE MATERIALES

espoch

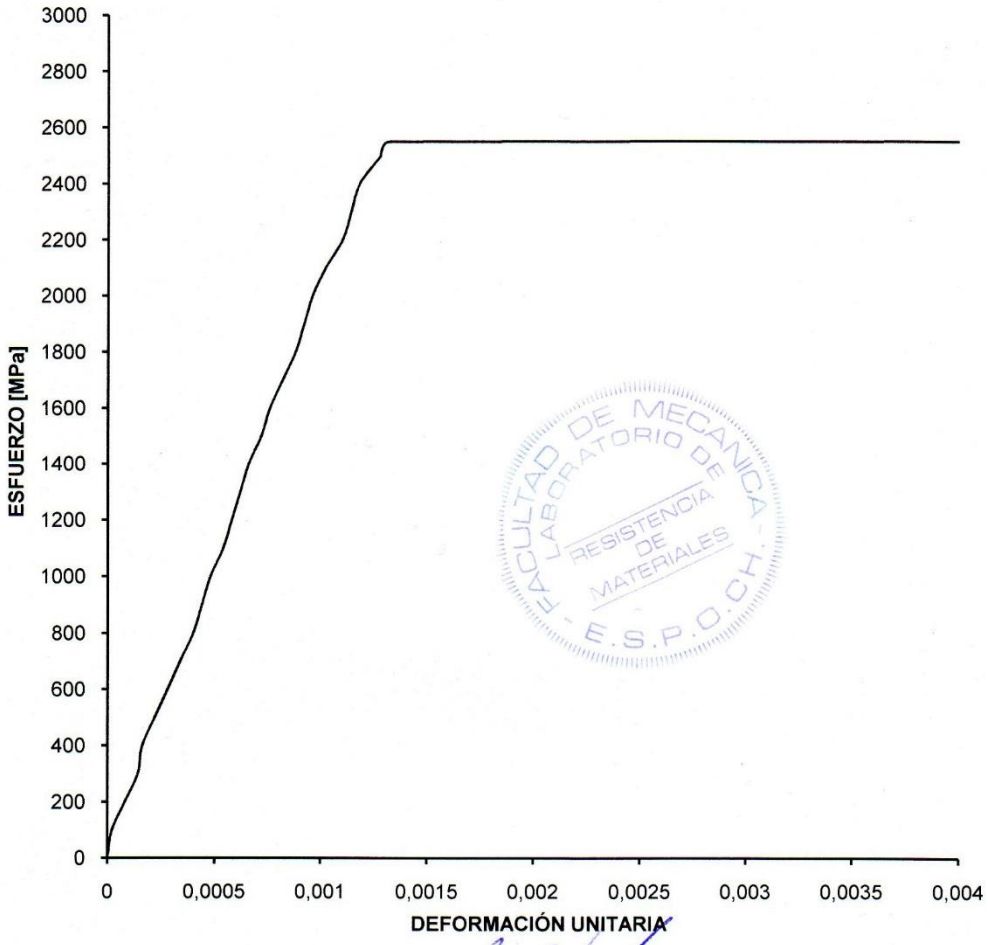
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

**ENSAYO DE TRACCIÓN**

DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN

**MUESTRA Nº:** 2
**TIPO DE MATERIAL:** ACERO ESTRUCTURAL - NORMA ASTM A500
**DESIGNACIÒN DEL MATERIAL:** TR60x40x2

**FECHA DE ENSAYO:** 30/01/2013




FACULTAD DE MECANICA
LABORATORIO DE
RESISTENCIA
DE
MATERIALES
E.S.P.O.CH.

Aprobado por:

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc
PROFESOR RESPONSABLE LABORATORIO
DE RESISTENCIA DE MATERIALES

espoch

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

## ENSAYO DE TRACCIÓN

**MATERIAL:** TUBO RECTANGULAR 60x40x2

**TIPO DE MATERIAL** ACERO ESTRUCTURAL - NORMA ASTM A500

**EMPRESA:** MIRAL - PANAMERICANA NORTE Km 7,1/2 PISQUE - AMBATO

**FECHA DE ENSAYO** 30-ene-2013

**RESULTADOS DEL ENSAYO:**

| | |
|---|---|
| **MUESTRA Nº** | 3 |
| **DESIGNACIÓN DEL MATERIAL** | TR60x40x2 |
| **CARACTERISTICA** | PROBETA |
| **ESPESOR [mm]** | 2 |
| **ANCHURA [mm]** | 20 |
| **SECCION TRANSVERSAL [$cm^2$]** | 0,400 |
| **MODULO DE ELASTICIDAD [$Kg/cm^2$]** | 2,1,E+06 |
| **CARGA DE FLUENCIA [Kg]** | 1022 |
| **ESFUERZO DE FLUENCIA [$Kg/cm^2$]** | 2554 |
| **CARGA MAXIMA [Kg]** | 1600 |
| **ESFUERZO MAXIMO [$Kg/cm^2$]** | 4000,00 |
| **PORCENTAJE DE ELONGACION [%]** | 26,60 |
| **TIPO DE FALLA:** | T.C. |

Riobamba, 30-ene-2013

**OBSERVACIONES:** T.C. = TAZA Y CONO

Revisado por:

Ing. Aníbal Viñán B. M.Sc.
PROFESOR RESPONSABLE, LABORATORIO
RESISTENCIA DE MATERIALES

espoch

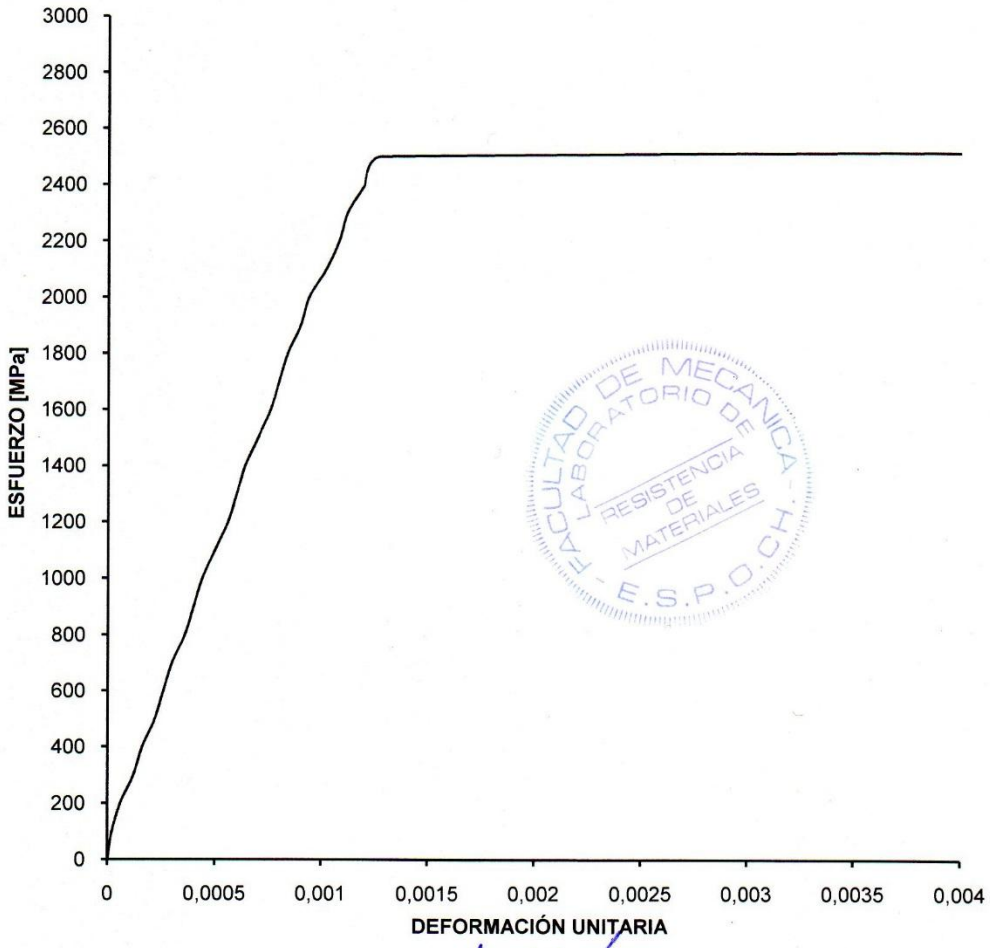
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

**ENSAYO DE TRACCIÓN**

DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN

**MUESTRA Nº:** 3
**TIPO DE MATERIAL:** ACERO ESTRUCTURAL - NORMA ASTM A500
**DESIGNACIÒN DEL MATERIAL:** TR60x40x2

**FECHA DE ENSAYO:** 30/01/2013




FACULTAD DE MECANICA
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
E.S.P.O.CH.

