



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECÁNICO**

TEMA

“ANÁLISIS DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRONTAL Y POSTERIOR
CONTRA EL EMPOTRAMIENTO EN COLISIONES DE VEHÍCULOS
LIVIANOS CON VEHÍCULOS DE CATEGORÍA N2 PARA VERIFICAR EL
CUMPLIMIENTO DE LAS REGULACIONES N°58 Y N°93 DE LA UNECE EN
LA EMPRESA MASTER METAL”.

AUTOR: Luis Eduardo Perdomo Campaña

TUTOR: Ing. César Arroba. Mg.

AMBATO – ECUADOR

2017

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema “**ANÁLISIS DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRONTAL Y POSTERIOR CONTRA EL EMPOTRAMIENTO EN COLISIONES DE VEHÍCULOS LIVIANOS CON VEHÍCULOS DE CATEGORÍA N2 PARA VERIFICAR EL CUMPLIMIENTO DE LAS REGULACIONES N°58 Y N°93 DE LA UNECE EN LA EMPRESA MASTER METAL**”, desarrollado por el Sr. Luis Eduardo Perdomo Campaña, portador de la cédula de ciudadanía: 050389356-2, y egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

- El presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

.....
Ing. César Arroba. Mg
TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO

Los criterios emitidos en este trabajo experimental con el tema “**ANÁLISIS DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRONTAL Y POSTERIOR CONTRA EL EMPOTRAMIENTO EN COLISIONES DE VEHÍCULOS LIVIANOS CON VEHÍCULOS DE CATEGORÍA N2 PARA VERIFICAR EL CUMPLIMIENTO DE LAS REGULACIONES N°58 Y N°93 DE LA UNECE EN LA EMPRESA MASTER METAL**”, como también las ideas, análisis, y conclusiones son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autor.

.....

Luis Eduardo Perdomo Campaña

C.I: 050389356-2

DERECHOS DE AUTOR

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

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi trabajo experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este trabajo experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Autor

.....
Luis Eduardo Perdomo Campaña
C.I: 050389356-2

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Experimental, sobre el tema: “ANÁLISIS DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRONTAL Y POSTERIOR CONTRA EL EMPOTRAMIENTO EN COLISIONES DE VEHÍCULOS LIVIANOS CON VEHÍCULOS DE CATEGORÍA N2 PARA VERIFICAR EL CUMPLIMIENTO DE LAS REGULACIONES N°58 Y N°93 DE LA UNECE EN LA EMPRESA MASTER METAL”, del egresado Luis Eduardo Perdomo Campaña de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica,

Ambato, Junio del 2017

Para constancia firman:

Ing. Mg. Diego Núñez

Ing. Mg. Cristian Pérez

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación primeramente a Dios, por permitirme haber llegado a este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi querida madre Martha, por ser el pilar de mi vida y la que me ha acompañado durante todo mi trayecto estudiantil, quien con sus consejos y apoyo incondicional ha sabido guiarme para no de caer antes las adversidades que he tenido durante toda mi vida.

A mi padre Luis Alonso, a pesar de que no tengo presente físicamente, siento que siempre estás conmigo cuidándome y guiándome por el buen camino, y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí.

A mi hermano Juan Carlos y mi cuñada Nancy, quienes siempre han estado junto a mí y brindándome su apoyo incondicional.

A mis sobrinos Ángel Andrés y Jovana Elizabeth, quienes han sido y son mi motivación, inspiración y felicidad.

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a mi madre, que con su demostración de una madre ejemplar me ha enseñado a no desmayar ni rendirme ante nada y por acompañarme durante todo este arduo camino y compartir conmigo alegrías y fracasos.

A cada uno de los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, carrera de Ingeniería Mecánica en especial al Ing. Cesar Arroba, Mg. por impartirme sus conocimientos y su paciencia durante el desarrollo de mi investigación.

A la empresa MasterMetal y su gerente el Sr. Fausto Barros por facilitar la realización de este estudio en sus instalaciones.

Al laboratorio CENDIngeniería S.A. y su gerente el Ing. Mario Brito por el apoyo brindado para la realización de esta investigación.

En fin, quiero agradecer infinitamente a todas las personas que me ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PÁGINAS PRELIMINARES	Nº PÁGINA
PORTADA.....	I
APROBACIÓN POR EL TUTOR.....	II
AUTORÍA DEL TRABAJO	III
DERECHOS DE AUTOR	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XVIII
RESUMEN EJECUTIVO	XIX
EXECUTIVE SUMMARY.....	XX
CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1 Tema del trabajo experimental.....	1
1.2 Antecedentes	1
1.3 Justificación.....	2
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo General	4
1.4.2 Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO II	5
FUNDAMENTACIÓN.....	5
2.1 Fundamentación teórica	5
2.1.1 Lesiones Frecuentes En Siniestros De Transito.....	5
2.1.1.1 Lesión.....	5
2.1.1.2 Tipos más comunes de lesiones	5
2.1.1.3 Tipos de colisiones vehiculares y sus efectos sobre los ocupantes.....	5
2.1.2 Seguridad	6

2.1.2.1 Seguridad Activa.....	6
2.1.2.2 Seguridad Pasiva	7
2.1.3 Barra Contra El Empotramiento.....	7
2.1.4 Mécanica de materiales	8
2.1.4.1 Teoría de la elasticidad	8
2.1.4.2 Deformación unitaria longitudinal	10
2.1.4.3 Coeficiente de rigidez	10
2.1.4.4 Ley de Hooke	10
2.1.4.5 Fluencia.....	11
2.1.5 Módulo de elasticidad longitudinal o de Young	12
2.1.6 Coeficiente de Poisson	13
2.1.7 Conservación de la energía	14
2.1.8 Impacto.....	15
2.1.9 Ensayo de tracción del acero.....	15
2.1.9.1 Probetas para tracción	16
2.1.10 Método De Elementos Finitos (Mef)	16
2.1.10.1 Principios básicos.....	17
2.1.10.2 Aplicaciones	18
2.1.10.3 Delimitación del método por elementos finitos	18
2.1.10.3.1 Mecánica computacional.....	19
2.1.11 Linealidad Vs No Linealidad	19
2.1.11.1 Análisis No Lineal Explícito E Implícito.....	20
2.1.11.2 Parámetros De No Linealidad	20
2.1.12 Creación De Un Modelo	21
2.1.12.1 Tipos De Elementos	21
2.1.13 Simulación Computacional	23
2.1.13.1 Pre-Procesamiento	23
2.1.13.1.1 Geometría.....	24
2.1.13.1.2 Material	24
2.1.13.1.3 Mallado	24
2.1.13.2 Procesamiento	34
2.1.13.3 Post-Procesamiento	34

2.1.14 Reglamento N°58 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa	35
2.1.14.1 Ámbito de aplicación	35
2.1.14.2 Objetivo.....	35
2.1.14.3 Definiciones	35
2.1.14.4 Prescripciones uniformes relativas a la homologación de los dispositivos de protección trasera contra el empotramiento.	36
2.1.14.4.1 Prescripciones aplicables a la PARTE I.....	36
2.1.14.4.2 Prescripciones aplicables a la PARTE II	36
2.1.14.4.3 Prescripciones aplicables a la PARTE II	37
2.1.14.5 Condiciones y procedimientos de ensayo	38
2.1.14.5.1 Condiciones de ensayo de los dispositivos de protección trasera contra el empotramiento.....	38
2.1.14.5.2 Condiciones de ensayo de los vehículos	39
2.1.14.6 Procedimiento de ensayo.....	39
2.1.15 Reglamento N°93 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa	41
2.1.15.1 Ámbito de aplicación	41
2.1.15.2 Objetivo.....	42
2.1.15.3 Definiciones	42
2.1.15.4 Prescripciones uniformes relativas a la homologación de los dispositivos de protección delantera contra el empotramiento.	42
2.1.15.4.1 Prescripciones aplicables a la PARTE I.....	42
2.1.15.4.2 Prescripciones aplicables a la PARTE II	43
2.1.15.4.3 Prescripciones aplicables a la PARTE III	44
2.1.15.5 Condiciones y procedimientos de ensayo	46
2.1.15.5.1 Condiciones de ensayo de los dispositivos de protección frontal contra el empotramiento.....	46
2.1.15.5.2 Condiciones de ensayo de los vehículos	46
2.1.15.6 Procedimiento de ensayo.....	47
2.1.16 Clasificación vehicular en el Ecuador.....	48
2.2 Hipótesis.....	50
2.3 Señalamiento de variables de la hipótesis	50

2.3.1 Variable Independiente	50
2.3.2 Variable Dependiente.....	50
CAPÍTULO III.....	51
METODOLOGÍA	51
3.1 Nivel o tipo de investigación.....	51
3.1.1 Exploratorio.....	51
3.1.2 Descriptivo	51
3.1.3 Experimental	51
3.1.4 Explicativo	51
3.2 Población y muestra	52
3.2.1 Población.....	52
3.2.2 Muestra.....	52
3.3 Operacionalización de variables	53
3.3.1 Variable independiente	53
3.3.2 Variable dependiente.....	54
3.4 Plan de recolección de información.	55
3.5 Plan Procesamiento y análisis. (Procedimiento detallado sobre cómo se procesó la información recolectada).....	55
CAPÍTULO IV.....	56
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	56
4.1 Recolección de datos.....	56
4.1.1 Descripción de los dispositivos de protección.	57
4.1.2 Características generales del chasis	58
4.1.3 Materiales utilizados en la estructura de los dispositivos de protección.....	59
4.1.4 Dimensiones generales de la estructura de la barra anti empotramiento.	60
4.1.5 Distribución de los dispositivos de protección.....	60
4.1.6 Preprocesado para análisis en software de elementos finitos.....	61
4.1.6.1 Geometría.....	61
4.1.6.2 Material	62
4.1.6.3 Cargas y condiciones de borde.....	64
4.1.6.4 Mallado	67
4.1.7 Ensayos preliminares	67

4.1.7.1 Validación del material utilizado en la fabricación de los dispositivos de protección.....	67
4.2 Análisis de los resultados	69
4.2.1 Simulación de colisión posterior de impactador contra dispositivo de protección.....	69
4.2.1.1 Simulación de colisión posterior 100% overlap.....	71
4.2.1.2 Simulación de colisión posterior 50% overlap.....	77
4.2.2 Simulación de colisión frontal de impactador contra barra antiempotramiento	84
4.2.2.1 Simulación de colisión frontal 100% overlap.	85
4.2.2.2 Simulación de colisión frontal 50% overlap.	90
4.2.3 Simulación de colisión posterior contra dispositivo de protección modificado	97
4.2.3.1 Rediseño de la estructura	97
4.2.3.2 Simulación de colisión posterior 100% overlap con dispositivo de protección modificado.....	103
4.2.3.3 Simulación de colisión posterior 50% overlap con dispositivo de protección modificado.....	109
4.2.4 Simulación de colisión frontal con dispositivo de protección modificado	116
4.2.4.1 Rediseño de la estructura	116
4.2.4.2 Simulación de colisión frontal 100% overlap con barra antiempotramiento modificada.....	121
4.2.4.3 Simulación de colisión frontal 50% overlap con barra antiempotramiento modificada.....	126
4.2.5 Simulación de ensayo de impacto frontal y posterior de homologación según procedimientos de ensayo de las regulaciones N°58 y N°93 (CEPE) en dispositivos de protección modificados.	133
4.2.5.1 Simulación de ensayo de impacto frontal.	134
4.2.5.2 Simulación de ensayo de impacto posterior.....	141
4.3 Verificación de hipótesis.....	147
CAPÍTULO V	150
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	150
5.1 Conclusiones	150
5.2 Recomendaciones.....	151
MATERIALES DE REFERENCIA	152

ANEXOS	157
ANEXO A1: Reglamento N°58 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE)- Prescripciones uniformes relativas a la homologación de dispositivos de protección trasera contra el empotramiento.	158
ANEXO A2: Reglamento N°93 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE)- Prescripciones uniformes relativas a la homologación de dispositivos de protección delantera contra el empotramiento.	164
ANEXO A3 Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034 Elementos mínimos de seguridad para vehículos automotores.	171
ANEXO A4 Extracto Reglamento N°95 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE)- Prescripciones uniformes relativas a la homologación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión lateral.....	173
ANEXO A5 Velocidad recomendada para el análisis de impacto frontal según reglamento N°94 de la Comisión Económica para Europa (CEPE).	178
ANEXO B1 Especificaciones técnicas materiales utilizados en dispositivos de protección posterior.....	179
ANEXO C1 Diseño de pernos para la unión empernada.....	180

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Tipos de dispositivos de protección. [10]	7
Figura 2.2 Barra cilíndrica de longitud original L_0 , sometida a tracción [13].....	8
Figura 2.3 Esfuerzo normal [13].....	9
Figura 2.4 Curva típica de la deformación unitaria ϵ con respecto al esfuerzo aplicado σ . [16]	11
Figura 2.5 Deformación longitudinal de una barra. [19]	12
Figura 2.6 Ejemplos de discretización [25]	16
Figura 2.7 Resultado del Análisis de esfuerzos en cargas estáticas de la pieza (izquierda) y modelo con elementos dispersos (derecha). [26]	17
Figura 2.8 Simulación de impacto de bala. [26]	18
Figura 2.9 Ramas de la Mecánica. [25]	19
Figura 2.10 Ramas de la mecánica computacional. [25]	19
Figura 2.11 División de problemas estáticos. [25].....	20

Figura 2.12 Tipos de elemento Shell. [32].....	23
Figura 2.13 Tipos de elementos [41]	25
Figura 2.14 Formas: a) Malla 2D b) Malla 3D.[41].....	25
Figura 2.15 Cálculo cuadrático de la relación de aspecto[43]	27
Figura 2.16 Relación de aspecto para cuadriláteros[43]	27
Figura 2.17 Razones Jacobianas para Triángulos.[43].....	29
Figura 2.18 Razones Jacobianas para los Cuadriláteros.[43].....	29
Figura 2.19 Razones Jacobianas para los Cuadriláteros.[43].....	30
Figura 2.20 Cuadrilátero con factor de deformación. [43].....	30
Figura 2.21 Desviaciones paralelas para cuadriláteros. [43].....	31
Figura 2.22 Ángulos de esquina máxima para triángulos.[43]	32
Figura 2.23 Ángulos de ángulo máximo para cuadriláteros.[43].....	32
Figura 2.24 Triángulos y cuadriláteros ideales y inclinados. [43]	32
Figura 2.25 Vectores utilizados para calcular la calidad ortogonal de una célula. [43].....	33
Figura 2.26 Posición del dispositivo de protección posterior y los puntos de impacto P1, P2, y P3.[31].....	41
Figura 2.27 Posición del dispositivo de protección frontal y los puntos de impacto P1, P2, y P3. [5].....	43
Figura 4.1 Diagrama de proceso para el desarrollo del presente estudio.....	57
Figura 4.2 Dispositivo de protección posterior Master Metal.....	58
Figura 4.3 Dispositivo de protección frontal Master Metal	58
Figura 4.4 Camión NPR REWARD marca ISUZU	59
Figura 4.5 Dimensiones de la barra anti empotramiento	60
Figura 4.6 Project Workbench	61
Figura 4.7 Selección de Material	62
Figura 4.8 Selección de los componentes del modelo de material.....	62
Figura 4.9 Definición de componente Multilinear Isotropic Hardening.....	63
Figura 4.10 Definición de componente Plastic Strain Failure	63
Figura 4. 11 Restricciones Impacatador.....	64
Figura 4.12 Restricciones Dispositivo de carga.....	65
Figura 4. 13 Condiciones de frontera para simulación de colision.....	65
Figura 4. 14 Condiciones de frontera para ensayo de impacto	65
Figura 4.15 Posiciones del dispositivo de carga en la barra posterior. [47].....	66

Figura 4.16 Posiciones del dispositivo de carga en la barra frontal. [48]	67
Figura 4.17 Comparación entre datos reales y datos simulados	69
Figura 4.18 Barra antiempotramiento posterior de MasterMetal	70
Figura 4.19 Geometría de la sección posterior del furgón	70
Figura 4.20 Geometría del impactador según Regulación CEPE N°95	70
Figura 4. 21 Vista Frontal de mallado	71
Figura 4.22 Vista Isométrica del mallado de la estructura de furgón e impactador 100% overlap	72
Figura 4.23 Parámetros de evaluación de malla.....	73
Figura 4. 24. Evaluación de Aspect Ratio, Skewness y Ortogonal Quality	74
Figura 4.25 Desplazamiento del dispositivo de protección posterior 100% overlap	76
Figura 4.26 Energía cinética y energía interna durante colisión posterior	77
Figura 4.27 Vista Superior de Mallado.....	77
Figura 4.28 Vista isométrica del mallado de la estructura de furgón e impactador 50% overlap	78
Figura 4.29 Parámetros de evaluación de malla.....	79
Figura 4. 30. Evaluación de Aspect Ratio y Skewness	80
Figura 4.31 Desplazamiento del dispositivo de protección posterior 50% overlap	83
Figura 4.32 Energía cinética y energía interna durante colisión posterior	83
Figura 4.33 Barra antiempotramiento frontal de MasterMetal	84
Figura 4.34 Geometría de la sección frontal del vehículo tipo N2	84
Figura 4.35 Vista Frontal de mallado.....	85
Figura 4.36 Mallado de la estructura del furgón e impactador	85
Figura 4.37 Parámetros de evaluación de malla.....	86
Figura 4.38 Evaluación de Aspect Ratio y Skewness	87
Figura 4.39 Desplazamiento del dispositivo de protección frontal con impactador 100% overlap	89
Figura 4.40 Desplazamiento del dispositivo de protección frontal con impactador 100% overlap	90
Figura 4.41 Vista frontal de mallado	90
Figura 4.42 Vista isométrica del mallado de la estructura de furgón e impactador 50% overlap	91
Figura 4.43 Parámetros de evaluación de malla.....	91
Figura 4.44 Evaluación de Aspect Ratio y Skewness	93
Figura 4.45 Desplazamiento del dispositivo de protección frontal 50% overlap.....	96

Figura 4.46 Desplazamiento del dispositivo de protección frontal con impactador centrado	96
Figura 4.47 Dispositivo de protección trasera modificada.....	101
Figura 4.48 Altura máxima de la parte inferior del dispositivo de protección frontal al suelo	102
Figura 4.49 Dimensiones del dispositivo de protección posterior según R58 CEPE	102
Figura 4.50 Geometría de la sección posterior del furgón con dispositivo de protección modificado	102
Figura 4. 51 Vista Frontal de mallado	103
Figura 4.52 Mallado de la estructura de furgón e impactador	103
Figura 4.53 Parámetros de evaluación de malla.....	104
Figura 4.54 Evaluación de Aspect Ratio y Skewness	106
Figura 4.55 Desplazamiento de dispositivo de protección modificado con impactador 100% overlap	108
Figura 4.56 Energía cinética y energía interna durante impacto posterior.....	109
Figura 4.57 Vista Superior de Mallado.....	109
Figura 4.58 Vista isométrica del mallado de la estructura de furgón e impactador 50% overlap	110
Figura 4.59 Parámetros de evaluación de malla.....	110
Figura 4.60 Evaluación de Aspect Ratio y Skewness	112
Figura 4.61 Desplazamiento del dispositivo de protección posterior con impactador a un costado	115
Figura 4.62 Energía cinética y energía interna durante impacto posterior.....	115
Figura 4.63 Dispositivo de protección frontal modificado	119
Figura 4.64 Dimensiones del dispositivo de protección frontal según R93 CEPE	120
Figura 4.65 Geometría de la sección frontal del furgón.....	120
Figura 4.66 Vista Frontal de mallado.....	121
Figura 4.67 Mallado de la estructura frontal e impactador	121
Figura 4.68 Parámetros de evaluación de malla.....	122
Figura 4.69 Evaluación de Aspect Ratio, Skewness y Ortogonal Quality	123
Figura 4.70 Desplazamiento del dispositivo de protección frontal con impactador 100% overlap	125
Figura 4.71 Energía cinética y energía interna durante impacto frontal	126
Figura 4.72 Vista Superior de mallado	126
Figura 4.73 Vista isométrica del mallado de la estructura de furgón e impactador 50% overlap	127

Figura 4.74 Parámetros de evaluación de malla.....	127
Figura 4.75 Evaluación de Aspect Ratio y Skewness	129
Figura 4.76 Desplazamiento del dispositivo de protección frontal 50% overlap.....	132
Figura 4.77 Desplazamiento del dispositivo de protección frontal con impactador centrado	132
Figura 4.78 Resultados obtenidos después de ensayo frontal	133
Figura 4.79 Resultados obtenidos después de ensayo posterior	133
Figura 4.80 Dispositivo de carga	134
Figura 4.81 Distancia a la que se debe aplicar la carga P1	135
Figura 4.82 Máximo desplazamiento después de aplicar la carga P1	135
Figura 4.83 Deformación plástica.....	136
Figura 4.84 Esfuerzo de Von Mises.....	136
Figura 4. 85 Distancia a la que se debe aplicar la carga P2	137
Figura 4.86 Máximo desplazamiento despues de aplicar la carga P2.....	137
Figura 4.87 Deformación plástica.....	138
Figura 4.88 Esfuerzo de Von Mises.....	138
Figura 4.89 Distancia a la que se debe aplicar la carga P3	139
Figura 4.90 Máximo desplazamiento despues de aplicar la carga P3.....	139
Figura 4.91 Deformación plástica.....	140
Figura 4.92 Esfuerzo de Von Mises.....	140
Figura 4.93 Distancia a la que se debe aplicar la carga P1	141
Figura 4.94 Máximo desplazamiento despues de aplicar la carga P1	141
Figura 4.95 Deformación plástica.....	142
Figura 4. 96 Esfuerzo de Von Mises.....	142
Figura 4.97 Distancia a la que se debe aplicar la carga P2	143
Figura 4. 98 Máximo desplazamiento despues de aplicar la carga P2.....	143
Figura 4.99 Deformación plástica.....	144
Figura 4.100 Esfuerzo de Von Mises.....	144
Figura 4.101 Distancia a la que se debe aplicar la carga P3	145
Figura 4.102 Máximo desplazamiento despues de aplicar la carga P3.....	145
Figura 4.103 Deformación plástica.....	145
Figura 4.104 Esfuerzo de Von Mises.....	146

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Ubicaciones de muestreo de RJ	28
Tabla 2. 2 Calidad de célula.....	32
Tabla 2. 3 Rangos aceptables para validación de malla.....	34
Tabla 4.1 Especificaciones técnicas del chasis.	59
Tabla 4.2 Materiales de barra anti empotramiento.....	60
Tabla 4.3 Resumen de parámetros y propiedades de acero A36.....	64
Tabla 4. 4 Cargas requeridas.....	67
Tabla 4.5 Comparación de resultados entre ensayo real versus ensayo simulado	68
Tabla 4.6 Elementos agregados a la barra antiempotramiento.....	99
Tabla 4.7 Modificaciones realizadas a dispositivo de protección posterior.....	100
Tabla 4.8 Uniones entre elementos	101
Tabla 4.9 Elementos agregados a la barra antiempotramiento.....	117
Tabla 4.10 Modificaciones realizadas a dispositivo de protección frontal	118
Tabla 4. 11 Uniones entre elementos	119
Tabla 4.12 Propiedades mecánicas acero ASTM A36.....	134
Tabla 4.13 Cargas requeridas para ensayo de impacto Frontal.....	134
Tabla 4. 14 Cargas requeridas para ensayo de impacto posterior	141
Tabla 4.15 Resumen de resultados de dispositivo de protección frontal despues de colisión	147
Tabla 4.16 Resumen de resultados de dispositivo de protección posterior despues de colisión	147
Tabla 4.17 Resumen de resultados de dispositivo de protección frontal despues de colisión	148
Tabla 4.18 Resumen de resultados de dispositivo de protección posterior después de colisión	148
Tabla 4.19 Resumen de resultados de dispositivo de protección frontal después de ensayo de impacto.....	149
Tabla 4.20 Resumen de resultados de dispositivo de protección posterior después ensayo de impacto.....	149

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

AUTOR: LUIS EDUARDO PERDOMO CAMPAÑA

TUTOR: Ing. CÉSAR ARROBA, Mg.

“ANÁLISIS DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRONTAL Y POSTERIOR CONTRA EL EMPOTRAMIENTO EN COLISIONES DE VEHÍCULOS LIVIANOS CON VEHÍCULOS DE CATEGORÍA N2 PARA VERIFICAR EL CUMPLIMIENTO DE LAS REGULACIONES N°58 Y N°93 DE LA UNECE EN LA EMPRESA MASTER METAL”

RESUMEN EJECUTIVO

En la industria de furgones para camiones se evidenció que el proceso de construcción de los dispositivos de protección frontal y posterior se lo realiza en forma empírica, ya que no existe ningún estudio realizado sobre la resistencia de dichos dispositivos, tampoco se cuenta con una máquina de impacto para evaluar la resistencia de los dispositivos de protección debido al elevado costo.

Esta investigación se basa en la simulación del ensayo de impacto frontal y posterior de los sistemas contra el empotramiento fabricado por MasterMetal mediante un software especializado en elementos finitos, con el fin de determinar si las configuraciones de los sistemas contra el empotramiento garantizan la resistencia al impacto durante y después del ensayo, determinado por las regulaciones N°58 y N°93 (CEPE/ONU).

Para el estudio se determinó las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en la fabricación de los dispositivos de protección, caracterizando de esta manera el material, también se realizó la validación de los resultados emitidos por el software especializado simulando el ensayo de tracción y comparando los resultados con los obtenidos del ensayo físico.

Se realizó una modificación en ambos dispositivos de protección demostrando que cumplen con las prescripciones de homologación descritos en las regulaciones N°58 y N°93 (CEPE/ONU)

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND MECHANICAL

AUTHOR: LUIS EDUARDO PERDOMO CAMPAÑA

TUTOR: Ing. CÉSAR ARROBA, Mg.

“ANALYSIS OF FRONT AND REAR PROTECTION SYSTEMS AGAINST UNDERRUN IN COLLISIONS OF LIGHT VEHICLES WITH VEHICLES OF CATEGORY N2 TO VERIFY COMPLIANCE WITH THE REGULATIONS N°58 AND N°93 OF THE UNECE IN THE COMPANY MASTER METAL”

EXECUTIVE SUMMARY

In the industry of vans for trucks, it was clear that the process of construction of the protective devices on the front and rear it is carried out in an empirical way, as there is no study on the resistance of these devices, there is a machine of impact to evaluate the resistance of the protective devices due to the high cost.

This research is based on the simulation of the impact test on the front and back of the underrun protection systems manufactured by MasterMetal using a specialized software in finite element analysis, in order to determine whether the settings of the front underrun protection systems ensure the impact resistance during and after the test, as determined by the Regulations N°58 and N°93 (UNECE).

The study found for the mechanical properties of the materials used in the manufacture of the protective devices, characterized in this way, the material, the validation of the results issued by the specialized software simulating the tensile test and comparing the results with those obtained from the physical testing.

A modification was made in both protection devices demonstrating compliance with approval requirements described in the regulations N°58 and N°93 (UNECE).

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 Tema del trabajo experimental

ANÁLISIS DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN FRONTAL Y POSTERIOR CONTRA EL EMPOTRAMIENTO EN COLISIONES DE VEHÍCULOS LIVIANOS CON VEHÍCULOS DE CATEGORÍA N2 PARA VERIFICAR EL CUMPLIMIENTO DE LAS REGULACIONES N°58 Y N°93 DE LA UNECE EN LA EMPRESA MASTER METAL.

1.2 Antecedentes

Bordegé [1], en su estudio realizó un análisis del comportamiento de la protección trasera al someterse a una colisión entre un turismo contra un camión en el cual concluyó que:

- Los ocupantes del turismo tienen estadísticamente más probabilidad de sufrir lesiones graves o morir en una colisión, que los ocupantes del camión.
- La altura de la estructura del camión influye notablemente en las lesiones de los ocupantes del turismo con el que colisiona, ya que la diferencia de alturas facilita la intrusión en el habitáculo del vehículo golpeado.
- Cuando la rigidez del vehículo pesado aumenta, hay un descenso del riesgo al que están expuestos sus ocupantes, pero se incrementa el riesgo de los ocupantes del otro vehículo con el que colisiona.

Como se demuestra en [2], se realizó una serie de simulaciones estáticas y dinámicas con un modelo frontal simplificado con el fin de analizar el comportamiento de la línea base de un tráiler, con y sin el dispositivo de protección frontal al sufrir una colisión contra un vehículo liviano, al finalizar dicha investigación los autores concluyeron que, el tráiler al poseer un dispositivo de protección frontal al colisionar a una velocidad de 90 kph absorbe una energía de 375 kJ y una deformación de 180 mm, evitando que el tráiler y el vehículo liviano sufra daños considerables cumpliendo así con los requerimientos de la normativa validando de esta manera el diseño del dispositivo.

Como se demuestra en [3], se realizó un análisis de comportamiento a seis diseños propuestos de dispositivos de protección trasera utilizando software LS-DYNA, al final de la investigación los autores propusieron un diseño optimizado cumpliendo con los requerimientos descritos por la regulación 53 de la UNECE.

Como se demuestra en [4], se realizó el análisis de choque a tres modelos basados en la regulación de India, el cual consistió en simular una colisión golpeando al dispositivo de protección con cierta velocidad con el fin de analizar el rendimiento del dispositivo y cambiar el diseño para mejorar los resultados de la colisión, al final de dicha investigación se obtuvo un diseño optimizado y aceptable para su posterior homologación.

1.3 Justificación

Según un informe publicado por la Organización Mundial de la Salud (2015), Ecuador es el quinto país con más muertes por accidentes de tránsito en Latinoamérica, con un promedio de 20.1 muertes en carreteras. [5]

Hasta abril del 2016 la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) reportó un total de 10.689 muertes por accidentes de tránsito de los cuales el 10.66% y el 5.15% de accidentes fueron choques posteriores y choques frontales respectivamente. [6]

Para reducir el índice de fallecidos en este tipo de accidentes los institutos de normalización y regulaciones mundiales han implementado reglamentos y

regulaciones en la construcción de vehículos de carga, los cuales deben cumplir y ser controlados por organismos gubernamentales.

El reglamento N°034 del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), exige que los vehículos automotores de categorías M3, N3, N2 y O, deben estar construidos y/o equipados de manera que ofrezcan protección eficaz en la parte ancha posterior contra la incrustación de vehículos livianos. [7]

Las regulaciones N°58 y N°93 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), detallan que, para obtener la homologación, el ensayo se lo puede realizar por cualquier método análogo o simularse por cálculos, por esto es que el ensayo se realizará por simulación computacional por medio del método de elementos finitos. Dicho ensayo consiste en aplicarle lo más rápido posible a la barra contra el empotramiento tres fuerzas horizontales distribuidas (dos fuerzas laterales y una fuerza central) durante 0.2 segundos, el cual el dispositivo de protección después del impacto no deberá superar una deformación máxima de 400mm, evitando que el habitáculo del automóvil sea invadido por la barra, salvaguardando la vida del conductor. [8, 9]

Debido al incremento de accidentes en las vías, es necesario realizar un estudio de las estructuras y bastidores de los automotores construidos en Ecuador, los cuales son diseñados para cumplir determinados trabajos, como son los furgones y buses.

El análisis de los diseños estructurales de las protecciones contra el empotramiento beneficiará a los conductores de vehículos livianos, ya que al implementar dicho dispositivo se estará salvaguardando la vida del conductor, en caso de sufrir un accidente contra un camión (categoría N2), y así como también al propietario de la empresa, ya que al implementar un diseño eficiente estará cumpliendo con la normativa vigente evitando ser sancionado.

El presente proyecto es factible realizarlo ya que se cuenta con la licencia para la utilización del software Ansys, así como también se dispone de bibliografías, tecnología, el conocimiento de los docentes de la Universidad Técnica De Ambato de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica y los conocimientos adquiridos durante mis estudios, lo que me permitirá desarrollar un proyecto factible.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Analizar los sistemas de protección frontal y posterior contra el empotramiento en colisiones de vehículos livianos con vehículos de categoría N2 para verificar el cumplimiento de las regulaciones N°58 y N°93 de la UNECE en la empresa Master Metal.

1.4.2 Objetivos Específicos

- ✓ Determinar los sistemas contra el empotramiento aplicables a los vehículos de categoría N2 fabricados por la empresa MASTER METAL.
- ✓ Ensayar los sistemas contra el empotramiento mediante el método de elementos finitos aplicando las condiciones de ensayo según las regulaciones N°58 y N°93 de la UNECE.
- ✓ Analizar los resultados de los ensayos de los sistemas contra el empotramiento según las regulaciones N°58 y N°93 de la UNECE para verificar su cumplimiento.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 Fundamentación teórica

2.1.1 Lesiones Frecuentes En Siniestros De Transito

2.1.1.1 Lesión

Una lesión es una alteración de las características morfológicas o estructurales de un organismo en cualquiera de sus niveles de organización producido por factores físicos, químicos o biológicos. [10]

2.1.1.2 Tipos más comunes de lesiones

- Raspones, contusiones, esguinces, luxaciones, fracturas y laceraciones
- Lesiones cerebrales, torceduras
- Lesiones de la médula
- Lesiones psicológicas o mentales
- Hemorragias.
- Traumatismos en el abdomen, cabeza, cuello, extremidades, óseos, y tórax.[10]

2.1.1.3 Tipos de colisiones vehiculares y sus efectos sobre los ocupantes

Las lesiones están en función de los diferentes tipos de colisión:

- **Colisión Frontal:** Es aquel impacto que se ocasiona cuando dos vehículos se encuentran de frente o cuando chocamos contra un objeto fijo como un árbol, un poste de luz, un muro, entre otros.

La víctima sufre lesiones por compresión: fractura de cráneo, tórax flotante, contusión pulmonar y cerebral, fractura en rodillas, carpianos, trauma en la región cervical y hemorragia intracraneal.

- **Colisión lateral:** Se produce cuando un vehículo se impacta contra el costado de otro que está en marcha.

La víctima sufre lesiones por compresión: al tórax, pelvis y extremidades, también se puede producir fracturas como en extremidades y caja torácica.

- **Colisión posterior o alcance:** Se genera cuando un vehículo que circula detrás de otro no guarda distancia adecuada y suele ir a una velocidad más alta respecto al de adelante; el alcance puede darse en movimiento o cuando el vehículo de adelante frena de forma imprevista y el que circula atrás no alcanza a detenerse.

Puede producirse ruptura o desgarramiento de los ligamentos y lesiones en las vértebras cervicales.[11]

2.1.2 Seguridad

Actualmente los vehículos pesados están diseñados a la medida de las funciones específicas para las cuales serán utilizados. Es un medio de transporte imprescindible, no sólo gracias a su amplio número de posibilidades de aplicación y a su alta velocidad media, sino también a su fiabilidad y movilidad que ningún otro medio es capaz de lograr. [12]

El vehículo debe contar con dos tipos de seguridad: activa y pasiva.

2.1.2.1 Seguridad Activa

Los elementos de seguridad activa son aquellos que están diseñados para ayudar a evitar accidentes. Los vehículos modernos poseen una gran variedad de estos mecanismos.

Dentro de ellas se encuentran los sistemas de suspensión, frenos, dirección, transmisión y neumáticos. [12]

2.1.2.2 Seguridad Pasiva

El objetivo de los elementos que forman la denominada seguridad pasiva es reducir las consecuencias de un accidente sobre los ocupantes de un vehículo. [12]

Abarca medidas que minimizan los efectos de un impacto con el objeto de proteger a los ocupantes. Hablamos por lo tanto del habitáculo, espejos, retrovisores abatibles, airbag, cinturón de seguridad, pedales, protección contra el empotramiento, asientos, entre otros.[13]

2.1.3 Barra Contra El Empotramiento

El dispositivo anti empotramiento es un elemento de seguridad pasiva que protege al vehículo y tiene como función principal evitar que el habitáculo del vehículo liviano quede enganchado o debajo del vehículo que le preceden en caso de colisión por alcance, limitando los daños a los ocupantes. Dicho dispositivo denominado también, barra anti empotramiento, está constituido con un material rígido y por su construcción está diseñado para vehículos que se dedican al transporte de cualquier tipo de mercancía.[14]

Las barras de protección contra el empotramiento son de dos tipos, la barra de protección contra el empotramiento frontal (FUPD) y la barra de protección contra el empotramiento (RUPD), estas estructuras deben ser lo suficientemente resistentes, capaces de absorber energía en caso de impacto, soportar una deformación máxima limitada y cumplir con el fin que fue diseñado. [15]



Dispositivo de protección frontal
contra el empotramiento



Dispositivo de protección
posterior contra el empotramiento

Figura 2.1 Tipos de dispositivos de protección. [10]

La implementación y las características de las barras de protección contra el empotramiento están reguladas por algunas normativas, para este estudio nos basaremos en las siguientes:

- ✓ UNECE regulation 58 Rear under run protective device
- ✓ UNECE regulation 93 Front under run protective device

2.1.4 Mécanica de materiales

2.1.4.1 Teoría de la elasticidad

La teoría de la elasticidad estudia la mecánica de los cuerpos sólidos y tiene como propósito describir el comportamiento del sólido deformable desde el punto de vista macroscópico propio de la mecánica de los medios continuos.

El modelo matemático que se construye para describir el comportamiento del sólido, que en principio puede tener geometría y cargas cualesquiera, tiene como incógnitas fundamentales los desplazamientos de los puntos del sólido. [16]

Si un material es sometido a tracción, es decir, si el mismo es solicitado desde sus extremos en direcciones opuestas, este se deformará, cambiando su forma y volumen en mayor o menor grado, de forma similar a como se ilustra en la Fig. 2.2, la longitud del mismo aumenta y eventualmente, si la fuerza es grande, el material puede romperse. [17]

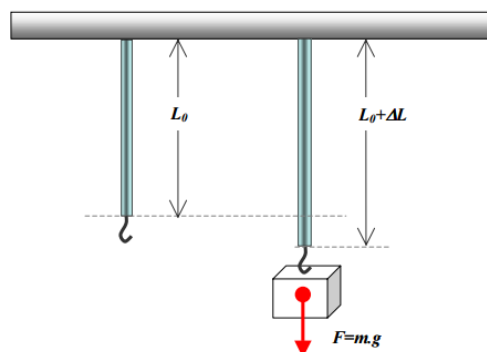


Figura 2.2 Barra cilíndrica de longitud original L_0 , sometida a tracción [13]

Elasticidad

Estudia la relación entre las fuerzas y las deformaciones, sobre todo en los cuerpos elásticos.

Cuerpo elástico

Aquel que cuando desaparecen las fuerzas o momentos exteriores recuperan su forma o tamaño original.

Cuerpo inelástico

Aquel que cuando desaparecen las fuerzas o momentos no retorna perfectamente a su estado inicial.

Comportamiento plástico

Cuando las fuerzas aplicadas son grandes y al cesar estas fuerzas, el cuerpo no retorna a su estado inicial, y tiene una deformación permanente.

Esfuerzo normal

El esfuerzo es una medida de la fuerza por unidad de área (en la que se aplica) que causa la deformación.

Los esfuerzos con dirección normal a la sección, se denotan normalmente como σ (sigma) y se denominan como esfuerzo de tracción o tensión cuando apunta hacia afuera de la sección, tratando de estirar al elemento analizado, y como esfuerzo de compresión cuando apunta hacia la sección, tratando de aplastar al elemento analizado.

[17]

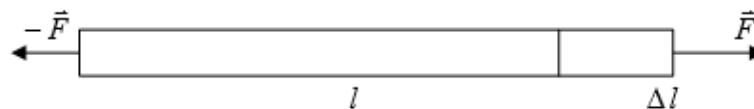


Figura 2.3 Esfuerzo normal [13]

2.1.4.2 Deformación unitaria longitudinal

Como se indica en [16], la deformación longitudinal es la variación de longitud, se define alargamiento o deformación longitudinal como:

$$\varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l} \quad (\text{Ec. 2.1}) [16]$$

Donde

ε_l = Deformación unitaria

Δl = Alargamiento sufrido al aplicar una fuerza de tracción \vec{F}

l = Longitud de la barra

2.1.4.3 Coeficiente de rigidez

Como se demuestra en [16], el coeficiente de rigidez depende la geometría del cuerpo, de su temperatura y presión y, en algunos casos, de la dirección en las que se deforma (anisotropía).

$$K_S = \frac{F}{\Delta l} \quad (\text{Ec. 2.2}) [16]$$

Donde

K_S = Coeficiente de rigidez

F = Fuerza aplicada

Δl = Alargamiento

2.1.4.4 Ley de Hooke

Esta ley afirma que la deformación elástica que sufre un cuerpo es proporcional a la fuerza que produce tal deformación, siempre y cuando no se sobrepase el límite de elasticidad [18], es solo aplicable a deformaciones unitarias pequeñas, hasta que se alcanza el límite de proporcionalidad (ver figura 2.3), y se la define como:

$$\sigma = E * \varepsilon \quad (\text{Ec. 2.3}) [16]$$

Donde

σ = Esfuerzo axial

E = Módulo de elasticidad longitudinal o módulo de Young

ε = Deformación unitaria

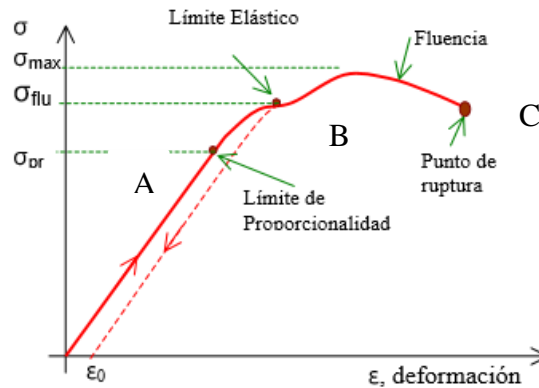


Figura 2.4 Curva típica de la deformación unitaria ε con respecto al esfuerzo aplicado σ . [16]

Como se demuestra en [19], en las curvas esfuerzo – deformación de un material hay un tramo de comportamiento perfectamente elástico en el que la relación esfuerzo – deformación es lineal (punto A). De ahí hasta el límite elástico (punto B) el material sigue un comportamiento elástico. Cuando se sobrepasa el límite elástico, y se suprime el esfuerzo aplicado, el material queda permanentemente deformado. El valor de ε_0 , indica la magnitud de la deformación permanente hasta el límite de proporcionalidad $\varepsilon_0 < 10^{-4}$. Si se sigue aumentando la carga, el material se deforma rápidamente y si se retira el esfuerzo no se recupera la longitud inicial, quedando una deformación permanente y el cuerpo tiene un comportamiento plástico. Si el esfuerzo continúa incrementándose, el material llega hasta un estado en el que se produce la ruptura (punto C).

2.1.4.5 Fluencia

Entre el límite elástico y el punto de ruptura, a menudo existe una zona de fluencia, donde el material se deforma fácilmente, sin necesidad de aumentar el esfuerzo. El punto de fluencia se define como la intersección de la curva esfuerzo – deformación y una paralela a la línea de la zona elástica que pasa por el punto de deformación permanente $\varepsilon_f = 0.002$ (0.2%). [17]

Dependiendo del tipo de material, esta región de fluencia puede o no existir, si esta es pequeña o inexistente (cuando se rompe al superar el límite elástico), el material es

frágil y si es amplia (se sigue deformando al superar el límite elástico, siguiendo un comportamiento plástico), el material es dúctil. [17]

2.1.5 Módulo de elasticidad longitudinal o de Young

Es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica la fuerza. El módulo de elasticidad es una constante elástica que, al igual que el límite elástico, puede encontrarse empíricamente con base al ensayo de tracción del material. [20]

Si aplicamos una fuerza F a una barra de longitud l_0 el material se deforma longitudinalmente y se alarga $l - l_0$. [19]

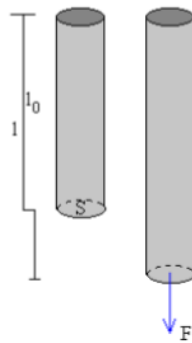


Figura 2.5 Deformación longitudinal de una barra.[19]

La razón de proporcionalidad entre el esfuerzo (fuerza por unidad de área) y deformación unitaria (deformación por unidad de longitud) está dada por la constante E , denominada módulo de Young, que es característico de cada material. [16]

$$\frac{F}{S} = E \frac{l-l_0}{l} \quad (\text{Ec. 2.4}) [16]$$

Donde

F = Fuerza

S = Área de la cara paralela a la fuerza.

E = Módulo de Young

l = Longitud de la barra

$l - l_0$ = Alargamiento de la barra

La rigidez del material queda caracterizada por la relación entre el esfuerzo σ_x y deformación ε_x , o sea por el módulo de Young. [16]

$$E = \frac{\sigma_x}{\varepsilon_x} = \frac{F_x/A}{\Delta x/x} \quad (\text{Ec. 2.5}) [16]$$

Donde

E = Módulo de Young

σ_x = Esfuerzo

ε_x = Deformación unitaria

2.1.6 Coeficiente de Poisson

Todo elemento sometido a carga axial experimenta una deformación no solo en el sentido en la que se somete (deformación primaria ε_x), sino también según el eje perpendicular (deformación secundaria o inducida $\varepsilon_y, \varepsilon_z$), o sea, toda tracción longitudinal con alargamiento implica una contracción transversal (disminución de la sección del elemento estirado). [16]

Al coeficiente de Poisson se lo define como la relación de la deformación perpendicular a la axial.

$$\nu = -\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_a} \quad (\text{Ec. 2.6}) [16]$$

Donde

ν = Coeficiente de Poisson

ε_p = Deformación perpendicular

ε_a = Deformación transversal

Para una muestra incomprensible, el valor del coeficiente sería 0,5, para un material isótropo se espera un valor de 0,25. Experimentalmente su valor varía usualmente entre 0,25 a 0,5, siendo típicamente 0,3 para muchos materiales. [21]

2.1.7 Conservación de la energía

La energía cinética no se conserva en general en una colisión, sino que suele disiparse parcialmente. Una pelota que rebota en el suelo no vuelve a alcanzar la altura desde la que partió.

Esto quiere decir que habrá una diferencia en la energía cinética debido a la colisión:
[22]

$$Q = \Delta K = K_f - K_i = \left(\frac{1}{2} m_1 v_{1f}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2f}^2 \right) - \left(\frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2i}^2 \right) \text{ (Ec. 2.7) [22]}$$

Donde

Q = Cantidad de Energía total

ΔK = Diferencia de energía cinética

K_f = Energía cinética final

K_i = Energía cinética inicial

m_1 = Masa de la primera partícula

m_2 = Masa de la segunda partícula

v_{1f} = Velocidad final de la primera partícula

v_{1i} = Velocidad inicial de la primera partícula

v_{2f} = Velocidad final de la segunda partícula

v_{2i} = Velocidad inicial de la segunda partícula

Esta energía o bien se manifiesta como un aumento de la temperatura de las partículas, o bien se pierde en forma de calor.

Dependiendo de la cantidad de energía cinética que se pierda, puede hacerse una clasificación de las colisiones:

- **Colisión perfectamente elástica:** Es aquella en la que no se disipa energía cinética y esta se conserva.
- **Colisión inelástica:** Aquella en la que se disipa parte de la energía cinética.
- **Colisión completamente inelástica:** Aquella en la que se disipa el máximo de energía.

- Las colisiones completamente inelásticas se dan cuando las dos partículas se fusionan y continúan su marcha como una sola. [22]

El uso del principio trabajo – energía también es, un planteamiento útil para utilizar la conservación de la energía en la resolución de problemas mecánicos. Es particularmente útil, en los casos donde un objeto es llevado al reposo como en el caso de una colisión de un automóvil o en la normal parada de un automóvil.[23]

2.1.8 Impacto

Es un suceso que suele tener lugar en un intervalo de tiempo muy corto cuando dos cuerpos colisionan. Suele ir acompañado de fuerzas de reacción entre los cuerpos relativamente intensas, lo que da lugar a fuertes cambios de velocidad de uno o ambos cuerpos. Las intensas fuerzas de reacción también originan una deformación considerable de los cuerpos en colisión y, en consecuencia, la conversión de energía mecánica en sonido y calor. [24]

Como resultado de un impacto, parte de la energía cinética de los cuerpos puede perderse debido a una variedad de mecanismos, incluidos la deformación permanente y la generación de calor y sonido. [25]

2.1.9 Ensayo de tracción del acero

Debido a la gran cantidad de información que puede obtenerse a partir de este ensayo, es sin duda alguna, uno de los test mecánicos más empleados para el acero. La versatilidad del ensayo de tracción radica en el hecho que permite medir al mismo tiempo, tanto la ductilidad, como la resistencia. El valor de resistencia es directamente utilizado en todo lo que se refiere a diseño. Los datos relativos a la ductilidad, proveen una buena medida de los límites hasta los cuales se puede llegar a deformar el acero sin llegar a deformar el acero sin llegar a la rotura. [26]

Es un ensayo que tiene por objetivo definir la resistencia elástica, resistencia última y plasticidad del material cuando se le somete a fuerzas uniaxiales,[27]. Este ensayo de acuerdo a la norma vigente se debe llevar a cabo a temperatura ambiente comprendida entre +10°C y +35°C, a menos que se especifique de otra manera. [28]

2.1.9.1 Probetas para tracción

Las probetas son normalizadas, cilíndricas o planas, admitiendo secciones variables, si bien están correlacionadas con la longitud de la probeta, a través de un modelo del tipo: [27]

$$L_0 = K\sqrt{S_0} \quad (\text{Ec. 2.8}) [27]$$

Donde

L_0 = Longitud de la probeta

K = Coeficiente de proporcionalidad

S_0 = Área de la sección transversal.

2.1.10 Método De Elementos Finitos (Mef)

Es un método numérico que sirve para la resolución de ecuaciones diferenciales, muy utilizado en diversos problemas de ingeniería como el análisis de tensiones o análisis estático. [29]

Este método se basa en dividir el cuerpo, estructura o dominio (medio continuo) sobre el que están definidas ciertas ecuaciones integrales que caracterizan el comportamiento físico del problema (Figura 2.6), en una serie de subdominios no intersecantes entre sí denominados elementos finitos.

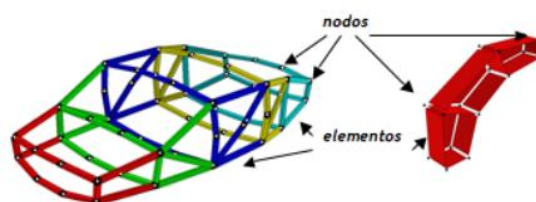


Figura 2.6 Ejemplos de discretización [25]

Sin embargo, la formulación que se propone por medio del uso del método de elementos finitos, permite que el problema sea planteado como una serie de ecuaciones algebraicas simultaneas, en lugar de requerir la resolución de ecuaciones diferenciales complejas, pero, dado que el problema tiene que ser discretizado (conjunto de elementos finitos), este método es numérico, al igual que todos los métodos numéricos, arrojan valores aproximados de las incógnitas en un número finito

de locaciones dentro del cuerpo, las cuales dependen directamente del número de elementos usados para la discretización de la pieza. [30]

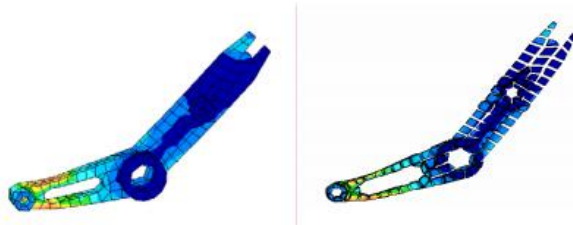


Figura 2.7 Resultado del Análisis de esfuerzos en cargas estáticas de la pieza (izquierda) y modelo con elementos dispersos (derecha). [26]

Por tanto, el MEF transforma un cuerpo en un modelo discreto aproximado y permite realizar un modelo matemático de cálculo del sistema real, más fácil y económico de modificar, que un prototipo. Sin embargo, no deja de ser un método aproximado de cálculo debido a las hipótesis básicas del método.

Los prototipos, por lo tanto, siguen siendo necesarios, pero en menor número, ya que el primero puede acercarse bastante más al diseño óptimo.[31]

2.1.10.1 Principios básicos

La idea general del método de los elementos finitos es la división de un continuo en un conjunto de pequeños elementos interconectados por una serie de puntos llamados nodos. Las ecuaciones que rigen el comportamiento del continuo regirán también en el elemento. De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo (infinitos grados de libertad), que es regido por una ecuación diferencial o un sistema de ecuaciones diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito cuyo comportamiento se modela por un sistema de ecuaciones, lineales o no. [31]

Al someterse a un sistema siempre se debe diferenciar entre: Dominio (Espacio geométrico donde se va a analizar el sistema), Condiciones de contorno (Variables conocidas) y las Incógnitas (Variables que se desea conocer).

El principio básico del MEF es la discretización, que es el proceso de modelación de un cuerpo en la división equivalente del mismo, los cuales pueden formar puntos,

líneas o superficies y se comportan como volúmenes de control independientes, los que a su vez son afectados por las condiciones de frontera que afectan al cuerpo estudiado como un todo. [30]

Sobre los nodos se materializan las incógnitas fundamentales del problema. En elementos estructurales estas incógnitas vendrían a ser los desplazamientos nodales, y a partir de eso se pueden calcular las demás incógnitas. [31]

2.1.10.2 Aplicaciones

En sí, el método por elementos finitos tiene muchas áreas de aplicación, por lo que es un campo en continuo desarrollo y día a día se están desarrollando nuevas aplicaciones.

El MEF es aplicado en la simulación de flujo de fluidos, análisis de esfuerzos estructurales, transferencia de calor y análisis multifenómeno para la determinación de secuencias mecánicas. [30]

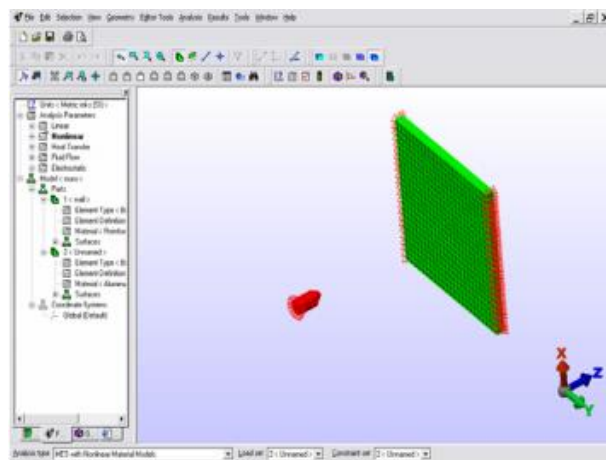


Figura 2.8 Simulación de impacto de bala. [26]

2.1.10.3 Delimitación del método por elementos finitos

El campo de la mecánica puede ser subdividido en tres áreas (Figura 2.9). La mecánica teórica estudia las leyes y principios fundamentales de la mecánica. La mecánica aplicada transfiere el conocimiento teórico hacia aplicaciones científicas y de ingeniería. La mecánica computacional que resuelve problemas específicos aplicando métodos numéricos implementados en computadoras digitales (simulación). [29]



Figura 2.9 Ramas de la Mecánica. [25]

2.1.10.3.1 Mecánica computacional

Se pueden diferenciar de acuerdo a la escala física a la que se enfocan (Figura 2.10).

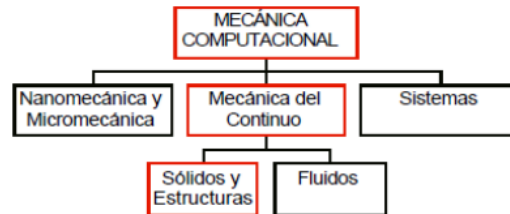


Figura 2.10 Ramas de la mecánica computacional. [25]

La **nano mecánica** trata de fenómenos de la materia a nivel molecular y atómico.

La **mecánica del continuo** estudia los cuerpos a nivel macroscópico, utilizando modelos continuos en los cuales la microestructura es considerada como homogénea gracias a promedios cualitativos. Las áreas tradicionales de aplicación son la mecánica de sólidos (incluye las estructuras) y de fluidos. La mecánica computacional de sólidos usa aproximaciones de ciencias aplicadas, mientras que la mecánica estructural computacional hace énfasis en aplicaciones tecnológicas para el análisis y diseño de estructuras.

Finalmente, los sistemas identifican objetos mecánicos, naturales o artificiales, que realizan una función fácilmente reconocible. [29]

2.1.11 Linealidad Vs No Linealidad

Una clasificación de los problemas estáticos, particularmente relevante para estas notas, se muestra en la figura 2.11.

El análisis estático lineal involucra problemas estáticos en los cuales la respuesta es lineal en el sentido de causa y efecto. Por ejemplo, si las fuerzas aplicadas se duplican, los desplazamientos y esfuerzos internos también se duplican. Los problemas que caen fuera de este dominio son clasificados como no lineales. [29]

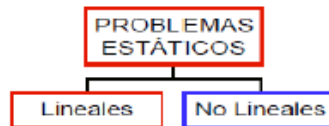


Figura 2.11 División de problemas estáticos. [25]

Si las cargas o desplazamientos se aplican de forma lenta, las fuerzas de inercia y de amortiguamiento son despreciables frente a las elásticas y el análisis estático está justificado.

Si las fuerzas o desplazamientos se aplican de forma rápida, es necesario realizar un análisis dinámico, y se plantea como una extensión del análisis estático mediante la aplicación de equilibrios de fuerzas. [32]

2.1.11.1 Análisis No Lineal Explícito E Implícito

El método implícito permite usar incrementos de tiempo mayores ya que es incondicionalmente estable. Sin embargo, requiere ensamblar la matriz de rigidez y resolver el sistema de ecuaciones, y es un proceso iterativo, por tanto, el tiempo de cálculo por cada caso de tiempo es relativamente alto.

El método explícito usa incrementos de tiempo mucho más pequeños ya que es condicionalmente estable, lo que significa que el intervalo de tiempo debe ser menor que un cierto valor de tiempo crítico, que depende del tamaño del elemento más pequeño y de las propiedades del material. Sin embargo, no requiere resolver un sistema de ecuaciones y es no-iterativo, por tanto, el esfuerzo computacional por cada paso de tiempo es relativamente bajo. [33]

2.1.11.2 Parámetros De No Linealidad

En la simulación virtual de choques de vehículos se presentan diferentes parámetros de no linealidad:

No linealidad geométrica: Al producirse grandes elongaciones o rotaciones se debe considerar la variación de la sección transversal, ya que la ecuación que define la relación entre el desplazamiento y la deformación se vuelve no lineal.

No linealidad del material: En el rango elástico del material, la relación entre el esfuerzo y la deformación es lineal, mientras que en el rango plástico esta relación se vuelve no lineal. Se recomienda considerar este parámetro cuando en una simulación se presente grandes deformaciones plásticas de los elementos estructurales.

No linealidad en la frontera/contacto: Surge cuando las condiciones de frontera cambian durante el análisis. Este tipo de no linealidad está relacionada con la aparición de pares de contacto en respuesta a las cargas aplicadas. [34]

2.1.12 Creación De Un Modelo

La creación del modelo apropiado es el paso más importante en el análisis por elementos finitos. Como se sobreentiende, el objetivo del análisis es desarrollar patrón nodal apropiado, el cual proporcione el número de elementos suficiente y necesario para obtener resultados exactos sin utilizar mayor tiempo para realizar el procesamiento e interpretación de datos. [35]

El modelo está compuesto de cierto número de elementos independientes, que son los elementos finitos, unidos entre sí a través de un número finito de puntos o nodos. La forma del modelo corresponde al continuo que vamos a analizar.

El modelo es una réplica del elemento analizado en el que, a través de un software, se pretende reproducir la actividad mecánica que va a presentar dicho elemento una vez que se apliquen cargas sobre él. Por ello, al modelo se le asigna el material y dimensiones correspondientes al elemento o estructura analizado. [36]

2.1.12.1 Tipos De Elementos

Para crear modelos se puede utilizar algunos de los siguientes elementos:

- Elementos planos
- Elemento sólido
- Elementos tipo Shell
- Elemento tipo barra
- Elemento tipo viga (beam)

- Elemento tipo resorte (spring)

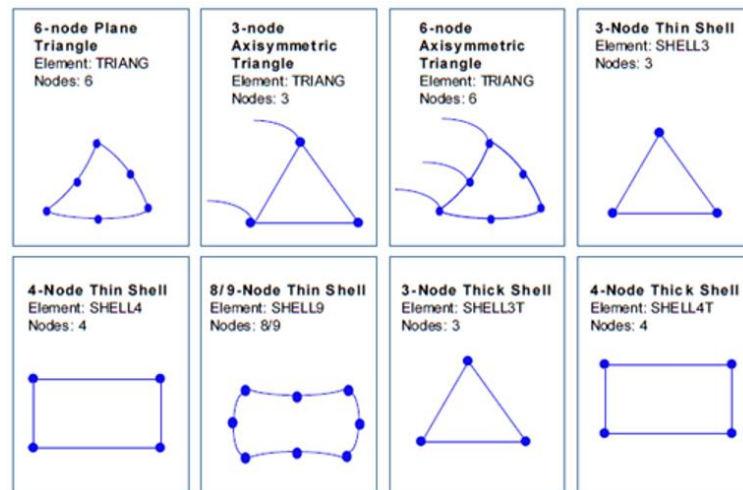
Para el desarrollo de las simulaciones en el software especializado, se va utilizar el elemento Shell, por lo que será el único al que se va definir a continuación.

Elementos Tipo Shell

Son elementos de área mayormente utilizados para enmallar una estructura hecha en lámina, en donde el espesor es mucho menor con respecto a las otras dimensiones de la pieza. Debido a la estructura del chasis que se desea analizar, este tipo de elemento es el más adecuado, ya que la mayor parte de la estructura está formada por láminas. [37]

Estos elementos se los utiliza para formular ecuaciones de alto orden (nodos intermedios), las cuales son apropiadas cuando el sólido experimenta flexión.

Existen diferentes tipos de elementos Shell de acuerdo a las características que tiene y a las deformaciones que se consideren para el análisis, en la Figura 2.12 se muestra algunos tipos de elementos Shell. [36]



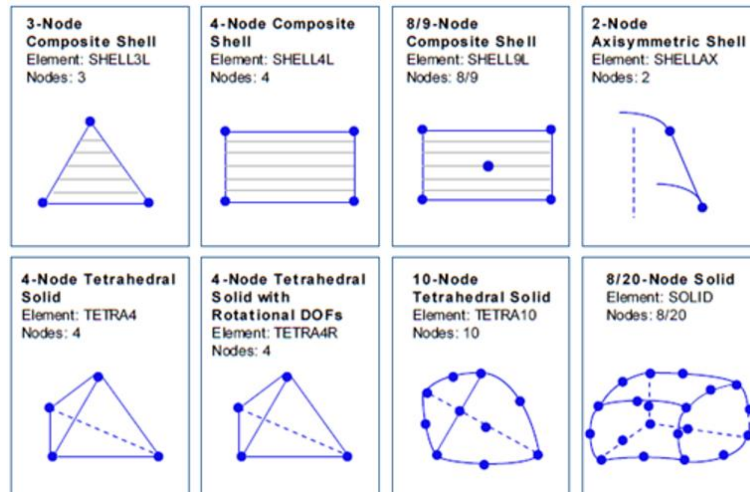


Figura 2.12 Tipos de elemento Shell. [32]

2.1.13 Simulación Computacional

Una simulación computacional es el estudio de fenómenos físicos cuyas ecuaciones gobernantes se resuelven con el uso de métodos numéricos y la capacidad de cálculo de las computadoras. Las simulaciones computacionales se dividen en dos grandes ramas de análisis: el análisis estructural, basado en el método del elemento finito (FEM) y el análisis de flujo de fluidos, basado en la dinámica de fluidos computacional (CFD).[38]

Las estructura general de un programa para el análisis de elementos finitos constan de tres partes:

- Pre-Procesamiento
- Procesamiento
- Post-Procesamiento

2.1.13.1 Pre-Procesamiento

En esta parte se introduce: material, geometría, cargas, condiciones de contorno, mallado y tipo de análisis a realizar.

2.1.13.1.1 Geometría

El software dispone de una aplicación llamado Geometría (Geometry) el cual se utiliza para crear la geometría, sin embargo al no ser una aplicación especializada en diseño es un poco limitada debido a su interfaz y modo de uso, por esta razón la mayoría de usuarios optan por realizar la geometría en programas específicos de diseño (CAD), ya que esta aplicación da la opción de importar archivos geométricos desde un programa CAD.

2.1.13.1.2 Material

Los programas de análisis para elementos finitos disponen de una aplicación llamada datos de ingeniería (Engineering Data), este módulo proporciona un control general de las propiedades del material y consta con una variedad de bibliotecas de materiales.

Las bibliotecas de materiales cuentan con los siguientes materiales:

- Materiales Generales
- Materiales Generales No Lineales
- Material Explicitos
- Materiales Hiperelásticos
- Materiales Térmicos

A parte de estos materiales, el programa da la opción de añadir materiales, en el caso de que el material a utilizar en el análisis no se encuentre en las bibliotecas.

La selección del material va a depender netamente del análisis que se desee analizar, ya que para cada análisis se requiere parámetros específicos.

2.1.13.1.3 Mallado

Dentro del preproceso, la generación de la malla es una parte clave ya que para geometrías complejas requiere un tiempo importante y no se trata de una operación trivial.

Por otra parte la malla debe estar correctamente diseñada ya que la calidad de los resultados depende de la calidad de aquella.[39]

La malla que se genera divide el dominio computacional en subdominios más pequeños, es entonces cuando aparecen los términos “nodos” y “elementos”, los cuales son interpretados por el programa para solucionar el modelo.[40]

a) Elementos y formas de un mallado

Los tipos de elementos más comunes para construir mallas en dos dimensiones (2D) son los triángulos y los cuadriláteros, a partir de estas dos formas se obtienen los elementos utilizados en tres dimensiones (3D), que pueden ser tetraedros, hexaedros, pirámides o prismas.

La selección del tipo de mallado depende de la geometría, el problema a resolver y las capacidades de solución del computador, estas son:[41]

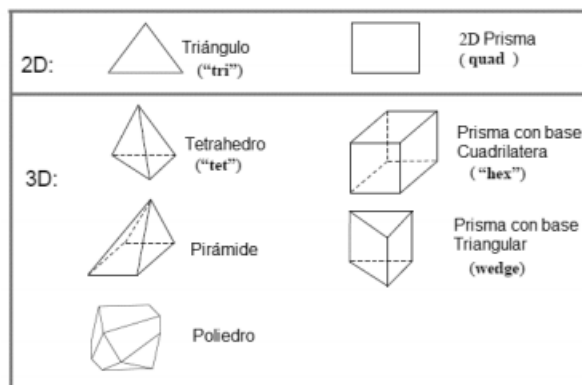


Figura 2.13 Tipos de elementos [41]

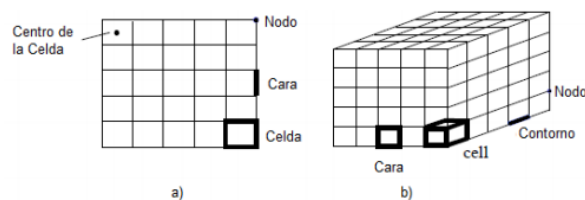


Figura 2.14 Formas: a) Malla 2D b) Malla 3D.[41]

b) Tipos de Mallado

La discretización del espacio físico se puede realizar de dos formas:

- **Estructurada.-** Donde la ubicación de cada nodo y la forma de cada celda es independiente de su posición en el espacio, pero dependiente de una regla

general que usualmente es una cuadrícula en 2D o en 3D cuya conectividad es implícita.

- **No Estructurada.**- Donde las líneas de conectividad entre nodos no tienen una orientación específica ni responden a un patrón uniforme, lo que es compatible con el enmallado de geometrías complejas donde normalmente no es posible aplicar la regla de cuadrícula.[42]

c) **Calidad de Mallado**

Una malla adecuada es muy importante para controlar errores de discretización ya que una mala calidad en el mallado puede provocar, dificultad de convergencia, mala descripción física del dominio, solución difusa entre otros problemas, por lo que se tiene que tomar en cuenta que la ortogonalidad del mallado, la expansión y la relación de aspecto (o estiramiento) se encuentren en rangos aceptables.[41]

Para la evaluación de la malla existen parámetros que deben cumplirse o por lo menos acercarse a dichos valores, los cuales se enfocan en la forma y uniformidad de cada elemento. Entre los principales parámetros de evaluación tenemos los siguientes:

Calidad del Elemento (*Element Quality*)

La opción **Element Quality** (Calidad del elemento) proporciona una métrica de calidad compuesta que oscila entre 0 y 1. Esta métrica se basa en la relación entre el volumen y la suma del cuadrado de las longitudes de los bordes para los elementos quad / tri 2D o la raíz cuadrada del cubo de la suma del cuadrado de las longitudes de borde para los elementos 3D.

