



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESTUDIO DE LA FUNCIONALIDAD DEL DISPOSITIVO ANTIEMPOTRAMIENTO UTILIZADO EN CAMIONES

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

MARCO ESTEBAN AMAYA PINOS

mamaya@ups.edu.ec

JULIO CÉSAR LOJA QUEZADA

jlojaq@ups.edu.ec

DIRECTOR: ING. ANDRÉS VINICIO ZUMÁRRAGA PINTO

andres.zumarraga@gm.com

Quito, julio, 2017

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Marco Esteban Amaya Pinos y Julio Cesar Loja Quezada, bajo mi supervisión.

Ing. Andrés Vinicio Zumárraga Pinto.

DIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros, Marco Esteban Amaya Pinos y Julio César Loja Quezada, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Marco Esteban Amaya Pinos

Julio César Loja Quezada

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, a mi querida esposa Alexandra y a mis hijos David y Joaquín, ya que gracias a su comprensión y apoyo pude desarrollar y culminar exitosamente este programa de estudios. También dedico este trabajo a mis compañeros de promoción, con quienes compartí largas jornadas de estudios y sacrificio, lo que nos permitió afianzar nuestros lazos de amistad y compañerismo. Además, dedico este trabajo a mi Madre ya que ha sido el pilar fundamental en mi vida.

Marco Amaya P.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi esposa e hijos quienes son el impulso para seguir buscando nuevas metas que deriven en la adquisición de conocimiento científico, técnico y humano, en miras de ser mejor persona y así contribuir al bien de mi familia y una mejor sociedad.

Julio Loja Q.

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento en primer lugar a Dios, en segundo lugar, al Ing. Andrés Zumárraga Director de este tema tesis por el apoyo incondicional en la elaboración de este proyecto y al Ing. Iván Zambrano Coordinador de la Maestría por el apoyo brindado.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	i
DECLARACIÓN.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO.....	v
NOMENCLATURA	xvii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
Hipótesis	3
CAPITULO I	
MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. Sistemas antiempotramiento para plataforma de camiones.....	4
1.1.1. Características del sistema antiempotramiento para plataforma de camiones	
4	
1.1.2. Funcionamiento	5
1.1.3. Tipos de sistemas de antiempotramiento	7
1.2. Bastidores de camiones	9
1.2.1. Bastidor de largueros longitudinales	10
1.2.2. Bastidores auto portantes	13
1.3. Materiales y uniones del dispositivo antiempotramiento	14
1.3.1. Materiales	14
1.3.2. Uniones.....	14
CAPITULO II	
ESTUDIO DE LA NORMATIVA VIGENTE PARA LOS DISPOSITIVOS ANTIEMPOTRAMIENTO APLICADO EN LA PLATAFORMA DE CAMIONES.....	16
2.1. Introducción.....	16

2.2.	Normativa ecuatoriana.....	17
2.3.	Normativa internacional.....	17
2.3.1.	Normativa Europea.....	17
2.3.2.	Normativa de Estados Unidos.....	18
2.3.3.	Normativa de Canadá.....	20
2.3.4.	Normativa de Brasil.....	21
2.3.5.	Normativa de Chile.....	22
2.3.6.	Normativa Española.....	25
2.4.	Tipo de vehículo según normativa.....	26
2.4.1.	Norma Técnica Ecuatoriana.....	26
2.4.2.	United Nations Economic Commission for Europe (UNECE).....	27
2.4.3.	Normativa del Perú.....	29
CAPITULO III		
DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....		
31		
3.1.	Estudio de la utilización del sistema antiempotramiento en el medio de acuerdo a la clasificación vehicular.....	31
3.1.1.	Camión más vendido en el medio.....	31
3.1.2.	Categoría del camión de estudio según la clasificación vehicular.....	33
3.1.3.	Dispositivo antiempotramiento del camión Chevrolet modelo NLR.....	36
3.2.	Porcentaje de inclusión del sistema y necesidad del mercado.....	39
3.2.1.	Porcentaje de inclusión del sistema.....	39
3.2.2.	Necesidad del mercado.....	40
3.3.	Identificación del material, uniones y geometría utilizados en la fabricación del dispositivo antiempotramiento.....	42
3.3.1.	Materiales.....	42
3.3.2.	Geometría y uniones utilizadas en la fabricación del dispositivo antiempotramiento.....	43
3.4.	Determinación del dispositivo antiempotramiento a ser estudiado.....	45
CAPITULO IV		
ESTUDIO DEL DISPOSITIVO ANTIEMPOTRAMIENTO UTILIZADO ACTUALMENTE EN EL MEDIO.....		
47		
4.1.	Estudio dinámico de la colisión.....	47
4.1.1.	Distancia de reacción.....	47

4.1.2.	Distancia de frenado.....	48
4.1.3.	Distancia de seguridad o seguimiento	49
4.1.4.	Velocidad de colisión.....	51
4.1.5.	Fuerza de impacto.....	53
4.1.6.	Estudio de la resistencia de vigas.....	56
4.1.7.	Diseño de columnas	56
4.1.8.	Flexión elasto-plástica	58
4.1.9.	Análisis plástico al límite	61
4.1.10.	Deflexión máxima de una viga	62
4.1.11.	Cálculo de la fuerza de impacto en un accidente	64
4.1.12.	Estudio de los casos.....	67
4.2.	Modelado de la colisión mediante software MEF	73
4.2.1.	Análisis del dispositivo antiempotramiento de un solo tubo	74
4.2.2.	Análisis del dispositivo antiempotramiento de plancha corrugada tipo grada 79	
4.2.3.	Análisis de la propuesta de dispositivo antiempotramiento de un solo tubo	83
4.3.	Análisis de resultados.....	87
4.4.	Procedimiento técnico para el diseño de dispositivo antiempotramiento en plataforma de camiones	88
4.4.1.	Análisis del problema	89
4.4.2.	Síntesis y análisis del sistema	89
4.4.3.	Simulación y optimización.....	91
4.4.4.	Evaluación	92
 CAPITULO V		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		93
5.1.	Conclusiones.....	93
5.2.	Recomendaciones	96
5.3.	Trabajos a futuro.....	97
BIBLIOGRAFÍA		98
Anexo 1		i
Anexo 2		ii
Anexo 3		iii

Anexo 4.....	iv
Anexo 5.....	v

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Dispositivo antiempotramiento.....	4
Figura 1.2. Efectos de colisión con dispositivo antiempotramiento deficiente.	5
Figura 1.3. Efectos de colisión con dispositivo antiempotramiento adecuada.	6
Figura 1.4. Barra actual versus barra optimizada.....	6
Figura 1.5. Barra antiempotramiento convencional.	7
Figura 1.6. Barra antiempotramiento de alicates.....	8
Figura 1.7. Dispositivo antiempotramiento articulado.....	8
Figura 1.8. Dispositivo antiempotramiento con elementos triangulares.	9
Figura 1.9. Bastidor de camión.	10
Figura 1.10. Bastidor con perfil en U.	11
Figura 1.11. Bastidor con perfil de doble T.....	12
Figura 1.12. Bastidor auto portante.....	14
Figura 1.13. Unión soporte – chasis.	14
Figura 2.1. Dispositivo antiempotramiento con detalles de los puntos de prueba y geometría según la regulación FMVSS 224/224.	19
Figura 2.2. Dispositivo antiempotramiento con detalles de los puntos de prueba y geometría según la normativa canadiense. Vista trasera.	21
Figura 2.3. Dispositivo antiempotramiento con detalles de los puntos de prueba y geometría según las regulaciones de Brasil.	23
Figura 2.4. Dimensiones del dispositivo antiempotramiento.....	25
Figura 2.5. Categorías de vehículos.....	30
Figura 3.1. Camión Chevrolet modelo NLR.....	33
Figura 3.2. Dimensiones del camión NLR.	36
Figura 3.3. Dispositivo antiempotramiento de un solo tubo.	37
Figura 3.4. Dispositivo antiempotramiento de doble tubo.	38
Figura 3.5. Dispositivo antiempotramiento de plancha corrugada.	38
Figura 3.6. Dispositivos utilizados en el medio.....	39
Figura 3.7. Dispositivos antiempotramiento de un solo tubo.....	43
Figura 3.8. Dispositivos antiempotramiento de doble tubo.	44
Figura 3.9. Dispositivos antiempotramiento de plancha corrugada tipo grada.....	44
Figura 3.10. Dispositivo antiempotramiento de un solo tubo del camión Chevrolet modelo NLR.....	45
Figura 3.11. Modelado del dispositivo antiempotramiento de un solo tubo.	46

Figura 4.1. Reconstrucción de un accidente.	53
Figura 4.2. La distribución de los esfuerzos en una viga es lineal.	59
Figura 4.3. Ubicación de y_1 y y_2 y distribución de esfuerzo en régimen elastoplástico. .	60
Figura 4.4. Esquema del análisis plástico al límite para una barra doblemente empotrada.	61
Figura 4.5. Sistemas antiempotramiento. (a) Dispositivo antiempotramiento de plancha corrugada tipo grada; (b) Dispositivo antiempotramiento de doble tubo; (c) Dispositivo antiempotramiento de un solo tubo.	68
Figura 4.6. Dispositivo antiempotramiento de un solo tubo.	68
Figura 4.7. Centroide de la mitad de una corona circular.	71
Figura 4.8. Modelado del dispositivo antiempotramiento de un solo tubo.	75
Figura 4.9. Calidad del mallado obtenido del dispositivo antiempotramiento de un solo tubo.	76
Figura 4.10. Esfuerzo de Von Mises obtenido del dispositivo antiempotramiento de un solo tubo.	77
Figura 4.11. Deformación total obtenida del dispositivo antiempotramiento de un solo tubo.	78
Figura 4.12. Factor de seguridad con respecto al esfuerzo obtenido del dispositivo antiempotramiento de un solo tubo.	78
Figura 4.13. Modelado del dispositivo antiempotramiento de plancha corrugada tipo grada.	79
Figura 4.14. Calidad del mallado obtenido del dispositivo antiempotramiento de plancha corrugada tipo grada.	80
Figura 4.15. Esfuerzo de Von Mises obtenido del dispositivo antiempotramiento de plancha corrugada tipo grada.	81
Figura 4.16. Deformación total obtenida del dispositivo antiempotramiento de plancha corrugada tipo grada.	82
Figura 4.17. Factor de seguridad con respecto al esfuerzo obtenido del dispositivo antiempotramiento de plancha corrugada tipo grada.	83
Figura 4.18. Modelado del dispositivo antiempotramiento propuesto de un solo tubo.	84
Figura 4.19. Calidad del mallado obtenido del dispositivo antiempotramiento propuesto de un solo tubo.	85
Figura 4.20. Esfuerzo de Von Mises obtenido del dispositivo antiempotramiento propuesto de un solo tubo.	85
Figura 4.21. Deformación total obtenida del dispositivo antiempotramiento propuesto de un solo tubo.	86

Figura 4.22. Factor de seguridad con respecto al esfuerzo obtenido del dispositivo antiempotramiento propuesto de un solo tubo.	87
Figura 4.23. Esquema del procedimiento técnico para el diseño de un dispositivo antiempotramiento.	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Unión soporte – chasis.....	15
Tabla 2.1. Requerimientos para las diferentes categorías de vehículos.	18
Tabla 2.2. Requisitos de carga de prueba.	19
Tabla 2.3. Requisitos de carga de prueba según la normativa canadiense.	21
Tabla 2.4. Requisitos de carga de prueba según la regulación de Brasil.	22
Tabla 2.5. Clasificación tipo M.	29
Tabla 2.6. Clasificación tipo N.	29
Tabla 2.7. Clasificación tipo O.	30
Tabla 3.1. Ventas por marca 2010 – 2015.....	32
Tabla 3.2. Camiones según marca.	32
Tabla 3.3. Camiones Chevrolet vendidos durante el 2014.	34
Tabla 3.4. Características técnicas del camión Chevrolet modelo NLR.	37
Tabla 3.5. Sinestros por provincia a nivel nacional Enero – Octubre 2016.	40
Tabla 3.6. Sinestros por tipo a nivel nacional Enero – Octubre 2016.	41
Tabla 3.7. Tipos de vehículos involucrados en siniestros de tránsito a nivel nacional enero – octubre 2016.	41
Tabla 3.8. Propiedades mecánicas de los aceros.	42
Tabla 3.9. Tipos de uniones del dispositivo antiempotramiento de un solo tubo.	43
Tabla 3.10. Tipos de uniones del dispositivo antiempotramiento de doble tubo.	44
Tabla 3.11. Tipos de uniones del dispositivo antiempotramiento de plancha corrugada tipo grada.	45
Tabla 4.1. Tiempos de reacción.	48
Tabla 4.2. Coeficientes de rozamiento entre las ruedas y la calzada.	49
Tabla 4.3. Límites de velocidad para vehículos livianos (Turismos).	50
Tabla 4.4. Límites de velocidad para vehículos de transporte de carga.	50
Tabla 4.5. Medidas y coeficientes de acuerdo a la categoría del vehículo.	55
Tabla 4.6. Cargas críticas, longitudes efectivas y factores de longitud efectiva para columnas ideales.	57
Tabla 4.7. Tiempos de distracción al realizar diversas actividades.	64
Tabla 4.8. Datos de entrada para el estudio de una colisión por alcance.	66
Tabla 4.9. Datos de obtenidos para los valores de entrada de la tabla 4.9.	66
Tabla 4.10. Datos de entrada sobre la estructura utilizada como barra antiempotramiento.	69

Tabla 4.11. Características del perfil L seleccionado.	69
Tabla 4.12. Características del perfil L seleccionado.	70
Tabla 4.13. Dimensiones del sistema propuesto.	73

ÍNDICE DE ECUACIONES

4.1. Ecuación de movimiento rectilíneo uniforme	48
4.2. Distancia de reacción	48
4.3. Balance de energía en el frenado	49
4.4. Distancia de frenado	49
4.5. Distancia de seguridad o seguimiento	50
4.6. Ecuación de trabajo y energía	51
4.7. Ecuación de trabajo y energía en un vehículo que está desacelerando	51
4.8. Trabajo de frenado	52
4.9. Velocidad de colisión.....	52
4.10. Distancia que recorre el turismo mientras frena a fin de evitar la colisión.....	53
4.11. Velocidad de colisión en función de los parámetros de un posible accidente.....	53
4.12. Velocidad de colisión según el modelo de Campbell	54
4.13. Deformación residual en función de los parámetros de Campbell	54
4.14. Fuerza por unidad de longitud según modelo de Campbell.....	54
4.15. Fuerza por unidad de longitud que se produce en un posible accidente	55
4.16. Fuerza ejercida sobre la barra antiempotramiento en una colisión por alcance	55
4.17. Relación de esbeltez crítica	57
4.18. Relación de esbeltez de la columna	57
4.19. Esfuerzo permisible para columnas.....	58
4.20. Coeficiente.....	58
4.21. Esfuerzo permisible para columnas.....	58
4.22. Coeficiente.....	58
4.23. Esfuerzos normales.....	59
4.24. Momento de fluencia	59
4.25. Módulo de la sección.....	59
4.26. Momento plástico	60
4.27. Módulo de la sección en régimen elastoplástico	60
4.28. Factor de forma	60
4.29. Momento plástico	60
4.30. Trabajo virtual en una viga empotrada	61
4.31. Carga última de una viga empotrada con régimen elastoplástico	62
4.32. Ecuación de la energía para una barra doblemente empotrada.....	62
4.33. Curva de deflexión para una barra doblemente empotrada.....	62

4.34. Deflexión máxima para una barra doblemente empotrada	62
4.35. Curva de deflexión en función de la deflexión máxima	63
4.36. Energía de deformación para una barra doblemente empotrada	63
4.37. Energía media de choque	63
4.38. Deflexión máxima debido al impacto	63
4.39. Deflexión máxima de la barra en función de los parámetros de choque	63
4.40. Velocidad de colisión por tiempo de distracción	65
4.41. Velocidad de colisión debido a irrespeto de la distancia de seguridad.....	65
4.42. Momento de inercia de una sección de corona circular	71
4.43. Momento de fluencia para una sección de corona circular	71
4.44. Centroide de un área.....	71
4.45. Distancia al centroide de la mitad de la corona circular	72
4.46. Módulo de la sección de corona circular en régimen elastoplástico	72
4.47. Momento plástico de una sección de corona circular	72
4.48. Factor de forma para una sección de corona circular	72

NOMENCLATURA

DESCRIPCIÓN DEL PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDADES
Aceleración de la gravedad	g	m/s^2
Anchura frontal del vehículo	A	m
Carga distribuida última en régimen elastoplástico	w_{ult}	N/m
Carga sobre la viga	P	N
Coefficiente de rozamiento	μ_s	<i>adimensional</i>
Coefficiente de rozamiento del camión	μ_{sc}	<i>adimensional</i>
Coefficiente de rozamiento del turismo	μ_{st}	<i>adimensional</i>
Deflexión máxima	δ_{max}	m
Deformación residual después del choque	D	m
Distancia al eje neutro de una sección	c	cm
Distancia de frenado	s_f	m
Distancia de seguridad o seguimiento	s_s	m
Distancia recorrida por el vehículo	d	m
Energía cinética del automóvil	E_t	J
Energía de frenado del automóvil	E_f	J
Esfuerzo de fluencia	σ_y	MPa
Esfuerzo normal	σ	MPa
Esfuerzo permisible	σ_{perm}	MPa
Factor de forma	f	<i>adimensional</i>
Fuerza sobre el vehículo por unidad de longitud	W	N/m
Fuerza total sobre el vehículo	F	N

Índice de irrespeto de la distancia de seguridad	p	<i>adimensional</i>
Longitud entre apoyos de la barra	L	m
Masa de un vehículo	m	kg
Masa del automóvil (turismo)	m_t	kg
Módulo de la sección	S	cm^3
Módulo de la sección en régimen elastoplástico	Z	cm^3
Módulo de Young	E	GPa
Momento de fluencia	M_y	$N\ m$
Momento de inercia	I	cm^4
Momento plástico	M_p	$N\ m$
Parámetro de Campbell	b_0	km/h
Parámetro de Campbell	b_1	s^{-1}
Radio de giro	r	m
Relación de esbeltez crítica	$\left(\frac{KL}{r}\right)_c$	<i>adimensional</i>
Tiempo de distracción del conductor del turismo	t_d	s
Tiempo de reacción	t_r	s
Tiempo de reacción del turismo y del conductor del camión	t_{rt}	s
Trabajo entre dos puntos	U_{1-2}	J
Velocidad de colisión	v_{col}	m/s
Velocidad de colisión por irrespeto de la distancia de seguridad	v_{colp}	m/s
Velocidad de colisión por tiempo de distracción	v_{cold}	m/s
Velocidad de colisión según modelo de Campbell	V	m/s
Velocidad del camión	v_c	km/h
Velocidad del turismo	v_t	km/h

RESUMEN

El objetivo fue verificar si un dispositivo antiempotramiento, puede soportar las cargas de impacto que se producen en un accidente de colisión por alcance entre un turismo y un camión. Se presentó tanto un enfoque analítico que comprende un estudio dinámico para calcular la fuerza que se produce en un impacto y, por otro lado, se usó la mecánica de materiales en régimen elastoplástico para determinar si el dispositivo analizado resiste a las cargas a las que está sometido. También se utilizó la simulación por software de elementos finitos tanto para poder comparar los cálculos realizados como para analizar barras antiempotramiento con geometrías más complicadas, en donde un estudio analítico es muy complejo. Este estudio inició con la búsqueda de información referente a los dispositivos antiempotramiento utilizados y la normativa nacional e internacional que rige tanto el diseño, la construcción y el análisis de estos dispositivos, a continuación, se eligió el tipo de camión más vendido en el medio, y de este modelo se consideró los dispositivos más utilizados en este tipo. A continuación, se planteó un procedimiento para efectuar el estudio de estos dispositivos, en donde se indican los pasos que se deben considerar analizar el correcto funcionamiento de estas barras. Como resultados se pudo demostrar que las barras utilizadas actualmente no resisten a las cargas producidas en una colisión, obteniéndose que la barra analizada no resiste las cargas. Finalmente se realizó un redimensionamiento de la barra que pueda resistir las cargas involucradas.

Palabras clave: Aplicación de software MEF, barra antiempotramiento, flexión elastoplástica, reconstrucción de un accidente.