Aprobado por:

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc
PROFESOR RESPONSABLE LABORATORIO
DE RESISTENCIA DE MATERIALES

**Anexo D2** Ensayo de Flexión del tubo

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

## ENSAYO DE FLEXIÓN

**MATERIAL:** TUBO CUADRADO 50x50x3

**TIPO DE MATERIAL:** ACERO ESTRUCTURAL - NORMA ASTM A500

**EMPRESA:** MIRAL - PANAMERICANA NORTE Km 7,1/2 PISQUE - AMBATO

**FECHA DE ENSAYO:** 30-ene-2013

**LONGIT. ENTRE APOYOS [mm]:** 550

**RESULTADOS DEL ENSAYO:**

| | |
|---|---|
| **MUESTRA Nº** | 1 |
| **DESIGNACIÓN** | F1 |
| **CARACTERISTICA** | PROBETA |
| **BASE [mm]** | 50 |
| **ALTURA [mm]** | 50 |
| **ESPESOR [mm]** | 3 |
| **SECCION TRANSVERSAL [$mm^2$]** | 564,0 |
| **CARGA MÁXIMA [Kg]** | 2900 |
| **ESFUERZO MÁXIMO [$Kg/mm^2$]** | 47,81 |
| **FLECHA MÁXIMA [mm]** | 6,9 |
| **MÓDULO APARENTE DE ELASTICIDAD [$Kg/mm^2$]** | 10238,2 |

Riobamba, 30-ene-2013

**OBSERVACIONES:**

Revisado por:

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
PROFESOR RESPONSABLE, LABORATORIO
RESISTENCIA DE MATERIALES

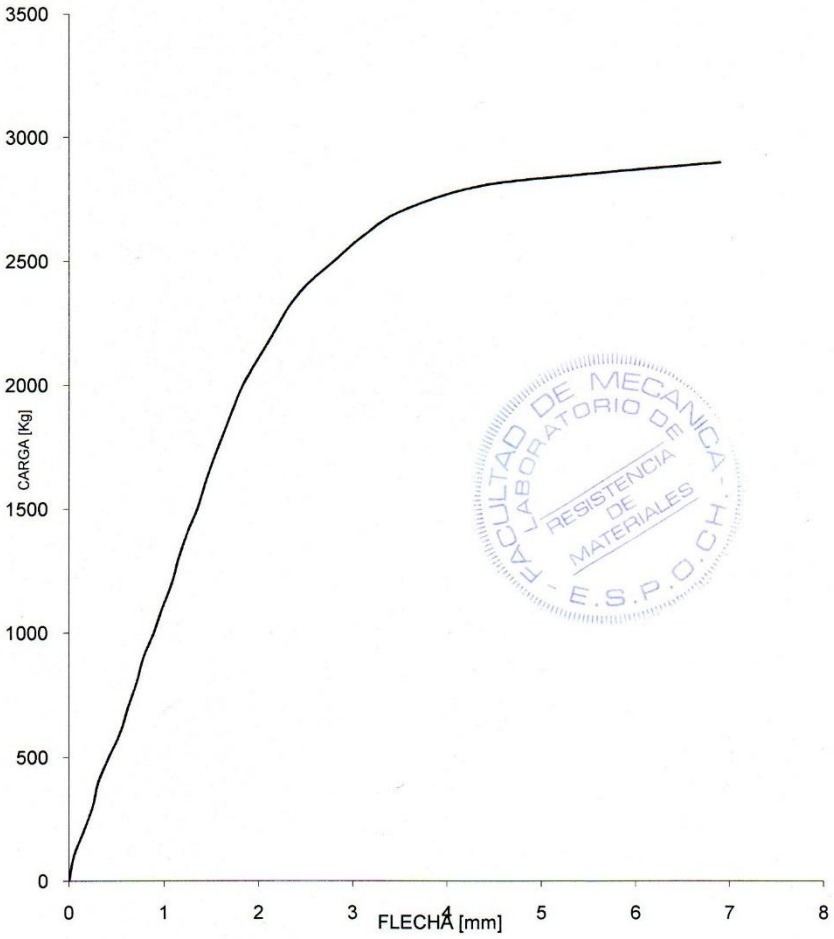
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

# ENSAYO DE FLEXIÓN

**DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

**MUESTRA No:** 1
**TIPO DE MATERIAL:** ACERO ESTRUCTURAL - NORMA ASTM A500
**DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:** F1

**EMPRESA:** MIRAL - PANAMERICANA NORTE Km 7,1/2 PISQUE - AMBATO
**FECHA DE ENSAYO:** 30-ene-2013




**OBSERVACIONES:**

Revisado por:

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
PROFESOR RESPONSABLE, LABORATORIO
RESISTENCIA DE MATERIALES

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

# ENSAYO DE FLEXIÓN

**MATERIAL:** TUBO CUADRADO 50x50x3

**TIPO DE MATERIAL:** ACERO ESTRUCTURAL - NORMA ASTM A500

**EMPRESA:** MIRAL - PANAMERICANA NORTE Km 7,1/2 PISQUE - AMBATO

**FECHA DE ENSAYO:** 30-ene-2013

**LONGIT. ENTRE APOYOS [mm]:** 550

**RESULTADOS DEL ENSAYO:**

| | |
|---|---|
| **MUESTRA Nº** | 2 |
| **DESIGNACIÓN** | F2 |
| **CARACTERISTICA** | PROBETA |
| **BASE [mm]** | 50 |
| **ALTURA [mm]** | 50 |
| **ESPESOR [mm]** | 3 |
| **SECCION TRANSVERSAL [$mm^2$]** | 564,0 |
| **CARGA MÁXIMA [Kg]** | 2900 |
| **ESFUERZO MÁXIMO [$Kg/mm^2$]** | 47,81 |
| **FLECHA MÁXIMA [mm]** | 7 |
| **MÓDULO APARENTE DE ELASTICIDAD [$Kg/mm^2$]** | 11335,1 |

Riobamba, 30-ene-2013

**OBSERVACIONES:**

Revisado por:

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
PROFESOR RESPONSABLE, LABORATORIO
RESISTENCIA DE MATERIALES

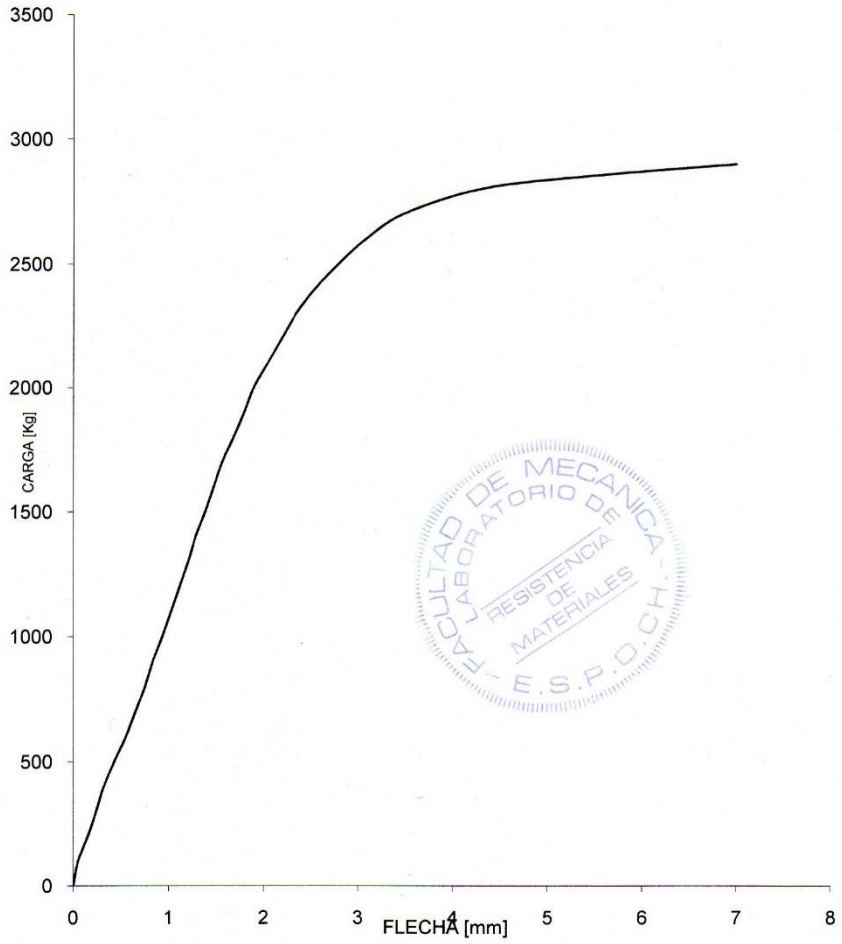
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

# ENSAYO DE FLEXIÓN

**DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

**MUESTRA No:** 2
**TIPO DE MATERIAL:** ACERO ESTRUCTURAL - NORMA ASTM A500
**DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:** F2

**EMPRESA:** MIRAL - PANAMERICANA NORTE Km 7,1/2 PISQUE - AMBATO
**FECHA DE ENSAYO:** 30-ene-2013




**OBSERVACIONES:**

Revisado por:

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
PROFESOR RESPONSABLE, LABORATORIO
RESISTENCIA DE MATERIALES

espoch

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

# ENSAYO DE FLEXIÓN

**MATERIAL:** TUBO CUADRADO 50x50x3

**TIPO DE MATERIAL:** ACERO ESTRUCTURAL - NORMA ASTM A500

**EMPRESA:** MIRAL - PANAMERICANA NORTE Km 7,1/2 PISQUE - AMBATO

**FECHA DE ENSAYO:** 30-ene-2013

**LONGIT. ENTRE APOYOS [mm]:** 550

**RESULTADOS DEL ENSAYO:**

| | |
|---|---|
| **MUESTRA Nº** | 3 |
| **DESIGNACIÓN** | F3 |
| **CARACTERISTICA** | PROBETA |
| **BASE [mm]** | 50 |
| **ALTURA [mm]** | 50 |
| **ESPESOR [mm]** | 3 |
| **SECCION TRANSVERSAL [$mm^2$]** | 564,0 |
| **CARGA MÁXIMA [Kg]** | 2900 |
| **ESFUERZO MÁXIMO [$Kg/mm^2$]** | 47,81 |
| **FLECHA MÁXIMA [mm]** | 6,7 |
| **MÓDULO APARENTE DE ELASTICIDAD [$Kg/mm^2$]** | 10075,7 |

Riobamba, 30-ene-2013

**OBSERVACIONES:**

Revisado por:

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
PROFESOR RESPONSABLE, LABORATORIO
RESISTENCIA DE MATERIALES

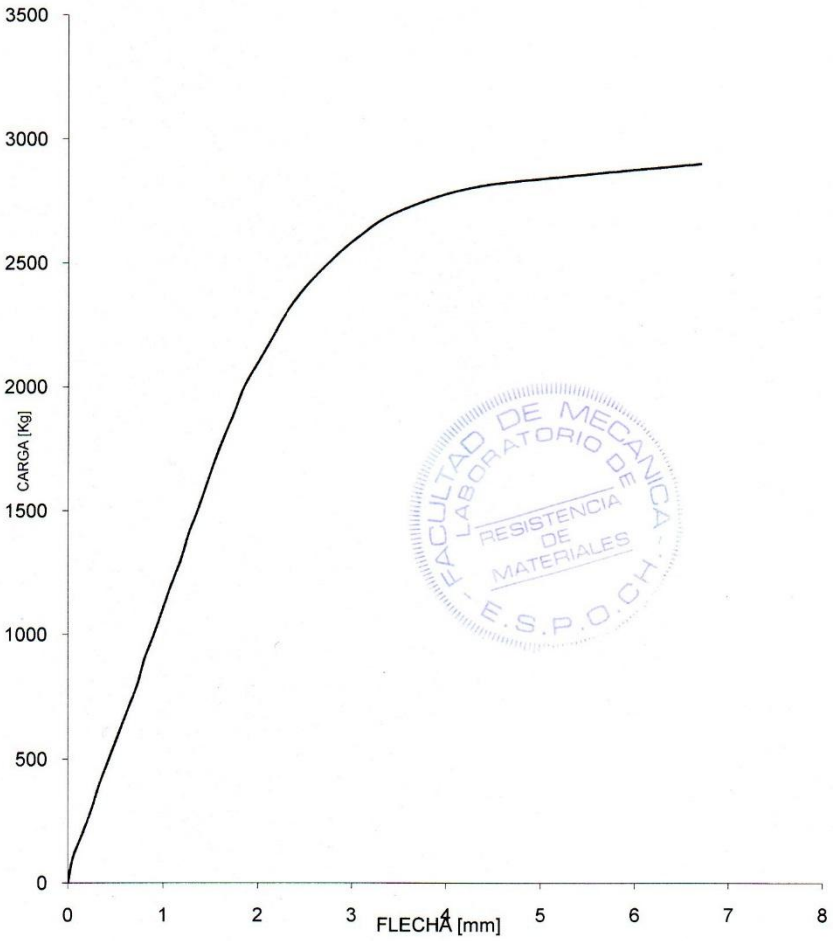
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

# ENSAYO DE FLEXIÓN

**DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

**MUESTRA No:** 3
**TIPO DE MATERIAL:** ACERO ESTRUCTURAL - NORMA ASTM A500
**DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:** F3

**EMPRESA:** MIRAL - PANAMERICANA NORTE Km 7,1/2 PISQUE - AMBATO
**FECHA DE ENSAYO:** 30-ene-2013




FACULTAD DE MECANICA
LABORATORIO DE
RESISTENCIA
DE
MATERIALES
E.S.P.O.CH.

**OBSERVACIONES:**

Revisado por:

Ing. Aníbal Viñán B. M.Sc.
PROFESOR RESPONSABLE, LABORATORIO
RESISTENCIA DE MATERIALES

**Anexo D3** Ensayo de Flexión de una sección del pórtico

espoch

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

## ENSAYO DE FLEXIÓN

**MATERIAL:** TUBO CUADRADO 50x50x2

**TIPO DE MATERIAL:** ACERO ESTRUCTURAL - NORMA ASTM A500

**EMPRESA:** MIRAL - PANAMERICANA NORTE Km 7,1/2 PISQUE - AMBATO

**FECHA DE ENSAYO:** 30-ene-2013

**LONGIT. ENTRE APOYOS [mm]:** 685

**RESULTADOS DEL ENSAYO:**

| | |
|---|---|
| **MUESTRA Nº** | 1 |
| **DESIGNACIÓN** | P1 |
| **CARACTERISTICA** | PÓRTICO |
| **BASE [mm]** | 50 |
| **ALTURA [mm]** | 50 |
| **ESPESOR [mm]** | 2 |
| **SECCION TRANSVERSAL [$mm^2$]** | 576,0 |
| **CARGA MÁXIMA [Kg]** | 1000 |
| **ESFUERZO MÁXIMO [$Kg/mm^2$]** | 28,98 |
| **FLECHA MÁXIMA [mm]** | 5,4 |
| **MÓDULO APARENTE DE ELASTICIDAD [$Kg/mm^2$]** | 4695,2 |

Riobamba, 30-ene-2013

**OBSERVACIONES:**

Revisado por:

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
PROFESOR RESPONSABLE, LABORATORIO
RESISTENCIA DE MATERIALES

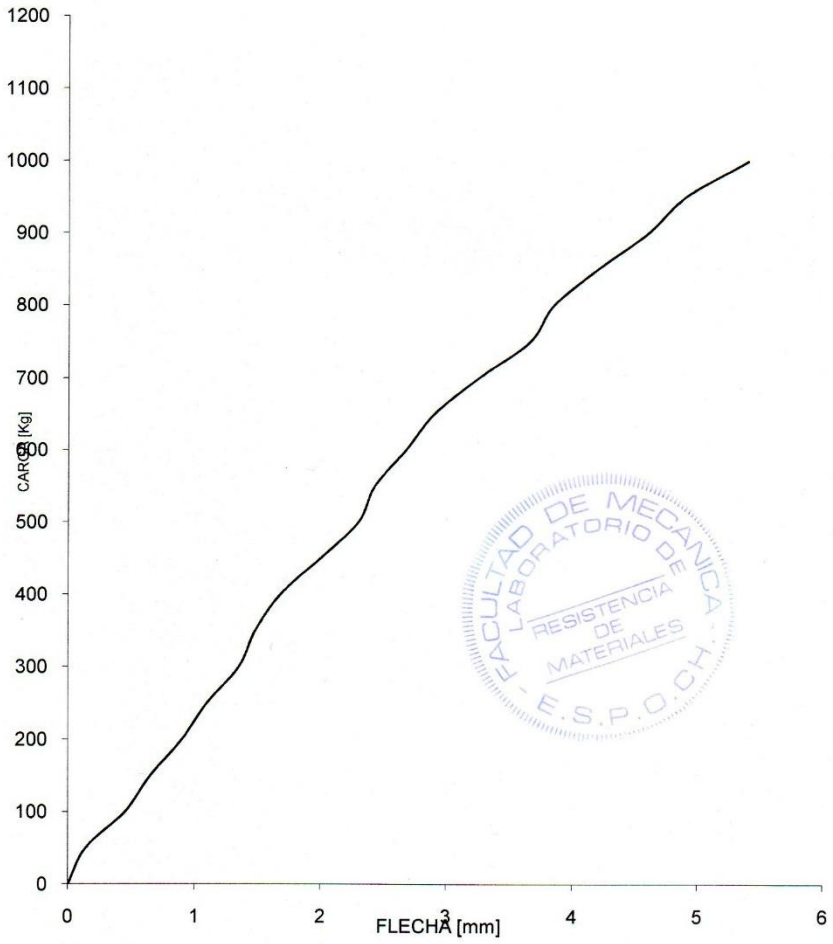
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

# ENSAYO DE FLEXIÓN

## DIAGRAMA CARGA - FLECHA

**MUESTRA No:** 1
**TIPO DE MATERIAL:** ACERO ESTRUCTURAL - NORMA ASTM A500
**DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:** P1

**EMPRESA:** MIRAL - PANAMERICANA NORTE Km 7,1/2 PISQUE - AMBATO
**FECHA DE ENSAYO:** 30-ene-2013




FACULTAD DE MECANICA
LABORATORIO DE
RESISTENCIA
DE
MATERIALES
E.S.P.O.CH.

**OBSERVACIONES:**

Revisado por:

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
PROFESOR RESPONSABLE, LABORATORIO
RESISTENCIA DE MATERIALES

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

# ENSAYO DE FLEXIÓN

**MATERIAL:** TUBO CUADRADO 50x50x2

**TIPO DE MATERIAL:** ACERO ESTRUCTURAL - NORMA ASTM A500

**EMPRESA:** MIRAL - PANAMERICANA NORTE Km 7,1/2 PISQUE - AMBATO

**FECHA DE ENSAYO:** 30-ene-2013

**LONGIT. ENTRE APOYOS [mm]:** 685

**RESULTADOS DEL ENSAYO:**

| | |
|---|---|
| **MUESTRA Nº** | 2 |
| **DESIGNACIÓN** | P2 |
| **CARACTERISTICA** | PÓRTICO |
| **BASE [mm]** | 50 |
| **ALTURA [mm]** | 50 |
| **ESPESOR [mm]** | 2 |
| **SECCION TRANSVERSAL [$mm^2$]** | 576,0 |
| **CARGA MÁXIMA [Kg]** | 1000 |
| **ESFUERZO MÁXIMO [$Kg/mm^2$]** | 28,98 |
| **FLECHA MÁXIMA [mm]** | 5,5 |
| **MÓDULO APARENTE DE ELASTICIDAD [$Kg/mm^2$]** | 4289,4 |

Riobamba, 30-ene-2013

**OBSERVACIONES:**

Revisado por:

FACULTAD DE MECANICA - LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES - E.S.P.O.CH.

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
PROFESOR RESPONSABLE, LABORATORIO
RESISTENCIA DE MATERIALES

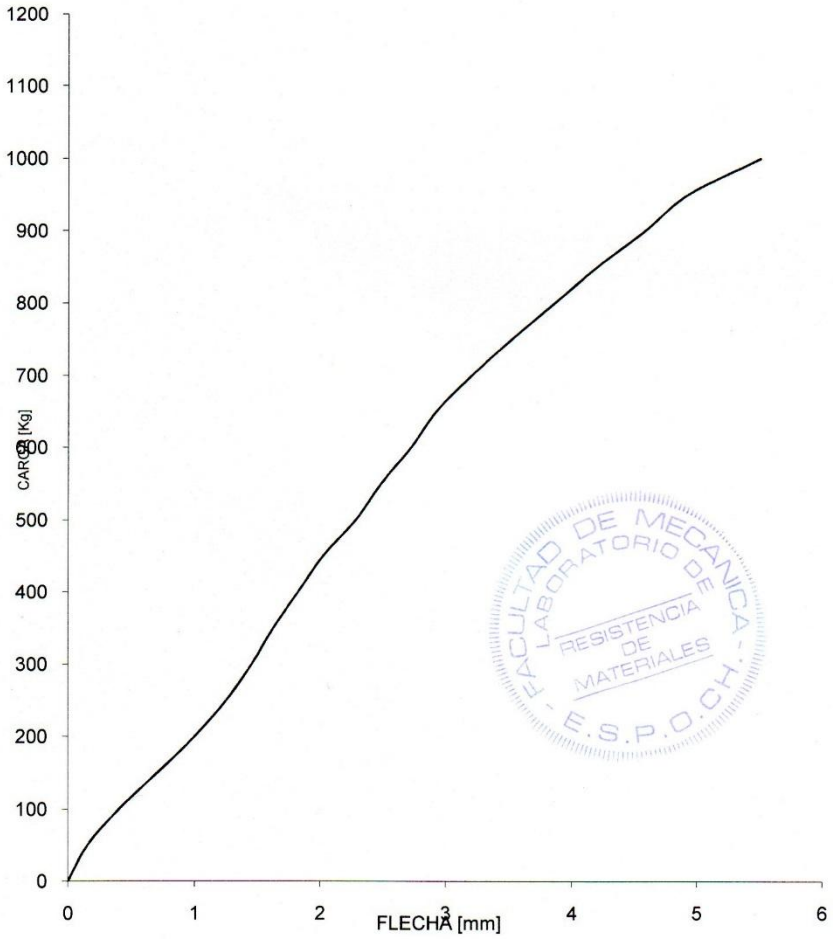
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

# ENSAYO DE FLEXIÓN

**DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

**MUESTRA No:** 2
**TIPO DE MATERIAL:** ACERO ESTRUCTURAL - NORMA ASTM A500
**DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:** P2

**EMPRESA:** MIRAL - PANAMERICANA NORTE Km 7,1/2 PISQUE - AMBATO
**FECHA DE ENSAYO:** 30-ene-2013




FACULTAD DE MECANICA
LABORATORIO DE
RESISTENCIA
DE
MATERIALES
E.S.P.O.CH.