Un valor de 1 indica un cubo o un cuadrado perfecto, mientras que un valor de 0 indica que el elemento tiene un volumen cero o negativo.[43]

Relación de aspecto para cuadriláteros (*Aspect Ratio for Quadrilaterals*)

La relación de aspecto para un cuadrilátero se calcula mediante los siguientes pasos, utilizando sólo los nodos de esquina del elemento (Ver Figura 2.15)

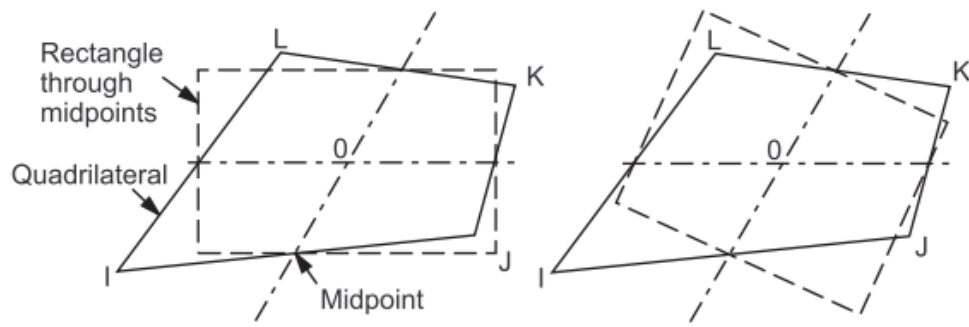


Figura 2.15 Cálculo cuadrático de la relación de aspecto[43]

1. Si el elemento no es plano, los nodos se proyectan en un plano que pasa por la media de las ubicaciones de las esquinas y perpendicular a la media de las normales de la esquina. Los pasos restantes se realizan en estas ubicaciones proyectadas.
2. Se construyen dos líneas que bisecan los pares opuestos de bordes del elemento y que se encuentran en el centro del elemento. En general, estas líneas no son perpendiculares entre sí o con cualquiera de los bordes del elemento.
3. Los rectángulos se construyen centrados alrededor de cada una de las 2 líneas, con los bordes que pasan a través de los puntos medios del borde del elemento. La relación de aspecto del cuadrilátero es la relación de un lado más largo a un lado más corto del rectángulo más estirado.
4. La mejor proporción de cuadrilátero posible, para un cuadrado, es uno. Un cuadrilátero que tiene una relación de aspecto de 20 se muestra en la Figura 2.16 [43]



Figura 2.16 Relación de aspecto para cuadriláteros[43]

Razón Jacobiana (Jacobian Ratio)

Jacobiano se calcula y se prueba para todos los elementos excepto triángulos y tetraedros que son lineales (no tienen nodos laterales medios) o tienen nodos de centro de onda perfectamente centrados. Una proporción alta indica que el mapeo entre el espacio de los elementos y el espacio real se vuelve computacionalmente poco fiable.[43]

Cálculo de la razón jacobiana

La razón jacobiana de un elemento se calcula mediante los siguientes pasos, utilizando el conjunto completo de nodos para el elemento:

1. En cada lugar de muestreo listado en la Tabla 2.1 siguiente, el determinante de la matriz Jacobiana se calcula y se llama RJ. RJ en un punto dado representa la magnitud de la función de correlación entre coordenadas naturales del elemento y espacio real. En un elemento de forma ideal, RJ es relativamente constante sobre el elemento, y no cambia el signo.

Tabla 2. 1 Ubicaciones de muestreo de RJ

Forma del elemento	Ubicaciones de muestreo de RJ
Tetraédrico de 10 nodos	En la esquina de los nodos
Pirámides de 5 nodos o 13 nodos	Esquina de los nodos de la base y nodo cercano del ápice (el ápice RJ factorizado de modo que una pirámide que tiene todos los bordes la misma longitud producirá una razón jacobiana de 1)
Cuadrilateros de 8 nodos	En la esquina de los nodos y centroide
Ladrillo de 20 nodos	Todos los nodos y centroide
Todos los elementos	Esquinas de los nodos

Fuente:[43]

2. La razón jacobiana del elemento es la relación entre el máximo y el mínimo muestreo de RJ. Si el máximo y el mínimo tienen signos opuestos, la razón Jacobiana se asigna arbitrariamente a -100 (y el elemento es claramente inaceptable).
3. Si el elemento es un tetraedro de nodo central, se calcula un RJ adicional para un tetraedro ficticio recto conectado a los 4 nodos de esquina. Si ese RJ difiere en signo de cualquier RJ nodal (una ocurrencia extremadamente rara), la proporción Jacobiana se asigna arbitrariamente a -100.

- Si el elemento es un elemento de línea que tiene un nodo lateral medio, la matriz Jacobiana no es cuadrada (porque la correlación es de una coordenada natural a un espacio 2-D o 3-D) y no tiene determinante. Para este caso, se utiliza un cálculo vectorial para calcular un número que se comporta como una relación jacobiana. Este cálculo tiene el efecto de limitar el arco arrastrado por un solo elemento a aproximadamente 106° . [43]

Un triángulo o tetraedro tiene una razón jacobiana de 1 si cada nodo del lado medio, si lo hay, está situado en el promedio de las ubicaciones del nodo de esquina correspondiente. Esto es cierto no importa cómo de otra manera distorsionado el elemento puede ser. Por lo tanto, este cálculo se omite enteramente para tales elementos. Mover un nodo del lado medio lejos de la posición del punto medio del borde aumentará la relación Jacobiana. Eventualmente, incluso si existe un muy leve movimiento se romperá el elemento. Describimos esto como "romper" el elemento porque repentinamente cambia de aceptable a inaceptable - "roto".

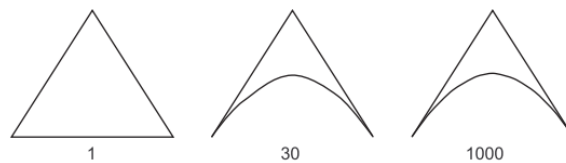


Figura 2.17 Razones Jacobianas para Triángulos. [43]

Cualquier rectángulo o paralelepípedo rectangular que no tenga nodos intermedios, o que tenga nodos laterales medios en los puntos medios de sus bordes, tiene una razón jacobiana de 1. Si se mueve los nodos laterales medios hacia o lejos el uno del otro puede aumentar la relación jacobiana. Eventualmente, incluso un ligero movimiento adicional romperá el elemento.

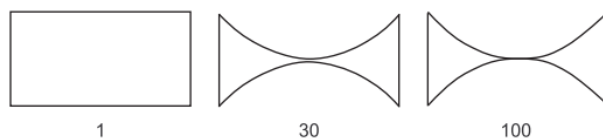


Figura 2.18 Razones Jacobianas para los Cuadriláteros. [43]

Un cuadrilátero o un ladrillo tiene una razón jacobiana de 1 si sus caras opuestas son todas paralelas entre sí, y cada nodo del lado medio, si lo hay, está situado en la media de las ubicaciones del nodo de esquina correspondiente.

Cuando un nodo de esquina se mueve cerca del centro, la razón Jacobiana sube. Eventualmente, cualquier movimiento adicional romperá el elemento.[43]

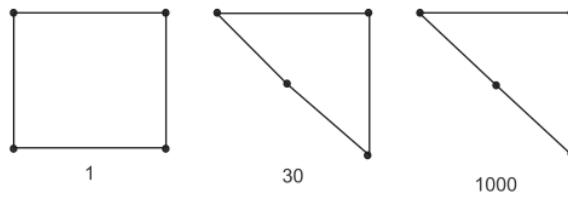


Figura 2.19 Razones Jacobianas para los Cuadriláteros.[43]

Factor de deformación (*Warping Factor*)

El factor de deformación se calcula y se prueba para algunos cuadrilátero tipo shell, y las caras del cuadrilátero de ladrillos, de cuñas, y de pirámides. Un factor alto puede indicar una condición que la formulación del elemento subyacente no puede manejar bien o simplemente sugerir una falla de generación de malla. El mejor factor de urdido cuadrático, para un cuadrilátero plano, es cero.

La Figura 2.20 muestra un elemento "deformado" representado en la parte superior de un plano. Sólo se mueve el nodo derecho del elemento superior. El elemento es un cuadrado unitario, con un espesor constante real de 0,1.

Cuando el elemento superior se deforma por un factor de 0,01, no se puede distinguir visiblemente del plano plano subyacente.

Cuando el elemento superior se deforma por un factor de 0,04, sólo comienza a separarse visiblemente de la plana.

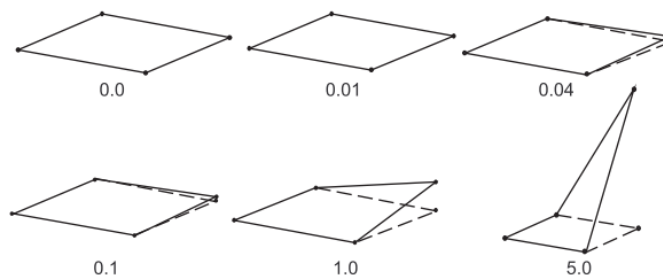


Figura 2.20 Cuadrilátero con factor de deformación. [43]

Deformación de 0,1 es visible dada la referencia plana, pero parece trivial; Sin embargo, está muy por encima del límite de error para una envoltura de membrana. La

deformación de 1,0 es visualmente poco atractiva. Este es el límite de error para la mayoría de los shells.

El deformar más allá de 1.0 parecería obviamente inaceptable; Sin embargo, SHELL181 permite incluso esta gran distorsión. Además, el cálculo del factor de deformación parece alcanzar un pico de aproximadamente 7,0. Moviendo el nodo más lejos del plano original, incluso a distancias mucho mayores que las mostradas aquí, no aumenta aún más el factor de deformación para esta geometría. Se advierte a los usuarios que aumentar manualmente el límite de error más allá de su valor predeterminado de 5.0 para estos elementos podría significar que no existe un límite real en la distorsión de elementos.[43]

Desviación paralela (*Parallel Deviation*)

La mejor desviación posible, para un rectángulo plano, es 0 °. En la Figura 2.21 muestra muestra cuadriláteros con desviaciones de 0 °, 70 °, 100 °, 150 ° y 170 °

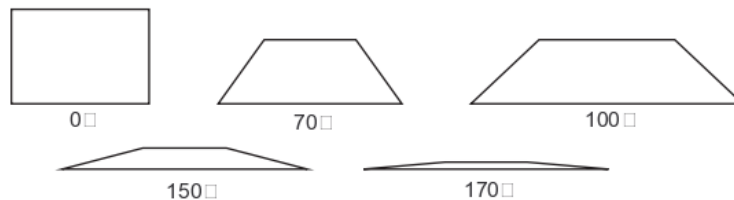


Figura 2.21 Desviaciones paralelas para cuadriláteros. [43]

Máximo ángulo de esquina (*Maximum Corner Angle*)

El ángulo de esquina máximo se calcula y se prueba para todos excepto para los elementos Emag o FLOTRAN. Algunos en la comunidad de elementos finitos han informado de que los ángulos grandes (acercándose a 180 °) degradan el rendimiento de los elementos, mientras que los ángulos pequeños no.

El ángulo máximo entre los bordes adyacentes se calcula usando posiciones de nodo de esquina en el espacio tridimensional (los nodos laterales medios, si los hay). El ángulo máximo del triángulo mejor posible, para un triángulo equilátero, es 60°. La Figura 2.22 muestra un triángulo con un ángulo de esquina máximo de 165°. El ángulo

máximo máximo posible del cuadrilátero, para un rectángulo plano, es 90° . La Figura 2.23 muestra cuadriláteros con ángulos de esquina máximos de 90° , 140° y 180° . [43]



Figura 2.22 Ángulos de esquina máxima para triángulos.[43]

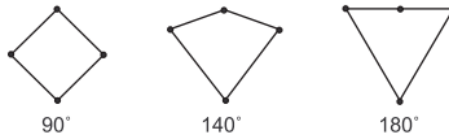


Figura 2.23 Ángulos de ángulo máximo para cuadriláteros.[43]

Oblicuidad (Skewness)

La oblicuidad es una de las medidas de calidad primarias para una malla. La asimetría determina cuan cerca de ideal (es decir, equilátero o equiangular) es una cara o célula.

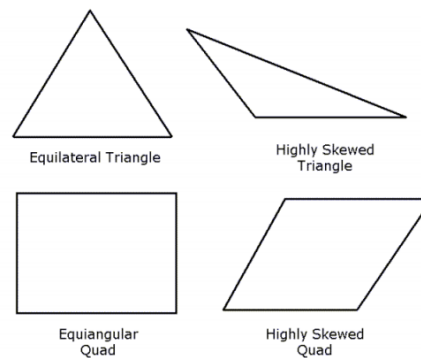


Figura 2.24 Triángulos y cuadriláteros ideales e inclinados. [43]

La Tabla 2.2 muestra el rango de valores de asimetría y la calidad de la célula correspondiente.

Tabla 2. 2 Calidad de célula

Valor de <i>Skewness</i>	Calidad
1	Degenerada
0.9 - < 1	Malo
0.75 - 0.9	Pobre
0.5 - 0.75	Justa
0.25 - 0.5	Bueno
>0 - 0.25	Excelente
0	Equilatero

Fuente:[43]

Según la definición de asimetría, un valor de 0 indica una cell equilátera (mejor) y un valor de 1 indica una célula completamente degenerada (peor). Las células degeneradas (astillas) se caracterizan por nodos que son casi coplanares (colineales en 2D).

Las caras y las células altamente sesgadas son inaceptables porque las ecuaciones que se resuelven suponen que las células son relativamente equilátero / equiangulares.

Dos métodos para medir la asimetría son:

- Basado en el volumen equilátero (sólo se aplica a triángulos y tetraedros).
- Basado en la desviación de un ángulo equilátero normalizado. Este método se aplica a todas las formas de celda y cara, por ejemplo, pirámides y prismas.[43]

Calidad Ortogonal (*Orthogonal Quality*)

El rango para la calidad ortogonal es 0-1, donde un valor de 0 es peor y un valor de 1 es el mejor.

La calidad ortogonal de las células se calcula utilizando el vector normal de la cara, el vector desde el centroide de la célula hasta el centroide de cada una de las células adyacentes y el vector desde el centroide de la célula a cada una de las caras. La Figura 2.25 ilustra los vectores utilizados para determinar la calidad ortogonal de una célula.[43]

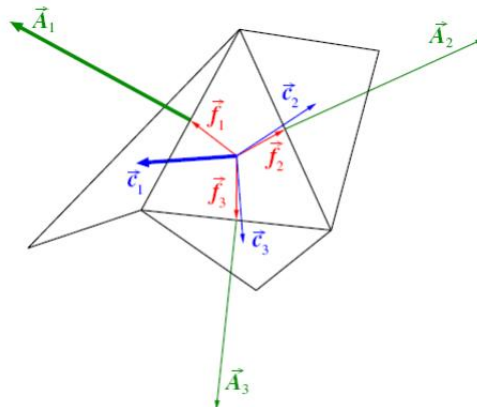


Figura 2.25 Vectores utilizados para calcular la calidad ortogonal de una célula. [43]

La Tabla 2.3 muestra el resumen de los valores aceptados para evaluar la calidad de malla.

Tabla 2. 3 Rangos aceptables para validación de malla

Parámetros de control	Valores Aceptables	Observación
Calidad del Elemento (<i>Element Quality</i>)	0 - 1	Un valor de 1 indica un cubo o un cuadrado perfecto, mientras que un valor de 0 indica que el elemento tiene un volumen cero o negativo.
Relación de aspecto para cuadriláteros (<i>Aspect Ratio for Quadrilaterals</i>)	1 - 50	La mejor proporción de cuadrilátero posible, para un cuadrado, es uno.
Razón Jacobiana (Jacobian Ratio)	1 - 100	Un valor de 1 indica una razón Jacobiana perfecta, mientras que el valor de 100 indica el límite de error.
Factor de deformación (<i>Warping Factor</i>)	0 - 1	Un valor de 0 indica un factor perfecto, mientras que el 1 indica el límite de error.
Desviación paralela (<i>Parallel Deviation</i>)	0° - 180°	La mejor desviación posible, para un rectángulo plano, es 0°.
Máximo ángulo de esquina (<i>Maximum Corner Angle</i>)	0° - 180°	El ángulo máximo del triángulo mejor posible, para un triángulo equilátero, es 60°. El ángulo máximo posible del cuadrilátero, para un rectángulo plano, es 90°.
Oblicuidad (Skewness)	0 - 0,99	Un valor de 0 indica un skewness excelente, mientras que un valor de 1 indica un skewness malo no aceptable.
Calidad Ortogonal (<i>Orthogonal Quality</i>)	0 - 1	Un valor de 0 es peor y un valor de 1 es el mejor

Fuente:[43]

2.1.13.2 Procesamiento

Donde el programa genera las ecuaciones características del modelo simplificado y lo resuelve automáticamente. Para garantizar que los resultados obtenidos sean idóneos se debe tener un buen conocimiento sobre mallado y los tipos de elementos a utilizar.

2.1.13.3 Post-Procesamiento

Donde se visualizan y analizan los resultados obtenidos.

2.1.14 Reglamento N°58 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa

2.1.14.1 Ámbito de aplicación

De acuerdo al ámbito de aplicación, el presente reglamento se aplicará a los puntos 1.1.1, 1.1.2 y 1.1.3, el cual describe lo siguiente, respectivamente:

« PARTE I: los dispositivos de protección trasera contra el empotramiento destinados a su instalación en los vehículos de las categorías N2, N3, O3 y O4; »

« PARTE II: la instalación en vehículos de las categorías N2,N 3,O 3 yO 4 (1) de dispositivos de protección trasera contra el empotramiento previamente homologados conforme a la parte I del presente Reglamento. »

« PARTE III: los vehículos de las categorías N2,N 3,O 3 yO 4 (1) equipados con un dispositivo de protección trasera contra el empotramiento que no haya sido homologado por separado con arreglo a la parte I del presente Reglamento o que esté diseñado o equipado de tal manera que pueda considerarse que sus componentes cumplen total o parcialmente la función del dispositivo de protección trasera contra el empotramiento. »

2.1.14.2 Objetivo

« El presente Reglamento tiene por objeto ofrecer a los vehículos citados en el punto 1 del presente Reglamento una protección eficaz contra el empotramiento en caso de choque trasero con los vehículos de las categorías M1 y N1. »

2.1.14.3 Definiciones

En los apartados 3.1.1 y 3.1.2 el reglamento define a la masa en vacío como:

« la masa del vehículo en orden de marcha, sin ocupantes y sin carga, pero completo en cuanto al carburante, el líquido de refrigeración, los lubricantes, las herramientas y

la rueda de recambio, si el fabricante del vehículo los suministra como equipo estándar;»

Y a la masa máxima como:

« la masa máxima técnicamente admisible declarada por el fabricante del vehículo (dicha masa puede ser superior a la «masa admisible máxima» establecida por la administración nacional).»

En el apartado 3.1.3 se describe que los dispositivos de protección trasera, consisten normalmente en:

«Un travesaño y en elementos de conexión a los largueros del bastidor o a otros elementos de la estructura del vehículo. »

2.1.14.4 Prescripciones uniformes relativas a la homologación de los dispositivos de protección trasera contra el empotramiento.

2.1.14.4.1 Prescripciones aplicables a la PARTE I

Aquí los apartados 7.1 y 7.3 describen lo siguiente:

« La altura del perfil del travesaño deberá ser de, al menos, 100 mm. Los extremos laterales del travesaño no deberán estar curvados hacia atrás, ni presentar ningún borde cortante hacia el exterior; dicha condición se cumplirá cuando los extremos laterales del travesaño presenten el exterior redondeado, con un radio de curvatura mínimo de 2,5 mm. »

« El dispositivo de protección trasera contra el empotramiento ofrecerá una resistencia suficiente a las fuerzas aplicadas paralelamente al eje longitudinal del vehículo. »

2.1.14.4.2 Prescripciones aplicables a la PARTE II

Aquí los apartados 16.1, 16.2 y 16.3 describen lo siguiente:

« La altura sobre el suelo respecto a la parte inferior del dispositivo de protección, incluso cuando el vehículo esté vacío, no superará los 550 mm en toda su anchura, y

será tal que la altura sobre el suelo de los puntos de aplicación de las fuerzas de ensayo no superará los 600 mm; »

« La anchura del dispositivo de protección trasera no superará en ningún punto la del eje trasero, medida en los puntos extremos de las ruedas, exceptuando la dilatación del neumático en la proximidad del suelo, ni ser inferior a ésta en más de 100 mm a cada lado. Cuando existan varios ejes traseros, la anchura que debe tenerse en cuenta será la del eje trasero más ancho. »

«El dispositivo estará montado de tal forma que la distancia horizontal entre la parte trasera del dispositivo y el extremo trasero del vehículo, incluido cualquier mecanismo de plataforma elevadora, no supere los 400 mm. Dicha distancia se medirá con el vehículo vacío y excluyendo toda parte del mismo situada a más de 2 m del suelo. »

2.1.14.4.3 Prescripciones aplicables a la PARTE II

Aquí los apartados 25.1, 25.2, 25.3, 25.4, 25.6 y 25.7 describen lo siguiente:

« La altura sobre el suelo respecto a la parte inferior de la protección trasera contra el empotramiento, incluso cuando el vehículo esté vacío, no superará los 550 mm en toda su anchura. »

« La protección trasera contra el empotramiento se montará lo más cerca posible de la parte trasera del vehículo. »

« La anchura de la protección trasera contra el empotramiento no superará en ningún punto la del eje trasero, medida en los puntos extremos de las ruedas, exceptuando la dilatación del neumático en la proximidad del suelo, ni será inferior a ésta en más de 100 mm a cada lado. Cuando existan varios ejes traseros, la anchura que debe tenerse en cuenta será la del eje trasero más ancho. En aquellos casos en los que el dispositivo esté contenido o incluido en la carrocería del vehículo, que supere la anchura del eje trasero, no se aplicará el requisito de que la anchura de la protección trasera contra el empotramiento no deberá superar la anchura del eje trasero.»

« La altura del perfil de la protección trasera contra el empotramiento no será inferior a 100 mm. Los extremos laterales de la protección trasera contra el empotramiento no estarán curvados hacia atrás ni presentarán ningún borde cortante hacia el exterior; dicha condición se cumplirá cuando los extremos laterales de la protección trasera contra el empotramiento presenten el exterior redondeado con un radio de curvatura mínimo de 2,5 mm.»

« La protección trasera contra el empotramiento ofrecerá una resistencia suficiente a las fuerzas aplicadas paralelamente al eje longitudinal del vehículo y estará conectado, en posición de servicio, a los largueros del bastidor del vehículo o a aquello que haga sus veces. Se considerará cumplido este requisito cuando se demuestre que, durante la aplicación de las fuerzas descritas en el anexo 5 y después de ésta, la distancia horizontal entre la parte trasera de la protección trasera contra el empotramiento y el extremo de la parte trasera del vehículo, incluido cualquier mecanismo de plataforma elevadora, no supera los 400 mm en ninguno de los puntos en los que se aplicaron las fuerzas de ensayo. Dicha distancia se medirá con el vehículo vacío y excluyendo toda parte del mismo situada a más de 2 m del suelo. »

«No se requerirá la realización de un ensayo práctico cuando se pueda demostrar mediante cálculo que se cumplen las prescripciones establecidas en el punto 3 del anexo 5. Cuando se realice un ensayo práctico, el dispositivo se fijará a los largueros del chasis del vehículo, a una parte significativa de éstos o a otros elementos de la estructura del vehículo»

2.1.14.5 Condiciones y procedimientos de ensayo

2.1.14.5.1 Condiciones de ensayo de los dispositivos de protección trasera contra el empotramiento

Para verificar si nuestro diseño del dispositivo cumple con los parámetros de homologación del reglamento, se debe tomar muy en cuenta las siguientes condiciones descritas en el Anexo 5.

A continuación se describe los puntos 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3 y 1.3:

«En un vehículo del tipo para el que el dispositivo de protección trasera contra el empotramiento esté destinado; en este caso, se cumplirán las condiciones establecidas en el punto 2; o bien»

«En un elemento del bastidor del tipo de vehículo para el que el dispositivo de protección trasera contra el empotramiento esté destinado; dicho elemento será representativo de los tipos de vehículo de que se trate; o bien »

«En un banco de ensayo»

«A petición del fabricante y con el consentimiento del servicio técnico, el procedimiento de ensayo descrito en el punto 3 podrá simularse mediante cálculos.»

2.1.14.5.2 Condiciones de ensayo de los vehículos

Al igual que lo descrito anteriormente, tomar muy en cuenta estas condiciones descritas en el Anexo 5 del presente reglamento (puntos 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4, respectivamente) :

« El vehículo estará parado sobre una superficie horizontal, plana, rígida y lisa.»

« Las ruedas delanteras estarán en posición recta.»

« Los neumáticos estarán inflados a la presión recomendada por el fabricante del vehículo. »

« Cuando sea necesario para obtener las fuerzas de ensayo prescritas en el punto 3.1 siguiente, el vehículo podrá ser sujetado por cualquier método, que el fabricante del vehículo especificará.»

2.1.14.6 Procedimiento de ensayo

Aquí se detallada minuciosamente el proceso que se debe llevar a cabo para realizar un correcto ensayo de impacto (Puntos descritos: 3.1, 3.1.1, 3.1.2 y 3.1.3).

« Las prescripciones de los puntos 7.3 y 25.6 del presente Reglamento se comprobarán mediante mandriles de ensayo adecuados; las fuerzas correspondientes a los ensayos

prescritos en los puntos 3.1.1 y 3.1.2 siguientes se aplicarán por separado y consecutivamente a través de una superficie que no excederá los 250 mm de alto (el fabricante indicará la altura exacta) y los 200 mm de ancho, con un radio de curvatura de $5 + 1$ mm en las aristas verticales. El fabricante determinará la distancia del suelo del centro de la superficie dentro de las líneas que delimiten horizontalmente el dispositivo. No obstante, cuando el ensayo se realice en un vehículo, la altura no superará los 600 mm cuando el vehículo esté vacío. El fabricante podrá especificar el orden en que se aplicarán las fuerzas.»

« Se aplicará consecutivamente una fuerza horizontal de 100 kN o del 50 % de la fuerza generada por la masa máxima del vehículo, la que sea menor, a dos puntos situados simétricamente con respecto al eje medio del dispositivo o del vehículo, según corresponda, separados un mínimo de 700 mm y un máximo de 1 m. El fabricante especificará el emplazamiento exacto de los puntos de aplicación »

« En los casos previstos en los puntos 1.1.1 y 1.1.2 del presente anexo, se aplicará consecutivamente una fuerza horizontal de 50 kN o del 25 % de la fuerza generada por la masa máxima del vehículo, la que sea menor, a dos puntos situados a $300 + 25$ mm de los planos longitudinales tangentes a los puntos extremos exteriores de las ruedas del eje trasero y a un tercer punto situado en la línea que une a estos dos puntos, en el plano medio vertical del vehículo.»

« En los casos previstos en el punto 1.1.3 del presente anexo, se aplicará consecutivamente una fuerza horizontal de 50 kN o del 25 % de la fuerza generada por la masa máxima del vehículo al que esté destinado el dispositivo, la que sea menor, a dos puntos situados donde elija el fabricante del dispositivo de protección trasera contra el empotramiento y a un tercer punto situado en la línea que une a estos dos puntos, en el plano medio vertical del dispositivo »

En la Figura 2.26 se muestra la posición del dispositivo de protección y los puntos de impacto P1, P2, y P3.

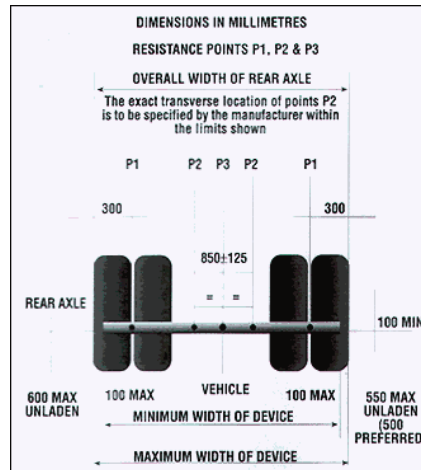


Figura 2.26 Posición del dispositivo de protección posterior y los puntos de impacto P1, P2, y P3.[31]

2.1.15 Reglamento N°93 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa

2.1.15.1 Ámbito de aplicación

De acuerdo al ámbito de aplicación, el presente reglamento se aplicará a los puntos 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3 y 1.2, el cual describe lo siguiente, respectivamente:

« PARTE I: a los dispositivos de protección delantera contra el empotramiento destinados a su instalación en vehículos de las categorías N 2 y N 3. »

« PARTE II: al montaje sobre los vehículos de las categorías N 2 y N 3 de dispositivos de protección delantera contra el empotramiento previamente homologados conforme a la parte I del presente Reglamento. »

« PARTE III: a los vehículos de las categorías N 2 y N 3 en lo que concierne a su protección delantera contra el empotramiento, equipados de un dispositivo de protección delantera contra el empotramiento que no haya sido homologado previamente por separado conforme a la parte I del presente Reglamento, o que esté concebido o equipado de tal manera que pueda considerarse que sus elementos reemplazan la función de un dispositivo de protección delantera contra el empotramiento. »

«Los vehículos de las categorías N 2 cuya masa máxima no exceda de 7,5 t, no deben cumplir más que con el requisito relativo a la distancia al suelo de 400 mm estipulada en el presente Reglamento. »

2.1.15.2 Objetivo

«El presente Reglamento tiene por objeto ofrecer a los vehículos de las categorías M 1 y N 1 una protección eficaz contra el empotramiento en caso de choque frontal con los vehículos citados en el punto 1 del presente Reglamento. »

2.1.15.3 Definiciones

En los apartados 3.1.1, 3.1.2 y 3.1.3 el reglamento define las siguientes palabras:

Masa máxima del vehículo

« La masa máxima técnicamente admisible, declarada por el fabricante, que puede ser superior a la «masa máxima autorizada» por la administración nacional. »

Peso máximo del vehículo

« La fuerza vertical (en newtons) que es necesario ejercer para soportar el citado vehículo cargado, a su masa máxima »

Vehículo en vacío

« El vehículo en orden de marcha, desocupado y sin carga, pero con el depósito de carburante lleno, líquido de refrigeración, lubricante, herramientas y rueda de repuesto»

2.1.15.4 Prescripciones uniformes relativas a la homologación de los dispositivos de protección delantera contra el empotramiento.

2.1.15.4.1 Prescripciones aplicables a la PARTE I

Aquí los apartados 6.1 y 6.2 describen lo siguiente:

« El dispositivo de protección delantera contra el empotramiento debe ofrecer una resistencia suficiente a las fuerzas aplicadas paralelamente al eje longitudinal del vehículo así como satisfacer determinados requisitos dimensionales. »

« La altura de sección del travesaño del dispositivo de protección delantera contra el empotramiento no debe ser inferior a 100 mm en los vehículos de la categoría N 2 y a 120 mm en los vehículos de la categoría N 3 . Los extremos laterales del travesaño no deben estar vueltos hacia adelante ni presentar bordes cortantes externos; dicha condición se cumplirá cuando los extremos laterales del travesaño presenten el exterior redondeado, con un radio de curvatura mínimo de 2,5 mm. »

2.1.15.4.2 Prescripciones aplicables a la PARTE II

Aquí los apartados desde 8.2 hasta el 8.8 describen lo siguiente:

«El vehículo sobre el que se monta el dispositivo de protección delantera contra el empotramiento debe satisfacer determinados requisitos dimensionales definidos en el anexo 5. »

« El dispositivo de protección delantera contra el empotramiento debe montarse sobre el vehículo de tal forma que la distancia horizontal, medida hacia atrás, entre el extremo delantero del vehículo y la parte delantera del dispositivo, no exceda de 400 mm menos la deformación registrada (punto 9 del anexo 1) medida en cada uno de los puntos en los que se aplican las fuerzas de ensayo durante los ensayos de homologación de tipo del dispositivo de protección delantera contra el empotramiento conforme a las disposiciones de la parte I del presente Reglamento y registrada en la ficha de notificación de la homologación de tipo (véanse las figuras 1 y 2). »

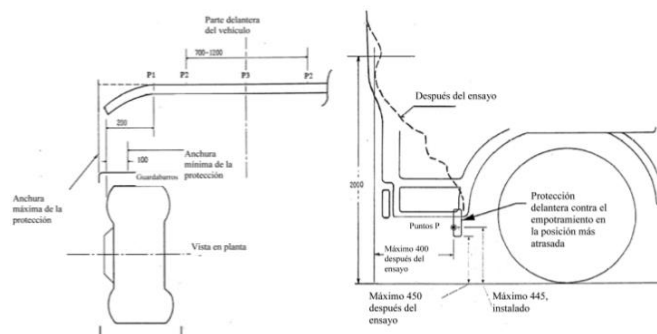


Figura 2.27 Posición del dispositivo de protección frontal y los puntos de impacto P1, P2, y P3. [5]

« Para la medida de estas distancias, no se tomará en consideración ninguna parte del vehículo situada a más de 2 m del suelo. »

«La distancia al suelo máxima de la parte inferior del dispositivo de protección delantera contra el empotramiento no debe ser superior a 400 mm, como se especifica en el anexo 5, apartado 3, entre los dos puntos P 1 , con el dispositivo instalado. »

« La altura por encima del suelo de los puntos de aplicación de las fuerzas de ensayo aplicadas sobre el dispositivo de protección delantera contra el empotramiento conforme a la parte I del presente Reglamento y registrada en la ficha de notificación de la homologación de tipo (anexo 1, punto 8), no debe exceder de 445 mm, como se especifica en el anexo 5, apartado 3. »

« La distancia al suelo máxima con respecto a la parte inferior del dispositivo de protección delantera contra el empotramiento entre los dos puntos P 1 no debe ser superior a 450 mm, teniendo en cuenta su desplazamiento durante la aplicación de la carga de ensayo, con arreglo a lo dispuesto en la parte I. »

« La anchura del dispositivo de protección delantera contra el empotramiento no debe exceder, en ningún punto, la anchura de los guardabarros de las ruedas del eje delantero más extremo y no debe ser inferior en más de 100 mm por cada lado al eje delantero más extremo, medido en los puntos extremos exteriores de los neumáticos, con la exclusión de su abombamiento cerca del suelo (véase la figura 1), o inferior en más de 200 mm por cada lado medidos en los puntos exteriores extremos de los peldaños de acceso a la cabina del conductor. »

2.1.15.4.3 Prescripciones aplicables a la PARTE III

Aquí los apartados desde 10.2, 10.3, 10,5 hasta el 10.9 describen lo siguiente:

« La protección delantera contra el empotramiento ofrecerá suficiente resistencia a las fuerzas aplicadas paralelamente al eje longitudinal del vehículo. Asimismo, esta protección deberá ajustarse a determinados requisitos dimensionales, lo que se

verificará con arreglo a las condiciones y al procedimiento de ensayo que se definen en el anexo 5 del presente Reglamento. »

« Para una solicitud relativa a la parte III, la altura de sección del travesaño del dispositivo de protección delantera contra el empotramiento no debe ser inferior a 100 mm en los vehículos de la categoría N 2 y a 120 mm en los vehículos de la categoría N3. »

« La protección delantera contra el empotramiento debe tener una resistencia suficiente para que la distancia horizontal, medida hacia atrás, entre el extremo delantero del vehículo después de la aplicación de las fuerzas de ensayo y la superficie de contacto del empujador de ensayo sobre el vehículo no exceda de 400 mm. »

« Para la medida de estas distancias no se tomará en consideración ninguna parte del vehículo situada a más de 2 m del suelo »

« La distancia al suelo máxima de la parte inferior de la protección delantera contra el empotramiento no debe ser superior a 400 mm, como se especifica en el anexo 5, apartado 2, entre los dos puntos P1. »

« La distancia al suelo máxima con respecto a la parte inferior de la protección delantera contra el empotramiento entre los dos puntos P1 no debe ser superior a 450 mm, teniendo en cuenta el desplazamiento durante la aplicación de la carga de ensayo.»

« La anchura de la protección delantera contra el empotramiento no debe exceder, en ningún punto, la anchura de los guardabarros de las ruedas del eje delantero más extremo y no debe ser inferior en más de 100 mm por cada lado al eje delantero más extremo, medido en los puntos exteriores extremos de los neumáticos, con la exclusión de su abombamiento cerca del suelo (véase la figura 1), o inferior en más de 200 mm de cada lado, medidos en los puntos exteriores extremos de los peldaños de acceso a la cabina del conductor. »

2.1.15.5 Condiciones y procedimientos de ensayo

2.1.15.5.1 Condiciones de ensayo de los dispositivos de protección frontal contra el empotramiento

Para verificar si nuestro diseño del dispositivo cumple con los parámetros de homologación del reglamento, se debe tomar muy en cuenta las siguientes condiciones descritas en el Anexo 5.

A continuación se describe los puntos 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3 y 1.3:

« bien sobre un vehículo del tipo al cual está destinado el dispositivo de protección delantera contra el empotramiento, en cuyo caso se deberán cumplir las condiciones establecidas en el apartado 2, o bien »

« sobre un elemento del chasis del tipo de vehículo al cual está destinado el dispositivo de protección delantera contra el empotramiento; dicho elemento será representativo del tipo (o de los tipos) de vehículo de que se trate, o bien »

« en un banco de ensayo. »

« A petición del fabricante y con el consentimiento del servicio técnico, el procedimiento de ensayo descrito en el apartado 3 puede simularse por cálculos o cualquier otro método análogo, siempre que se demuestre su equivalencia. »

2.1.15.5.2 Condiciones de ensayo de los vehículos

Al igual que lo descrito anteriormente, tomar muy en cuenta estas condiciones descritas en el Anexo 5 del presente reglamento (puntos 2.2, 2.2.1 hasta 2.2.4, respectivamente):

«Las dimensiones deben registrarse mientras el vehículo se encuentra en las siguientes condiciones: »

« no está cargado;»

« está parado sobre una superficie horizontal, plana, rígida y lisa; »

« sus ruedas delanteras están en posición de marcha en línea recta; »

« los neumáticos están inflados a la presión recomendada por el fabricante del vehículo;»

2.1.15.6 Procedimiento de ensayo

Aquí se detallada minuciosamente el proceso que se debe llevar a cabo para realizar un correcto ensayo de impacto (Puntos descritos: 3.1, 3.2, 3.3, 3.3.1 hasta 3.3.4, 3.4, 3.5 y 3.5.2).

« Los puntos P 1 están situados hasta a 200 mm de los planos longitudinales tangentes a los puntos exteriores extremos de las ruedas del eje delantero, excluyendo el abombamiento de los neumáticos cerca del suelo; los puntos P2 son simétricos respecto al plano longitudinal medio del vehículo, a una distancia de entre 700 y 1 200 mm como máximo uno del otro. »

« La altura desde el suelo de los puntos P 1 y P 2 estará definida por el fabricante del vehículo en las líneas que delimitan la superficie anterior del dispositivo. Sin embargo, la altura no debe exceder de 445 mm, cuando el vehículo está en vacío. P 3 es el plano vertical longitudinal medio del vehículo (véase la figura 1 del presente Reglamento)»

«Las fuerzas de ensayo definidas a continuación deberán ser aplicadas en cada punto de ensayo, en ensayos independientes, sobre el mismo vehículo o dispositivo o, a petición del fabricante/agente, sobre vehículos o dispositivos diferentes.»

«Si la estructura y los elementos del vehículo que inciden en la protección delantera contra el empotramiento son esencialmente simétricos respecto a su plano longitudinal medio, los ensayos en los puntos P 1 y P 2 se efectuarán en un solo lado.»

«Durante el ensayo, las fuerzas se aplicarán lo más rápidamente posible y el dispositivo o el vehículo deberá soportar las fuerzas definidas en los párrafos siguientes durante al menos 0,2 segundos.»

«Una fuerza horizontal igual al 50 % del peso máximo del tipo o tipos de vehículo (previsto[s]), que no exceda de 80×10^3 N, se aplicará sucesivamente en los dos puntos P1.»

«Una fuerza horizontal igual al 100 % del peso máximo del tipo o tipos de vehículo (previsto[s]), que no exceda de 160×10^3 N, se aplicará sucesivamente en los dos puntos P2. Si el dispositivo es discontinuo y su sección transversal se ha reducido entre los dos puntos P2, los ensayos deberán continuar con la aplicación de una fuerza horizontal en el punto P3 idéntica a la que se aplica en los puntos P1.»

«Las fuerzas prescritas serán aplicadas por empujadores articulados de manera apropiada (por ejemplo, por juntas universales) paralelamente al plano longitudinal medio del vehículo a través de una superficie de contacto que no exceda de 250 mm de altura y 400 mm de anchura (la altura y la anchura exactas deberán ser indicadas por el fabricante), que tenga un radio de curvatura de 5 ± 1 mm en las aristas verticales; el centro de la superficie debe situarse sucesivamente en los puntos P1, P2 y P3»

2.1.16 Clasificación vehicular en el Ecuador

En Ecuador rige la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2656: 2012, la cual enfatiza la clasificación vehicular diseñados para circulación terrestre según sus características constructivas, así como de su uso y aplicación. [44]

Los vehículos se clasifican en:

Categoría L. Vehículos automotores con menos de 4 ruedas.

- L1: Vehículos de dos ruedas, de hasta 50 cm^3 y velocidad máxima de 50 km/h .
- L2: Vehículos de tres ruedas, de hasta 50 cm^3 y velocidad máxima de 50 km/h .
- L3: Vehículos de dos ruedas, de más de 50 cm^3 o velocidad mayor a 50 km/h .

- L4: Vehículos de tres ruedas asimétricas al eje longitudinal del vehículo, de más de 50 cm^3 o una velocidad mayor de 50 km/h .
- L5: Vehículos de tres ruedas simétricas al eje longitudinal del vehículo, de más de 50 cm^3 o velocidad mayor a 50 km/h y cuyo peso bruto vehicular no exceda de una tonelada.

Categoría M. Vehículos automotores de cuatro ruedas o más diseñados y construidos para el transporte de pasajeros.

- M1: Vehículos de 8 asiento o menos, sin contar el asiento del conductor.
- M2: Vehículos de más de 8 asientos, sin contar el asiento del conductor y peso bruto vehicular de 5 toneladas o menos.
- M3: Vehículos de más de 8 asientos, sin contar el asiento del conductor y peso bruto vehicular de más de 5 toneladas.

Categoría N. Vehículos automotores de cuatro ruedas o más diseñados y construidos para el transporte de mercancías.

- N1: Vehículos de PBV de 3,5 toneladas o menos.
- N2: Vehículos de PBV mayor a 3,5 toneladas hasta 12 toneladas.
- N3: Vehículos de PBV mayor a 12 toneladas.

Categoría O. Remolques (incluidos semirremolques)

- O1: Remolques de PBV de 0.75 toneladas o menos.
- O2: Remolques de PBV mayor a 0.75 toneladas hasta 3.5 toneladas.
- O3: Remolques de PBV mayor a 3.5 toneladas hasta 10 toneladas.
- O4: Remolques de PBV mayor a 10 toneladas. [44]

2.2 Hipótesis

Los sistemas de protección frontal y posterior contra el empotramiento fabricados por la empresa Mastermetal cumplen con los reglamentos N°58 y 93 (CEPE/ONU) durante una colisión entre un vehículo liviano con un vehículo de categoría N2.

2.3 Señalamiento de variables de la hipótesis

2.3.1 Variable Independiente

Los sistemas de protección frontal y posterior contra el empotramiento fabricados por la empresa Mastermetal.

2.3.2 Variable Dependiente

Cumple con el reglamento N°58 y 93 (CEPE/ONU) durante una colisión entre un vehículo liviano con un vehículo de categoría N2.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Nivel o tipo de investigación

3.1.1 Exploratorio

Este nivel de investigación se aplicará debido a que este proyecto no ha sido estudiado en nuestro país, por lo que éste será analizado, es decir, se hará un reconocimiento e identificación del problema para obtener un panorama general de los dispositivos de protección frontal y posterior al someterse a una colisión entre un vehículo tipo N2 con un vehículo liviano.

3.1.2 Descriptivo

Al ser una investigación cualitativa este nivel de investigación será aplicado, por lo que se va a describir las propiedades, funcionamiento, dimensiones y el comportamiento mecánico de la barra anti empotramiento del vehículo tipo N2 al someterse a una colisión-

3.1.3 Experimental

Esta investigación es experimental porque se va a realizar un análisis del comportamiento mecánico de la barra anti empotramiento mediante simulación con el fin de obtener datos que permitirá evaluar y describir los efectos del fenómeno.

3.1.4 Explicativo

Se aplicará el nivel explicativo a esta investigación porque con los resultados obtenidos se va a realizar una explicación argumentada al gerente de la empresa Master Metal, es decir, explicar por qué la necesidad de implantar estos dispositivos a los vehículos

tipo N2 con el fin de salvaguardar la vida de los ocupantes y cumplir con la normativa vigente.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La población de estudio para la presente investigación está determinada por los modelos de barra antiempotramiento de los vehículos tipo N2 fabricados por la empresa MASTER METAL.

3.2.2 Muestra

La muestra es igual a la población, por lo que se va a tomar en cuenta para el estudio los modelos de barra antiempotramiento fabricados por la empresa MASTER METAL.

3.3 Operacionalización de variables

3.3.1 Variable independiente

Los sistemas de protección frontal y posterior contra el empotramiento fabricados por la empresa Mastermetal.

CONCEPTO	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Los dispositivos de protección contra el empotramiento, son elementos fijados de forma permanente al chasis del vehículo tipo N2, el cual tiene como función principal evitar que el vehículo liviano se empotre durante una colisión, salvaguardando la vida del conductor.	Impacto frontal y posterior	Velocidad de impacto frontal y posterior	56 Km/h	Observación directa.
	Tiempo de aplicación de la carga.	Tiempo	0,2 Sg	Hoja de toma de datos.
	Modelo de la barra contra el empotramiento	Frontal	1887 mm	Análisis a través del método por elementos finitos.
		Posterior	1235 mm	

Fuente: Autor

3.3.2 Variable dependiente

Cumple con el reglamento N°58 y 93 (CEPE/ONU9) durante una colisión entre un vehículo liviano con un vehículo de categoría N2.

CONCEPTO	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS / HERRAMIENTAS
Mediante una simulación por el método de elementos finitos se determinará el esfuerzo máximo que el material soporta, así como también se determinará la deformación que experimentará los dispositivos de protección ante la aplicación de cargas, teniendo en cuenta los criterios de aceptación de la regulación 58 y 93 de la UNECE, para su posterior homologación.	Reglamento N°58 (CEPE), Criterio de aceptación, Anexo 5, 3.1.1 y 3.1.2. Reglamento N°93 (CEPE). Criterio de aceptación, Anexo 5, 3.3.3 y 3.3.4	Resistencia	Las fuerzas resultantes después de los impactos frontal y posterior deben ser: Frontal: P2 > 73,55 kN, P1 y P3 > 36,77 kN. Posterior: P2 > 36,77 kN, P1 y P3 > 18,39 kN.	Observación directa. Hoja de toma de datos. Análisis a través del método por elementos finitos.
	Criterio de aceptación 16.3 de Reglamento N°58 y 8.3 de Reglamento N°93 (CEPE).	Deformación horizontal	No sobre pase los 400 mm.	

Fuente: Autor

3.4 Plan de recolección de información.

Por medio de las siguientes técnicas se realizará la recolección de información: observación directa, para toma de datos se utilizará un cuaderno con una metodología estructurada, y la documental, para la recolección de información de libros, artículos técnicos, fichas técnicas, manuales, referentes al tema, lo cual nos proporcionará la información necesaria para el desarrollo del proyecto.

La información obtenida de los ensayos del software de los dispositivos de protección se analizará mediante la simulación aplicando el método por elementos finitos.

3.5 Plan Procesamiento y análisis. (Procedimiento detallado sobre cómo se procesó la información recolectada).

Para el procesamiento de la información se planificará de la siguiente manera:

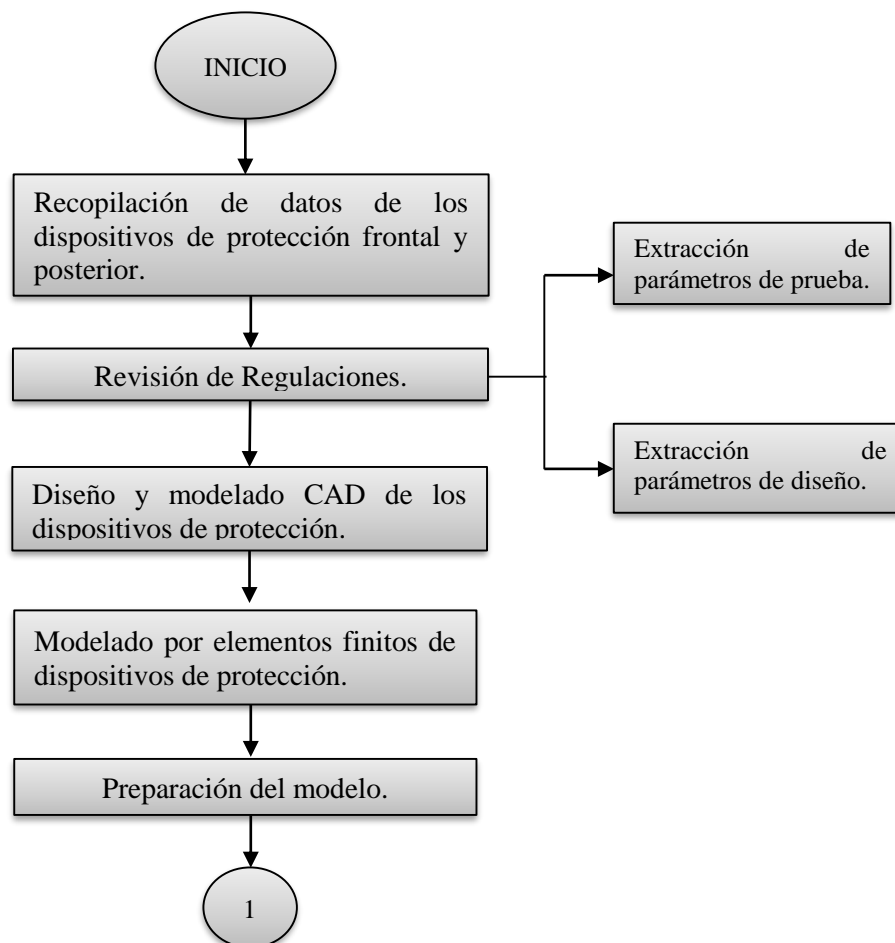
- Recolección de la información necesaria partiendo del apoyo bibliográfico, relacionado con los dispositivos de protección frontal y posterior.
- Revisión de reglamentos y normativa para la realización de los ensayos de resistencia de los dispositivos de protección.
- Diseño y fabricación de probetas de acuerdo a normativa correspondiente.
- Ensayo de tracción y análisis de resistencia de las probetas del material utilizado en la construcción de los dispositivos de protección. Determinación de los esfuerzos de las probetas.
- Los datos que se obtengan de dicho ensayo se procesarán mediante tablas y fichas de recolección de información, lo cual facilitará el análisis de los datos.
- Los resultados se representarán a través de curvas, que permitan identificar las propiedades mecánicas del material utilizado en la construcción de los dispositivos de protección.
- Modelación virtual de los dispositivos de protección. Análisis de los esfuerzos por el método de elementos finitos.
- Se tabulará y graficará los resultados, a partir de esto se procederá a elaborar conclusiones y recomendaciones pertinentes para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos, con el objetivo de comprobar la hipótesis.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Recolección de datos

El diagrama de flujo que muestra la Figura 4.1 describe el proceso que se llevará a cabo para la obtención de resultados del análisis de los sistemas de protección frontal y posterior contra el empotramiento en colisiones de vehículos livianos con vehículos de categoría N2 para verificar el cumplimiento de las regulaciones N°58 y N°93 de la UNECE en la empresa Master Metal.



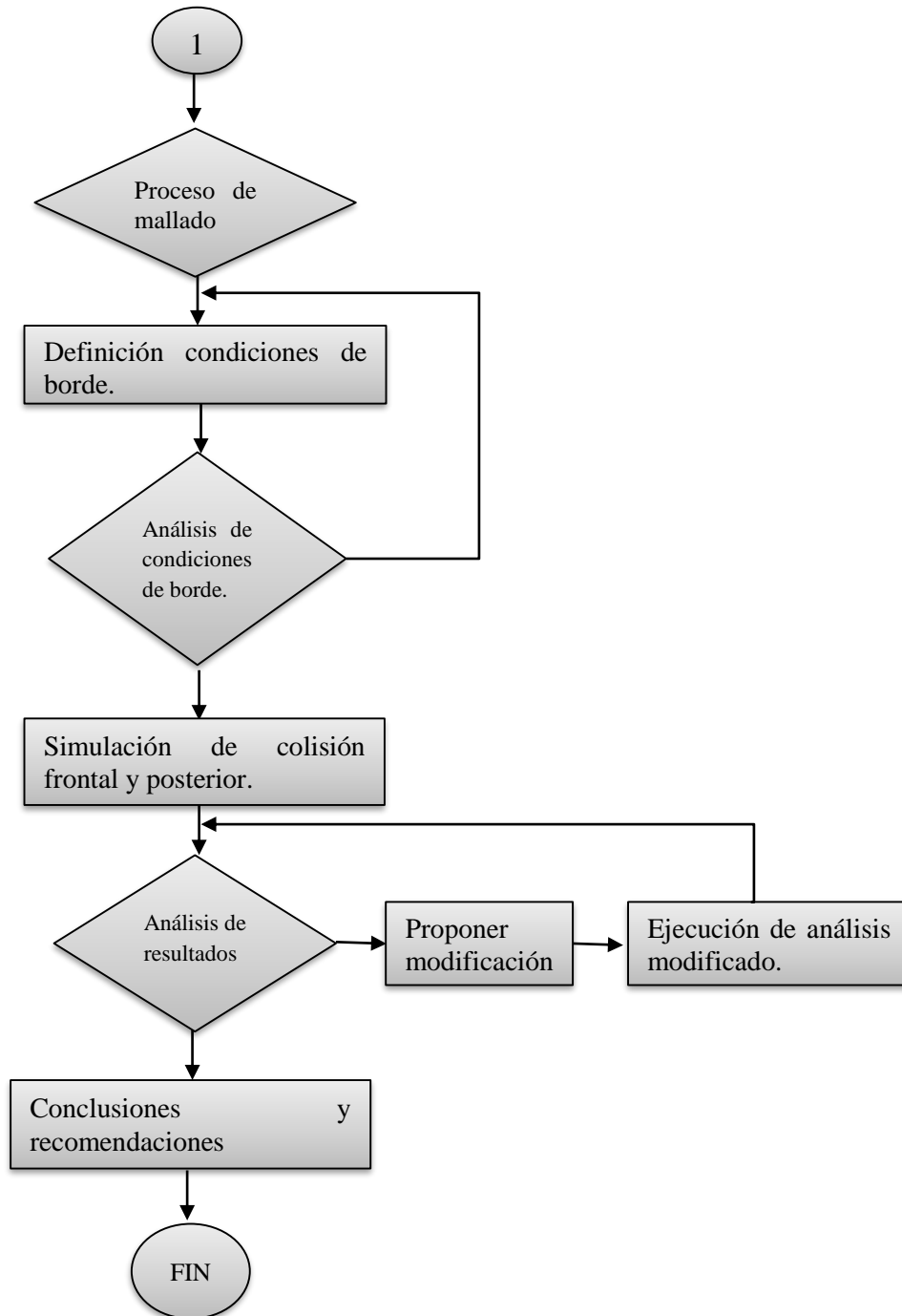


Figura 4.1 Diagrama de proceso para el desarrollo del presente estudio.

Fuente: Autor

4.1.1 Descripción de los dispositivos de protección.

Los dispositivos de protección frontal y posterior que construye MasterMetal se muestra en la Figura 4.2 y 4.3, y consta de las siguientes partes:

- Dos soportes
- Un travesaño
- Dos Tapas

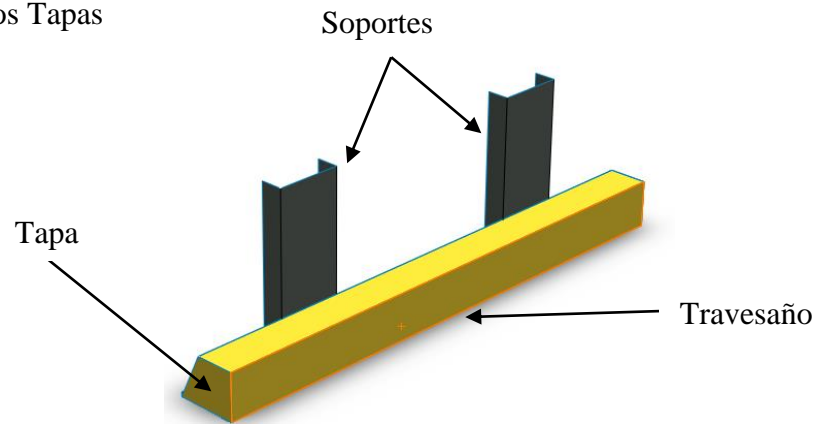


Figura 4.2 Dispositivo de protección posterior Master Metal
Fuente: Autor

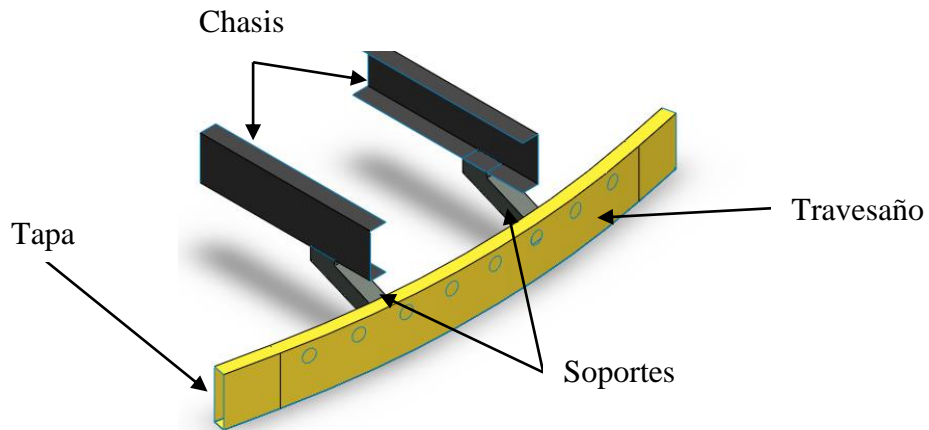


Figura 4.3 Dispositivo de protección frontal Master Metal
Fuente: Autor

Para realizar esta investigación se ha considerado conocer las características generales de los dispositivos de protección frontal y posterior para los vehículos tipo N2.

4.1.2 Características generales del chasis

Para el desarrollo de este proyecto se ha considerado importante conocer las características generales del chasis Chevrolet NPR, sobre el que fue montada la estructura del furgón en estudio que se muestra en la Figura 4.4.



Figura 4.4 Camión NPR REWARD marca ISUZU
Fuente: Autor

Las características del chasis en estudio se muestran en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Especificaciones técnicas del chasis.

Descripción	Dimensión	Unidad
Ancho total	1995	mm
Capacidad de carga	4835	Kg
Distancia entre ejes	3365	mm
Distancia carrozable	4302	mm
Largo total	5985	mm
Medidas de llantas (delanteras/traseras)	215/75 R17.5	
Peso bruto vehicular	7500	Kg
Potencia del motor	148 / 2600	Hp/RPM
Tanque de combustible	140	L

Fuente: [45]

4.1.3 Materiales utilizados en la estructura de los dispositivos de protección.

La barra anti empotramiento frontal y posterior está constituido por dos soportes, destinados a resistir las diferentes cargas que actúan al someterse a un impacto.

Los materiales utilizados en la construcción de estos dispositivos se detallan en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Materiales de barra anti empotramiento

Descripción	Detalle
Soporte	Perfil U de 50x150x 4 mm acero negro ASTM A-36
Travesaño	Platina anti deslizante de 2,5 mm de acero ASTM A-36

Fuente: Autor

4.1.4 Dimensiones generales de la estructura de la barra anti empotramiento.

Las dimensiones de los dispositivos de protección utilizados en la empresa MasterMetal se indican en la Figura 4.5. Al no existir una normativa nacional vigente que regule las dimensiones y el montaje de estos dispositivos, la empresa MasterMetal utiliza estas dimensiones en forma empírica. Cabe mencionar que la normativa internacional que regula todos estos parámetros son la R58 y R93 de la UNECE.

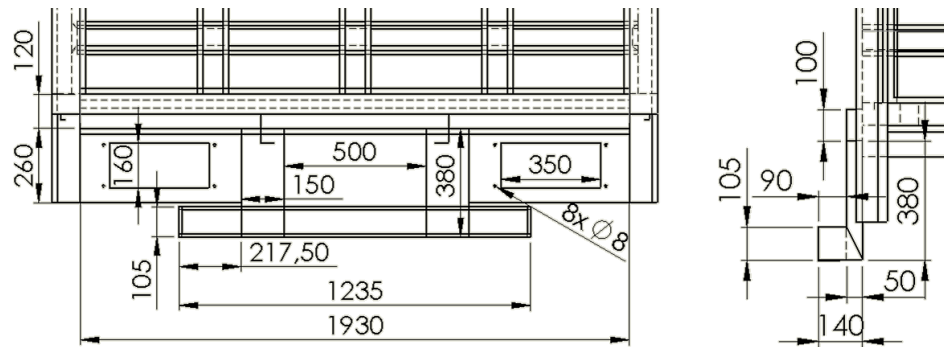


Figura 4.5 Dimensiones de la barra anti empotramiento

Fuente: Autor

4.1.5 Distribución de los dispositivos de protección.

El dispositivo de protección frontal como su nombre lo indica, va ubicado en la parte delantera del chasis y el posterior en la parte trasera según Reglamento N°58 y N°93 de la UNECE (ver Anexo A1 y A2), para este estudio se dará importancia el análisis del dispositivo de protección posterior, por motivo de obligatoriedad de este dispositivo en nuestro país según normativa ecuatoriana NTE INEN 034:2011 (ver Anexo A3).

4.1.6 Preprocesado para análisis en software de elementos finitos

Para el análisis por elementos finitos del presente estudio se utilizó el Project Workbench, el cuál dispone de varios módulos para realizar el análisis, para este caso se opto por utilizar la extensión Workbench LS-DYNA.

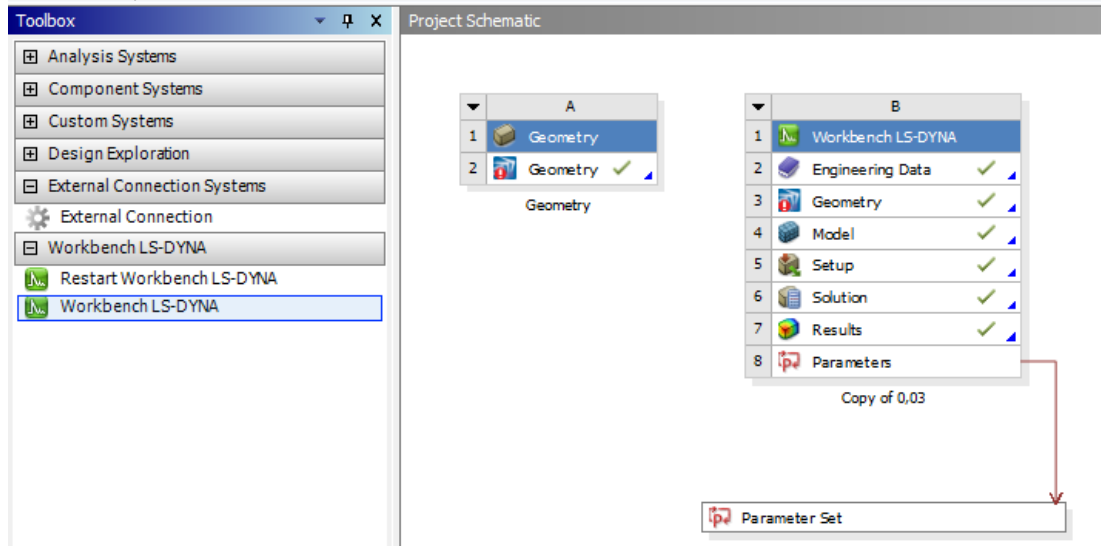


Figura 4.6 Project Workbench

Fuente: Autor

Los parámetros que a continuación se describen son muy importantes para que el proceso de análisis sea validado, por lo que, se debe ingresar datos coherentes del material, una geometría optima, condiciones de borde de acuerdo al estudio que se va analizar y generar un buena calidad de malla con base a los parámetros de evaluación de la misma.

4.1.6.1 Geometría

Con el fin de generar un modelo optimo las geometrías de la estructura del furgón, de los dispositivos de protección y los impactadores se han realizado en un software especializado de diseño CAD, los cuales posteriormente fueron exportados al software FE, para utilizarlos como dominio computacional. Las geometrías se modelaron como superficies, por cuestion de simplicidad y facilidad para el posterior análisis. En el transcurso del presente capítulo se irá mostrando las geometrías de análisis de acuerdo a la simulación que se va a realizar.

4.1.6.2 Material

Debido a que el presente estudio es un análisis explícito no lineal y apartir de la revisión bibliográfica realizada, se sabe que el material más idóneo para este tipo de análisis debe ser un material no lineal. Por lo que, se procedió a seleccionar de la librería de materiales un acero estructural no lineal (Ver Figura 4.6)

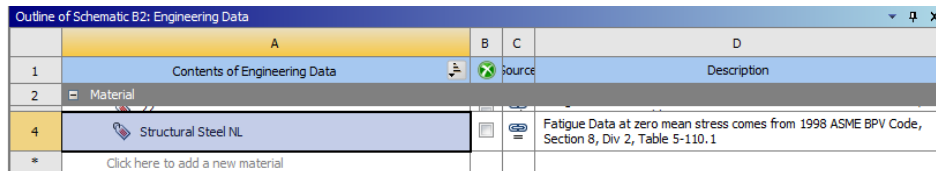


Figura 4.7 Selección de Material

Fuente: Autor

En la caja de herramientas se elige las propiedades que se desean definir. Como el material fue seleccionado desde la librería de materiales, las propiedades físicas ya vienen definidas, por lo que solo se procedió a definir el componente Endurecimiento Isotrópico Multilínea (*Multilinear Isotropic Hardening*) y Falla de Deformación Plástica (Plastic Strain Failure).

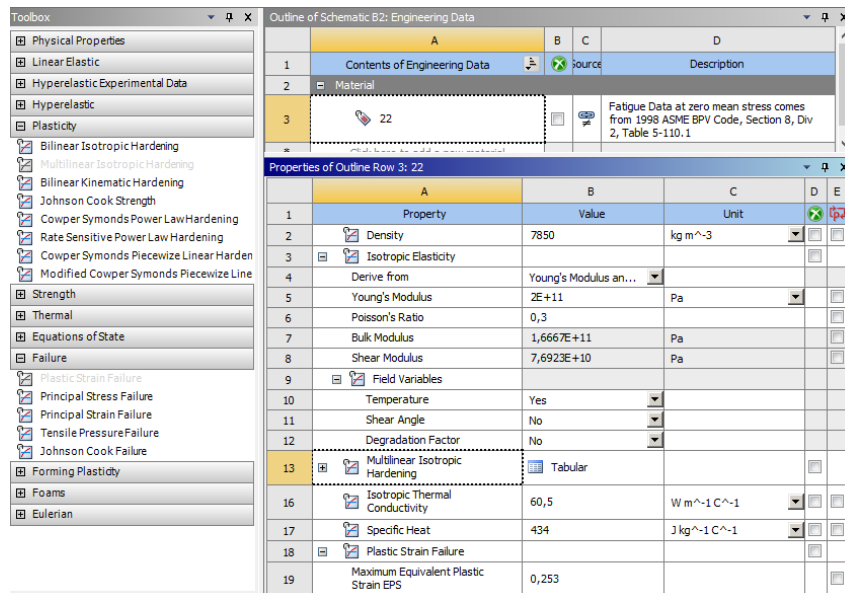


Figura 4.8 Selección de los componentes del modelo de material

Fuente: Autor

Se definió el Endurecimiento Isotrópico Multilínea (*Multilinear Isotropic Hardening*) debido a que este modelo es muy eficiente en la solución de este tipo de análisis y es más comúnmente usado en simulaciones de choque.