ABSTRACT

The objective was to verify if a rear underrun protection device can withstand the impact loads that occur in a rear-end collision accident between a bus and a truck, presenting both an analytical approach that includes a dynamic study to calculate the force that is produced on an impact and, on the other hand, the mechanics of materials were used in an elastoplastic regime to determine if the analyzed device resists the loads to which it is subjected. Finite element simulation software is also used both to compare the calculations performed and to analyze rear underrun bars with more complicated geometries, where an analytical study is very complex. This study began with information search regarding the rear underrun protection devices used and the national and international regulations that rule the design, construction and analysis of these devices, then the truck type best sold was chosen, and of this model the devices most used in this type were considered. Next, a procedure was performed to study these devices, which indicates the steps that should be considered to analyze the correct operation of these bars. As results, it was possible to demonstrate that nowadays the bars used do not resist the loads produced in a collision, obtaining that the analyzed bar does not resist the loads, finally a resizing of the bar to withstand the involved loads was made.

Keywords: MEF software application, rear underrun protection device, elastoplastic flexion, accident reconstruction.

ESTUDIO DE LA FUNCIONALIDAD DEL DISPOSITIVO ANTIEMPOTRAMIENTO UTILIZADO EN CAMIONES

INTRODUCCIÓN

El dispositivo de barra antiempotramiento es un sistema instalado en la parte trasera de un vehículo y cuyo objetivo es limitar la distancia de deslizamiento la parte delantera de otro vehículo que lo colisiona por alcance (MAPFRE, 2016). Según la legislación ecuatoriana considera al accidente de tránsito como un suceso eventual, fortuito, involuntario, que necesariamente debe ocurrir en vías o lugares públicos o privados abiertos al tránsito vehicular y peatonal, y que ocasiona personas muertas, lesionados, heridos y daños materiales en vehículos, vías o infraestructura; dentro de este contexto se define al choque por alcance como el impacto de un vehículo al vehículo que lo antecede. (Reglamento y ley de transporte terrestre, 2012)

La Norma RTE INEN 034:2009, indica en su apartado 4.2.4.1, que: *“Los vehículos pesados {autobuses (ómnibus), camión, tanquero, volqueta o tracto camión (tráiler), unidades de carga, etc.}, deben estar contruidos y/o equipados de manera que ofrezcan en todo su ancho en la parte posterior una protección eficaz contra la incrustación de vehículos livianos de pasajeros, debajo de la plataforma de carga del vehículo pesado (sedán, station wagon, coupe, automóvil, camioneta, etc.). Estos elementos deben cumplir con las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN aplicables vigentes.”*

Según el informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y corroborado por las estadísticas del INEC y de la Agencia Nacional de Tránsito en donde se indica que hasta el mes de septiembre del 2014 se tiene una cifra de 28.893 accidentes a nivel nacional; por lo expuesto el Ecuador es el segundo país en Sudamérica con el mayor índice de muertes por accidentes de tránsito, convirtiéndose en la primera causa de fallecimiento en los hombres y como la quinta a nivel general. (Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador, 2017)

Aunque no existe un registro específico sobre lo accidentes debidos a la falta o uso inadecuado del dispositivo antiempotramiento que generalmente son de extrema gravedad, tampoco se cuenta con un estudio de la importancia y uso de este sistema en nuestro medio, peor aún un análisis del sistema usado actualmente y de las consecuencias que se tendría ante una colisión.

La Norma RTE 034 en el literal 4.14.1 indica que: *“los vehículos automotores de categorías M3, N3, N2 y O deben estar contruidos y/o equipados de manera que ofrezcan protección eficaz al impacto en la parte ancha posterior del vehículo”*; sin embargo, queda la incertidumbre de saber si los “dispositivos” utilizados actualmente cumplen con el fin para el cual son colocados.

Según cifras que presenta la AEADE (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador) en su anuario 2013 indica que el camión más vendido en el Ecuador es de la marca Chevrolet, con su modelo NLR, en el año 2013 se ha comercializado alrededor de 1271 unidades, la mayoría de ellas vendidas en las provincias de Guayas, Pichincha y Tungurahua.

La mayor parte de los camiones Chevrolet del modelo NLR no tienen barras antiempotramiento, esto se pudo constatar en los talleres donde se construyen estos dispositivos, los cuales mencionan que no es frecuente la instalación de estos elementos y si se fabrica alguno de estos se basan en planos proporcionados por el dueño o según el “gusto” del mismo y bajo ningún criterio técnico. Por medio de constatación visual se observó que la mayor parte de camiones Chevrolet modelo NLR no tienen barra antiempotramiento, en este aspecto se puede mencionar que aproximadamente cuatro de cada ocho camiones no cuentan con estos dispositivos y los talleres a los cuales se visitaron para constatar esta situación, no se rigen en norma alguna para su construcción.

Debido al elevado costo que tendría realizar pruebas reales, será necesario realizar un análisis virtual con software de elementos finitos para probar la resistencia mecánica al impacto del dispositivo.

Los beneficios del presente estudio serían:

- Contar con un documento que muestre la importancia y la realidad local acerca de la utilización del sistema en estudio.
- Poseer una información técnica que permita avalar o desacreditar la utilización de los dispositivos más usados actualmente.
- Proponer un procedimiento técnico para el diseño de dispositivos antiempotramiento.
- Realizar un aporte a la disminución de las consecuencias del accidente de colisión por alcance y así contribuir a tomar conciencia sobre el uso correcto de este sistema.

- Contribuir a la generación de fuentes de trabajo dedicadas a la producción técnica de sistemas de seguridad vehicular.

A fin de convertirse en un aporte a la disminución de los daños y consecuencias de este siniestro así como contribuir a tomar conciencia sobre el uso correcto de este sistema, que puede ser construido en el Ecuador generando fuentes de trabajo y mejorando el nivel de seguridad de los vehículos automotores que circulan por las carreteras de nuestro país.

Objetivo general

Analizar la influencia en la seguridad vehicular del dispositivo antiempotramiento de la plataforma de camiones durante una colisión por alcance.

Objetivos específicos

- Fundamentar teóricamente el funcionamiento del dispositivo antiempotramiento de la plataforma de camiones.
- Estudiar la normativa vigente para el dispositivo antiempotramiento aplicado en la plataforma de camiones.
- Diagnosticar el uso del dispositivo antiempotramiento de la plataforma de camiones utilizados en el medio, durante una colisión frontal por alcance.
- Estudiar el dispositivo antiempotramiento utilizado actualmente en el medio.
- Analizar los resultados obtenidos.
- Recomendar un procedimiento técnico sustentado en los aspectos fundamentales para el diseño del dispositivo antiempotramiento.

Hipótesis

Con el presente estudio se pretende demostrar la efectividad del dispositivo antiempotramiento utilizado en la plataforma de camiones durante una colisión por alcance.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Sistemas antiempotramiento para plataforma de camiones

El sistema antiempotramiento para plataforma de camiones, más conocido como barra antiempotramiento es una estructura que va montada en los vehículos de transporte pesado, figura 1.1, para evitar que otros vehículos de menor tamaño (turismo) colapsen por la parte trasera quedando empotrados bajo los vehículos más grandes (Instituto de investigación en Aragón, 2015).

En el momento de un accidente la barra antes mencionada debe ser capaz de absorber la energía de impacto y además de ello garantizar una deformación limitada de la misma (Pérez, 2009).

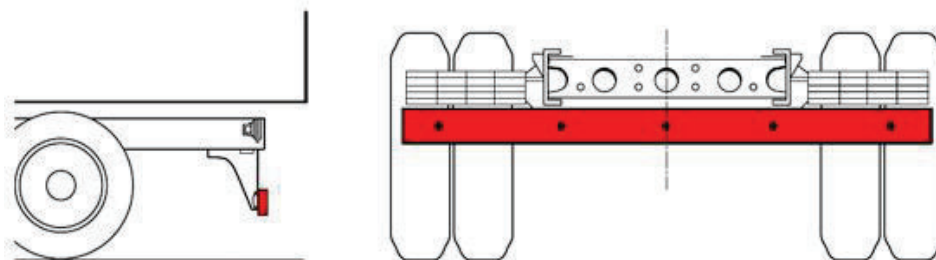


Figura 1.1. Dispositivo antiempotramiento.
(Fuente: <http://www.investigacion-reconstruccion-trafico.blogspot.com>)

1.1.1. Características del sistema antiempotramiento para plataforma de camiones

- Está construido con un material rígido y por su construcción está diseñado para vehículos que se dedican al transporte de mercancías. (MAPFRE, 2016)
- La superficie del parachoques es totalmente plana. (MAPFRE, 2016)
- La altura de dicho dispositivo del vehículo en reposo debe estar a 450 mm del suelo para que, en el caso de colisión por alcance, el turismo pueda liberar parte de

la energía mediante la deformación de los largueros de su estructura y darle tiempo a que los elementos de seguridad pasiva del vehículo puedan activarse tras el punto de impacto. (MAPFRE, 2016)

Las características mencionadas son de ámbito general, estas pueden variar según normativas de diferentes países y actualizaciones de las mismas (MAPFRE, 2016).

1.1.2. Funcionamiento

Durante la colisión por alcance la barra antiempotramiento actúa evitando que la parte delantera del automóvil pequeño se empotre debajo del vehículo pesado. En la figura 1.2 se puede observar los efectos de una incorrecta altura de la barra, o una insuficiente rigidez de la misma, que producirá que la parte delantera del turismo entre por debajo de la plataforma inferior de la caja del camión, hasta alcanzar el habitáculo del conductor con el consiguiente riesgo lesivo de los ocupantes. (Parera, 2000)



Figura 1.2. Efectos de colisión con dispositivo antiempotramiento deficiente.
(Fuente: <http://www.investigacion-reconstruccion-traffic.blogspot.com>)

Como puede observarse en la figura 1.3, la ubicación adecuada de estos elementos de seguridad pasiva con respecto a la altura y su anclaje en una estructura con la rigidez suficiente, ayudará a transmitir la fuerza del impacto sobre la parte frontal del vehículo;

permitiendo así que la estructura absorba la energía a través de su deformación y evitando el daño en la zona del habitáculo.



Figura 1.3. Efectos de colisión con dispositivo antiempotramiento adecuada.
(Fuente: <http://www.investigacion-reconstruccion-traffic.blogspot.com>)

Según un estudio realizado por automóvil Club de Alemania ADAC se demostró que una barra colocada a 550 mm de altura no soporta las enormes cargas del impacto. La seguridad mejora notablemente al colocar la altura de la barra antiempotramiento a 450 mm (ADAC, 2007). Algunas de las conclusiones de dicho trabajo se presentan en la figura 1.4.

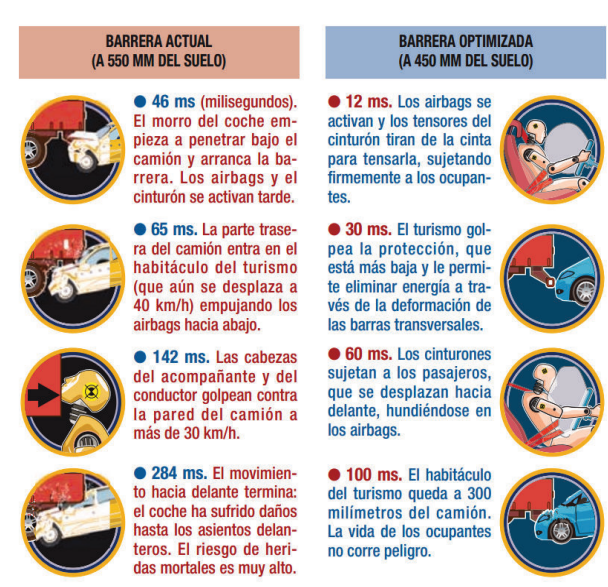


Figura 1.4. Barra actual versus barra optimizada.
(Fuente: <http://www.dgt.es/revista/archivo/pdf/num184-2007-barras.pdf>)

1.1.3. Tipos de sistemas de antiempotramiento

Hay diferentes diseños de dispositivos antiempotramiento, pero son muy pocos los diseños actuales que tienen, buena resistencia a la flexión y a la rotura, buenas características para absorber la energía y una distancia adecuada con respecto al suelo para evitar el empotramiento de un vehículo de turismo durante una colisión.

Algunos de los posibles tipos de diseño de dispositivos antiempotramiento se indican a continuación. (UNICAMP, 2016)

a. Dispositivo antiempotramiento convencional

Este tipo de diseño de dispositivos antiempotramiento son simples y está compuesto dos puntales verticales y un miembro horizontal que es menos fuerte en algunos casos para evitar el empotramiento. En el momento de la colisión toda la estructura de protección antiempotramiento se convierte en una superficie de deslizamiento que promueve el efecto cuña. El coche se comprime al suelo y levanta la parte trasera del camión, progresando más debajo de ella. Al generarse el efecto cuña se anula el antiempotramiento ocasionando efectos fatales. (Figura 1.5) (ADAC, 2007)

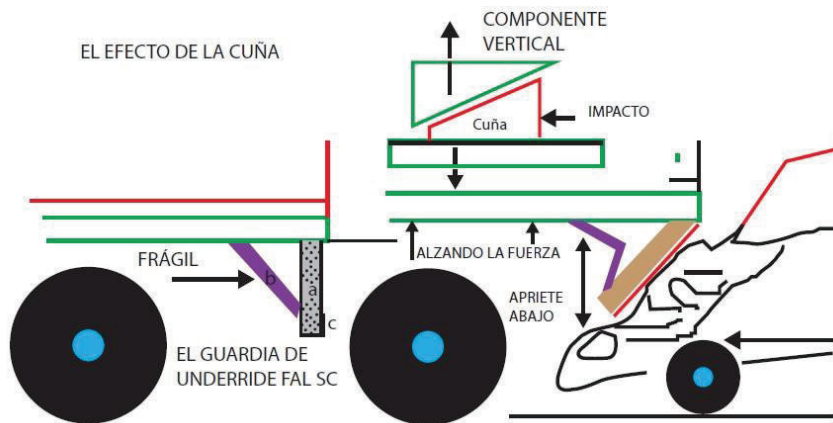


Figura 1.5. Barra antiempotramiento convencional.
(Fuente: <http://www.fem.unicamp.br/~impact/english.htm>)

b. Dispositivo antiempotramiento de alicates

Este dispositivo utiliza el principio mecánico de la herramienta alicates simples. Se compone de un bastidor colgante sostenido por cables de acero.

El bastidor está unido a la viga del chasis de camión por medio de soldadura de dos articulaciones, cuando el coche golpea al dispositivo, el parachoques del coche entra en contacto con los cables de acero, en donde los cables de acero se deforman cuando el coche se mueve hacia adelante y absorbiendo así el choque. (Figura 1.6) (UNICAMP, 2016)

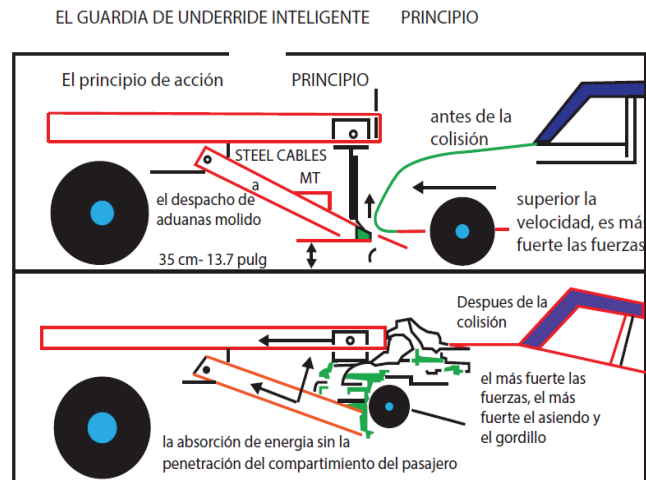


Figura 1.6. Barra antiempotramiento de alicates.
(Fuente: <http://www.fem.unicamp.br/~impact/english.htm>)

c. Dispositivo antiempotramiento articulado

Este dispositivo antiempotramiento está compuesto por dos brazos verticales (E), que por un extremo se une al ras de la viga del chasis del camión (G) mediante articulaciones, mientras que por el otro extremo se une a la barra horizontal (A). Los dos brazos verticales tienen unos soportes laterales (B), los cuales están unidos a un refuerzo (D). (Figura 1.7) (Bordegé & González)

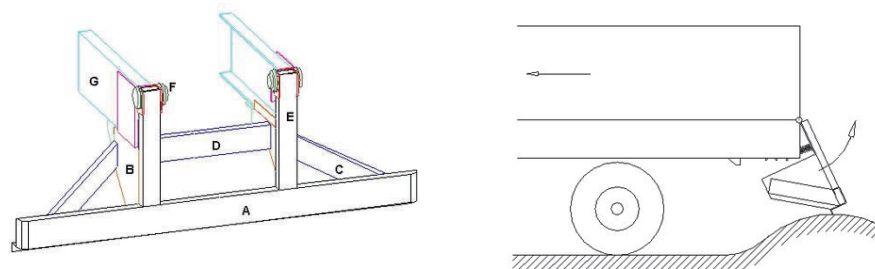


Figura 1.7. Dispositivo antiempotramiento articulado.
(Fuente: <http://www.fem.unicamp.br/~impact/english.htm>)

d. Dispositivo antiempotramiento con elementos triangulares

Este dispositivo está definido por una barrera de perfil en U (1) fijado mediante tornillos a una pareja de elementos triangulares (2) de unión a los respectivos largueros (3) del bastidor del vehículo, interponiéndose entre estos elementos (1 y 2) unas placas intermediadas (4) que sobresalen superiormente para soldarse al bastidor. (Figura 1.8) (MAPFRE, 2016)

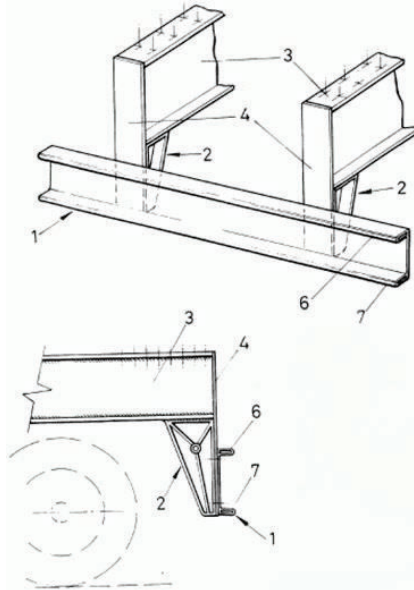


Figura 1.8. Dispositivo antiempotramiento con elementos triangulares.
(Fuente: <http://patentados.com/invento/dispositivo-antiempotramiento-para-semirremolque.html>)

1.2. Bastidores de camiones

El bastidor de un vehículo es el elemento capaz de soportar la carga suspendida y los efectos que actúan sobre ella, como consecuencia del trabajo que realiza el vehículo. Dicho elemento consiste en un entramado de perfiles metálicos que conforman el esqueleto del vehículo y, además de actuar de sostén y soporte, resiste el peso del resto de componente (carrocería, ruedas, motor y suspensiones) y la carga estáticas y dinámicas que se originan por el funcionamiento del vehículo (Instituto de investigación en Aragón, 2015).

La utilización de cada tipo de bastidor en los vehículos industriales, depende de varios factores, como pueden ser las dimensiones, rigidez, masa a transportar, proceso de fabricación o el uso del vehículo. El bastidor de largueros longitudinales es el tipo de

bastidor más utilizado en vehículos industriales de transporte de carga, por su alta rigidez y sencillez en la fabricación. (Figura 1.9) (Instituto de investigación en Aragón, 2015)



Figura 1.9. Bastidor de camión.
(Fuente: <http://www.escueladeltrabajo.net/bastcamion.pdf>)

1.2.1. Bastidor de largueros longitudinales

Existen varios tipos de bastidores de largueros longitudinales en el mercado, ya que cada vehículo está destinado a un uso concreto y cuenta con unas características técnicas y dimensiones propias, además del uso de materiales y procesos de fabricación diferentes para los diferentes tipos de estos elementos (Ingemecánica, 2017). A continuación, se presentan los bastidores más utilizados en los vehículos industriales:

a. Bastidor con perfil en U

Los bastidores cuyos largueros se forman a partir de perfiles en U se encuentran principalmente en tracto camiones, camiones rígidos, autobuses y remolques, y es por eso que son los más utilizados en el conjunto de los vehículos industriales. (Instituto de investigación en Aragón, 2015)

Sus características mecánicas y formas con paredes exteriores planas los hacen ideales para situar sobre ellos superestructuras y bastidores auxiliares que añaden mayor resistencia a la estructura portante en el proceso de carrozado de camiones.