**OBSERVACIONES:**

Revisado por:

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
PROFESOR RESPONSABLE, LABORATORIO
RESISTENCIA DE MATERIALES

Anexo D4 Medición del peso del autobús



BIOALIMENTAR CIA LTDA

FECHA: 10/01/2013
PROVEEDOR MIRAL
PRODUCTO: PESAJE
LL. IZQ DELANT 2.820

RECIBI

ENTREGUE:

Departamento de Compras
BIOALIMENTAR



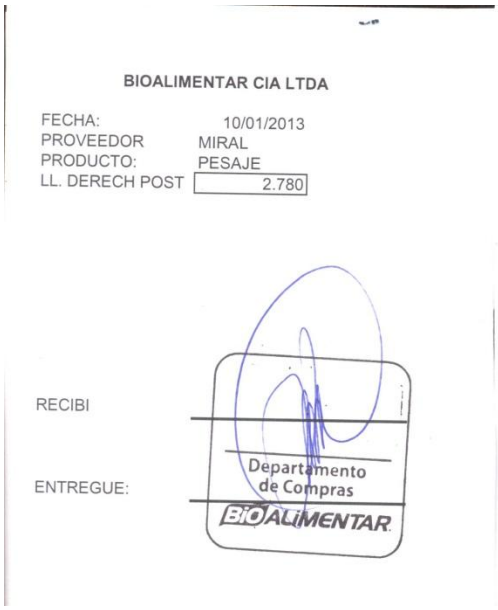
BIOALIMENTAR CIA LTDA

FECHA: 10/01/2013
PROVEEDOR MIRAL
PRODUCTO: PESAJE
LL. DERECH DELANT 2.510

RECIBI

ENTREGUE:

Departamento de Compras
BIOALIMENTAR



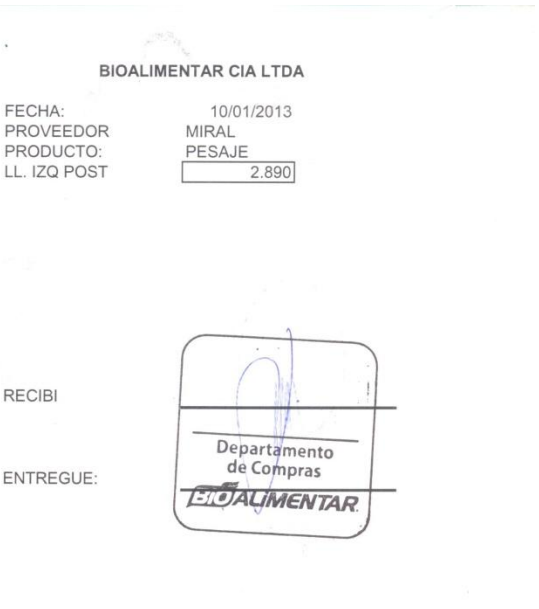
BIOALIMENTAR CIA LTDA

FECHA: 10/01/2013
PROVEEDOR MIRAL
PRODUCTO: PESAJE
LL. DERECH POST 2.780

RECIBI

ENTREGUE:

Departamento de Compras
BIOALIMENTAR



BIOALIMENTAR CIA LTDA

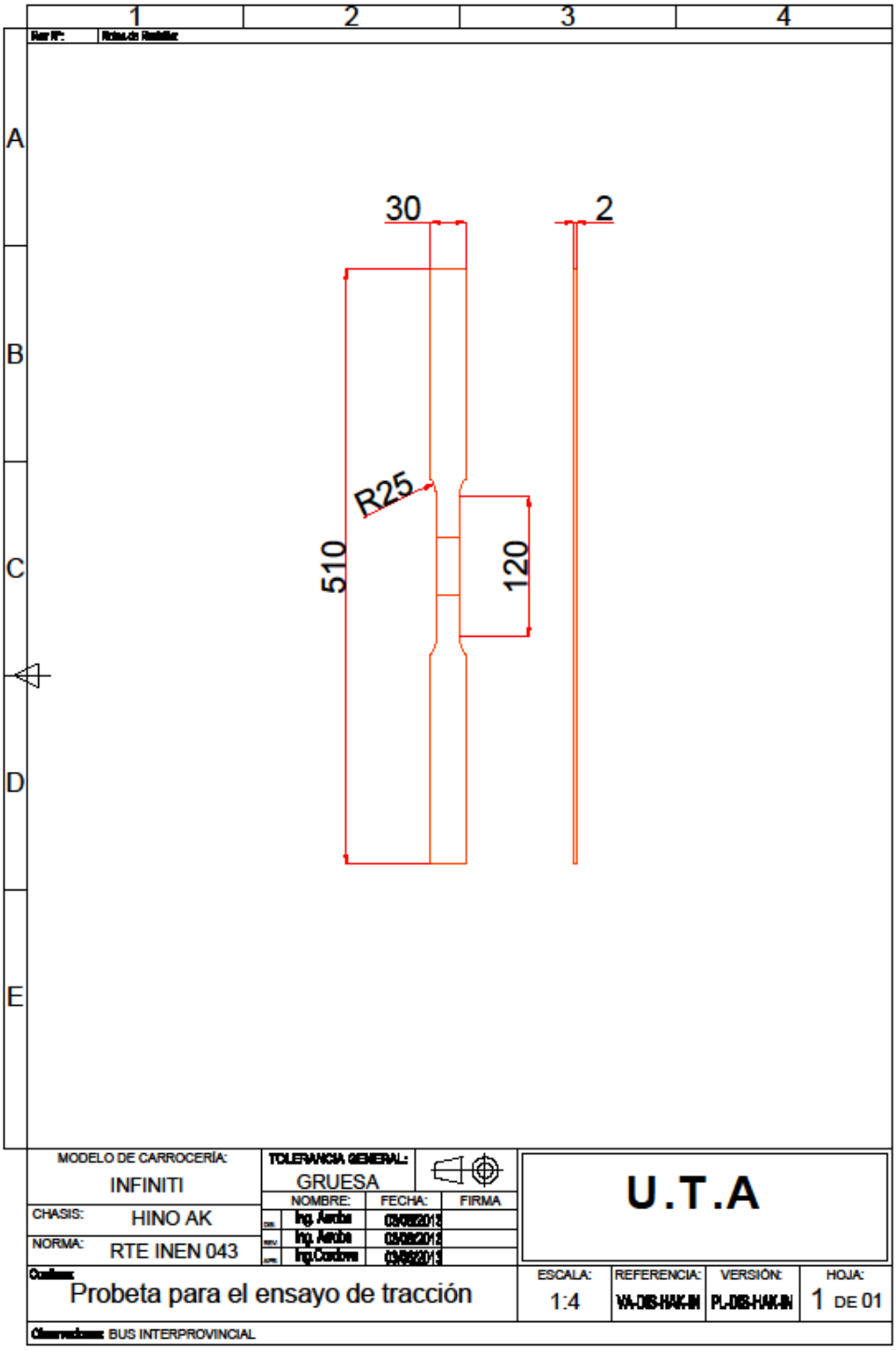
FECHA: 10/01/2013
PROVEEDOR MIRAL
PRODUCTO: PESAJE
LL. IZQ POST 2.890

RECIBI

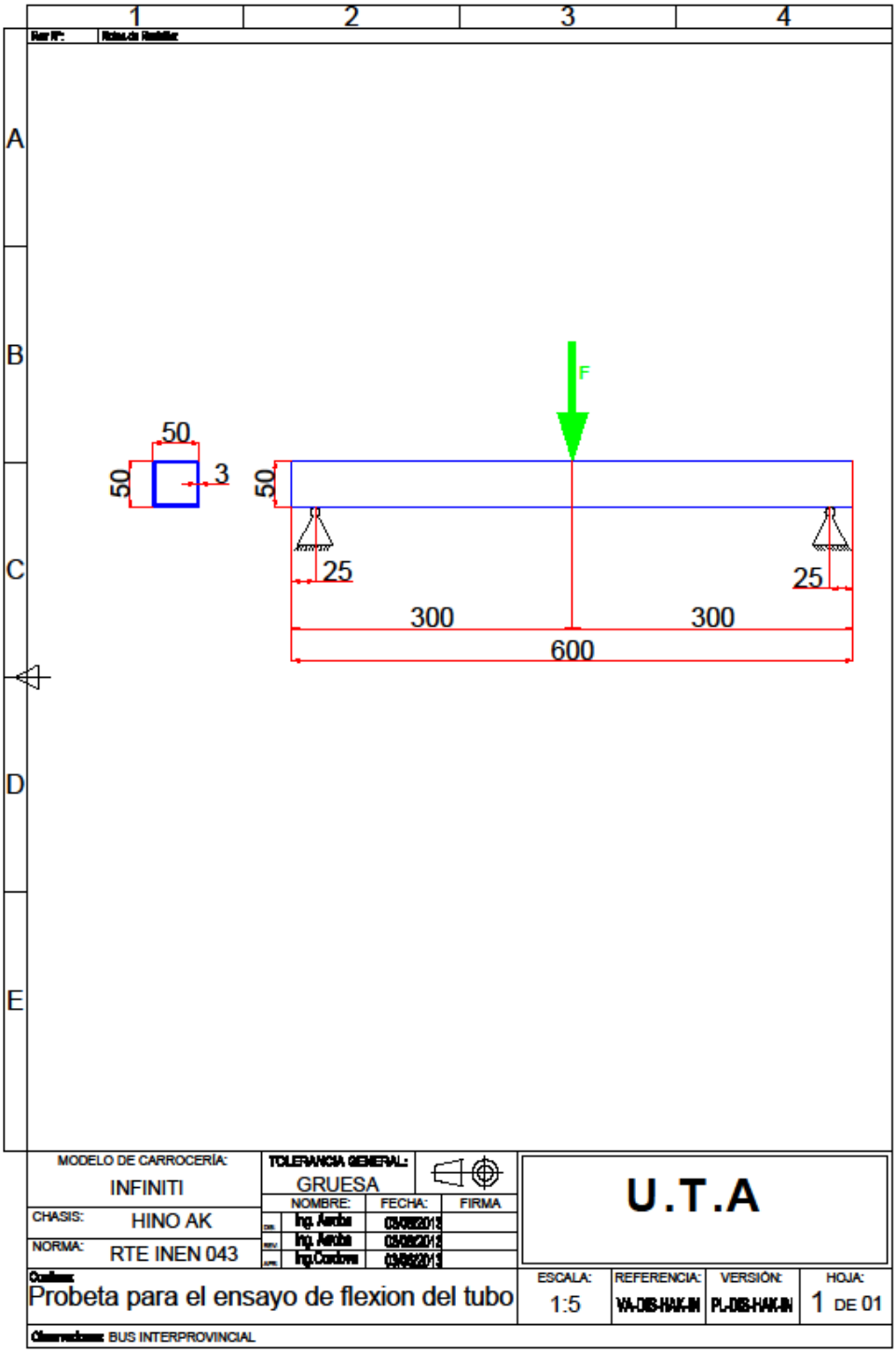
ENTREGUE:

Departamento de Compras
BIOALIMENTAR

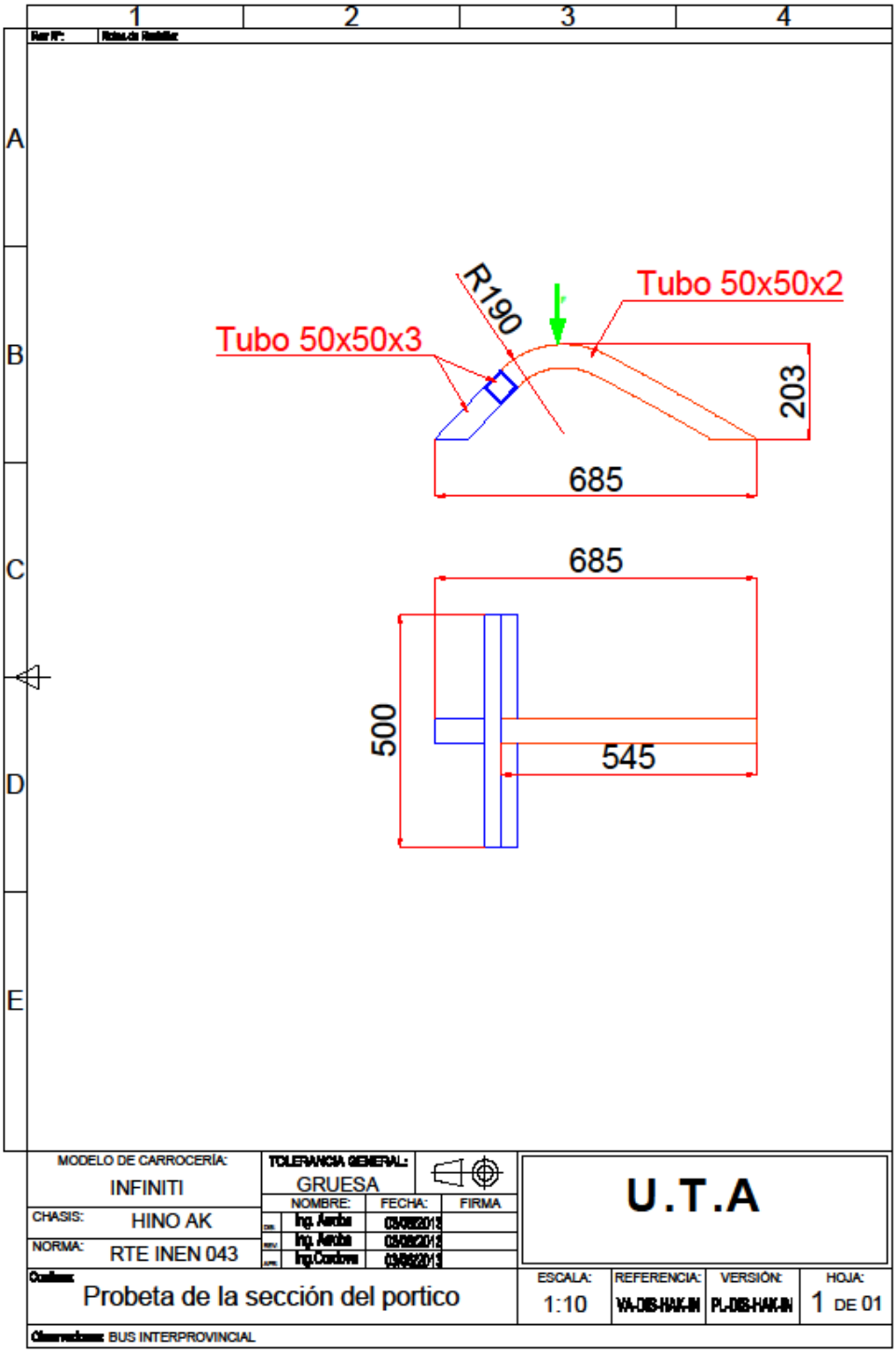
ANEXO E1 Plano de la probeta para ensayo de tracción



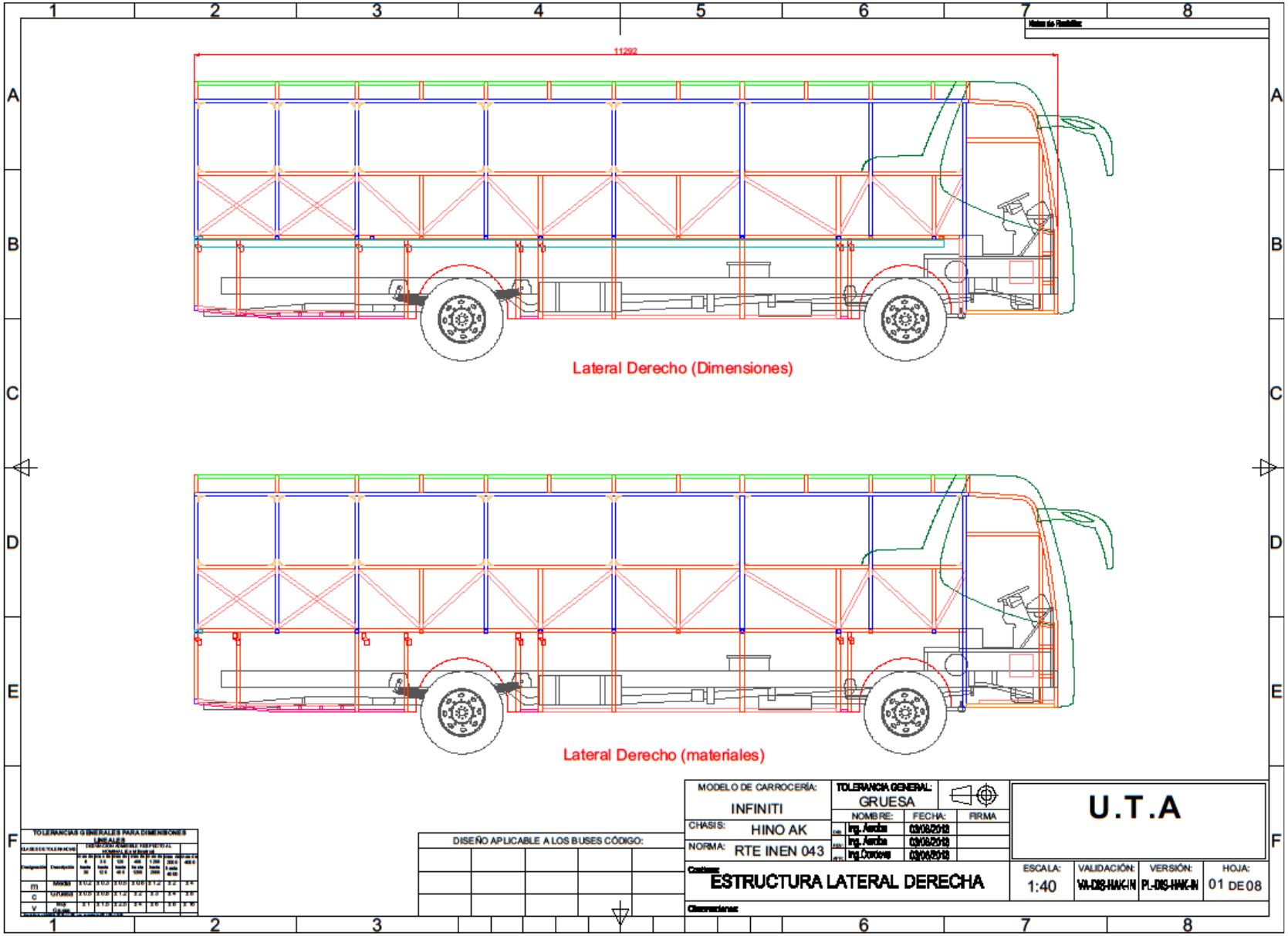
Anexo E2 Plano de la probeta ensayo de flexión