Para definir este componente se debe ingresar la temperatura y una tabla de datos de la curva esfuerzo-deformación real del material. Como el material utilizado para este análisis es un acero ASTM A36 se procedió a ingresar los datos reales característicos del mismo.

Como recomendación antes de ingresar los datos esfuerzo hay que revisar las unidades, debido que viene en Pa, se debe cambiar a MPa, ya que si se trabaja con los datos en Pa en el procesamiento se va a tener inconvenientes.

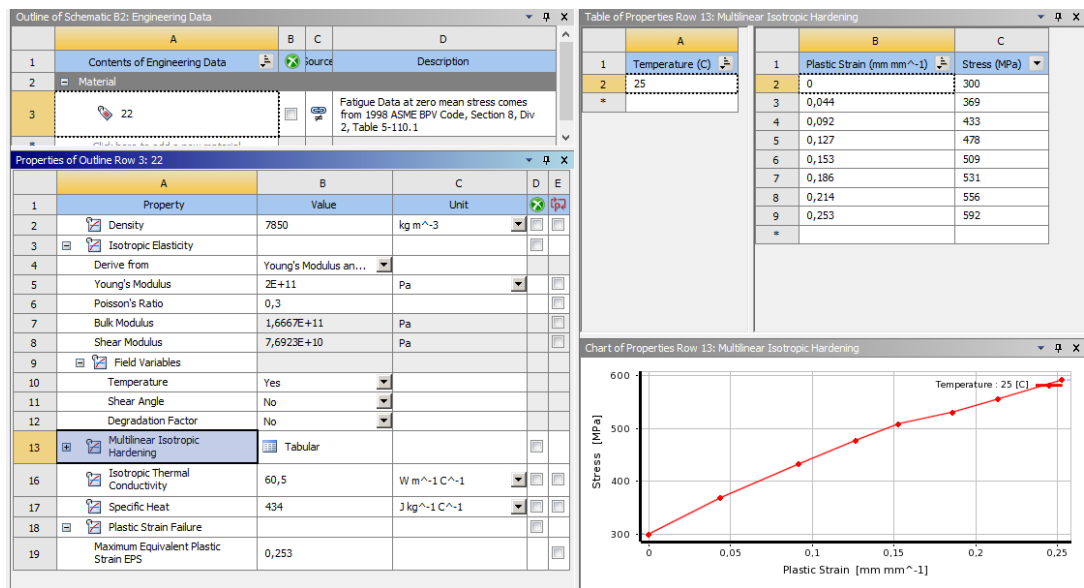


Figura 4.9 Definición de componente *Multilinear Isotropic Hardening*

Fuente: Autor

La Falla de Deformación Plástica (Plastic Strain Failure) fue definido, porque idóneo materiales ductiles. Un fallo se produce si la deformación plástica efectiva en el material excede la tensión plástica equivalente máxima. Este modelo de falla se utiliza junto con un modelo de plasticidad.

En este componente se debe ingresar el valor máximo en el que se desea que falle el material, para ello, nos fijamos en el valor máximo de la curva real esfuerzo-deformación, en este caso es de 0,253.

18	Plastic Strain Failure	
19	Maximum Equivalent Plastic Strain EPS	0,253

Figura 4.10 Definición de componente *Plastic Strain Failure*

Fuente: Autor

Ya definido los componentes a utilizar se considera que el material se encuentra seleccionado con los datos necesarios para realizar el análisis.

La Tabla 4.3 muestra un resumen de los parámetros y propiedades del acero estructural ASTM A36 No-Lineal.

Tabla 4.3 Resumen de parámetros y propiedades de acero A36

Propiedad Física	Densidad	7,85 g/cm ³
Elástico Lineal	Isotrópico	Modulo de Young = 200 Gpa, Coeficiente de Poisson = 0.3
Plasticidad	Endurecimiento Isotrópico Multilínea	Deformación Plástica = 0, 0.044, 0.092, 0.127, 0.153, 0,186, 0.214, 0.253 Esfuerzo (MPa)= 300, 369, 433, 478, 509, 531, 556, 592
Falla	Falla de Deformación Plástica	0,253

Fuente: Autor

4.1.6.3 Cargas y condiciones de borde

Condición Inicial

Para las simulaciones de las colisiones frontal y posterior se consideró como condición inicial que el impactador tenga una velocidad de 15,556 mm/sg (56 km/h), descrito en el apéndice 3 literal 4 de la R94 CEPE. [46]

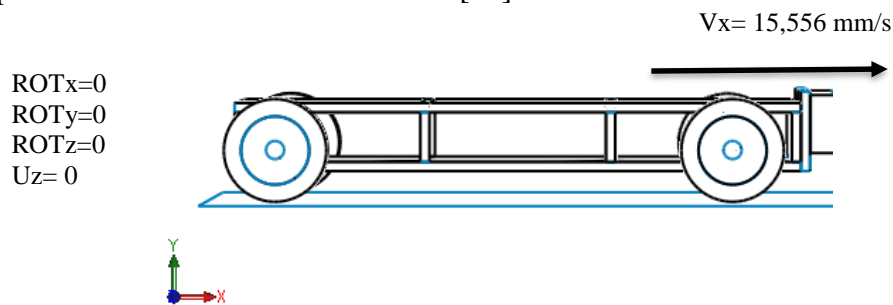


Figura 4.11 Restricciones Impactador

Fuente: Autor

En el ensayo de impacto con cargas puntuales al dispositivo de carga se le estableció las siguientes restricciones:

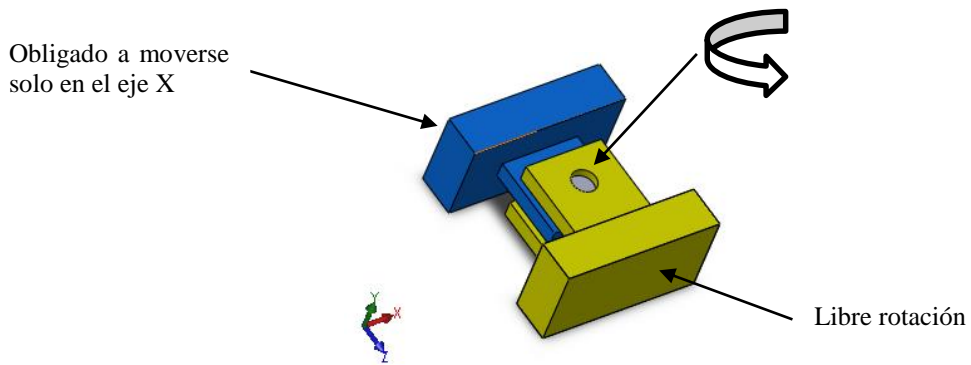


Figura 4.12 Restricciones Dispositivo de carga
Fuente: Autor

Condiciones de frontera

Para las simulaciones de colisión se han establecido dos soportes fijos (*Fixed Support*) como condiciones de frontera; el chasis y el piso, en ambos casos al ser soportes fijos están restringidos en todas las direcciones (Ver Figura 4.13).

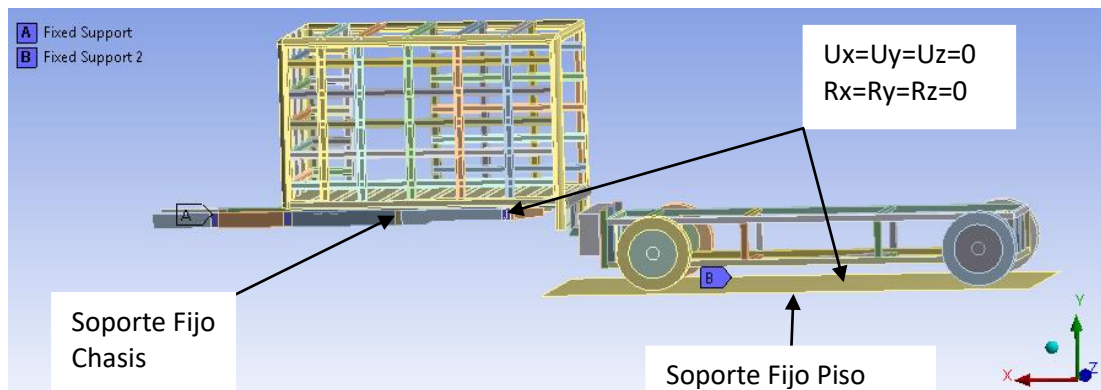


Figura 4.13 Condiciones de frontera para simulación de colisión
Fuente: Autor

Para los ensayos de impacto como condición de frontera se estableció al chasis como soporte fijo (*Fixed Support*) y al impactador se le definió como cuerpo rígido.

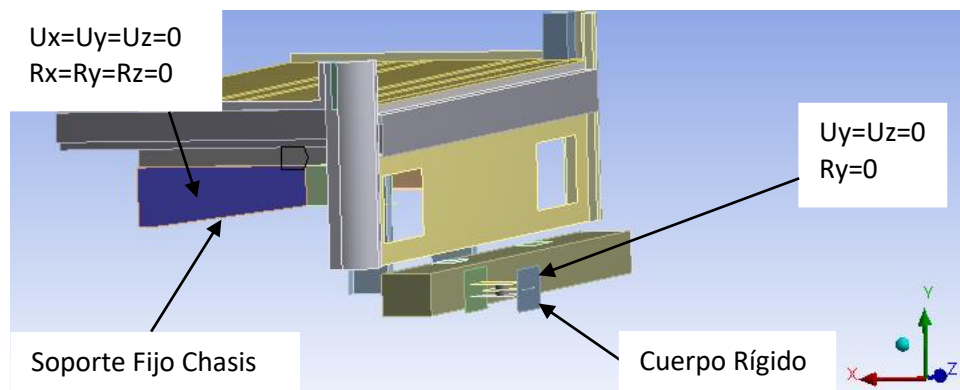


Figura 4.14 Condiciones de frontera para ensayo de impacto
Fuente: Autor

Condiciones de carga de impacto

Ensayo de impacto posterior

En el punto P2 se aplicará consecutivamente una fuerza horizontal de 100 kN o del 50 % de la fuerza generada por la masa máxima del vehículo, la que sea menor, a dos puntos situados simétricamente con respecto al eje medio del dispositivo o del vehículo, según corresponda, separados un mínimo de 700 mm y un máximo de 1 m.

En los puntos P1 y P3 se aplicará consecutivamente una fuerza horizontal de 50 kN o del 25 % de la fuerza generada por la masa máxima del vehículo, la que sea menor, a dos puntos situados a 300 + 25 mm de los planos longitudinales tangentes a los puntos extremos exteriores de las ruedas del eje trasero y a un tercer punto situado en la línea que une a estos dos puntos, en el plano medio vertical del vehículo.[8]

En las Figuras 4.15 muestra las posiciones en la que el impactador debe estar antes del impacto posterior.

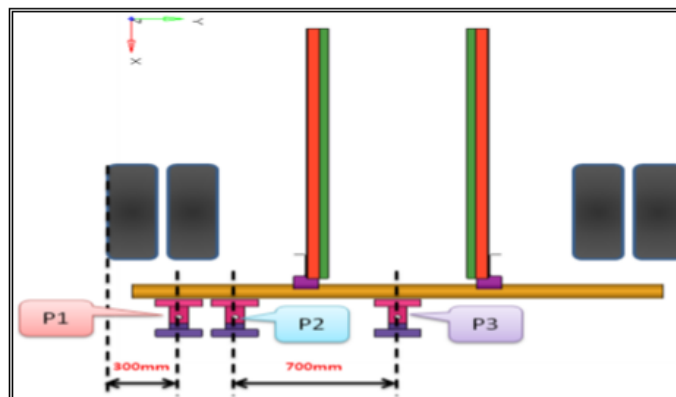


Figura 4.15 Posiciones del dispositivo de carga en la barra posterior. [47]

Ensayo de impacto frontal

Los puntos P1 están situados hasta a 200 mm de los planos longitudinales tangentes a los puntos exteriores extremos de las ruedas del eje delantero, excluyendo el abombamiento de los neumáticos cerca del suelo; los puntos P2 son simétricos respecto al plano longitudinal medio del vehículo, a una distancia de entre 700 y 1 200 mm como máximo uno del otro.

Una fuerza horizontal igual al 50 % del peso máximo del tipo o tipos de vehículo, que no exceda de 80×10^3 N, se aplicará sucesivamente en los dos puntos P1.

Una fuerza horizontal igual al 100 % del peso máximo del tipo o tipos de vehículo, que no exceda de 160×10^3 N, se aplicará sucesivamente en los dos puntos P2.[9]

En las Figuras 4.16 muestra las posiciones en la que el impactador debe estar antes del impacto frontal.

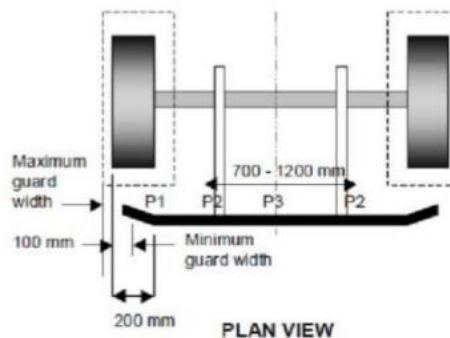


Figura 4.16 Posiciones del dispositivo de carga en la barra frontal. [48]

La Tabla 4.4 muestra las cargas requeridas para cada tipo de ensayo de impacto.

Tabla 4. 4 Cargas requeridas

	P1	P2	P3
Ensayo Frontal	36774 N	73549 N	36774 N
Ensayo Posterior	18387 N	36774 N	18387 N

Fuente: Autor

4.1.6.4 Mallado

El proceso y la evaluación de calidad de malla se irá mostrando específicamente en cada tipo de simulación, ya que se aplico diferentes criterios en cada simulación, por lo que, el mallado no se puede generalizar en este apartado.

4.1.7 Ensayos preliminares

4.1.7.1 Validación del material utilizado en la fabricación de los dispositivos de protección

El material utilizado para la fabricación de los dispositivos de protección frontal y posterior es un acero estructural ASTM A 36 (Ver Anexo B1).

Para la validación del material se ha considerado tomar los datos obtenidos de los ensayos de tracción real y simulado del estudio de Remache [49], debido a que el material que se ocupa en dicha investigación es el mismo que se va a utilizar en el presente proyecto, de modo que, los datos que se presentan a continuación son exclusivamente de la autoría de dicho autor.

En su estudio Remache [49], comparó el promedio de los datos obtenidos en el ensayo real con los resultados de la simulación, como se muestra en la Tabla 4.5

Tabla 4.5 Comparación de resultados entre ensayo real versus ensayo simulado

ENSAYO REAL		ENSAYO SIMULADO		ERROR
Esfuerzo(Mpa)	Deformación (mm)	Esfuerzo(Mpa)	Deformación (mm)	%
0,0000	0,0000000	0,0000	0,0000000	0,000
16,1455	0,0007619	16,1455	0,0007476	1,875
32,2910	0,0015238	32,2910	0,0015295	0,375
48,4365	0,0022857	48,4365	0,0021962	3,917
64,5820	0,0032381	64,5820	0,0032571	0,588
80,7275	0,0040000	80,7275	0,0039048	2,381
96,8729	0,0047619	96,8729	0,0045524	4,400
113,0184	0,0055238	113,0184	0,0052190	5,517
129,1639	0,0062857	129,1639	0,0065143	3,636
145,3094	0,0070476	145,3094	0,0071810	1,892
161,4549	0,0076190	161,4549	0,0078286	2,750
177,6004	0,0085714	177,6004	0,0084762	1,111
193,7459	0,0093333	193,7459	0,0091429	2,041
209,8914	0,0099048	209,8914	0,0097905	1,154
226,0369	0,0106667	226,0369	0,0104571	1,964
242,1824	0,0114286	242,1824	0,0117714	3,000
258,3278	0,0121905	258,3278	0,0124190	1,875
274,4733	0,0129524	274,4733	0,0130857	1,029
290,6188	0,0137143	290,6188	0,0137333	0,139
306,7643	0,0144762	306,7643	0,0144000	0,526
322,9098	0,0152381	322,9098	0,0157143	3,125
339,0553	0,0160000	339,0553	0,0163810	2,381
355,2008	0,0167619	355,2008	0,0170476	1,705
365,6954	0,0704762	365,6954	0,0671238	4,757
363,2735	0,0859048	363,2735	0,0746286	13,126
360,8517	0,0923810	360,8517	0,1008571	9,175
371,3463	0,2274286	371,3463	0,1396381	38,601
387,4918	0,2434286	387,4918	0,2401333	1,354
403,6373	0,2580952	403,6373	0,2569143	0,458
419,7828	0,2853333	419,7828	0,2955429	3,578
519,8848	1,1019048	519,8848	1,0978476	0,368
PROMEDIO ERROR				3,832

Fuente: [49]

Según Remache [49], el porcentaje promedio de error es 3,832% siendo menor a 5% que es el valor de error máximo recomendado [50].

En la Figura 4.17 se observa las gráficas de las curvas esfuerzo-deformación unitaria de los resultados obtenidos en el ensayo de tracción 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.

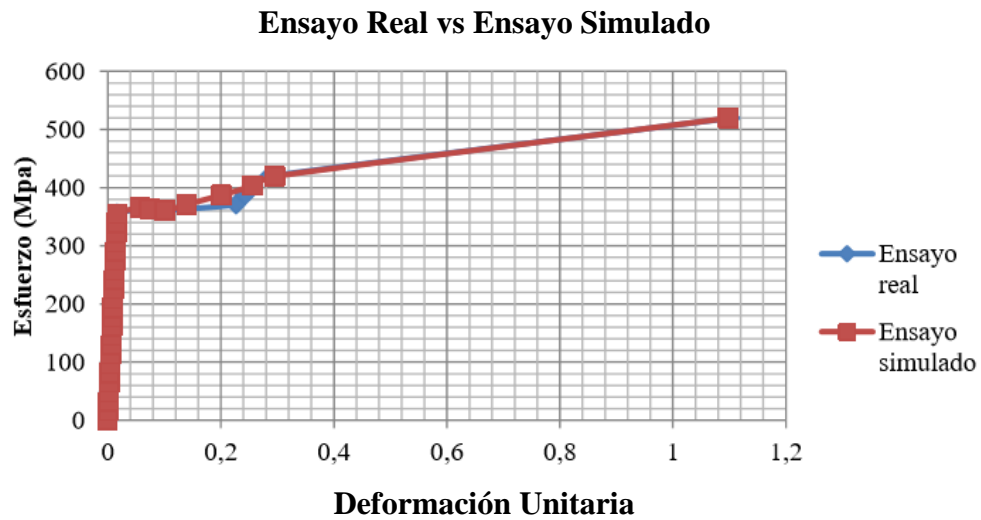


Figura 4.17 Comparación entre datos reales y datos simulados
Fuente: [49]

En la Figura 4.17 se demuestra que los resultados de la simulación del ensayo de tracción son muy aproximados a los resultados del ensayo de tracción real; por ende, se establece que la simulación del ensayo de tracción está validada y que los resultados que se obtengan en elementos que estén sometidos a tracción en el **ensayo de impacto frontal y posterior** serán muy próximos a los reales.

4.2 Análisis de los resultados

4.2.1 Simulación de colisión posterior de impactador contra dispositivo de protección.

Para el análisis de este estudio se ha considerado utilizar el modelo del dispositivo de protección posterior realizado por la empresa MasterMetal de la ciudad de Ambato, provincia Tungurahua. Esta geometría se realizó a partir de las dimensiones adquiridas en la empresa antes mencionada. Este modelo consta básicamente de dos canales en

U, un travesaño y dos tapas en acero anti deslizante, ambos son de material ASTM A36 (Ver Figura 4.18).

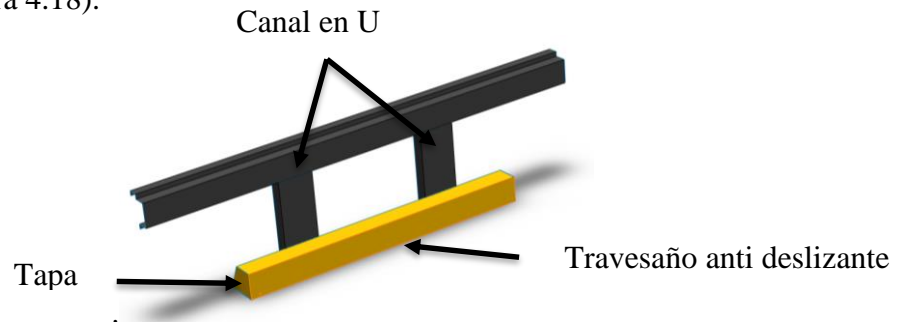


Figura 4.18 Barra antiempotramiento posterior de MasterMetal
Fuente: Autor

El análisis de la simulación del impacto posterior se inicia modelando la geometría de la sección posterior del furgón, tomando en cuenta todos los elementos que contribuyen en la resistencia de la estructura como se muestra en la Figura 4.19.

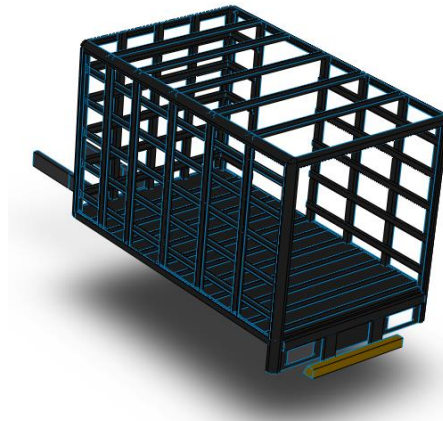


Figura 4.19 Geometría de la sección posterior del furgón
Fuente: Autor

En la Figura 4.20 se muestra la geometría del impactador (modelado según Regulación CEPE N°95, Anexo A5) que se va a utilizar para el desarrollo de la simulación tanto para el impacto frontal como para el impacto posterior.

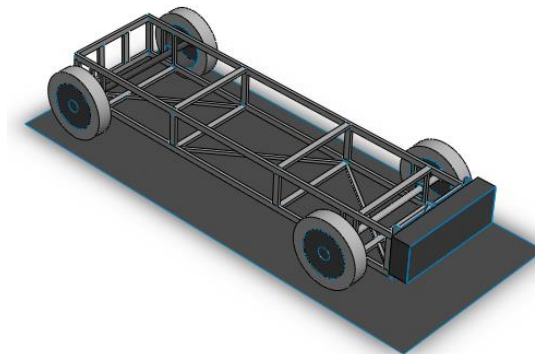


Figura 4.20 Geometría del impactador según Regulación CEPE N°95
Fuente: Autor

Con el fin de evaluar de mejor manera los resultados y de observar el comportamiento del dispositivo de protección posterior en diferentes escenarios, se ha decidido realizar dos simulaciones:

- En la primera simulación el furgón va a recibir un impacto 100% overlap
- En la segunda simulación el furgón va a recibir un impacto 50% overlap

4.2.1.1 Simulación de colisión posterior 100% overlap.

Mallado

En este mallado se aplicó dos tamaños de cuerpo (*Body Sizing*) y un método de mallado *MultiZone Quad/Tri*; a la estructura del furgón que es el principal elemento de análisis se le asignó un tamaño de elemento de cara de 30 mm, mientras que al impactador un valor de 100 mm, y al piso se le aplicó el método antes mencionado con un tamaño de elemento de 1000 mm, por no ser relevante el piso en el análisis se consideró establecer dicho valor.

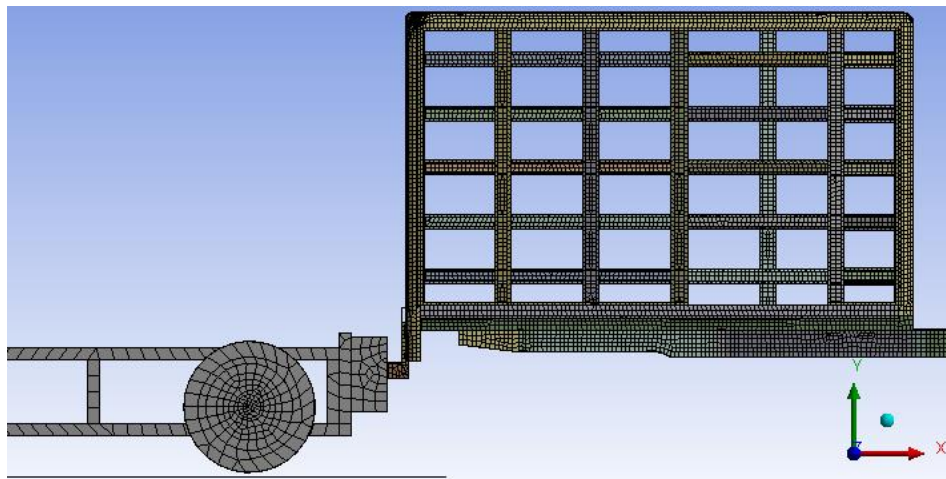


Figura 4.21 Vista Frontal de mallado

Fuente: Autor

La Figura 4.22 muestra el mallado de la estructura del furgón y del impactador en el cual se observa que consta netamente de elementos cuadriláteros.

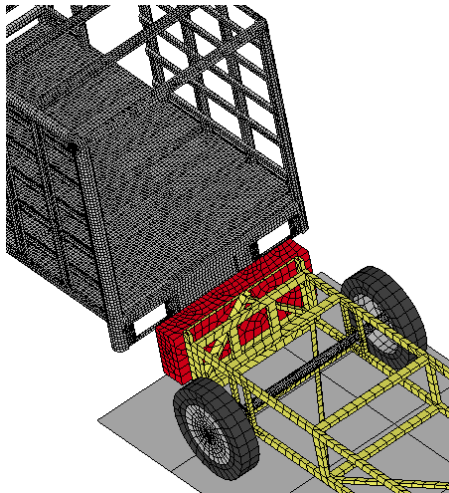
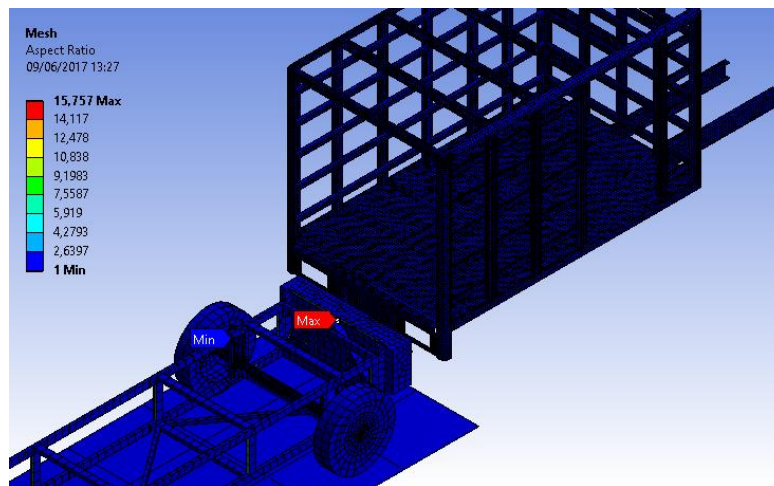


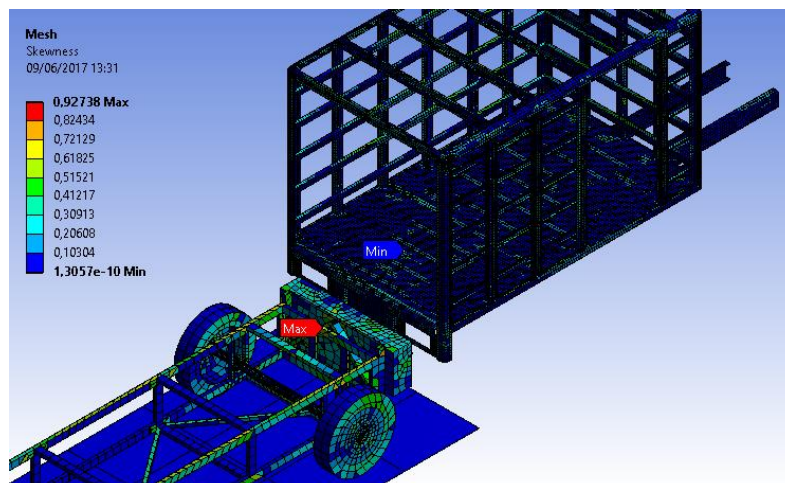
Figura 4.22 Vista Isométrica del mallado de la estructura de furgón e impactador 100% overlap
Fuente: Autor

Evaluación de malla

El tamaño máximo de la cara del elemento es de 30 mm, la malla generada tiene; (a) un valor de relación de aspecto (*Aspect Ratio*) de máximo 15,757 y mínimo de 1, y (b) un valor de oblicuidad (*Skewnees*) máximo de 0,92 y mínimo de 0,00000000013057 (Ver Figura 4.23); valores que están dentro del índice de caracterización de malla. (Ver Tabla 2.3)



a) Valores generales de relación de aspecto (*Aspect Ratio*)

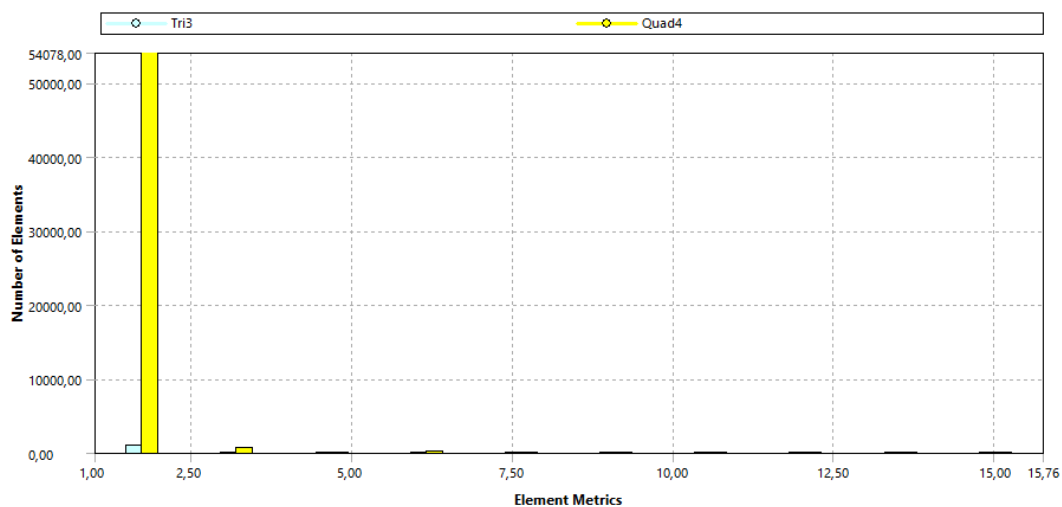


b) Valores generales de oblicuidad (Skewness)

Figura 4.23 Parámetros de evaluación de malla

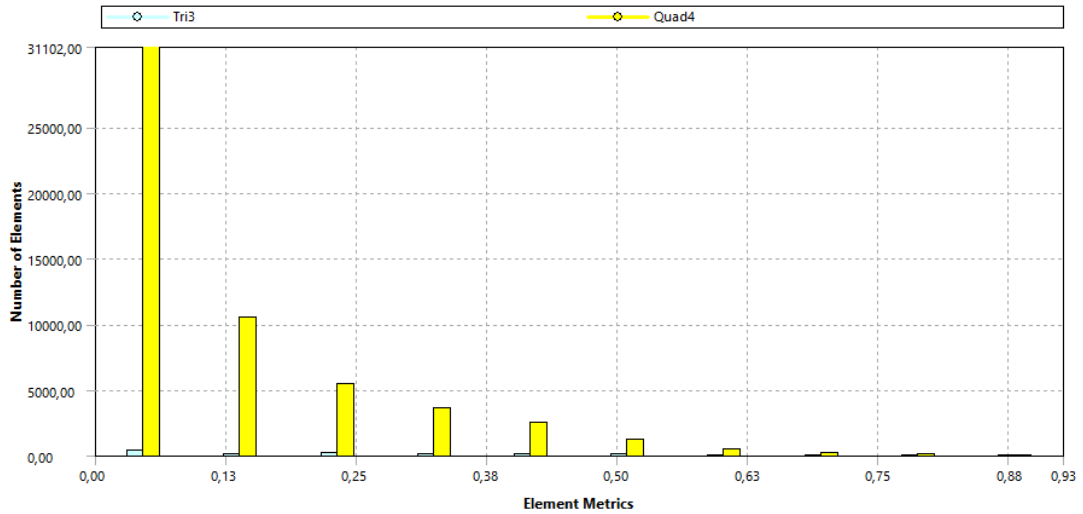
Fuente: Autor

En el gráfico de barras de la Figura 4.24a de la malla se tiene un total de 55915 elementos de los cuales: 54100 elementos tienen un valor de 1,74 de relación de aspecto (*Aspect Ratio*), 679 elementos tienen un valor de 3,21, y el resto de elementos se encuentran dentro del rango permisible (Ver Tabla 2.3).



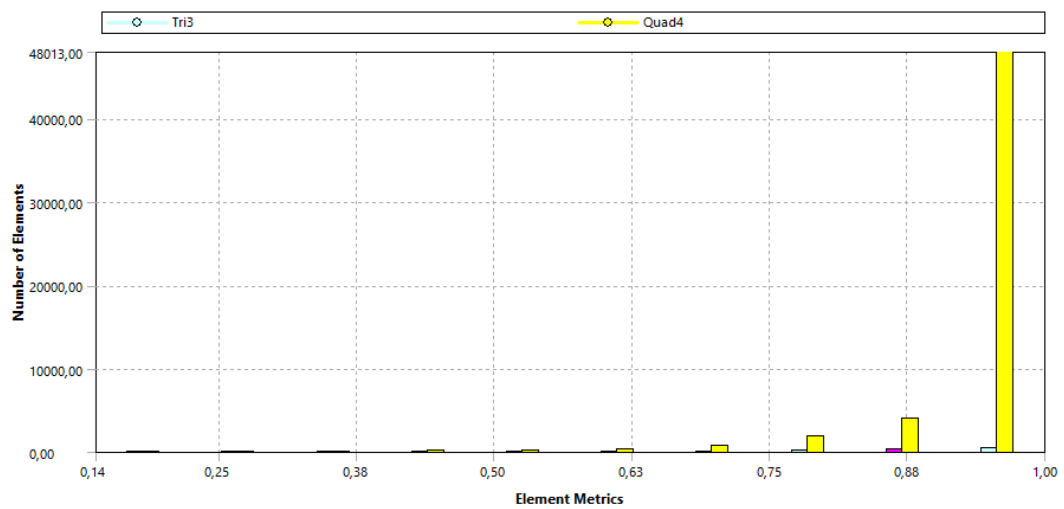
a) Aspect Ratio versus el número de elementos de la estructura del furgón e impactador

En la Figura 4.24b se observa que 31100 elementos tienen un valor de 0,46 de oblicuidad (*Skewness*), 10400 elementos tienen un valor de 0,139, y el resto de elementos se encuentran dentro del rango permisible (Ver Tabla 2.3).



b) Skewness versus el número de elementos de la estructura del furgón e impactador

En la Figura 4.24c se observa que 48000 elementos tienen un valor de 0,957 de calidad ortogonal (*Orthogonal Quality*), 3970 elementos tienen un valor de 0,871, y el resto de elementos se encuentran dentro del rango permisible (Ver Tabla 2.3).



c) Orthogonal Quality versus el número de elementos de la estructura del furgón e impactador

Figura 4.24. Evaluación de Aspect Ratio, Skewness y Orthogonal Quality

Fuente: Autor

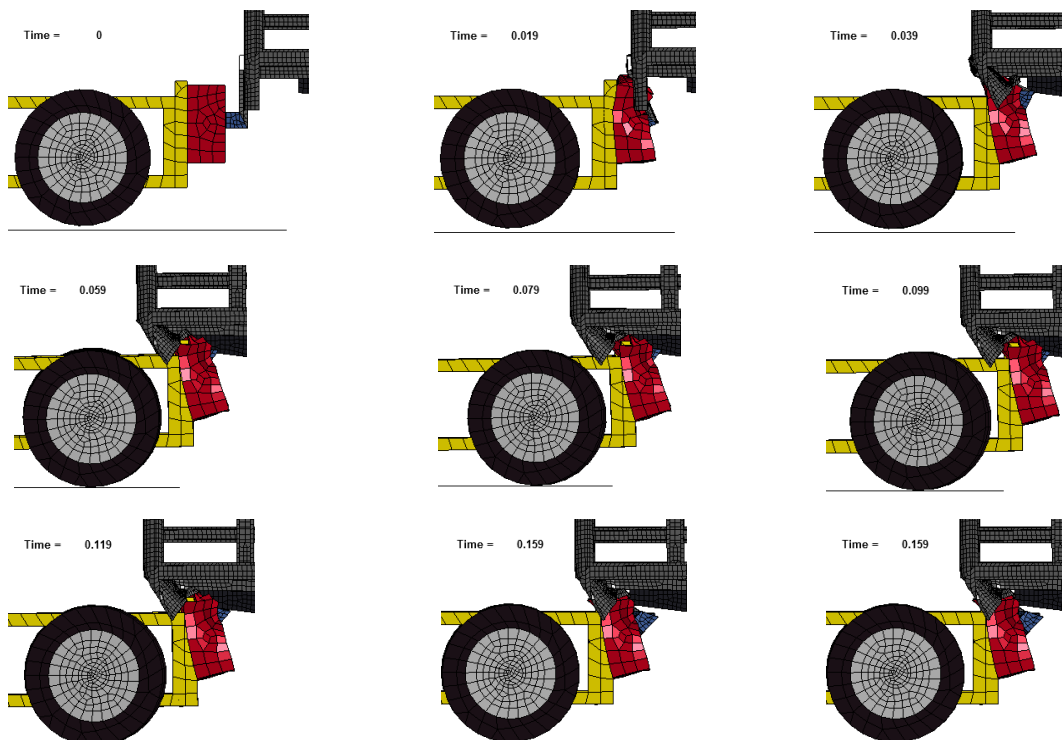
Una vez validado todos los parámetros se establece que la malla generada es aceptable, por lo que se procede a realizar la simulación del impacto posterior del furgón a una velocidad de 56 km/h según recomienda la Regulación N°94 (ver Anexo A6) y a un tiempo de 0,2 seg según la Regulación N°58 (ver Anexo A1).

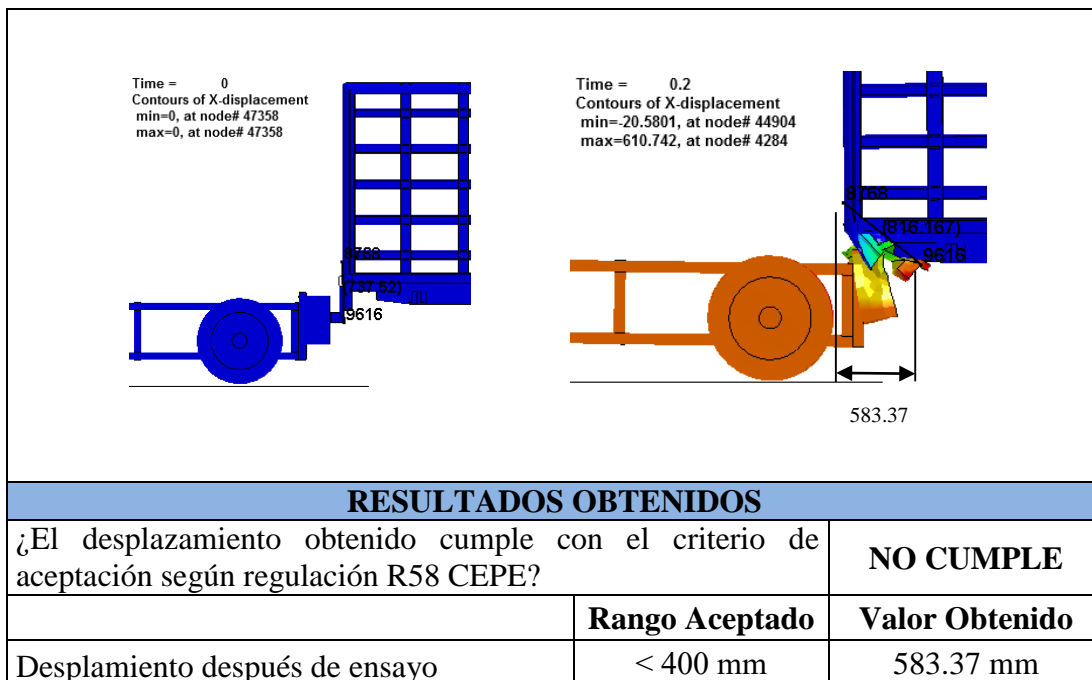


**SIMULACIÓN COLISIÓN POSTERIOR CON IMPACTADOR
100% OVERLAP**

Simulación N°:	01	Muestra:	Barra posterior antiempotramiento del furgón
Norma Aplicable	Regulación N°58 de la Comisión Económica para Europa (CEPE). Anexo 5 Procedimiento de ensayo, Item 3.1, 3.2 y 3.3		
Fecha de ejecución	05/02/2017	Realizado por:	Luis Perdomo
		Revisado por:	Ing. César Arroba
Aspect Ratio Máx.:	15,757	Aspect Ratio Min:	1
Cantidad de nodos	57459	Cantidad de elementos	55915
Tiempo de procesamiento	1 hora 30 minutos	Número de procesadores	32 procesadores
Velocidad de impacto	15555,56 mm/seg		
Tiempo de impacto	200 milisegundos		

RESULTADO DEL ENSAYO





Al analizar los resultados obtenidos después del ensayo con las condiciones establecidas, se obtiene, que la barra antiempotramiento después de una colisión posterior a una velocidad de 56 km/h se produce un desplazamiento máximo de 583.37 mm medido entre los nodos #9271 y #9616 (ver Figura 4.25), por lo que se demuestra que el dispositivo de protección posterior en un impacto 100% overlap **NO** cumple con lo especificado en la Regulación N°58 de Comisión Económica para Europa (CEPE).

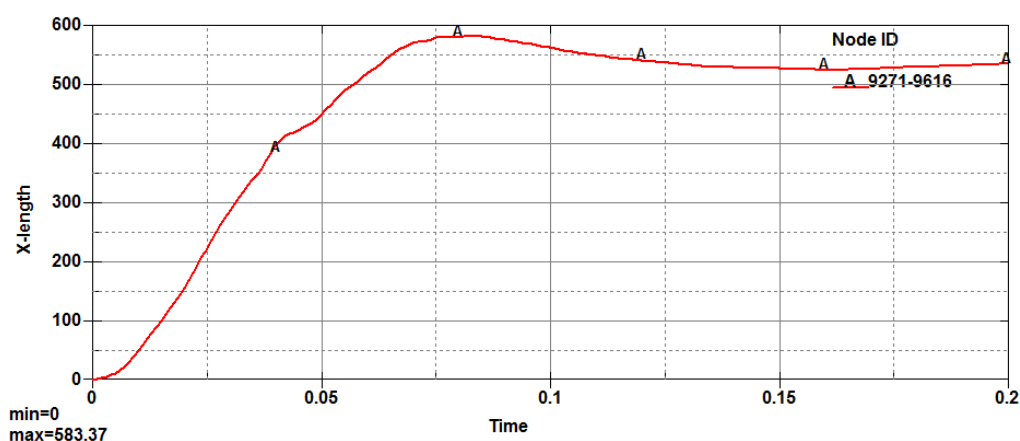


Figura 4.25 Desplazamiento del dispositivo de protección posterior 100% overlap
Fuente: Autor

La energía del dispositivo de protección posterior durante todo el impacto frontal se indica en la Figura 4.26, demostrando que, la energía que entra es igual a la energía

que sale, esto se justifica observando que, en ambas gráficas no existe variación de energía. La curva de color rojo indica la energía cinética y la curva de color verde indica la energía interna durante el impacto frontal de la barra antiempotramiento.

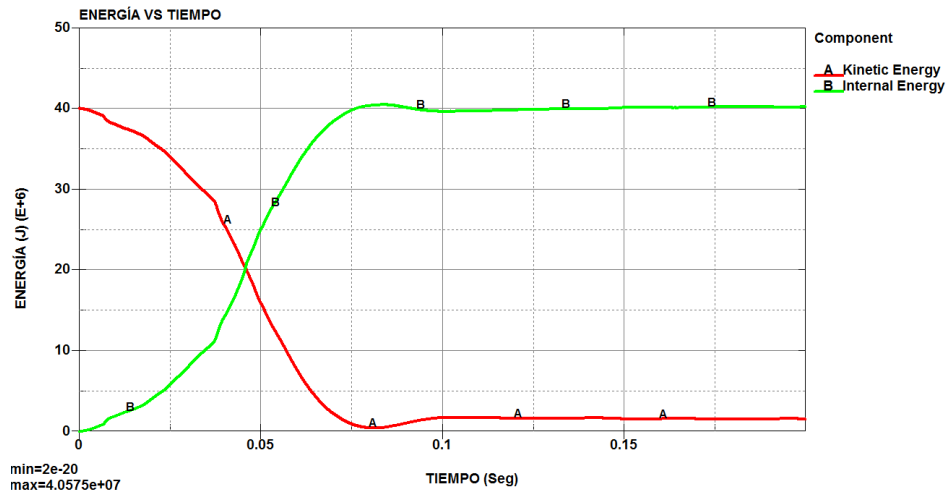


Figura 4.26 Energía cinética y energía interna durante colisión posterior
Fuente: Autor

4.2.1.2 Simulación de colisión posterior 50% overlap.

Mallado

En este mallado se aplicó un tamaño de cuerpo (*Body Sizing*) y un método de mallado *MultiZone Quad/Tri*. A la estructura del furgón que es el principal elemento de análisis se le asignó un tamaño de elemento de cara de 35 mm, mientras que al piso se le aplicó el método antes mencionado con un tamaño de elemento de 1000 mm, por no ser relevante el piso en el análisis se consideró establecer dicho valor.

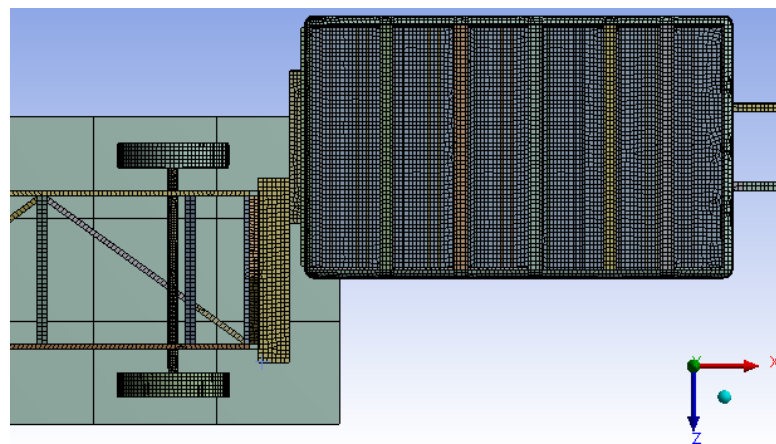


Figura 4.27 Vista Superior de Mallado
Fuente: Autor

La Figura 4.28 muestra el mallado de la estructura del furgón y del impactador en el cual se observa que consta netamente de elementos cuadriláteros.

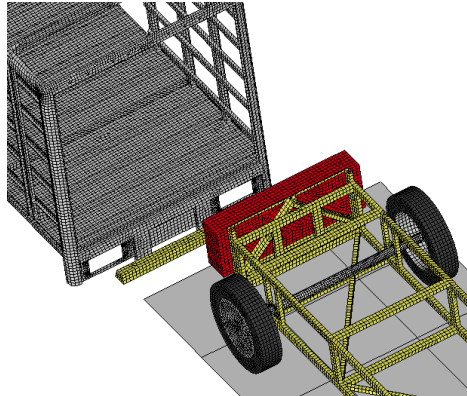
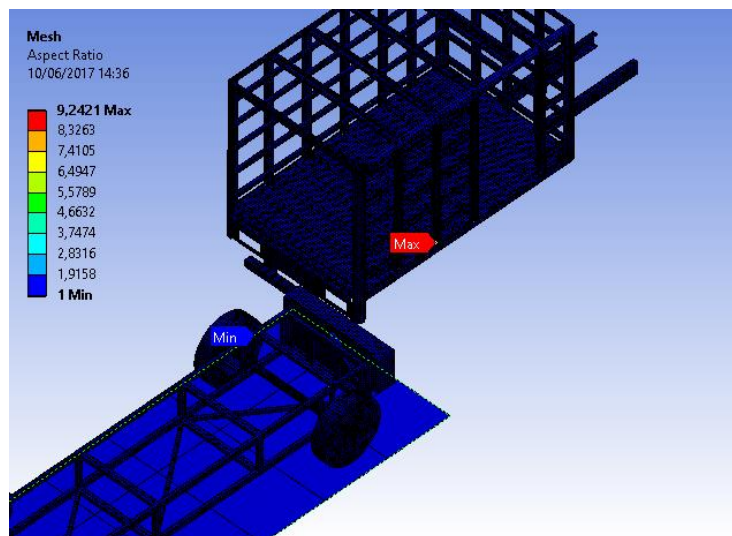


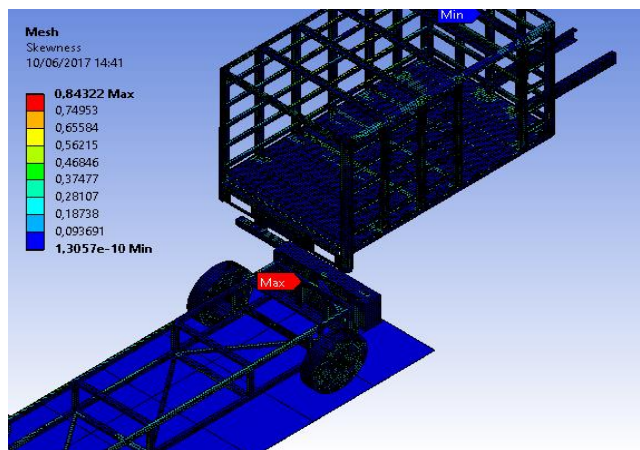
Figura 4.28 Vista isométrica del mallado de la estructura de furgón e impactador 50% overlap
Fuente: Autor

Evaluación de malla

El tamaño máximo de la cara del elemento es de 35 mm, la malla generada tiene; (a) un valor de relación de aspecto (*Aspect Ratio*) de máximo 9,24 y mínimo de 1, y (b) un valor de oblicuidad (*Skewnees*) máximo de 0,84 y mínimo de 0,00000000013057 (Ver Figura 4.29); valores que están dentro del índice de caracterización de malla. (Ver Tabla 2.3)



a) Valores generales de relación de aspecto (*Aspect Ratio*)

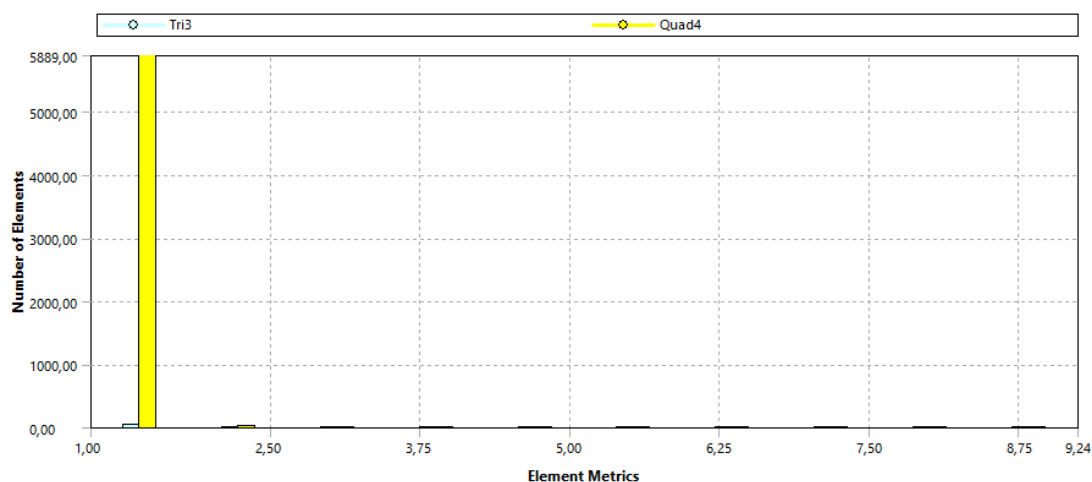


b) Valores generales de oblicuidad (Skewness)

Figura 4.29 Parámetros de evaluación de malla

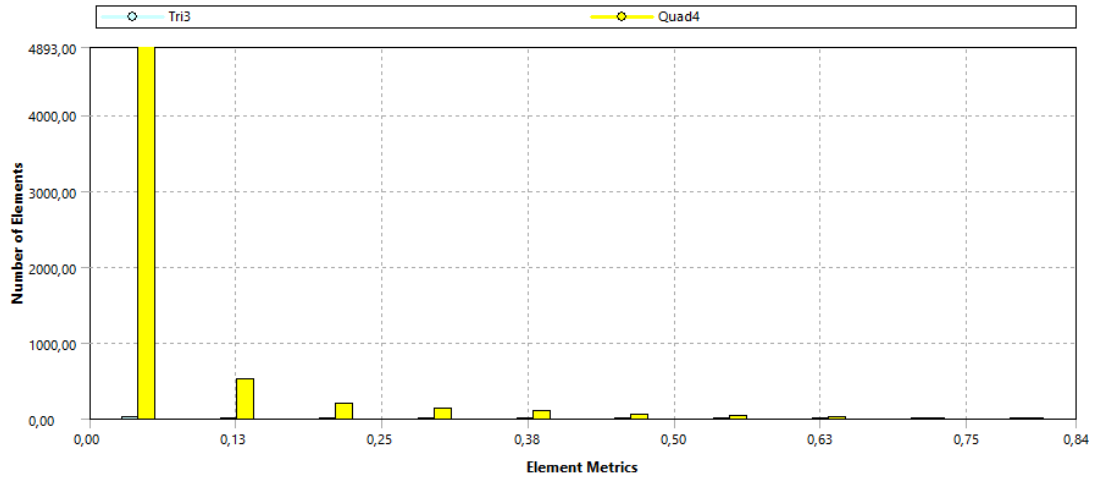
Fuente: Autor

En el gráfico de barras de la Figura 4.30a, de la malla se tiene un total de 60454 elementos de los cuales: 58800 elementos tienen un valor de 1,41 de relación de aspecto (*Aspect Ratio*), 220 elementos tienen un valor de 2,24, y el resto de elementos se encuentran dentro del rango permisible (Ver Tabla 2.3).



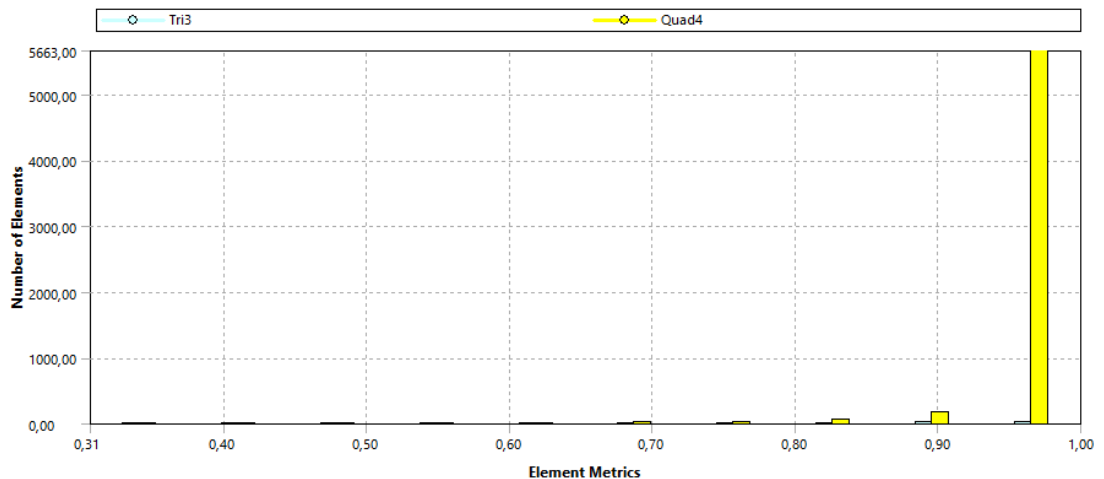
a) Aspect Ratio versus el número de elementos de la estructura del furgón e impactador

En la Figura 4.30b se observa que 48930 elementos tienen un valor de 0,042 de oblicuidad (*Skewness*), 5210 elementos tienen un valor de 0,126, y el resto de elementos se encuentran dentro del rango permisible (Ver Tabla 2.3).



b) Skewness versus el número de elementos de la estructura del furgón e impactador

En la Figura 4.30c se observa que 56630 elementos tienen un valor de 0,965 de calidad ortogonal (*Orthogonal Quality*), 1630 elementos tienen un valor de 0,896, y el resto de elementos se encuentran dentro del rango permisible (Ver Tabla 2.3).



c) Orthogonal Quality versus el número de elementos de la estructura del furgón e impactador

Figura 4.30 Evaluación de Aspect Ratio y Skewness

Fuente: Autor

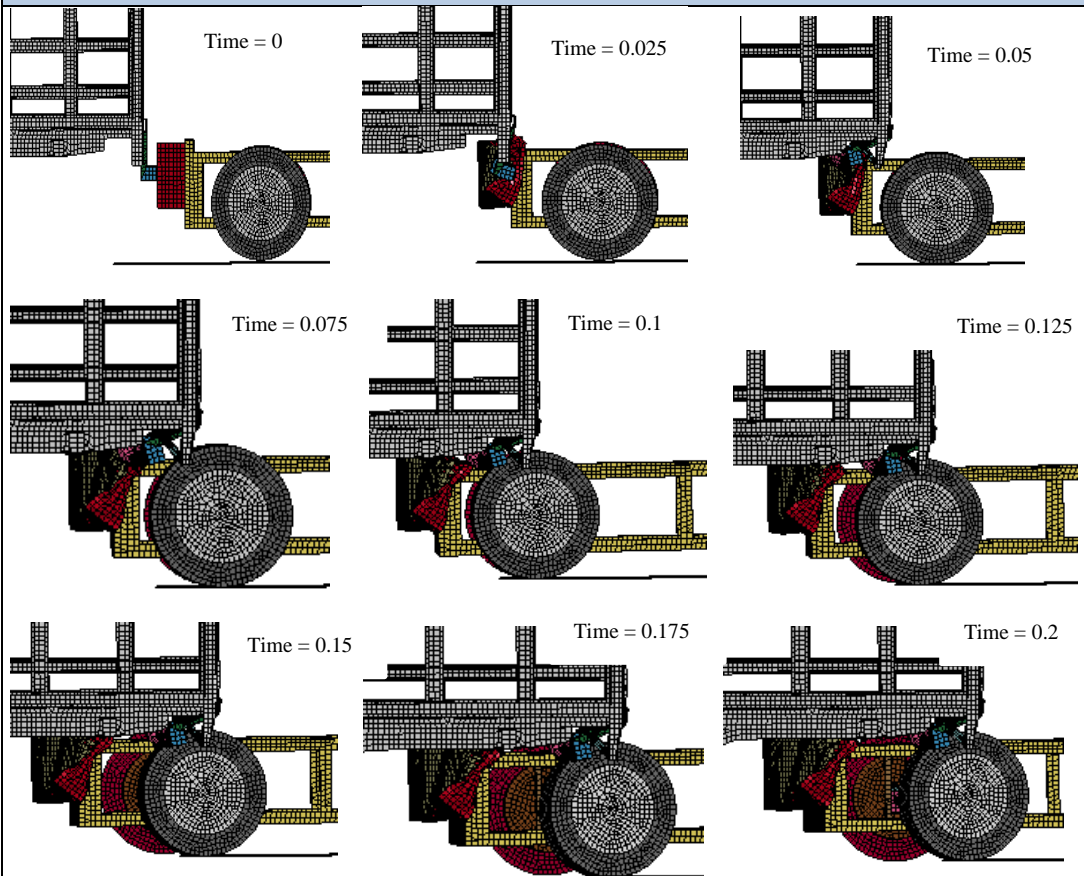
Una vez validado todos los parámetros se establece que la malla generada es aceptable, por lo que se procede a realizar la simulación del impacto posterior del furgón 50% overlap a una velocidad de 56 km/h según recomienda la Regulación N°94 (ver Anexo A6) y a un tiempo de 0,2 seg según la Regulación N°58 (ver Anexo A1).

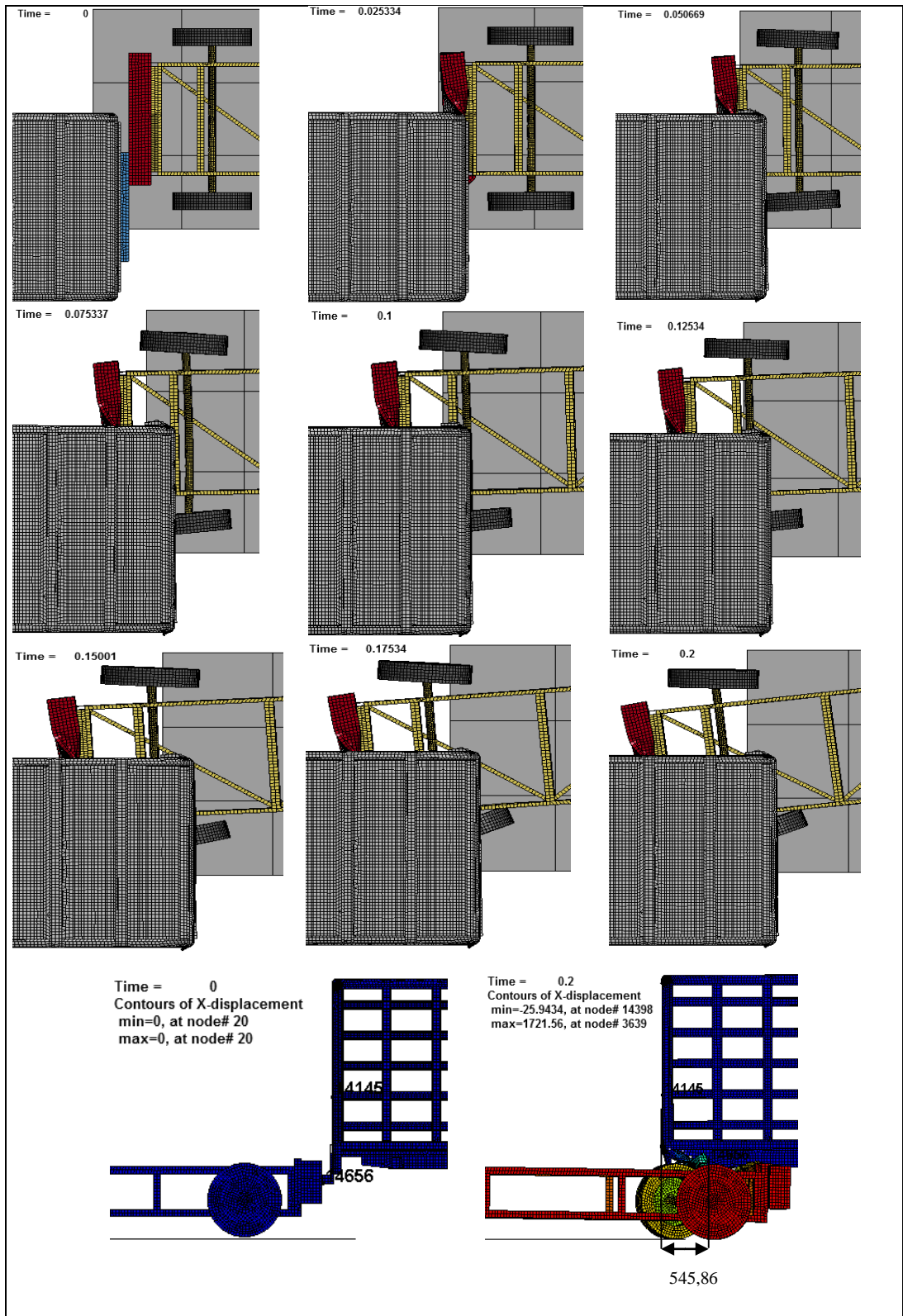


**SIMULACIÓN COLISIÓN POSTERIOR CON IMPACTADOR
50% OVERLAP**

Simulación N°:	02	Muestra:	Barra posterior antiempotramiento del furgón
Norma Aplicable	Regulación N°58 de la Comisión Económica para Europa (CEPE). Anexo 5 Procedimiento de ensayo, Item 3.1, 3.2 y 3.3		
Fecha de ejecución	05/02/2017	Realizado por:	Luis Perdomo
		Revisado por:	Ing. César Arroba
Aspect Ratio Máx.:	9,2421	Aspect Ratio Min:	1
Cantidad de nodos	61153	Cantidad de elementos	60454
Tiempo de procesamiento	1 hora 27 minutos	Número de procesadores	32 procesadores
Velocidad de impacto	15555,56 mm/seg		
Tiempo de impacto	200 milisegundos		

RESULTADO DEL ENSAYO





RESULTADOS OBTENIDOS

¿El desplazamiento obtenido cumple con el criterio de aceptación según regulación R58 CEPE?		NO CUMPLE
	Rango Aceptado	Valor Obtenido
Desplamiento después de ensayo	< 400 mm	545.86 mm

Al analizar los resultados obtenidos después del ensayo con las condiciones establecidas, se obtiene, que la barra antiempotramiento después de una colisión posterior 50% overlap a una velocidad de 56 km/h se produce un desplazamiento máximo de 545.86 mm medido entre los nodos #14145 y #14650 (ver Figura 4.31), por lo que se demuestra que el dispositivo de protección posterior en un impacto central **NO** cumple con lo especificado en la Regulación N°58 de Comisión Económica para Europa (CEPE).

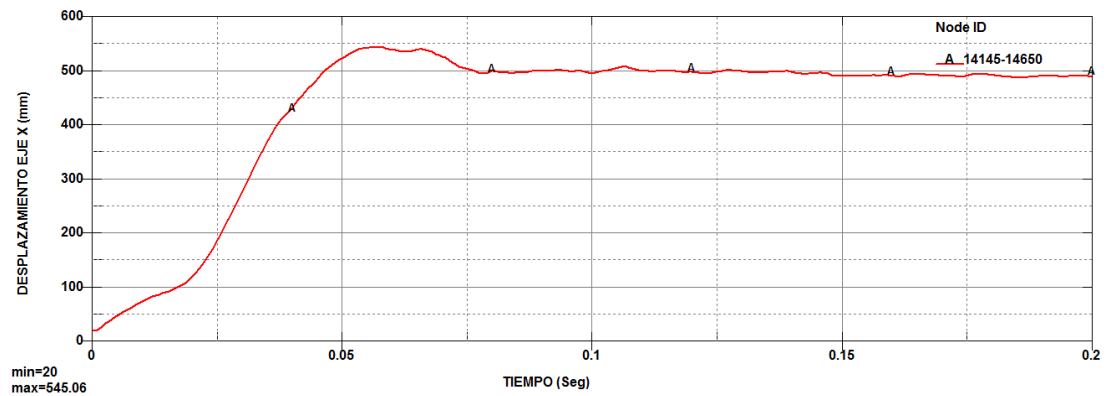


Figura 4.31 Desplazamiento del dispositivo de protección posterior 50% overlap
Fuente: Autor

La energía del dispositivo de protección posterior durante toda la colisión posterior se indica en la Figura 4.32 demostrando que la energía que entra es igual a la energía que sale, esto se justifica observando que, en ambas gráficas no existe variación de energía. La curva de color azul indica la energía cinética y la curva de color roja indica la energía interna durante la colisión frontal de la barra antiempotramiento.