Este tipo de perfil abierto permite la flexión en los largueros, sin que se exponga el material a tensiones innecesarias y proporciona a los travesaños una resistencia suficiente para absorber las fuerzas laterales. Las dimensiones de estos perfiles varían desde los poco

más de 4 metros de longitud, 150 mm de altura y 5 mm de espesor en pequeños camiones hasta los 12 metros de longitud, 330 mm de altura y 10 mm de espesor en camiones rígidos de grandes dimensiones. (Figura 1.10) (Ingemecánica, 2017)

El acero es el material más utilizado para la construcción de este tipo de perfil, usándose acero aleado de alto límite elástico (desde los 380 N/mm² hasta los 600 N/mm²). (Ingemecánica, 2017)



Figura 1.10. Bastidor con perfil en U.
(Fuente: <http://www.escueladeltrabajo.net/bastcamion.pdf>)

b. Bastidor Reforzado

Este tipo de bastidores es el utilizado para camiones que transportan grandes pesos y que disponen de carrozado. En este caso, el bastidor puede tener, bien un refuerzo interior en forma de U que se ajusta al perfil exterior, o unas platabandas en las alas del perfil para formar una estructura más rígida y consistente. Generalmente los perfiles en U con refuerzo no se emplean en todo el larguero, sino que sólo se emplea en las zonas del bastidor que más esfuerzos soportan, como la zona comprendida entre el eje delantero y el primer eje motriz. De esta forma se optimiza la sección resistente, en función de los esfuerzos que está destinado a soportar. No obstante, su uso está siendo sustituido por bastidores auxiliares, debido al elevado peso que aportan los perfiles reforzados al conjunto del vehículo, en torno a 20 kg más por cada metro lineal de larguero. (Instituto de investigación en Aragón, 2015)

c. Bastidor con perfil de doble T

Los bastidores construidos a partir de perfiles de doble T se encuentran únicamente en semirremolques y algunos modelos de remolques. La característica principal de este tipo de bastidor se muestra en la facilidad constructiva para el cambio de sección del mismo, en concreto del alma del perfil. Este hecho permite la construcción de semirremolques y plataformas de carga de dimensiones y formas complejas, como los semirremolques tipo góndola, utilizados para el transporte de cargas especiales. Los materiales empleados en este tipo de bastidores son el acero y el aluminio de alta resistencia, teniendo cada uno sus ventajas y desventajas frente al otro. (Figura 1.11) (Instituto de investigación en Aragón, 2015)



Figura 1.11. Bastidor con perfil de doble T.
(Fuente: <http://www.escueladeltrabajo.net/bastcamion.pdf>)

d. Bastidor auxiliar

Se presenta principalmente en los carrozados de los vehículos industriales de los camiones rígidos. Los perfiles de los bastidores auxiliares se superponen a los del bastidor del camión, de forma que se crea un conjunto mucho más rígido y resistente, de manera que ambos juntos pueden adquirir una resistencia suficiente para soportar los esfuerzos a los que se solicita dicho vehículo. El bastidor auxiliar puede estar compuesto por perfiles con formas diferentes, de los que destacan el uso de perfiles en U y en Z. (Instituto de investigación en Aragón, 2015)

El uso de bastidores auxiliares, junto con el bastidor del camión, consigue una reducción de peso superior a los 200 kg, frente a los bastidores con perfiles en U reforzados. (Ingemecánica, 2017)

e. Bastidor compuesto

Se denomina bastidor compuesto, al bastidor cuyos largueros presentan lo largo de su longitud secciones con diferentes perfiles estructurales. La mayoría de bastidores compuestos contienen un perfil en U en la parte central y trasera del bastidor, y un perfil en Z con ligera inclinación en la parte delantera, bajo la cabina. Con el perfil en Z se busca un aumento de espacio, donde se sitúa el bloque motor y con la inclinación de la viga delantera un descenso en la altura de la cabina, haciéndolo idóneo en camiones de reparto. (Instituto de investigación en Aragón, 2015)

f. Bastidor de cabina

Con el propósito de mejorar las condiciones de seguridad y confort de los ocupantes de los vehículos industriales de gran tonelaje, las cabinas se mantienen independientes del chasis de los camiones, rígidos o tractoras. Este tipo de bastidores se localizan en la zona inferior de las cabinas, donde apenas se puede ver a simple vista, pero constituyendo el soporte necesario que el vehículo necesita para resistir el peso propio de la cabina y de sus ocupantes. En este caso los perfiles del bastidor son de formas y dimensiones irregulares, y todas tienen en común dos largueros, que unen el piso de la cabina al bastidor del camión. Las dimensiones y espesores de los bastidores de cabina apenas superan los 3 mm de espesor y los 2 m de longitud. (Instituto de investigación en Aragón, 2015).

1.2.2. Bastidores auto portantes

El uso de bastidores auto portantes, en el mundo de los vehículos industriales, no está tan generalizado como el uso de los bastidores de largueros independientes de la carrocería. Los bastidores auto portantes se encuentran principalmente en vehículos comerciales, como furgonetas y vehículos mixtos. En algunos modelos de automóviles, la denominación auto portante adquiere otra connotación, surgiendo los llamados bastidores semi monocascos, o semi auto portantes, que forman una estructura independiente del carrozado, pero siendo este último imprescindible para poder soportar los elementos mecánicos, así como las cargas y esfuerzos a las que somete el vehículo. (Figura 1.12) (Instituto de investigación en Aragón, 2015)

1.3. Materiales y uniones del dispositivo antiempotramiento

1.3.1. Materiales

Los soportes y la barra del dispositivo antiempotramiento deben estar fabricados en acero estructural ASTM A36 / A37-24 ES o superior; esto según la normativa chilena 176176 con fecha de su última modificación 14 de diciembre de 2002.



Figura 1.12. Bastidor auto portante.

(Fuente:<http://adrianallende-eaf.blogspot.com/2011/11/tipos-de-carrocerias.html>)

1.3.2. Uniones

La normativa existente en sus apartados no especifica los tipos de uniones entre los elementos del dispositivo antiempotramiento; pero en su generalidad son por medio de pernos o soldadura.

La barra antiempotramiento más utilizada en el medio, tiene un sistema de fijación que consiste de un soporte mediante pernos directamente al bastidor del camión en su parte posterior, en la misma se encuentra unida la barra principal mediante sueldas continuas, este tipo de unión se presenta en la tabla 1.1 y se puede observar en la figura 1.13.



Figura 1.13. Unión soporte – chasis.

(Fuente: Los autores)

Tabla 1.1. Unión soporte – chasis.

Tipo de uniones.	
Elementos.	Unión.
Soporte-chasis	Tuercas M12
Soporte-Barra	Suelda continua. Soldadura eléctrica con electrodo revestido.

(Fuente: Los autores)

CAPÍTULO II

ESTUDIO DE LA NORMATIVA VIGENTE PARA LOS DISPOSITIVOS ANTIEMPOTRAMIENTO APLICADO EN LA PLATAFORMA DE CAMIONES

2.1. Introducción

En el ámbito técnico a la norma se define como un documento que contiene definiciones, requisitos, especificaciones de calidad, terminología, métodos de ensayo o información de rotulado. La elaboración de una norma técnica está basada en resultados de la experiencia, la ciencia y del desarrollo tecnológico, de tal manera que se pueda estandarizar procesos, servicios y productos, es decir, establece las condiciones mínimas que deben reunir un producto o servicio para que sirva al uso al que está destinado. (Gutierrez, 2017)

La norma se establece por consenso y con la aprobación de organismos reconocidos. En Europa hay dos fuentes normativas involucradas con la homologación de vehículos que son: la Unión Europea que emite Directivas UE y la ONU que emite Reglamentos UNECE, en donde los contenidos técnicos son equivalentes, en donde las diferencias se dan en el tiempo publicación y aplicación. Con respecto a las directrices de la UE son normas de cumplimiento obligatorio para los países pertenecientes a la Unión Europea; en tanto que los reglamentos UNECE son normas de aplicación voluntaria. (Buil, Homologación de Carrocerías de Camión, 2016)

Los Reglamentos UNECE se derivan del acuerdo de Ginebra 1958 de armonización de normas técnicas de homologación y reconocimiento mutuo de las homologaciones concedidas. Se publican en ginebra y actualmente son más de 120, y cada país decide cómo y cuándo se aplican. Son miembros del acuerdo de Ginebra del 1958 todos los países de Europa (incluyendo el Este) y países de todos los continentes como Japón, USA, Canadá, Australia, Corea, China, India, Países de Sudamérica, entre otros y están en distintas fases de adhesión al acuerdo o a sus anexos. Las Directivas de la UE son normas de obligado cumplimiento para los países de la Unión Europea. La norma que rige a los dispositivos antiempotramiento condicionan su diseño, ya que debe realizarse con el

objetivo de resistir un ensayo de aplicación de cargas; en varios países ya hay alguna regulación especificando los requisitos técnicos para la protección antiempotramiento. (Buil, 2016)

El número de regulación 58 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas, publicado en 1980, establece en Europa los requisitos para vehículos, remolques y semirremolques con respecto a su protección antiempotramiento trasero, los requisitos técnicos de este reglamento europeo han sido adoptados por varios países. Con respecto a los Estados Unidos este dispositivo está regulado desde 1998 por el nuevo número de Normas Federales de Seguridad de Vehículos 223 y 224: FMVSS 223/224 de la NHTSA.

2.2. Normativa ecuatoriana

La normativa vigente en el país es el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034:2009, *“Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores”*, que establece dentro de sus cláusulas que:

Además de lo expuesto es importante mencionar que en la normativa RTE INEN 034 (3R) 2013, establece en el numeral 4.14 que *“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”*. (Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034:2009, 2009)

2.3. Normativa internacional

2.3.1. Normativa Europea

La última actualización del reglamento número 58, de la UNECE es el ECE/TRANS/WP.29/GRSG/2014/18 publicado el 18 de junio de 2016. Según la categoría de vehículos establece los reglamentos de la geometría y fuerzas de ensayo para la barra la barra antiempotramiento como se muestra en la tabla 2.1. (Economic Commission for Europe, World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations, Regulation No. 58, 2014)

2.3.2. Normativa de Estados Unidos

Regulaciones FMVSS 223 y 224 se llevaron a cabo en 1998 y rigen la protección de impacto trasero y la instalación de la unidad. El Reglamento 224 se aplica a los remolques 4359 kg o más.

Tabla 2.1. Requerimientos para las diferentes categorías de vehículos.

Categoría de vehículo o tipo de vehículo	La geometría se refiere al apartado			
	Altura de la sección	Distancia al suelo antes de la prueba	Distancia horizontal entre la parte trasera del RUPD* y la parte trasera del vehículo	Fuerza de ensayo se refiere el apartado (s):
M,N1,O1,O2,G	2.3/7.1/25.5	2.3/16.2/25.2	2.3/16.4/25.3	2.3., A5/3.1.1 a 3.1.2
N2,N3	7.1 o 25.5	16.1/16.2/ o 25.1/25.2	16.4 o 25.3	A5/3.1.1 a 3.1.2
O3,O4	7.1 o 25.5	16.1/16.2/ o 25.1/25.2	16.4 o 25.3	A5/3.1.1 a 3.1.2
Vehículo específico	7.1 o 25.5	16.1/16.2/ o 25.1/25.2	16.4 o 25.3	A5/3.1.3.

* Un RUPD consiste en un elemento transversal y los enlaces a los largueros del bastidor u otros elementos estructurales del vehículo.

(Fuente: <http://www.unece.org>)

Las fuerzas de ensayo se aplican como cargas puntuales independientes de 50 kN en lugares P1 y P2 y 100 kN en la posición P3, tabla 2.2 y figura 2.1.

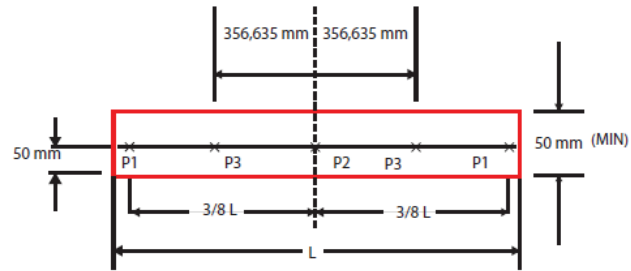
Cualquier dispositivo antiempotramiento dado no necesita ser probado en más de una ubicación. Por punto de carga P3, existe un requisito de absorción de energía que el dispositivo debe absorber por deformación plástica al menos 5,650 Julios de energía dentro de los primeros 125 mm de deflexión. La distancia vertical entre el borde inferior del miembro horizontal del dispositivo y el suelo está limitado a 560 mm, en donde no existe una prueba posterior requerimiento límite de altura. (NHTSA, 2012)

El reglamento FMVSS 223 proporciona instrucciones de instalación que incluyen una explicación del método de fijación y pruebas detalladas instrucciones para guardias de impacto trasero.

Tabla 2.2. Requisitos de carga de prueba.

Puntos de Prueba	Fuerzas Máximas
P1	50 kN
P2	100 kN
P3	50 kN

(Fuente: Norma estadounidense FMVSS 223-224)



la vista trasera de guardia el miembro horizontal

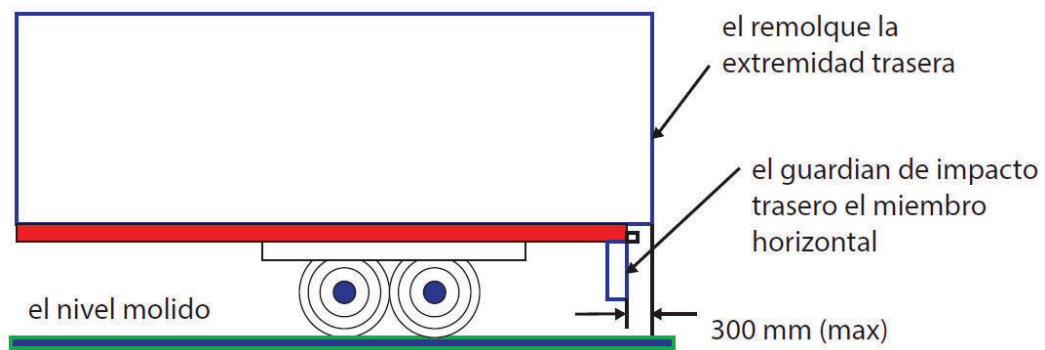
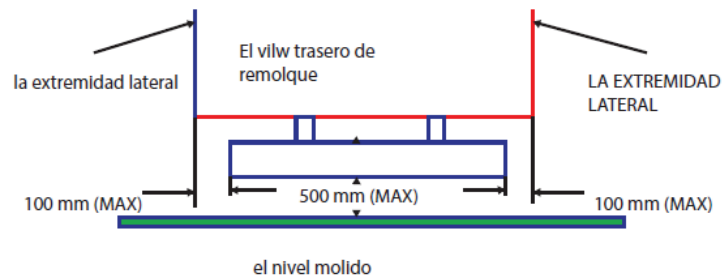


Figura 2.1. Dispositivo antiempotramiento con detalles de los puntos de prueba y geometría según la regulación FMVSS 224/224.

(Fuente: <http://www.nhtsa.gov>)

2.3.3. Normativa de Canadá

La normativa canadiense de protección de impacto trasero N° 223 se puso en vigor el 1 de septiembre de 2007. La prueba canadienses de dispositivos de antiempotramiento trasero es compatible con el requisito de la normativa estadounidense para la carga puntual en P1 y P2, sin embargo, en el punto en P3, ver figura 2.2 y tabla 2.3, en lugar de una carga puntual P3, se requiere una carga uniformemente distribuida de 350 kN a través de la cara del miembro horizontal que abarca los puntos P1, P2, y P3, y debe absorber al menos 20.000 Julios de energía dentro de los primeros 125 mm de deflexión. (NHTSA, 2012)

En el caso de que el dispositivo demuestre la resistencia a una carga uniforme mayor de 700 kN, entonces el reglamento establece que ya no es necesario el requisito de absorción de energía. Finalmente, después de que se complete la prueba de carga uniforme, la distancia al suelo del miembro horizontal no será superior a 560 mm.

En el caso que se ponga a prueba el dispositivo en el punto P3, no es una opción la aplicación de una carga puntual de 175.000 N en dicha ubicación, para ello se permite la aplicación de una carga uniforme de 175.000 N que debe aplicarse al miembro horizontal que comprende de una mitad del dispositivo de impacto trasero, siendo la deflexión permisible no más de 125 mm. Estas diferencias en la regulación no son insignificantes y tienen implicaciones para el rendimiento de los dispositivos antiempotramiento. El sistema de carga puntual aplicada en la normativa estadounidense permite que la barra horizontal contribuya a la fuerza de absorción de la resistencia y la energía a través de la flexión del miembro principal guardia. La carga uniforme distribuida especificada en la normativa canadiense evita la deformación de la barra horizontal y por lo tanto niega cualquier contribución de flexión horizontal a los requisitos de absorción de fuerza y energía. Hay un argumento fuerte de que el escenario de carga uniforme es más consistente con la cinemática de choque trasero y al exigir una prueba de carga uniforme, asegura que la fuente de la contribución de absorción de energía reside en las estructuras de apoyo. La opción adicional de eliminar el requisito de la absorción de energía si la capacidad de carga uniforme de guardia es mayor de 700 kN proporciona un objetivo de diseño robusto.

Para el test post altura del dispositivo antiempotramiento es de 560 mm, ver figura 2.2, el cual asegura que el potencial protector de la protección no se vea disminuida por la excesiva separación del suelo durante el proceso de deformación.

Tabla 2.3. Requisitos de carga de prueba según la normativa canadiense.

Puntos de prueba	Fuerzas máximas
P1	50 kN (carga puntual)
P2	50 kN (carga puntual)
P3	175 kN (carga puntual o carga uniforme)

(Fuente: Norma canadiense de protección contra impacto trasero N° 223)

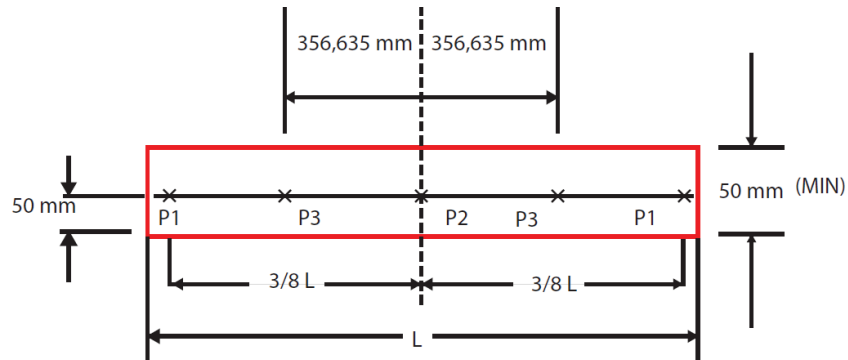


Figura 2.2. Dispositivo antiempotramiento con detalles de los puntos de prueba y geometría según la normativa canadiense. Vista trasera.

(Fuente: <http://www.nhtsa.gov>)

2.3.4. Normativa de Brasil

Brasil implementó su regulación del dispositivo antiempotramiento el 01 de julio de 2004, con resolución N° 152. Dicho reglamento aplica a vehículos con peso bruto por encima de 4.600 kg. La parte inferior del elemento horizontal de la protección debe ser no más de 400 mm por encima del suelo. (Ministério das Cidades Conselho Nacional de Trânsi, 2015)

Para aplicaciones de tanques de transporte de materiales peligrosos, la cara del miembro horizontal guardia debe extenderse al menos 150 mm más allá del tanque o accesorio más posterior, ver figura 2.3.

La ubicación del punto de aplicación de la fuerza es la misma que la de la normativa de Estados Unidos, Canadá y Europa (DENATRAN, 2016), pero las fuerzas de ensayo varían, como se muestra en la tabla 2.4.

La normativa Brasileña también incluye requisitos visuales, como es la colocación de rayas diagonales de visibilidad roja y blanca en la cara de la guardia, como se muestra en la figura 2.3, en donde este requisito de señalización contiene una extensa lista de especificaciones muy particulares que rigen las características de rendimiento de los materiales reflectantes. (DENATRAN, 2016)

Tabla 2.4. Requisitos de carga de prueba según la regulación de Brasil.

Punto de prueba	Peso bruto vehicular (kg)			
	4600 a 6500	6500 a 10000	10000 a 23000	> 23500
P1	50 kN	60 kN	80 kN	100 kN
P2	75 kN	90 kN	120 kN	150 kN
P3	50 kN	60 kN	80 kN	100 kN

(Fuente: Regulación brasileña del dispositivo antiempotramiento N° 152)

2.3.5. Normativa de Chile

La normativa chilena en sus cláusulas expresa lo siguiente, en sus puntos más relevantes:

“1.- Distancia entre el suelo y el borde inferior del parachoques, no superior a 55 centímetros, cuando el vehículo esté descargado.

2.- La distancia horizontal entre la cara exterior de la viga principal del parachoques y el plano vertical tangente al borde posterior de la carrocería del vehículo será de 40 cm., como máximo.