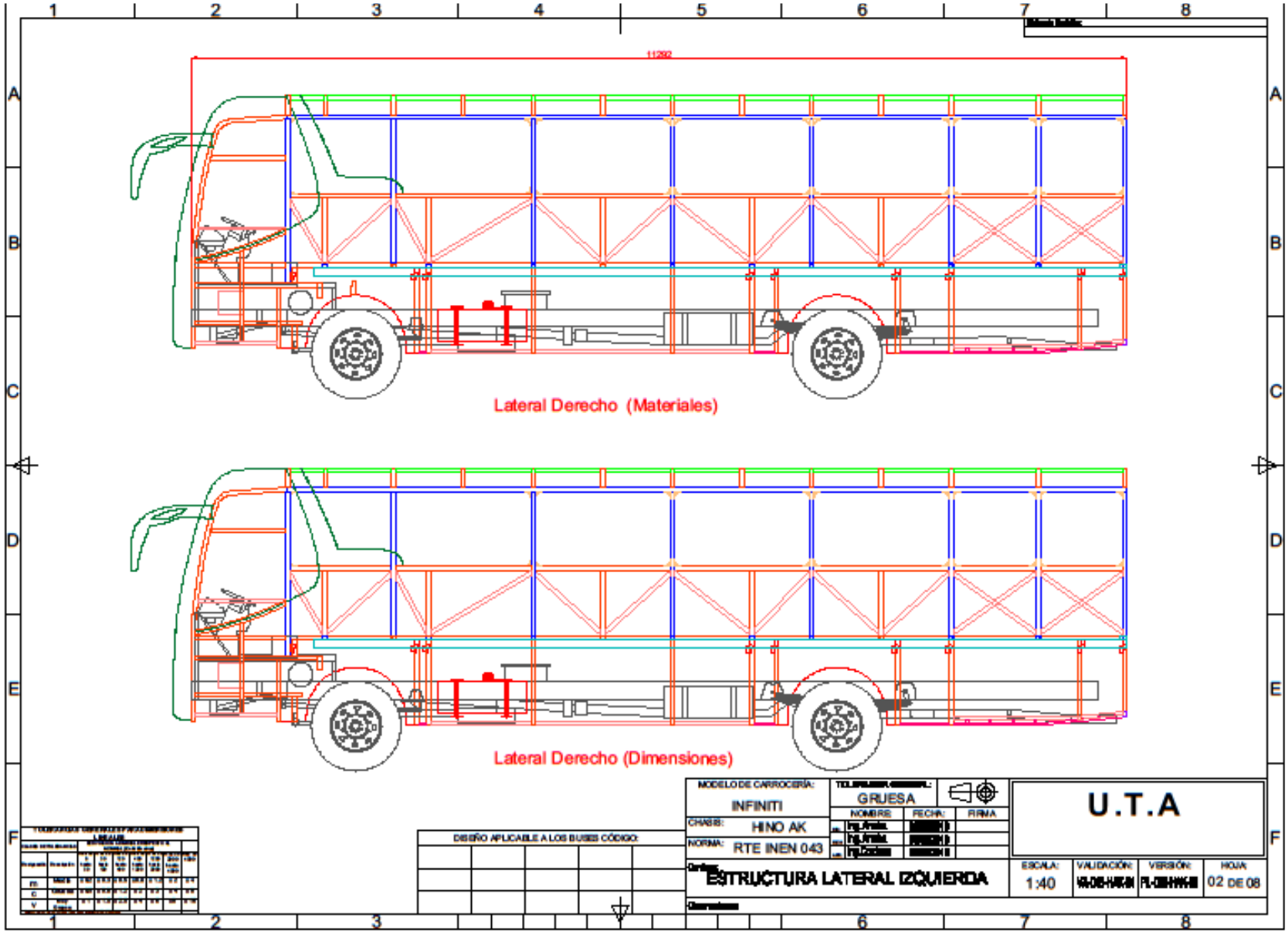


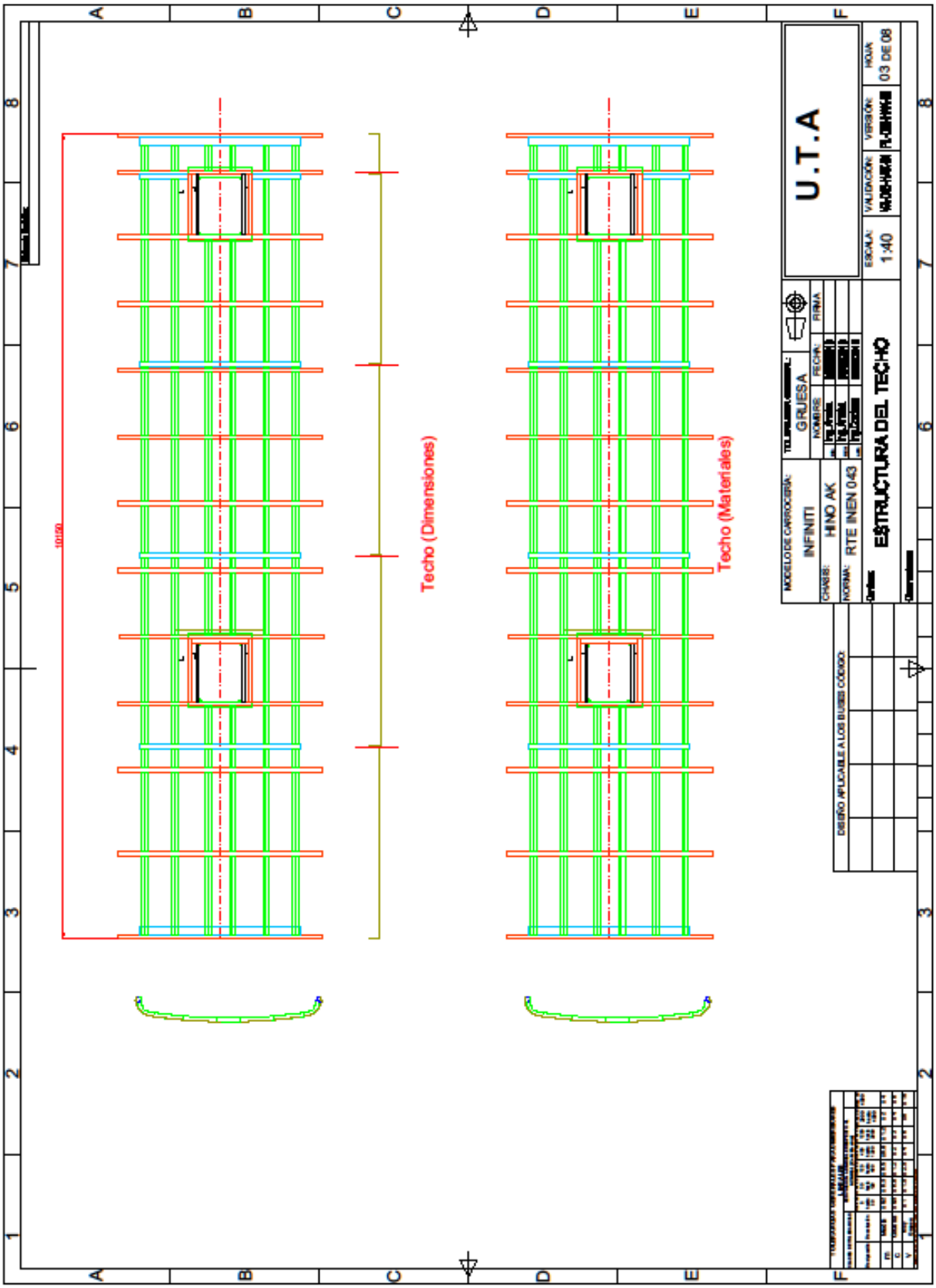
Anexo E3 Plano de la probeta para el ensayo de flexión de una sección del pórtico