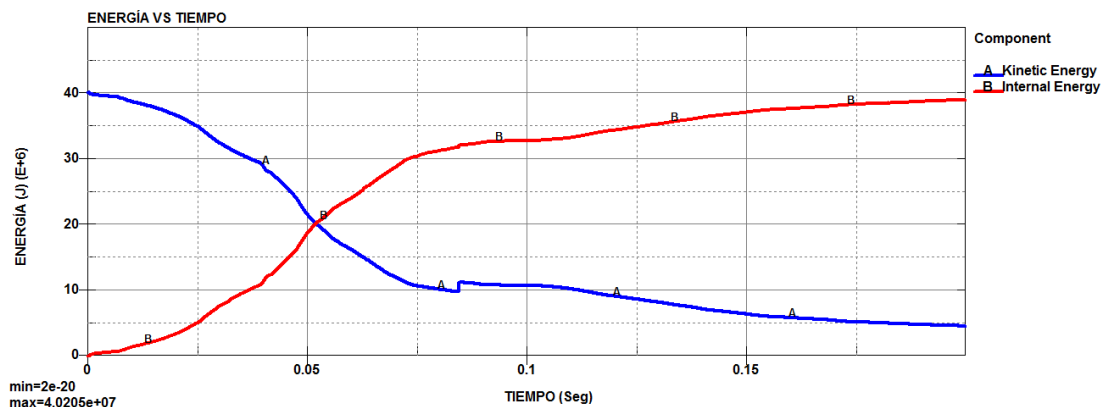


Figura 4.32 Energía cinética y energía interna durante colisión posterior
Fuente: Autor

4.2.2 Simulación de colisión frontal de impactador contra barra antiempotramiento.

Para el análisis de este ensayo se ha considerado utilizar el modelo del dispositivo de protección frontal realizado por la empresa MasterMetal de la ciudad de Ambato, provincia Tungurahua. Este modelo consta básicamente de dos tubos estructurales cuadrados, un travesaño y dos tapas en acero, ambos son de material ASTM A36 (Ver Figura 4.18). (ver Figura 4.33)

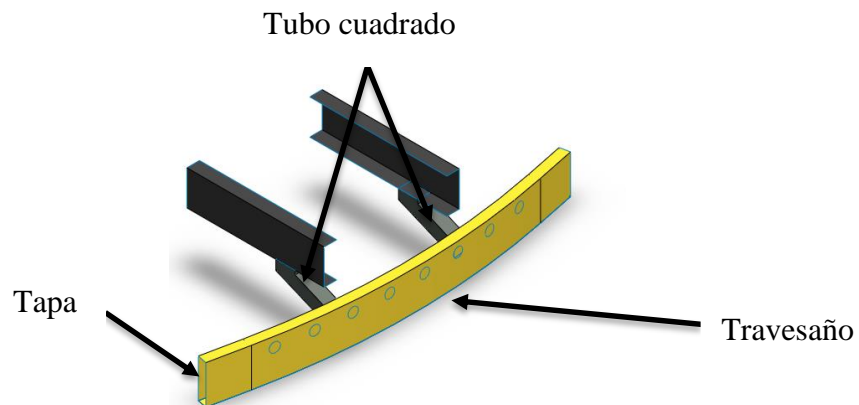


Figura 4.33 Barra antiempotramiento frontal de MasterMetal
Fuente: Autor

El análisis de la simulación del impacto frontal se inicia modelando la geometría de la sección frontal del vehículo tipo N2, tomando en cuenta todos los elementos que contribuyen en la resistencia de la estructura como se muestra en la Figura 4.34.

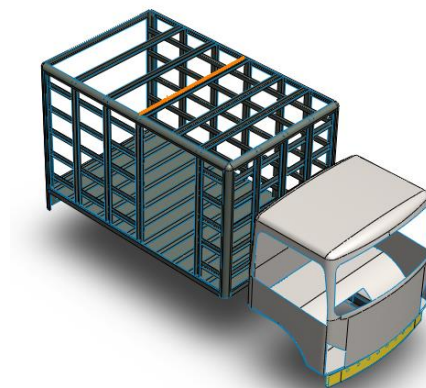


Figura 4.34 Geometría de la sección frontal del vehículo tipo N2
Fuente: Autor

Como ya se describió en el apartado 4.2.1, el impactador que se va a utilizar para este ensayo va a ser el mismo que se utilizó en el ensayo del impacto posterior y de igual manera se va a realizar dos simulaciones 100% overlap y 50% overlap.

4.2.2.1 Simulación de colisión frontal 100% overlap.

Mallado

En este mallado se aplicó dos tamaños de cuerpo (*Body Sizing*) y un método de mallado *MultiZone Quad/Tri*. A la estructura del furgón que es el principal elemento de análisis se le asignó un tamaño de elemento de cara de 25 mm, mientras que al piso se le aplicó el método antes mencionado con un tamaño de elemento de 1000 mm, por no ser relevante el piso en el análisis se consideró establecer dicho valor.

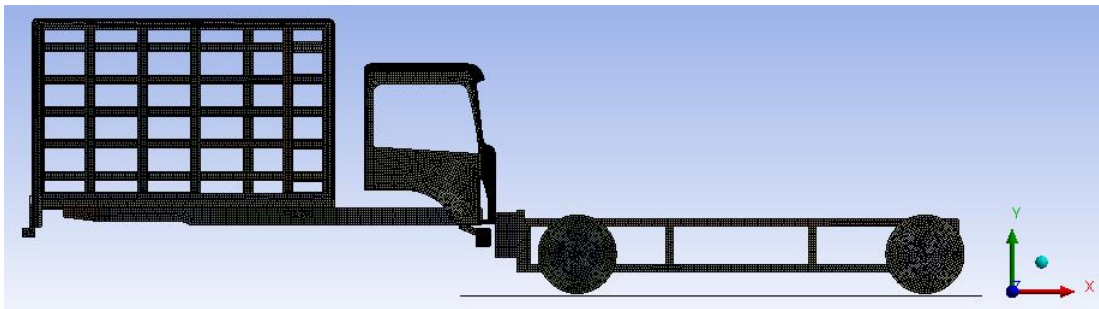


Figura 4.35 Vista Frontal de mallado

Fuente: Autor

La Figura 4.36 muestra el mallado de la estructura del furgón y del impactador en el cual se observa que consta netamente de elementos cuadriláteros.

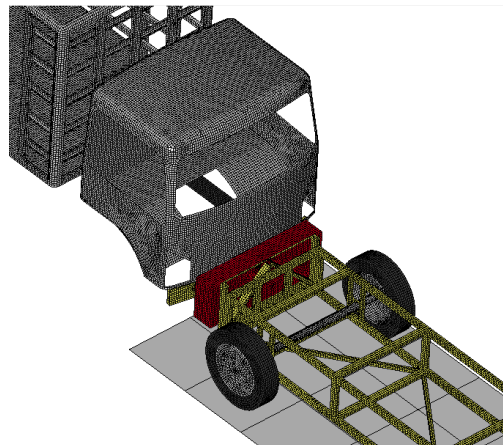


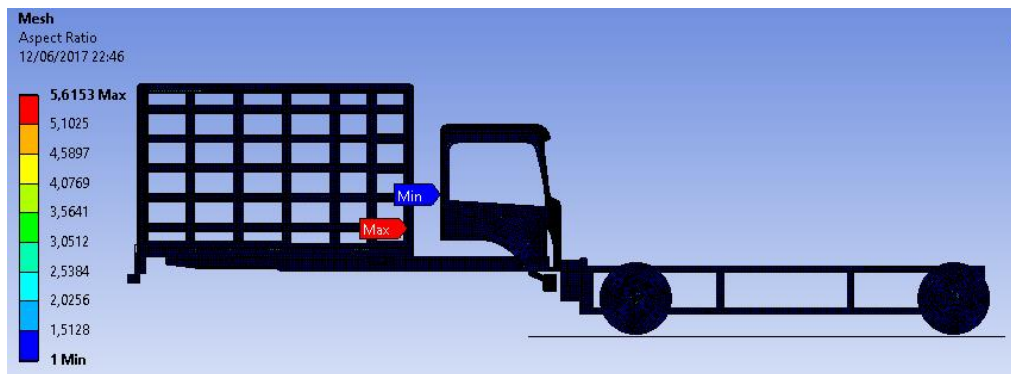
Figura 4.36 Mallado de la estructura del furgón e impactador

Fuente: Autor

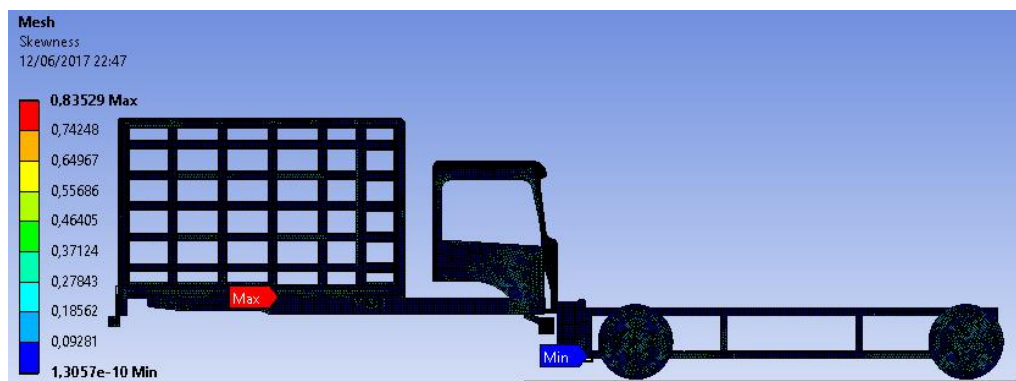
Evalauación de malla

El tamaño máximo de la cara del elemento es de 25 mm, la malla generada tiene; (a) un valor de relación de aspecto (*Aspect Ratio*) de máximo 5,61 y mínimo de 1, y (b) un valor de oblicuidad (*Skewnees*) máximo de 0,83 y mínimo de 0,00000000013057

(Ver Figura 4.37); valores que están dentro del índice de caracterización de malla. (Ver Tabla 2.3)



a) Valores generales de relación de aspecto (*Aspect Ratio*)

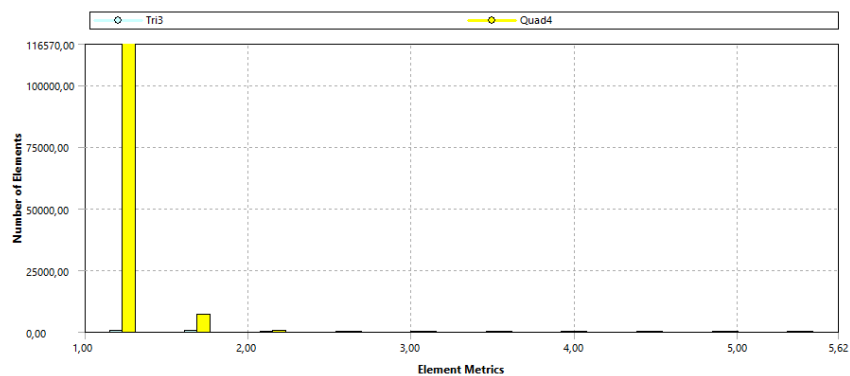


b) Valores generales de oblicuidad (*Skewness*)

Figura 4.37 Parámetros de evaluación de malla

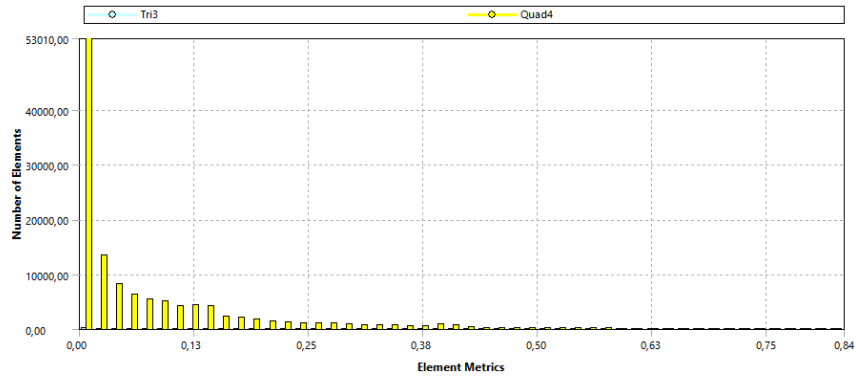
Fuente: Autor

En el gráfico de barras de la Figura 4.38a, de la malla se tiene un total de 125949 elementos de los cuales: 117000 elementos tienen un valor de 1,23 de relación de aspecto (*Aspect Ratio*), 67300 elementos tienen un valor de 1,69, y el resto de elementos se encuentran dentro del rango permisible (Ver Tabla 2.3).



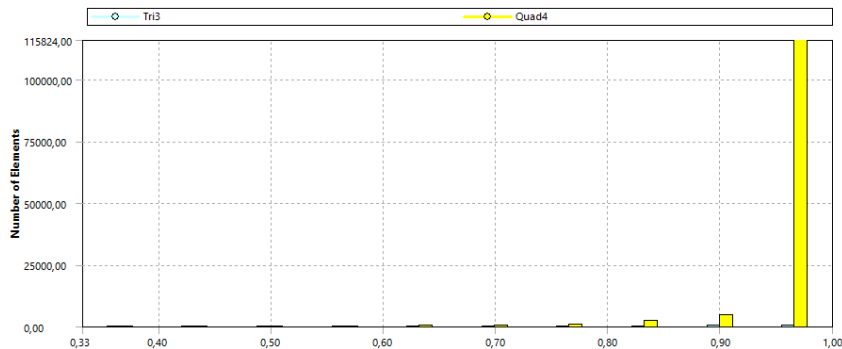
a) Aspect Ratio versus el número de elementos de la estructura del furgón e impactador

En la Figura 4.38b se observa que 53000 elementos tienen un valor de 0,0835 de oblicuidad (*Skewness*), 13500 elementos tienen un valor de 0,02510, y el resto de elementos se encuentran dentro del rango permisible (Ver Tabla 2.3).



b) Skewness versus el número de elementos de la estructura del furgón e impactador

En la Figura 4.38c se observa que 116000 elementos tienen un valor de 0,967 de calidad ortogonal (*Orthogonal Quality*), 47000 elementos tienen un valor de 0,9, y el resto de elementos se encuentran dentro del rango permisible (Ver Tabla 2.3).



c) Orthogonal Quality versus el número de elementos de la estructura del furgón e impactador

Figura 4.38 Evaluación de Aspect Ratio y Skewness

Fuente: Autor

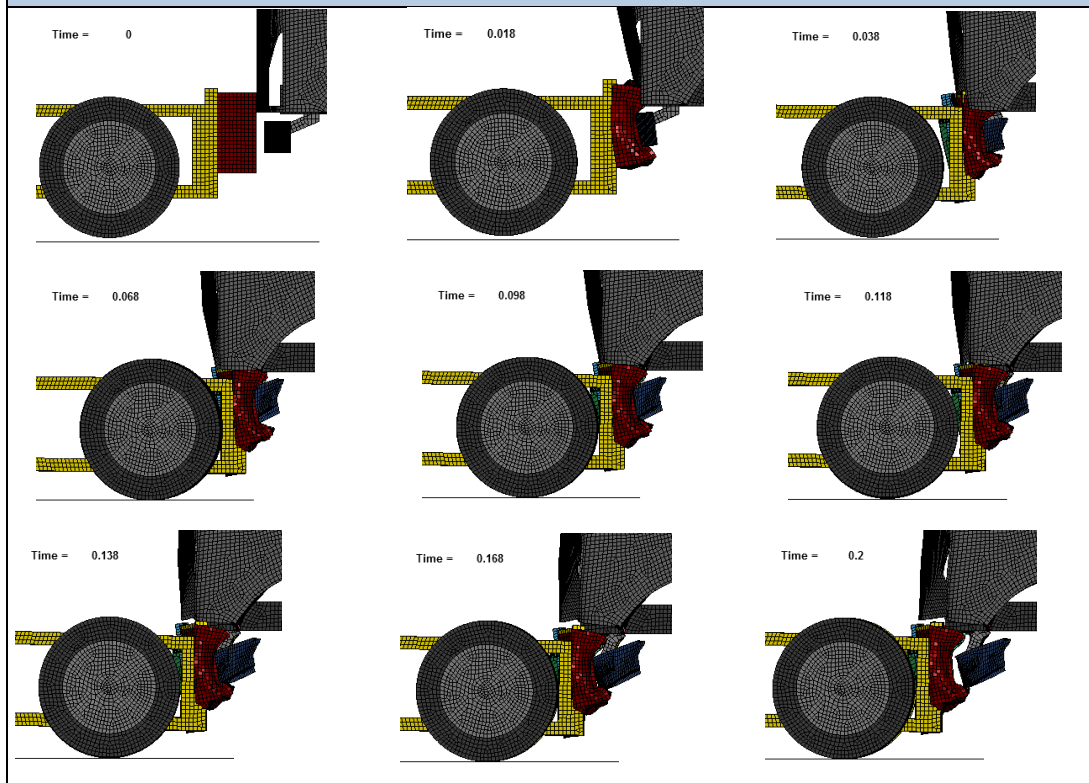
Una vez validado todos los parámetros se establece que la malla generada es aceptable, por lo que se procede a realizar la simulación del impacto frontal del furgón 100% overlap a una velocidad de 56 km/h según recomienda la Regulación N°94 (ver Anexo A6) y a un tiempo de 0,2 seg según la Regulación N°58 (ver Anexo A1).

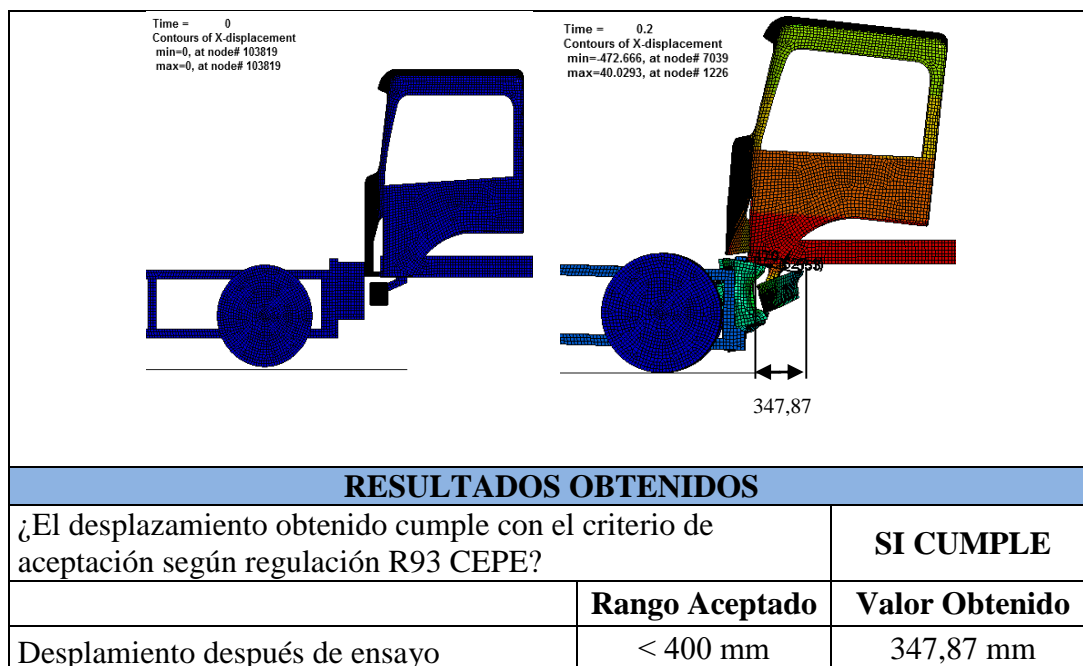


SIMULACIÓN DE COLISIÓN FRONTAL CON IMPACTADOR
100% OVERLAP

Simulación N°:	03	Muestra:	Barra frontal antiempotramiento del furgón
Norma Aplicable	Regulación N°93 de la Comisión Económica para Europa (CEPE). Anexo 5 Procedimiento de ensayo, Item 3.1, 3.2 y 3.3		
Fecha de ejecución	05/02/2017	Realizado por:	Luis Perdomo
		Revisado por:	Ing. César Arroba
Aspect Ratio Máx.:	5,61	Aspect Ratio Min:	1
Cantidad de nodos	127608	Cantidad de elementos	125949
Tiempo de procesamiento	3 horas 15 minutos	Número de procesadores	32 procesadores
Velocidad de impacto	15555,56 mm/seg		
Tiempo de impacto	200 milisegundos		

RESULTADO DEL ENSAYO





Al analizar los resultados obtenidos después del ensayo con las condiciones establecidas, se obtiene, que la barra antiempotramiento después de un impacto frontal contra un impactador 100% overlap a una velocidad de 56 km/h tiene un desplazamiento máximo de 347,87 mm medido entre los nodos #553 y #170 (ver Figura 4.39), por lo que se demuestra que el dispositivo de protección posterior en un impacto central **SI** cumple con lo especificado en la Regulación N°93 de Comisión Económica para Europa (CEPE).

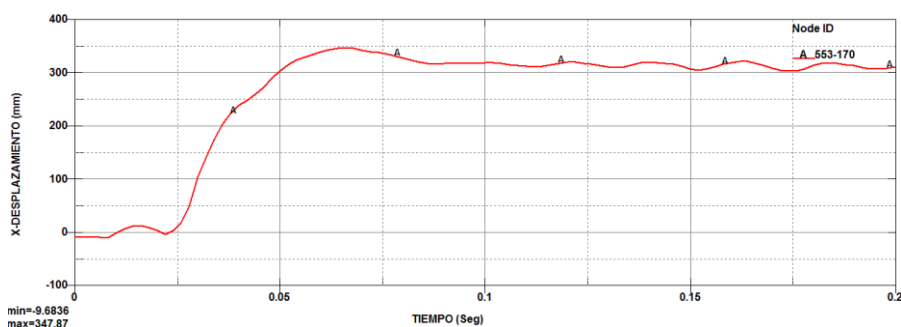


Figura 4.39 Desplazamiento del dispositivo de protección frontal con impactador 100% overlap
Fuente: Autor

La energía del dispositivo de protección posterior durante todo el impacto frontal se indica en la Figura 4.40, demostrando que, la energía que entra es igual a la energía que sale, esto se justifica observando que, en ambas gráficas no existe variación de energía. La curva de color rojo indica la energía cinética y la curva de color verde indica la energía interna durante el impacto frontal de la barra antiempotramiento.

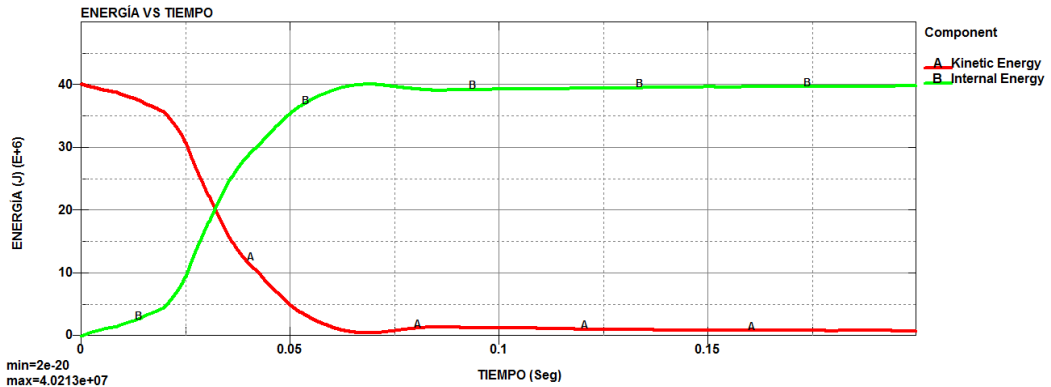


Figura 4.40 Desplazamiento del dispositivo de protección frontal con impactador 100% overlap
Fuente: Autor

Discusión

Con base al resultado que se muestra en la Figura 4.39, se determina que este dispositivo en una colisión frontal con un impactador 100% overlap, cumple con el criterio de aceptación 10.5 de la R93 CEPE, sobre el requerimiento máximo de desplazamiento, pero hay que tomar muy en cuenta que a pesar de cumplir con dicho criterio, este dispositivo no puede ser homologado, ya que, no cumple con los requisitos dimensionales de diseño y montaje, descritas en los apartados 8.4 a 8.8 y 10.7 a 10.9 de la misma regulación.

4.2.2.2 Simulación de colisión frontal 50% overlap.

Mallado

En este mallado se aplicó un tamaño de cuerpo (*Body Sizing*) y un método de mallado *MultiZone Quad/Tri*. A la estructura del furgón que es el principal elemento de análisis se le asignó un tamaño de elemento de cara de 30 mm, mientras que al piso se le aplicó el método antes mencionado con un tamaño de elemento de 1000 mm, por no ser relevante el piso en el análisis se consideró establecer dicho valor.

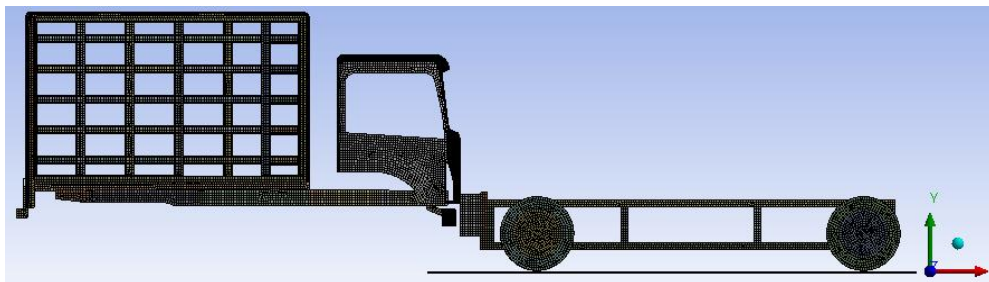


Figura 4.41 Vista frontal de mallado
Fuente: Autor

La Figura 4.42 muestra el mallado de la estructura del furgón y del impactador en el cual se observa que consta netamente de elementos cuadriláteros.

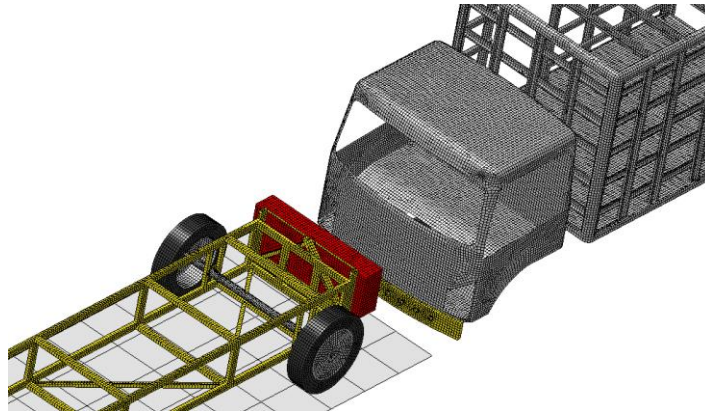
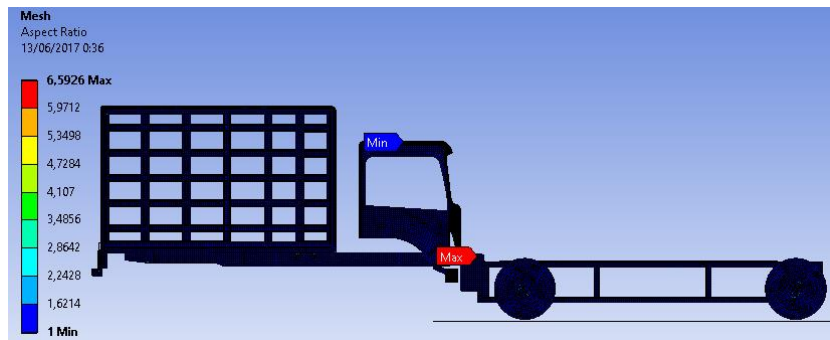


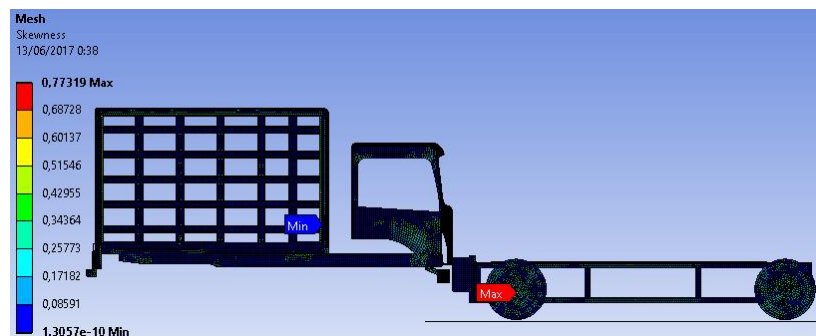
Figura 4.42 Vista isométrica del mallado de la estructura de furgón e impactador 50% overlap
Fuente: Autor

Evaluación de malla

El tamaño máximo de la cara del elemento es de 25 mm, la malla generada tiene; (a) un valor de relación de aspecto (*Aspect Ratio*) de máximo 6,59 y mínimo de 1, y (b) un valor de oblicuidad (*Skewness*) máximo de 0,77 y mínimo de 0,00000000013057 (Ver Figura 4.43); valores que están dentro del índice de caracterización de malla. (Ver Tabla 2.3)



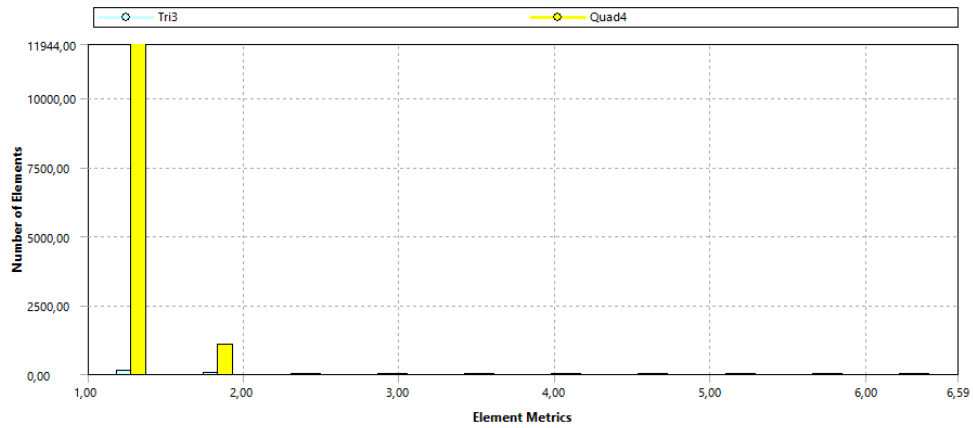
a) Valores generales de relación de aspecto (*Aspect Ratio*)



b) Valores generales de oblicuidad (*Skewness*)

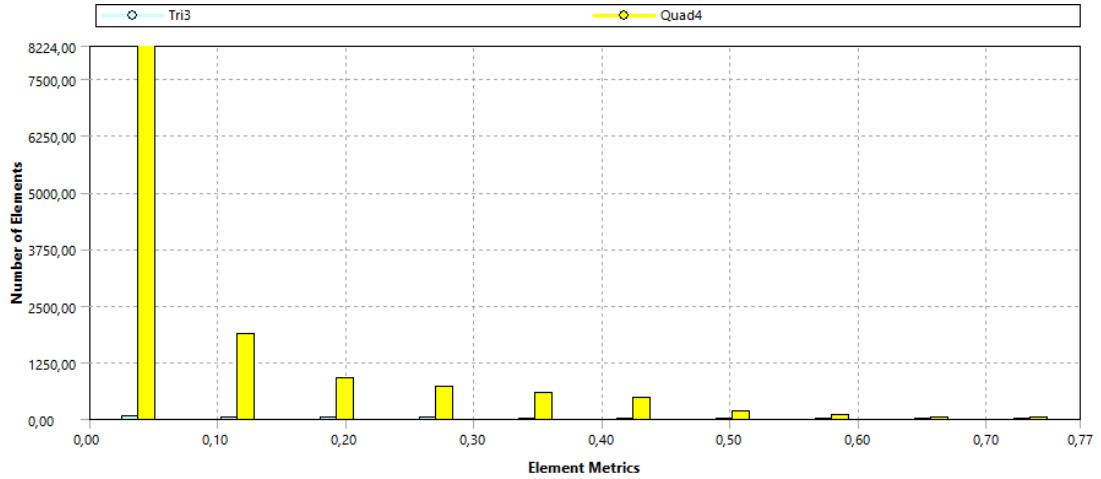
Figura 4.43 Parámetros de evaluación de malla
Fuente: Autor

En el gráfico de barras de la Figura 4.44a, de la malla se tiene un total de 94394 elementos de los cuales: 11900 elementos tienen un valor de 1,28 de relación de aspecto (*Aspect Ratio*), 1050 elementos tienen un valor de 1,84, y el resto de elementos se encuentran dentro del rango permisible (Ver Tabla 2.3).



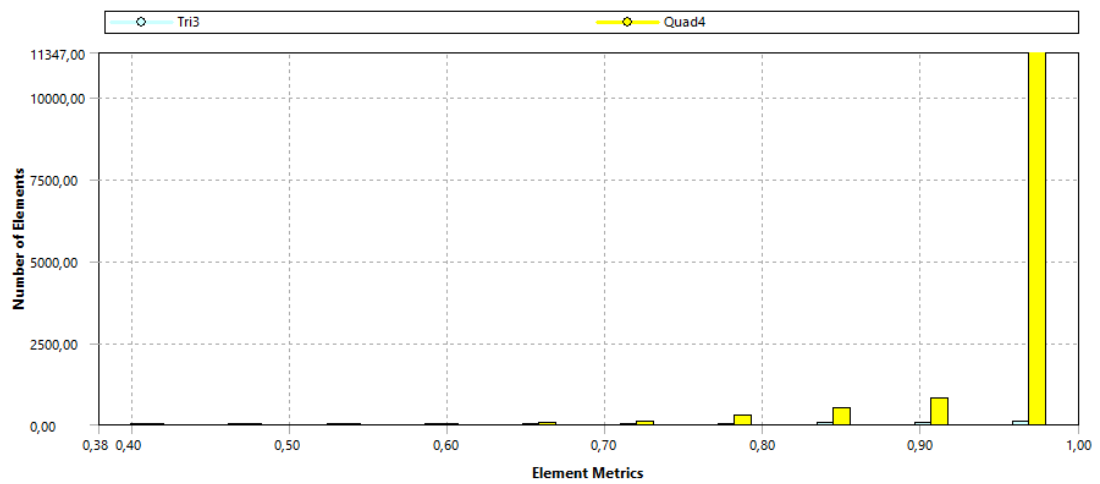
a) Aspect Ratio versus el número de elementos de la estructura del furgón e impactador

En la Figura 4.44b se observa que 8220 elementos tienen un valor de 0,0387 de oblicuidad (*Skewness*), 1880 elementos tienen un valor de 0,116, y el resto de elementos se encuentran dentro del rango permisible (Ver Tabla 2.3).



b) Skewness versus el número de elementos de la estructura del furgón e impactador

En la Figura 4.44c se observa que 11300 elementos tienen un valor de 0,969 de calidad ortogonal (*Orthogonal Quality*), 783 elementos tienen un valor de 0,907, y el resto de elementos se encuentran dentro del rango permisible (Ver Tabla 2.3).



c) Ortogonal Quality versus el número de elementos de la estructura del furgón e impactador

Figura 4.44 Evaluación de Aspect Ratio y Skewness

Fuente: Autor

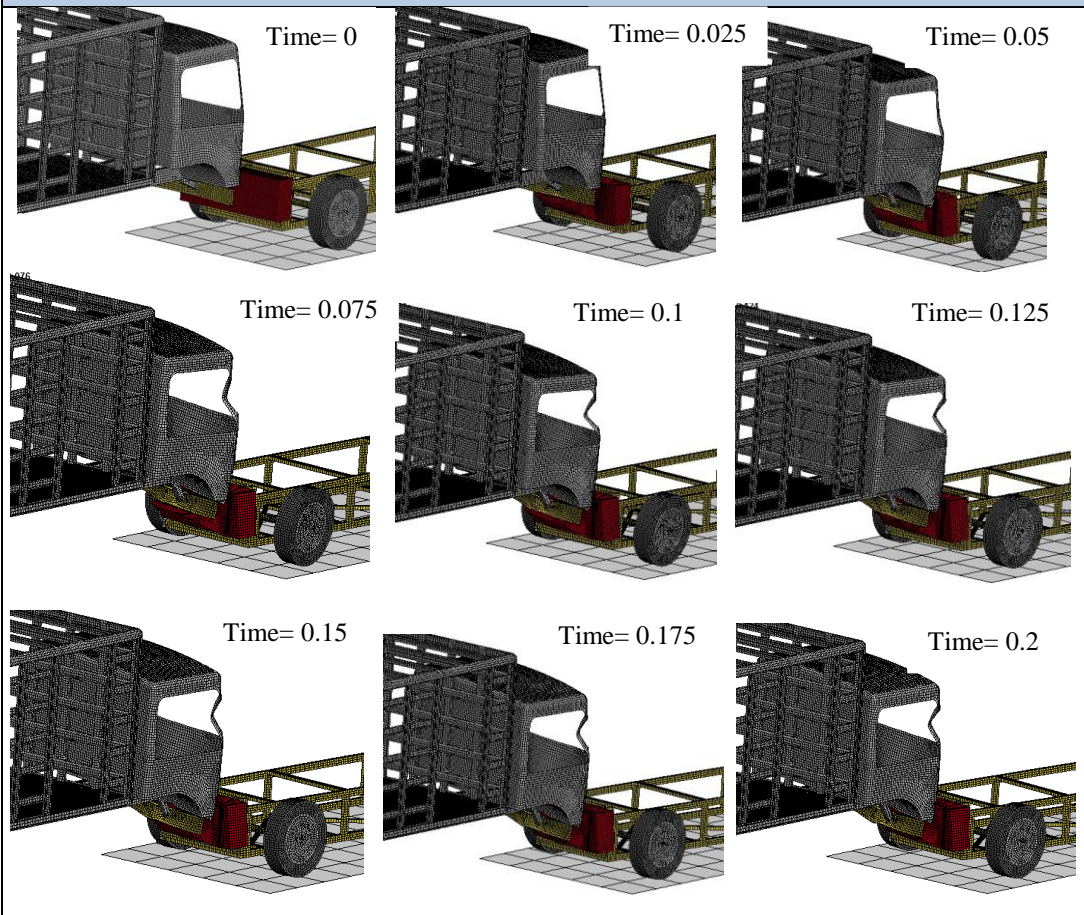
Una vez validado todos los parámetros se establece que la malla generada es aceptable, por lo que se procede a realizar la simulación del impacto frontal del furgón 50% overlap a una velocidad de 56 km/h según recomienda la Regulación N°94 (ver Anexo A6) y a un tiempo de 0,2 seg según la Regulación N°58 (ver Anexo A1).

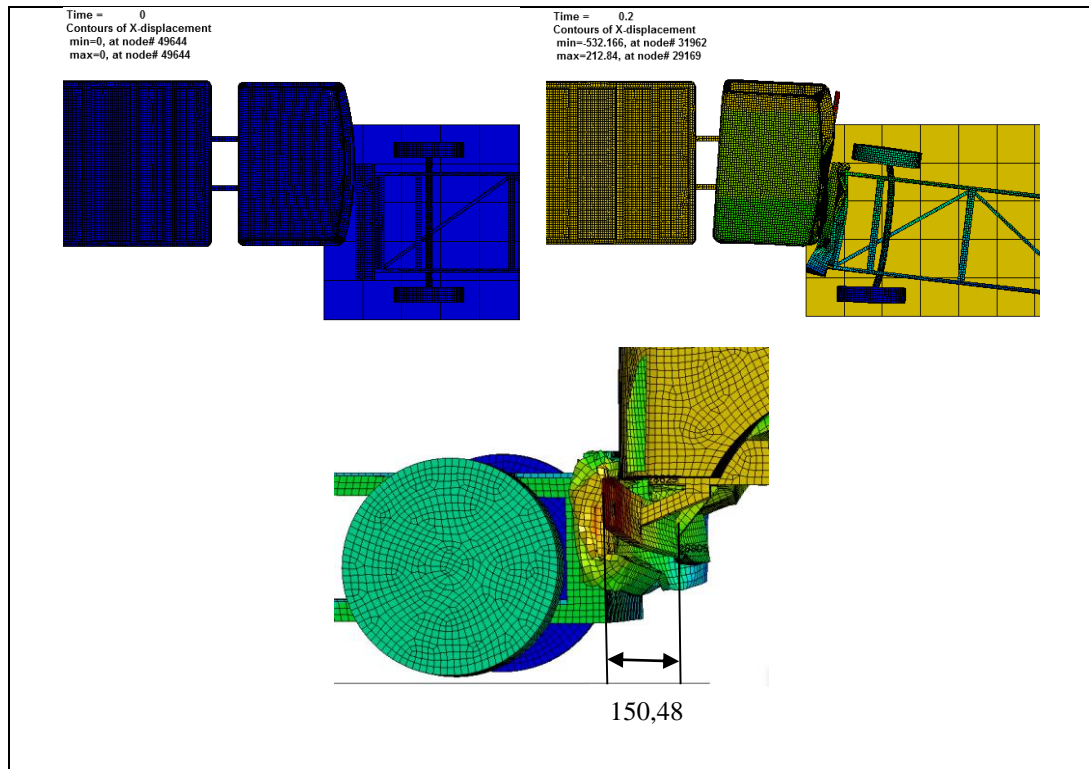


**SIMULACIÓN DE COLISIÓN FRONTAL CON IMPACTADOR
 50% OVERLAP**

Simulación N°:	04	Muestra:	Barra frontal antiempotramiento del furgón
Norma Aplicable	Regulación N°93 de la Comisión Económica para Europa (CEPE). Anexo 5 Procedimiento de ensayo, Item 3.1, 3.2 y 3.3		
Fecha de ejecución	30/03/2017	Realizado por:	Luis Perdomo
		Revisado por:	Ing. César Arroba
Aspect Ratio Máx.:	6,5926	Aspect Ratio Min:	1
Cantidad de nodos	95737	Cantidad de elementos	94394
Tiempo de procesamiento	1 horas 45 minutos	Número de procesadores	32 procesadores
Velocidad de impacto	15555,56 mm/seg		
Tiempo de impacto	200 milisegundos		

RESULTADO DEL ENSAYO





RESULTADOS OBTENIDOS		
¿El desplazamiento obtenido cumple con el criterio de aceptación según regulación R93 CEPE?		SI CUMPLE
	Rango Aceptado	Valor Obtenido
Desplamamiento después de ensayo	< 400 mm	150,48 mm

Al analizar los resultados obtenidos después del ensayo con las condiciones establecidas, se obtiene, que la barra antiempotramiento después de una colisión frontal 50% overlap a una velocidad de 56 km/h tiene un desplazamiento máximo de 150,48 mm medido entre los nodos #28803 y #28635 (ver Figura 4.45), por lo que se demuestra que el dispositivo de protección posterior en una colisión frontal **SI** cumple con lo especificado en la Regulación N°93 de Comisión Económica para Europa (CEPE).

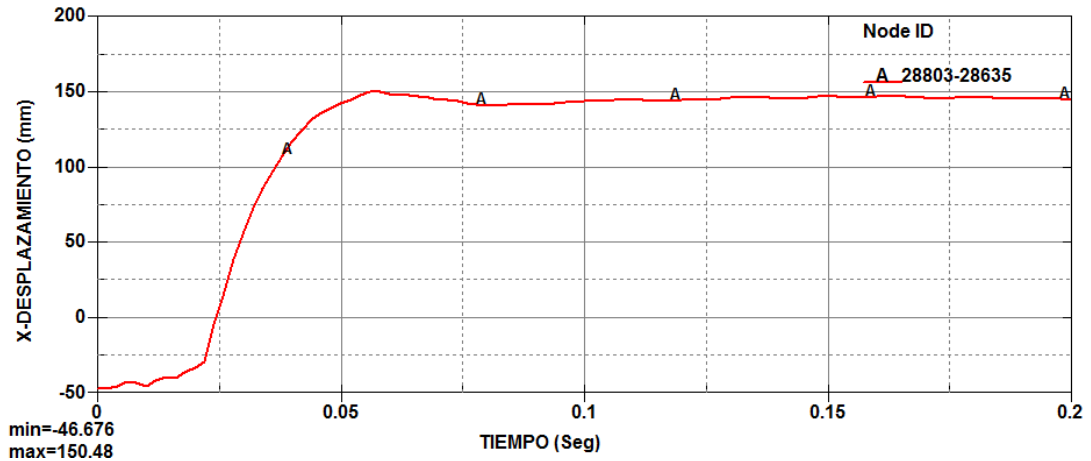


Figura 4.45 Desplazamiento del dispositivo de protección frontal 50% overlap
Fuente: Autor

La energía del dispositivo de protección posterior durante toda la colisión frontal se indica en la Figura 4.46, demostrando que, la energía que entra es igual a la energía que sale, esto se justifica observando que, en ambas gráficas no existe variación de energía. La curva de color rojo indica la energía cinética y la curva de color verde indica la energía interna.

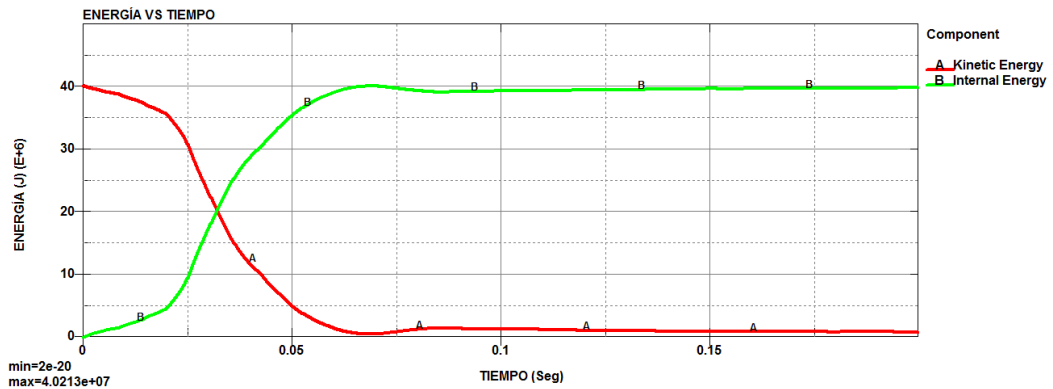


Figura 4.46 Desplazamiento del dispositivo de protección frontal con impactador centrado
Fuente: Autor

Discusión

Con base al resultado que se muestra en la Figura 4.45, se determina que este dispositivo en una colisión frontal con un impactador 50% overlap, cumple con el criterio de aceptación 10.5 de la R93 CEPE, sobre el requerimiento máximo de desplazamiento, pero hay que tomar muy en cuenta que a pesar de cumplir con dicho criterio, este dispositivo no puede ser homologado, ya que, no cumple con los

requisitos dimensionales de diseño y montaje, descritas en los apartados 8.4 a 8.8 y 10.7 a 10.9 de la misma regulación.

4.2.3 Simulación de colisión posterior contra dispositivo de protección modificado.

4.2.3.1 Rediseño de la estructura

En base a que el dispositivo de protección posterior realizada por la empresa MasterMetal no cumple con las prescripciones de homologación establecidas en la regulación N°58 de la CEPE, se ha decidido realizar una modificación en dicho dispositivo, con el fin de que cumpla con las prescripciones de homologación.

Para realizar el rediseño se ha identificado las partes en donde se generan mayores esfuerzos y deformaciones, en estas partes se han modificado y añadido nuevos elementos estructurales, con el fin de reforzar la estructura y que puedan resistir a los ensayos de colisión e impacto.

Las modificaciones fueron realizadas utilizando perfiles estructurales que estén disponibles en el mercado, también para el rediseño no se consideró cambiar el material, debido a que al ser un dispositivo de protección, este debe ser capaz de resistir a un impacto, por lo que, para estos dispositivos el material más idóneo son los aceros estructurales.

Descripción de la estructura rediseñada

A continuación se describe las partes de la estructura del dispositivo que se ha modificado:

- a) **Montaje:** En este caso en particular debido a que el diseño original esta montado sobre la estructura del furgón y no cumple con los parámetros de montaje, como primer modificación se cambio el lugar de montaje con base a dichos parámetros expuestos en la R58 CEPE.

- b) Aumento de chasis:** Se agrego este aumento debido que la estructura del furgón sobre pasa al chasis en 310 mm y, porque la regulación R58 CEPE obliga a realizar el montaje del dispositivo de protección en el chasis, por lo que fue necesario agregar un aumento de 210 mm, esto con base a que dicha regulación permite agregar un aumento hasta 250 mm. La unión entre el aumento y el chasis se realizó por soldadura manual de metal por arco (SMAW).
- c) Soportes:** Al cambiar la ubicación de montaje del dispositivo fue necesario colocar los soportes en forma lateral y se realizaron 4 perforaciones a los mismos, con el fin de unir los soportes con el chasis mediante pernos M12 grado 8, ya que la regulación prohíbe soldar elementos al chasis. En este caso se mantiene el mismo material y espesor que en el diseño original.
- d) Vástago:** A diferencia del diseño original que no contaba con un vástago, por lo que no brindaba resistencia. Se ha considerado y para garantizar una mayor resistencia agregar un vástago en cada lado, este será construido por un perfil estructural cuadrado. La unión entre el soporte y el vástago se lo realizó por soldadura manual de metal por arco (SMAW).
- e) Soporte del travesaño:** Se consideró agregar este soporte con el fin de garantizar una mayor resistencia. Dicho soporte estará construido por un perfil estructural canal en U. La unión entre este elemento y el vástago se lo realizó por soldadura manual de metal por arco (SMAW).
- f) Travesaño:** Este elemento será un perfil hueco de sección cuadrada y su longitud cumplirá con la especificación 25.3 de la regulación R58 CEPE. Dicha longitud variará en función de la anchura del vehículo, siempre teniendo en cuenta que la longitud del travesaño no será superior a la anchura del vehículo ni inferior a ésta en más de 100 mm por cada lado. La unión entre este elemento y el soporte del travesaño se lo realizó por soldadura manual de metal por arco (SMAW).

g) **Tapas:** Por cuestiones estéticas y además por evitar que se acumule suciedad en el interior del travesaño se consideró colocar dos tapas en los extremos del mismo, unidas por soldadura manual de metal por arco (SMAW).

h) **Refuerzo:** Se añadió un refuerzo de pletina entre el soporte y el chasis, debido a que durante el impacto los esfuerzos se van a concentrar entre estos elementos, por lo que dicha unión esta atornillada.

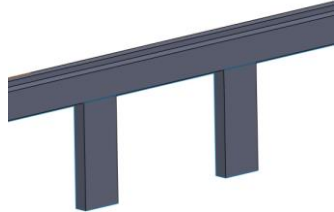
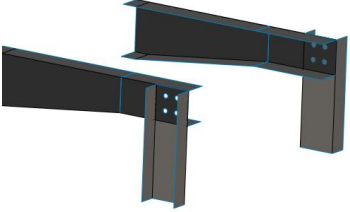


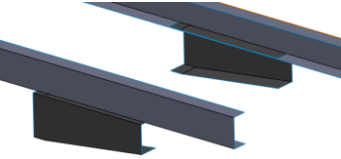
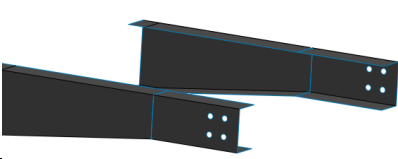


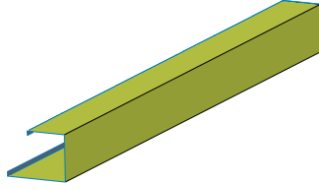
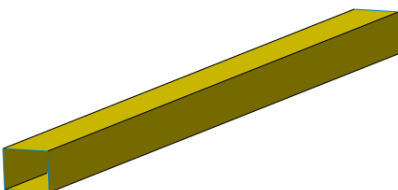

En la Tabla 4.6 se detallan los materiales y las dimensiones utilizados en la modificación del dispositivo de protección posterior, mientras que en la Tabla 4.7 se muestra las modificaciones realizadas en la estructura.

Tabla 4.6 Elementos agregados a la barra antiempotramiento

N° de Elemento	Cantidad	Material	Elemento	Descripción
1	2	ASTM A-36	Soporte	Canal U 50x150x50, 4 mm de espesor
2	2	ASTM A-36	Soporte travesaño	Canal U 50x100x50, 2.5 mm de espesor
3	2	ASTM A-500	Vástago	50x50, 3 mm de espesor
4	2	ASTM A-36	Aumento de chasis	65x95x65, 4 mm de espesor
5	2	ASTM A-36	Tapas	120x100, 2.5 mm de espesor
6	1	ASTM A-36	Travesaño	120x100, 2.5 mm de espesor
7	2	ASTM A-36	Refuerzo	80x200, 4 mm de espesor

Fuente: Autor

Tabla 4.7 Modificaciones realizadas a dispositivo de protección posterior

ELEMENTO	ESTRUCTURA ORIGINAL	ESTRUCTURA MODIFICADA
Soporte		
Soporte travesaño	N/A	
Vástago	N/A	
Aumento de chasis		
Tapas		
Travesaño		
Refuerzo	N/A	

Fuente: Autor

La Tabla 4.8 muestra un resumen con todas las uniones de los elementos.

Tabla 4.8 Uniones entre elementos

Elemento	Tipo de Unión
Chasis – Soporte	4 uniones de pernos y tuercas M12 grado 8
Soporte-Vástago	soldadura manual de metal por arco (SMAW)
Vástago- Soporte travesaño	soldadura manual de metal por arco (SMAW)
Soporte travesaño - Travesaño	soldadura manual de metal por arco (SMAW)
Travesaño – Tapas	soldadura manual de metal por arco (SMAW)
Refuerzo - Soporte	soldadura manual de metal por arco (SMAW)

Fuente: Autor

La Figura 4.47 muestra la geometría al dispositivo de protección trasera con la modificación realizada, a diferencia del modelo original, este está compuesto por: un aumento de chasis de 210 mm de longitud, dos perfiles canal U de 305 mm de longitud, dos vástagos tubo cuadrado de 120 mm de longitud, dos refuerzos perfiles canal U de 150 mm de longitud y un travesaño de 1615 mm de longitud, todos los elementos antes mencionados están unidos entre sí mediante soldadura continua a excepción de la unión de los soportes con el aumento de chasis, estos están unidos por 4 pernos de M12 grado 8 pulgada de diámetro en cada lado.

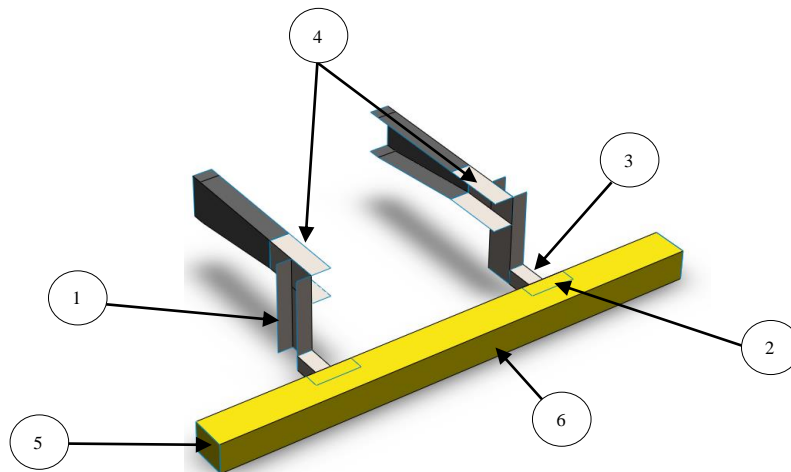


Figura 4.47 Dispositivo de protección trasera modificada.

Fuente: Autor

El dimensionado del modelo modificado está realizado con base a los requisitos dimensionales de diseño y montaje, descritas en los apartados 8.4 a 8.8 y 10.7 a 10.9 en la Regulación N°58 de la CEPE. (Ver Figura 4.48 y 4.49).

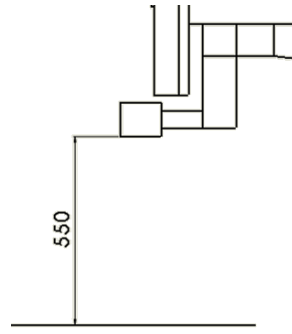


Figura 4.48 Altura máxima de la parte inferior del dispositivo de protección frontal al suelo
Fuente: Autor

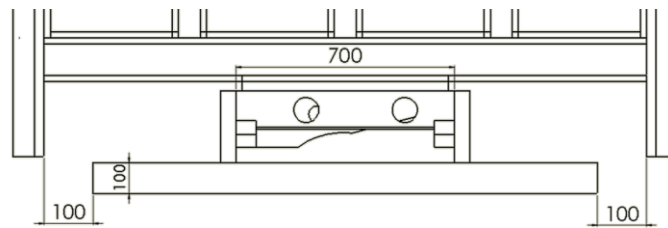


Figura 4.49 Dimensiones del dispositivo de protección posterior según R58 CEPE
Fuente: Autor

Una vez establecido el modelo a analizar, se va a ensayar las dos simulaciones del impacto posterior (impactador 100% overlap e impactador a 50% overlap), para comprobar si en ambos casos cumple con las prescripciones de la regulación para su homologación.

El análisis de la simulación del impacto posterior se inicia modelando la geometría de la sección posterior del furgón con el dispositivo de protección modificado, tomando en cuenta todos los elementos que contribuyen en la resistencia de la estructura como se muestra en la Figura 4.50

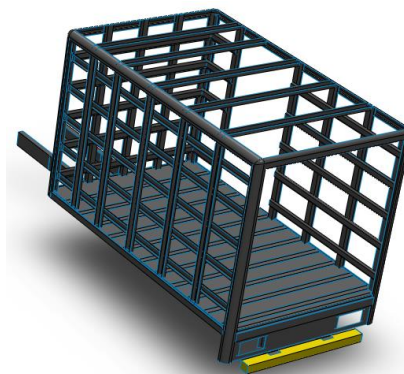


Figura 4.50 Geometría de la sección posterior del furgón con dispositivo de protección modificado
Fuente: Autor

4.2.3.2 Simulación de colisión posterior 100% overlap con dispositivo de protección modificado.

Mallado

En este mallado se aplicó tres tamaños de cuerpo (*Body Sizing*) y un método de mallado *MultiZone Quad/Tri*; a la estructura del furgón que es el principal elemento de análisis se le asignó dos tamaños de cuerpo uno de 30 mm (base de estructura) y el otro de 25 mm (resto de estructura), mientras que al impactador un valor de 50 mm, y al piso se le aplicó el método antes mencionado con un tamaño de elemento de 1000 mm, por no ser relevante el piso en el análisis se consideró establecer dicho valor.

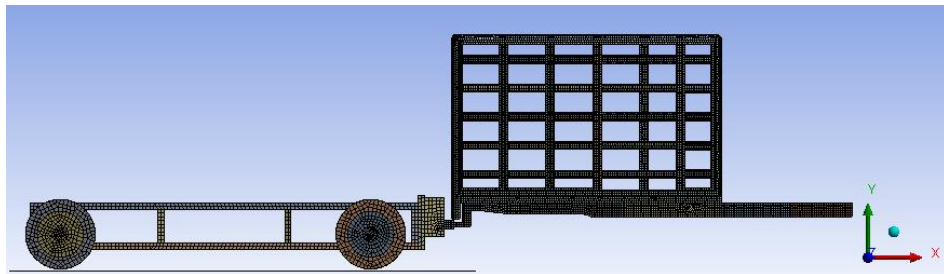


Figura 4.51 Vista Frontal de mallado
Fuente: Autor

La Figura 4.52 muestra el mallado de la estructura del furgón y del impactador en el cual se observa que consta netamente de elementos cuadriláteros.

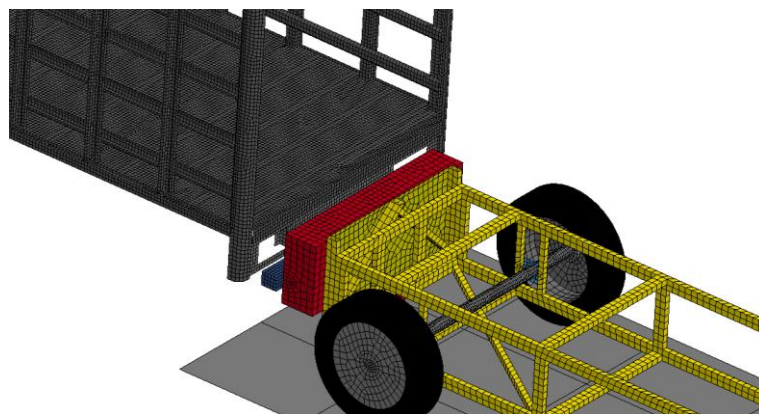
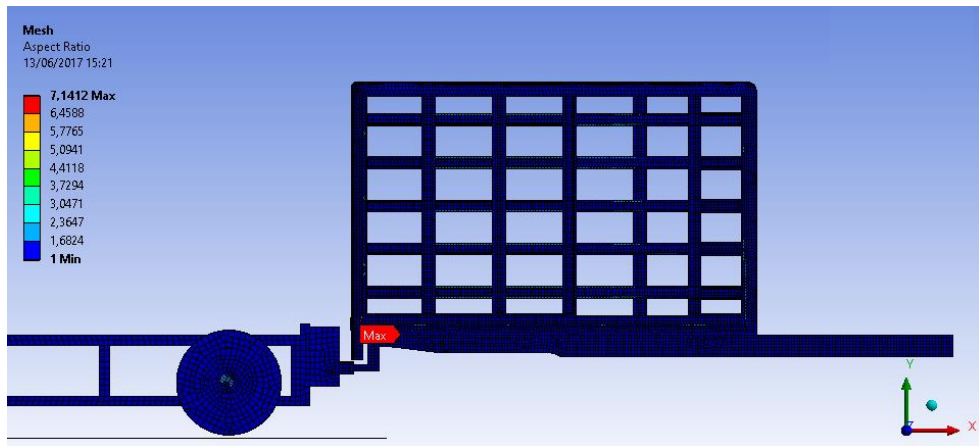


Figura 4.52 Mallado de la estructura de furgón e impactador
Fuente: Autor

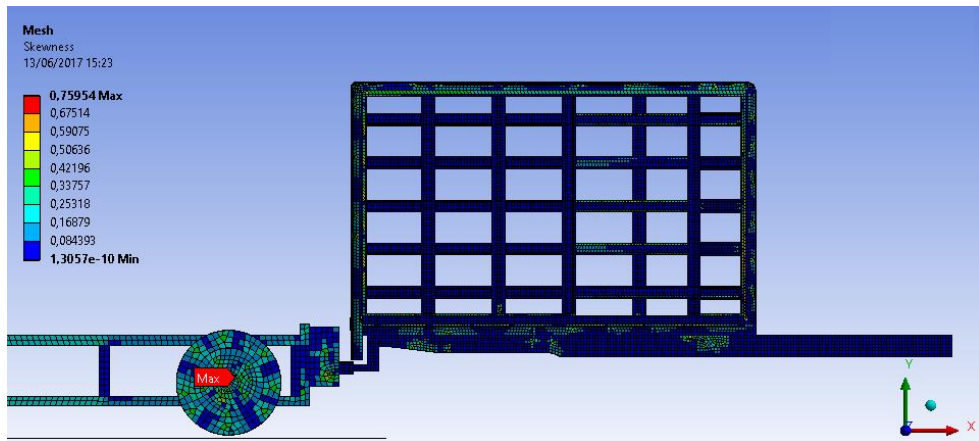
Evalauación de malla

El tamaño máximo de la cara del elemento es de 30 mm, la malla generada tiene; (a) un valor de relación de aspecto (*Aspect Ratio*) de máximo 7,1412 y mínimo de 1, y (b) un valor de oblicuidad (*Skewnees*) máximo de 0,7595 y mínimo de 0,00000000013057

(Ver Figura 4.53); valores que están dentro del índice de caracterización de malla. (Ver Tabla 2.3)



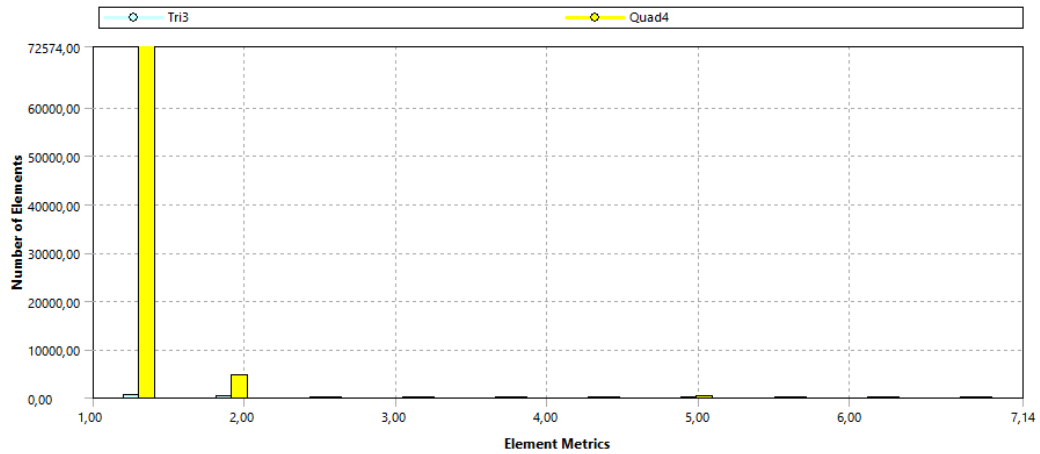
a) Valores generales de relación de aspecto (*Aspect Ratio*)



b) Valores generales de oblicuidad (*Skewness*)

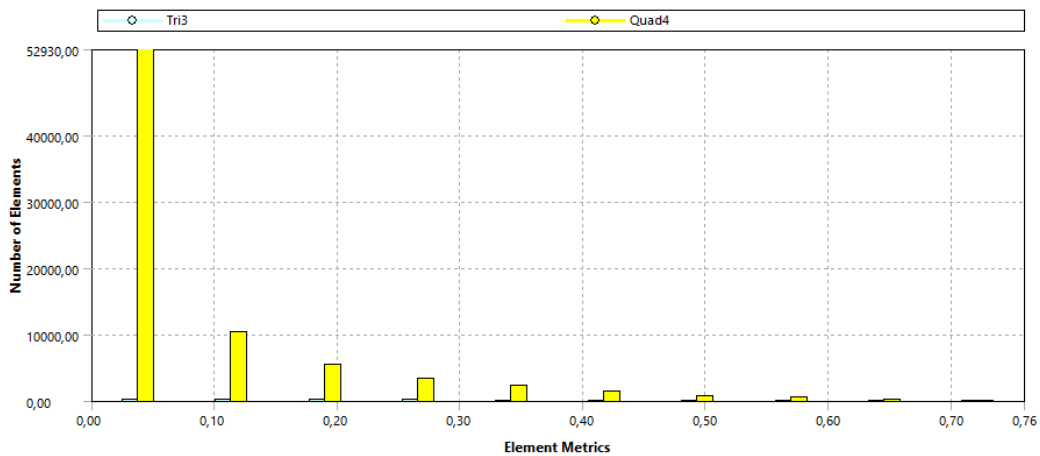
Figura 4.53 Parámetros de evaluación de malla
Fuente: Autor

En el gráfico de barras de la Figura 4.54a de la malla se tiene un total de 78125 elementos de los cuales: 72600 elementos tienen un valor de 1.31 de relación de aspecto (*Aspect Ratio*), 4500 elementos tienen un valor de 1.92, y el resto de elementos se encuentran dentro del rango permisible (Ver Tabla 2.3).