3.- Ante la aplicación de un sistema de cargas paralelas al eje longitudinal del vehículo, la mayor deformación de la estructura medida en el sentido de las cargas, durante y después de su aplicación será de 40 cm., como máximo.

Se entenderá que este requisito se cumple cuando se satisfagan una o más de las siguientes situaciones:

a) El parachoques se construye en acero A37-24ES o superior y esté constituido por los elementos que a continuación se indican y que ellos cumplan con las características que se señalan:

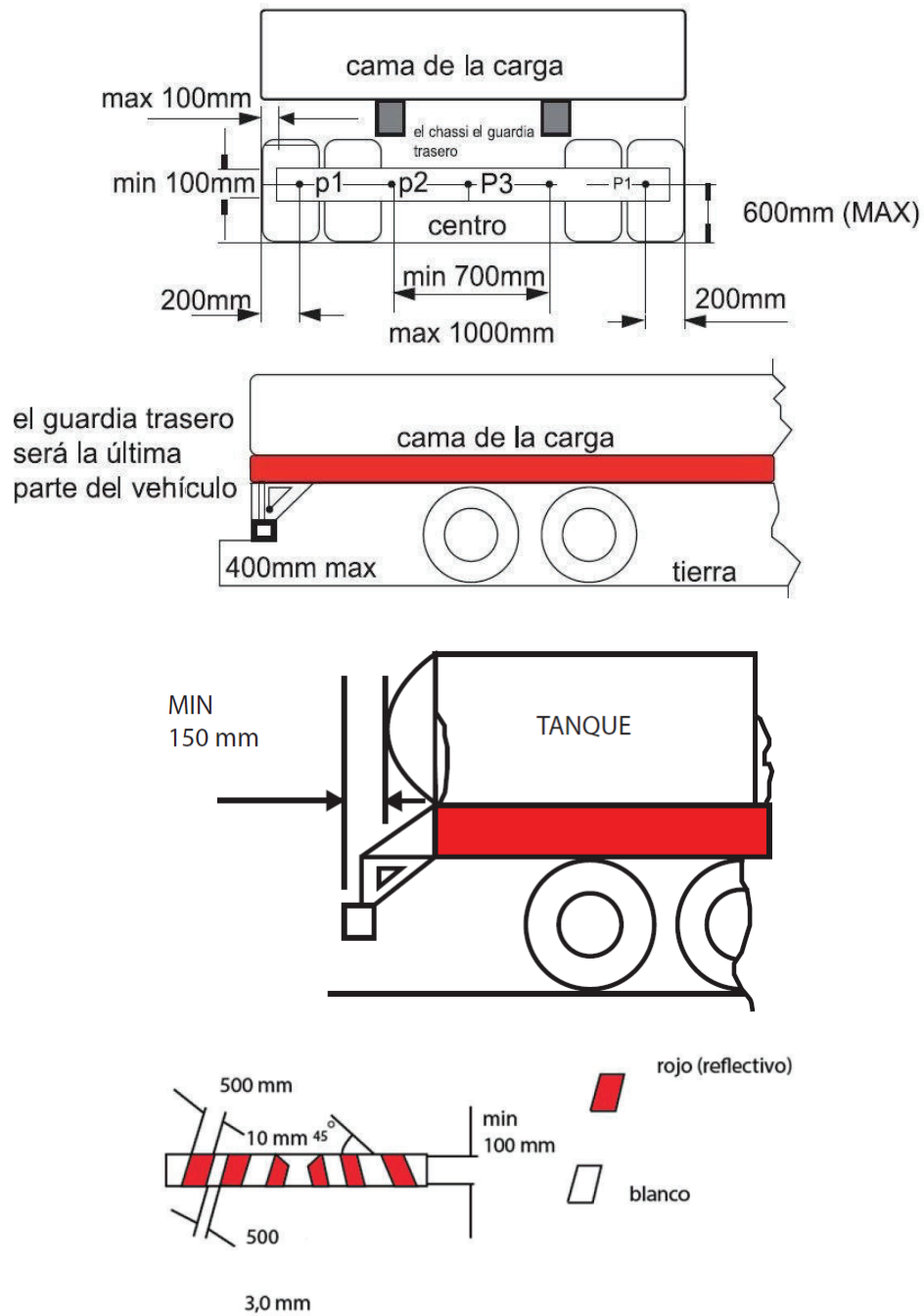


Figura 2.3. Dispositivo antiempotramiento con detalles de los puntos de prueba y geometría según las regulaciones de Brasil.
 (Fuente: <http://www.denatran.gov.br>)

b) Una viga principal (P1), constituida por un perfil constante de 150 x 50 x 15 x 4 mm, mínimo.

Columnas (P2) constituidas por un perfil canal de 100 x 50 x 6 mm, mínimos. Serán dos y se ubicarán en paralelo, separadas entre sí por una distancia que podrá variar entre 65 cm y 115 cm., distribuidas en forma equidistante del eje vertical central del vehículo.

c) Refuerzos (P3), obtenidos a partir de un perfil canal de 100 x 50 x 6 mm, mínimos, ubicados de tal manera que formen un ángulo de, al menos, 45 grados con respecto a las columnas descritas en la letra b). Su longitud debe permitir unir la viga principal del parachoques con el chasis del vehículo.

d) Planchas de refuerzo (P4) de la unión columna – viga principal, de dimensiones mínimas 250 x 150 x 6 mm, mínimas, que se soldarán a las alas del perfil de la viga principal.

En vehículos en que la distancia vertical medida desde la cara exterior del ala inferior del perfil del chasis al nivel del piso, sea igual o inferior a 55 cm, se permitirá que la viga principal mencionada en la letra a) anterior, sea anclada directamente al chasis del vehículo. La unión de la viga principal al chasis se efectuará mediante dos soportes (uno para cada viga del chasis) constituidos por un perfil ángulo de 50 x 50 x 5 mm, y 150 mm, de longitud, mínimos. Una de las alas del perfil ángulo se soldará a una plancha de refuerzo de las mismas dimensiones y características que las descritas en el punto d) anterior y la otra se fijará al chasis mediante dos pernos de ½ pulgada.

No obstante, lo señalado en las letras b) y c), tratándose de vehículos que cuenten con muela de arrastre para remolques, las columnas y refuerzos podrán reemplazarse por apoyos, constituidos por un perfil tubular, de sección rectangular de 100 x 50 x 5 mm, mínimos y separados entre ellos por una distancia que podrá variar entre 65 cm. y 115 cm., distribuidos en forma equidistante del eje vertical central del vehículo.

e) Se certifique por un organismo de certificación acreditado al efecto ante el Sistema Nacional de Acreditación del Instituto Nacional de Normalización, que, al someter el parachoques a fuerzas, aplicadas paralelamente al eje longitudinal del vehículo, de magnitud y en los puntos que a continuación se señalan, ningún punto de él se desplaza más de 40 cm. con respecto a su posición original.

i) Tres fuerzas de 2.500 kg cada una, aplicadas simultáneamente en dos puntos ubicados a 30 cm. de los extremos del parachoques (F1) y uno al centro del mismo (F3).

ii) Dos fuerzas de 5.000 kg cada una, aplicadas simultáneamente en puntos ubicados en las zonas de unión de la viga principal del parachoques con los elementos de conexión al chasis (F2).

Durante la prueba se aplicarán primero las fuerzas indicadas en la letra i) y a continuación las señaladas en la letra ii).” (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2017)

2.3.6. Normativa Española

Según la normativa del Ministerio de Turismo y Transporte (España, 2012), indica entre sus apartados más relevantes para el estudio propuesto:

“Requisitos actuales de homologación de un vehículo según la Directiva 70/221/CEE – 2006/20/CE o Reglamento 58.

PROTECCIÓN CONTRA EL EMPOTRAMIENTO TRASERO

La anchura no superará la del eje trasero... La altura sobre el suelo no superará los 550 mm, ni será inferior a ésta en más de 100 mm a cada lado. La altura del perfil no será inferior a 100 mm. Los extremos laterales no estarán curvados hacia atrás... .. ni presentarán ningún borde cortante hacia el exterior.” (Buil, 2016) (Economic Commission for Europe, World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations, Regulation No. 58, 2014). Ver figura 2.4.

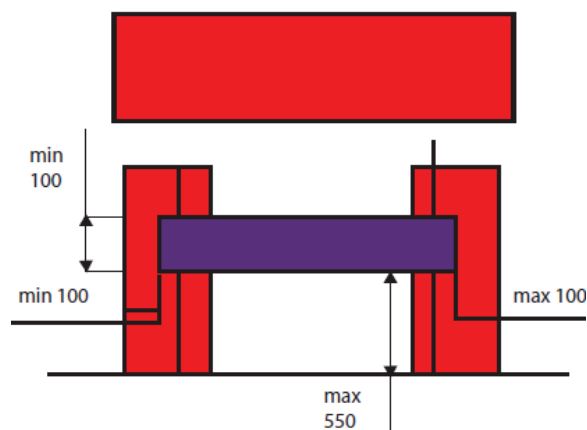


Figura 2.4. Dimensiones del dispositivo antiempotramiento.
(Fuente: Applus IDIADA)

2.4. Tipo de vehículo según normativa

En este apartado se indica la normativa referente a la clasificación de los vehículos, teniendo entre las más representativas las siguientes:

2.4.1. Norma Técnica Ecuatoriana

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2656:2012 referente a la clasificación vehicular indica lo siguiente:

“4. CLASIFICACIÓN:

4.1 Los vehículos se clasifican en:

4.1.1 Categoría L. Vehículos automotores con menos de 4 ruedas.

4.1.1.1 L 1: Vehículos de dos ruedas, de hasta 50 cm³ y velocidad máxima de 50 km/h.

4.1.1.2 L2: Vehículos de tres ruedas, de hasta 50 cm³ y velocidad máxima de 50 km/h.

4.1.1.3 L3: Vehículos de dos ruedas, de más de 50 cm³ o velocidad mayor a 50 km/h.

4.1.1.4 L4: Vehículos de tres ruedas asimétricas al eje longitudinal del vehículo, de más de 50 cm³ o una velocidad mayor de 50 km/h.

4.1.1.5 L5: Vehículos de tres ruedas simétricas al eje longitudinal del vehículo, de más de 50 cm³ o velocidad mayor a 50 km/h y cuyo peso bruto vehicular no exceda de una tonelada.

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

4.1.2.1 M1: Vehículos de 8 asientos o menos, sin contar el asiento del conductor.

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

4.1.2.3 M3: Vehículos de más de 8 asientos, sin contar el asiento del conductor y peso bruto vehicular de más de 5 toneladas.

Los vehículos de las categorías M2 y M3, a su vez, de acuerdo a la disposición de los pasajeros se clasifican en:

a) Clase I. Vehículos construidos con áreas para pasajeros de pie permitiendo el desplazamiento frecuente de estos.

b) Clase 11. Vehículos construidos principalmente para el transporte de pasajeros sentados y, también diseñados para permitir el transporte de pasajeros de pie en el pasadizo y/o en un área que no excede el espacio provisto para dos asientos dobles.

c) Clase 111. Vehículos construidos exclusivamente para el transporte de pasajeros sentados.

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

4.1.3.1 N 1: Vehículos de PBV de 3, 5 toneladas o menos.

4.1.3.2 N2: Vehículos de PBV mayor a 3,5 hasta 12 toneladas.

4.1.3.3 N3: Vehículos de PBV mayor a 12 toneladas.

4.1.4 Categoría O. Remolques (incluidos semirremolques).

4.1.4.1 01: Remolques de PBV de O. 75 toneladas o menos.

4.1.4.2 02: Remolques de PBV mayor a 0,75 hasta 3,5 toneladas.

4.1.4.3 03: Remolques de PBV mayor a 3,5 hasta 10 toneladas.

4.1.4.4 04: Remolques de PBV mayor a 10 toneladas.

4.1.5 Combinaciones especiales. Adicionalmente, los vehículos de las categorías M, N y O para el transporte de pasajeros o mercancías que realizan una función específica, para la cual requieren carrocerías y/o equipos especiales.

4.2 Los símbolos que anteceden deben ser combinados con el símbolo de la categoría a la que pertenece, por ejemplo: Un vehículo de la categoría N1 convertido en ambulancia debe ser designado como N1SC.” (Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 2656:201, 2012)

2.4.2. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)

Los objetivos principales de la UNECE es promover la integración económica, para ello, reúne a 56 países ubicados en la Unión Europea, promoviendo así un transporte sostenible, seguro, limpio y competitivo, mediante la mejora de la seguridad del tráfico, el rendimiento medioambiental, la eficiencia energética, la seguridad del transporte terrestre y la prestación de servicios eficientes en el sector del transporte. ((UNECE), 2017)

A continuación, se indica las cláusulas referentes al tema en estudio, estas son:

“2. Clasificación de los vehículos de motor y tráiler.

2.1. Categoría L: Vehículos de motor con menos de cuatro ruedas.

2.1.6. Categoría L6: Un vehículo de cuatro ruedas cuya masa en vacío no es más de 350 kg, sin incluir la masa de las baterías en caso de eléctrica vehículos, cuya velocidad máxima por construcción no superior a 45 km / h, y cuya cilindrada del motor no sea superior a 50 cm³ de encendido por chispa (positiva) motores, o cuyos neta máxima potencia de salida no exceda de 4 kW en el los demás motores de combustión interna, o cuya máxima continua potencia nominal no sobrepase los 4 kW en el caso de los motores eléctricos.

2.1.7. *Categoría L7: Un vehículo de cuatro ruedas, que no sea clasificada para la categoría L6, cuya masa en vacío no es más de 400 kg (550 kg para vehículos destinados a transportar mercancías), sin incluir la masa de las baterías el caso de los vehículos eléctricos, y cuya potencia continua nominal máxima no sea superior a 15 kW.*

2.2. *Categoría M: Los vehículos de motor con al menos cuatro ruedas y utilizados para el transporte de pasajeros.*

2.3. *Categoría N: Los vehículos de motor con al menos cuatro ruedas y utilizados para el transporte de mercancías.*

2.3.1. *Categoría N1: Los vehículos utilizados para el transporte de mercancías y tienen una masa máxima no supere las 3,5 toneladas.*

2.3.2. *Categoría N2: Los vehículos utilizados para el transporte de mercancías y tienen una masa máxima superior a 3,5 toneladas, pero inferior a 12 toneladas.*

2.3.3. *Categoría N3: Los vehículos utilizados para el transporte de mercancías y tienen una masa máxima superior a 12 toneladas.*

2.4. *Categoría O: Remolques (incluidos los semirremolques)*

2.4.1. *Categoría O1: Remolques con una masa máxima no superior a 0,75 toneladas.*

2.4.2. *Categoría O2: Remolques con una masa máxima superior a 0,75 toneladas, pero no sea superior a 3,5 toneladas.*

2.4.3. *Categoría O3: Remolques con una masa máxima superior a 3,5 toneladas, pero no superior a 10 toneladas.*

2.4.4. *Categoría O4: Remolques con una masa máxima superior a 10 toneladas.*

2.4.5. *Por otra parte, los remolques de las categorías O2, O3 y O4 son de uno de los tres los siguientes tipos:*

2.4.5.1. *Semi-remolque: un vehículo remolcado, en el que el eje (s) es (son) colocado detrás del centro de gravedad del vehículo (cargado uniformemente), y que está equipado con un dispositivo de enganche que permite la horizontal y vertical las fuerzas que deben transmitirse al vehículo tractor. Uno o más de los ejes puede ser impulsado por el vehículo tractor.*

2.4.5.2. *Tráiler completo: Un vehículo remolcado que tiene dos ejes como mínimo, y equipado con un dispositivo de remolque que puede moverse verticalmente (en relación al remolque) y controla la dirección del eje delantero (s), pero no transmite una significativa carga estática al vehículo tractor. Uno o más de los ejes pueden ser impulsados por el vehículo de remolque.*

2.4.5.3. *Remolque de eje central: un vehículo remolcado, equipado con un dispositivo de remolque que no puede moverse verticalmente (con relación al remolque) y en el que el eje (s) está.*

2.5. *Vehículo especial: Un vehículo de la categoría M, N u O destinado al transporte de pasajeros o mercancías y a desempeñar una función especial para la que arreglos especiales y / o equipo del cuerpo son necesarios.” (Economic Commission for Europe, World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations, ECE/TRANS/WP.29/78/Rev.3., 2014)*

2.4.3. Normativa del Perú

Según la normativa técnica peruana los vehículos que están en obligación de portar con un dispositivo antiempotramiento son los de tipo M, N y O, figura 2.5; a continuación, se presenta las características de los vehículos bajo dicha norma referente a la clasificación vehicular y estandarización de características registrables vehiculares. Ver tabla 2.5, 2.6 y 2.7. (Directiva N° 002-2006-MTC/15)

Tabla 2.5. Clasificación tipo M.

Vehículos automotores de cuatro ruedas o más diseñados y contruidos para el transporte de pasajeros		
M1		Vehículos de 8 asientos o menos sin contar el asiento del conductor
M2	C1	Vehículos de más de 8 asientos sin contar el asiento del conductor y peso bruto vehicular de 5 toneladas o menos. Contruidos con áreas para pasajeros de pie permitiendo el desplazamiento frecuente de éstos.
M2	C2	Vehículos de más de 8 asientos sin contar el asiento del conductor y peso bruto vehicular de 5 toneladas o menos. Contruidos principalmente para el transporte de pasajeros sentados y también diseñados para permitir el transporte de pasajeros de pie en el pasadizo y/o en un área que no excede el espacio provisto para dos asientos dobles.
M3	C3	Vehículos de más de 8 asientos sin contar el asiento del conductor y peso bruto vehicular de 5 toneladas o menos. Contruidos exclusivamente para el transporte de pasajeros sentados
M3	C1	Vehículos de más de 8 asientos sin contar el asiento del conductor y peso bruto vehicular de más de 5 toneladas. Contruidos con áreas para pasajeros de pie permitiendo el desplazamiento frecuente de estos
M3	C2	Vehículos de más de 8 asientos sin contar el asiento del conductor y peso bruto vehicular de más de 5 toneladas. Contruidos principalmente para el transporte de pasajeros sentados y también diseñados para permitir el transporte de pasajeros de pie en el pasadizo y/o en un área que no excede el espacio provisto para dos asientos dobles.
M3	C3	Vehículos de más de 8 asientos sin contar el asiento del conductor y peso bruto vehicular de más de 5 toneladas. Contruidos exclusivamente para el transporte de pasajeros sentados.

(Fuente: Directiva N°- 002-2006-MTC/15: Clasificación vehicular y estandarización de características registrables vehiculares, Lima Perú.)

Tabla 2.6. Clasificación tipo N.

Vehículos automotores de cuatro ruedas o más diseñados y contruidos para el transporte de mercancías	
N1	Vehículos de peso bruto vehicular de 3,5 toneladas o menos

N2	Vehículos de peso bruto vehicular mayor a 3,5 toneladas hasta 12 toneladas.
N3	Vehículos de peso bruto vehicular mayor a 12 toneladas.

(Fuente: Directiva N°- 002-2006-MTC/15: Clasificación vehicular y estandarización de características registrables vehiculares, Lima Perú.)

Tabla 2.7. Clasificación tipo O.

Remolques (incluidos semirremolques)	
O1	Remolques de peso bruto vehicular de 0.75 toneladas o menos.
O2	Remolques de peso bruto vehicular de más 0.75 toneladas hasta 3.5 toneladas.
O3	Remolques de peso bruto vehicular de más de 3.5 toneladas hasta 10 toneladas.
O4	Remolques de peso bruto vehicular de más de 10 toneladas.

(Fuente: Directiva N°- 002-2006-MTC/15: Clasificación vehicular y estandarización de características registrables vehiculares, Lima Perú.)












Vehículos de pasajeros		DESCRIPCION	RANGO
M ₁		No mas de 8 plazas (excluida la del conductor)	NA
M ₂		Mas de 8 plazas (excluida la del conductor)	Hasta 5 Tn
M ₃		Mas de 8 plazas (excluida la del conductor)	Mas de 5Tn
M ₄	 Especiales	Autocaravanas, ambulancias, blindados, vehiculos con acceso sillas minusválidos	NA
Transporte Mercancias		DESCRIPCION	RANGO
N ₁		Furgonetas y camiones ligeros	Hasta 3.5 Tn
N ₂		Furgonetas y camiones tamaño medio	Entre 3.5 y 12Tn
N ₃		Camiones pesados	Mas de 12Tn
Remolques		DESCRIPCION	RANGO
O ₁		Remolques	Menos de 0.75 Tn
O ₂		Remolques y caravanas	Entre 0.75 y 3.5 Tn
O ₃		Remolques tamaño medio	Entre 3.5 y 10 Tn
O ₄		Trailers	Mas de 10 Tn

Figura 2.5. Categorías de vehículos.