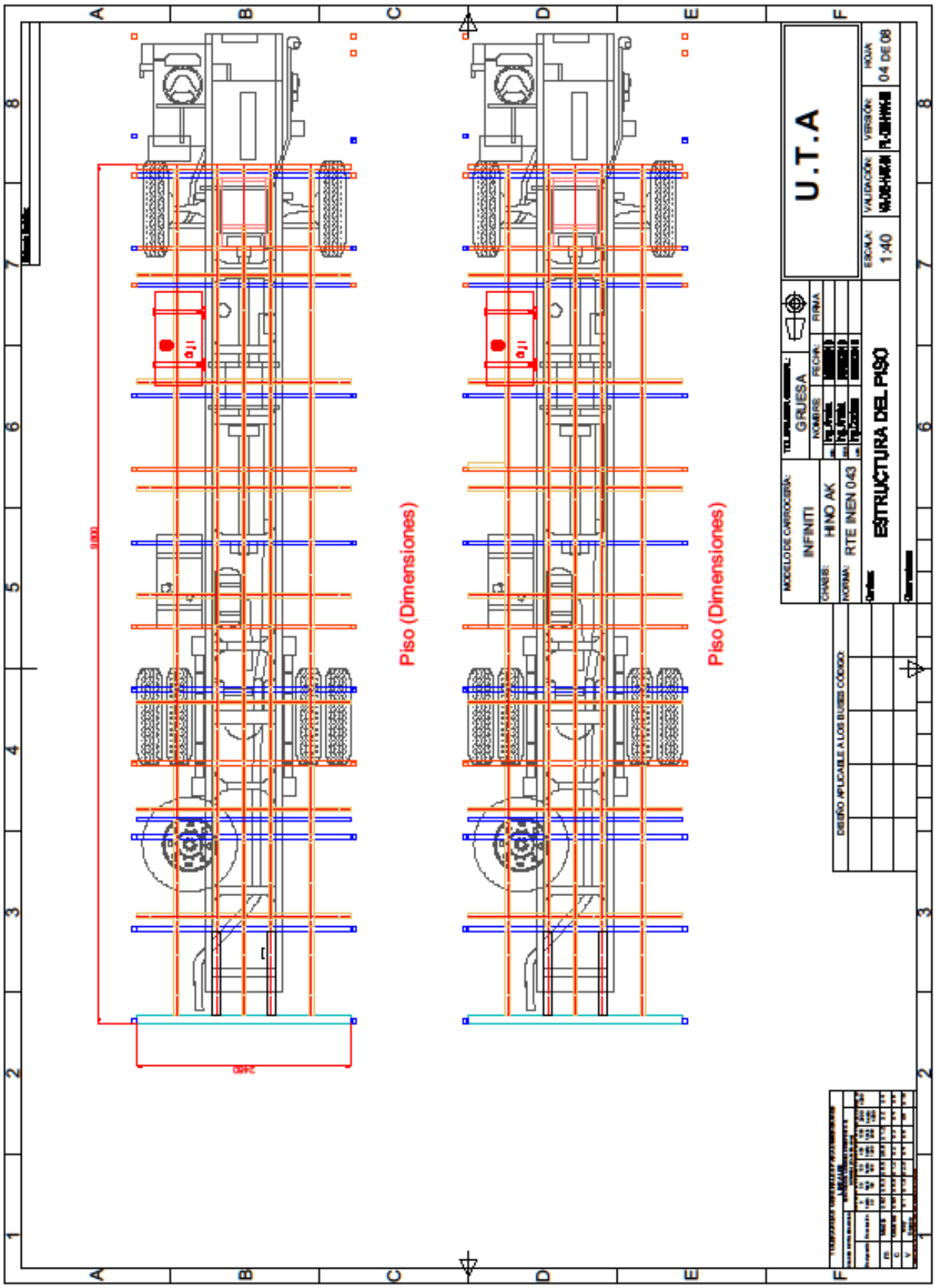


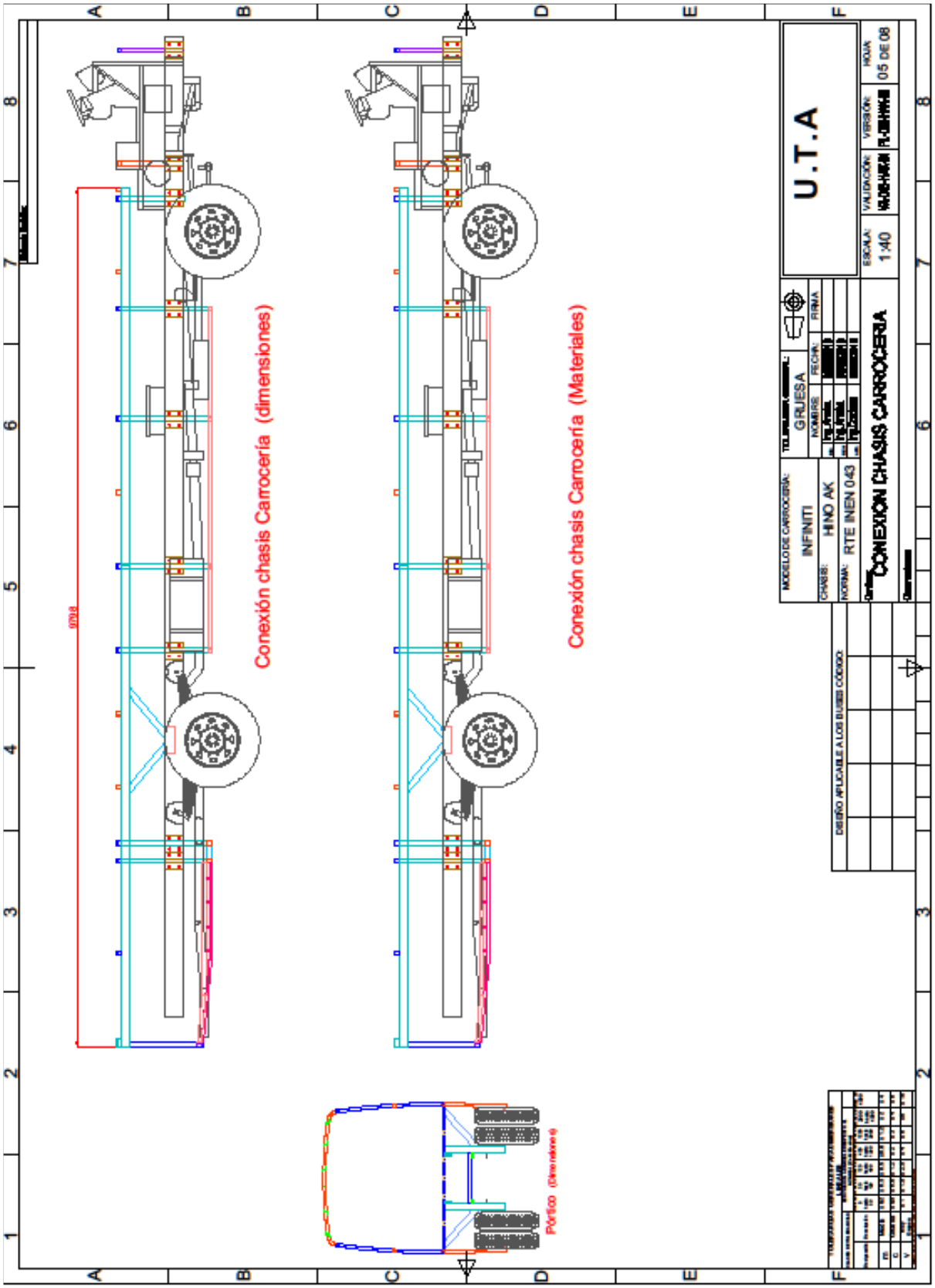
Anexo E4 Planos de la superestructura del Autobús propuesto

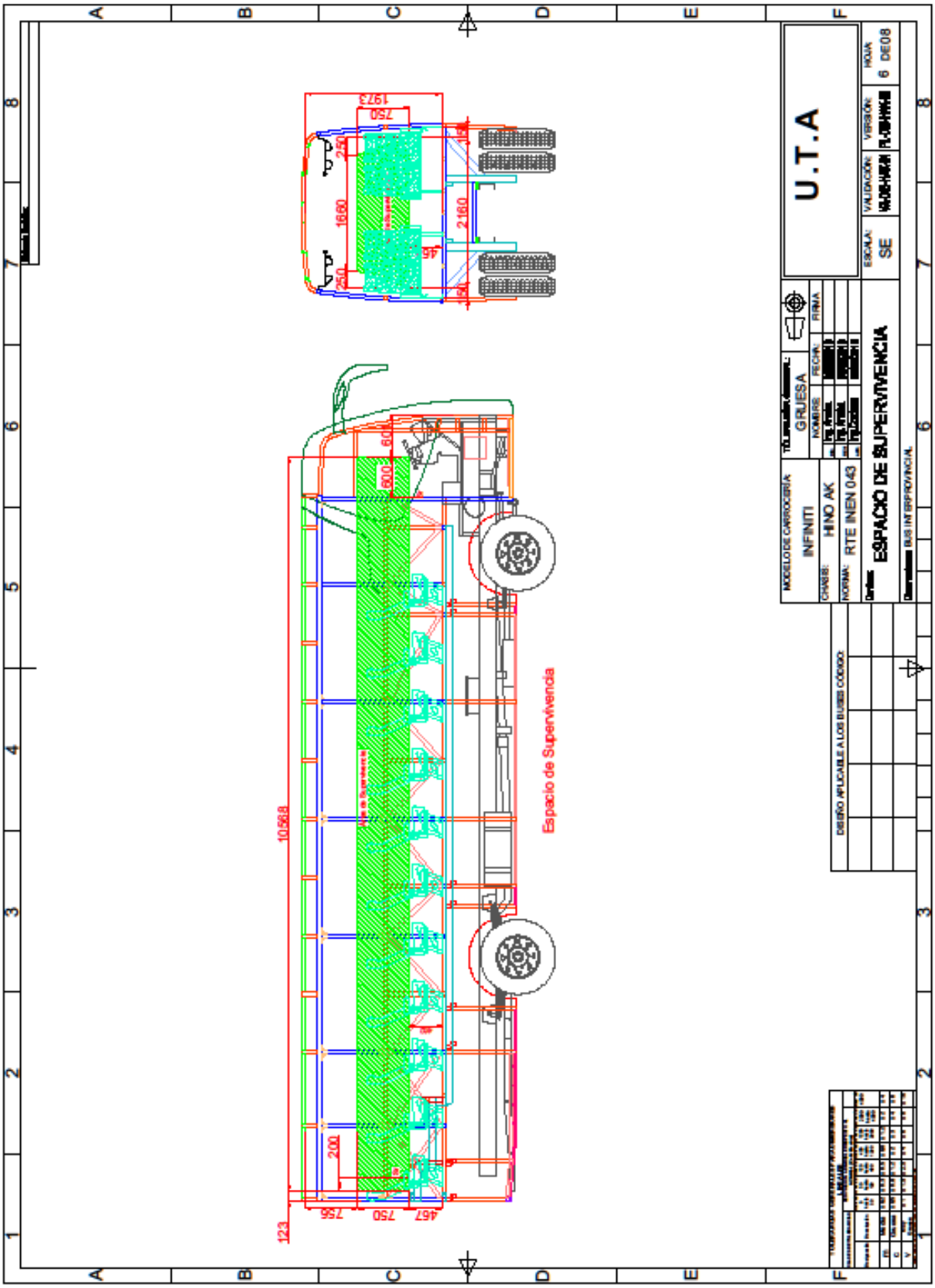

11292
Lateral Derecho (Dimensiones)
Lateral Derecho (materiales)
MODELO DE CARROCERÍA:
INFINITI
CHASIS:
HINO AK
NORMA:
RTE INEN 043
TOLERANCIA GENERAL:
GRUESA
NOMBRE:
FECHA:
FIRMA
Ing. Aeroba
03/06/2013
Ing. Aeroba
03/06/2013
Ing.Cordova
03/06/2013
U.T.A
ESTRUCTURA LATERAL DERECHA
ESCALA:
1:40
VALIDACIÓN:
VA-DIS-HAK-IN
VERSIÓN:
PL-DIS-HAK-IN
HOJA:
01 DE 08
DISEÑO APLICABLE A LOS BUSES CÓDIGO:
TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