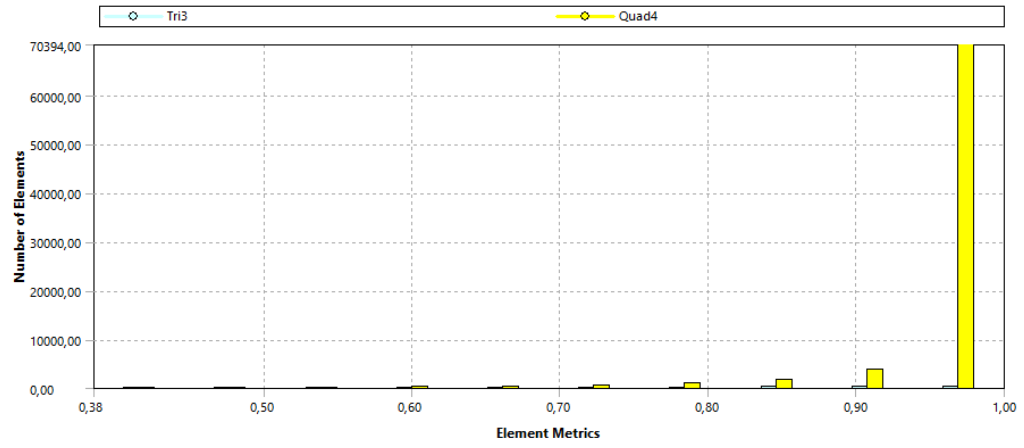
a) Aspect Ratio versus el número de elementos de la estructura del furgón e impactador

En la Figura 4.54b se observa que 52900 elementos tienen un valor de 0,038 de oblicuidad (*Skewness*), 10400 elementos tienen un valor de 0,114, y el resto de elementos se encuentran dentro del rango permisible (Ver Tabla 2.3).



b) Skewness versus el número de elementos de la estructura del furgón e impactador

En la Figura 4.54c se observa que 70400 elementos tienen un valor de 0,969 de calidad ortogonal (*Ortogonal Quality*), 3670 elementos tienen un valor de 0,908, y el resto de elementos se encuentran dentro del rango permisible (Ver Tabla 2.3).



c) Orthogonal Quality versus el número de elementos de la estructura del furgón e impactador

Figura 4.54 Evaluación de Aspect Ratio y Skewness

Fuente: Autor

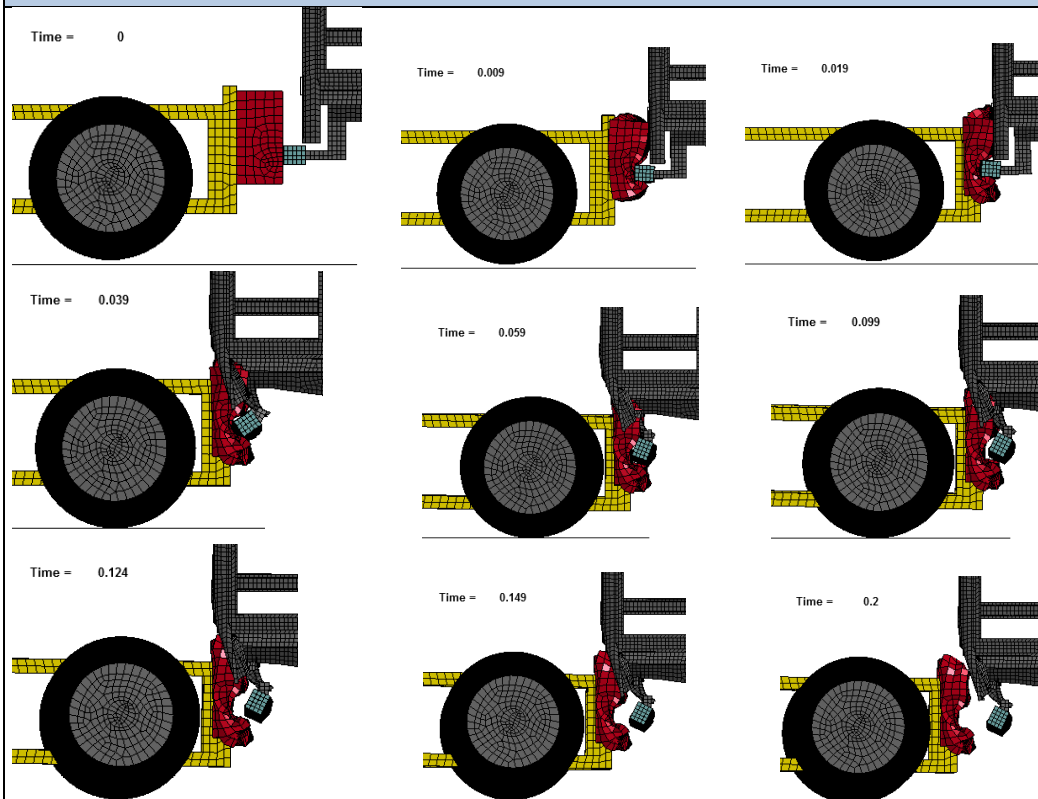
Una vez validado todos los parámetros se establece que la malla generada es aceptable, por lo que se procede a realizar la simulación del impacto posterior del furgón a una velocidad de 56 km/h según recomienda la Regulación N°94 (ver Anexo A6) y a un tiempo de 0,2 seg según la Regulación N°58 (ver Anexo A1).

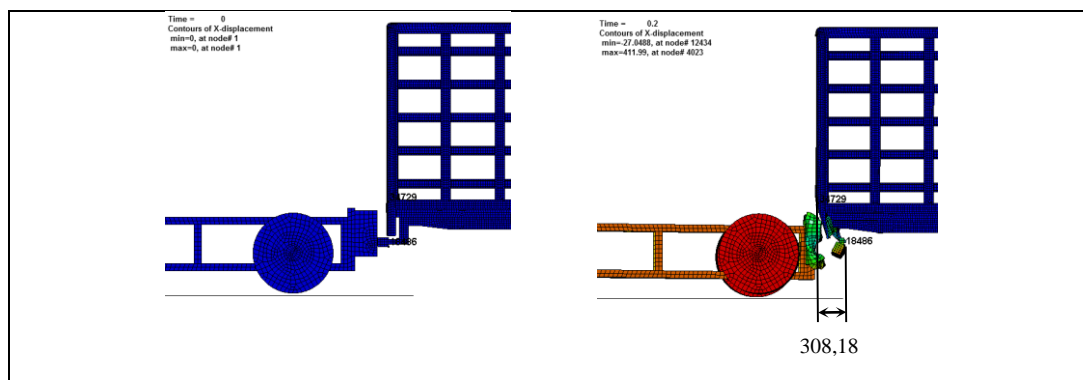


SIMULACIÓN COLISIÓN POSTERIOR DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN MODIFICADO CON IMPACTADOR 100 % OVERLAP

Simulación N°:	05	Muestra:	Barra posterior antiempotramiento modificada
Norma Aplicable	Regulación N°58 de la Comisión Económica para Europa (CEPE). Anexo 5 Procedimiento de ensayo, Item 3.1, 3.2 y 3.3		
Fecha de ejecución	04/02/2017	Realizado por:	Luis Perdomo
		Revisado por:	Ing. César Arroba
Aspect Ratio Máx.:	7,1412	Aspect Ratio Min:	1
Cantidad de nodos	79639	Cantidad de elementos	78125
Tiempo de procesamiento	2 horas 38 minutos	Número de procesadores	32 procesadores
Velocidad de impacto	15555,56 mm/seg		
Tiempo de impacto	200 milisegundos		

RESULTADO DEL ENSAYO





RESULTADOS OBTENIDOS		
¿El desplazamiento obtenido cumple con el criterio de aceptación según regulación R58 CEPE?		SI CUMPLE
	Rango Aceptado	Valor Obtenido
Desplamiento después de ensayo	< 400 mm	308,18 mm

Al analizar los resultados obtenidos después del ensayo con las condiciones establecidas, se obtiene, que el dispositivo de protección modificado después de un impacto posterior 100% overlap a una velocidad de 56 km/h tiene un desplazamiento máximo de 308,18 mm medido entre los nodos #34729 y #18486 (ver Figura 4.55), por lo que se demuestra que el dispositivo de protección posterior en un impacto central **SI** cumple con lo especificado en la Regulación N°58 de Comisión Económica para Europa (CEPE).

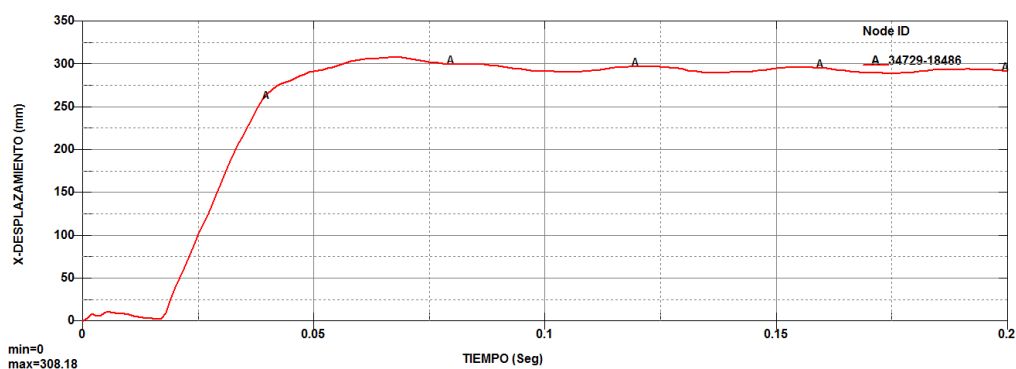


Figura 4.55 Desplazamiento de dispositivo de protección modificado con impactador 100% overlap
Fuente: Autor

La energía del dispositivo de protección posterior durante todo el impacto frontal se indica en la Figura 4.56, demostrando que, la energía que entra es igual a la energía que sale, esto se justifica observando que, en ambas gráficas no existe variación de energía. La curva de color rojo indica la energía cinética y la curva de color verde indica la energía interna durante el impacto frontal de la barra antiempotramiento.

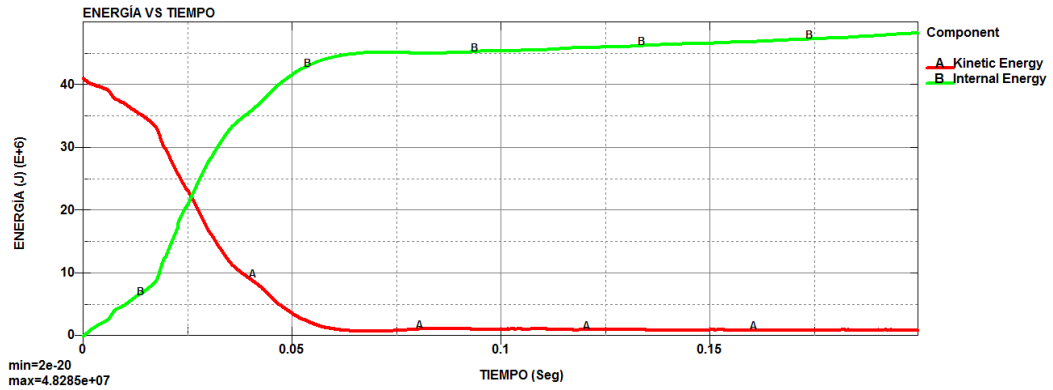


Figura 4.56 Energía cinética y energía interna durante impacto posterior
Fuente: Autor

4.2.3.3 Simulación de colisión posterior 50% overlap con dispositivo de protección modificado.

Mallado

En este mallado se aplicó un tamaño de cuerpo (*Body Sizing*) y un método de mallado *MultiZone Quad/Tri*. A la estructura del furgón que es el principal elemento de análisis se le asignó un tamaño de elemento de cara de 35 mm, mientras que al piso se le aplicó el método antes mencionado con un tamaño de elemento de 1000 mm, por no ser relevante el piso en el análisis se consideró establecer dicho valor.

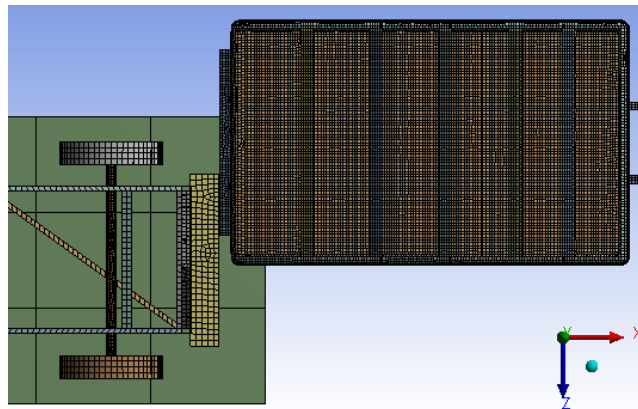


Figura 4.57 Vista Superior de Mallado
Fuente: Autor

La Figura 4.58 muestra el mallado de la estructura del furgón y del impactador en el cual se observa que consta netamente de elementos cuadriláteros.

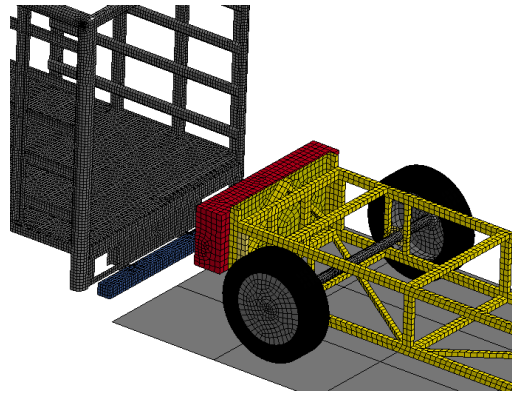
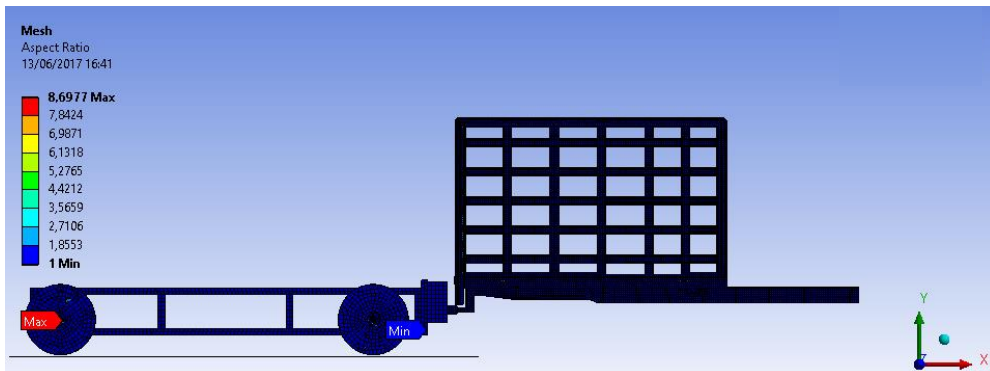


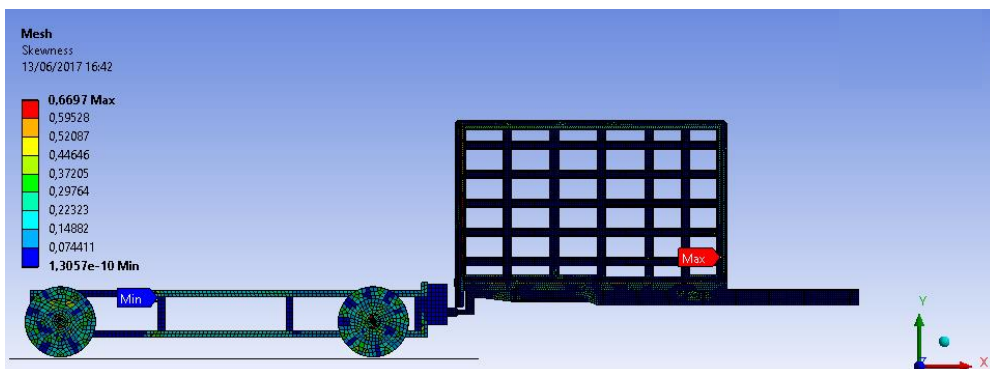
Figura 4.58 Vista isométrica del mallado de la estructura de furgón e impactador 50% overlap
Fuente: Autor

Evaluación de malla

El tamaño máximo de la cara del elemento es de 35 mm, la malla generada tiene; (a) un valor de relación de aspecto (*Aspect Ratio*) de máximo 8,69 y mínimo de 1, y (b) un valor de oblicuidad (*Skewness*) máximo de 0,6697 y mínimo de 0,00000000013057 (Ver Figura 4.59); valores que están dentro del índice de caracterización de malla. (Ver Tabla 2.3)



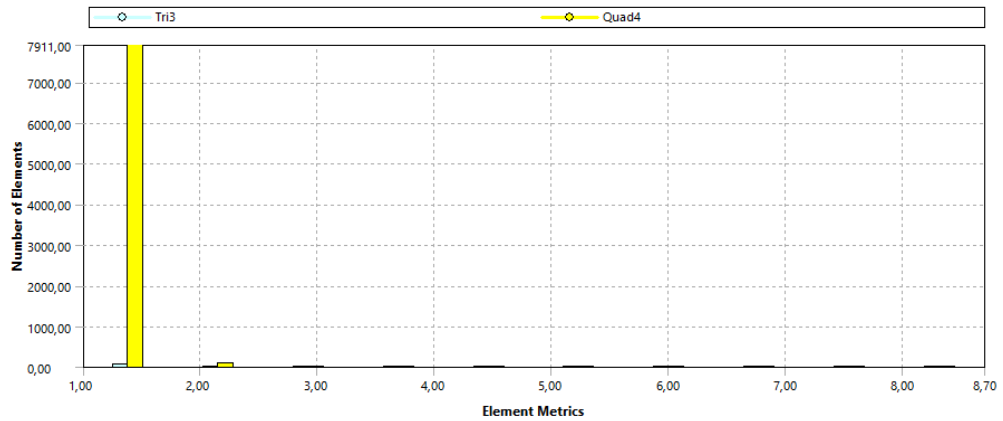
a) Valores generales de relación de aspecto (*Aspect Ratio*)



b) Valores generales de oblicuidad (*Skewness*)

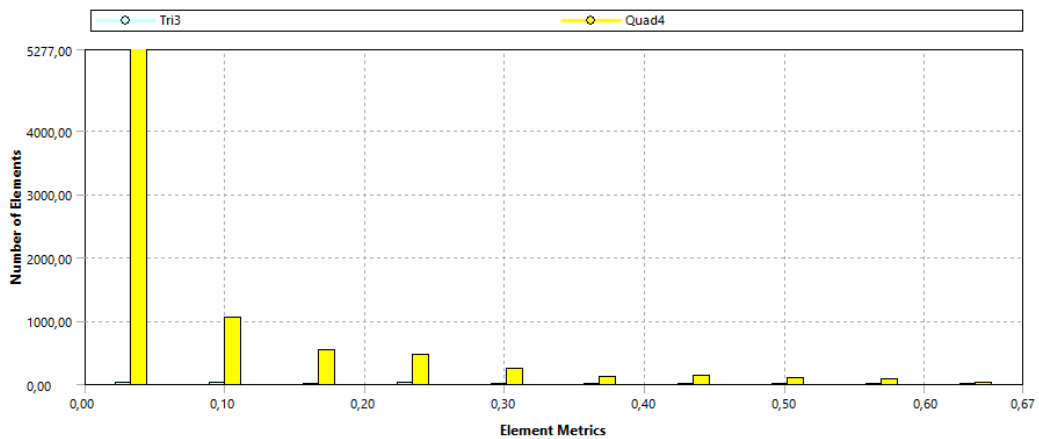
Figura 4.59 Parámetros de evaluación de malla
Fuente: Autor

En el gráfico de barras de la Figura 4.60a, de la malla se tiene un total de 78595 elementos de los cuales: 7910 elementos tienen un valor de 1,38 de relación de aspecto (*Aspect Ratio*), 72 elementos tienen un valor de 2,15, y el resto de elementos se encuentran dentro del rango permisible (Ver Tabla 2.3).



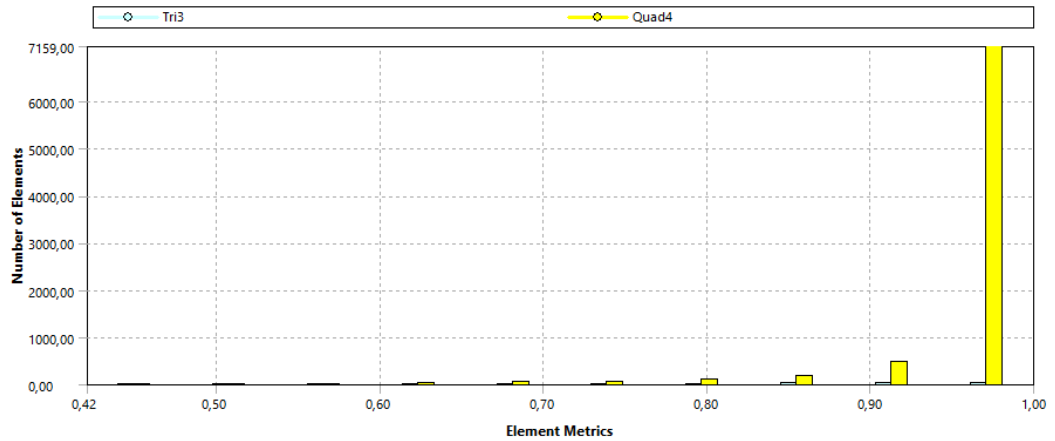
a) Aspect Ratio versus el número de elementos de la estructura del furgón e impactador

En la Figura 4.60b se observa que 48930 elementos tienen un valor de 0,042 de oblicuidad (*Skewness*), 5210 elementos tienen un valor de 0,126, y el resto de elementos se encuentran dentro del rango permisible (Ver Tabla 2.3).



b) Skewness versus el número de elementos de la estructura del furgón e impactador

En la Figura 4.60c se observa que 7160 elementos tienen un valor de 0,971 de calidad ortogonal (*Orthogonal Quality*), 468 elementos tienen un valor de 0,913, y el resto de elementos se encuentran dentro del rango permisible (Ver Tabla 2.3).



c) Orthogonal Quality versus el número de elementos de la estructura del furgón e impactador

Figura 4.60 Evaluación de Aspect Ratio y Skewness
Fuente: Autor

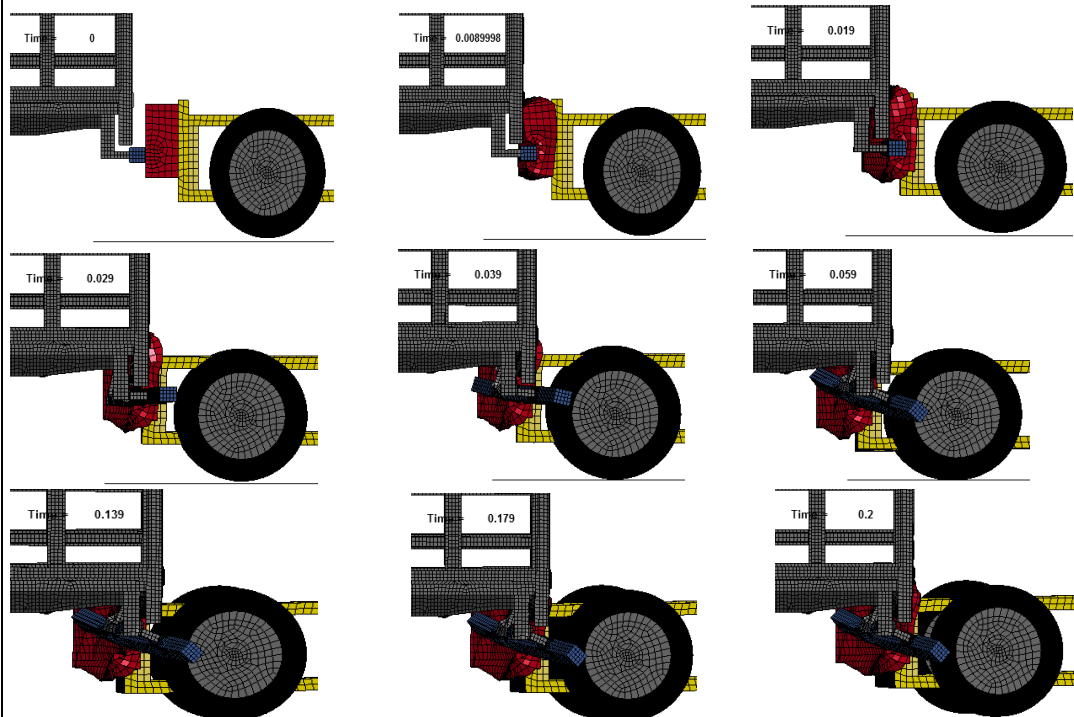
Una vez validado todos los parámetros se establece que la malla generada es aceptable, por lo que se procede a realizar la simulación del impacto posterior del furgón 50% overlap a una velocidad de 56 km/h según recomienda la Regulación N°94 (ver Anexo A6) y a un tiempo de 0,2 seg según la Regulación N°58 (ver Anexo A1).

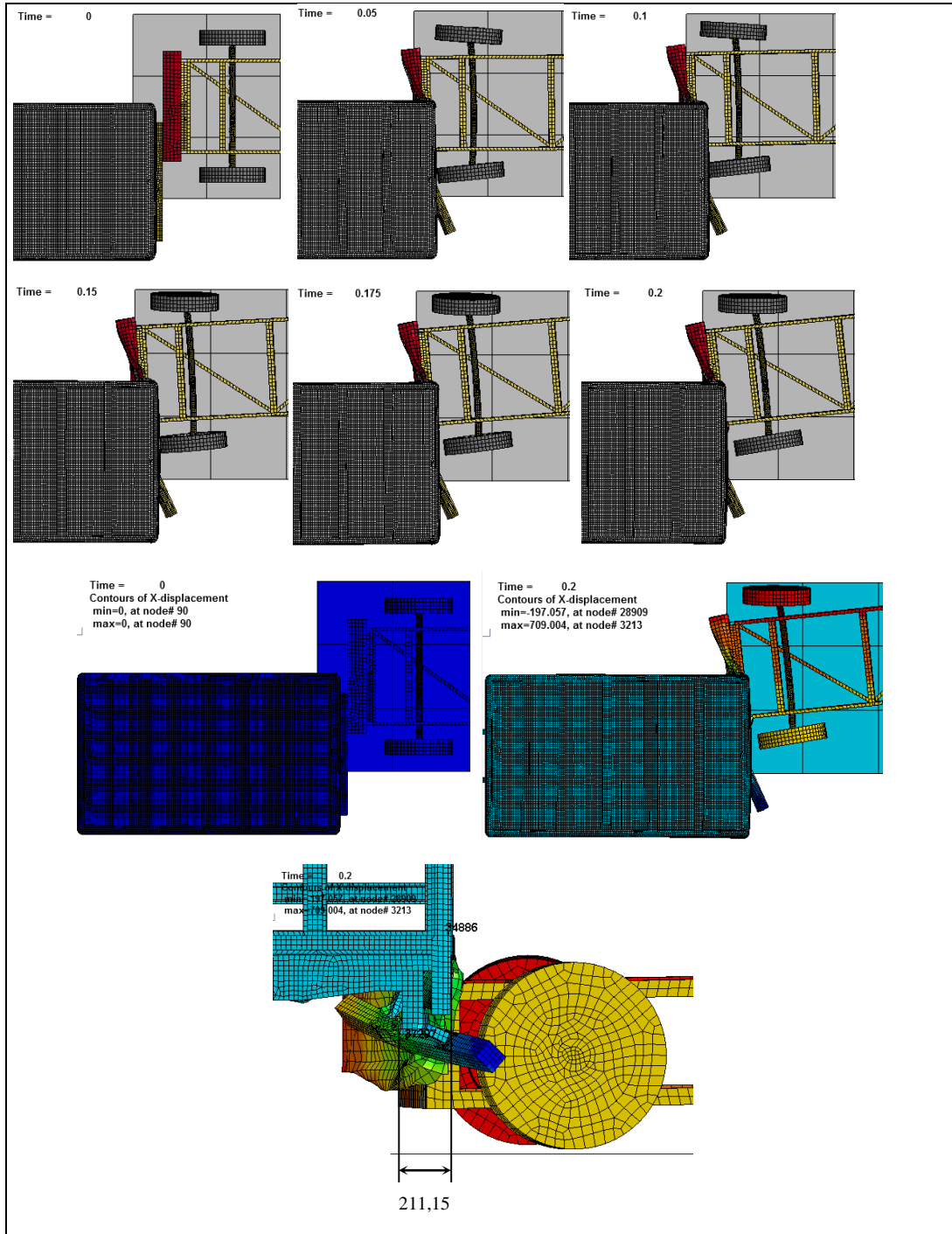


SIMULACIÓN COLISIÓN POSTERIOR DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN MODIFICADO CON IMPACTADOR 50 % OVERLAP

Simulación N°:	06	Muestra:	Barra posterior antiempotramiento modificada
Norma Aplicable	Regulación N°58 de la Comisión Económica para Europa (CEPE). Anexo 5 Procedimiento de ensayo, Item 3.1, 3.2 y 3.3		
Fecha de ejecución	05/02/2017	Realizado por:	Luis Perdomo
		Revisado por:	Ing. César Arroba
Aspect Ratio Máx.:	8,6977	Aspect Ratio Min:	1
Cantidad de nodos	80234	Cantidad de elementos	78595
Tiempo de procesamiento	1 hora 48 minutos	Número de procesadores	32 procesadores
Velocidad de impacto	15555,56 mm/seg		
Tiempo de impacto	200 milisegundos		

RESULTADO DEL ENSAYO





RESULTADOS OBTENIDOS		
¿El desplazamiento obtenido cumple con el criterio de aceptación según regulación R58 CEPE?	SI CUMPLE	
	Rango Aceptado	Valor Obtenido
Desplamiento después de ensayo	< 400 mm	211,15 mm

Al analizar los resultados obtenidos después del ensayo con las condiciones establecidas, se obtiene, que la barra antiempotramiento después de un impacto

posterior a una velocidad de 56 se desplaza 211,15 mm horizontalmente medido entre los nodos #34886 y #37297 (ver Figura 4.61), por lo que se demuestra que el dispositivo de protección posterior **SI** cumple con lo especificado en la Regulación N°58 de Comisión Económica para Europa (CEPE).

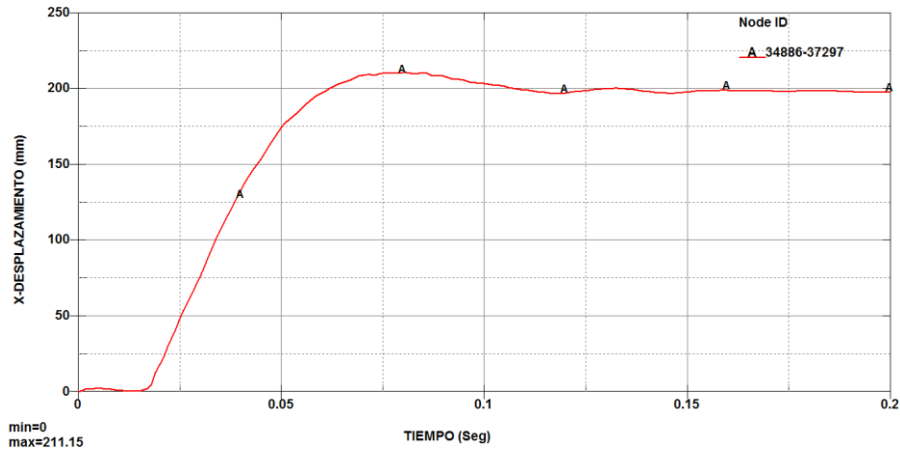


Figura 4.61 Desplazamiento del dispositivo de protección posterior con impactador a un costado
Fuente: Autor

La energía del dispositivo de protección posterior durante todo el impacto posterior del furgón se indica en la Figura 4.62 demostrando que la energía que entra es igual a la energía que sale, esto se justifica observando que en ambas gráficas no existe variación de energía. La curva de color rojo indica la energía cinética y la curva de color verde indica la energía interna durante el impacto posterior de la barra antiempotramiento.

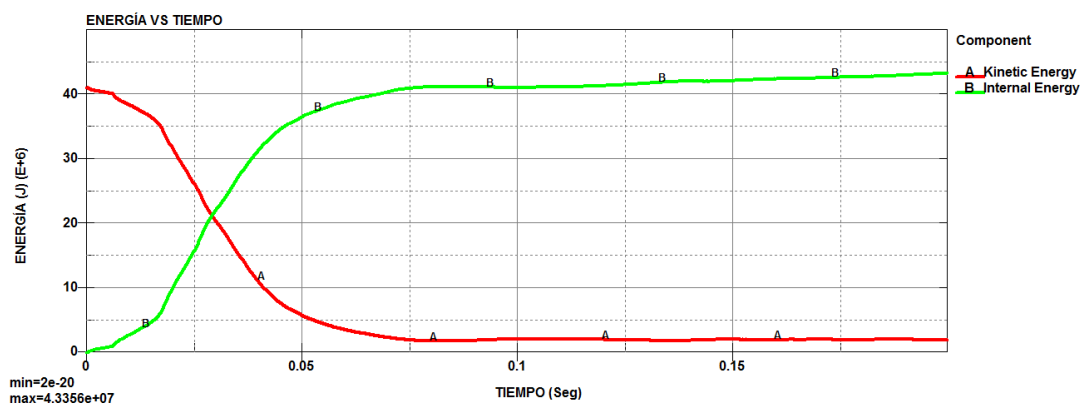


Figura 4.62 Energía cinética y energía interna durante impacto posterior
Fuente: Autor

4.2.4 Simulación de colisión frontal con dispositivo de protección modificado

4.2.4.1 Rediseño de la estructura

En base a que el dispositivo de protección **frontal** realizada por la empresa MasterMetal no cumple con las prescripciones de homologación establecidas en la regulación N°93 de la CEPE, se ha decidido realizar una modificación en dicho dispositivo, con el fin de que cumpla con las prescripciones de homologación.

Para realizar el rediseño se ha identificado las partes en donde se generan mayores esfuerzos y deformaciones, en estas partes se han modificado y añadido nuevos elementos estructurales, con el fin de reforzar la estructura y que puedan resistir a los ensayos de colisión e impacto.

Las modificaciones fueron realizadas utilizando perfiles estructurales que estén disponibles en el mercado, también para el rediseño no se consideró cambiar el material, debido a que al ser un dispositivo de protección, este debe ser capaz de resistir a un impacto, por lo que, para estos dispositivos el material más idóneo son los aceros estructurales.

Descripción de la estructura rediseñada

A continuación se describe las partes de la estructura del dispositivo que se ha modificado:

- a) **Soportes:** Se agregó dos soportes en cada lado y se realizaron 4 perforaciones a los mismos, con el fin de unir los soportes con el chasis mediante pernos M12 grado 8, ya que la regulación prohíbe soldar elementos al chasis. En este caso se mantiene el mismo material y espesor que en el diseño original.
- b) **Vástagos:** A diferencia del diseño original que no contaba con un vástago, por ende no brindaba resistencia, por tal motivo se ha considerado y para garantizar una mayor resistencia agregar dos vástagos en cada lado, este será construido por un perfil estructural cuadrado. La unión entre el soporte y el vástago se lo realizó por soldadura manual de metal por arco (SMAW).

c) **Soporte del travesaño:** Se consideró agregar este soporte con el fin de garantizar una mayor resistencia. Dicho soporte estará construido por un perfil estructural canal en U. La unión entre este elemento y el vástago se lo realizó por soldadura manual de metal por arco (SMAW).

d) **Travesaño:** Este elemento será un perfil hueco de sección cuadrada y su longitud cumplirá con la especificación 10.9 de la regulación R93 CEPE. Dicha longitud variará en función de la anchura del vehículo, siempre teniendo en cuenta que la longitud del travesaño no será superior a la anchura del vehículo ni inferior a ésta en más de 100 mm por cada lado. La unión entre este elemento y el soporte del travesaño se lo realizó por soldadura manual de metal por arco (SMAW).

e) **Tapas:** Por cuestiones estéticas y además por evitar que se acumule suciedad en el interior del travesaño se consideró colocar dos tapas en los extremos del mismo, unidas por soldadura manual de metal por arco (SMAW).


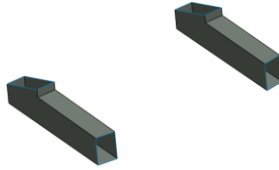
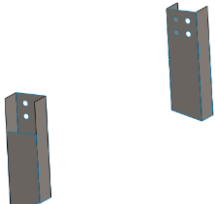
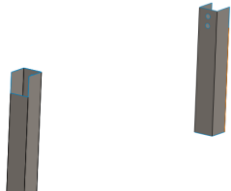
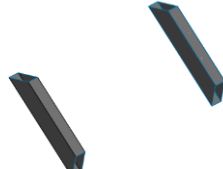
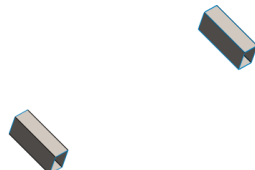

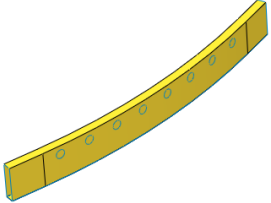
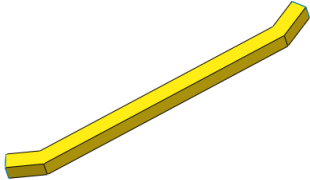
En la Tabla 4.9 se detallan los materiales y las dimensiones utilizados en la modificación del dispositivo de protección frontal, mientras que en la Tabla 4.10 se muestra las modificaciones realizadas en la estructura.


Tabla 4.9 Elementos agregados a dispositivo de protección

N° de Elemento	Cantidad	Material	Elemento	Descripción
1	4	ASTM A-36	Soporte 1	Pletina 50x75, 3 mm de espesor
2	2	ASTM A-36	Vástago 1	Perfil Cuadrado 50x60, 3 mm de espesor
3	2	ASTM A-500	Soporte 2	Perfil Cuadrado 50x50, 3 mm de espesor
4	1	ASTM A-36	Travesaño	Pletina 1995x100, 2,5 mm de espesor
5	2	ASTM A-36	Soporte travesaño	Cana U 50x100x50, 3 mm de espesor
6	2	ASTM A-36	Vástago 2	Perfil Cuadrado 50x60, 3 mm de espesor

Fuente: Autor

Tabla 4.10 Modificaciones realizadas a dispositivo de protección frontal

ELEMENTO	ESTRUCTURA ORIGINAL	ESTRUCTURA MODIFICADA
Soporte travesaño	N/A	
Soporte 1		
Soporte 2	N/A	
Vástago 1	N/A	
Vástago 2	N/A	
Tapas	N/A	
Travesaño		

Refuerzo Soporte		N/A
------------------	---	-----

Fuente: Autor

La Tabla 4.11 muestra un resumen con todas las uniones de los elementos.

Tabla 4. 11 Uniones entre elementos

Elemento	Tipo de Unión
Chasis – Soporte 1	4 uniones de pernos y tuercas M12 grado 8
Chasis – Soporte 2	2 uniones de pernos y tuercas M12 grado 8
Soporte1-Vástago 1	soldadura manual de metal por arco (SMAW)
Vástago 1- Vástago 2	soldadura manual de metal por arco (SMAW)
Vástago 2- Soporte travesaño	soldadura manual de metal por arco (SMAW)
Soporte travesaño - Travesaño	soldadura manual de metal por arco (SMAW)
Travesaño – Tapas	soldadura manual de metal por arco (SMAW)
Soporte 2 – Vástago 2	soldadura manual de metal por arco (SMAW)

Fuente: Autor

La Figura 4.63 muestra la geometría al dispositivo de protección frontal con la modificación realizada, a diferencia del modelo original, este está compuesto por: cuatro pletinas: dos de 250 mm de longitud y dos de 175 mm; dos vástagos de 378 mm de longitud, dos refuerzos tubo cuadrado de 300 mm de longitud, y dos perfiles canal U de 100 mm de longitud, todos los elementos antes mencionados están unidos entre sí mediante soldadura continua a excepción de la unión de los soportes con el aumento de chasis, estos están unidos por 4 pernos de ½ pulgada de diámetro en cada lado (Ver Tablas 4.9).

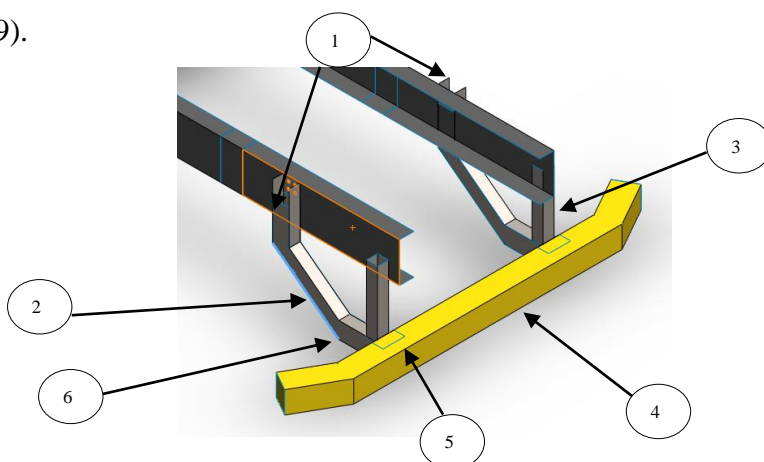


Figura 4.63 Dispositivo de protección frontal modificado

Fuente: Autor

El dimensionado del modelo modificado está realizado con base a los requisitos dimensionales de diseño y montaje, descritas en los apartados 8.4 a 8.8 y 10.7 a 10.9 en la Regulación N°93 de la CEPE. (Ver Figura 4.64).

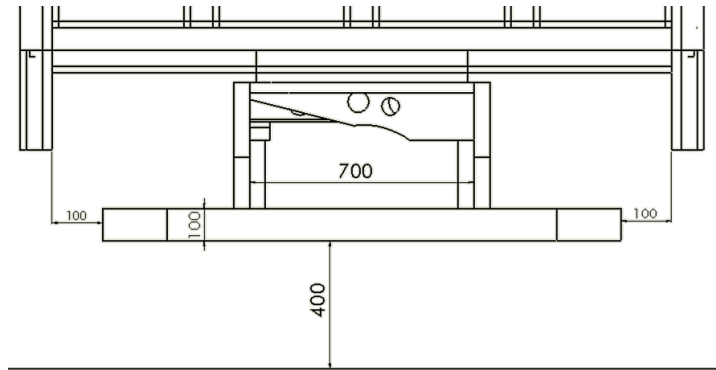


Figura 4.64 Dimensiones del dispositivo de protección frontal según R93 CEPE
Fuente: Autor

Una vez establecido el modelo a analizar, se va a ensayar las dos simulaciones del impacto frontal (impactador centrado e impactador a un costado), para comprobar si en ambos casos cumple con las prescripciones de la regulación para su homologación.

El análisis de la simulación del impacto **frontal** se inicia modelando la geometría de la sección frontal del furgón con el dispositivo de protección modificado, tomando en cuenta todos los elementos que contribuyen en la resistencia de la estructura como se muestra en la Figura 4.65.

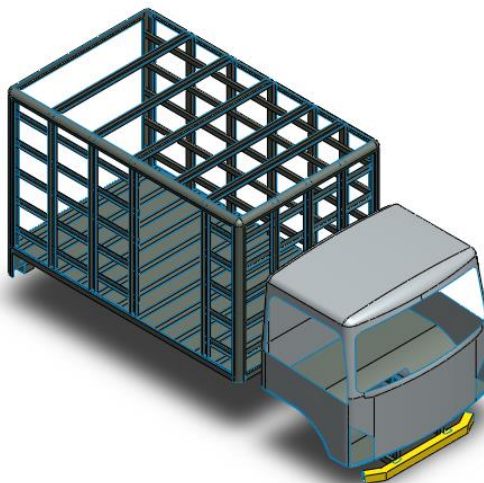


Figura 4.65 Geometría de la sección frontal del furgón
Fuente: Autor

4.2.4.2 Simulación de colisión frontal 100% overlap con barra antiempotramiento modificada.

Mallado

En este mallado se aplicó dos tamaños de cuerpo (*Body Sizing*) y un método de mallado *MultiZone Quad/Tri*. A la estructura del furgón que es el principal elemento de análisis se le asignó un tamaño de elemento de cara de 25 mm, mientras que al piso se le aplicó el método antes mencionado con un tamaño de elemento de 1000 mm, por no ser relevante el piso en el análisis se consideró establecer dicho valor.

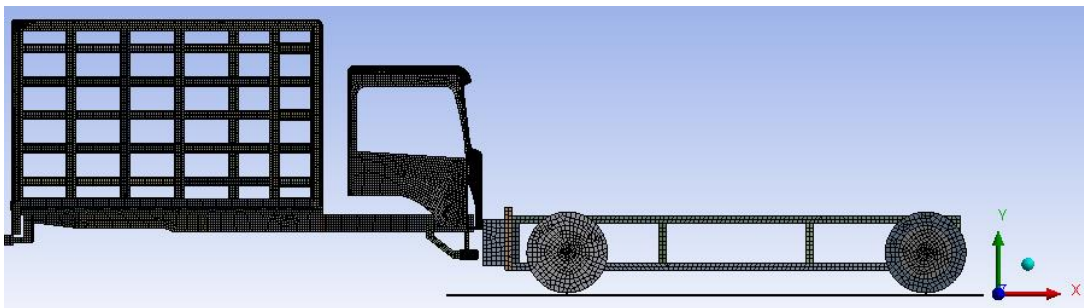


Figura 4.66 Vista Frontal de mallado
Fuente: Autor

La Figura 4.67 muestra el mallado de la estructura del furgón y del impactador en el cual se observa que consta netamente de elementos cuadriláteros.

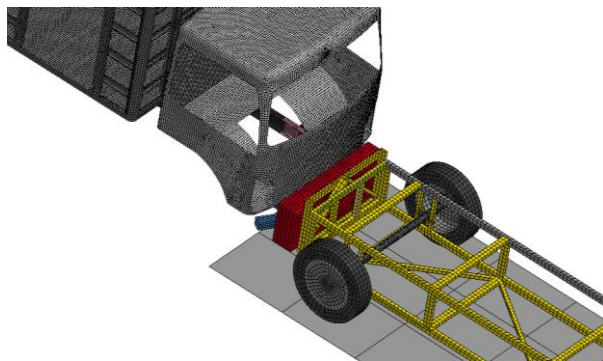
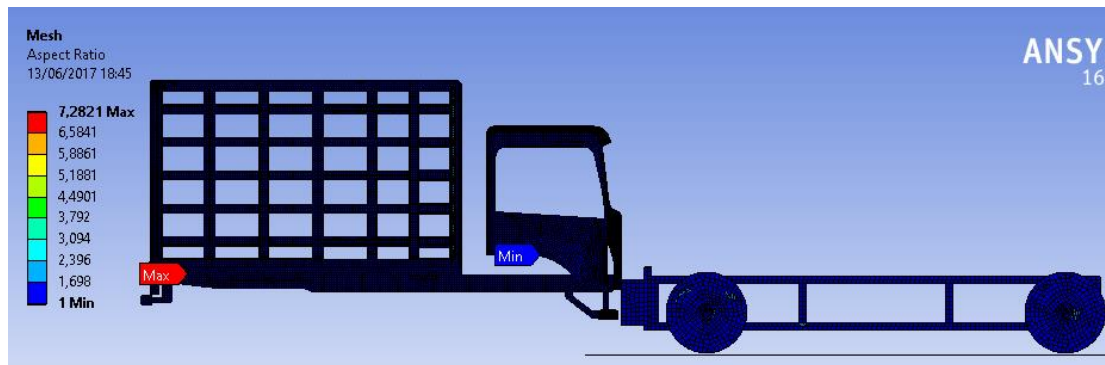


Figura 4.67 Mallado de la estructura frontal e impactador
Fuente: Autor

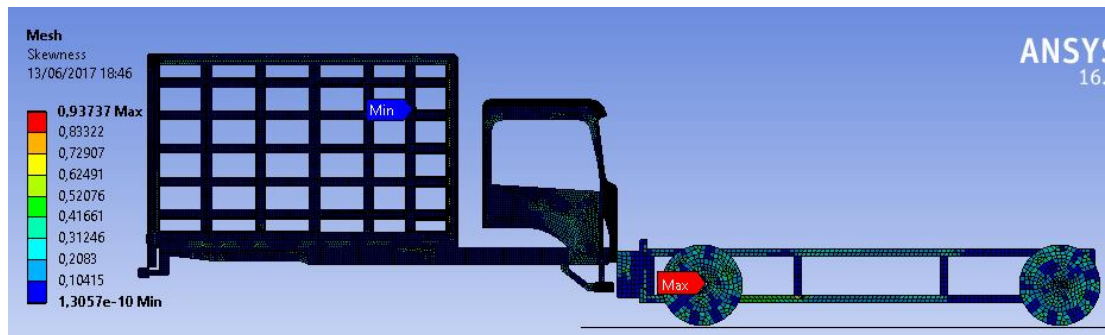
Evalauación de malla

El tamaño máximo de la cara del elemento es de 25 mm, la malla generada tiene; (a) un valor de relación de aspecto (*Aspect Ratio*) de máximo 7,2821 y mínimo de 1, y (b) un valor de oblicuidad (*Skewnees*) máximo de 0,937 y mínimo de 0,00000000013057

(Ver Figura 4.68); valores que están dentro del índice de caracterización de malla. (Ver Tabla 2.3)



a) Valores generales de relación de aspecto (*Aspect Ratio*)

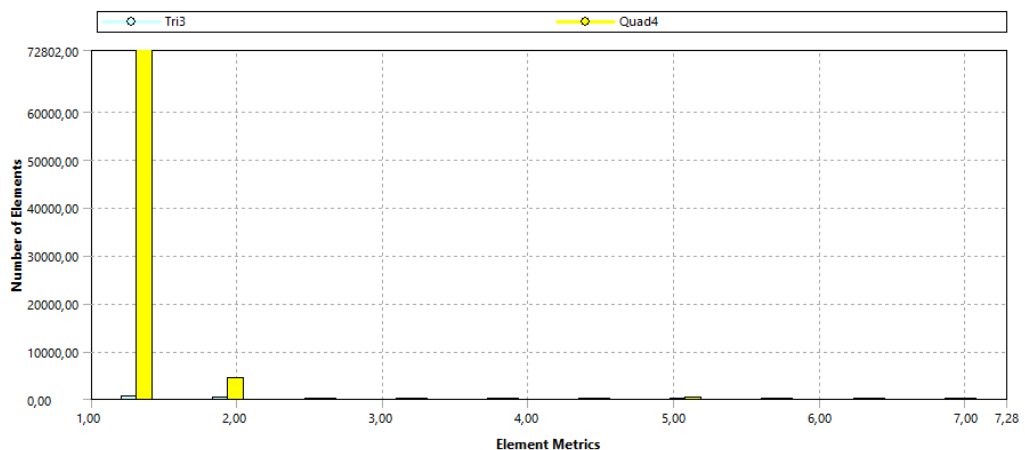


b) Valores generales de oblicuidad (*Skewness*)

Figura 4.68 Parámetros de evaluación de malla

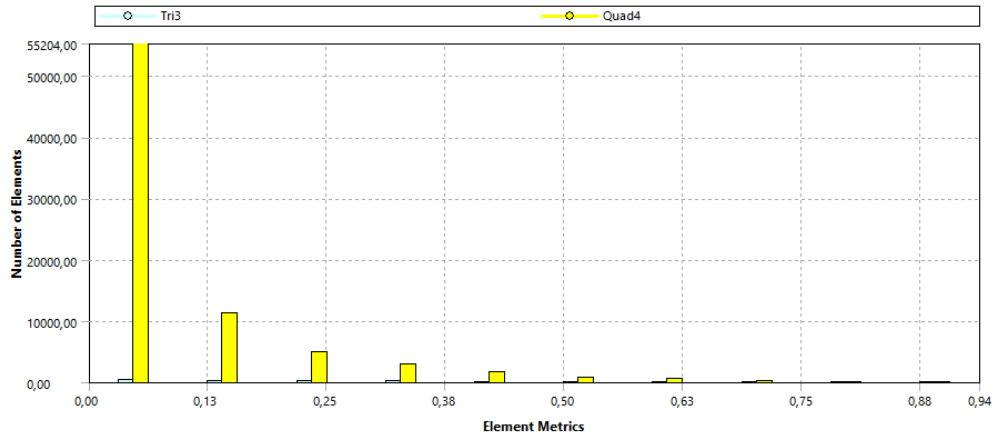
Fuente: Autor

En el gráfico de barras de la Figura 4.69a, de la malla se tiene un total de 101324 elementos de los cuales: 72800 elementos tienen un valor de 1,31 de relación de aspecto (*Aspect Ratio*), 4190 elementos tienen un valor de 1.94, y el resto de elementos se encuentran dentro del rango permisible (Ver Tabla 2.3).



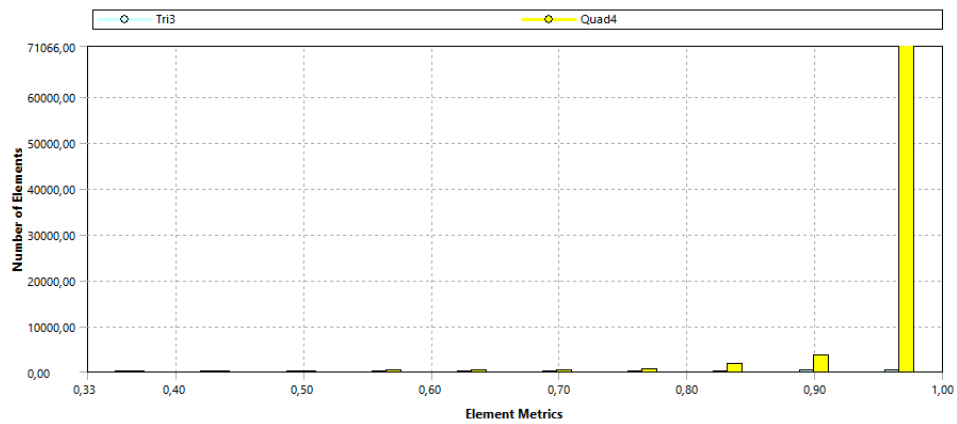
a) Aspect Ratio versus el número de elementos de la estructura del furgón e impactador

En la Figura 4.69b se observa que 55200 elementos tienen un valor de 0,0469 de oblicuidad (*Skewness*), 11200 elementos tienen un valor de 0,141, y el resto de elementos se encuentran dentro del rango permisible (Ver Tabla 2.3).



b) Skewness versus el número de elementos de la estructura del furgón e impactador

En la Figura 4.69c se observa que 71100 elementos tienen un valor de 0,967 de calidad ortogonal (*Ortogonal Quality*), 3480 elementos tienen un valor de 0,9, y el resto de elementos se encuentran dentro del rango permisible (Ver Tabla 2.3).



c) Ortogonal Quality versus el número de elementos de la estructura del furgón e impactador

Figura 4.69 Evaluación de Aspect Ratio, Skewness y Ortogonal Quality

Fuente: Autor

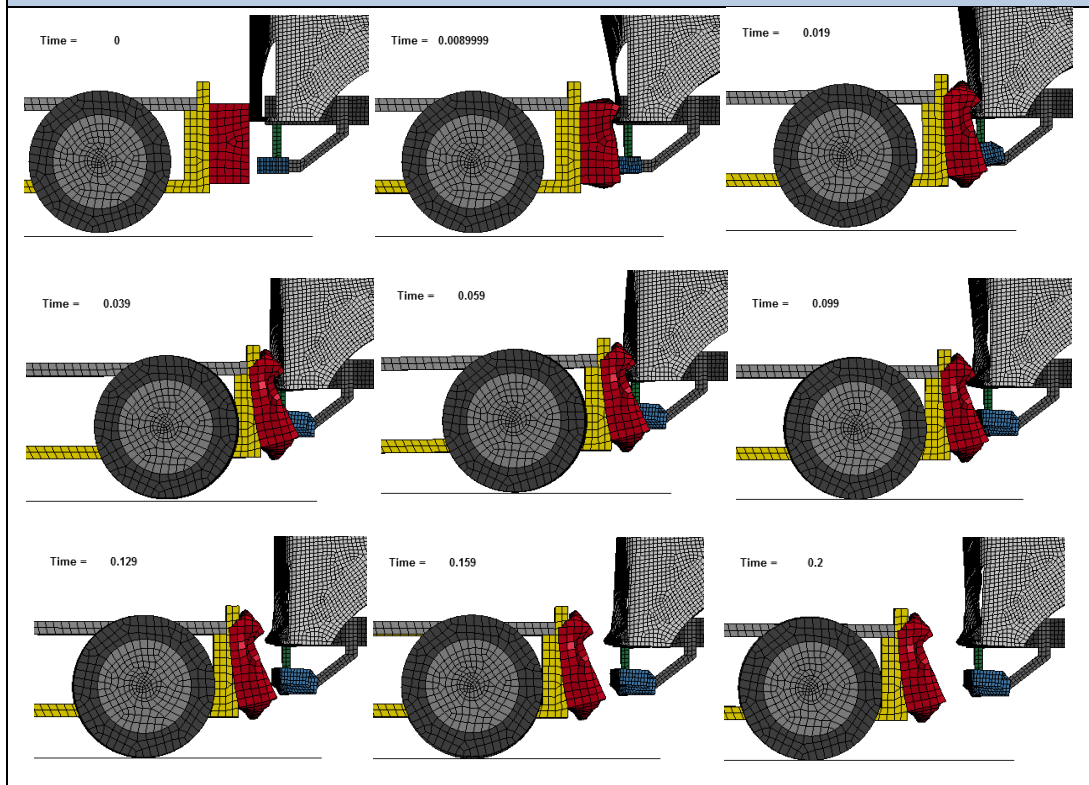
Una vez validado todos los parámetros se establece que la malla generada es aceptable, por lo que se procede a realizar la simulación del impacto frontal del furgón 100% overlap a una velocidad de 56 km/h según recomienda la Regulación N°94 (ver Anexo A6) y a un tiempo de 0,2 seg según la Regulación N°58 (ver Anexo A1).

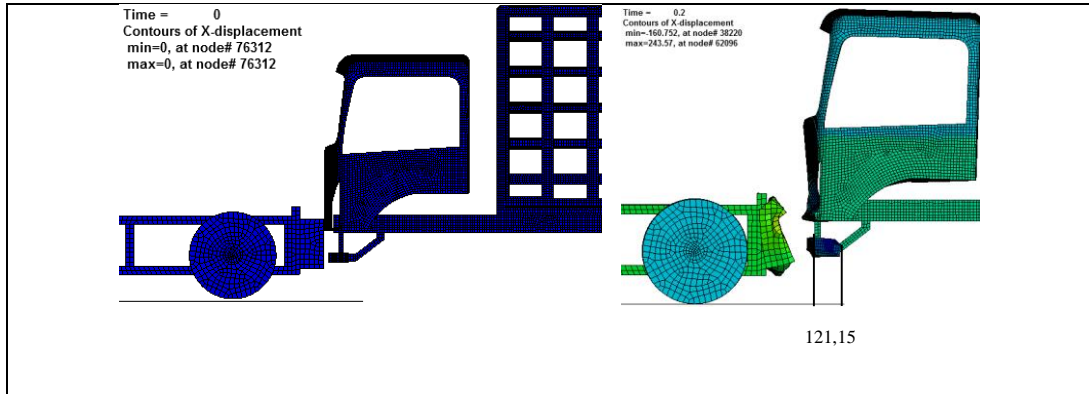


SIMULACIÓN COLISIÓN FRONTAL DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN MODIFICADO CON IMPACTADOR 100 % OVERLAP

Simulación N°:	07	Muestra:	Barra frontal antiempotramiento modificada
Norma Aplicable	Regulación N°93 de la Comisión Económica para Europa (CEPE). Anexo 5 Procedimiento de ensayo, Item 3.1, 3.2 y 3.3		
Fecha de ejecución	19/01/2017	Realizado por:	Luis Perdomo
		Revisado por:	Ing. César Arroba
Aspect Ratio Máx.:	7,2821	Aspect Ratio Min:	1
Cantidad de nodos	103236	Cantidad de elementos	101324
Tiempo de procesamiento	2 horas 57 minutos	Número de procesadores	32 procesadores
Velocidad de impacto	15555,56 mm/seg		
Tiempo de impacto	200 milisegundos		

RESULTADO DEL ENSAYO





RESULTADOS OBTENIDOS		
¿El desplazamiento obtenido cumple con el criterio de aceptación según regulación R93 CEPE?		SI CUMPLE
	Rango Aceptado	Valor Obtenido
Desplamiento después de ensayo	< 400 mm	121,15 mm

Al analizar los resultados obtenidos después del ensayo con las condiciones establecidas, se obtiene, que el dispositivo de protección modificado después de un impacto frontal 100% overlap a una velocidad de 56 km/h se desplaza 121,15 mm horizontalmente medido entre los nodos #38123 y #38358 (ver Figura 4.70), por lo que se demuestra que el dispositivo de protección posterior **SI** cumple con lo especificado en la Regulación N°93 de Comisión Económica para Europa (CEPE).

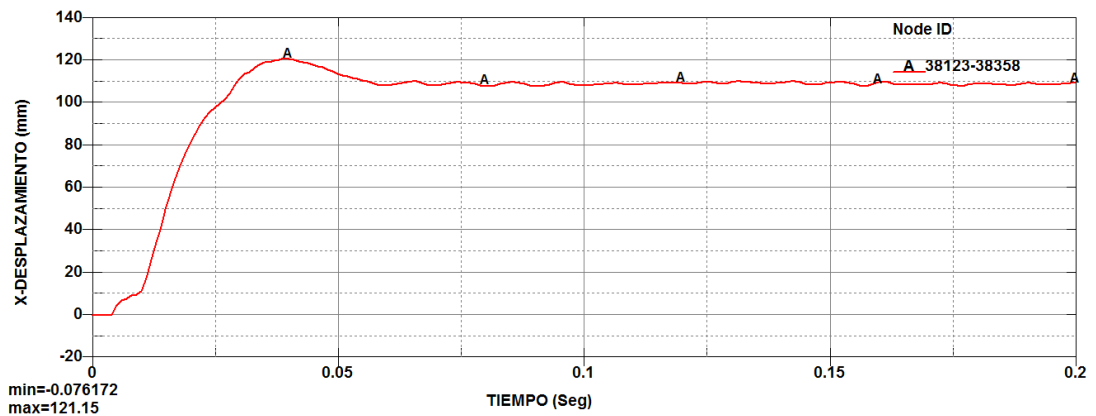


Figura 4.70 Desplazamiento del dispositivo de protección frontal con impactador 100% overlap
Fuente: Autor

La energía del dispositivo de protección posterior durante todo el impacto frontal se indica en la Figura 4.72 demostrando que la energía que entra es igual a la energía que sale, esto se justifica observando que, en ambas gráficas no existe variación de energía. La curva de color rojo indica la energía cinética y la curva de color verde indica la energía interna durante el impacto frontal de la barra antiempotramiento.

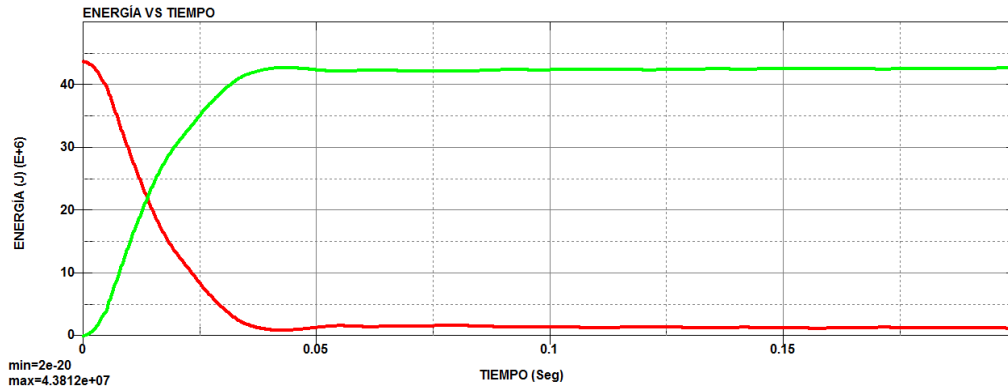


Figura 4.71 Energía cinética y energía interna durante impacto frontal
Fuente: Autor

4.2.4.3 Simulación de colisión frontal 50% overlap con barra antiempotramiento modificada.

Mallado

En este mallado se aplicó un tamaño de cuerpo (*Body Sizing*) y un método de mallado *MultiZone Quad/Tri*. A la estructura del furgón que es el principal elemento de análisis se le asignó un tamaño de elemento de cara de 30 mm, mientras que al piso se le aplicó el método antes mencionado con un tamaño de elemento de 500 mm, por no ser relevante el piso en el análisis se consideró establecer dicho valor.

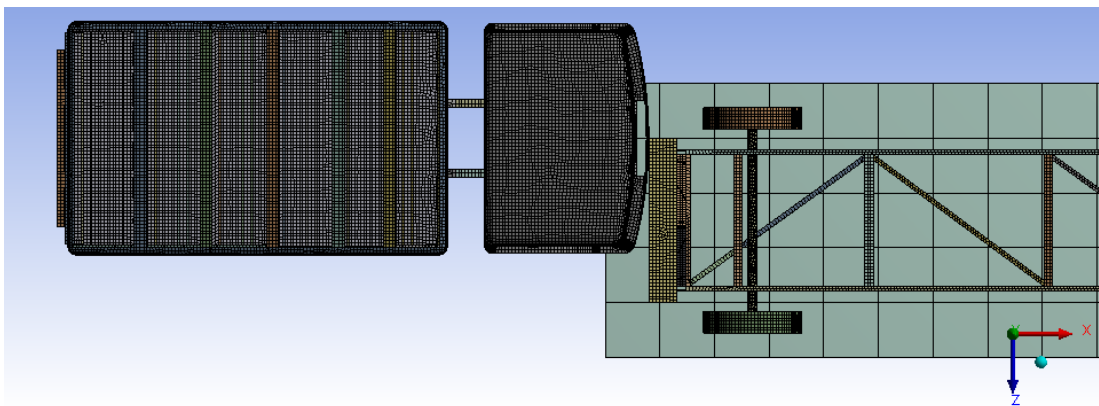


Figura 4.72 Vista Superior de mallado
Fuente: Autor

La Figura 4.73 muestra el mallado de la estructura del furgón y del impactador en el cual se observa que consta netamente de elementos cuadriláteros.