(Fuente: <http://www.homologacion-vehiculos.com/homologacion-de-vehiculos/>)

CAPÍTULO III

DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

3.1. Estudio de la utilización del sistema antiempotramiento en el medio de acuerdo a la clasificación vehicular

El dispositivo antiempotramiento por norma debe estar colocado en vehículos de categoría M, N y O, en este caso se analizará el dispositivo de camiones de comercialización que pertenecen a la categoría N.

Para el estudio del sistema antiempotramiento, se consideró el vehículo perteneciente a la categoría N más vendido a nivel nacional y local. Una vez identificado al camión más vendido se procedió a estudiar los dispositivos antiempotramiento que llevan estos tipos de vehículos.

3.1.1. Camión más vendido en el medio

A continuación, se realizó un análisis con el fin de determinar cuál es el camión más vendido, basándose en información obtenida de la AEADE (Asociación de empresas automotrices del Ecuador) y de concesionarias de camiones del medio.

Según las cifras que presenta la AEADE en su anuario 2014 da a conocer que la marca de vehículo más vendido a nivel nacional es la CHEVROLET, como se puede observar en la tabla 3.1.

La AEADE en sus estadísticas establece que la marca de camión más vendida en el país Chevrolet con su modelo NLR, el cual lidera el mercado automotriz con ventas de 1271 unidades a nivel nacional. (Tabla 3.2).

Como la marca Chevrolet lidera en ventas de camiones a nivel nacional se recurrió a la información de ventas de camiones Chevrolet en el Azuay durante el 2014, dichos datos fueron proporcionados por las concesionarias de Chevrolet, esto con la finalidad de concluir si el modelo NLR también es el más vendido en dicha provincia.

Tabla 3.1. Ventas por marca 2010 – 2015.

En unidades / porcentaje de participación, 2010-2015

MARCA	2010	%	2011	%	2012	%	2013	%	2014	%	2015	%
CHEVROLET	53 429	40,42%	59 189	42,31%	54 947	45,24%	50 195	44,10%	53 574	44,62%	40 265	49,52%
KIA	10 908	8,25%	11 965	8,55%	10 144	8,35%	12 300	10,81%	12 038	10,03%	7 647	9,40%
HYUNDAI	17 241	13,04%	14 879	10,64%	12 296	10,12%	9 629	8,46%	10 623	8,85%	5 678	6,98%
NISSAN	9 407	7,12%	10 080	7,21%	7 051	5,81%	6 576	5,78%	6 019	5,01%	3 794	4,67%
MAZDA	8 583	6,50%	8 012	5,73%	5 120	4,22%	6 402	5,63%	6 916	5,76%	3 651	4,49%
TOYOTA	8 722	6,60%	6 730	4,81%	6 840	5,63%	6 425	5,65%	6 476	5,39%	3 651	4,49%
HINO	3 831	2,90%	4 133	2,95%	3 625	2,98%	3 735	3,28%	4 578	3,81%	3 385	4,16%
GREAT WALL	679	0,51%	2 085	1,49%	2 088	1,72%	1 688	1,48%	2 160	1,80%	2 445	3,01%
FORD	4 080	3,09%	4 385	3,13%	4 254	3,50%	4 086	3,59%	4 164	3,47%	1 771	2,18%
RENAULT	5 126	3,87%	5 441	3,89%	2 707	2,23%	2 624	2,30%	2 587	2,15%	1 128	1,39%
VOLKSWAGEN	2 603	1,97%	3 590	2,57%	2 969	2,44%	1 846	1,62%	1 942	1,62%	1 105	1,36%
CHERY	490	0,37%	1 515	1,08%	1 854	1,53%	1 134	1,00%	1 117	0,93%	1 059	1,30%
JAC	406	0,31%	924	0,66%	1 086	0,89%	1 175	1,03%	1 314	1,09%	891	1,10%
DFSK	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	785	0,64%	558	0,69%
CITROËN	115	0,09%	137	0,10%	178	0,15%	184	0,16%	453	0,38%	329	0,40%
MERCEDES BENZ	451	0,34%	446	0,32%	327	0,27%	44	0,04%	335	0,28%	316	0,39%
MINI	1 034	0,78%	983	0,70%	371	0,31%	454	0,40%	419	0,35%	256	0,31%
FIAT	98	0,07%	68	0,05%	189	0,14%	508	0,45%	278	0,23%	236	0,29%
DONGFENG	96	0,07%	163	0,12%	90	0,07%	140	0,12%	303	0,25%	216	0,27%
FAW	3	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	49	0,04%	206	0,25%
JEEP	71	0,05%	155	0,11%	237	0,20%	409	0,36%	443	0,37%	203	0,25%
INTERNATIONAL	168	0,13%	234	0,17%	263	0,22%	161	0,14%	186	0,15%	192	0,24%
AUDI	111	0,08%	131	0,09%	150	0,12%	150	0,13%	191	0,16%	182	0,22%
KENWORTH	271	0,21%	353	0,25%	480	0,40%	492	0,43%	472	0,39%	179	0,22%
BYD	138	0,10%	77	0,06%	140	0,12%	31	0,03%	299	0,25%	171	0,21%
FUSO	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	151	0,19%
LIFAN	189	0,14%	288	0,21%	300	0,25%	73	0,06%	25	0,02%	146	0,18%
PEUGEOT	238	0,18%	349	0,25%	241	0,20%	162	0,14%	184	0,15%	146	0,18%
HONDA	198	0,15%	214	0,15%	216	0,18%	171	0,15%	147	0,12%	121	0,15%
JMC	42	0,03%	107	0,08%	122	0,10%	241	0,21%	106	0,09%	121	0,15%
GOLDEN DRAGON	0	0,00%	65	0,05%	52	0,04%	41	0,04%	2	0,00%	117	0,14%
BMW	203	0,15%	212	0,15%	152	0,13%	149	0,13%	150	0,12%	114	0,14%
SKODA	745	0,56%	647	0,46%	551	0,45%	525	0,46%	261	0,22%	100	0,12%
FREIGHTLINER	219	0,17%	249	0,18%	276	0,23%	341	0,30%	272	0,23%	96	0,12%
UD TRUCKS	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	86	0,07%	78	0,10%
FOTON	29	0,02%	20	0,01%	21	0,02%	48	0,04%	128	0,11%	76	0,09%
MACK	171	0,13%	199	0,14%	389	0,32%	227	0,20%	100	0,08%	63	0,08%
BEIBEN	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	52	0,04%	49	0,06%
YUTONG	0	0,00%	54	0,04%	49	0,04%	36	0,03%	48	0,04%	46	0,06%
OTRAS	2 192	1,66%	1 828	1,31%	1 711	1,41%	1 501	1,32%	798	0,66%	371	0,46%
TOTAL	132 172	100%	139 893	100%	121 446	100%	113 812	100%	120 060	100%	81 309	100%

(Fuente: http://aeade.net/web/images/stories/catalogos/ANUARIO2015_interactivo.pdf)

Tabla 3.2. Camiones según marca.

Camiones		
Marca	Modelo	Unidades
Chevrolet	NLR	1.458
Hino	FC9	640
Chevrolet	NPR	564
Hino	XZU640	541
Chevrolet	NMR	525

(Fuente: http://aeade.net/web/images/stories/catalogos/ANUARIO2014_interactivo.pdf)

Al analizar la información proporcionada, se puede concluir que el camión Chevrolet más vendido a nivel del Azuay durante el 2014 es el modelo NLR con 58 unidades. (Tabla 3.3)

3.1.2. Categoría del camión de estudio según la clasificación vehicular

Por lo expuesto en el apartado anterior se seleccionó el vehículo para el estudio del dispositivo antiempotramiento el camión Chevrolet modelo NLR, el cual pertenece a la categoría N2. (Figura 3.1)



Figura 3.1. Camión Chevrolet modelo NLR.
(Fuente: <http://www.chevrolet.com.ec/nlr-camion-ligero.html>)

Tabla 3.3. Camiones Chevrolet vendidos durante el 2014.

Unidades	Enero 2014	Unidades	Febrero 2014
1	NPR 75H 5.2 2P 4X2 TM diesel CN	1	NPR 75L-HL5VAYCLN 5.2 2P 4X2 TM diesel CN
4	NLR 55E 2.8 2P 4X2 TM diesel CN	5	NLR 55E 2.8 2P 4X2 TM diesel CN
3	NMR 85H 3.0 2P 4X2 TM diesel CN	1	NMR 85H 3.0 2P 4X2 TM diesel CN
3	NQR 75L 5.2 2P 4X2 TM diesel CN	1	FVR 34Q camión chasis cabinado TM 7.7 2P 4X2
1	NPR 75L-HL5VAYCLN 5.2 2P 4X2 TM diesel CN	Total de Unidades	8
1	FVZ 34T camion AC 7.8 2P 6X4 TM	Anulaciones	1
Total de unidades	13		
Anulaciones	1		
Unidades	Marzo 2014	Unidades	Abril 2014
3	NLR 55E 2.8 2P 4X2 TM diesel CN	1	NPR 75H 5.2 2P 4X2 TM diesel CN
3	NMR 85H 3.0 2P 4X2 TM diesel CN	2	NLR 55E 2.8 2P 4X2 TM diesel CN
2	NPR 75H 5.2 2P 4X2 TM diesel CN	4	NMR 85H 3.0 2P 4X2 TM diesel CN
2	NPR 75L-HL5VAYCLN 5.2 2P 4X2 TM diesel CN	1	NQR 75L 5.2 2P 4X2 TM diesel CN
1	FVR 34Q camión chasis cabinado TM 7.7 2P 4X2	1	NPR 75L-HL5VAYCLN 5.2 2P 4X2 TM diesel CN
Total de unidades	11	Total de Unidades	9
Anulaciones	3	Anulaciones	0
Unidades	Mayo 2014	Unidades	Junio 2014
4	NLR 55E 2.8 2P 4X2 TM diésel CN	5	NLR 55E 2.8 2P 4X2 TM diesel CN
1	NMR 85H 3.0 2P 4X2 TM diesel CN	1	NPR 75H 5.2 2P 4X2 TM diesel CN
4	NPR 75L-HL5VAYCLN 5.2 2P 4X2 TM diésel CN	1	NPR 75L-HL5VAYCLN 5.2 2P TM diesel CN
1	NQR 75L 5.2 2P 4X2 TM diésel CN	Total de unidades	7
Total de unidades	10	Anulaciones	0
Anulaciones	1		
Unidades	Julio 2014	Unidades	Agosto 2014
1	NPR 75H 5.2 2P 4X2 TM diesel CN	1	NPR 75H 5.2 2P 4X2 TM diesel CN
3	NLR 55E 2.8 2P 4X2 TM diésel CN	3	NLR 55E 2.8 2P 4X2 TM diésel CN
1	NMR 85H 3.0 2P 4X2 TM diesel CN	2	NMR 85H 3.0 2P 4X2 TM diesel CN
1	NQR 75L 5.2 2P 4X2 TM diésel CN	2	NQR 75L 5.2 2P 4X2 TM diésel CN
1	NPR 75L-HL5VAYCLN 5.2 2P 4X2 TM diésel CN	3	FRR90L 5.2 2P 4X2 TM diésel CN
		2	FSR34N CAMIÓN 7.8 2P 4X2 TM diésel CN

Total de unidades	7	Total de unidades	13
Anulaciones	0	Anulaciones	1
Unidades	Septiembre 2014	Unidades	Octubre 2014
4	NLR 55E 2.8 2P 4X2 TM diésel CN	8	NLR 55E 2.8 2P 4X2 TM diésel CN
1	NMR 85H 3.0 2P 4X2 TM diésel CN	Total de unidades	8
4	FRR90L 5.2 2P 4X2 TM diésel CN	Anulaciones	2
Total de unidades	9		
Anulaciones	0		
Unidades	Noviembre 2014	Unidades	Diciembre 2014
5	NLR 75H 5.2 2P 4X2 TM diésel CN	4	NLR 55E 2.8 2P 4X2 TM diésel CN
2	NPR 75L-HL5VAYCLN 5.2 2P 4X2 TM diésel CN	1	NPR 75L-HL5VAYCLN 5.2 2P 4X2 TM diésel CN
1	NQR 75L 5.2 2P 4X2 TM diésel CN	2	NMR 85H 3.0 2P 4X2 TM diésel CN
2	NMR 85H 3.0 2P 4X2 TM diésel CN	Total de Unidades	7
1	FRR90L 5.2 2P 4X2 TM diésel ON	Anulaciones	0
1	FVR34Q camión chasis cabinado TM 7.7 2P 4X2		
1	FTR 34P 7.8 2P 4X2 TM diésel CN		
Total de unidades	13		
Anulaciones	0		
Total enero - diciembre 2014			
Resultado por modelo año 2014		106	
Serie en N		99	
Serie en F		9	
Total		108	

(Fuente: <http://metrocar-ecuador.com/>)

Las características técnicas del camión Chevrolet modelo NLR, son las siguientes, tabla 3.4 y figura 3.2:

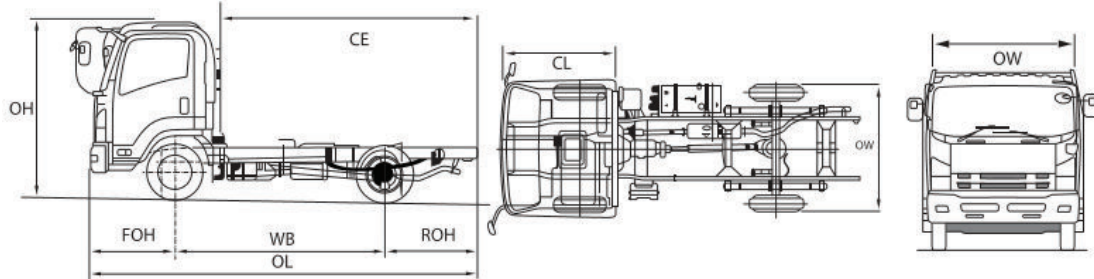


Figura 3.2. Dimensiones del camión NLR.
(Fuente: http://www.chevrolet.com.ec/content/dam/Chevrolet/lat-am/Ecuador/nscwebsite/es/Home/Trucks/NLR/02_PDF/NLR%2055E.pdf)

3.1.3. Dispositivo antiempotramiento del camión Chevrolet modelo NLR

Hay diferentes dispositivos antiempotramiento que utilizan los camiones Chevrolet modelo NLR, entre los más utilizados se puede indicar los siguientes:

a. Dispositivo antiempotramiento de un solo tubo

Este dispositivo está compuesto por una barra tubular de perfil circular, el cual se une por dos soportes rígidos al chasis. Las uniones entre los elementos son por medio de soldadura. (Figura 3.3)

Tabla 3.4. Características técnicas del camión Chevrolet modelo NLR.

Motor	NLR 55E
Alimentación	Inyección Directa
Combustible	Diesel
Desplazamiento (cc)	2,771
Diámetro x Carrera (mm)	93x102
Marca / Código	ISUZU 4JB1-TC
Nro. de Cilindros	4 en línea
Potencia (HP @ RPM)	91 @ 3400
Relación Compresión	18.1 : 1
Tipo	TURBO, INTERCOOLER
Torque (kg*m) @ RPM	20 @ 2000
Torque (N.m @ RPM)	196 @ 2000
Ubicación	Delantero / Longitudinal
Dimensiones y Capacidades	NLR 55E
Alto total (OH)	2,150
Ancho total (OW)	1,815
Capacidad de carga kg	2,840
Capacidad del eje (kg) Delantero	2,900
Capacidad del eje (kg) Trasero	3,600
Distancia carrozable (CE)	3,120
Distancia entre ejes (WB)	2,475
Largo Cabina (CL)	1,527
Largo Total (OL)	4,805
Peso Bruto Vehicular (PBV) kg	4,600
Rodado Trasero	SENCILLO
Voladizo delantera (FOH)	1,110
Voladizo posterior (ROH)	1,220

(Fuente: <http://www.chevrolet.com.ec/nlr-camion-ligero.html>)



Figura 3.3. Dispositivo antiempotramiento de un solo tubo.
(Fuente: Los autores)

b. Dispositivo antiempotramiento de doble tubo

El dispositivo antiempotramiento de doble tubo está compuesto por un travesaño con tubos de perfil circular, con un tubo inferior largo y dos tubos superiores cortos situados a los extremos. La unión entre estos tubos superiores y el tubo inferior es por cuatro tubos cortos de perfil cuadrado, los cuales están soldados a las superficies de los tubos que conforman el travesaño.

También consta de dos largueros, que sirven como soporte del travesaño, y van unidos por medio de soldadura al travesaño y por medio de pernos al chasis del camión. (Figura 3.4)



Figura 3.4. Dispositivo antiempotramiento de doble tubo.
(Fuente: Los autores)

c. Dispositivo antiempotramiento de plancha corrugada

Este dispositivo consta de una barra de plancha corrugada con un perfil en forma de C. Está compuesto por dos largueros que sujetan la barra al chasis; la barra indicada se une a los largueros por medio de soldadura y los largueros se unen al chasis por medio de pernos. (Figura 3.5)



Figura 3.5. Dispositivo antiempotramiento de plancha corrugada.
(Fuente: Los autores)

3.2. Porcentaje de inclusión del sistema y necesidad del mercado

3.2.1. Porcentaje de inclusión del sistema

La barra antiempotramiento es construida de forma artesanal por muchos talleres que se encuentran en el medio, en la mayoría de los casos no se rigen a una norma durante la construcción de estos dispositivos. La mayor parte de los camiones Chevrolet del modelo NLR no incluyen los dispositivos de antiempotramiento, esto se pudo constatar al visitar concesionarias y parqueaderos del medio en donde se venden este tipo de camiones y también al observar este tipo de camiones que circulan por la ciudad se constata la falta del dispositivo.

Lo común que se puede ver en estos camiones es una especie de barra que sirve como un punto de apoyo para que las personas puedan subirse al baúl del camión como se muestra en la figura 3.6; son pocos los camiones que tienen un dispositivo antiempotramiento.



Figura 3.6. Dispositivos utilizados en el medio.
(Fuente: Los autores)

En los talleres donde se construyen estas barras, mencionan que no es frecuente la instalación de la barra antiempotramiento en estos camiones y en el caso que se solicite construir alguno de estos sistemas, estos se basan en planos o requerimientos proporcionados por el dueño, o de acuerdo a las sugerencias del taller. Además, es importante indicar que los talleres visitados no se rigen en una norma, por lo que se maneja la hipótesis de que estos sistemas, no resistirían un impacto por alcance.

3.2.2. Necesidad del mercado

El análisis de la necesidad de estos dispositivos de seguridad vehicular pasiva, en el mercado nacional, se sostiene en los índices de accidentes en nuestro país. El número de siniestros a nivel nacional durante el periodo enero – octubre del 2016 fue de 25044 accidentes, de los cuales solo en Azuay fueron de 1060; es decir un 4,23 % del total de accidentes. Ver tabla 3.5.

Tabla 3.5. Siniestros por provincia a nivel nacional Enero – Octubre 2016.

PROVINCIAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	TOTAL A OCTUBRE 2016	REPRESENTACIÓN	%
AZUAY	123	110	102	98	127	118	94	104	93	91	1.060		4,23
BOLIVAR	14	21	18	10	22	16	15	14	14	23	167		0,67
CANAR	32	25	20	19	23	17	16	10	16	16	194		0,77
CARCHI	10	10	10	14	16	11	7	15	9	7	109		0,44
CHIMBORAZO	65	71	44	74	54	70	65	58	74	51	626		2,50
COTOPAXI	33	37	48	35	18	15	29	41	38	49	343		1,37
EL ORO	88	68	63	49	64	68	71	83	47	67	668		2,67
ESMERALDAS	43	42	26	14	29	16	12	22	17	20	241		0,96
GALAPAGOS	-	1	-	-	1	1	1	-	-	-	4		0,02
GUAYAS	593	511	553	532	625	695	778	778	586	733	6.384		25,49
IMBABURA	129	127	113	112	111	117	135	105	123	129	1.201		4,80
LOJA	47	55	43	58	45	49	49	42	42	41	471		1,88
LOS RIOS	109	119	110	80	117	91	83	66	53	58	886		3,54
MANABI	126	74	56	47	68	111	95	109	77	110	873		3,49
MORONA SANTIAGO	8	10	13	11	13	17	15	14	15	12	128		0,51
NAPO	14	16	11	8	12	8	7	10	6	7	99		0,40
ORELLANA	2	9	5	11	1	7	1	1	2	2	41		0,16
PASTAZA	7	3	15	8	11	2	4	7	4	2	63		0,25
PICHINCHA	1.307	1.063	1.026	1.025	808	693	801	722	797	808	9.050		36,14
SANTA ELENA	39	40	21	24	38	35	71	45	24	37	374		1,49
SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS	86	72	68	62	64	83	70	38	46	65	654		2,61
SUCUMBIOS	14	23	4	6	3	2	5	9	4	1	71		0,28
TUNGURAHUA	147	160	137	147	143	113	126	95	71	112	1.251		5,00
ZAMORA CHINCHIPE	8	12	7	9	12	4	9	8	7	10	86		0,34
TOTAL	3.044	2.679	2.513	2.453	2.425	2.369	2.559	2.396	2.165	2.451	25.044		100
%	12,15	10,70	10,03	9,79	9,68	9,42	10,22	9,57	8,64	9,79	100,00		

(Fuente: DNCTSV, CTE, EMOV - Cuenca, Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Loja, Gobierno Autónomo Descentralizado de Manta, Municipio de Ambato, Municipio de Ibarra, Autoridad de Tránsito Municipal de Guayaquil y Agencia Metropolitana de Tránsito de Quito)

En la tabla 3.6 se puede observar que los choques laterales con el 27,7 % fueron las principales causas que provocaron el mayor número de accidentes, y de acuerdo al siniestro por tipo, el choque posterior ocupa el 10,34 % y el choque frontal 4,86 %.