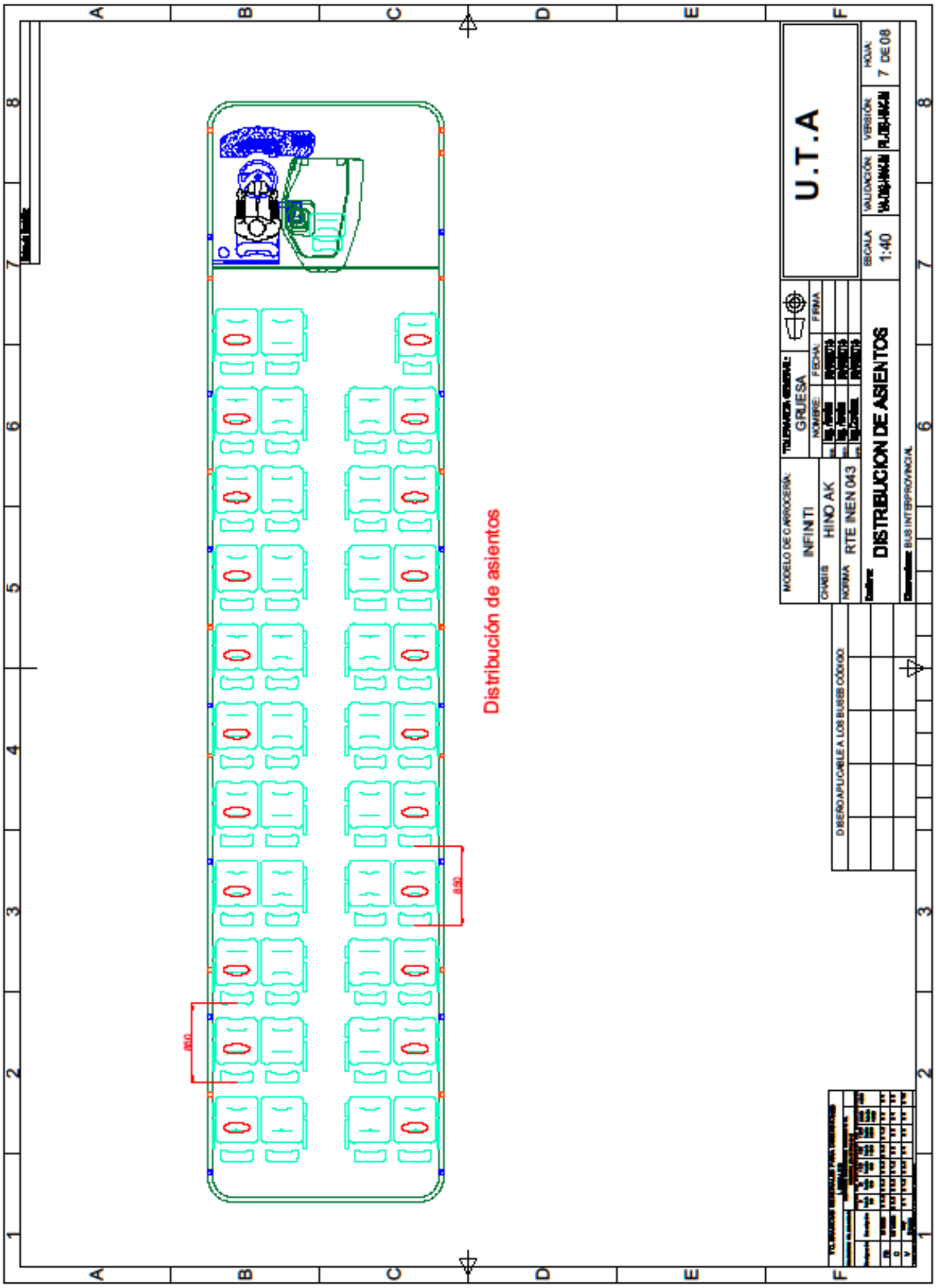

Lateral Derecho (Materiales)
Lateral Derecho (Dimensiones)
MODELO DE CARROCERÍA:
INFINITI
CHASIS:
HINO AK
NORMA:
RTE INEN 043
GRUESA
NOMBRE
FECHA
FIRMA
U.T.A
ESTRUCTURA LATERAL IZQUIERDA
ESCALA:
1:40
VALIDACIÓN:
VERSIÓN:
HOJA:
02 DE 08
DISEÑO APLICABLE A LOS BUSES CÓDIGO:

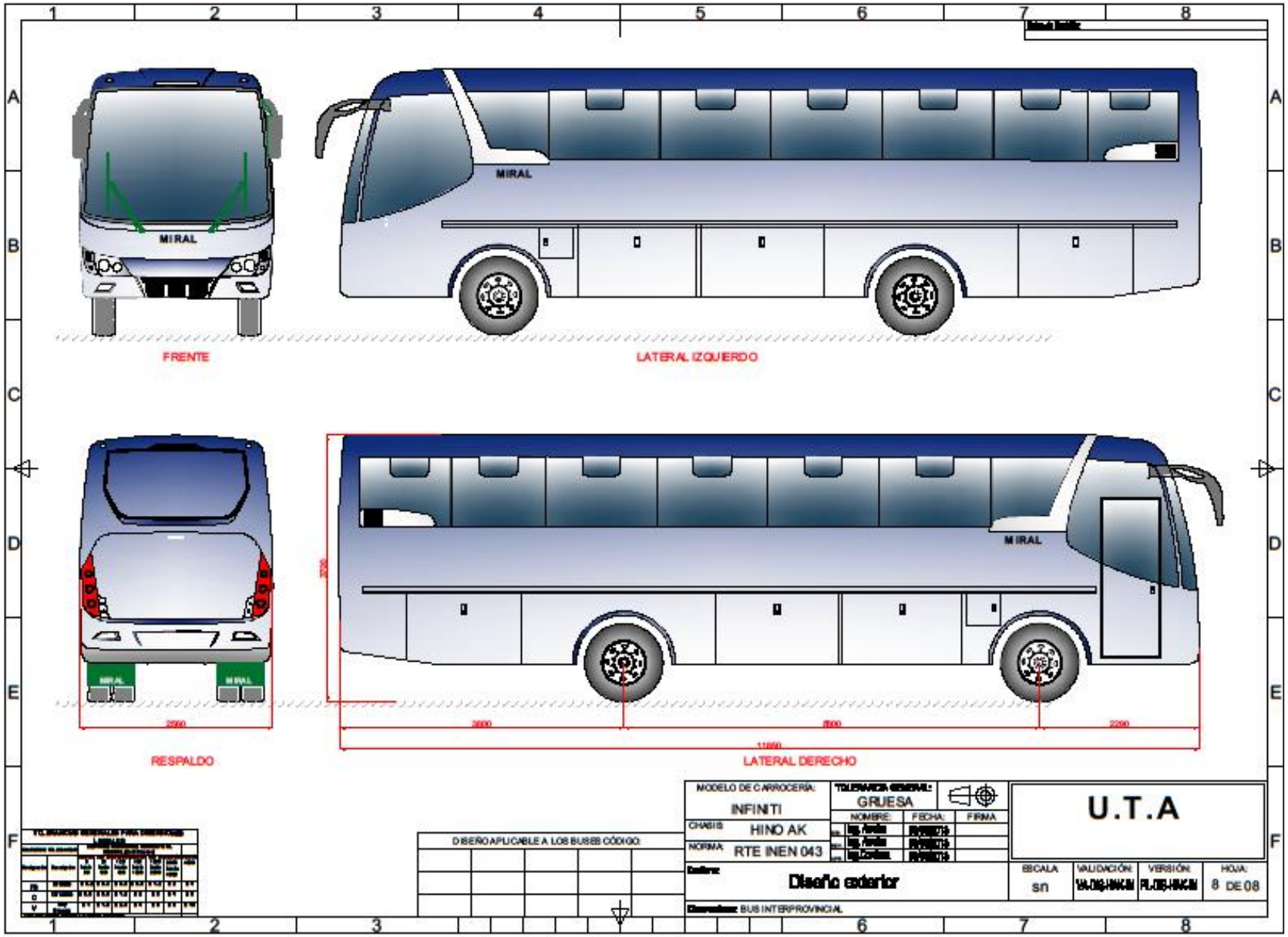

Techo (Dimensiones)
Techo (Materiales)
U.T.A
ESTRUCTURA DEL TECHO
GRUESA
INFINITI
HINO AK
RTE INEN 043
1:40
03 DE 08


Piso (Dimensiones)
Piso (Dimensiones)
U.T.A
ESTRUCTURA DEL PISO
INFINITI
HINO AK
RTE INEN 043
GRUESA
1:40
04 DE 08


Conexión chasis Carrocería (dimensiones)
Conexión chasis Carrocería (Materiales)
Pórtico
U.T.A
CONEXIÓN CHASIS CARROCERIA
MODELO DE CARROCERÍA: INFINITI
CHASIS: HINO AK
NORMA: RTE INEN 043
GRUESA
ESCALA: 1:40
HOJA 05 DE 08
DISEÑO APLICABLE A LOS BUSES CÓDIGO


U.T.A
ESPACIO DE SUPERVIVENCIA
INFINITI
HINO AK
RTE INEN 043
GRIJESA
SE
6 DE 08
Espacio de Supervivencia
10568
1973
2160
1660
123


Distribución de asientos
U.T.A
DISTRIBUCION DE ASIENTOS
INFINITI
HINO AK
RTE INEN 043
GRUESA
1:40
7 DE 08
BUS INTERPROVINCIAL


MIRAL
FRENTE
LATERAL IZQUIERDO
RESPALDO
LATERAL DERECHO
MODELO DE CARROCERÍA:
INFINITI
CHASIS
HINO AK
NORMA
RTE INEN 043
TOLERANCIA GENERAL:
GRUESA
NOMBRE:
FECHA:
FIRMA
U.T.A
Diseño exterior
BUS INTERPROVINCIAL
DISEÑO APLICABLE A LOS BUSES CÓDIGO:
ESCALA:
sn
VALIDACIÓN:
VERSIÓN:
HOJA:
8 DE 08