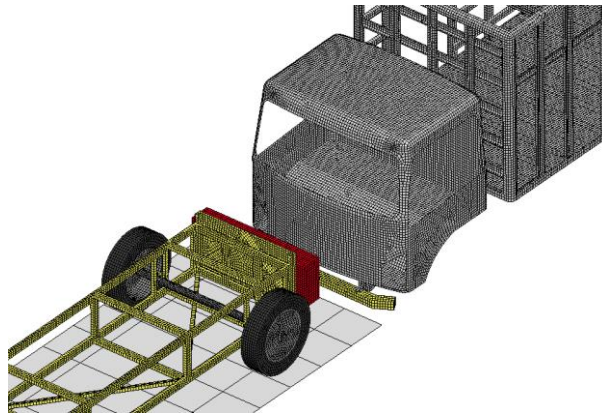
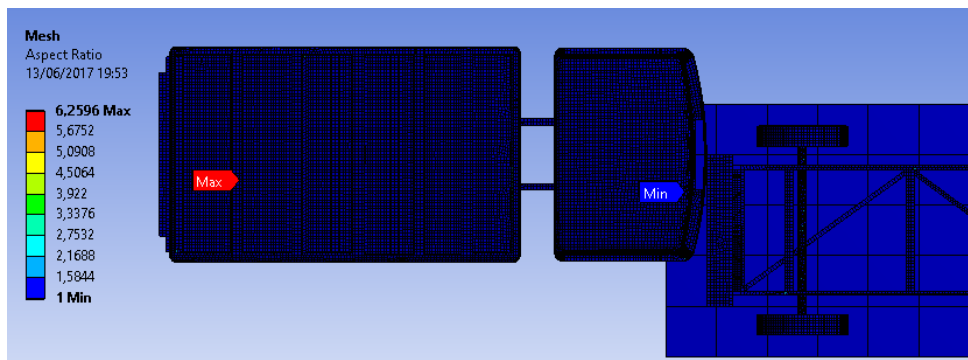


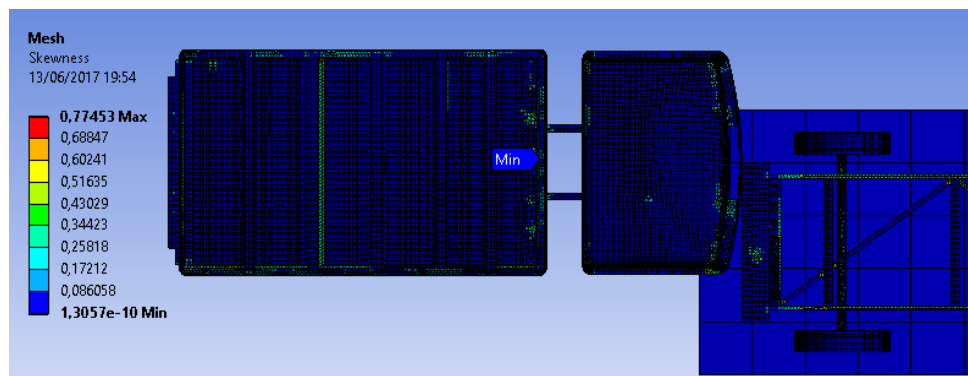
Figura 4.73 Vista isométrica del mallado de la estructura de furgón e impactador 50% overlap
Fuente: Autor

Evaluación de malla

El tamaño máximo de la cara del elemento es de 30 mm, la malla generada tiene; (a) un valor de relación de aspecto (*Aspect Ratio*) de máximo 6,25 y mínimo de 1, y (b) un valor de oblicuidad (*Skewnees*) máximo de 0,77 y mínimo de 0,00000000013057 (Ver Figura 4.74); valores que están dentro del índice de caracterización de malla. (Ver Tabla 2.3)



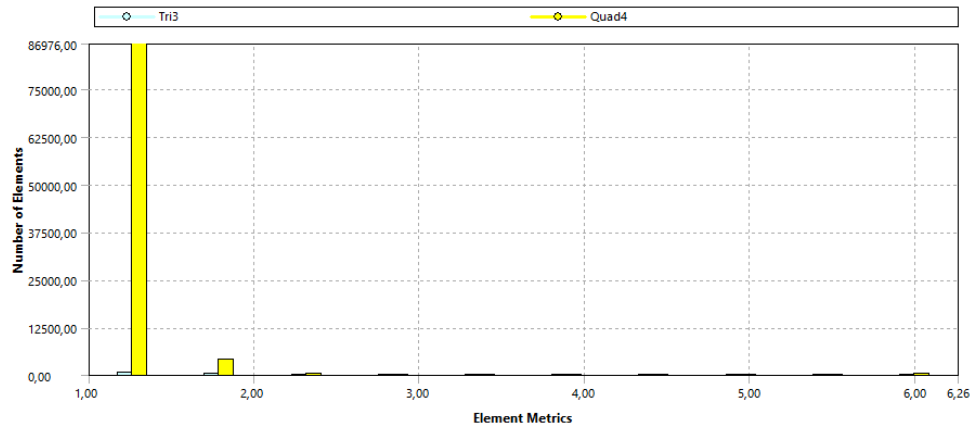
a) Valores generales de relación de aspecto (*Aspect Ratio*)



b) Valores generales de oblicuidad (*Skewness*)

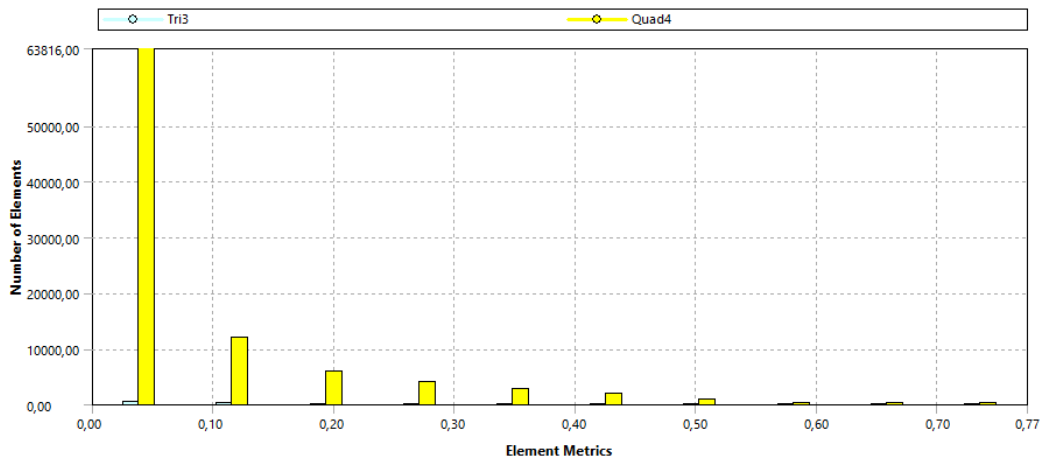
Figura 4.74 Parámetros de evaluación de malla
Fuente: Autor

En el gráfico de barras de la Figura 4.75a, de la malla se tiene un total de 92372 elementos de los cuales: 87000 elementos tienen un valor de 1,26 de relación de aspecto (*Aspect Ratio*), 3960 elementos tienen un valor de 1,79, y el resto de elementos se encuentran dentro del rango permisible (Ver Tabla 2.3).



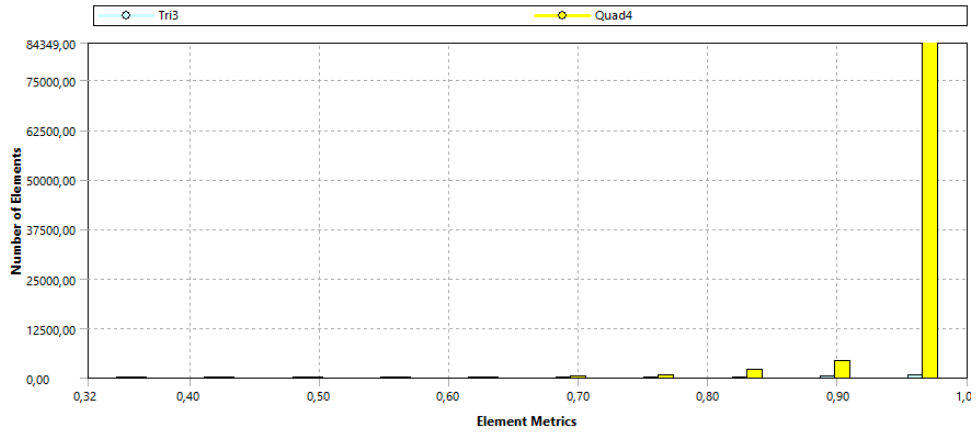
a) Aspect Ratio versus el número de elementos de la estructura del furgón e impactador

En la Figura 4.75b se observa que 63800 elementos tienen un valor de 0,0387 de oblicuidad (*Skewness*), 11900 elementos tienen un valor de 0,116, y el resto de elementos se encuentran dentro del rango permisible (Ver Tabla 2.3).



b) Skewness versus el número de elementos de la estructura del furgón e impactador

En la Figura 4.75c se observa que 83400 elementos tienen un valor de 0,966 de calidad ortogonal (*Orthogonal Quality*), 4040 elementos tienen un valor de 0,898, y el resto de elementos se encuentran dentro del rango permisible (Ver Tabla 2.3).



c) Ortogonal Quality versus el número de elementos de la estructura del furgón e impactador

Figura 4.75 Evaluación de Aspect Ratio y Skewness

Fuente: Autor

Una vez validado todos los parámetros se establece que la malla generada es aceptable, por lo que se procede a realizar la simulación del impacto frontal del furgón 50% overlap a una velocidad de 56 km/h según recomienda la Regulación N°94 (ver Anexo A6) y a un tiempo de 0,2 seg según la Regulación N°58 (ver Anexo A1).



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

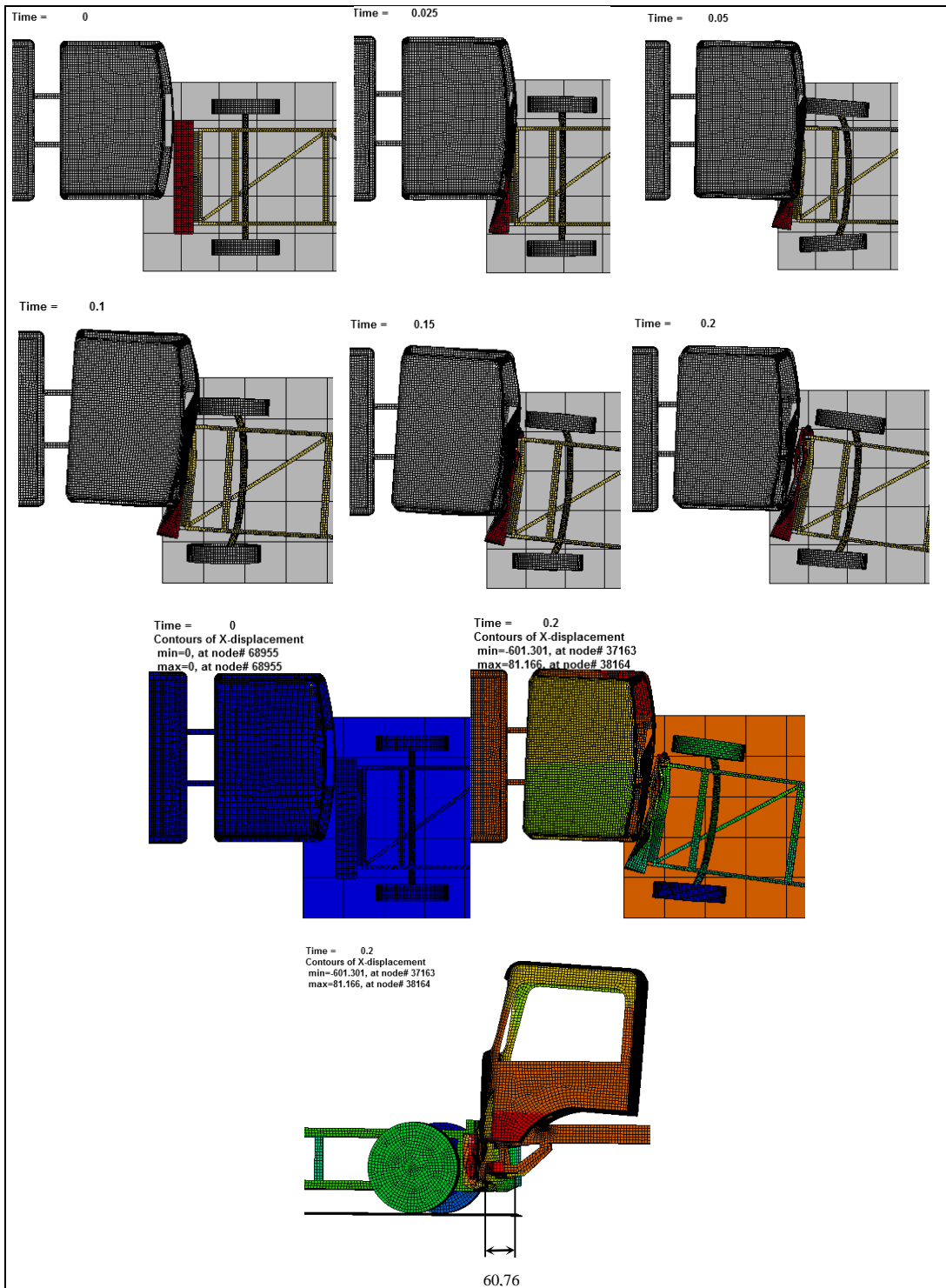


**SIMULACIÓN COLISIÓN FRONTAL DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN
MODIFICADO CON IMPACTADOR 50 % OVERLAP**

Simulación N°:	08	Muestra:	Barra frontal antiempotramiento del furgón
Norma Aplicable	Regulación N°93 de la Comisión Económica para Europa (CEPE). Anexo 5 Procedimiento de ensayo, Item 3.1, 3.2 y 3.3		
Fecha de ejecución	30/03/2017	Realizado por:	Luis Perdomo
		Revisado por:	Ing. César Arroba
Aspect Ratio Máx.:	6,2596	Aspect Ratio Min:	1
Cantidad de nodos	93414	Cantidad de elementos	92372
Tiempo de procesamiento	2 horas 02 minutos	Número de procesadores	32 procesadores
Velocidad de impacto	15555,56 mm/seg		
Tiempo de impacto	200 milisegundos		

RESULTADO DEL ENSAYO





RESULTADOS OBTENIDOS

¿El desplazamiento obtenido cumple con el criterio de aceptación según regulación R93 CEPE?		SI CUMPLE
	Rango Aceptado	Valor Obtenido
Desplamiento después de ensayo	< 400 mm	60,76 mm

Al analizar los resultados obtenidos después del ensayo con las condiciones establecidas, se obtiene, que la barra antiempotramiento modificada después de una colisión frontal 50% overlap a una velocidad de 56 km/h tiene un desplazamiento máximo de 60,76 mm medido entre los nodos #237 y #503 (ver Figura 4.76), por lo que se demuestra que el dispositivo de protección posterior en una colisión frontal SI cumple con lo especificado en la Regulación N°93 de Comisión Económica para Europa (CEPE).

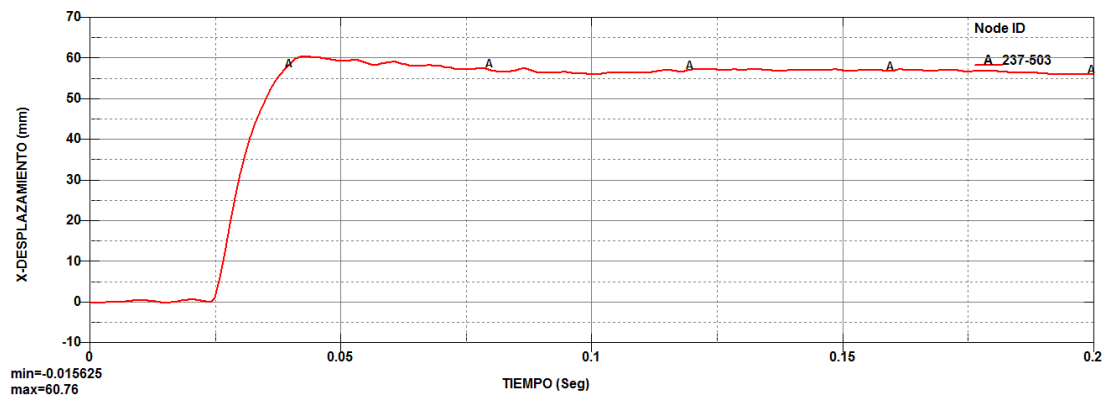


Figura 4.76 Desplazamiento del dispositivo de protección frontal 50% overlap
Fuente: Autor

La energía del dispositivo de protección durante toda la colisión frontal se indica en la Figura 4.77, demostrando que, la energía que entra es igual a la energía que sale, esto se justifica observando que, en ambas gráficas no existe variación de energía. La curva de color rojo indica la energía cinética y la curva de color verde indica la energía interna.

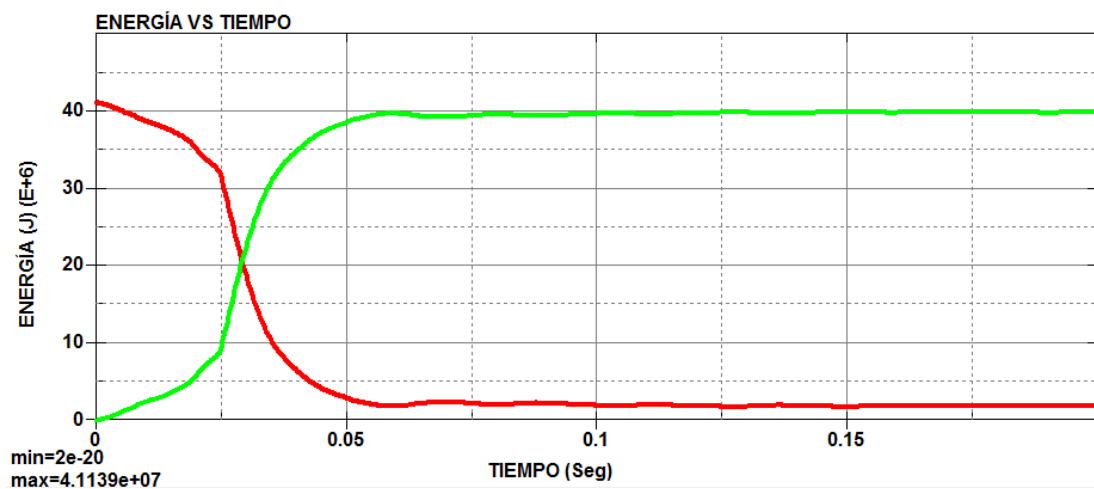


Figura 4.77 Desplazamiento del dispositivo de protección frontal con impactador centrado
Fuente: Autor

En la Figura 4.78 se muestra los desplazamientos obtenidos, tanto del dispositivo de protección de la empresa como el rediseño del mismo, en el cual se observa la reducción considerable del desplazamiento al utilizar el rediseño del dispositivo de protección frontal.

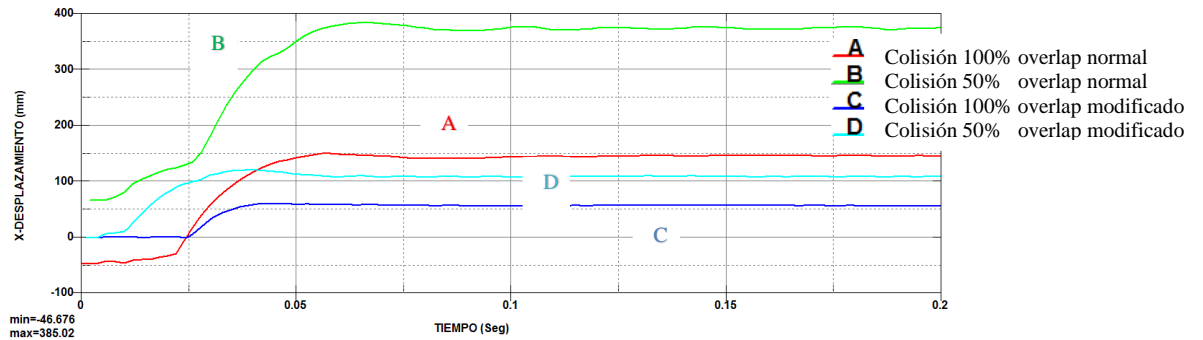


Figura 4.78 Resultados obtenidos después de ensayo frontal
Fuente: Autor

En la Figura 4.79 se muestra los desplazamientos obtenidos, tanto del dispositivo de protección de la empresa como el rediseño del mismo, en el cual se observa la reducción considerable del desplazamiento al utilizar el rediseño del dispositivo de protección posterior.

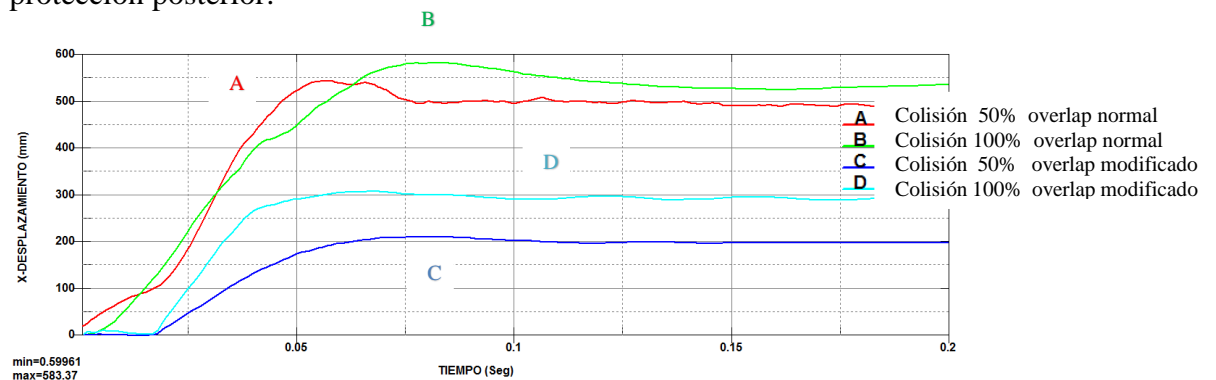


Figura 4.79 Resultados obtenidos después de ensayo posterior
Fuente: Autor

4.2.5 Simulación de ensayo de impacto frontal y posterior de homologación según procedimientos de ensayo de las regulaciones N°58 y N°93 (CEPE) en dispositivos de protección modificados.

En la Figura 4.80 se muestra el dispositivo de carga que se va utilizar para los ensayos, que consta de dos bloques que se conectan en el centro utilizando una junta articulada, de modo que, el dispositivo este siempre en dirección normal en cada momento durante el proceso de carga. Este dispositivo está modelado como un material rígido y con las

siguientes dimensiones: 100 mm de alto y 200 mm de ancho de acuerdo al anexo 5, procedimiento de ensayo, apartado 3.5.2 de regulación R93 CEPE.

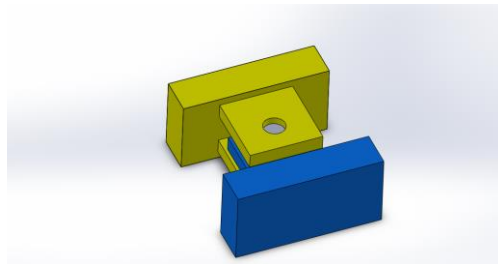


Figura 4.80 Dispositivo de carga
Fuente: Autor

La Tabla 4.12 muestra las propiedades mecánicas de ambos dispositivos de protección y soportes.

Tabla 4.12 Propiedades mecánicas acero ASTM A36

Limite de fluencia minimo (MPa)	250
Resistencia a la tracción (MPa)	400-550
Elongación (%)	23
Módulo de elasticidad (GPa)	200
Densidad (g/cm ³)	7,85
Coefficiente de Poisson	0,3

Fuente: [51]

La unión entre el bastidor y la barra antiempotramiento esta formada por 4 pernos M12 grado 8.

4.2.5.1 Simulación de ensayo de impacto frontal.

En la Tabla 4.13 se muestra las cargas requeridas para este ensayo.

Tabla 4.13 Cargas requeridas para ensayo de impacto Frontal

	P1	P2	P3
Valor de carga	36774 N	73549 N	36774 N

Fuente: Autor

Ensayo 1

En este ensayo se aplica la carga $P_1=36774$ N a una distancia de 200 mm de los planos longitudinales tangentes a los puntos exteriores extremos de las ruedas del eje delantero (Ver Figura 4.81).

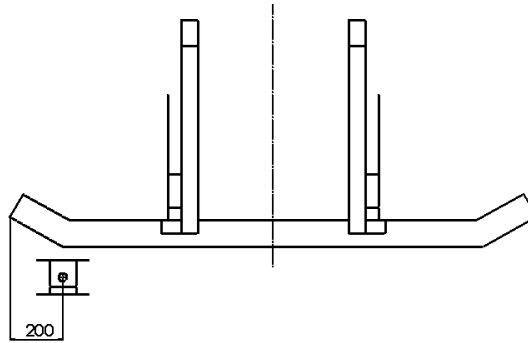


Figura 4.81 Distancia a la que se debe aplicar la carga P_1
Fuente: Autor

El dispositivo de protección frontal después de aplicar la carga P_1 se desplaza 95,69 mm, por lo cual, cumple con el parámetro de no superar un desplazamiento máximo de 400 mm. (Ver Figura 4.82)

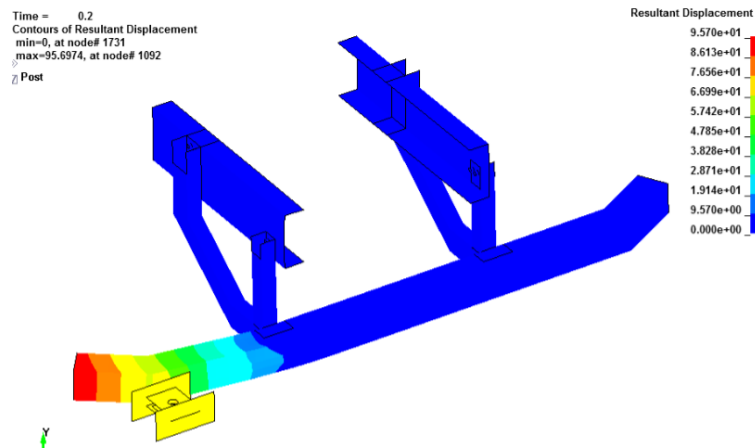


Figura 4.82 Máximo desplazamiento después de aplicar la carga P_1
Fuente: Autor

El valor de deformación plástica para el valor correspondiente del esfuerzo de Von Mises se muestra en la Figura 4.83 y 4.84.

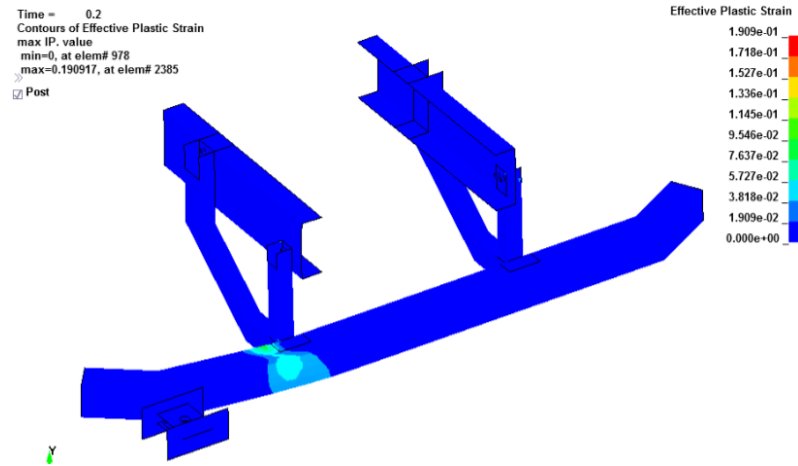


Figura 4.83 Deformación plástica
Fuente: Autor

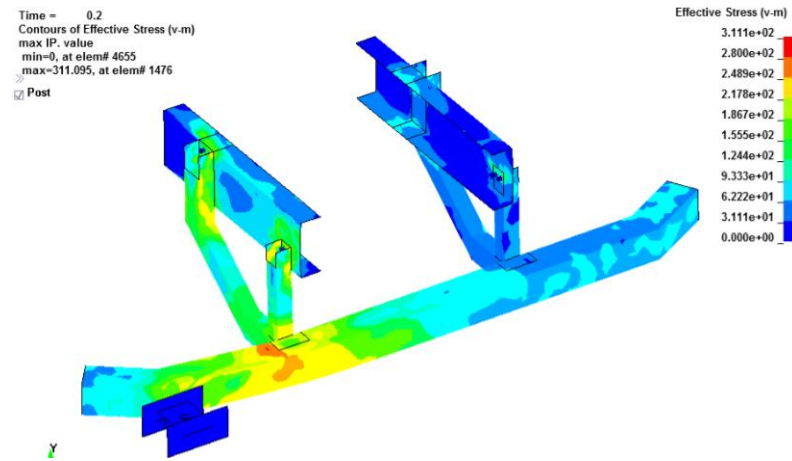


Figura 4.84 Esfuerzo de Von Mises.
Fuente: Autor

De los resultados obtenidos, se tiene un valor de tensión máxima de 311,10 MPa. En la Figura 4.84 se observa que la tensión recae sobre el canal U del lado izquierdo del paragolpes. Se determina que el dispositivo propuesto al aplicar una carga en el punto P1 es seguro.

Ensayo 2

Para este ensayo, se aplica la carga $P_2=73549$ N a una distancia de 350 mm desde el centro del dispositivo de protección de acuerdo al reglamento (Ver Figura 4.85).

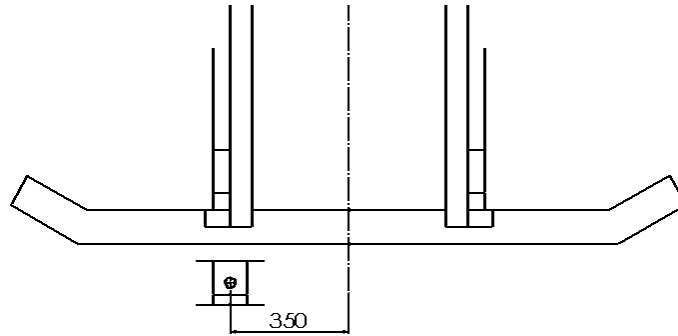


Figura 4. 85 Distancia a la que se debe aplicar la carga P_2
Fuente: Autor

El dispositivo de protección frontal después de aplicar la carga P_2 se desplaza 44,57 mm, por lo cual, cumple con el parámetro de no superar un desplazamiento máximo de 400 mm. (Ver Figura 4.86)

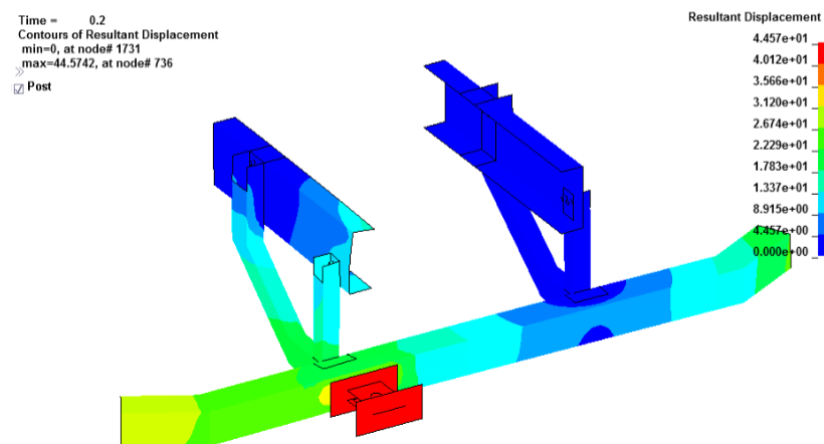


Figura 4.86 Máximo desplazamiento despues de aplicar la carga P_2
Fuente: Autor

El valor de deformación plástica para el valor correspondiente del esfuerzo de Von Mises se muestra en la Figura 4.87 y 4.88.

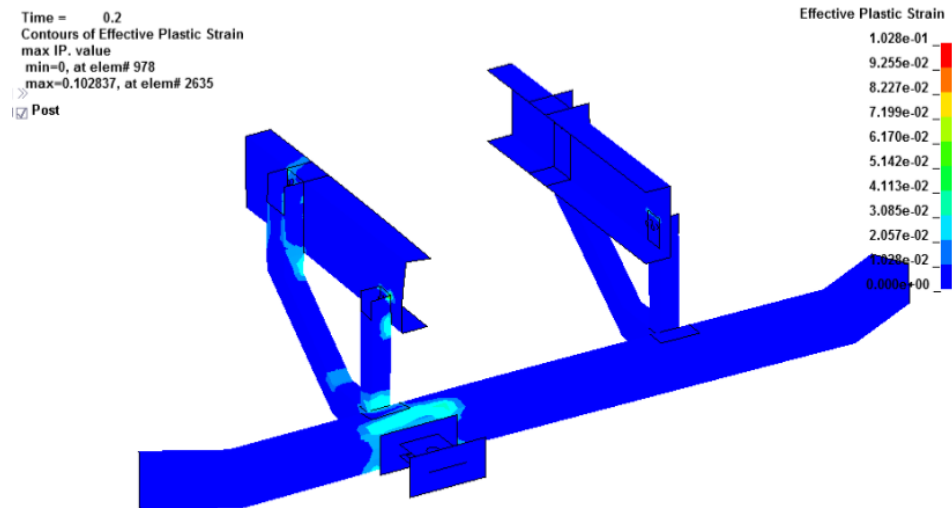


Figura 4.87 Deformación plástica
Fuente: Autor

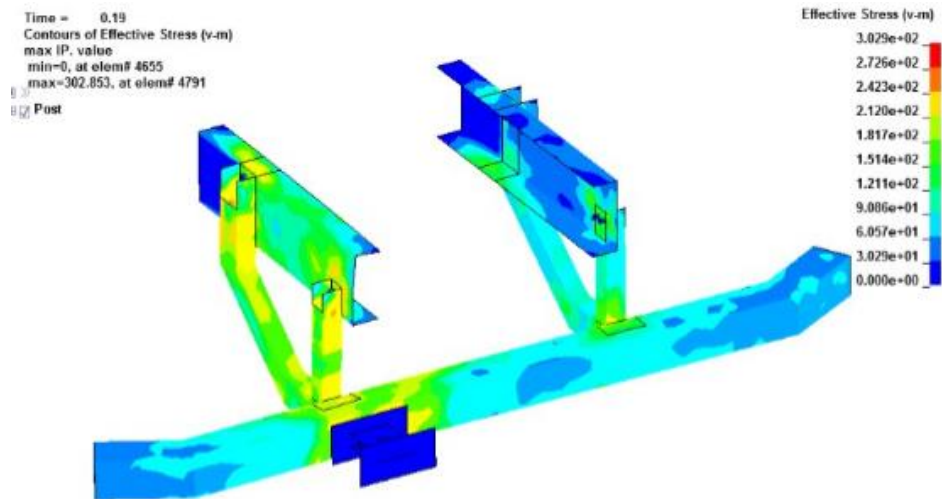


Figura 4.88 Esfuerzo de Von Mises
Fuente: Autor

De los resultados obtenidos, se tiene un valor de tensión máxima de 314,4 MPa. En la Figura 4.88 se observa que la tensión recae sobre el canal U del lado izquierdo del paragolpes. Se determina que el dispositivo propuesto al aplicar una carga en el punto P2 es seguro.

Ensayo 3

Para este ensayo se aplica una carga $P_3 = 36774 \text{ N}$ en el punto central del travesaño del dispositivo (Ver Figura 4.89).

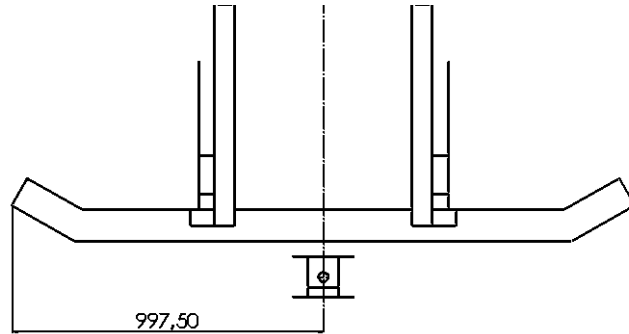


Figura 4.89 Distancia a la que se debe aplicar la carga P_3
Fuente: Autor

El dispositivo de protección frontal después de aplicar la carga P_3 se desplaza 32,75 mm, por lo cual, cumple con el parámetro de no superar un desplazamiento máximo de 400 mm. (Ver Figura 4.90)

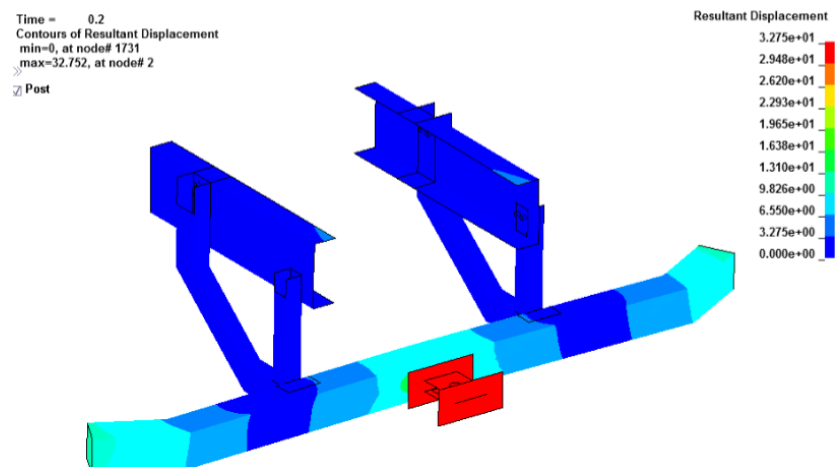


Figura 4.90 Máximo desplazamiento después de aplicar la carga P_3
Fuente: Autor

El valor de deformación plástica para el valor correspondiente del esfuerzo de Von Mises se muestra en la Figura 4.91 y 4.92.

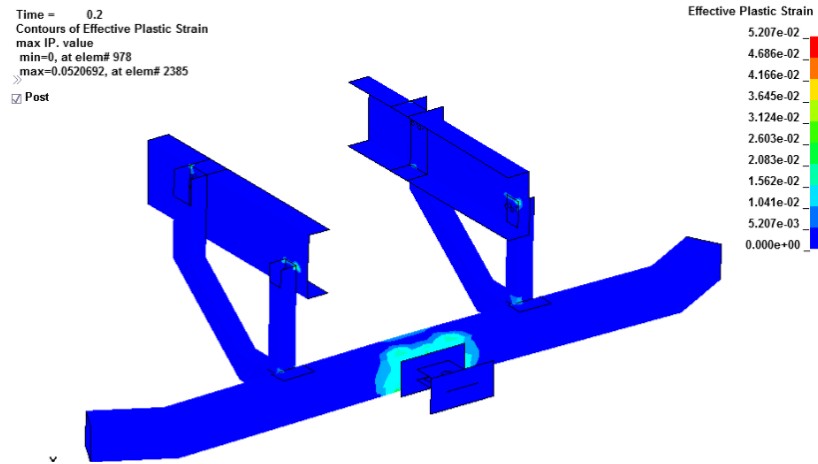


Figura 4.91 Deformación plástica
Fuente: Autor

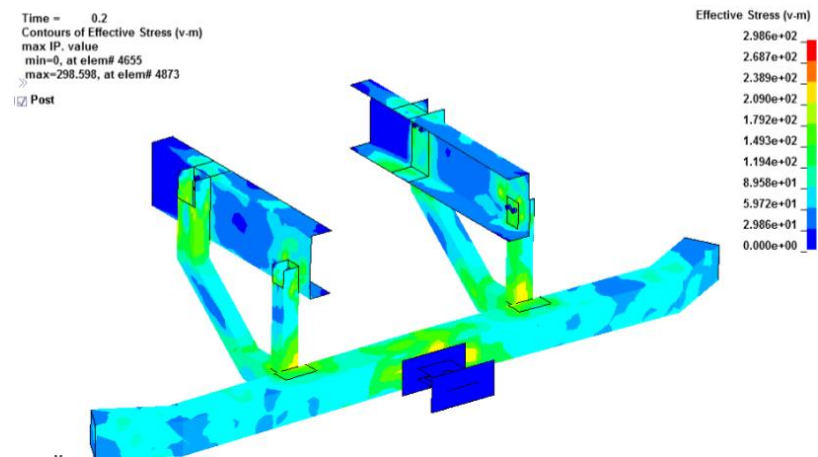


Figura 4.92 Esfuerzo de Von Mises
Fuente: Autor

De los resultados obtenidos, se tiene un valor de tensión máxima de 298,60 MPa. En la Figura 4.90 se observa que la tensión recae sobre ambos vástagos, debido que el punto de carga es simétrico. Se determina que el dispositivo propuesto al aplicar una carga en el punto P3 es seguro.

Discusión

Después de realizar el ensayo aplicando las tres cargas (por ser simétrico), el dispositivo en todos los casos obtuvo un esfuerzo menor que el esfuerzo ultimo a la tracción, por lo que se establece que el diseño propuesto cumple con todos los parámetros para su posterior homologación.

4.2.5.2 Simulación de ensayo de impacto posterior.

En la Tabla 4.14 se muestra las cargas requeridas para este ensayo.

Tabla 4. 14 Cargas requeridas para ensayo de impacto posterior

	P1	P2	P3
Valor de carga	18387 N	36774 N	18387 N

Fuente: Autor

Ensayo 1

En este ensayo se aplica la carga P1=18387 N a una distancia de 300 mm de los planos longitudinales tangentes a los puntos extremos exteriores de las ruedas del eje trasero.

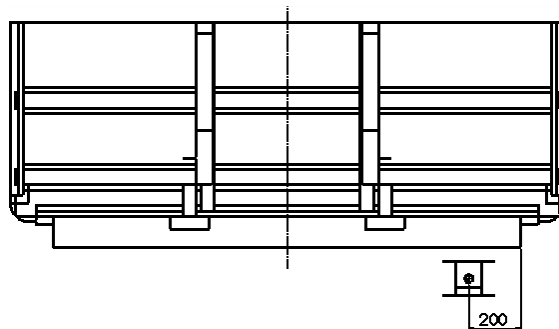


Figura 4.93 Distancia a la que se debe aplicar la carga P1

Fuente: Autor

El dispositivo de protección posterior después de aplicar la carga P1 se desplaza 50,70 mm, por lo cual, cumple con el parámetro de no superar un desplazamiento máximo de 400 mm. (Ver Figura 4.94)

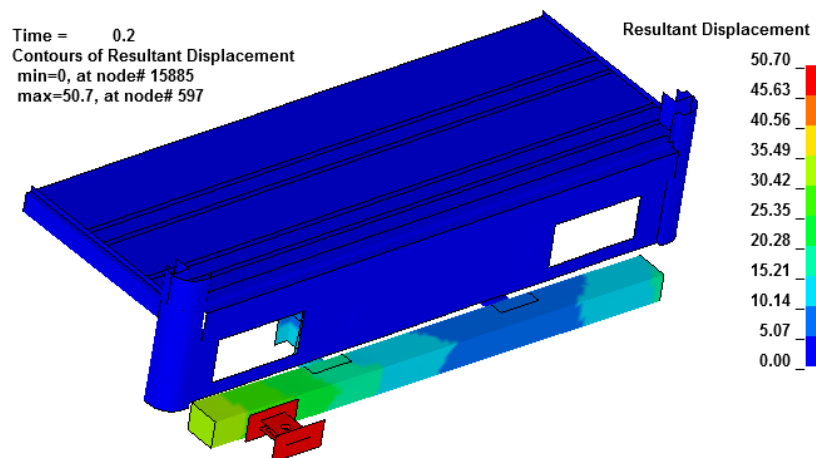


Figura 4.94 Máximo desplazamiento después de aplicar la carga P1

Fuente: Autor

El valor de deformación plástica para el valor correspondiente del esfuerzo de Von Mises se muestra en la Figura 4.95 y 4.96.

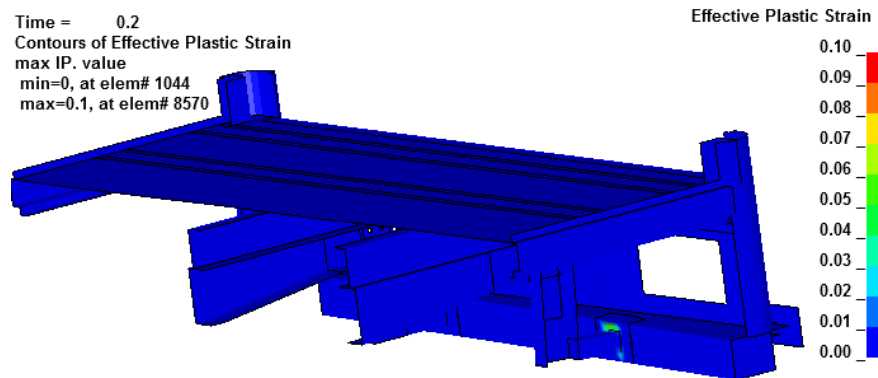


Figura 4.95 Deformación plástica
Fuente: Autor

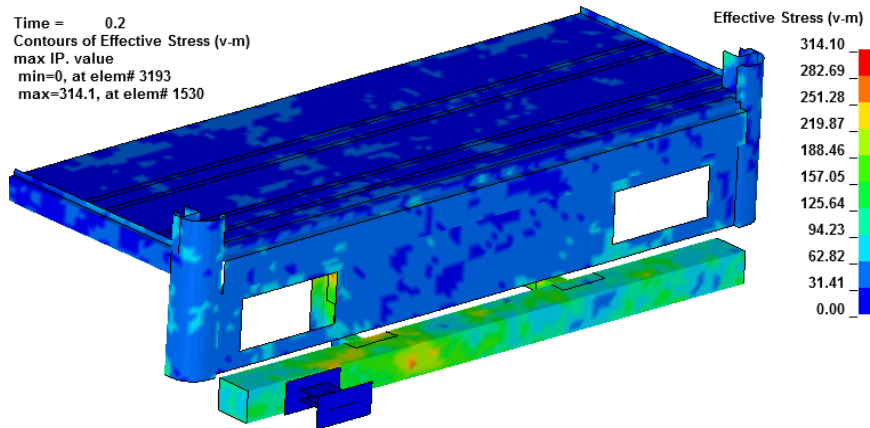


Figura 4.96 Esfuerzo de Von Mises
Fuente: Autor

De los resultados obtenidos, se tiene un valor de tensión máxima de 314,10 MPa. En la Figura 4.96 se observa que la tensión recae sobre el canal U del lado izquierdo del paragolpes. Se determina que el dispositivo propuesto al aplicar una carga en el punto P1 es seguro.

Ensayo 2

Para este ensayo, se aplica la carga P2=36774 N a una distancia de 350 mm desde el centro del dispositivo de protección de acuerdo al reglamento.

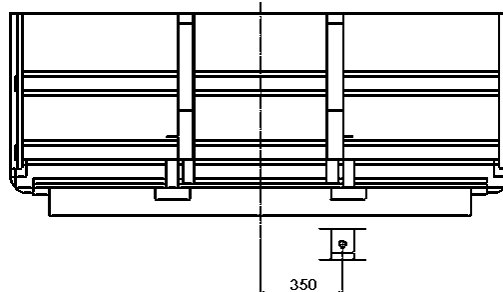


Figura 4.97 Distancia a la que se debe aplicar la carga P2

Fuente: Autor

El dispositivo de protección posterior después de aplicar la carga P2 se desplaza 54,20 mm, por lo cual, cumple con el parámetro de no superar un desplazamiento máximo de 400 mm. (Ver Figura 4.98)

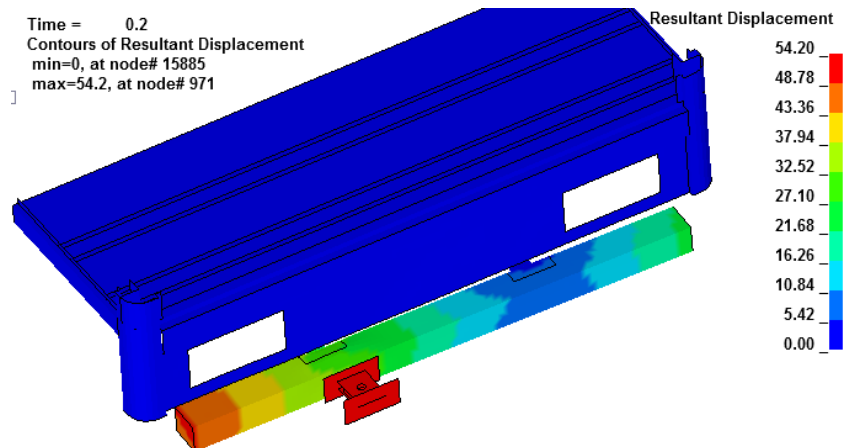


Figura 4.98 Máximo desplazamiento después de aplicar la carga P2

Fuente: Autor

El valor de deformación plástica para el valor correspondiente del esfuerzo de Von Mises se muestra en la Figura 4.99 y 4.100.

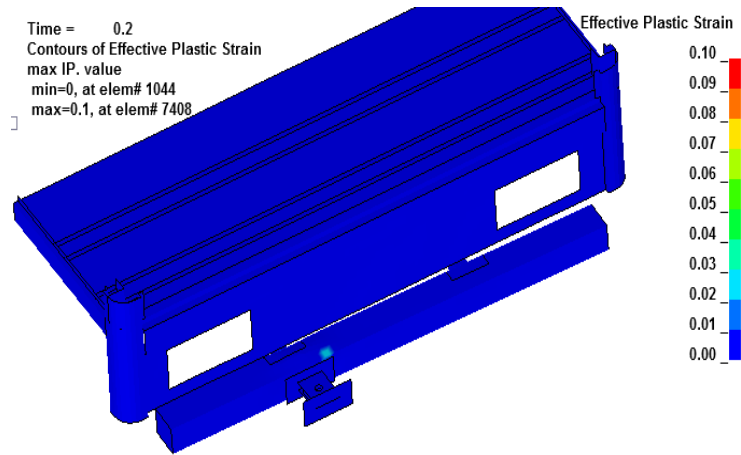


Figura 4.99 Deformación plástica
Fuente: Autor

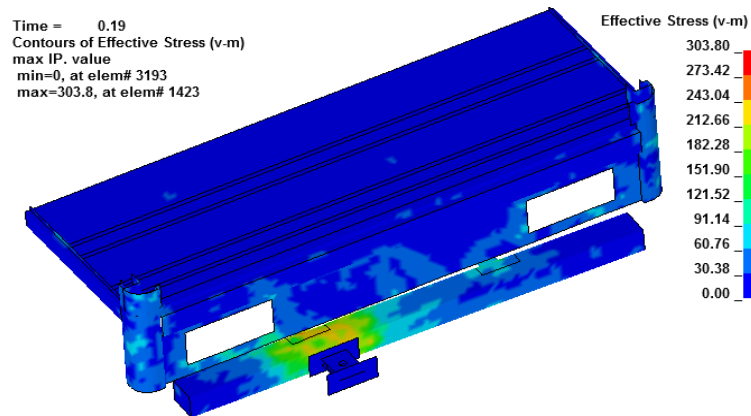


Figura 4.100 Esfuerzo de Von Mises
Fuente: Autor

De los resultados obtenidos, se tiene un valor de tensión máxima de 303,80 MPa. En la Figura 4.100 se observa que la tensión recae sobre el canal U del lado izquierdo del paragolpes. Se determina que el dispositivo propuesto al aplicar una carga en el punto P2 es seguro.

Ensayo 3

Para este ensayo se aplica una carga $P_3 = 18387 \text{ N}$ en el punto central del travesaño del dispositivo.

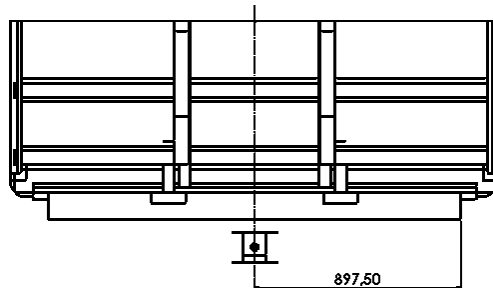


Figura 4.101 Distancia a la que se debe aplicar la carga P_3
Fuente: Autor

El dispositivo de protección posterior después de aplicar la carga P_3 se desplaza 32,40 mm, por lo cual, cumple con el parámetro de no superar un desplazamiento máximo de 400 mm. (Ver Figura 4.102)

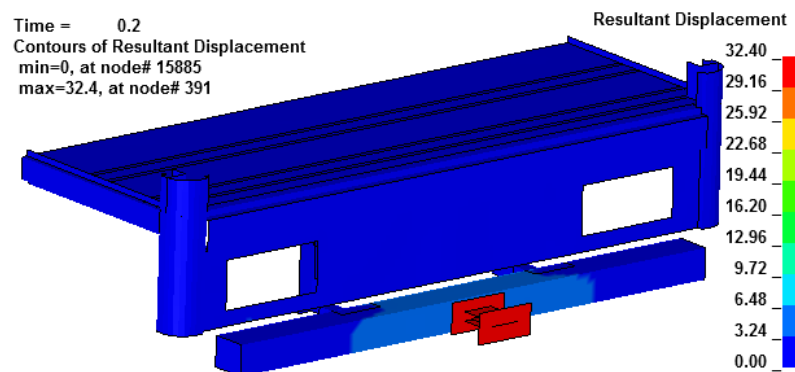


Figura 4.102 Máximo desplazamiento después de aplicar la carga P_3
Fuente: Autor

El valor de deformación plástica para el valor correspondiente del esfuerzo de Von Mises se muestra en la Figura 4.103 y 4.104.

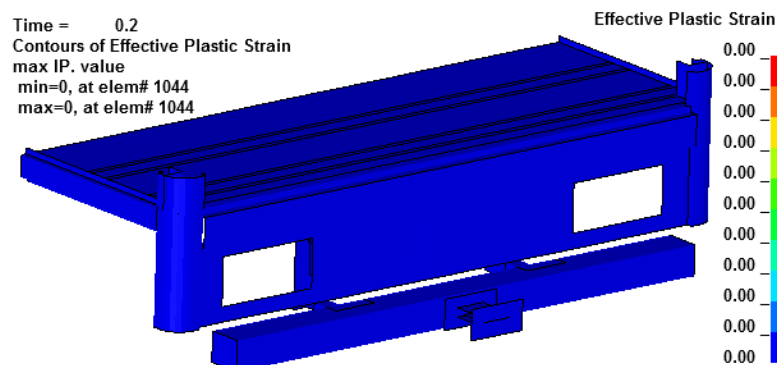


Figura 4.103 Deformación plástica
Fuente: Autor

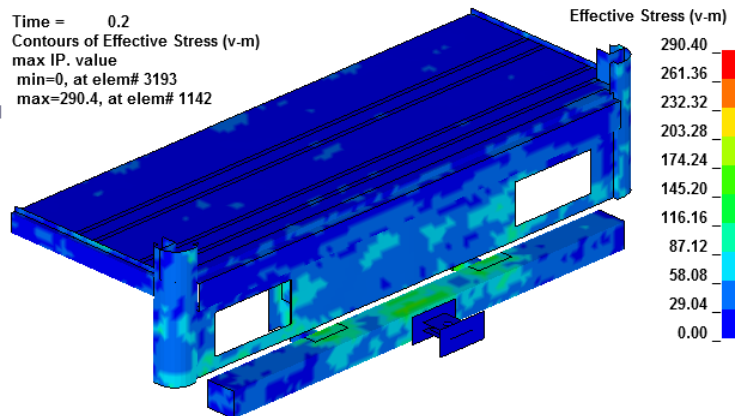


Figura 4.104 Esfuerzo de Von Mises
Fuente: Autor

De los resultados obtenidos, se tiene un valor de tensión máxima de 290,40 MPa. En la Figura 4.104 se observa que la tensión recae sobre ambos vástagos, debido que el punto de carga es simétrico. Se determina que el dispositivo propuesto al aplicar una carga en el punto P3 es seguro.

Discusión

Después de realizar el ensayo aplicando las tres cargas (por ser simétrico), el dispositivo en todos los casos obtuvo un esfuerzo menor que el esfuerzo ultimo a la tracción, por lo que se establece que el diseño propuesto cumple con todos los parámetros para su posterior homologación.

4.3 Verificación de hipótesis

Diseño Master Metal

Colisión Frontal

Tabla 4.15 Resumen de resultados de dispositivo de protección frontal después de colisión

Velocidad de impacto (Km/h)	Posición de impactador	Deformación del dispositivo (mm)	Cumple con prescripciones 6.2, 8.2 - 8.8, 10.2, 10.3 y 10.6-10.9 de R93 CEPE	Cumple con criterio de aceptación 10.5 de R93 CEPE
56 Km/h	Impactador 100% overlap	263,91	No	Si
56 Km/h	Impactador 50% overlap	219,53	No	Si

Fuente: Autor

Colisión Posterior

Tabla 4.16 Resumen de resultados de dispositivo de protección posterior después de colisión

Velocidad de impacto (Km/h)	Posición de impactador	Deformación del dispositivo (mm)	Cumple con prescripciones 7.1, 16.1, 16.2, 16.3, 25.1, 25.2, 25.3 y 25.4 de R58 CEPE	Cumple con criterio de aceptación 25.6 de R58 CEPE
56 Km/h	Impactador 100% overlap	557,11	No	No
56 Km/h	Impactador 50% overlap	575,67	No	No

Fuente: Autor

En los apartados 4.2.1.1, 4.2.1.2 del presente capítulo, se demuestra que, a diferentes impactos el dispositivo de protección **posterior** fabricado por la empresa MasterMetal **NO** cumple con el criterio de aceptación de la Regulación N°58 de la CEPE.

En los apartados 4.2.2.1, 4.2.2.2 del presente capítulo, se demuestra que, a diferentes impactos el dispositivo de protección **frontal** fabricado por la empresa MasterMetal **SI** cumple con el criterio de aceptación de la Regulación N°93 de la CEPE, pero se debe tomar muy en cuenta que a pesar de cumplir con dicho criterio, este dispositivo no puede ser homologado, ya que, no cumple con las dimensiones mínimas de diseño y montaje (prescripciones).

Diseño propuesto

Colisión Frontal

Tabla 4.17 Resumen de resultados de dispositivo de protección frontal después de colisión

Velocidad de impacto (Km/h)	Posición de impactador	Deformación del dispositivo (mm)	Cumple con prescripciones 6.2, 8.2 - 8.8, 10.2, 10.3 y 10.6-10.9 de R93 CEPE	Cumple con criterio de aceptación 10.5 de R93 CEPE
56 Km/h	Impactador 100% overlap	68,51	Si	Si
56 Km/h	Impactador 50% overlap	58,66	Si	Si

Fuente: Autor

Colisión Posterior

Tabla 4.18 Resumen de resultados de dispositivo de protección posterior después de colisión

Velocidad de impacto (Km/h)	Posición de impactador	Deformación del dispositivo (mm)	Cumple con prescripciones 7.1, 16.1, 16.2, 16.3, 25.1, 25.2, 25.3 y 25.4 de R58 CEPE	Cumple con criterio de aceptación 25.6 de R58 CEPE
56 Km/h	Impactador 100% overlap	312,58	Si	Si
56 Km/h	Impactador 50% overlap	274,85	Si	Si

Fuente: Autor

En los apartados 4.2.3.1, 4.2.3.2, 4.2.4.1 y 4.2.4.2 del presente capítulo, se demuestra que, a diferentes impactos los dispositivos de protección frontal y posterior propuestos **SI** cumplen con los criterios de aceptación de las Regulaciones N°98 y N°58 de la CEPE.

Ensayo de Impacto

Impacto Frontal

Tabla 4.19 Resumen de resultados de dispositivo de protección frontal después de ensayo de impacto

Puntos	Cargas (N)	Deformación del dispositivo (mm)	Factor de seguridad (> 1,5)	Cumple con las condiciones de ensayo y criterio de aceptación de Regulación N°93 CEPE
P1	36774	95,69	1,53	Si
P2	73549	44,57	1,57	Si
P3	36774	32,75	1,59	Si

Fuente: Autor

Impacto Posterior

Tabla 4.20 Resumen de resultados de dispositivo de protección posterior después ensayo de impacto

Puntos	Cargas (N)	Deformación del dispositivo (mm)	Factor de seguridad (> 1,5)	Cumple con las condiciones de ensayo y criterio de aceptación de Regulación N°58 CEPE
P1	18387	50,70	1,51	Si
P2	36774	54,20	1,56	Si
P3	18387	32,40	1,64	Si

Fuente: Autor

Con base a los resultados obtenidos de las simulaciones de los dispositivos de protección frontal y posterior en la estructura del camión, realizados por la empresa MasterMetal y las modificaciones propuestas, se procede a verificar si dichos dispositivos resisten a una colisión frontal y posterior en diferentes posiciones de impacto, cumpliendo con las prescripciones y condiciones de ensayo establecidas en cada regulación. Desde la Tabla 4.8 hasta la 4.13 se muestra los resultados de las simulaciones tanto para el diseño de la empresa como para el diseño propuesto.

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 4.12 y 4.13, se determina la validez del diseño propuesto tanto para el dispositivo de protección frontal y posterior, debido a que cumple con los parámetros y prescripciones de homologación de cada regulación, es decir, los dispositivos sometidos al ensayo de impacto de fuerzas y a una colisión en ambos casos su estructura resiste.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se determinó un sistema alternativo aplicable a los vehículos de categoría N2 fabricados por la empresa MasterMetal, como se muestra en los apartados 4.2.3 y 4.2.4 del capítulo 4, el cual cumple con las prescripciones de homologación establecidas por las regulaciones N°58 y N°93 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa.
- Se estudió algunos sistemas contra el empotramiento en los cuales se varió espesores, se aumentó elementos, se seleccionó diferentes materiales y se realizó simulaciones, con el fin de analizar el comportamiento de cada sistema, se tomó en cuenta factores importantes como el desplazamiento máximo y la absorción de energía, obteniendo como resultado un sistema idóneo que cumple con las condiciones descritas en cada regulación.
- Una vez realizado las modificaciones necesarias, el diseño del dispositivo de protección propuesto tanto frontal como posterior cumplen con los ensayos dispuestos en las regulaciones, además se ha demostrado que ambos dispositivos resisten a una colisión sin superar la tensión de rotura del material, por lo que estos cumplen con el objetivo de estudio planteado siendo válidos para ser homologados.
- Se demostró que un diseño que cumpla con los ensayos de homologación no siempre puede cumplir correctamente su función, debido a que en la realidad en una colisión contra un automóvil las tensiones que se generan en los dispositivos de protección son mucho mayores a las que se generan al aplicar las cargas de ensayo.

- Se validaron los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas en esta investigación, ya que cumplen con la estructura que debe tener la misma, en lo que se refiere al pre-procesado, procesado y post-procesado. Dentro del pre-procesado se consideró algunos parámetros como calidad de mallado, selección de material, cargas y condiciones de frontera, los mismos que se encuentran detallados en el apartado 4.1.6, mientras que los valores obtenidos en el mallado se encuentran dentro de los valores de calidad de malla recomendados, estos valores se detalla en la Tabla 2.3

5.2 Recomendaciones

- Para reducir el gasto computacional se recomienda modelar la geometría como superficie, ya que, al modelar con sólidos, al momento de realizar el análisis el tiempo estimado de simulación va a aumentar considerablemente.
- La calidad de malla va a depender de la continuidad de los elementos generados al crear la malla, por lo que se recomienda verificar dicha continuidad con el fin de que exista una distribución de esfuerzos uniforme durante el análisis.
- Para optimizar el tiempo de ejecución de las simulaciones se recomienda utilizar una computadora de alto rendimiento o acudir a laboratorios especializados con el fin de obtener los resultados deseados de una manera más rápida ya que si se realiza las simulaciones en una computadora convencional el proceso tardaría demasiado tiempo.
- Si el modelado del elemento a estudiar se lo realiza en un software CAD antes de exportarlo al software FEA se debe revisar todos los contactos que contenga la geometría y sobre todo la topología, ya que de esto va a depender la calidad de malla.
- En el montaje del dispositivo de protección frontal y posterior se recomienda realizar una soldadura calificada ya que todas las uniones de los elementos son puntos críticos al momento de un impacto.

MATERIALES DE REFERENCIA

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Bordegé, "La protección trasera contra el empotramiento," Ingeniería Técnica Industrial, Departamento de Mecánica, Escuela Universitaria Ingeniería Técnica Industrial, Zaragoza-España, 2011.
- [2] A. A. a. M. C. M. El-Gindy, "Development Of Heavy Truck Front Underride Protection Device," in *23rd Canadian Congress of Applied Mechanics*, Vancouver-Canada, 2011, pp. 92-95.
- [3] D. S. G. Joseph, G. Patil "Design and Optimization of the Rear Under-Run Protection Device Using LS-DYNA," *International Journal Of Engineering Research And Applications (IJERA)*, vol. 3, pp. 152-162, July-August 2013.
- [4] S. P. a. V. Narayana, "Crash Analysis of Front under Run Protection Device using Finite Element Analysis," *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, vol. 9, pp. 49-56, Septiembre-Octubre 2013.
- [5] E. Kogan, "¿En que país de America Latina mueren más personas en accidentes de tránsito?," in *El diario NY*, ed. New York, 2015, p. 1.
- [6] A. N. d. Tránsito. (2016, 20 de Septiembre). *Estadísticas de transporte terrestre y seguridad vial*. Available: <http://www.ant.gob.ec/index.php/noticias/estadisticas>
- [7] I. E. d. Normalización, "Elementos mínimos de seguridad para vehículos automotores," in *Reglamento Técnico Ecuatoriano 034*, ed. Quito-Ecuador, 2016, p. 16.
- [8] *Reglamento n°58 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas—Prescripciones uniformes relativas a la homologación de: Dispositivos de protección trasera contra el empotramiento*, (CEPE), 2008.
- [9] *Reglamento n°93 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas—Prescripciones uniformes relativas a la homologación de: Los dispositivos de protección delantera contra el empotramiento*, (CEPE), 2010.
- [10] D. Segovia. (2014, 24 de Enero). *Lesiones en accidentes de tránsito*. Available: <http://es.slideshare.net/Grone2021/lesiones-en-accidentes-de-transito>

- [11] Lockton. (2015, 18 de Junio) Lesiones comunes en accidentes. *Revista Cesvi*. Available: <http://www.lockton.com.mx/Website/media/10151/lesiones-m%C3%A1s-comunes-en-accidentes-de-tr%C3%A1nsito.pdf>
- [12] T. Fiso. (2014, 12 de Mayo). *Seguridad Pasiva (Fundación Iberoamericana de Seguridad y Salud Ocupacional ed.)*. Available: <http://www.fiso-web.org/Content/files/articulos-profesionales/4154.pdf>
- [13] P. Cordova. (2014, 17 de Marzo). *Todo Mecánica*. Available: <http://www.todomecanica.com/autoevaluacion-seguridadvehiculo.html>
- [14] D. Ávila. (2013, 14 de Marzo). *CirculaSeguro*. Available: <http://www.circulaseguro.com/que-es-el-dispositivo-antiempotramiento/>
- [15] L. Gaton. (2007, 31 de Julio). *Actualidad Motor*. Available: <https://www.actualidadmotor.com/nueva-normativa-antiempotramiento-para-los-camiones-en-2007/>
- [16] J. C. d. Caño, "Elasticidad," Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Valladolid, 2008.
- [17] S. Gil, "Introducción a la Teoría de la Elasticidad," Universidad Nacional de San Martín, Buenos Aires, 2009.
- [18] S. Agustina, "Las fuerzas y su medición: Ley de hooke," Escuela de Enseñanza Media N°221 "Malvinas Argenitas", Santa Fe, 2013.
- [19] D. Persico, "Teoria Lineal De La Elasticidad," Departamento de Estabilidad, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, 2008.
- [20] M. P. Cristian Gonzales. (2015, 21 de Agosto). *Física Albarracin*. Available: <http://fisica-albarracin.es.tl/M%F3dulo-de-Young-.htm>
- [21] C. Arroba, "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," Maestría de diseño mecánico Tesis de Maestría, Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica, Universidad Técnica De Ambato, Ambato-Ecuador, 2013.
- [22] D. d. F. A. III. (2010, 05 de Noviembre). *La Place*. Available: http://laplace.us.es/wiki/index.php/Colisiones_de_dos_part%C3%ADculas#Conservaci.C3.B3n_de_la_energ.C3.ADA
- [23] O. Nave. (2008, 15 de Marzo). *HyperPhysics Georgia State Univeristy*. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/flobj.html>

- [24] W. Riley, *Ingeniería Mecánica: Dinámica*. Buenos Aires, 1994.
- [25] A. Bedford, *Dinámica: mecánica para ingeniería*. Bogota, 1998.
- [26] A. Atalaya. (2010, 17 de Octubre). *Ensayo de tracción del Acero*. Available: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/10/ensayo-de-traccion-del-acero.html>
- [27] J. Capmany, "Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales," Universidad Politécnica de Valencia, 08 de Julio 2013.
- [28] INEN, "Ensayo de tracción para materiales metálicos a temperatura ambiente," in *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 109:2009*, ed. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009, p. 43.
- [29] UNAM, "Conceptos Básicos del Método por Elemento Finito," Universidad Nacional Autónoma de México, D.F México, 2011.
- [30] A. Jiménez, "Análisis y optimización con interacción de Dummy, de la carrocería del automóvil "Tubolare SAND CAR" de Tecnoidea SA de CV, en impacto frontal empleando el método de elementos finitos en ALGOR FEA, mediante la simulación de eventos mecánicos," Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de las Américas Puebla, Cholula, Puebla, México, 2011.
- [31] J. Ramirez, "Introducción Al Método De Los Elementos Finitos," Instituto de Investigación Tecnológica, 15 de Febrero, 2016.
- [32] J. Albuja. (2013, 13 de Octubre). *Análisis no lineal*. Available: ftp://ceres.udc.es/Doctorado/Estructuras2/analisis_no_lineal/proceso_constructivo_pushover_dinamico/T3_1_Dinl.pdf
- [33] B. Blas. (2011, 05 de Diciembre). *Análisis no lineal avanzado con femap y nx nastran*. Available: <https://iberisa.wordpress.com/2011/12/05/analisis-no-lineal-avanzado-con-femap-y-nx-nastran-sol601701/>
- [34] J. Pozo, "Propuesta de procedimientos de análisis y de diseño de superestructuras de autobuses," Universidad Nacional Autónoma de México, D.F México, 2014.
- [35] D. Hutton, *Fundamental of Finite Element Analysis*. New York: McGraw-Hill, 2004.
- [36] O. Zienkiewics, *El método de los elementos finitos*. Barcelona: Reverte S.A, 1982.