Tabla 3.6. Siniestros por tipo a nivel nacional Enero – Octubre 2016.

Tipo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Total a octubre 2016	%
Choque lateral	888	739	675	676	708	633	723	648	572	674	6936	27,7
Atropello	430	402	418	396	358	386	376	383	342	416	3907	15,6
Estrellamiento	429	351	326	313	320	299	338	325	293	315	3309	13,21
Perdida de pista	339	304	257	262	221	250	273	267	244	263	2680	10,7
Choque posterior	320	278	265	276	269	231	273	237	202	238	2589	10,34
Rozamiento	168	186	141	171	154	169	184	159	165	182	1679	6,7
Choque frontal	155	135	133	127	125	121	111	97	104	110	1218	4,86
Colisión	87	88	81	57	71	53	72	70	51	64	694	2,77
Caída de pasajero	56	61	78	59	70	74	75	78	71	53	675	2,7
Volcamiento	106	66	65	68	61	58	62	65	65	56	672	2,68
Otros	43	47	53	34	38	42	47	44	37	45	430	1,72
Arrollamiento	23	22	21	14	30	43	25	23	19	35	255	1,02
Total	3044	2679	2513	2453	2425	2359	2559	2396	2165	2451	25044	100
%	12,15	10,7	10,03	9,79	9,68	9,42	10,22	9,57	8,64	9,79	100	

(Fuente: DNCTSV, CTE, EMOV)

Los siniestros por tipo de vehículo a nivel nacional durante el periodo enero – octubre del 2016, se indican en la tabla 3.7, en donde se puede apreciar el número de camiones involucrados en dichos siniestros.

Tabla 3.7. Tipos de vehículos involucrados en siniestros de tránsito a nivel nacional enero – octubre 2016.

Tipo de vehículo	Involucrados en siniestros
Automóvil	1188
Bicicleta	31
Motocicleta	673
Camioneta	491
Jeep	347
Bus	223
Camión	192
Otros*	137
Total	3282

*Otros incluye: Tráiler, especial (transporte de valores, grúa, etc.), volqueta, furgoneta y tanqueros.

(Fuente: DNCTSV, CTE, EMOV)

En el medio, el dispositivo antiempotramiento es poco utilizado por los vehículos pesados y aquellas estructuras que se construyen para tal fin, resultan ser poco confiables ya que los fabricantes, en su gran mayoría, no utilizan ninguna reglamentación ni tampoco, debido a la falta de laboratorios certificados, se realizan los ensayos pertinentes sobre el dispositivo que garantice la efectividad del sistema.

Tomando en cuenta las estadísticas y razones presentadas, se sustenta la utilización de un dispositivo antiempotramiento, ya que se podrían evitar muchas muertes por el empotramiento de los vehículos debajo de la plataforma de los camiones.

3.3. Identificación del material, uniones y geometría utilizados en la fabricación del dispositivo antiempotramiento

3.3.1. Materiales

Los dispositivos antiempotramiento son fabricados con tubos o canales de acero como: ASTM A 36, ASTM A 53 GRB y ASTM A 106 GRB, en donde los más utilizados en el medio es el acero ASTM A 36, el mismo que se utilizará para realizar los análisis correspondientes. Para la verificación del material utilizado en el proceso de construcción de estos elementos de seguridad vehicular se procedió a realizar una visita in situ de los talleres fabricantes, en donde se pudo evidenciar la situación indicada.

En la tabla 3.8 se indica las propiedades mecánicas de los materiales usados en la construcción de los dispositivos.

Tabla 3.8. Propiedades mecánicas de los aceros.

Clasificación de los aceros, según ASTM		Límite elástico		Tensión de rotura	
		ksi	MPa	ksi	MPa
ASTM A36		36	250	58 – 80	400 – 500
ASTM A53	Grado B	35	240	> 60	> 415
ASTM A106	Grado B	35	240	> 60	> 415
ASTM A131	Gr A, B, CS, D, DS, E	34	235	58 – 71	400 – 490
ASTM A139	Grado B	35	240	> 60	> 415
ASTM A381	Grado Y35	35	240	> 60	> 415
ASTM A500	Grado A	33	228	> 45	> 310
	Grado B	42	290	> 58	> 400

(Fuente: www.cec.uchile.cl)

3.3.2. Geometría y uniones utilizadas en la fabricación del dispositivo antiempotramiento.

Los sistemas de unión utilizados en el dispositivo de antiempotramiento son por medio de uniones fijas como es la soldadura tipo eléctrica de electrodo revestido consumible y uniones móviles como son pernos y tuercas.

A continuación, se indica la geometría de los tipos de dispositivos antiempotramiento más ocupados en el medio con su respectiva nomenclatura y unión. Los planos técnicos de cada tipo de barra antiempotramiento se encuentran en el anexo 1, 2 y 3.

a. Dispositivo antiempotramiento de un solo tubo

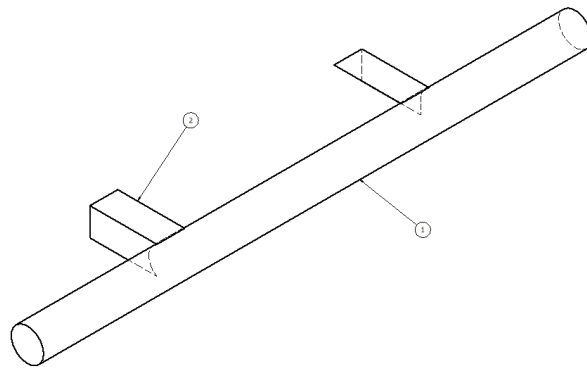


Figura 3.7. Dispositivos antiempotramiento de un solo tubo.
(Fuente: Los autores)

Tabla 3.9. Tipos de uniones del dispositivo antiempotramiento de un solo tubo.

Elemento	Cantidad	N° Piezas	Descripción	Material
1	1	Travesaño	Tubo cilíndrico principal.	Acero laminado
2	2	Soporte	Soporte soldado al travesaño. Unión al chasis por medio de pernos.	Acero laminado

(Fuente: Los autores)

b. Dispositivo antiempotramiento de doble tubo

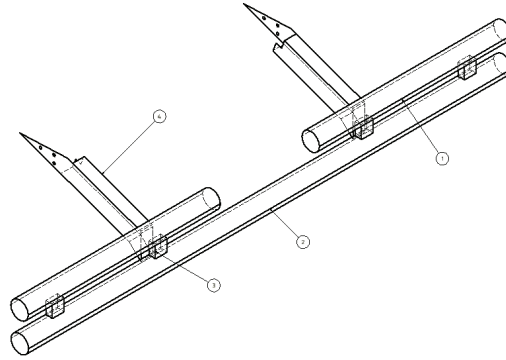


Figura 3.8. Dispositivos antiempotramiento de doble tubo.
(Fuente: Los autores)

Tabla 3.10. Tipos de uniones del dispositivo antiempotramiento de doble tubo.

Elemento	Cantidad	N° Piezas	Descripción	Material
1	2	Travesaño Superior	Parte soldada a los soportes y al travesaño	Acero laminado
2	1	Travesaño Principal	Tubo cilíndrico principal	Acero laminado
3	4	Soporte	Soporte soldados a los travesaños	Acero laminado
4	1	Soportes de fijación	Soporte soldados a los travesaños y unidos por medio de pernos al chasis	Acero laminado

(Fuente: Los autores)

c. Dispositivo antiempotramiento de plancha corrugada tipo grada

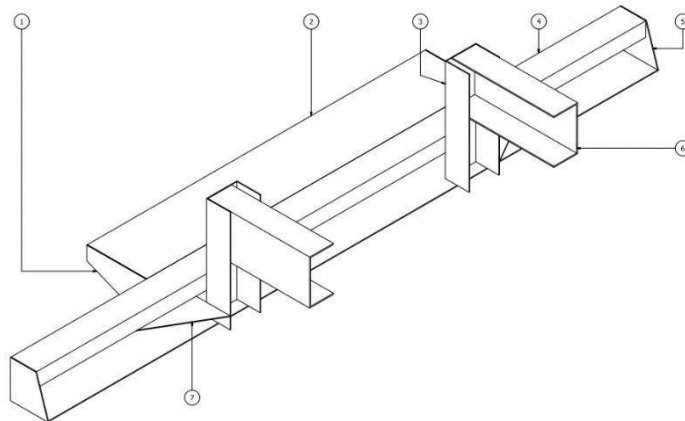


Figura 3.9. Dispositivos antiempotramiento de plancha corrugada tipo grada.
(Fuente: Los autores)

Tabla 3.11. Tipos de uniones del dispositivo antiempotramiento de plancha corrugada tipo grada.

Elemento	Cantidad	N° Piezas	Descripción	Material
1	2	Tapa Escalón	Tapa del escalón	Acero laminado
2	1	Escalón	Parte soldada al travesaño	Acero laminado
3	2	Soporte	Soporte del travesaño	Acero laminado
4	1	Travesaño	Barra	Acero laminado
5	2	Tapa Travesaño	Parte del travesaño	Acero laminado
6	2	Chasis	Parte del Chasis del Camión Chevrolet NLR	Barra tipo C
7	2	Refuerzo	Refuerzos triangulares de la barra	Acero laminado

(Fuente: Los autores)

3.4. Determinación del dispositivo antiempotramiento a ser estudiado

Para el estudio se ha tomado en cuenta el dispositivo antiempotramiento de un solo tubo cuyas características se mencionan en la sección 3.1. Este tipo de dispositivo pertenece a un camión marca Chevrolet modelo NLR que se ha podido encontrar en el medio como se muestra en la figura 3.13.



Figura 3.10. Dispositivo antiempotramiento de un solo tubo del camión Chevrolet modelo NLR.
(Fuente: Los autores)

A continuación, se muestra en la figura 3.14 el modelado del dispositivo antiempotramiento para su análisis en el capítulo posterior y sus planos se muestran en el anexo 1 de este documento.

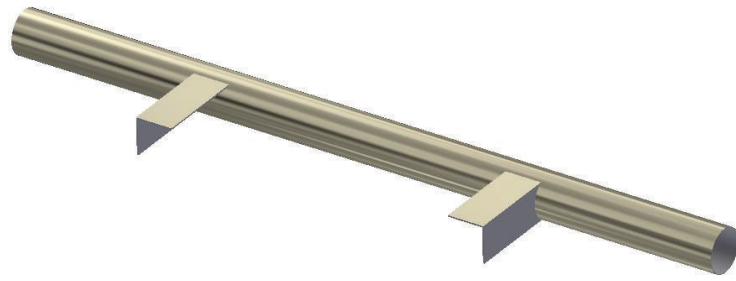


Figura 3.11. Modelado del dispositivo antiempotramiento de un solo tubo.
(Fuente: Los autores)

CAPÍTULO IV

ESTUDIO DEL DISPOSITIVO ANTIEMPOTRAMIENTO UTILIZADO ACTUALMENTE EN EL MEDIO

4.1. Estudio dinámico de la colisión

El objetivo en este apartado es llegar a establecer un modelo que permita relacionar la velocidad de colisión por alcance con la distancia de seguridad que debe mantener un vehículo a fin de no colisionar con otro. La distancia de seguridad, no solo depende de la velocidad del automóvil, sino además de las condiciones en la zona de contacto de las ruedas con la calzada y del factor humano.

Se comienza estableciendo ciertos conceptos importantes que se relacionarán más adelante en una sola ecuación que permita obtener la velocidad de colisión por alcance de un turismo sobre un camión, en el caso en que ocurriera un accidente.

En el reglamento a la ley de transporte del Ecuador establece que: *“En áreas perimetrales y rurales, para observar esta distancia se considerará: la velocidad, estado del vehículo, condiciones ambientales, el tipo, condiciones y topografía de la vía, y el tránsito existente al momento de la circulación”* (Reglamento y ley de transporte terrestre, 2012); sin embargo, no se especifica una distancia de seguridad que deberían mantener los vehículos a fin de evitar una colisión por alcance por lo que será necesario partir de algunas definiciones simples y un cálculo sencillo de esta distancia a fin de poder evaluar la fuerza producida en una colisión.

4.1.1. Distancia de reacción

La distancia de reacción se define como la distancia que el vehículo recorre antes de que el conductor aplique los frenos, después de que este último, ha advertido un obstáculo en la carretera (Picabea Zubía & J.O., 2010). Se parte de la ecuación básica de movimiento rectilíneo uniforme.

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

4.1. Ecuación de movimiento rectilíneo uniforme

En este modelo simplificado se considerará que el vehículo no tiene aceleración por lo que la distancia de reacción se puede calcular como.

$$s_r = v_t t_r$$

4.2. Distancia de reacción

Donde v_t es la velocidad del automóvil, y t_r es el tiempo de reacción que tarda el conductor del turismo en aplicar los frenos. El tiempo de reacción de un conductor es función de la edad del conductor y de las condiciones de entorno de manejo, estos datos están dados en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Tiempos de reacción.

		Tiempo de reacción (segundos)		
		De día	De noche	De noche con vehículos en sentido contrario
Edad (años)	18 – 25	0,5	0,8	1,0
	26 – 40	1,0	1,3	1,5
	41 – 55	1,5	1,8	2,0
	56 o más	2,0	2,3	2,5

(Fuente: (Bordegé y González, 2011))

4.1.2. Distancia de frenado

La distancia de frenado es la distancia que el vehículo alcanza justo después de que se han aplicado los frenos hasta que el vehículo se detiene, (Bordegé & González). Por el teorema de la conservación de la energía se establece que la energía cinética del automóvil E_t debe ser igual a la energía de frenado E_f que se calcula como el trabajo que realiza la fuerza de fricción de las ruedas con la calzada, hasta que el vehículo se ha detenido, por lo que $E_t = E_f$.

$$\frac{1}{2} m_t v_t^2 = m_t g \mu_s s_f$$

4.3. Balance de energía en el frenado

$$s_f = \frac{v_t^2}{2 g \mu_s}$$

4.4. Distancia de frenado

Donde v_t es la velocidad del automóvil justo antes de la frenada, m_t es la masa del automóvil, g es la aceleración de la gravedad, μ_s es el coeficiente de rozamiento estático entre las ruedas y la calzada, y s_f es la distancia de frenado.

El valor del coeficiente de rozamiento depende de la condición de las llantas, así como del tipo y condición de calzada, en la tabla 4.2 se puede observar algunos datos de coeficientes de rozamiento.

Tabla 4.2. Coeficientes de rozamiento entre las ruedas y la calzada.

COEFICIENTES DE ROZAMIENTO (μ_s)			
Terreno	Estado del Terreno	Neumáticos	
		Nuevos	Viejos
Hormigón	Seco	0,9 – 0,7	0,6 – 0,4
	Mojado	0,6 – 0,4	0,4 – 0,3
Asfalto grueso	Seco	0,9 – 0,7	0,6 – 0,4
	Mojado	0,6 – 0,4	0,4 – 0,3
Asfalto normal	Seco	0,9 – 0,7	0,6 – 0,4
	Mojado	0,6 – 0,4	0,4 – 0,3
Barro		0,2	0,1
Hielo		0,1	0,1

(Fuente: (Bordegé y González, 2011))

4.1.3. Distancia de seguridad o seguimiento

Es la suma de las distancias de frenado y de reacción y se consideran como la mínima distancia que debe existir entre un vehículo y otro que esta por detrás, a fin de que no ocurra colisión en el caso de producirse un incidente (Parera, 2000) En el Reglamento a ley de transporte terrestre tránsito y seguridad vial del Ecuador se menciona este parámetro

como la distancia de seguimiento o distancia prudente. Al sumar las ecuaciones 4.2 y 4.4 se obtiene.

$$S_s = v_t t_{rt} + \frac{v_t^2}{2g \mu_s}$$

4.5. Distancia de seguridad o seguimiento

En el Ecuador, de acuerdo al Reglamento a la Ley de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial se establecen los límites de velocidad para vehículos livianos y para pesados en función del tipo de vía, los mismos que se presentan en las tablas 4.3 y 4.4. Por ejemplo, en una vía perimetral se establece que, para un vehículo liviano como un turismo y para un vehículo pesado como un camión, las velocidades permitidas son de 90 y 70 km/h respectivamente.

Tabla 4.3. Límites de velocidad para vehículos livianos (Turismos).

Tipo de vía	Límite máximo	Rango moderado (Art. 142.g de la ley)	Fuera del rango moderado (Art. 145.e de la ley)
Urbana	50 km/h	> 50 km/h - < 60 km/h	> 60 km/h
Perimetral	90 km/h	> 90 km/h - < 120 km/h	> 120 km/h
Rectas en carreteras	100 km/h	> 100 km/h - < 135 km/h	> 135 km/h
Curvas en carreteras	60 km/h	> 60 km/h - < 75 km/h	> 75 km/h

(Fuente: Reglamento a la ley de transporte terrestre tránsito y seguridad vial del Ecuador)

Tabla 4.4. Límites de velocidad para vehículos de transporte de carga.

Tipo de vía	Límite máximo	Rango moderado (Art. 142.g de la ley)	Fuera del rango moderado (Art. 145.e de la ley)
Urbana	40 km/h	> 40 km/h - < 50 km/h	> 50 km/h
Perimetral	70 km/h	> 70 km/h - < 95 km/h	> 95 km/h
Rectas en carreteras	70 km/h	> 70 km/h - < 100 km/h	> 100 km/h
Curvas en carreteras	40 km/h	> 40 km/h - < 60 km/h	> 60 km/h

(Fuente: Reglamento a la ley de transporte terrestre tránsito y seguridad vial del Ecuador)

La ecuación 4.5 es muy importante ya que proporciona la distancia a la que un conductor debe permanecer respecto de otro vehículo. Por ejemplo, para las velocidades máximas permitidas en una vía perimetral, al reemplazar en la ecuación 4.5 se tiene una distancia de seguridad de 123,5 m; el lector podrá advertir de su experiencia al conducir por carreteras del país que tal distancia de seguridad casi nunca es respetada.

4.1.4. Velocidad de colisión

Para el estudio de la efectividad de la barra antiempotramiento, es importante determinar la velocidad de colisión del vehículo en un posible choque por alcance. A fin de encontrar la velocidad de colisión de un turismo contra un camión, se parte de establecer la ecuación del trabajo y energía para los puntos: uno, justo cuando el conductor del turismo ha visto las luces de freno del camión y aplica los frenos; y el instante dos, después de que el turismo ha recorrido una cierta distancia d .

$$T_1 + \sum U_{1-2} = T_2$$

4.6. Ecuación de trabajo y energía

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + f_r d = \frac{1}{2}mv_2^2$$

4.7. Ecuación de trabajo y energía en un vehículo que está desacelerando

Dependiendo de las distancias entre el camión y el turismo podrá o no haber choque, ya que es posible que el vehículo de turismo alcance su velocidad cero sin haber alcanzado al camión. Para este análisis se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- La distancia que existe entre el turismo y el camión justo cuando el conductor del turismo observa la luz de freno del camión, es la distancia de seguridad calculada S_S .
- La velocidad del turismo v_t antes de aplicar los frenos es la máxima permitida según el reglamento. La velocidad antes del impacto es la velocidad de colisión v_{col} .