- [37] L. Perez, "Análisis estructural de chasis de trailer tipo grillo," Ingeniero Mecánico, Departamento De Ingeniería Mecánica, Universidad EAFIT, Medellín, 2010.
- [38] Albratos. (2016, Junio 08). *Simulación computacional: Una herramienta indispensable para la solución de sus problemas de ingeniería*. Available: <http://albatros-ing.com/simulacion-computacional-una-herramienta-indispensable-para-la-solucion-de-sus-problemas-de-ingenieria/>
- [39] F. Gabaldón, "MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS. Preproceso y Postproceso de Resultados," Madrid2007.
- [40] C. Corredor, "Análisis estructural de las celdas de combustión, del componente rotativo de la cámara de combustión a volumen constante de un motor turbofan, utilizando método de elementos finitos," Ingeniería Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Buenaventura, Bogotá, 2010.
- [41] J. H. E. Sanaguano, "Estudio del comportamiento de fluidos de una micro central hidroeléctrica gravitacional de vórtice, mediante la dinámica computacional de fluidos de alto rendimiento, para la generación de energía eléctrica y la implementación de un prototipo," Ingeniería Electromecánica, Departamento De Eléctrica Y Electrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga-Ecuador, 2016.
- [42] C. B. Felipe Gil, "Simulación Por Medio De Dinámica Computacional De Fluidos Del Rotor Eólico Un-V1 De Diseño Bioinspirado Desarrollado Por La Universidad Nacional De Colombia," Ingeniería Aeronáutica, Facultad De Ingeniería, Universidad De San Buenaventura, Bogotá, 2014.
- [43] ANSYS Inc. (2013, Junio 08). *ANSYS Meshing User's Guide*. Available: <http://148.204.81.206/Ansys/150/ANSYS%20Meshing%20Users%20Guide.pdf>
- [44] INEN, "Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2656: 2012," in *Clasificación Vehicular*, ed. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012, p. 15.
- [45] Chevrolet, "Ficha Técnica Chevrolet NPR " 2013.
- [46] *Reglamento n o 94 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) — Prescripciones uniformes sobre la homologación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión frontal (CEPE)*, 2012.
- [47] G. U. a. V. Shinde, "Design And Enhancement Of Rear Under-Run Protection Device For 15 Tonne Capacity HCV," *International Journal of Recent*

Research in Civil and Mechanical Engineering (IJRRCME), vol. 2, pp. 200-212, April-September 2015.

- [48] T. MacDonald, "Front Underride Protection Devices: Methods For Design And Testing," Master of Applied Science Thesis of Master, Faculty of Engineering and Applied Science, University of Ontario Institute of Technology, Ontario-Canada, 2014.
- [49] A. Remache, "Estudio de los anclajes de asientos de autobús en un impacto frontal para determinar las deformaciones y esfuerzos máximos en la empresa Miviltech soluciones industriales S.A," Ingeniera Mecánica, Tesis de grado, Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica, Universidad Técnica De Ambato, Ambato-Ecuador, 2015.
- [50] J. Cepeda, "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., Monterrey, México, 2011.
- [51] MatWeb. (2016, 14 de Febrero). *MatWeb Material Property Data*. Available: <http://www.matweb.com/search/QuickText.aspx?SearchText=a36>

ANEXOS

ANEXO A1: Reglamento N°58 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE)- Prescripciones uniformes relativas a la homologación de dispositivos de protección trasera contra el empotramiento.

30.8.2008

ES

Diario Oficial de la Unión Europea

L 232/13

ACTOS ADOPTADOS POR ÓRGANOS CREADOS POR ACUERDOS INTERNACIONALES

Sólo los textos originales de la CEPE tienen efectos jurídicos con arreglo al 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 TRANS/WP.29/143, disponible en:
<http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29wgct/wp29fdocct.html>

Reglamento nº 58 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) — Prescripciones uniformes relativas a la homologación de:

I. Dispositivos de protección trasera contra el empotramiento

II. Vehículos en lo que concierne al montaje de un dispositivo de protección trasera contra el empotramiento de un tipo homologado

III. Vehículos en lo que concierne a su protección trasera contra el empotramiento

Revisión 2

Incorpora todo el texto válido hasta:

la serie 02 de enmiendas, con fecha de entrada en vigor: 11 de julio de 2008

1. ÁMBITO DE APLICACIÓN

1.1. El presente Reglamento se aplicará a:

1.1.1. PARTE I: los dispositivos de protección trasera contra el empotramiento destinados a su instalación en los vehículos de las categorías N₂, N₃, O₃ y O₄ ⁽¹⁾;

1.1.2. PARTE II: la instalación en vehículos de las categorías N₂, N₃, O₃ y O₄ ⁽¹⁾ de dispositivos de protección trasera contra el empotramiento previamente homologados conforme a la parte I del presente Reglamento;

1.1.3. PARTE III: los vehículos de las categorías N₂, N₃, O₃ y O₄ ⁽¹⁾ equipados con un dispositivo de protección trasera contra el empotramiento que no haya sido homologado por separado con arreglo a la parte I del presente Reglamento o que esté diseñado o equipado de tal manera que pueda considerarse que sus componentes cumplen total o parcialmente la función del dispositivo de protección trasera contra el empotramiento.

1.2. El presente Reglamento no se aplicará a:

1.2.1. las unidades de tracción de los vehículos articulados;

1.2.2. los remolques especialmente proyectados y contruidos para el transporte de cargas muy largas, de longitud indivisible, tales como vigas, barras de acero, etc.;

1.2.3. los vehículos en los que cualquier dispositivo de protección trasera contra el empotramiento sea incompatible con su utilización.

2. OBJETIVO

El presente Reglamento tiene por objeto ofrecer a los vehículos citados en el punto 1 del presente Reglamento una protección eficaz contra el empotramiento en caso de choque trasero con los vehículos de las categorías M₁ y N₁ ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Con arreglo a la definición de la Resolución consolidada sobre la construcción de vehículos (R.E.3), anexo 7 (documento TRANS/WP.29/78/Rev.1/Amend.2, modificado en último lugar por el documento Amend.4).

3. DEFINICIONES COMUNES DE LAS PARTES I, II Y III
- 3.1. A efectos del presente Reglamento, se entenderá por:
- 3.1.1. «masa en vacío», la masa del vehículo en orden de marcha, sin ocupantes y sin carga, pero completo en cuanto al carburante, el líquido de refrigeración, los lubricantes, las herramientas y la rueda de recambio, si el fabricante del vehículo los suministra como equipo estándar;
- 3.1.2. «masa máxima», la masa máxima técnicamente admisible declarada por el fabricante del vehículo (dicha masa puede ser superior a la «masa admisible máxima» establecida por la administración nacional);
- 3.1.3. Un dispositivo de protección trasera contra el empotramiento consistirá normalmente en un travesaño y en elementos de conexión a los largueros del bastidor o a otros elementos de la estructura del vehículo.

PARTE E HOMOLOGACIÓN DE DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN TRASERA CONTRA EL EMPOTRAMIENTO

4. DEFINICIONES
- 4.1. A efectos de la parte I del presente Reglamento, se entenderá por:
- 4.1.1. «homologación de un dispositivo de protección trasera contra el empotramiento»: la homologación de un tipo de dispositivo de protección trasera contra el empotramiento según las prescripciones definidas en el punto 7 siguiente;
- 4.1.2. «tipo de dispositivo de protección trasera contra el empotramiento»: dispositivos que no presentan entre sí diferencias en cuanto a características esenciales como la forma, las dimensiones, las fijaciones, los materiales y las marcas mencionadas en el punto 5.2.2 siguiente.
5. SOLICITUD DE HOMOLOGACIÓN
- 5.1. La solicitud de homologación de un tipo de vehículo deberá presentarla el fabricante del vehículo o su representante debidamente acreditado.
- 5.2. La solicitud de cada tipo de dispositivo de protección trasera contra el empotramiento irá acompañada de:
- 5.2.1. documentación, por triplicado, que describa las características técnicas del dispositivo de protección trasera contra el empotramiento: dimensiones, forma, materiales constitutivos y su método de montaje;
- 5.2.2. una muestra del tipo de dispositivo de protección trasera contra el empotramiento: todas las piezas principales de la muestra llevarán, de forma clara e indeleble, la denominación comercial o la marca comercial del solicitante y la designación del tipo.
- 5.3. Se presentará al servicio técnico encargado de efectuar los ensayos de homologación un dispositivo de protección trasera contra el empotramiento representativo del tipo cuya homologación se solicita.
- 5.4. La autoridad competente comprobará la existencia de disposiciones adecuadas que garanticen un control eficaz de la conformidad de la producción previamente a la concesión de la homologación.
6. HOMOLOGACIÓN
- 6.1. Si el dispositivo de protección trasera contra el empotramiento presentado para su homologación con arreglo al presente Reglamento satisface las prescripciones que se exponen en el punto 7, se concederá la homologación de dicho tipo de dispositivo de protección trasera contra el empotramiento.
- 6.2. Se asignará un número de homologación a cada tipo homologado. Los dos primeros dígitos (actualmente 02, que corresponden a la serie 02 de enmiendas) indicarán la serie de enmiendas 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 asignará el mismo número a otro tipo de dispositivo de protección trasera contra el empotramiento.

- 6.3. La concesión, extensión o denegación de la homologación de un tipo de dispositivo de protección trasera contra el empotramiento con arreglo al presente Reglamento se comunicará a las partes del Acuerdo de 1958 que apliquen el presente Reglamento mediante un formulario que se ajustará al modelo que figura en el anexo 1 del presente Reglamento.
- 6.4. Se colocará una marca de homologación internacional, de manera visible y en un lugar fácilmente accesible especificado en el formulario de homologación, en cada dispositivo protección trasera contra el empotramiento que se ajuste a un tipo de dispositivo homologado de protección trasera contra el empotramiento con arreglo al presente Reglamento, que consistirá en:
- 6.4.1. la letra mayúscula «E» dentro de un círculo seguida del número que identifica al país emisor de la homologación (?);
- 6.4.2. 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 punto 6.4.1.
- 6.5. La marca de homologación aparecerá claramente legible y será indeleble.
- 6.6. El anexo 4 del presente Reglamento proporciona ejemplos de disposición de las marcas de homologación.
7. PRESCRIPCIONES
- 7.1. La altura del perfil del travesaño deberá ser de, al menos, 100 mm. Los extremos laterales del travesaño no deberán estar curvados hacia atrás, ni presentar ningún borde cortante hacia el exterior, dicha condición se cumplirá cuando los extremos laterales del travesaño presenten el exterior redondeado, con un radio de curvatura mínimo de 2,5 mm.
- 7.2. El dispositivo de protección trasera contra el empotramiento podrá estar diseñado de forma que tenga varias posiciones en la parte trasera del vehículo. En tal caso, deberá garantizarse, en posición de servicio, un sistema de bloqueo que impida toda modificación involuntaria de posición. La fuerza aplicada por el operador para cambiar la posición del dispositivo no superará los 40 daN.
- 7.3. El dispositivo de protección trasera contra el empotramiento ofrecerá una resistencia suficiente a las fuerzas aplicadas paralelamente al eje longitudinal del vehículo. (Para verificarlo, se seguirá el procedimiento y las condiciones de ensayo definidas en el anexo 5 del presente Reglamento). La deformación horizontal máxima del dispositivo de protección trasera contra el empotramiento tras la aplicación de las fuerzas de ensayo que se especifican en el anexo 5 se registrará en la notificación de homologación (punto 8 del anexo 1).
- 7.4. En los vehículos equipados con una plataforma elevadora en la parte trasera, el dispositivo de protección contra el empotramiento podrá interrumpirse a efectos del mecanismo. En este caso se aplicarán los siguientes requisitos especiales:
- 7.4.1. la distancia lateral máxima entre los elementos del dispositivo de protección contra el empotramiento y los elementos de la plataforma elevadora, que se moverán durante la interrupción cuando se accione dicha plataforma y que hacen que la interrupción sea necesaria, no podrá superar los 2,5 cm;

- 23.3.1. Podrá aceptarse para los ensayos un vehículo que no posea todos los componentes propios del tipo, siempre que el solicitante pueda demostrar a satisfacción de la autoridad competente que la ausencia de los componentes que se han omitido no afecta a los resultados de la comprobación, de conformidad con las prescripciones del presente Reglamento.
- 23.4. La autoridad competente comprobará la existencia de disposiciones adecuadas que garanticen un control eficaz de la conformidad de la producción previamente a la concesión de la homologación.
24. HOMOLOGACIÓN
- 24.1. Si el vehículo presentado para su homologación con arreglo al presente Reglamento satisface las prescripciones establecidas en el punto 25 anterior, se concederá la homologación de dicho tipo de vehículo.
- 24.2. Se asignará un número de homologación a cada tipo homologado. Los dos primeros dígitos (actualmente 02, que corresponden a la serie 02 de enmiendas) indicarán la serie de enmiendas 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 asignará el mismo número a otro tipo de vehículo.
- 24.3. La concesión, extensión o denegación de la homologación de un vehículo con arreglo al presente Reglamento se comunicará a las partes del Acuerdo de 1958 que apliquen el presente Reglamento mediante un formulario que se ajustará al modelo que figura en el anexo 3 del presente Reglamento.
- 24.4. 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:
- 24.4.1. la letra mayúscula «E» dentro de un círculo seguida del número que identifica al país emisor de la homologación (*);
- 24.4.2. e número del presente Reglamento, seguido de la letra «R», un guión y el número de homologación a la derecha del círculo establecido en el punto 24.4.1.
- 24.5. Si el vehículo se ajusta a un tipo homologado de acuerdo con uno o varios Reglamentos adjuntos al Acuerdo en el país que haya concedido la homologación con arreglo al presente Reglamento, no será necesario repetir el símbolo que se establece en el punto 24.4.1. En ese caso, el Reglamento, los números de homologación y los símbolos adicionales de todos los Reglamentos según los cuales se ha concedido la homologación en el país que la concedió de conformidad con el presente Reglamento se colocarán en columnas verticales a la derecha del símbolo exigido en el punto 24.4.1.
- 24.6. La marca de homologación aparecerá claramente legible y será indeleble.
- 24.7. La marca de homologación se situará en la placa informativa del vehículo colocada por el fabricante, o cerca de la misma.
- 24.8. El anexo 4 del presente Reglamento proporciona ejemplos de disposición de las marcas de homologación.
25. PRESCRIPCIONES APLICABLES A LA PROTECCIÓN TRASERA CONTRA EL EMPOTRAMIENTO
- 25.1. La altura sobre el suelo respecto a la parte inferior de la protección trasera contra el empotramiento, incluso cuando el vehículo esté vacío, no superará los 550 mm en toda su anchura.
- 25.2. La protección trasera contra el empotramiento se montará lo más cerca posible de la parte trasera del vehículo.

- 25.3. La anchura de la protección trasera contra el empotramiento no superará en ningún punto la del eje trasero, medida en los puntos extremos de las ruedas, exceptuando la dilatación del neumático en la proximidad del suelo, ni será inferior a ésta en más de 100 mm a cada lado. Cuando existan varios ejes traseros, la anchura que debe tenerse en cuenta será la del eje trasero más ancho. En aquellos casos en los que el dispositivo esté contenido o incluido en la carrocería del vehículo, que supere la anchura del eje trasero, no se aplicará el requisito de que la anchura de la protección trasera contra el empotramiento no deberá superar la anchura del eje trasero.
- 25.4. La altura del perfil de la protección trasera contra el empotramiento no será inferior a 100 mm. Los extremos laterales de la protección trasera contra el empotramiento no estarán curvados hacia atrás ni presentarán ningún borde cortante hacia el exterior; dicha condición se cumplirá cuando los extremos laterales de la protección trasera contra el empotramiento presenten el exterior redondeado con un radio de curvatura mínimo de 2,5 mm.
- 25.5. La protección trasera contra el empotramiento podrá estar diseñada de forma que tenga varias posiciones en la parte trasera del vehículo. En tal caso, deberá garantizarse, en posición de servicio, un sistema de bloqueo que impida toda modificación involuntaria de posición. La fuerza aplicada por el operador para cambiar la posición de la protección trasera contra el empotramiento no superará los 40 daN.
- 25.6. La protección trasera contra el empotramiento ofrecerá una resistencia suficiente a las fuerzas aplicadas paralelamente al eje longitudinal del vehículo y estará conectado, en posición de servicio, a los largueros del bastidor del vehículo o a aquello que haga sus veces. Se considerará cumplido este requisito cuando se demuestre que, durante la aplicación de las fuerzas descritas en el anexo 5 y después de ésta, la distancia horizontal entre la parte trasera de la protección trasera contra el empotramiento y el extremo de la parte trasera del vehículo, incluido cualquier mecanismo de plataforma elevadora, no supera los 400 mm en ninguno de los puntos en los que se aplicaron las fuerzas de ensayo. Dicha distancia se medirá con el vehículo vacío y excluyendo toda parte del mismo situada a más de 2 m del suelo.
- 25.7. No se requerirá la realización de un ensayo práctico cuando se pueda demostrar mediante cálculo que se cumplen las prescripciones establecidas en el punto 3 del anexo 5. Cuando se realice un ensayo práctico, el dispositivo se fijará a los largueros del chasis del vehículo, a una parte significativa de éstos o a otros elementos de la estructura del vehículo.
- 25.8. En los vehículos equipados con una plataforma elevadora en la parte trasera, el dispositivo de protección contra el empotramiento podrá interrumpirse a efectos del mecanismo. En este caso se aplicarán los siguientes requisitos especiales:
- 25.8.1. la distancia lateral máxima entre los elementos del dispositivo de protección contra el empotramiento y los elementos de la plataforma elevadora, que se moverán durante la interrupción cuando se accione dicha plataforma y que hacen que la interrupción sea necesaria, no podrá superar los 2,5 cm;
- 25.8.2. cada elemento del dispositivo de protección contra el empotramiento, incluidos los situados al exterior del mecanismo de elevación, en su caso, deberán disponer de una superficie efectiva mínima, en cada caso, de 350 cm².
- No obstante, en el caso de vehículos con una anchura inferior a 2 000 mm en los que sea imposible cumplir el requisito anterior, se podrá reducir la superficie efectiva a condición de que se respeten los criterios relativos a la resistencia.
26. CONFORMIDAD DE LA PRODUCCIÓN
- Los procedimientos de conformidad de la producción se ajustarán a lo establecido en el Acuerdo, apéndice 2 (E/ECE/324-E/ECE/TRANS/505/Rev.2), con los requisitos siguientes:
- 26.1. Todo vehículo homologado con arreglo al presente Reglamento será fabricado de conformidad con el tipo homologado cumpliendo las prescripciones expuestas en el punto 25 anterior.

ANEXO 5

CONDICIONES Y PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO

1. CONDICIONES DE ENSAYO DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN TRASERA CONTRA EL EMPOTRAMIENTO
 - 1.1 A petición del fabricante, el ensayo podrá efectuarse:
 - 1.1.1 en un vehículo del tipo para el que el dispositivo de protección trasera contra el empotramiento esté destinado; en este caso, se cumplirán las condiciones establecidas en el punto 2; o bien
 - 1.1.2 en un elemento del bastidor del tipo de vehículo para el que el dispositivo de protección trasera contra el empotramiento esté destinado; dicho elemento será representativo de los tipos de vehículo de que se trate; o bien
 - 1.1.3 en un banco de ensayo.
 - 1.2 En el caso de los puntos 1.1.2 y 1.1.3, los elementos utilizados para fijar el dispositivo de protección trasera contra el empotramiento al elemento del bastidor del vehículo o al banco equivaldrán a los que se utilizan para fijar el dispositivo cuando éste se haya instalado en el vehículo.
 - 1.3 A petición del fabricante y con el consentimiento del servicio técnico, el procedimiento de ensayo descrito en el punto 3 podrá simularse mediante cálculos.
2. CONDICIONES DE ENSAYO DE LOS VEHÍCULOS
 - 2.1 El vehículo estará parado sobre una superficie horizontal, plana, rígida y lisa.
 - 2.2 Las ruedas delanteras estarán en posición recta.
 - 2.3 Los neumáticos estarán inflados a la presión recomendada por el fabricante del vehículo.
 - 2.4 Cuando sea necesario para obtener las fuerzas de ensayo prescritas en el punto 3.1 siguiente, el vehículo podrá ser sujetado por cualquier método, que el fabricante del vehículo especifique.
 - 2.5 Los vehículos equipados de un suspensión hidroneumática, hidráulica o neumática o de un dispositivo de corrección automática de la altura en función de la carga se someterán a ensayo con la suspensión o el dispositivo en las condiciones de marcha normal especificadas por el fabricante.
3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO
 - 3.1 Las prescripciones de los puntos 7.3 y 25.6 del presente Reglamento se comprobarán mediante mandriles de ensayo adecuados; las fuerzas correspondientes a los ensayos prescritos en los puntos 3.1.1 y 3.1.2 siguientes se aplicarán por separado y consecutivamente a través de una superficie que no excederá los 250 mm de alto (el fabricante indicará la altura exacta) y los 200 mm de ancho, con un radio de curvatura de 5 ± 1 mm en las aristas verticales. El fabricante determinará la distancia del suelo del centro de la superficie dentro de las líneas que delimiten horizontalmente el dispositivo. No obstante, cuando el ensayo se realice en un vehículo, la altura no superará los 600 mm cuando el vehículo esté vacío. El fabricante podrá especificar el orden en que se aplicarán las fuerzas.
 - 3.1.1 Se aplicará consecutivamente una fuerza horizontal de 100 kN o del 50 % de la fuerza generada por la masa máxima del vehículo, la que sea menor, a dos puntos situados simétricamente con respecto al eje medio del dispositivo o del vehículo, según corresponda, separados un mínimo de 700 mm y un máximo de 1 m. El fabricante especificará el emplazamiento exacto de los puntos de aplicación.
 - 3.1.2 En los casos previstos en los puntos 1.1.1 y 1.1.2 del presente anexo, se aplicará consecutivamente una fuerza horizontal de 50 kN o del 25 % de la fuerza generada por la masa máxima del vehículo, la que sea menor, a dos puntos situados a 300 ± 25 mm de los planos longitudinales tangentes a los puntos extremos exteriores de las ruedas del eje trasero y a un tercer punto situado en la línea que une a estos dos puntos, en el plano medio vertical del vehículo.

ANEXO A2: Reglamento N°93 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE)- Prescripciones uniformes relativas a la homologación de dispositivos de protección delantera contra el empotramiento.

Solo los textos originales de la CEPE surten efectos jurídicos con arreglo al 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 TRANS/WP.29/242, disponible en:

<http://www.uneca.org/trans/main/wp29/wp29regs/wp29reg/wp29fdoces.html>

Reglamento n° 93 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) — Prescripciones uniformes relativas a la homologación de:

- I. Los dispositivos de protección delantera contra el empotramiento
- II. Vehículos en lo que concierne al montaje de un dispositivo de protección delantera contra el empotramiento de un tipo homologado
- III. Vehículos en lo que concierne a su protección delantera contra el empotramiento

Fecha de entrada en vigor: 27 de febrero de 1994

ÍNDICE

REGLAMENTO

1. Ámbito de aplicación
 2. Objeto
 3. Definiciones
 4. Solicitud de homologación
- Parte I — Homologación de los dispositivos de protección delantera contra el empotramiento
5. Homologación de un dispositivo de protección delantera contra el empotramiento
 6. Requisitos aplicables a los dispositivos de protección delantera contra el empotramiento
- Parte II — Homologación de un vehículo en lo que concierne al montaje de un dispositivo de protección delantera contra el empotramiento de un tipo homologado
7. Homologación en lo que concierne al montaje de un dispositivo de protección delantera contra el empotramiento de un tipo homologado
 8. Requisitos aplicables al montaje de un dispositivo de protección delantera contra el empotramiento de un tipo homologado
- Parte III — Homologación de un vehículo en lo que concierne a su protección delantera contra el empotramiento
9. Homologación de un vehículo equipado con una protección delantera contra el empotramiento
 10. Requisitos aplicables a un vehículo equipado con una protección delantera contra el empotramiento

ANEXOS

- Anexo 1 — Notificación relativa a la homologación o a la extensión, denegación o retirada de la homologación, o al cese definitivo de la producción, de un tipo de dispositivo de protección delantera contra el empotramiento de conformidad con el Reglamento n° 93, parte I
- Anexo 2 — Notificación relativa a la homologación o a la extensión, denegación o retirada de la homologación, o al cese definitivo de la producción, de un tipo de vehículo en lo que concierne al montaje de un dispositivo de protección delantera contra el empotramiento de un tipo homologado de conformidad con el Reglamento n° 93, parte II
- Anexo 3 — Notificación relativa a la homologación o a la extensión, denegación o retirada de la homologación, o al cese definitivo de la producción, en lo que concierne a su protección delantera contra el empotramiento de conformidad con el Reglamento n° 93, parte III
- Anexo 4 — Esquemas de las marcas de homologación
- Anexo 5 — Condiciones y procedimientos de ensayo
- Anexo 6 — Conformidad de la producción y otros procedimientos administrativos

1. ÁMBITO DE APLICACIÓN
- 1.1. El presente Reglamento se aplica:
 - 1.1.1. PARTE I: a los dispositivos de protección delantera contra el empotramiento destinados a su instalación en vehículos de las categorías N_2 y N_3 ⁽¹⁾;
 - 1.1.2. PARTE II: al montaje sobre los vehículos de las categorías N_2 y N_3 ⁽¹⁾ de dispositivos de protección delantera contra el empotramiento previamente homologados conforme a la parte I del presente Reglamento;
 - 1.1.3. PARTE III: a los vehículos de las categorías N_2 y N_3 en lo que concierne a su protección delantera contra el empotramiento, equipados de un dispositivo de protección delantera contra el empotramiento que no haya sido homologado previamente por separado conforme a la parte I del presente Reglamento, o que esté concebido o equipado de tal manera que pueda considerarse que sus elementos reemplazan la función de un dispositivo de protección delantera contra el empotramiento.
- 1.2. Los vehículos de las categorías N_2 cuya masa máxima no exceda de 7,5 t, no deben cumplir más que con el requisito relativo a la distancia al suelo de 400 mm estipulada en el presente Reglamento.
- 1.3. Los requisitos del presente Reglamento no se aplican:
 - 1.3.1. a los vehículos todoterreno de las categorías N_2C y N_3C ⁽¹⁾;
 - 1.3.2. a los vehículos cuya utilización es incompatible con las disposiciones relativas a la protección delantera contra el empotramiento.
2. OBJETO
- El presente Reglamento tiene por objeto ofrecer a los vehículos de las categorías M_1 y N_1 ⁽¹⁾ una protección eficaz contra el empotramiento en caso de choques frontal con los vehículos citados en el punto 1 del presente Reglamento.
3. DEFINICIONES
- 3.1. Para los efectos del presente Reglamento, se entiende por:
 - 3.1.1. «masa máxima del vehículo»: la masa máxima técnicamente admisible, declarada por el fabricante, que puede ser superior a la «masa máxima autorizada» por la administración nacional;
 - 3.1.2. «peso máximo del vehículo»: la fuerza vertical (en newtons) que es necesario ejercer para soportar el citado vehículo cargado, a su masa máxima;
 - 3.1.3. «vehículo en vacío»: el vehículo en orden de marcha, desocupado y sin carga, pero con el depósito de carburante lleno, líquido de refrigeración, lubricante, herramientas y rueda de repuesto (si forma parte del equipo estándar suministrado por el fabricante del vehículo);
 - 3.1.4. «homologación de un dispositivo de protección delantera contra el empotramiento»: la homologación de un tipo de dispositivo de protección delantera contra el empotramiento respecto de los requisitos establecidos en el apartado 7;
 - 3.1.5. «tipo de dispositivo de protección delantera contra el empotramiento»: los dispositivos que no presenten diferencias en cuanto a las características esenciales tales como la forma, las dimensiones, las fijaciones, los materiales y las marcas mencionadas en el punto 4.2;
 - 3.1.6. «protección delantera contra el empotramiento»: la presencia en la parte delantera del vehículo:
 - 3.1.6.1. de un dispositivo especial de protección delantera contra el empotramiento, o bien
 - 3.1.6.2. de una parte de la carrocería, elementos del chasis u otros elementos que, debido a su forma y sus características, se puede considerar que cumplen la función del dispositivo de protección delantera contra el empotramiento;

⁽¹⁾ Véase la Resolución consolidada sobre la construcción de vehículos (RE 3, anexo 7) (documento TRANS/SC1/WP29/78/Amend. 3).

PARTE II

HOMOLOGACIÓN DE UN VEHÍCULO EN LO QUE CONCIERNE AL MONTAJE DE UN DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN DELANTERA CONTRA EL EMPOTRAMIENTO DE UN TIPO HOMOLOGADO

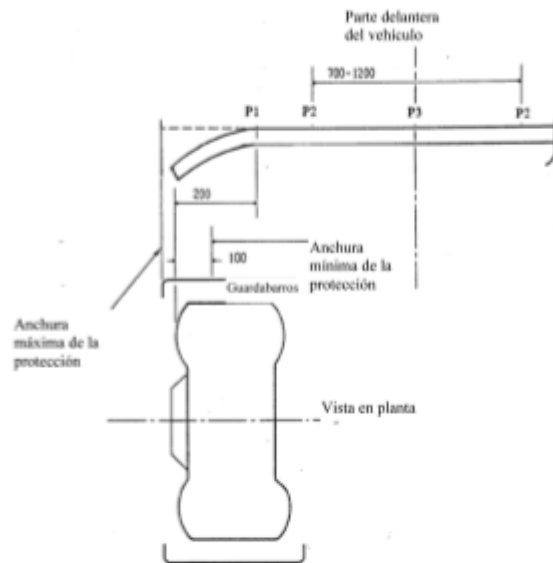
7. HOMOLOGACIÓN EN LO QUE CONCIERNE AL MONTAJE DE UN DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN DELANTERA CONTRA EL EMPOTRAMIENTO DE UN TIPO HOMOLOGADO
- 7.1. Si el vehículo sometido a la homologación en aplicación de esta parte del presente Reglamento está equipado de un dispositivo de protección delantera contra el empotramiento homologado y satisface los requisitos establecidos en el apartado 8, se concederá la homologación de este tipo de vehículo conforme a las disposiciones contenidas en el anexo 4.
- 7.2. La homologación, la extensión o la denegación de la homologación de un tipo de vehículo con arreglo al presente Reglamento se notificará a las Partes en el Acuerdo de 1958 que lo apliquen, por medio de una ficha conforme al modelo de su anexo 2.
8. REQUISITOS APLICABLES AL MONTAJE DE UN DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN DELANTERA CONTRA EL EMPOTRAMIENTO DE UN TIPO HOMOLOGADO
- 8.1. La masa máxima de un tipo de vehículo cuya homologación se solicita no debe exceder el valor indicado en la ficha de comunicación de la homologación de tipo de cada dispositivo de protección delantera contra el empotramiento homologado, destinado a ser instalado en el citado vehículo.
- 8.2. El vehículo sobre el que se monta el dispositivo de protección delantera contra el empotramiento debe satisfacer determinados requisitos dimensionales definidos en el anexo 5, teniendo en cuenta la información y las condiciones de ensayo que contiene la ficha de notificación del anexo 1 emitida con respecto al dispositivo de protección delantera contra el empotramiento.
- 8.3. El dispositivo de protección delantera contra el empotramiento debe montarse sobre el vehículo de tal forma que la distancia horizontal, medida hacia atrás, entre el extremo delantero del vehículo y la parte delantera del dispositivo, no exceda de 400 mm menos la deformación registrada (punto 9 del anexo 1) medida en cada uno de los puntos en los que se aplican las fuerzas de ensayo durante los ensayos de homologación de tipo del dispositivo de protección delantera contra el empotramiento conforme a las disposiciones de la parte I del presente Reglamento y registrada en la ficha de notificación de la homologación de tipo (véanse las figuras 1 y 2).
- 8.4. Para la medida de estas distancias, no se tomará en consideración ninguna parte del vehículo situada a más de 2 m del suelo.
- 8.5. La distancia al suelo máxima de la parte inferior del dispositivo de protección delantera contra el empotramiento no debe ser superior a 400 mm, como se especifica en el anexo 5, apartado 3, entre los dos puntos P_1 , con el dispositivo instalado. En el exterior de cada punto P_1 , esta altura puede ser superior a 400 mm, siempre que la parte inferior del dispositivo no esté por encima de un plano que la atraviese directamente por debajo del punto P_1 y forme una pendiente de 15° por encima de la horizontal (véase la figura 3).
- 8.6. La altura por encima del suelo de los puntos de aplicación de las fuerzas de ensayo aplicadas sobre el dispositivo de protección delantera contra el empotramiento conforme a la parte I del presente Reglamento y registrada en la ficha de notificación de la homologación de tipo (anexo 1, punto 8), no debe exceder de 445 mm, como se especifica en el anexo 5, apartado 3.
- 8.7. La distancia al suelo máxima con respecto a la parte inferior del dispositivo de protección delantera contra el empotramiento entre los dos puntos P_1 no debe ser superior a 450 mm, teniendo en cuenta su desplazamiento durante la aplicación de la carga de ensayo, con arreglo a lo dispuesto en la parte I.
- 8.8. La anchura del dispositivo de protección delantera contra el empotramiento no debe exceder, en ningún punto, la anchura de los guardabarros de las ruedas del eje delantero más extremo y no debe ser inferior en más de 100 mm por cada lado al eje delantero más extremo, medido en los puntos extremos exteriores de los neumáticos, con la exclusión de su abombamiento cerca del suelo (véase la figura 1), o inferior en más de 200 mm por cada lado medidos en los puntos exteriores extremos de los peldaños de acceso a la cabina del conductor.

PARTE III

HOMOLOGACIÓN DE UN VEHÍCULO EN LO QUE CONCIERNE A SU PROTECCIÓN DELANTERA CONTRA EL EMPOTRAMIENTO

9. **HOMOLOGACIÓN DE UN VEHÍCULO EQUIPADO CON UNA PROTECCIÓN DELANTERA CONTRA EL EMPOTRAMIENTO**
- 9.1. Si el vehículo sometido a homologación conforme al presente Reglamento está equipado con una protección delantera contra el empotramiento que satisface los requisitos establecidos en el apartado 10, se concederá la homologación de este tipo de vehículo conforme a las disposiciones contenidas en el anexo 4.
- 9.2. La homologación, la extensión o la denegación de la homologación de un tipo de vehículo, en aplicación del presente Reglamento, se notificará a las Partes en el Acuerdo de 1958 que lo apliquen por medio de una ficha conforme al modelo de su anexo 3.
10. **REQUISITOS APLICABLES A UN VEHÍCULO EQUIPADO CON UNA PROTECCIÓN DELANTERA CONTRA EL EMPOTRAMIENTO**
- 10.1. Se considera que cualquier vehículo de las categorías N_1 o N_2 satisfaga la condición definida en el apartado 2 siempre que la parte delantera de dicho vehículo esté equipada con un dispositivo de protección delantera contra el empotramiento que no haya sido homologado por separado conforme a la parte I del presente Reglamento, o su parte delantera esté concebida y/o equipada de tal manera que, por su forma y sus características, sus elementos constitutivos puedan considerarse sustitutivos del dispositivo de protección delantera contra el empotramiento. Se considera que los elementos cuya función combinada satisface los siguientes requisitos constituyen un dispositivo de protección delantera contra el empotramiento.
- 10.2. La protección delantera contra el empotramiento ofrecerá suficiente resistencia a las fuerzas aplicadas paralelamente al eje longitudinal del vehículo. Asimismo, esta protección deberá ajustarse a determinados requisitos dimensionales, lo que se verificará con arreglo a las condiciones y al procedimiento de ensayo que se definen en el anexo 5 del presente Reglamento.
- 10.3. Para una solicitud relativa a la parte III, la altura de sección del travesaño del dispositivo de protección delantera contra el empotramiento (que no ha sido homologado separadamente con arreglo a la parte I) no debe ser inferior a 100 mm en los vehículos de la categoría N_1 y a 120 mm en los vehículos de la categoría N_2 .
- 10.4. El dispositivo puede estar concebido de manera que pueda ocupar varias posiciones en la parte delantera del vehículo. En este caso, debe existir un método de bloqueo que garantice su inmovilización en la posición de funcionamiento e impida cualquier cambio accidental de posición. La fuerza necesaria que debe aplicar el operador para variar la posición del dispositivo no debe exceder de 40 daN.
- 10.5. La protección delantera contra el empotramiento debe tener una resistencia suficiente para que la distancia horizontal, medida hacia atrás, entre el extremo delantero del vehículo después de la aplicación de las fuerzas de ensayo (especificadas en el anexo) y la superficie de contacto del empujador de ensayo sobre el vehículo no exceda de 400 mm.
- 10.6. Para la medida de estas distancias no se tomará en consideración ninguna parte del vehículo situada a más de 2 m del suelo.
- 10.7. La distancia al suelo máxima de la parte inferior de la protección delantera contra el empotramiento no debe ser superior a 400 mm, como se especifica en el anexo 5, apartado 2, entre los dos puntos P_1 . En el exterior de cada punto P_1 esta altura puede ser superior a 400 mm, siempre que la parte inferior no esté por encima de un plano que la atraviese directamente por debajo del punto P_1 y forme una pendiente de 15° por encima de la horizontal (véase la figura 3).
- 10.8. La distancia al suelo máxima con respecto a la parte inferior de la protección delantera contra el empotramiento entre los dos puntos P_1 no debe ser superior a 450 mm, teniendo en cuenta el desplazamiento durante la aplicación de la carga de ensayo.
- 10.9. La anchura de la protección delantera contra el empotramiento no debe exceder, en ningún punto, la anchura de los guardabarros de las ruedas del eje delantero más extremo y no debe ser inferior en más de 100 mm por cada lado al eje delantero más extremo, medido en los puntos exteriores extremos de los neumáticos, con la exclusión de su abombamiento cerca del suelo (véase la figura 1), o inferior en más de 200 mm de cada lado, medidos en los puntos exteriores extremos de los peldaños de acceso a la cabina del conductor.

Figura 1



La protección delantera contra el empotramiento comprende normalmente un travesaño y soportes al chasis o a otros elementos de la estructura del vehículo.

Nota: La forma de dispositivo de protección delantera contra el empotramiento indicada en la figura solo se da a título de ejemplo.

Figura 2

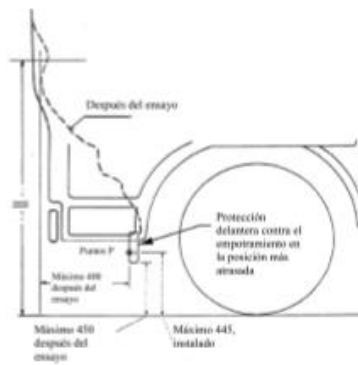
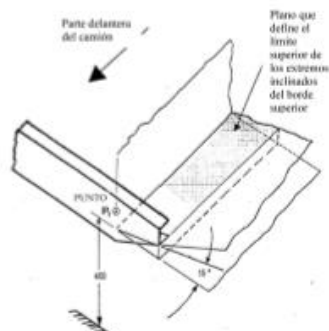


Figura 3



ANEXO 5

CONDICIONES Y PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO

1. CONDICIONES DE ENSAYO APLICABLES A LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN DELANTERA CONTRA EL EMPOTRAMIENTO
 - 1.1. A petición del fabricante, el ensayo puede efectuarse:
 - 1.1.1. bien sobre un vehículo del tipo al cual está destinado el dispositivo de protección delantera contra el empotramiento, en cuyo caso se deberán cumplir las condiciones establecidas en el apartado 1, o bien
 - 1.1.2. sobre un elemento del chasis del tipo de vehículo al cual está destinado el dispositivo de protección delantera contra el empotramiento; dicho elemento será representativo del tipo (o de los tipos) de vehículo de que se trate, o bien
 - 1.1.3. en un banco de ensayo.
 - 1.2. En lo que concierne a los párrafos 1.1.2 y 1.1.3, los elementos utilizados para sujetar el dispositivo de protección delantera contra el empotramiento a un elemento del chasis del vehículo o a un banco de ensayo deben ser equivalentes a los que se utilizan para mantener el dispositivo en su lugar una vez que ha sido montado sobre el vehículo.
 - 1.3. A petición del fabricante y con el consentimiento del servicio técnico, el procedimiento de ensayo descrito en el apartado 3 puede simularse por cálculos o cualquier otro método análogo, siempre que se demuestre su equivalencia.
2. CONDICIONES DE ENSAYO APLICABLES A LOS VEHÍCULOS
 - 2.1. Si fuera necesario para obtener las fuerzas de ensayo establecidas más adelante en el punto 3.1, puede sujetarse el vehículo por cualquier método; este método debe especificarse por el fabricante del vehículo.
 - 2.2. Las dimensiones deben registrarse mientras el vehículo se encuentra en las siguientes condiciones:
 - 2.2.1. no está cargado;
 - 2.2.2. está parado sobre una superficie horizontal, plana, rígida y lisa;
 - 2.2.3. sus ruedas delanteras están en posición de marcha en línea recta;
 - 2.2.4. los neumáticos están inflados a la presión recomendada por el fabricante del vehículo;
 - 2.2.5. los vehículos equipados de una suspensión hidroneumática, hidráulica o neumática, o de un dispositivo de nivelado automático en función de la carga, se ensayarán en las condiciones de marcha normal previstas por el fabricante.
3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO
 - 3.1. Los puntos F_1 están situados hasta a 200 mm de los planos longitudinales tangentes a los puntos exteriores superiores de las ruedas del eje delantero, excluyendo el abombamiento de los neumáticos cerca del suelo; los puntos F_2 son simétricos respecto al plano longitudinal medio del vehículo, a una distancia de entre 700 y 1 200 mm como máximo uno del otro. La posición exacta debe ser especificada por el fabricante.
 - 3.2. La altura desde el suelo de los puntos F_1 y F_2 estará definida por el fabricante del vehículo en las líneas que delimitan la superficie anterior del dispositivo. Sin embargo, la altura no debe exceder de 445 mm, cuando el vehículo está en vacío. F_2 es el plano vertical longitudinal medio del vehículo (véase la figura 1 del presente Reglamento).
 - 3.3. Las fuerzas de ensayo definidas a continuación deberán ser aplicadas en cada punto de ensayo, en ensayos independientes, sobre el mismo vehículo o dispositivo o, a petición del fabricante/agencia, sobre vehículos o dispositivos diferentes.
 - 3.3.1. Si la estructura y los elementos del vehículo que inciden en la protección delantera contra el empotramiento son esencialmente simétricos respecto a su plano longitudinal medio, los ensayos en los puntos F_1 y F_2 se efectuarán en un solo lado.

- 3.3.2. Durante el ensayo, las fuerzas se aplicarán lo más rápidamente posible y el dispositivo o el vehículo deberá soportar las fuerzas definidas en los párrafos siguientes durante al menos 0,1 segundos.
- 3.3.3. Una fuerza horizontal igual al 50 % del peso máximo del tipo o tipos de vehículo (previsto[0]), que no exceda de $80 \cdot 10^3$ N, se aplicará sucesivamente en los dos puntos P_1 .
- 3.3.4. Una fuerza horizontal igual al 100 % del peso máximo del tipo o tipos de vehículo (previsto[1]), que no exceda de $160 \cdot 10^3$ N, se aplicará sucesivamente en los dos puntos P_2 . Si el dispositivo es discontinuo y su sección transversal se ha reducido entre los dos puntos P_2 , los ensayos deberán continuar con la aplicación de una fuerza horizontal en el punto P_2 idéntica a la que se aplica en los puntos P_1 .
- 3.4. Los desplazamientos horizontales y verticales máximos de cada punto de ensayo durante la aplicación de las mencionadas fuerzas deben ser anotados y el valor más elevado debe figurar en la ficha de notificación.
- 3.5. Cada vez que se realice un ensayo práctico para verificar la conformidad con los requisitos anteriormente mencionados se deberán cumplir las siguientes condiciones:
- 3.5.1. para una solicitud relativa a la parte III, debe fijarse a los largueros del chasis del vehículo o a la parte que lo sustituya un dispositivo de protección delantera contra el arrojamiento (no homologado separadamente conforme a la parte I), o una estructura con unas funciones demostradas equivalentes;
- 3.5.2. las fuerzas prescritas serán aplicadas por empujadores articulados de manera apropiada (por ejemplo, por juntas universales) paralelamente al plano longitudinal medio del vehículo a través de una superficie de contacto que no exceda de 150 mm de altura y 400 mm de anchura (la altura y la anchura exactas deberán ser indicadas por el fabricante), que tenga un radio de curvatura de 5 ± 1 mm en las aristas verticales; el centro de la superficie debe situarse sucesivamente en los puntos P_1 , P_2 y P_2 .
-

ANEXO A3 Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034 Elementos mínimos de seguridad para vehículos automotores.



GOBIERNO NACIONAL DE
LA REPÚBLICA DEL ECUADOR



Servicio
Ecuatoriano
de Normalización

Marquesa Moreno 65-29 y
6 de Diciembre
Edificio INEN
www.normalizacion.ecuador.gob.ec
Quito | Ecuador

MODIFICATORIA 3 (2016-03-31)

RTE INEN 034 **ELEMENTOS MÍNIMOS DE SEGURIDAD PARA VEHÍCULOS AUTOMOTORES**

En el página 9, numeral 4.4.1:

Dice:

4.4.1. [] Este requisito es obligatorio para los vehículos a partir del año modelo 2018 y afecta a las categorías de vehículos que la reglamentación mencionada indica en su texto.

Debe Decir:

4.4.1 [] Este requisito es obligatorio para los vehículos a partir del año modelo 2020 y afecta a las categorías de vehículos que la reglamentación mencionada indica en su texto.

En la página 13, incluir el siguiente numeral:

4.21 Para el cumplimiento de los requisitos establecidos en este capítulo, se podrá aplicar la tabla que se encuentra en el Anexo B.

En la página 14, en el Capítulo 6, incluir las normas establecidas en el Anexo C.1, C.2, C.3 y C.4.

En la página 14, numeral 7.1:

Dice:

7.1 []

La demostración de la conformidad con el presente reglamento técnico se debe realizar a cada nuevo vehículo o lote de vehículos que ingrese al mercado ecuatoriano, mediante la presentación de un certificado de conformidad expedido por un organismo evaluador de la conformidad acreditado o designado, de acuerdo con lo que establece la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad.

Debe decir:

7.1 []

La demostración de la conformidad con el presente reglamento técnico se debe realizar a cada nuevo vehículo o lote de vehículos que ingrese al mercado ecuatoriano, mediante la presentación de los siguientes documentos:

a) Aprobación de tipo *Type approval* o carta de cumplimiento de los requisitos señalados en el presente reglamento por parte de un organismo reconocido por la ONU; o,

b) Certificado de evaluación de la conformidad emitido por un organismo de evaluación de la conformidad acreditado por el SAE o designado por el MIPRO, o informes de ensayo de

4.13 Parachoques frontal y posterior

4.13.1 Los vehículos automotores, excepto el chasis y motocicletas, deben disponer de parachoques frontal y posterior, respetando los diseños originales del fabricante. Los tractocamiones dispondrán únicamente del parachoques frontal.

4.13.2 Se prohíbe el uso de elementos de defensa adicionales a los originales del vehículo (tumba burros, aumentos a parachoques originales, ganchos o bolas, porta remolques no removibles que sobresalgan de la carrocería).

4.13.3 Los vehículos automotores deben cumplir con lo establecido en la Reglamentación Técnica GTR 9 "Pedestrian safety" – "Seguridad de peatones" vigente en su última versión. Este requisito es obligatorio a partir del año 2017.

4.14 Barras anti empotramientos posteriores para vehículos pesados.

4.14.1 Los vehículos automotores de categorías M3, N3 y O, deben estar contruidos y/o equipados de manera que ofrezcan protección eficaz en la parte ancha posterior contra la incrustación de vehículos livianos.

4.15 Protección para impacto frontal y lateral. Los vehículos automotores deben disponer de protección para impactos frontal y lateral.

4.15.1 Los vehículos automotores deben cumplir con los requisitos establecidos en la Reglamentación Técnica UNECE 94 "Prescripciones uniformes sobre la aprobación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión frontal." – "UNIFORM PROVISIONS CONCERNING THE APPROVAL OF VEHICLES WITH REGARD TO THE PROTECTION OF THE OCCUPANTS IN THE EVENT OF A FRONTAL COLLISION", vigente en su última versión para el cual fue homologado en el modelo en algún laboratorio acreditado para certificar el reglamento técnico mencionado.. Este requisito es obligatorio a partir del año 2014 y afecta a las categorías de vehículos que la reglamentación mencionada indica en su texto.

4.15.2 Los vehículos automotores deben cumplir con los requisitos establecidos en la Reglamentación Técnica UNECE 95 "Prescripciones uniformes sobre la aprobación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión lateral" – "UNIFORM PROVISIONS CONCERNING THE APPROVAL OF VEHICLES WITH REGARD TO THE PROTECTION OF THE OCCUPANTS IN THE EVENT OF A LATERAL COLLISION" vigente en su última versión para el cual fue homologado en el modelo en algún laboratorio acreditado para certificar el reglamento técnico mencionado. Este requisito es obligatorio a partir del año 2015 y afecta a las categorías de vehículos que la reglamentación mencionada indica en su texto.

4.16 Bolsas de aire (AIR BAGS).

4.16.1. Los vehículos deben incorporar al menos dos bolsas de aire (airbag) frontal y deben cumplir con lo establecido en la Reglamentación Técnica UNECE94 "Prescripciones uniformes sobre la homologación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión frontal." – "UNIFORM PROVISIONS CONCERNING THE APPROVAL OF VEHICLES WITH REGARD TO THE PROTECTION OF THE OCCUPANTS IN THE EVENT OF A FRONTAL COLLISION", de acuerdo a lo indicado en el punto 4.15.1.

4.16.2. Para la reposición de las bolsas de aire deben cumplir con lo establecido en la Reglamentación Técnica UNECE 114 "Prescripciones uniformes relativas a la aprobación de: I. Un módulo de airbag para un sistema de airbag de recambio, II. Un volante de

ANEXO A4 Extracto Reglamento N°95 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE)- Prescripciones uniformes relativas a la homologación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión lateral.

10.7.2015

ES

Diario Oficial de la Unión Europea

L 183/91

**ACTOS ADOPTADOS POR ÓRGANOS CREADOS MEDIANTE
ACUERDOS INTERNACIONALES**

Solo los textos originales de la CEPE tienen efectos jurídicos con arreglo al Derecho Internacional público. La situación y la fecha de entrada en vigor del presente Reglamento deben verificarse en la última versión del documento de la CEPE -TRANS/WP.29/2015, que puede consultarse en:

<http://www.uneca.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp296docst.html>

Reglamento n° 95 de la Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas — Prescripciones uniformes sobre la homologación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión lateral (2015/1095)

Incorpora todo el texto válido hasta:

El suplemento 4 de la serie 03 de modificaciones. Fecha de entrada en vigor: 10 de junio de 2014

INDICE

REGLAMENTO

1. **Ámbito de aplicación**
2. **Definiciones**
3. **Solicitud de homologación**
4. **Homologación**
5. **Especificaciones y ensayos**
6. **Modificación del 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. **Nombre y dirección de los servicios técnicos encargados de realizar los ensayos de homologación y de las autoridades de homologación de tipo**

ANEXOS

1. **Comunicación**
2. **Ejemplos de marcas de homologación**
3. **Procedimiento de determinación del punto H y del ángulo real del torso de las plazas de asiento en los automóviles**
4. **Procedimiento de ensayo de colisión**
5. **Características de la barrera deformable móvil**
6. **Descripción técnica del maniquí de colisión lateral**
7. **Instalación del maniquí de colisión lateral**
8. **Ensayo parcial**

Figura 1

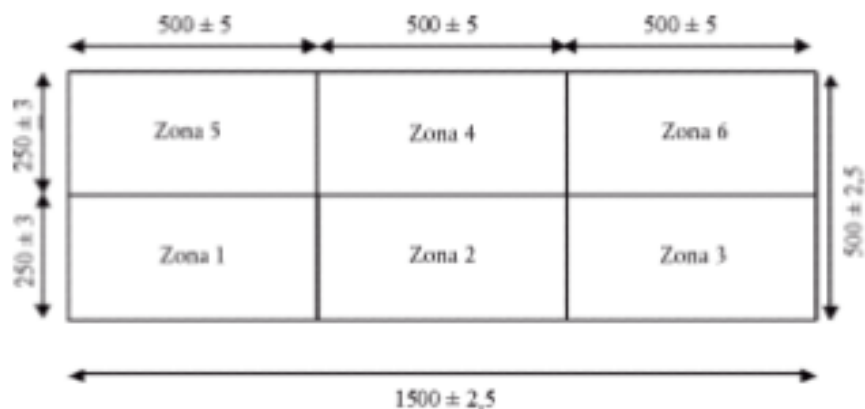
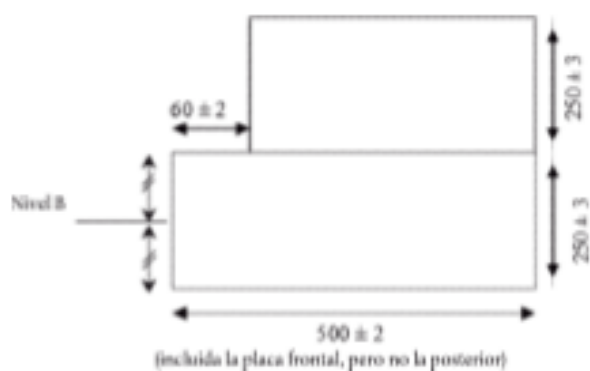
Diseño del impactador ⁽¹⁾

Figura 2

Parte superior del impactador



⁽¹⁾ Todas las dimensiones están en mm. Las tolerancias en las dimensiones de los bloques tienen en cuenta las dificultades de medición del bloque alveolar de aluminio. La tolerancia con respecto a la dimensión total del impactador es menor que con respecto a cada uno de los bloques, dado que los bloques alveolares pueden ajustarse, con solapamiento si es necesario, de forma que se obtengan unas dimensiones más exactas de la cara de impacto.

Figura 3

Orientación de la estructura alveolar de aluminio

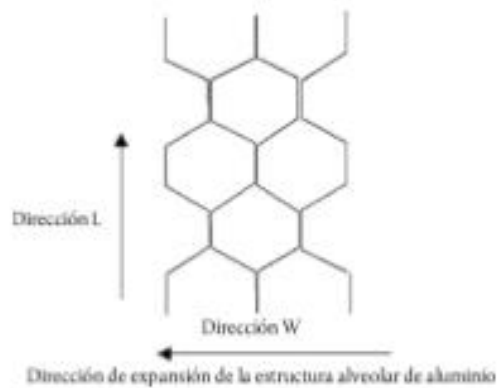


Figura 4

Dimensión de las células alveolares de aluminio

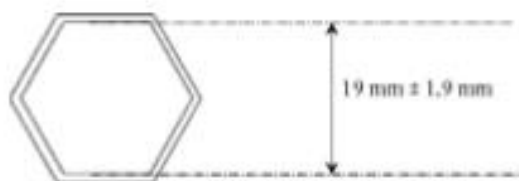


Figura 5

Diseño de la placa posterior

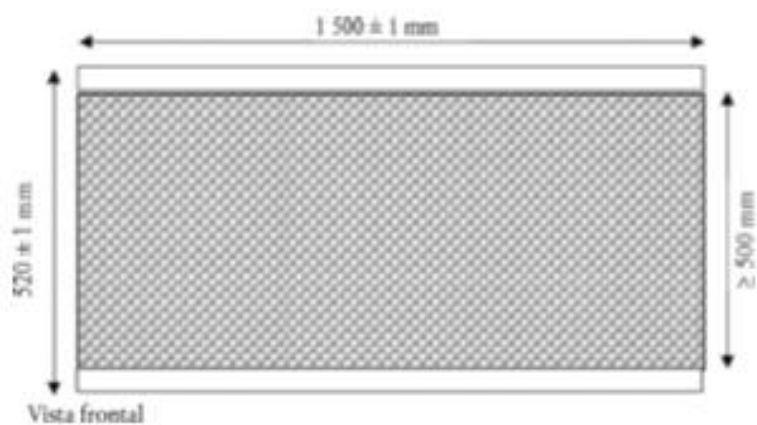


Figura 6

Fijación de la placa posterior al dispositivo de ventilación y a la placa frontal del carro

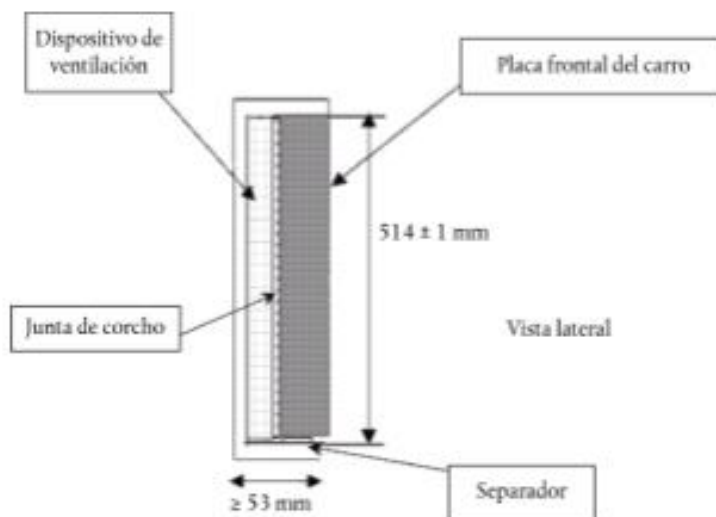
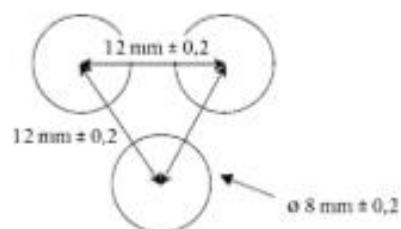
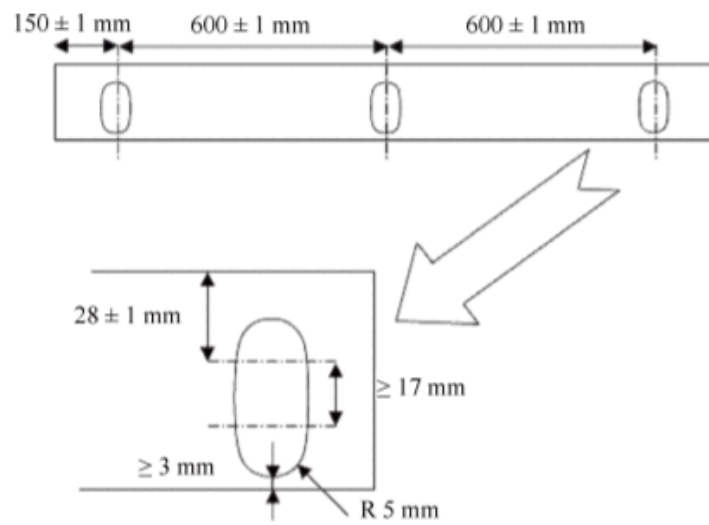


Figura 7

Separación de los orificios de ventilación de la placa posterior

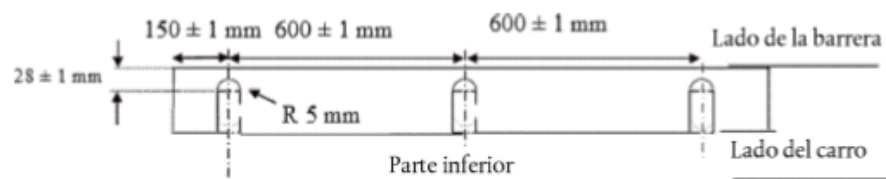


Rebordes superior e inferior de la placa posterior



Nota: Los orificios de fijación del reborde inferior pueden convertirse en ranuras, como se muestra a continuación, con el fin de facilitar la fijación, siempre que se obtenga un agarre suficiente durante todo el ensayo de colisión para impedir el desprendimiento.

Figura 8



ANEXO A5 Velocidad recomendada para el análisis de impacto frontal según reglamento N°94 de la Comisión Económica para Europa (CEPE).

4. VELOCIDAD DE ENSAYO

La velocidad del vehículo en el momento del impacto será de $56 - 0, + 1$ km/h. Sin embargo, si el ensayo se efectúa a mayor velocidad de impacto y el vehículo cumple los requisitos, el ensayo se considerará satisfactorio.

5. MEDICIONES QUE DEBEN EFECTUARSE EN LOS MANIQUÍES DE LOS ASIENTOS DELANTEROS

5.1. Todas las mediciones necesarias para verificar los criterios de comportamiento se llevarán a cabo con sistemas de medición que cumplan las especificaciones del anexo 8.

5.2. Los distintos parámetros se registrarán a través de canales de datos independientes de las siguientes clases de frecuencias del canal de datos (CFC):

5.2.1. Mediciones en la cabeza del maniquí

La aceleración (a) referida al centro de gravedad se calculará a partir de las componentes triaxiales de la aceleración medidas con una CFC de 1 000.

5.2.2. Mediciones en el cuello del maniquí

5.2.2.1. La fuerza de tracción axial y la fuerza de cizalladura anterior y posterior en la zona de unión del cuello y la cabeza se medirán con una CFC de 1 000.

5.2.2.2. El momento de flexión en torno a un eje lateral en la zona de unión del cuello y la cabeza se medirá con una CFC de 600.

5.2.3. Mediciones en el tórax del maniquí

El hundimiento del pecho entre el esternón y la columna vertebral se medirá con una CFC de 180.

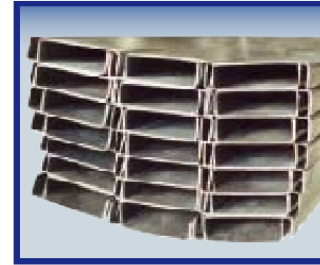
ANEXO B1 Especificaciones técnicas materiales utilizados en dispositivos de protección posterior.



Perfiles estructurales doblados

Aplicaciones: Estructuras, torres eléctricas, cubiertas, losas, etc.

Producto	Largo Normal (m)	Recubrimiento	Dimensiones (mm)	Espesores (mm)	Calidad del Acero
Angulos Doblados	6	Negro – Galvanizado	20 a 100	1.5 a 10	ASTM A 36
Canales	6	Negro – Galvanizado	(50 x 25) a (300 x 100)	1.5 a 10	ASTM A 36
Correas	6	Negro – Galvanizado	(60 x 30 x 10) a (200 x 50 x 25)	1.5 a 8	ASTM A 36
Omegas	6	Negro – Galvanizado	(35 x 50 x 20)	2 a 3	ASTM A 36 / JIS G 3132, SPHT-1 (a pedido)
Omegas de Losa	6	Negro – Galvanizado	(75 x 35 x 17.5)	2	ASTM A 36



PLANCHAS ANTIDESLIZANTES

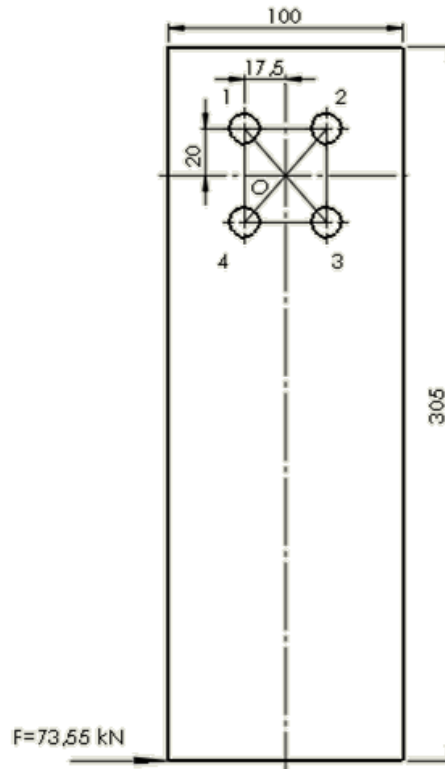
Especificaciones Generales

Norma	ASTM A 36 – ST 37.2
Espesores	0,20mm a 8mm
Rolls	X 1219
Planchas	4 X 8 Medidas y calidades especiales bajo pedido

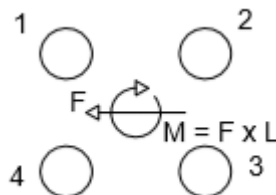


ANEXO C1 Diseño de pernos para la unión empernada

Para el montaje de los dispositivos de protección se utilizan 4 pernos M12 grado 8 de clase 10.9 (límite de rotura de 1040 MPa y límite elástico de 940 MPa) [38]. Para el diseño se va a considerar un coeficiente de seguridad de 1,5 y una fuerza máxima de 73,55 kN (Masa total del vehículo).



El punto O , es el centroide de la unión empernada determinada por simetría. Existe una fuerza de igual valor con sentido contrario a la aplicada en el extremo del perfil y un momento resultante.



$$L = 305\text{mm} - 35\text{mm} - \left(\frac{40}{2}\right)\text{mm}$$

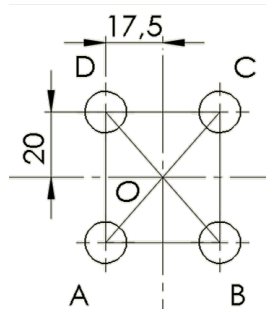
$$L = 250\text{ mm}$$

$$M = F * L$$

$$M = (73,55 \text{ kN}) * (250 \text{ mm})$$

$$M = 18.387,5 \text{ Nm}$$

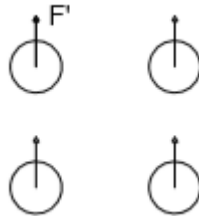
La distancia desde el centroide hasta el centro de cada perno es:



$$r = \sqrt{17,5^2 + 20^2} = 26,58 \text{ mm}$$

La carga cortante primaria por cada perno se calcula de la siguiente manera

$$F' = \frac{F}{n^{\circ} \text{ de pernos}}$$

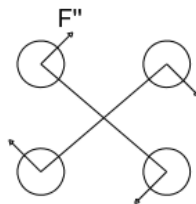


$$F' = \frac{73,55 \text{ kN}}{4} = 18,39 \text{ kN}$$

$$F'_1 = F'_2 = F'_3 = F'_4 = 18,39 \text{ kN}$$

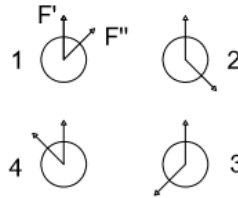
Como las fuerzas cortantes secundarias son iguales, se utiliza la siguiente ecuación

$$F'' = \frac{M * r}{4 * r^2} = \frac{M}{4 * r}$$



$$F'' = \frac{18.387,5}{4 * 26,58} = 172,94 \text{ kN}$$

$$F_1'' = F_2'' = F_3'' = F_4'' = 172,94 \text{ kN}$$



Aplicando la regla del paralelogramo se obtiene las fuerzas resultantes en cada perno

$$F_1 = F_2 = 186,4 \text{ kN}$$

$$F_3 = F_4 = 160,46 \text{ kN}$$

De acuerdo a los resultados, se puede apreciar que los pernos 1 y 2 son los más críticos porque soportan la mayor parte de la carga.

Cálculo de esfuerzo cortante

El área de esfuerzo cortante es $A_s = 76,3 \text{ mm}^2$.

$$\tau = \frac{F}{A_s} = \frac{186.400}{76,3} = 2.442 \text{ MPa}$$

Cálculo de esfuerzo de aplastamiento

El canal es más delgado que el bastidor, por lo cual el esfuerzo de aplastamiento mayor se debe a la presión del perno contra el alma del canal. El área de soporte es $A_b = td = (4)(12) = 48 \text{ mm}^2$.

$$\sigma = -\frac{F}{A_b} = -\frac{186.400}{48} = -3.883 \text{ MPa}$$

Se procede a calcular el esfuerzo cortante máximo que actúa sobre el perno a partir de la ecuación de la Teoría de tensión cortante máxima.

$$n = \frac{s_y}{2 * \tau_{máx}}$$

Donde:

n = Factor de seguridad

s_y = Resistencia mínima a la tensión [MPa]

$\tau_{m\acute{a}x}$ = Esfuerzo cortante máximo [MPa]

Despejando el esfuerzo cortante máximo de la ecuación anterior:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{s_y}{2 * n}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{940 \text{ MPa}}{2 * 1,5}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = 313,33 \text{ MPa}$$

Ahora se procede a calcular el área de esfuerzo cortante del perno:

$$\tau = \frac{F}{A_s}$$

$$A_s = \frac{F}{\tau} = \frac{186.400}{313,33} = 595 \text{ mm}^2$$

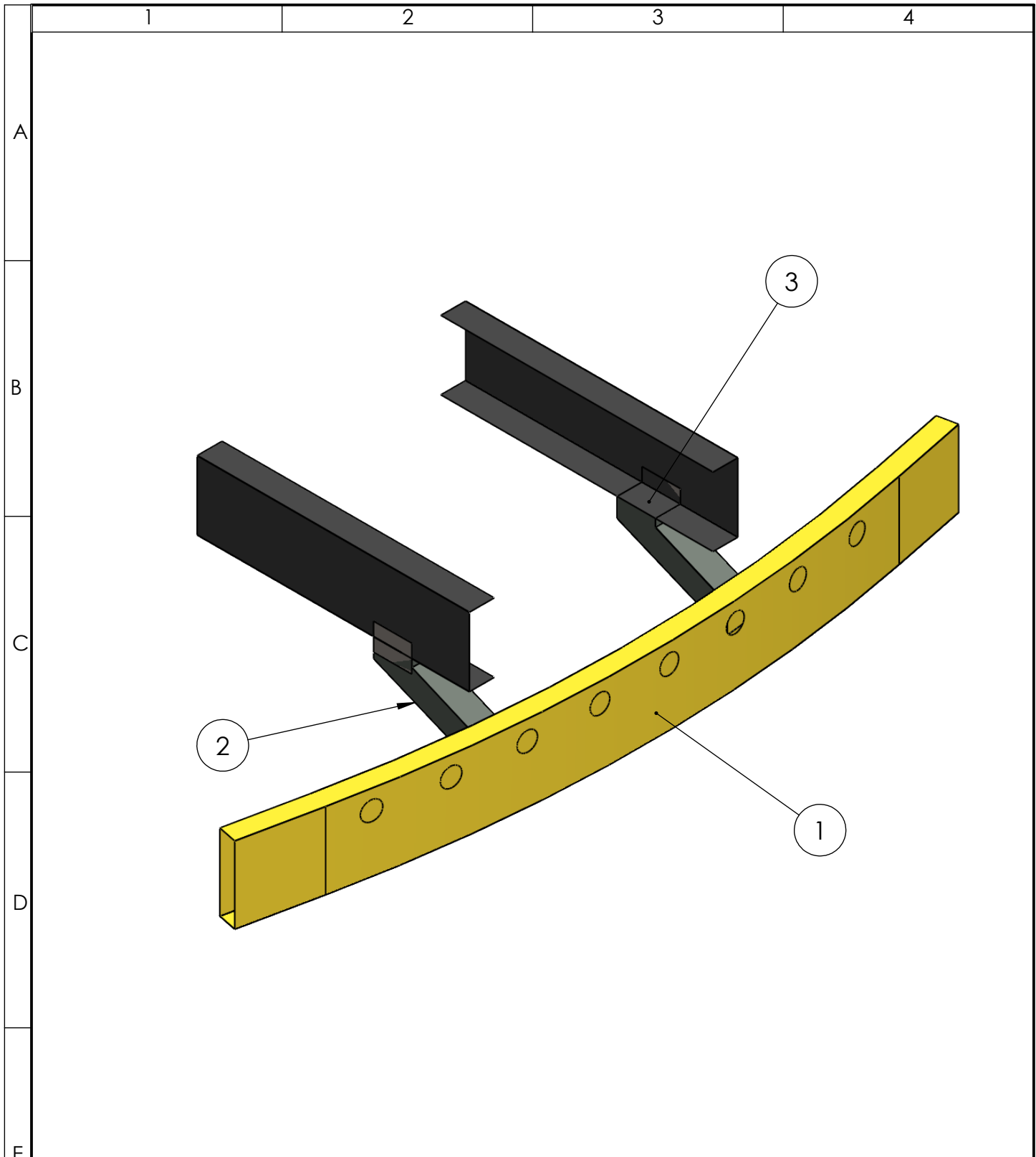
Resistencia de fluencia cortante

$$Ss_y = 0,50 s_y$$

$$Ss_y = 0,50 * 940$$

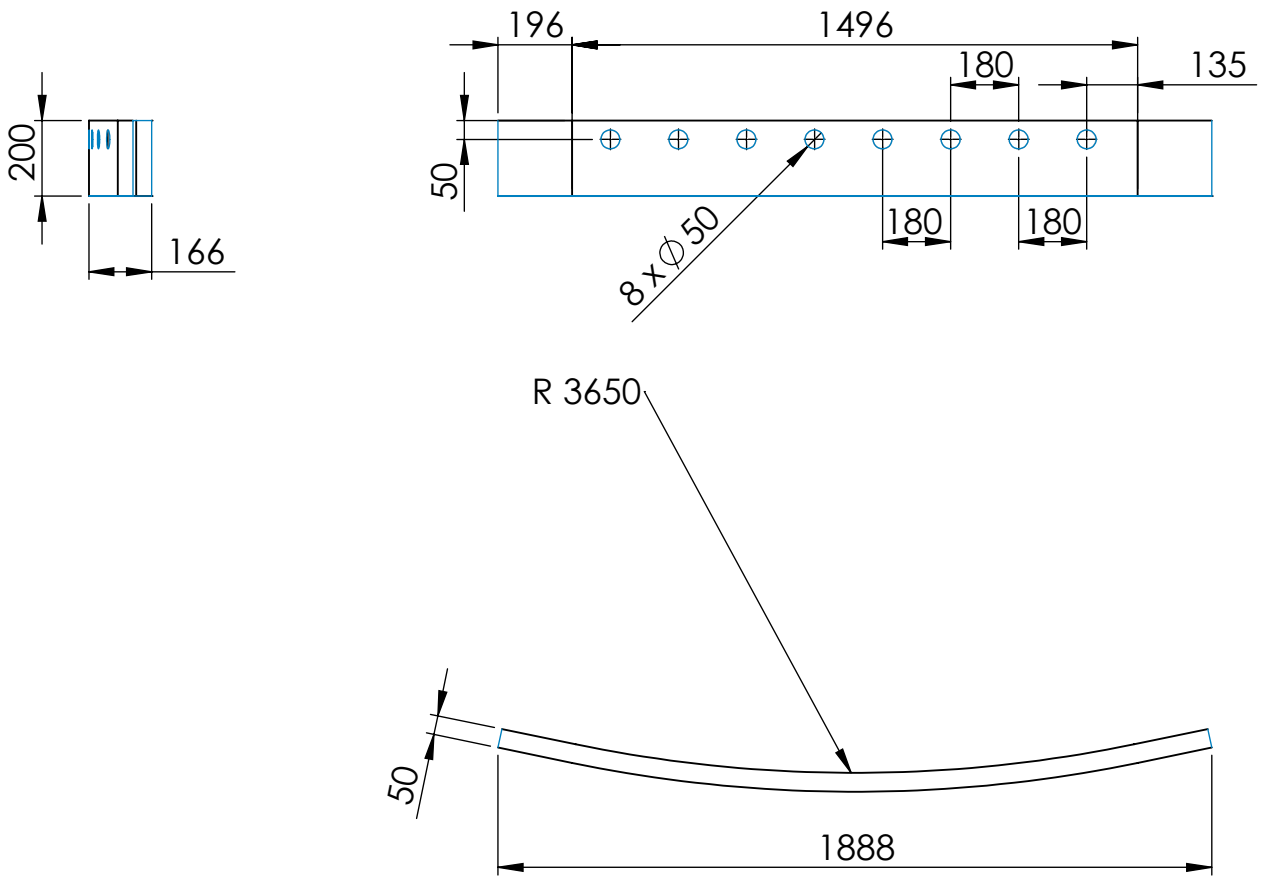
$$Ss_y = 470 \text{ MPa}$$

PLANOS



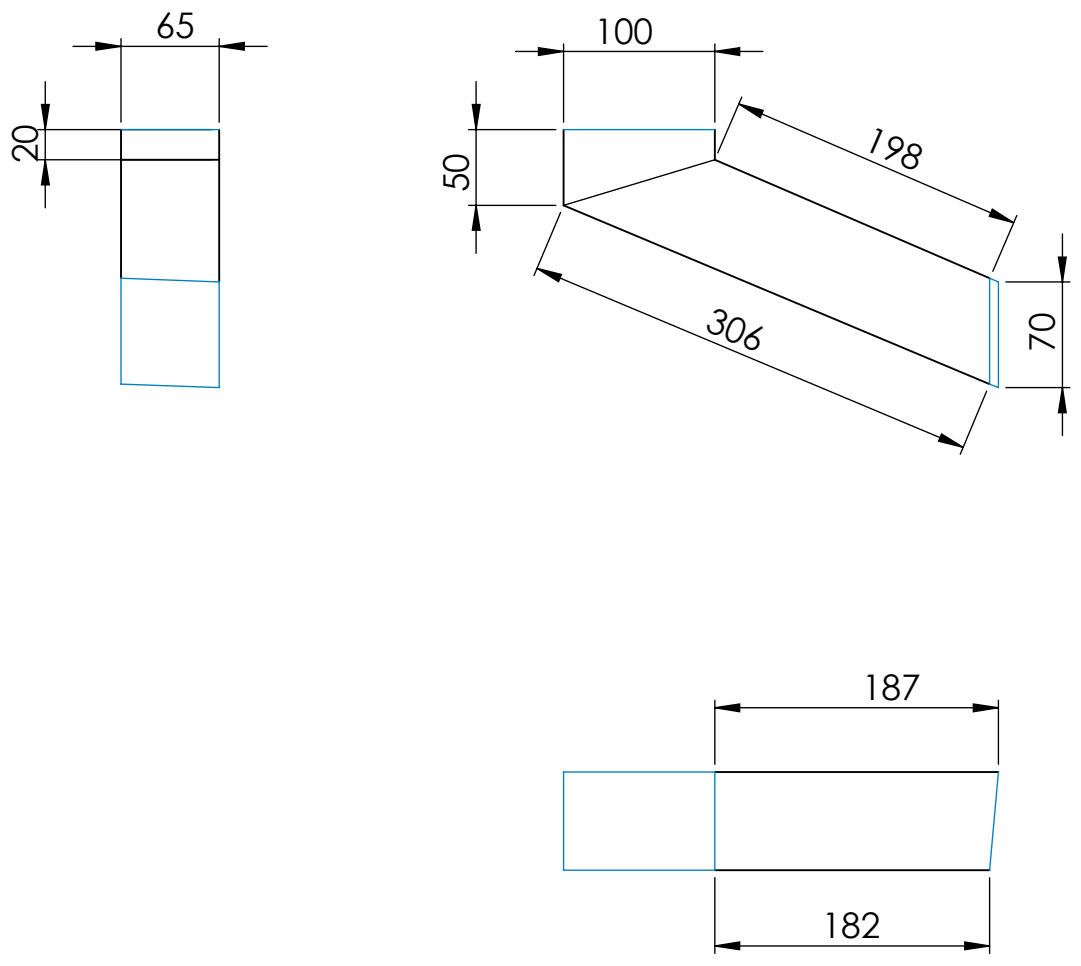
No. de orden	No. de piezas	Denominación	Número de norma o dibujo	Observaciones
1	1	Travesaño		
2	2	Soporte		
2	3	Refuerzo		

TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:	
±1		7846,65 gr		ASTM A36 Acero Estructural	
FECHA		NOMBRE		TÍTULO:	
DIBUJO: 16/06/2017		LUIS PERDOMO		ESTRUCTURA EMPRESA	
REVISO: 16/06/2017		Ing. César Arroba			
APROBO: 16/06/2017		Ing. César Arroba			
U.T.A.		N.º DE LAMINA		ESCALA:	
INGENIERIA MECANICA		HOJA 1 DE 23		1:10	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	REGISTRO:	



El travesaño se construye en acero estructural de 2,5 mm de espesor.

				TOLERANCIA: ±1	PESO: 5365,67 gr	MATERIAL: Acero ASTM A36	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO: TRAVESAÑO	ESCALA: 1:20
				DIBUJO: 16/06/2017	LUIS PERDOMO		
				REVISO: 16/06/2017	Ing. César Arroba		
				APROBO: 16/06/2017	Ing. César Arroba		
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA HOJA 2 DE 23	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	



Espesor de 3mm

				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:			
				±1	2137,75 gr	Acero ASTM A 36			
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:		
				DIBUJO: 16/06/2017	LUIS PERDOMO		VÁSTAGO	1:05	
				REVISO: 16/06/2017	Ing. César Arroba			REGISTRO:	
				APROBO: 16/06/2017	Ing. César Arroba				
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA			
						HOJA 3 DE 23			
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:			

1

2

3

4

A

B

C

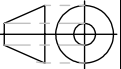
D

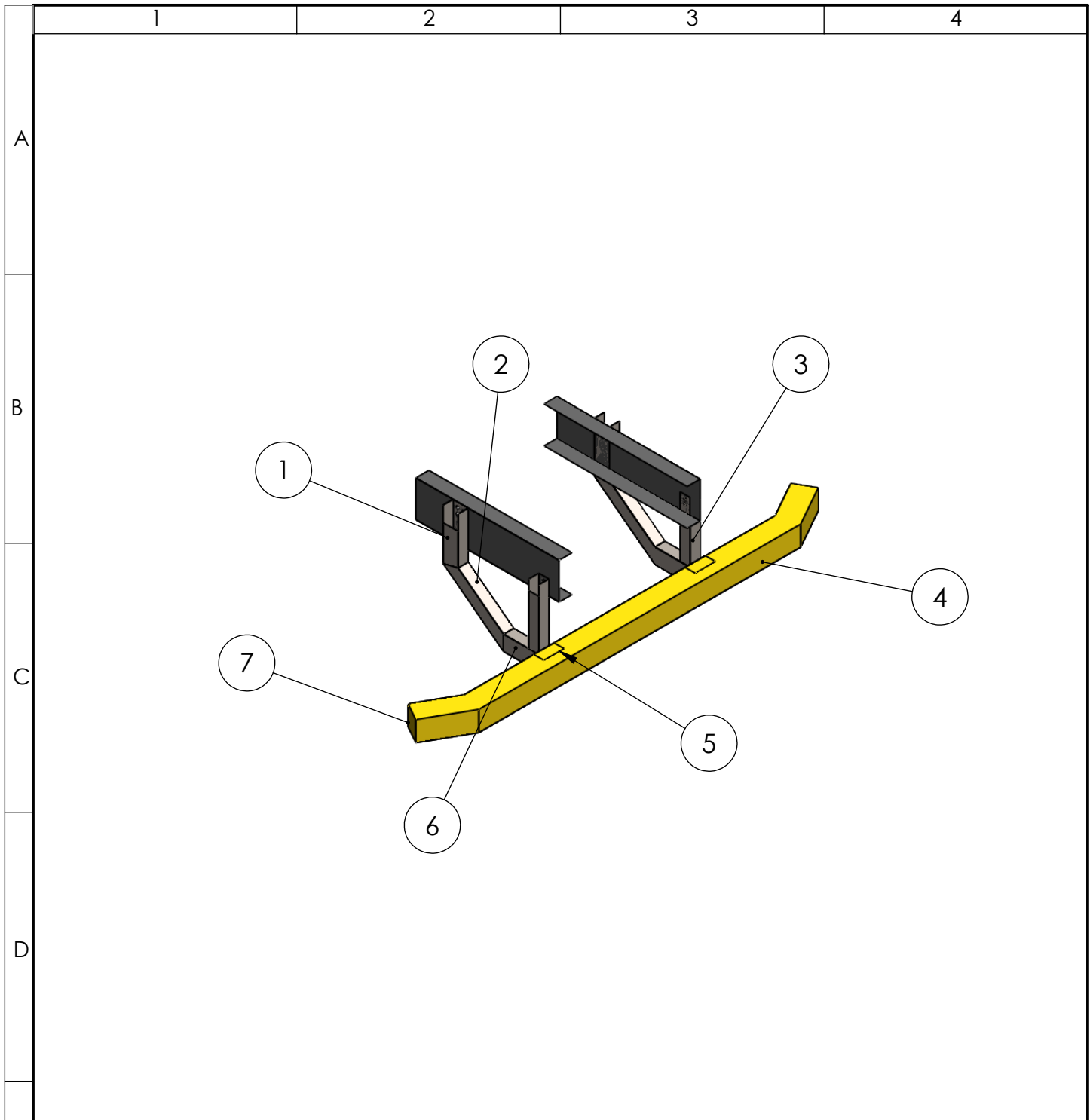
E

100

70

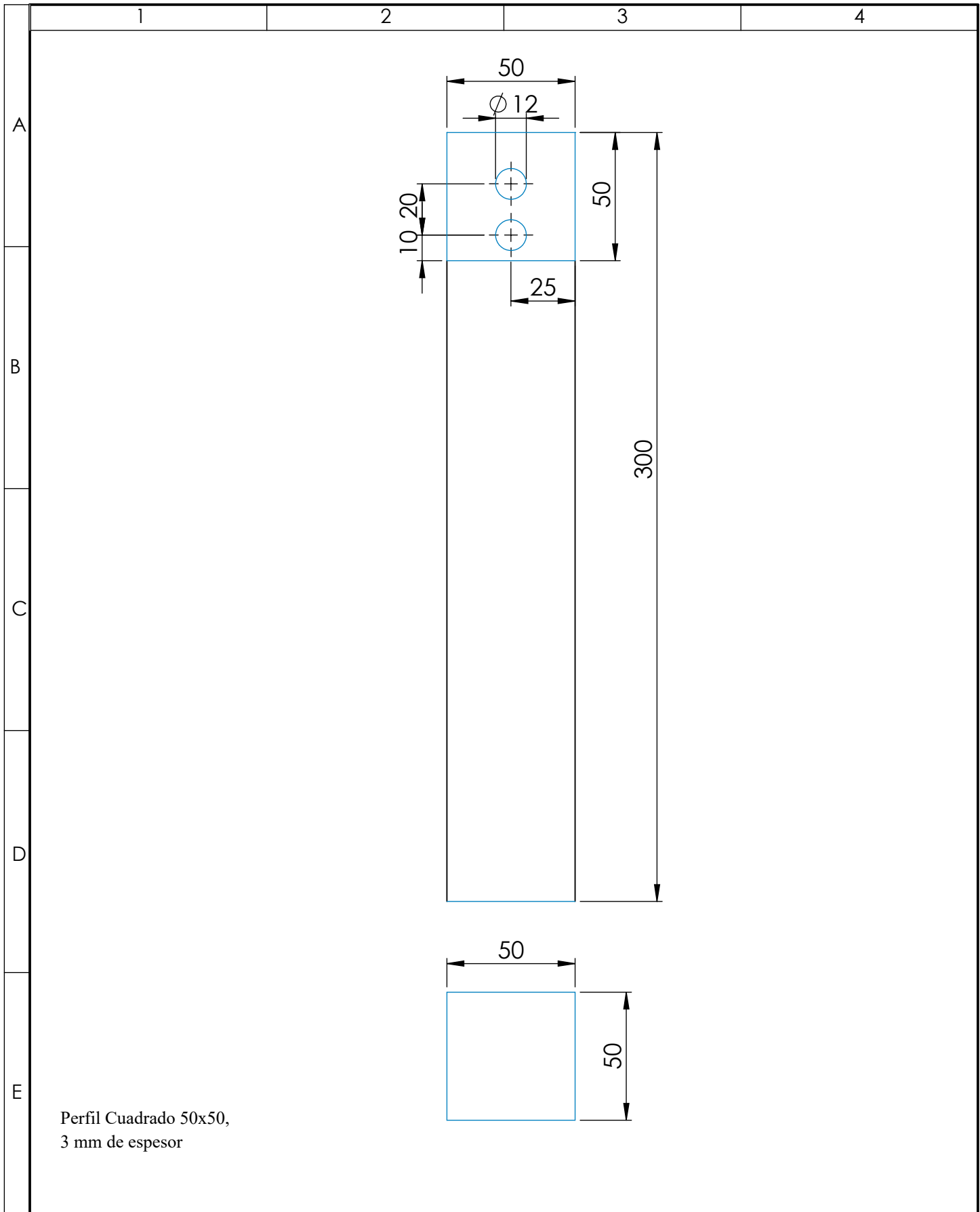
Pletina con espesor de 2 mm

				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 343,23 gr	MATERIAL: Acero ASTM A36	
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO: REFUERZO
				DIBUJO:	16/06/2017	LUIS PERDOMO	ESCALA: 1:1
				REVISO:	16/06/2017	Ing. César Arroba	
				APROBO:	16/06/2017	Ing. César Arroba	
				U.T.A.		N.º DE LAMINA HOJA 4 DE 23	REGISTRO: 
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCION:	



No de Orden	No de pieza	Denominación	Número de norma o dibujo	Observaciones
4	1	SopORTE 1		
2	2	Vástago 1		
2	3	SopORTE 2		
1	4	Travasesaño		
2	5	SopORTE travesaño		
2	6	Vástago 2		
2	7	Tapa		

TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:	
±1		7234,82 gr		ASTM A36 Acero	
FECHA		NOMBRE		TÍTULO:	
DIBUJO: 16/06/2017		LUIS PERODMO		DISEÑO PROPUESTO FRONTAL	
REVISO: 16/06/2017		Ing. César Arroba			
APROBO: 16/06/2017		Ing. César Arroba			
N.º DE LAMINA		REGISTRO:		ESCALA:	
HOJA 5 DE 23		INGENIERIA MECANICA		1:20	
SUSTITUCION:		U.T.A.			
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	INGENIERIA MECANICA	



Perfil Cuadrado 50x50,
3 mm de espesor

				TOLERANCIA: ±1	PESO: 760,45 gr	MATERIAL: ASTM A36 Acero		
						TÍTULO: SOPORTE 1	ESCALA: 1:1	
				DIBUJO:	FECHA:		NOMBRE:	
				REVISO:	16/06/2017		Ing. César Arroba	
				APROBO:	16/06/2017		Ing. César Arroba	
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA: HOJA 6 DE 23	REGISTRO:	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:		

1

2

3

4

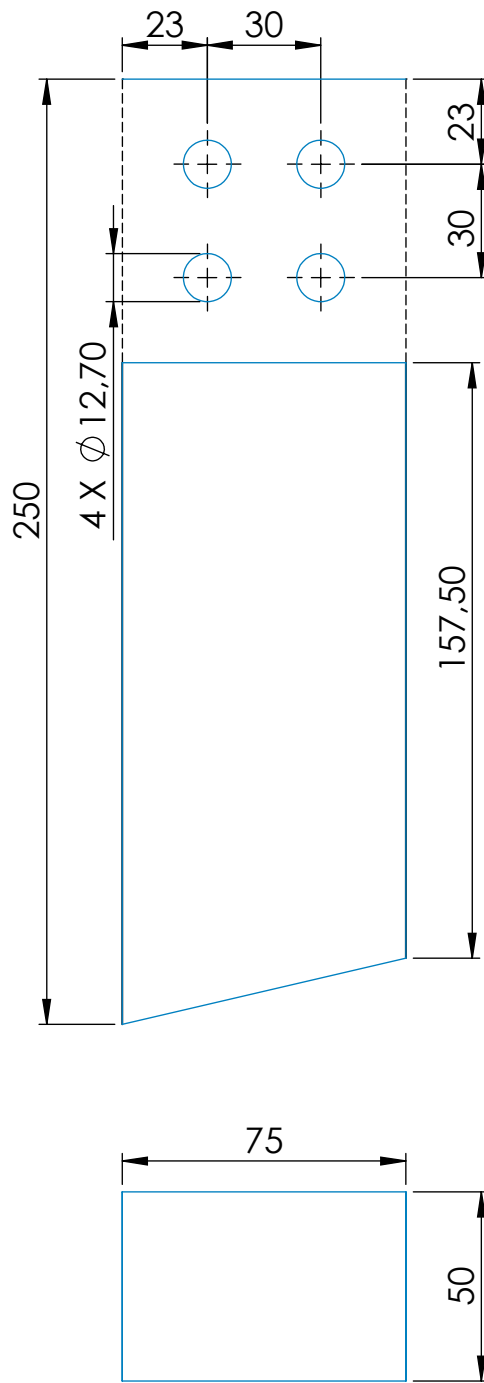
A

B

C

D

E



Pletina 3 mm de espesor

				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 650,43 gr	MATERIAL: ASTM A36 Acero	
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:
				DIBUJO:	16/06/2017	LUIS PERDOMO	SOPORTE 2
				REVISO:	16/06/2017	Ing. César Arroba	
				APROBO:	16/06/2017	Ing. César Arroba	
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	ESCALA:
				INGENIERIA MECANICA		HOJA 7 DE 23	1:2
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	REGISTRO:

1

2

3

4

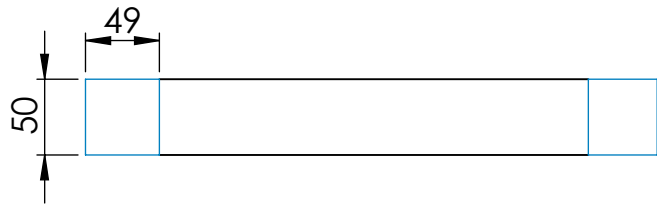
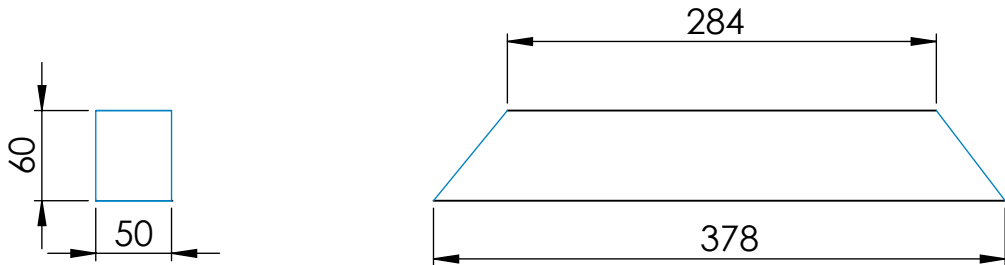
A

B

C

D

E



Perfil Estructural Cuadrado
50x60, 3 mm de espesor

				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 836,86 gr	MATERIAL: ASTM A36 Acero	
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:
				DIBUJO:	16/06/2017	LUIS PERDOMO	VÁSTAGO 1
				REVISO:	16/06/2017	Ing. César Arroba	
				APROBO:	16/06/2017	Ing. César Arroba	
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	ESCALA:
				INGENIERIA MECANICA		HOJA 8 DE 23	1:50
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	REGISTRO:

1

2

3

4

A

B

C

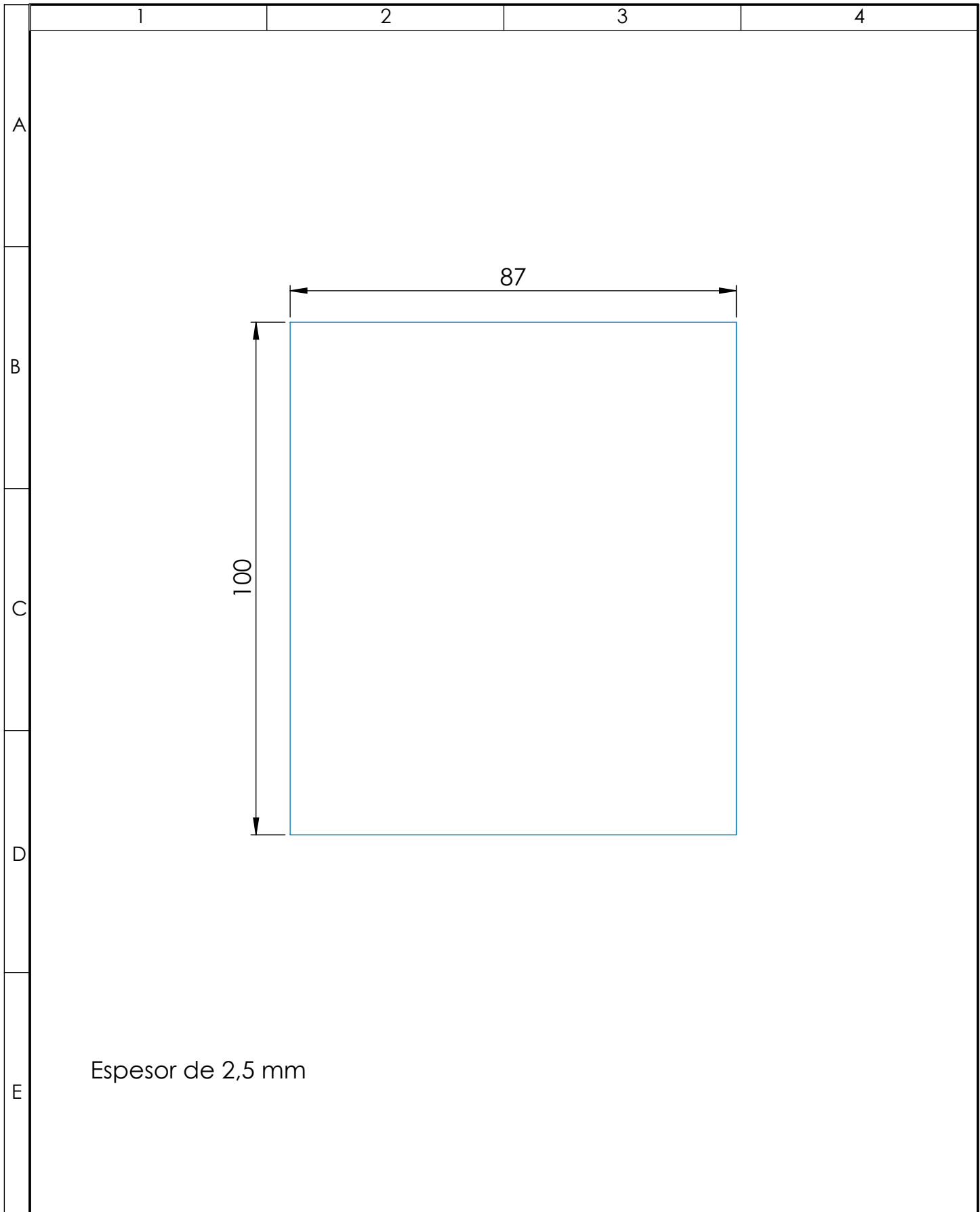
D

E



Espesor de 3 mm

				TOLERANCIA: ±1	PESO: 485,75 gr	MATERIAL: ASTM A36 Acero	
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:
				DIBUJO:	16/06/2017	LUIS PERDOMO	VÁSTAGO 2
				REVISO:	16/06/2017	Ing. César Arroba	
				APROBO:	16/06/2017	Ing. César Arroba	
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	ESCALA:
				INGENIERIA MECANICA		HOJA 9 DE 23	1:2
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	REGISTRO:



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:			
				±1	87,45 gr	ASTM A36 Acero			
					FECHA	NOMBRE	TAPA		ESCALA:
				DIBUJO:	16/06/2017	LUIS PERDOMO			1:1
				REVISO:	16/06/2017	Ing. César Arroba			
				APROBO:	16/06/2017	Ing. César Arroba			
				U.T.A.			N.º DE LAMINA		REGISTRO:
				INGENIERIA MECANICA			HOJA 10 DE 23		
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:				SUSTITUCION:		

1

2

3

4

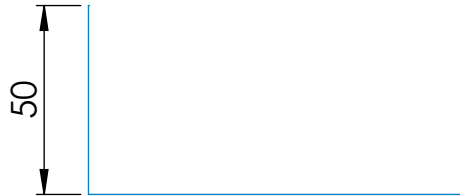
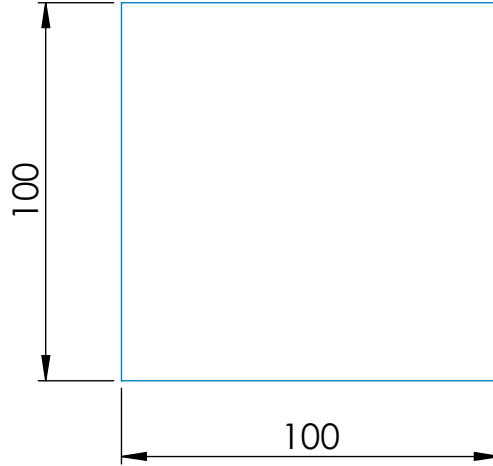
A

B

C

D

E



Cana U 50x100x50, 3 mm de espesor

				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 213,56 gr	MATERIAL: ASTM A36 Acero	
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:
				DIBUJO:	16/06/2017	LUIS PERDOMO	SOPORTE TRAVESAÑO
				REVISO:	16/06/2017	Ing. César Arroba	
				APROBO:	16/06/2017	Ing. César Arroba	
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	ESCALA:
				INGENIERIA MECANICA		HOJA 11 DE 23	1:2
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCION:		REGISTRO:	

1

2

3

4

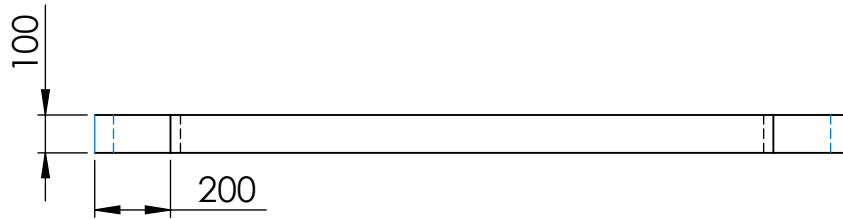
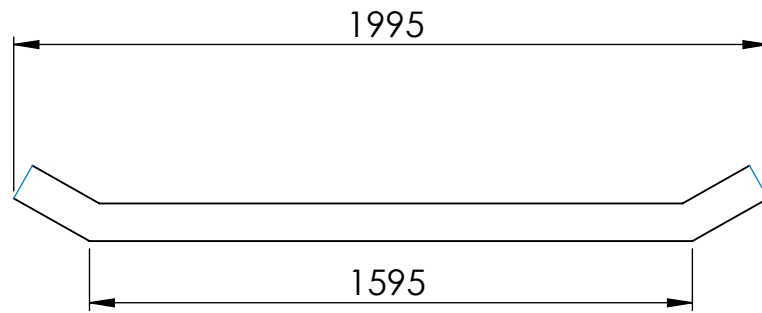
A

B

C

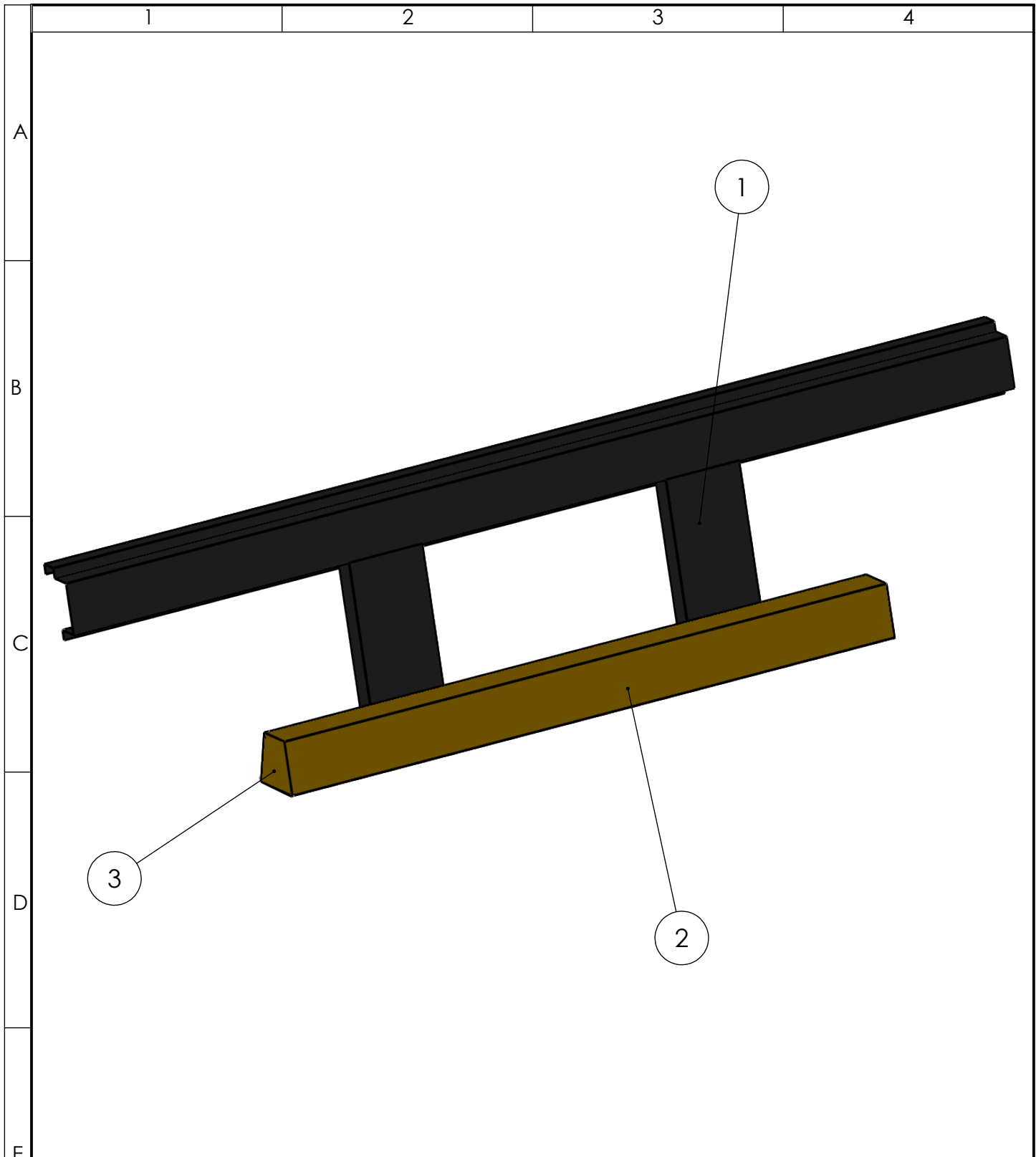
D

E



Espesor de 2,5 mm

				TOLERANCIA: ±1	PESO: 1165,82 gr	MATERIAL: ASTM A36 Acero	
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:
				DIBUJO:	16/06/2017	LUIS PERDOMO	TRAVESAÑO
				REVISO:	16/06/2017	Ing. César Arroba	
				APROBO:	16/06/2017	Ing. César Arroba	
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	ESCALA:
				INGENIERIA MECANICA		HOJA 12 DE 23	1:20
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	REGISTRO:



No. de Orden	No. de Pieza	Denominación	Número de norma o dibujo	Observaciones
2	1	Soporte		
1	2	Travesaño		
2	3	Tapa		

		TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:	
		±1		2246,33 gr		VARIOS	
		FECHA		NOMBRE		TÍTULO:	
		DIBUJO: 16/06/2017		LUIS PERDOMO		DISEÑO ORIGINAL POSTERIOR	
		REVISO: 16/06/2017		Ing. César Arroba			
		APROBO: 16/06/2017		Ing. César Arroba			
				N.º DE LAMINA		ESCALA:	
				HOJA 13 DE 23		1:10	
				REGISTRO:			
				SUSTITUCION:			
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	U.T.A.			
				INGENIERIA MECANICA			

1

2

3

4

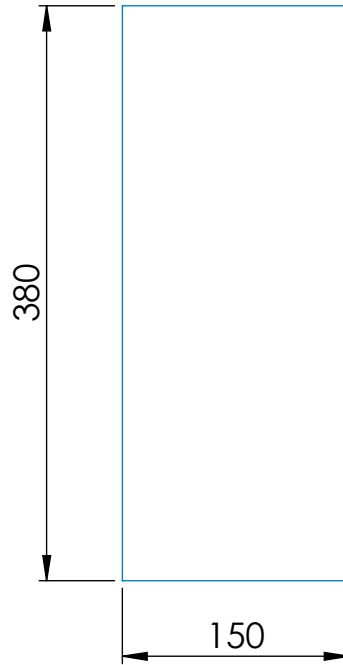
A

B

C

D

E



Perfil estructural canal U
50x150x50, espesor de 4 mm

				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 538,23 gr	MATERIAL: Acero ASTM A36	
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:
				DIBUJO:	16/06/2017	LUIS PERDOMO	Soporte
				REVISO:	16/06/2017	Ing. César Arroba	
				APROBO:	16/06/2017	Ing. César Arroba	
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA	ESCALA:
						HOJA 14 DE 23	1:20
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	REGISTRO:

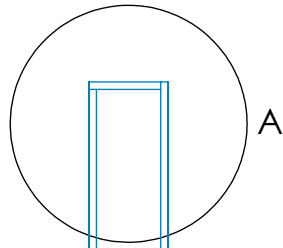
1

2

3

4

A



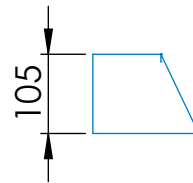
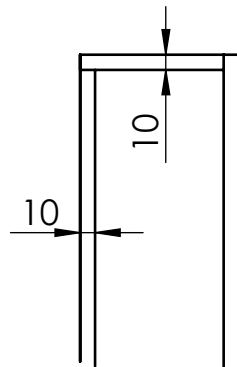
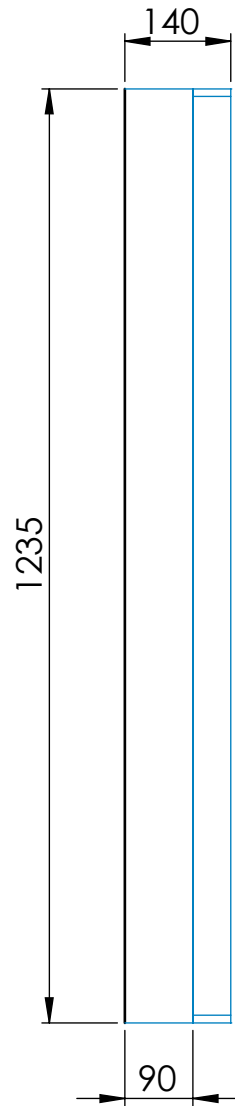
A

B

C

D

E



Espesor 2,5 mm

DETALLE A
ESCALA 1 : 5

				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 987,45 gr	MATERIAL: Acero ASTM A36		
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	
					DIBUJO: 16/06/2017	LUIS PERDOMO	TRAVESAÑO	
					REVISO: 16/06/2017	Ing. César Arroba		ESCALA: 1:10
					APROBO: 16/06/2017	Ing. César Arroba		
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	REGISTRO:	
				INGENIERIA MECANICA		HOJA 15 DE 23		
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:		

1

2

3

4

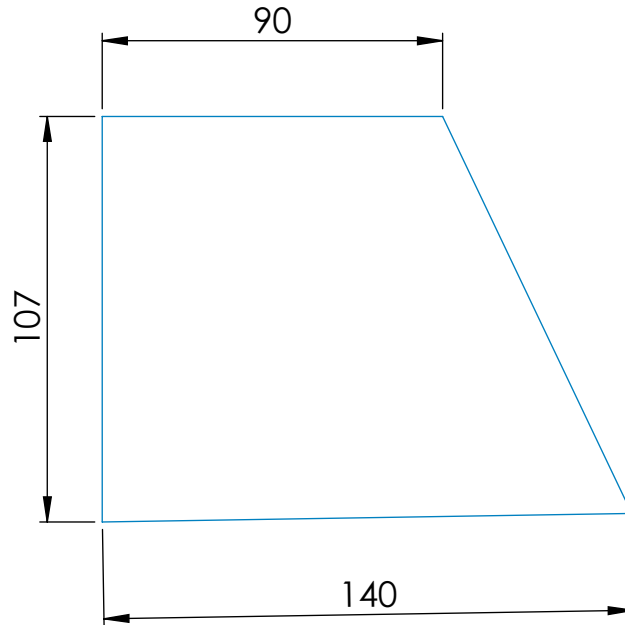
A

B

C

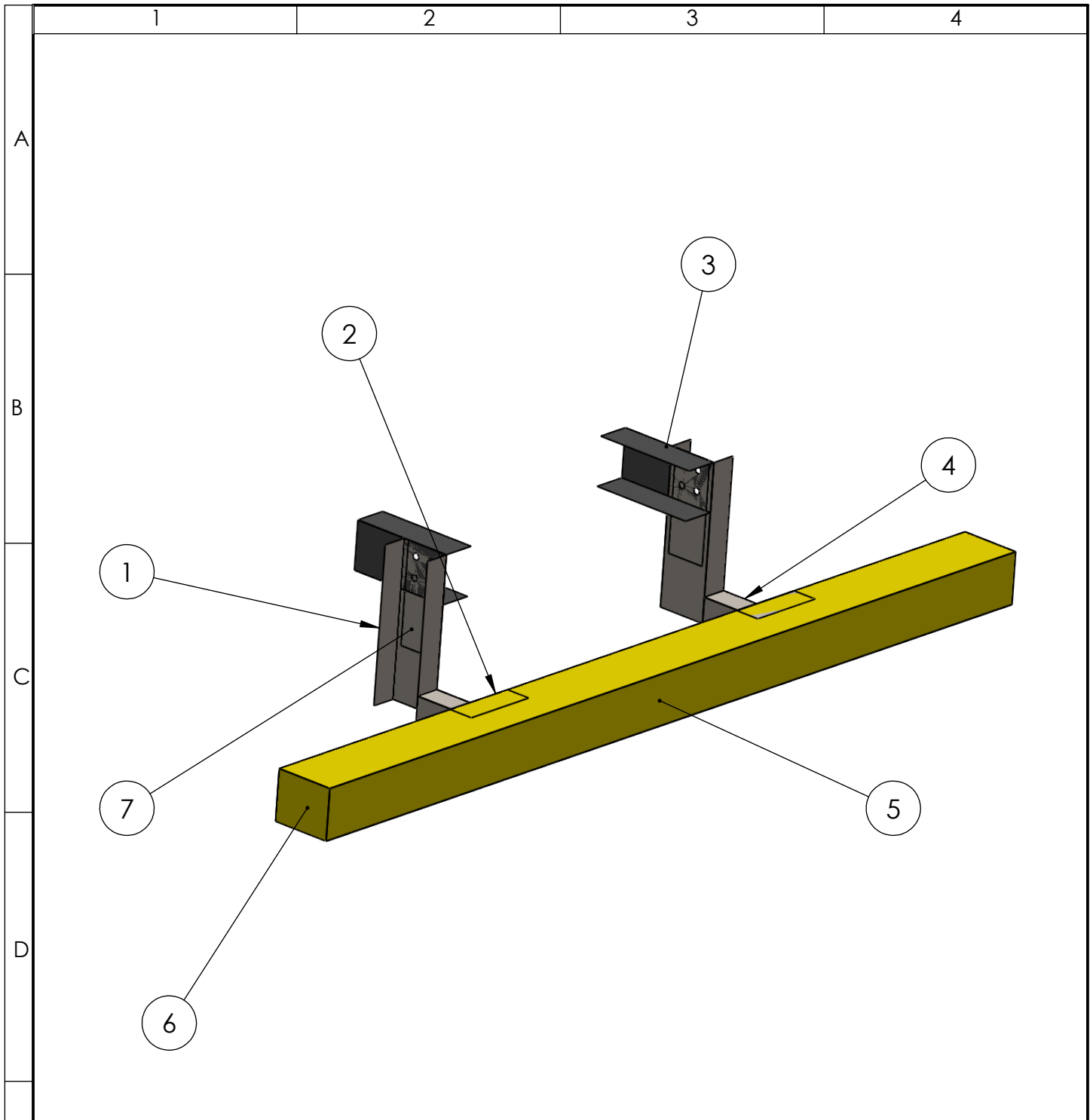
D

E



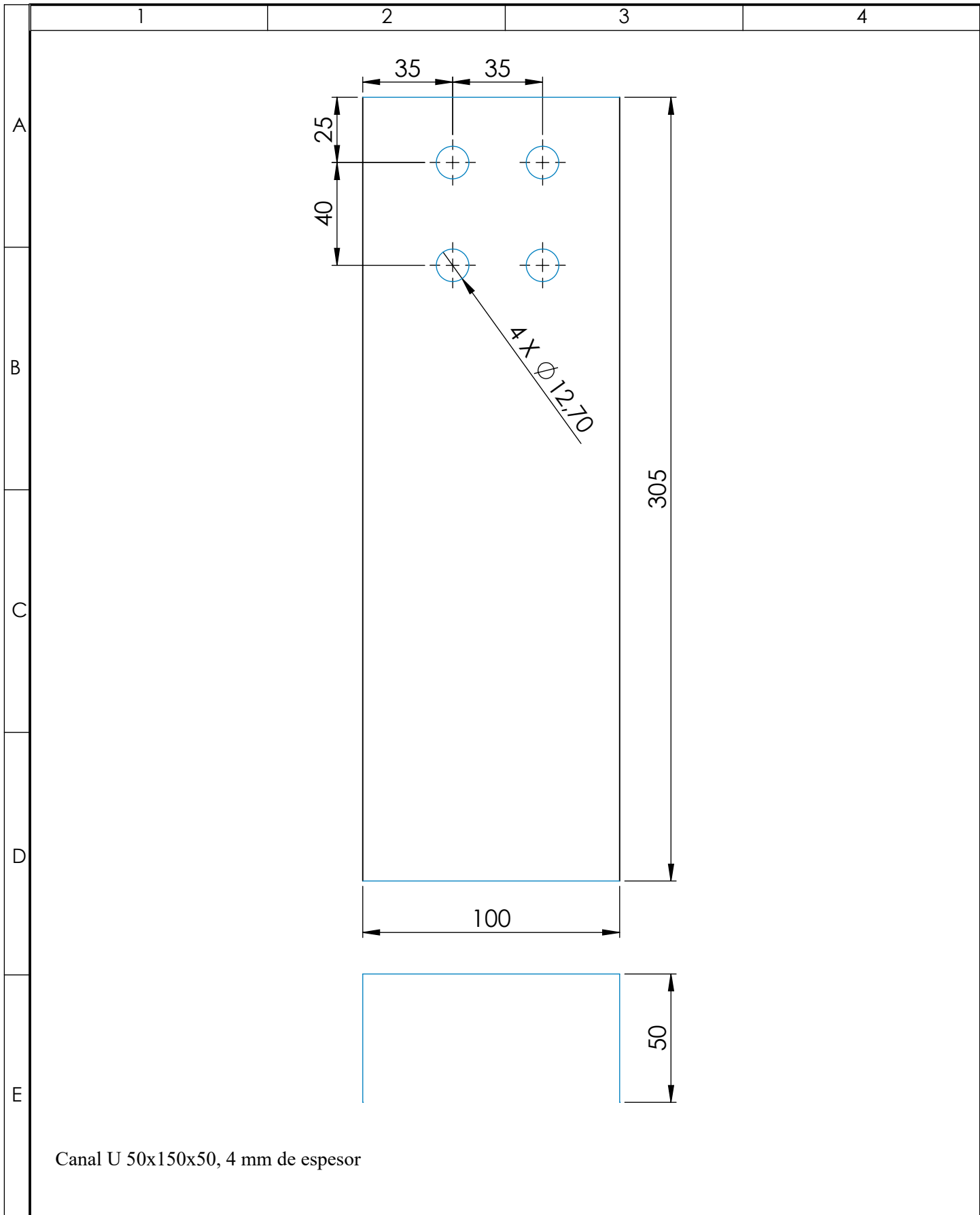
Espesor de 2,5 mm

				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 182,42 gr	MATERIAL: Acero ASTM A36	
						TÍTULO: TAPA	ESCALA: 1:2
				DIBUJO: 16/06/2017	LUIS PERDOMO		
				REVISO: 16/06/2017	Ing. César Arroba		
				APROBO: 16/06/2017	Ing. César Arroba		
				U.T.A.		N.º DE LAMINA HOJA 16 DE 23	REGISTRO:
						INGENIERIA MECANICA	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCION:			

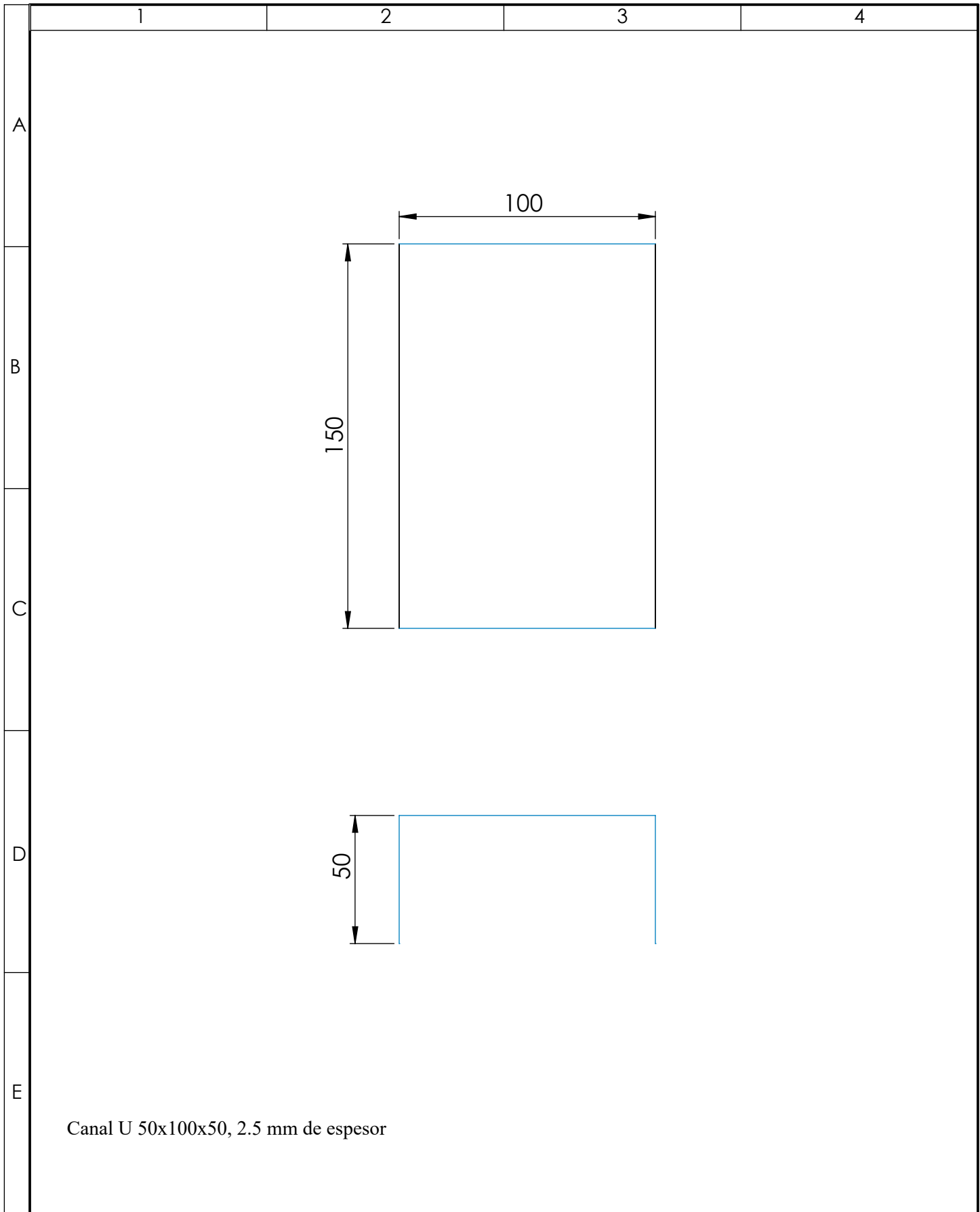


No de Orden	No de Pieza	Denominación	Número de norma o dibujo	Observaciones
2	1	Soporte		
2	2	Soporte Travesaño		
2	3	Aumento Chásis		
2	4	Vástago		
1	5	Travesaño		
2	6	Tapas		
2	7	Refuerzo		

		TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:	
		±1		8432,65 gr		VARIOS	
		FECHA		NOMBRE		TÍTULO:	
		DIBUJO: 16/06/2017		LUIS PERDOMO		ESCALA:	
		REVISO: 16/06/2017		Ing. César Arroba		1:20	
		APROBO: 16/06/2017		Ing. César Arroba		REGISTRO:	
		U.T.A.		N.º DE LAMINA		HOJA 17 DE 23	
		INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCION:			
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:				



				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 278,47 gr	MATERIAL: ASTM A36 Acero		
						TÍTULO: SOPORTE	ESCALA: 1:2	
				DIBUJO:	FECHA:		NOMBRE:	
				REVISO:	16/06/2017		Ing. César Arroba	
				APROBO:	16/06/2017		Ing. César Arroba	
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA HOJA 18 DE 23	REGISTRO:	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:		



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:			
				±1	237,98 gr	ASTM A36 Acero			
					FECHA	NOMBRE	SOPORTE TRAVESAÑO		ESCALA:
				DIBUJO:	16/06/2017	LUIS PERDOMO			1:2
				REVISO:	16/06/2017	Ing. César Arroba			
				APROBO:	16/06/2017	Ing. César Arroba			
				U.T.A.			N.º DE LAMINA		REGISTRO:
				INGENIERIA MECANICA			HOJA 19 DE 23		
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:				SUSTITUCION:		

1

2

3

4

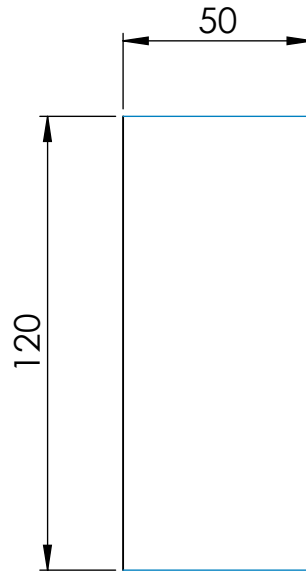
A

B

C

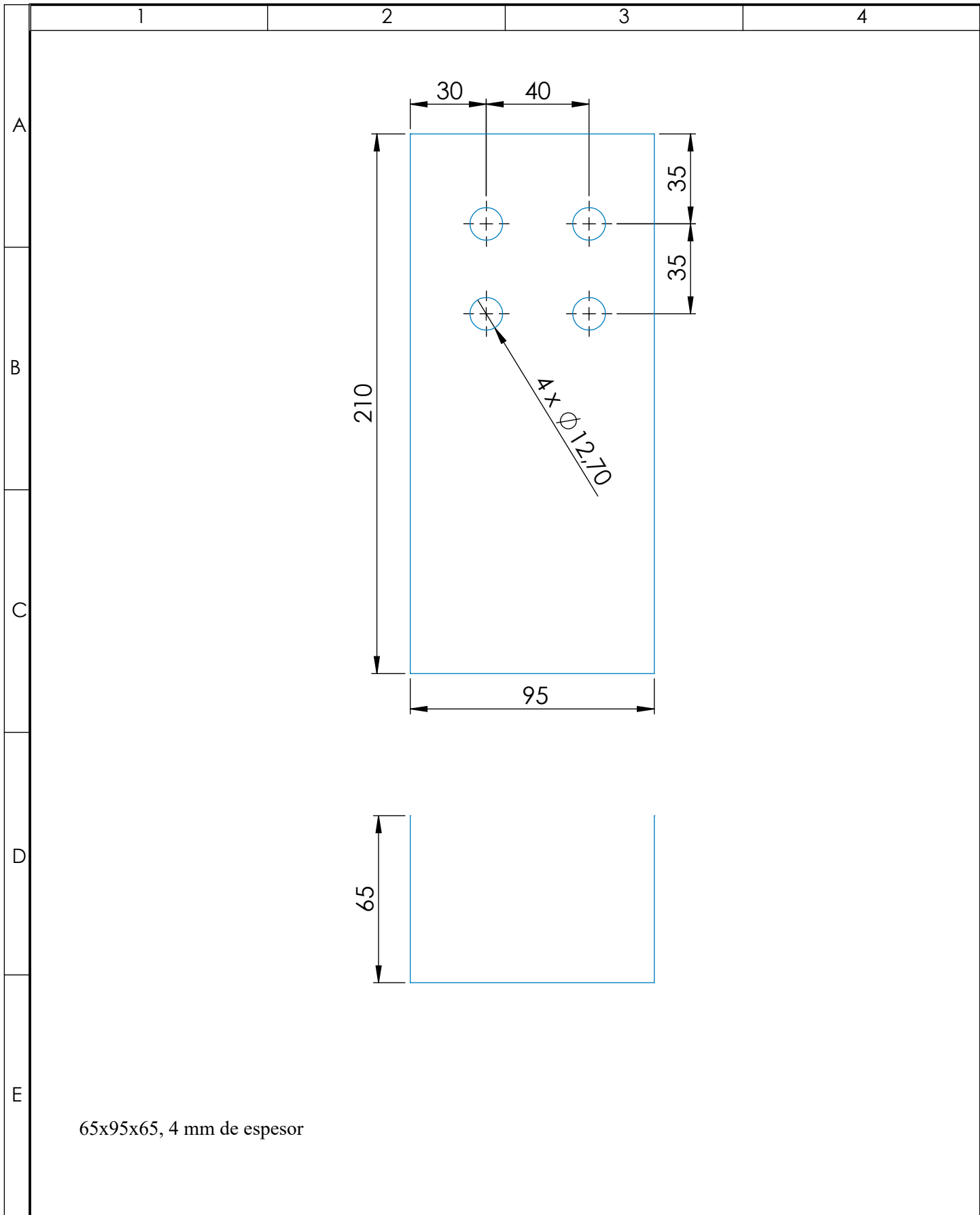
D

E



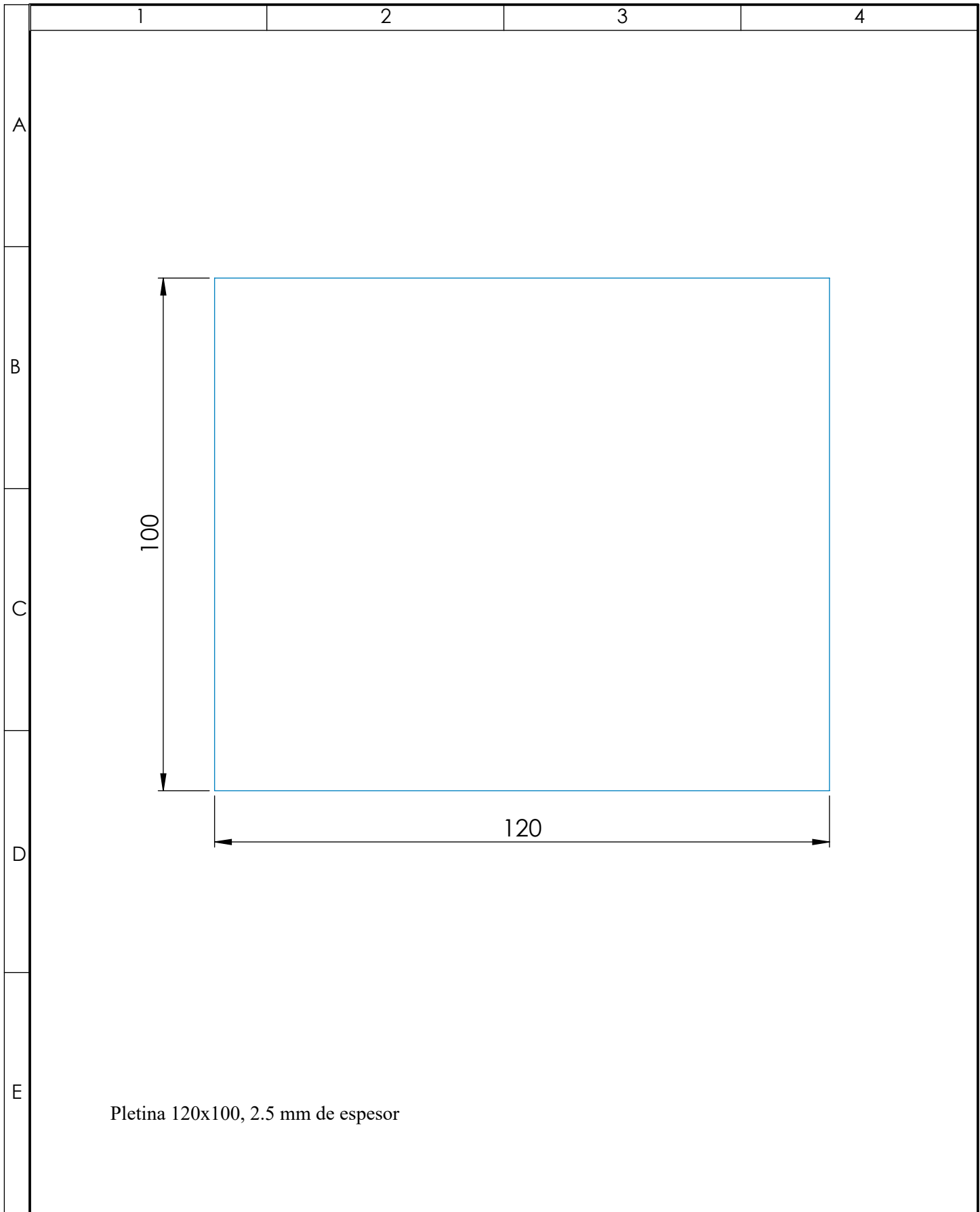
Perfil estructural cuadrado
50x50, 3 mm de espesor

				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 234,54 gr	MATERIAL: ASTM A36 Acero	
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:
				DIBUJO:	16/06/2017	LUIS PERDOMO	VÁSTAGO
				REVISO:	16/06/2017	Ing. César Arroba	
				APROBO:	16/06/2017	Ing. César Arroba	
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	ESCALA:
				INGENIERIA MECANICA		HOJA 20 DE 23	1:2
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	REGISTRO:



65x95x65, 4 mm de espesor

				TOLERANCIA: ±1	PESO: 383,76 gr	MATERIAL: ASTM A36 Acero	
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:
				DIBUJO:	16/06/2017	LUIS PERDOMO	AUMENTO CHÁSIS
				REVISO:	16/06/2017	Ing. César Arroba	
				APROBO:	16/06/2017	Ing. César Arroba	
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	ESCALA:
				INGENIERIA MECANICA		HOJA 21 DE 23	1:2
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	REGISTRO:



				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 83,43 gr	MATERIAL: ASTM A36 Acero			
						TAPA	TÍTULO:		ESCALA: 1:1
							FECHA		
							NOMBRE		
							DIBUJO: 16/06/2017 LUIS PERDOMO		
						REVISO: 16/06/2017 Ing. César Arroba			
						APROBO: 16/06/2017 Ing. César Arroba			
				U.T.A.		N.º DE LAMINA HOJA 22 DE 23			REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCION:			

1

2

3

4

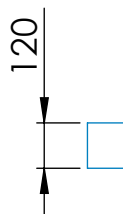
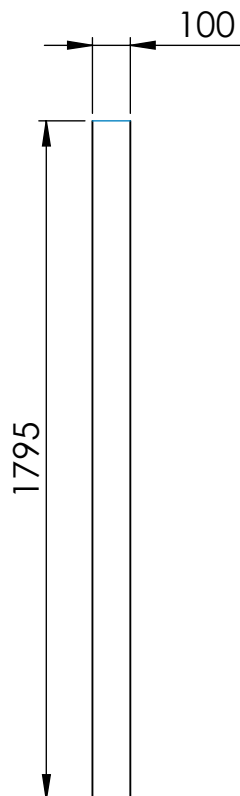
A

B

C

D

E



1795x100, 2.5 mm de espesor

				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 1464,87 gr	MATERIAL: ASTM A36 Acero	
						TÍTULO: TRAVESAÑO	ESCALA: 1:20
				DIBUJO: 16/06/2017	LUIS PERDOMO		
				REVISO: 16/06/2017	Ing. César Arroba		
				APROBO: 16/06/2017	Ing. César Arroba		
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA HOJA 23 DE 23	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	