- La única fuerza que produce trabajo es la fuerza de fricción de los neumáticos contra el piso f_r y que trabajan una distancia d comprendida justo desde la aplicación de los frenos por parte del conductor del turismo hasta que se produce un impacto.

$$U_{1-2} = (m g \mu_s) d$$

4.8. Trabajo de frenado

Ahora bien dependiendo de esta distancia puede o no haber choque, en todo caso si el choque existe entonces el turismo alcanzará al camión con una cierta velocidad v_{col} . Al reemplazar 4.8 en 4.7 y despejando la velocidad de colisión se tiene:

$$v_{col} = \sqrt{v_t^2 - 2g\mu_s d}$$

4.9. Velocidad de colisión

Para determinar la distancia d , esta debe estar en función de los parámetros que se analizan en un accidente, es decir, la distancia de seguridad, distancia de frenado del camión y la distancia de reacción del turismo.

El lector podrá advertir que existen un sin número de situaciones posibles para que ocurra un accidente, tales como irrespeto de la distancia de seguridad, tiempos de reacción anormales, que pasarían a ser tiempos de distracción del conductor, diferencias entre el tiempo de reacción del conductor del camión con respecto a del turismo, fallas mecánicas en frenos y otras que serían difíciles de establecerlas en un solo modelo matemático. En todo caso, el interés de este trabajo es definir un modelo de cálculo y no un modelo de la reconstrucción de un accidente específico.

En la figura 4.1 se aprecia la reconstrucción de un accidente, en ella se identifican dos momentos el primero (negro) que se da justo cuando el conductor del turismo divisa la luz de freno del camión. El segundo instante (azul) se da cuando los dos vehículos se impactan. Además se muestra que antes de que el conductor del turismo aplique los frenos, este ha recorrido la distancia de reacción (magenta) S_{rt} . Se puede apreciar que la distancia que recorre el camión hasta que se detiene, es la suma de la distancia de seguridad s_s y la distancia de frenado s_{fc} , que a su vez debe ser igual a la distancia que recorre el turismo hasta que choca con el camión, la misma que es igual a la distancia de

reacción s_{rt} más la distancia d que recorre el turismo frenando hasta la colisión. Igualando estas distancias y despejando d se obtiene:

$$d = s_s + s_{fc} - s_{rt}$$

4.10. Distancia que recorre el turismo mientras frena a fin de evitar la colisión

Al reemplazar las ecuaciones 4.10, 4.2 (para el turismo) y 4.4 (para el camión) en la ecuación 4.9, se obtiene la siguiente ecuación para hallar la velocidad de colisión en función de los parámetros involucrados en un posible accidente.

$$v_{col} = \sqrt{v_t^2 - 2g\mu_{st} \left(\frac{v_c^2}{2g\mu_{sc}} - v_t t_{rt} + s_s \right)}$$

4.11. Velocidad de colisión en función de los parámetros de un posible accidente

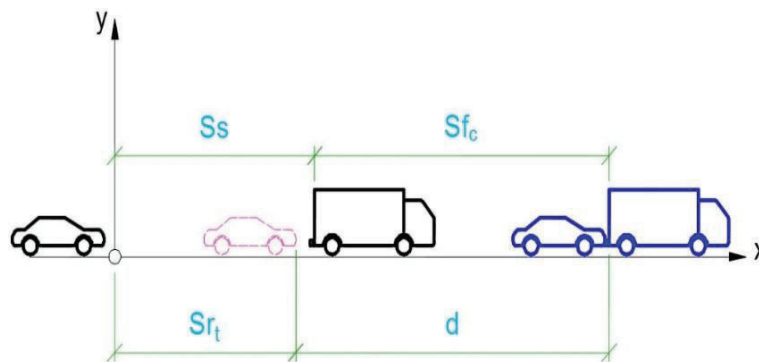


Figura 4.1. Reconstrucción de un accidente.

(Fuente: Los autores)

4.1.5. Fuerza de impacto

Para el cálculo de la fuerza de impacto sobre la barra se usó el método de Campbell que utiliza la técnica de igualar la energía cinética del vehículo justo antes del impacto con el trabajo necesario para producir una deformación en la carrocería y en la barra antiempotramiento del vehículo.

Campbell introduce un método para una franja de velocidades de ensayo entre 24 y 97 km/h; en este modelo se asume que la fuerza de deformación característica no varía a lo

largo de la parte frontal y que el daño es uniforme en todo el alto desde el parachoques hasta el capó. Esto implica considerar al vehículo como un paralelepípedo sólido, homogéneo e isótropo. Los resultados se consideran válidos para deformaciones frontales que involucran hasta un 25 por ciento del frente del vehículo. (Francois, 2005).

La base experimental la proporcionan ensayos de impacto contra una barrera de masa y rigidez infinitas (barrera rígida o simplemente barrera). La tesis central de Campbell propone que la energía absorbida es proporcional a la magnitud y forma del daño producido (la deformación permanente o residual) y las características de la relación fuerza-deformación del cuerpo ensayado o rigidez de la estructura del vehículo en la zona sometida a las fuerzas de impacto. (García)

La ecuación 4.12 corresponde a la velocidad de Campbell la cual está en función de la deformación D y los valores de b_0 y b_1 que estos dependen del tipo de vehículo, que en el caso de estudio hace referencia a un tipo turismo el cual se impacta; hay que tener en cuenta que el vehículo impacta al camión en forma frontal. Es importante indicar que los valores de los coeficientes b_0 y b_1 se pueden obtener de la tabla 4.5.

$$V = b_0 + b_1 \cdot D$$

4.12. Velocidad de colisión según el modelo de Campbell

Al despejar la deformación D de la ecuación 4.12 y reemplazar la velocidad V por la ecuación 4.11, se obtiene:

$$D = \frac{\sqrt{v_t^2 - 2g\mu_{st} \left(\frac{v_c^2}{2g\mu_{sc}} - v_t t_{rt} + s_s \right)} - b_0}{b_1}$$

4.13. Deformación residual en función de los parámetros de Campbell y aquellos involucrados en un posible accidente.

La fuerza por unidad de longitud, que ejerce el vehículo contra la barra antiempotramiento según Campbell es:

$$W = \frac{m \cdot b_1}{A} (b_0 + b_1 \cdot D)$$

4.14. Fuerza por unidad de longitud según modelo de Campbell.

Reemplazando la ecuación 4.13 en 4.14 permite obtener la fuerza por unidad de longitud que se produce en un posible accidente.

$$W = \frac{m \cdot b_1}{A} \left[b_0 + b_1 \cdot \frac{\sqrt{v_t^2 - 2g\mu_{st} \left(\frac{v_c^2}{2g\mu_{sc}} - v_t t_{rt} + s_s \right)} - b_0}{b_1} \right]$$

4.15. Fuerza por unidad de longitud que se produce en un posible accidente

Dado que se conoce la longitud de la barra antiempotramiento se puede establecer la fuerza que se ejerce en la barra en el momento de una posible colisión por alcance.

Tabla 4.5. Medidas y coeficientes de acuerdo a la categoría del vehículo.

	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5	Furgones
Batalla (m)	2,055 a 2,408	2,408 a 2,581	2,581 a 2,804	2,804 a 2,984	2,984 a 3,129	2,769 a 3,302
Vía (m)	1,298	1,387	1,496	1,57	1,618	1,717
Longitud (m)	4,059	4,442	4,983	5,405	5,754	4,663
Anchura (m)	1,544	1,707	1,844	1,956	2,017	1,981
Peso (kg)	990	1380	1600	1925	2300	1970
Frontal						
b_o (km/h)	13,2	10,54	10,91	14,77	12,01	8,21
b₁ (km/h)/cm	0,809	0,689	0,759	0,555	0,538	1,063
Trasero						
b_o (km/h)	17,9	16,3	15,9	11,5	8	9,7
b₁ (km/h)/cm	0,727	0,672	0,673	0,716	0,74	0,702
Lateral						
b_o (km/h)	3,8	4,56	5,9	4,9	5,8	---
b₁ (km/h)/cm	0,718	0,86	0,766	0,673	0,606	---

(Fuente: (Bordegé & González, 2011))

$$F = m \cdot b_1 \left[b_0 + b_1 \cdot \frac{\sqrt{v_t^2 - 2g\mu_{st} \left(\frac{v_c^2}{2g\mu_{sc}} - v_t t_{rt} + s_s \right)} - b_0}{b_1} \right]$$

4.16. Fuerza ejercida sobre la barra antiempotramiento en una colisión por alcance

Más adelante se usa la ecuación 4.16 a fin de determinar la fuerza que el vehículo ejerce sobre la barra y así poder determinar si el modelo de barra seleccionado resiste al impacto.

Para ello se usará cálculos aproximados con resistencia de materiales y la teoría de elastoplasticidad, así como el uso de un software MEF (Método de Elementos Finitos).

4.1.6. Estudio de la resistencia de vigas

A fin de poder observar si la estructura resiste a las sollicitaciones debidas al impacto de una colisión trasera, es necesario revisar algunas ecuaciones de interés tomadas de la resistencia de materiales clásica y las cuales permitirán determinar la carga máxima que se puede aplicar a la barra.

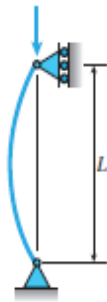

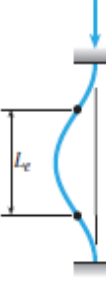
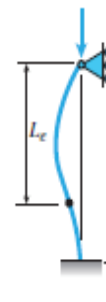
En el caso de que la estructura analizada no resista, se puede determinar la sección más grande que pueda hacerlo; aunque no es objetivo de este trabajo el diseño de la barra antiempotramiento, se puede aportar con las dimensiones mínimas que deberían considerarse, esto en el caso de no resistir al impacto.

4.1.7. Diseño de columnas

En la estructura de la barra antiempotramiento se puede considerar a las barras que van conectadas directamente al chasis como columnas en voladizo sometidas a carga axial.

En este caso se tiene una columna, tabla 4.6, que puede considerarse en voladizo por lo cual se usará un factor de longitud efectiva K igual a 2 y respectivamente una longitud efectiva de pandeo $L_e = 2L$. (Gere, 2009).

Tabla 4.6. Cargas críticas, longitudes efectivas y factores de longitud efectiva para columnas ideales.

(a) Columna articulada-articulada	(b) Columna empotrada-libre	(c) Columna empotrada-empotrada	(d) Columna empotrada-articulada
$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$	$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{4L^2}$	$P_{cr} = \frac{4\pi^2 EI}{L^2}$	$P_{cr} = \frac{2.046 \pi^2 EI}{L^2}$
			
$L_e = L$	$L_e = 2L$	$L_e = 0.5L$	$L_e = 0.699L$
$K = 1$	$K = 2$	$K = 0.5$	$K = 0.699$

(Fuente: (Gere, 2009))

Se consideran las fórmulas de columnas para acero estructural de la AISC (American Institute of Steel Construcción) (Gere, 2009), las cuales se presentan a continuación.

La relación de esbeltez crítica está dada por:

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_y}}$$

4.17. Relación de esbeltez crítica

La relación de esbeltez de la columna está dada por, siendo r el radio de giro.

$$\frac{KL}{r}$$

4.18. Relación de esbeltez de la columna

El proceso planteado consiste en calcular la relación de esbeltez crítica y la relación de esbeltez de la columna con las ecuaciones 4.17 y 4.18 respectivamente. Si la relación de

esbeltez crítica es mayor o igual a la relación de esbeltez de la columna $\frac{KL}{r} \leq \left(\frac{KL}{r}\right)_c$, se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\sigma_{perm}}{\sigma_y} = \frac{1}{n_1} \left[1 - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}{2\left(\frac{KL}{r}\right)_c^2} \right]$$

4.19. Esfuerzo permisible para columnas

$$n_1 = \frac{5}{3} + \frac{3\left(\frac{KL}{r}\right)}{8\left(\frac{KL}{r}\right)_c} - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)^3}{\left(\frac{KL}{r}\right)_c^3}$$

4.20. Coeficiente

Caso contrario si $\frac{KL}{r} \geq \left(\frac{KL}{r}\right)_c$, se utiliza las ecuaciones:

$$\frac{\sigma_{perm}}{\sigma_y} = \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)_c^2}{2n_2\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

4.21. Esfuerzo permisible para columnas

$$n_2 = \frac{23}{12} \approx 1.92$$

4.22. Coeficiente

En definitiva, el esfuerzo permisible en una columna se calcula con las ecuaciones 4.21 o 4.22. La resistencia depende de la longitud L , de la geometría y área de la sección implícita en el radio de giro de la sección transversal de la misma; en donde generalmente el valor del radio de giro se obtiene de tablas de fabricantes de perfiles, sin necesidad de cálculos.

4.1.8. Flexión elastoplástica

Los materiales elastoplásticos siguen la ley de Hooke hasta alcanzar el esfuerzo de fluencia σ_y y luego fluyen plásticamente con esfuerzo constante. Si bien es cierto no se considera el endurecimiento del acero debido a la deformación que altera la plasticidad perfecta, sin

embargo, el endurecimiento proporciona un aumento en la resistencia por lo que la suposición de plasticidad perfecta es segura (Gere, 2009).

Mientras el esfuerzo máximo en una viga sometida a flexión es menor al esfuerzo de fluencia σ_y se tiene un caso de flexión elástica ordinaria y una distribución lineal de esfuerzos, en esas condiciones el eje neutro pasa por el centroide de la sección transversal y los esfuerzos normales se obtiene con:

$$\sigma = -\frac{M_y}{I}$$

4.23. Esfuerzos normales

El momento flexionante justo cuando alcanza el esfuerzo de fluencia, que se denomina momento de fluencia M_y se obtiene mediante:

$$M_y = \frac{\sigma_y I}{c} = \sigma_y S$$

4.24. Momento de fluencia

Donde c es la distancia desde el eje neutro (eje z) al punto más alejado de la sección y S es el módulo de la sección dado por la relación, figura 4.2:

$$S = \frac{I}{c}$$

4.25. Módulo de la sección

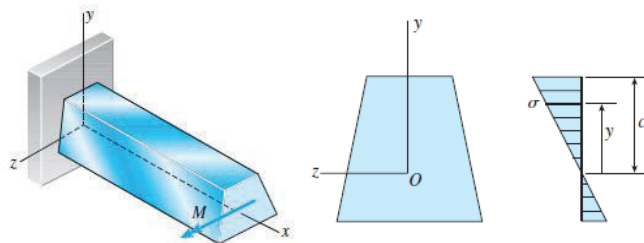


Figura 4.2. La distribución de los esfuerzos en una viga es lineal.

(Fuente: (Gere, 2009))

Si se considera un material elastoplástico, es decir, un material que luego del esfuerzo de fluencia se deforma sin necesidad de aumentar el esfuerzo. La ecuación para momento plástico está dada por:

$$M_p = \frac{\sigma_y A(\bar{y}_1 + \bar{y}_2)}{2} = \sigma_y Z$$

4.26. Momento plástico

En donde Z es el módulo de la sección en régimen elastoplástico, y se expresa como:

$$Z = \frac{A(\bar{y}_1 + \bar{y}_2)}{2}$$

4.27. Módulo de la sección en régimen elastoplástico

En donde \bar{y}_1 y \bar{y}_2 tal como se observa en la figura 4.3 son las distancias desde el centroide de la sección completa, hasta el centroide de la mitad de la sección resistente A_1 y A_2 respectivamente.

La razón entre el momento plástico M_p y el momento de fluencia M_y es únicamente función de la forma de la sección transversal y se obtiene a partir de:

$$f = \frac{M_p}{M_y} = \frac{Z}{S}$$

4.28. Factor de forma

$$M_p = M_y f$$

4.29. Momento plástico

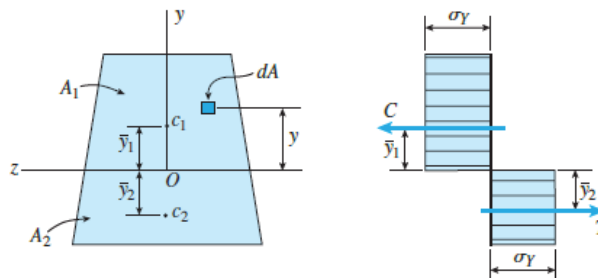


Figura 4.3. Ubicación de \bar{y}_1 y \bar{y}_2 y distribución de esfuerzo en régimen elastoplástico.

(Fuente: (Gere, 2009))

El factor de forma f depende únicamente de la forma de la sección transversal y no de sus dimensiones; es una medida de la resistencia de reserva de la viga después que empieza la fluencia. Para fines de diseño es importante considerar que la reserva es máxima cuando la mayoría de material está ubicado cerca del eje neutro y es mínima cuando la mayor parte de material está alejada del eje neutro, (Gere, 2009). En este sentido un tubo, o cualquier sección cuya masa este alejada del centro de gravedad del área transversal, es una mala elección para el diseño de barras antiempotramiento debido a que no proporciona una buena reserva de amortiguamiento de energía por deformación plástica.

4.1.9. Análisis plástico al límite

A fin de diseñar la barra para que trabaje en la zona plástica se utilizará el método de análisis plástico al límite (Popov, 2000), en donde se plantea un mecanismo de deformación, para una barra doblemente empotrada, tal como se muestra en la figura 4.4.

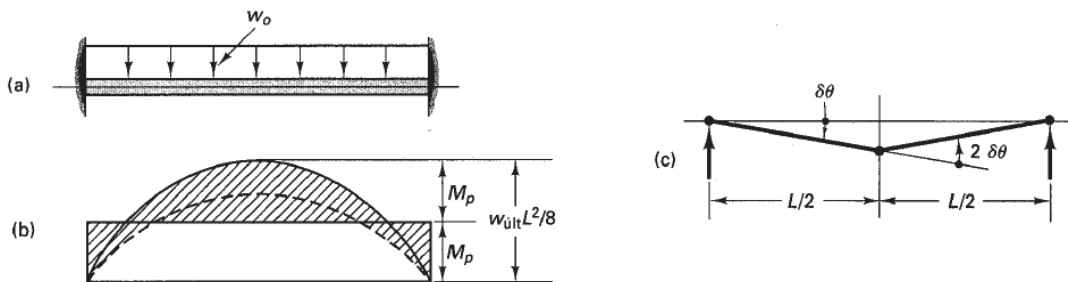


Figura 4.4. Esquema del análisis plástico al límite para una barra doblemente empotrada.

(Fuente: (Popov, 2000))

La carga que resistirá la viga luego de deformarse plásticamente y antes de fallar, w_{ult} se denomina carga última. Utilizando el método de trabajo virtual del mecanismo de la figura 4.4 se tiene:

$$\delta W_e = \delta W_i$$

$$w_{ult} L \left(\frac{L \delta_\theta}{2} \frac{1}{2} \right) = M_p (\delta_\theta + 2 \delta_\theta + \delta_\theta)$$

4.30. Trabajo virtual en una viga empotrada

Al remplazar la ecuación 4.31 en 4.33 y despejar la carga última que puede resistir la viga:

$$W_{ult} = \frac{16 M_y f}{L^2}$$

4.31. Carga ultima de una viga empotrada con régimen elastoplástico

A fin de determinar si la barra antiempotramiento resiste o no, se verificará si su carga última calculada con la ecuación 4.31 es mayor o menor a la carga producida en la barra por el impacto de colisión por alcance calculado por la ecuación 4.15.

4.1.10. Deflexión máxima de una viga

A fin de calcular la deflexión máxima de la barra antiempotramiento se calcula la misma por medio de la siguiente ecuación de la energía:

$$U = \int \left[\left(\frac{EI}{2} \right) \left(\frac{d^2v}{dx^2} \right)^2 \right] dx$$

4.32. Ecuación de la energía para una barra doblemente empotrada

Donde E es el módulo de Young, I es el momento de inercia de la sección y v es la ecuación de la curva de deflexión de la viga. Para una barra empotrada en los dos extremos (Gere, 2009), se puede demostrar que la curva de deflexión y la deflexión máxima están dadas por:

$$v = -\frac{Px^2}{48EI} (3L - 4x)$$

4.33. Curva de deflexión para una barra doblemente empotrada

$$\delta_{max} = (v)_{x=L/2} = \frac{PL^3}{192EI}$$

4.34. Deflexión máxima para una barra doblemente empotrada

Despejando P de la ecuación 4.33 y reemplazando en 4.34 se obtiene la ecuación de la curva de deflexión en función de la deflexión máxima:

$$v = -\frac{4 \delta_{max} x^2}{L^3} (3L - 4x)$$

4.35. Curva de deflexión en función de la deflexión máxima

Derivando dos veces la ecuación 4.37, reemplazando en la ecuación 4.34 e integrando entre $0 \leq x \leq L$ se obtiene la energía de deformación para una barra doblemente empotrada:

$$U = \frac{672EI\delta_{max}^2}{L^3}$$

4.36. Energía de deformación para una barra doblemente empotrada

Esta ecuación se puede igualar a la energía producida por la fuerza media de choque:

$$U_m = F\delta_{max}$$

4.37. Energía media de choque

Reemplazando 4.39 en 4.38 y resolviendo para δ_{max} se obtiene:

$$\delta_{max} = \frac{FL^3}{672EI}$$

4.38. Deflexión máxima debido al impacto

Reemplazando la fuerza de colisión dada por la ecuación 4.15 en 4.40 se obtiene:

$$\delta_{max} = \frac{m \cdot b_1 L^3}{672 EI} \left[b_0 + b_1 \cdot \frac{\sqrt{v_t^2 - 2g \mu_{st} \left(\frac{v_c^2}{2g \mu_{sc}} - v_t t_{rt} + s_s \right) - b_0}}{b_1} \right]$$

4.39. Deflexión máxima de la barra en función de los parámetros de choque

Finalmente se ha calculado una ecuación que expresa la deflexión máxima de la viga y que al reemplazar datos nos proporcionará un resultado que puede ser comparado con el resultado que arroja el software ANSYS y poder valorar el modelo de cálculo propuesto.

4.1.11. Cálculo de la fuerza de impacto en un accidente

a. Reconstrucción de un accidente

Los objetivos de una reconstrucción de un accidente se dirigen a analizar la colisión y cuantificar de la manera más exacta las posibles variaciones de velocidades y trayectoria experimentadas por los vehículos que se impactan. Se analiza pre colisión, colisión y pos colisión estableciéndose el conjunto de hipótesis más coherente con los datos disponibles del accidente y de los vehículos. (Hidalgo, 2004)

En este estudio se analizan dos tipos de accidentes, el primero debido a un tiempo de distracción del conductor, algunos de estos tiempos se presentan en la tabla 4.7, y el segundo supone que la distancia de seguridad no se respeta por parte de los conductores.

Tabla 4.7. Tiempos de distracción al realizar diversas actividades.

Tarea de distracción	Duración de la tarea
Marcar un número de teléfono en el móvil.	6 segundos.
Responder una llamada telefónica.	4 segundos.
Duración media de una conversación.	1,5 segundos.
Encender un cigarrillo.	2 segundos.
Ajustar la radio o reproductor de CD.	3 segundos.
Frecuencia de manipulación de la radio.	8 veces / hora de conducción.

(Fuente: (Bordegé y González, 2011))

En el primer caso indicado se usara la ecuación 4.11, considerando como variable al tiempo de distracción t_d en lugar del tiempo de reacción de conductor del turismo t_{rt} . En el segundo caso se considera que no existe distracción en el conductor del turismo, y se analizará que sucede cuando varía la distancia de seguridad, la que se considera que no se respeta en cierto porcentaje p por lo que, para cada caso respectivamente, la ecuación 4.11 se transforma en:

$$v_{cold} = \sqrt{v_t^2 - 2g\mu_{st} \left(\frac{v_c^2}{2g\mu_{sc}} - v_t t_d + s_s \right)}$$

4.40. Velocidad de colisión por tiempo de distracción

$$v_{colp} = \sqrt{v_t^2 - 2g\mu_{st} \left(\frac{v_c^2}{2g\mu_{sc}} - v_t t_{rt} + p s_s \right)}$$

4.41. Velocidad de colisión debido a irrespeto de la distancia de seguridad

b. Fuerza de impacto en un accidente

En este apartado se procederá a realizar el estudio de un caso de accidente que podría ocurrir en las carreteras ecuatorianas, para lo cual se ha tomado como insumo la normativa vigente y las ecuaciones anteriores.

Se considerará el escenario de colisión entre un camión del tipo NLR y un vehículo turismo categoría 3. Los datos de entrada, que corresponden a la información necesaria para la aplicación de las ecuaciones revisadas anteriormente, junto con una breve descripción de la variable y las condiciones impuestas de manera arbitraria, se encuentran en la tabla 4.9. Es importante mencionar que hay muchas maneras y criterios para seleccionar los datos, en todo caso, se insiste en que el objetivo de este trabajo, no es identificar un accidente más frecuente sino solamente presentar un modelo para cálculo de la fuerza de impacto en función de los parámetros involucrados. En este caso se ha escogido un ejemplo en particular cuyos datos se resumen a continuación.

Es evidente que dependiendo de muchos factores se tendrán distintas velocidades de colisión, en este trabajo se comprobará si la barra antiempotramiento soporta la fuerza generada por una velocidad de colisión de 50 km/h que propone la norma. Es más, con los cálculos realizados y cuyos resultados se muestran a continuación en la tabla 4.10 se puede observar que tanto para un tiempo de distracción de 4 segundos, como para un irrespeto de la distancia de seguridad de 30 % se tiene una velocidad de colisión cercana a 50 km/h. Esto da una orientación a establecer que el diseño debería ser realizado para una fuerza que se produce una colisión a la velocidad de 50 km/h que da la norma ya que prácticamente abarca tiempos aceptables de distracción y un margen bueno de irrespeto a la distancia de seguridad, que es muy común en nuestras carreteras. Se insiste en que

los resultados mostrados, son un ejemplo de cálculo ya que pueden existir distintos escenarios posibles.

Tabla 4.8. Datos de entrada para el estudio de una colisión por alcance.

Descripción del parámetro	símbolo	Condiciones	Valor	Unidades
Velocidad del turismo.	v_t	En vía perimetral a la máxima velocidad permisible para un turismo. (ver tabla 4.3)	90	km/h
			25	m/s
Velocidad del camión.	v_c	Envía perimetral a la máxima velocidad permisible para un vehículo de carga. (ver tabla 4.4)	70 19,5	km/h m/s
Coeficiente de rozamiento del turismo.	μ_{st}	Asfalto normal mojado y vehículo con neumáticos a medio uso. (tomado de tabla 4.2)	0,4	-
Coeficiente de rozamiento del camión.	μ_{sc}	Asfalto normal mojado y vehículo con neumáticos a medio uso. (tomado de tabla 4.2)	0,4	-
Tiempo de reacción del turismo y del conductor del camión.	t_{rt} t_{rc}	Conductor del turismo y camión de edad entre 26-40 años, conduciendo en el día (Tomado de la tabla 4.1)	1	s
Tiempo de distracción del conductor del turismo.	t_d	Considerando una distracción debido a contestar una llamada telefónica. (Tomado de la tabla 4.7)	4	s
Masa de un vehículo categoría 3.	m	(Tomado de la tabla 4.5)	1600	kg
Anchura frontal del vehículo.	A	(Tomado de la tabla 4.5)	1,844	m
Parámetro de Campbell.	b_0	(Tomado de la tabla 4.5)	10,91 3,03	km/h m/s
Parámetro de Campbell.	b_1	(Tomado de la tabla 4.5)	0,759 21,08	(km/h)/cm s ⁻¹
Deformación residual después del choque.	D	(Obtenido con ecuación 4.13)	0,627	m

(Fuente: Los autores)

Tabla 4.9. Datos de obtenidos para los valores de entrada de la tabla 4.9.

Descripción del parámetro	Símbolo	Condiciones	Valor	Unidades
---------------------------	---------	-------------	-------	----------

Velocidad de colisión por distracción del conductor del turismo.	v_{cold}	Se consideró un tiempo de distracción del conductor del turismo de 4 segundos (ver tabla 4.7), propio de contestar una llamada telefónica. (ver ecuación 4.43)	52	km/h m/s
Velocidad de colisión por irrespeto de la distancia de seguridad.	v_{cols}	Se realizó el cálculo por un irrespeto del 30% nótese que se considera que no existe tiempo de distracción y solo tiempo de reacción. (ver ecuación 4.44)	50,5	km/s m/s
Fuerza distribuida sobre la barra	W	Para los parámetros de Campbell citados en tabla 4.8 y una velocidad de colisión de 50 km/h. (ver ecuación 4.15)	256	kN/m
Fuerza sobre la barra	F	Para los parámetros de Campbell citados en tabla 4.8 y una longitud de la barra analizada de 0.73 m. (ver ecuación 4.16)	186	kN

(Fuente: Los autores)

Una vez conocida la fuerza de impacto se procederá a comprobar si la barra resiste la carga. La finalidad de este cálculo será saber si la barra usada resiste. Para ello se simulará en el programa ANSYS lo que permitirá una valoración entre lo calculado y la simulación. Luego de esto el proceso normal sería usar las fórmulas de la mecánica de materiales para el diseño y comprobar en el software.

4.1.12. Estudio de los casos

De los sistemas utilizados en el medio el dispositivo de antiempotramiento de plancha corrugada tipo grada, figura 4.5 (a) no tiene simetría con respecto a la aplicación del momento flector y el dispositivo antiempotramiento de doble tubo, figura 4.5 (b), debido a su construcción no amerita considerarse. Por lo expuesto se ha tomado el sistema más usado y operativo que es el dispositivo antiempotramiento de un solo tubo, figura 4.5 (c).

a. Estudio de la estructura

En la figura 4.6 se tiene las dimensiones de la primera configuración de la barra antiempotramiento más utilizada. En esta se aprecia una barra que estará sometida a

flexión que se podría considerar doblemente empotrada. Las columnas que se unen al chasis son consideradas como columnas sometidas a carga axial.

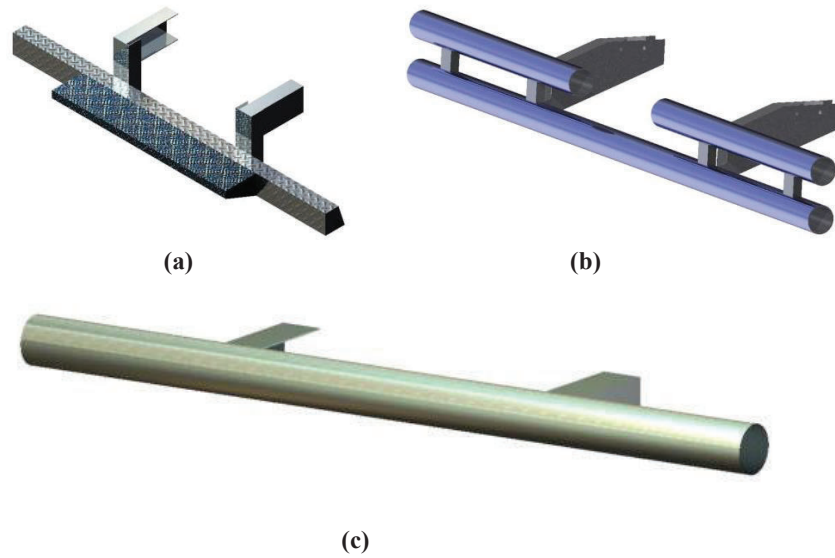


Figura 4.5. Sistemas antiempotramiento. (a) Dispositivo antiempotramiento de plancha corrugada tipo grada; (b) Dispositivo antiempotramiento de doble tubo; (c) Dispositivo antiempotramiento de un solo tubo.
(Fuente: Los autores)

En la tabla 4.11 se muestran los datos de entrada necesarios para los cálculos respectivos.

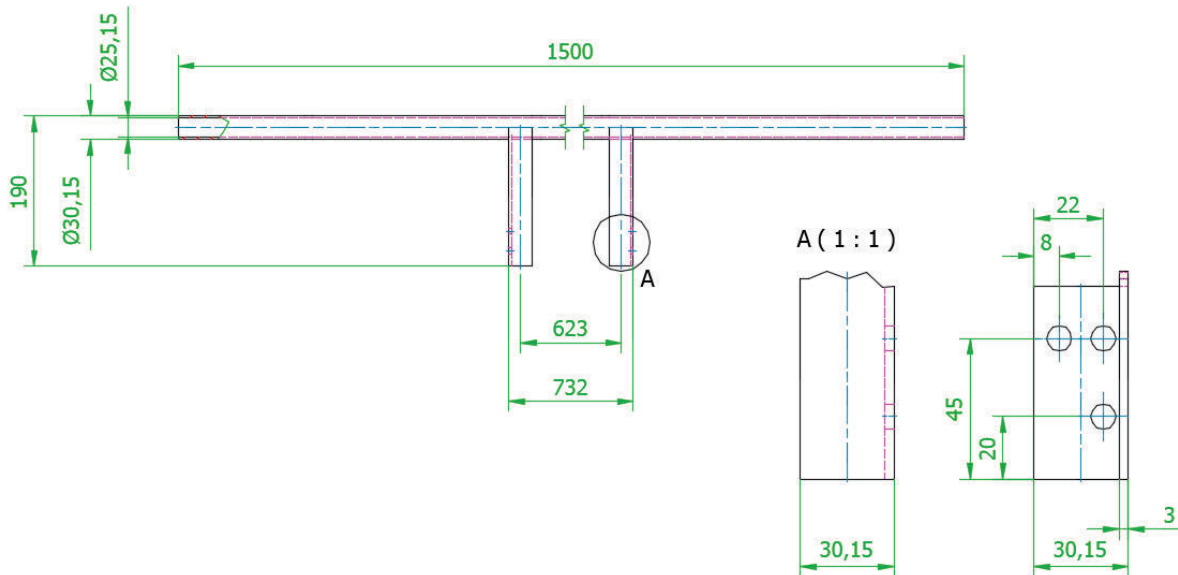


Figura 4.6. Dispositivo antiempotramiento de un solo tubo.
(Fuente: Los autores)

La sección de la columna está construida de un perfil en L de 50 x 50 mm cuyos datos según catálogo de la IPAC mostrado en la tabla 4.11 son: espesor 5 mm, radio de giro 1,54 cm, momento de inercia 10,88 cm⁴, área de la sección transversal de 4,61 cm². Estos aceros deben ser construidos respetando la norma NTE INEN 1623 (INEN, 2015).

Tabla 4.10. Datos de entrada sobre la estructura utilizada como barra antiempotramiento.

Descripción del parámetro	Símbolo	Valor	Unidades
Diámetro externo del tubo	D_2	30,15	mm
Diámetro interno del tubo	D_1	26,15	mm
Espesor del tubo	t	2	mm
Longitud entre soportes de la barra antiempotramiento (sometida a flexión)	L	0,732 m	mm
Longitud de las columnas de unión de la barra con el chasis.	L_c	162	mm
Sección de la barra de unión*	A_t	4,61	cm ²
Radio de giro*	r	1,54	cm
Módulo de Young del acero	E	200	GPa
Límite de fluencia del acero estructural.	σ_y	250	MPa
*datos tomados de tabla 4.12			

(Fuente: Los autores)

Tabla 4.11. Características del perfil L seleccionado.

Designaciones	Esp.	Peso	Propiedades Estáticas								
			Eje x-x			Eje y-y			Distancia de eje x-y superficie		
			Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro			
H	B	e	P	P	I	W	i	I	W	i	X=Y
mm	mm	mm	kg/m	kg/cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm
50	50	1,50	1,14	6,85	3,65	1,00	1,19	3,65	1,00	1,19	1,29
		2,00	1,52	9,11	4,86	1,33	1,59	4,86	1,33	1,59	1,34
		3,00	2,24	13,43	7,03	1,95	1,57	7,03	1,95	1,57	1,39
		4,00	2,93	17,60	9,04	2,54	1,56	9,04	2,54	1,56	1,44
		5,00	3,60	21,61	10,88	3,10	1,54	10,88	3,10	1,54	1,49

(Fuente: <http://www.ipac-acero.com/producto-detalle.php?id=33>)

Con los datos del módulo de Young y el límite de fluencia del acero estructural, se encuentra la relación de esbeltez crítica, en tanto que con el radio de giro y la longitud de la columna se obtiene la relación de esbeltez de la columna, con la ayuda de las ecuaciones

$$4.17 \text{ y } 4.18 \text{ respectivamente se obtiene } \left(\frac{KL}{r}\right)_c = 125.6 \text{ y } \frac{KL}{r} = 21.$$

En consecuencia se tiene que $\frac{KL}{r} > \left(\frac{KL}{r}\right)_c$. Por lo tanto al usar las ecuaciones 4.21 y 4.22 se calcula el esfuerzo permisible σ_{perm} y dado que se conoce el área de la sección transversal de las columnas A_t , se puede calcular el esfuerzo permisible y la carga permisible, $\sigma_{perm} = 142 \text{ MPa}$ y $P_{perm} = 65,7 \text{ kN}$.

De la tabla 4.10 se observa que la fuerza sobre las columnas es de $P = 186 \text{ kN}$, como son dos columnas resistentes, en cada una se tendrá un valor de 96 kN que supera los $65,7 \text{ kN}$ permisibles. Se puede observar que dichos elementos considerados como columnas fallarían ante la carga aplicada ya que resisten solo un 67% de la carga. Por ello se propone un ángulo en forma de L de lado 76.2 mm , $4,76 \text{ mm}$ de espesor, $7,03 \text{ cm}^2$ de sección transversal y radio de giro $2,37 \text{ cm}$ (L3 x 3/16) cuyas características se puede observar en la tabla 4.13.

Tabla 4.12. Características del perfil L seleccionado.

Sección Lado y Espesor Nominales (in)	Peso (kg/m)	DIMENSIONES			PROPIEDADES									
		Lado B (mm)	Espesor t (mm)	k (mm)	Área A (cm ²)	Eje X-X = Eje Y-Y					Eje Z-Z			J (cm ⁴)
						I (cm ⁴)	S (cm ³)	r (cm)	$\bar{y} = \bar{x}$ (cm)	Z (cm ³)	I (cm ⁴)	S (cm ³)	r (cm)	
L 3 X 3/16	5.52	76.2	4.76	14.3	7.03	39.5	7.10	2.37	2.06	12.7	15.6	5.34	1.49	0.57
L 3 X 1/4	7.29	76.2	6.35	15.9	9.29	51.2	9.32	2.35	2.12	16.7	20.4	6.80	1.49	1.30
L 3 X 5/16	9.08	76.2	7.94	17.5	11.48	62.4	11.5	2.33	2.18	20.6	25.1	8.13	1.48	2.48
L 3 X 3/8	10.7	76.2	9.52	19.0	13.61	72.8	13.5	2.31	2.25	24.3	29.6	9.34	1.48	4.20
L 4 X 1/4	9.82	102	6.35	15.9	12.52	125	16.9	3.17	2.74	29.8	49.1	12.7	1.99	1.82
L 4 X 5/16	12.2	102	7.94	17.5	15.48	153	20.8	3.15	2.82	37.0	60.8	15.3	1.98	3.46
L 4 X 3/8	14.6	102	9.52	19.0	18.45	180	24.6	3.12	2.87	44.1	72.0	17.7	1.98	5.87
L 4 X 1/2	19.0	102	12.7	22.2	24.19	230	32.1	3.07	3.00	57.4	93.7	22.1	1.97	13.4

(Fuente: http://www.deacero.com/es/products/li-angulo-de-lados-iguales-l-medidas-especiales/?categoria_producto=perfiles)

Esta sección recomendada, puede resistir un esfuerzo permisible de 145 MPa , es decir, una fuerza de 100 kN , superior a los 96 kN que se necesitan.

Ahora se revisará si la barra antiempotramiento que se considera una viga empotrada en dos puntos resiste o no. Para ello se calculará la carga última (régimen elastoplástico) que puede resistir la barra antiempotramiento y se comparará si es mayor a la carga que se aplicará a la barra producto de la colisión $P = 186 \text{ kN}$ (ver tabla 4.10). Esta carga

mencionada se obtuvo al considerar una velocidad de colisión de 50 km/h, que es la velocidad con la que se realizan las pruebas de colisión.

A fin de calcular el factor de forma se usarán las ecuaciones descritas en la sección 4.1 correspondiente a flexión elastoplástica. El factor de forma se calcula considerando primeramente el momento de inercia de la sección de una corona circular que está dado por.

$$I_z = \frac{\pi}{4} (r_2^4 - r_1^4)$$

4.42. Momento de inercia de una sección de corona circular

En la ecuación 4.26 se considera $c = r_2$ como la distancia de la fibra más alejada, se tiene que:

$$M_y = \frac{\sigma_y \frac{\pi}{4} (r_2^4 - r_1^4)}{r_2}$$

4.43. Momento de fluencia para una sección de corona circular

Para obtener el momento plástico se necesita \bar{y}_1 y \bar{y}_2 , (ver figura 4.3) para el caso de la sección tubular estas distancias corresponden a la distancia del centroide de la corona hasta el centroide (\bar{y}, \bar{z}) de la mitad de la corona circular, en la figura 4.7 se puede observar simetría en donde $\bar{z} = 0$, en tanto que en tanto que \bar{y} puede ser calculado con:

$$\bar{y} = \frac{\iint_S y \, dA}{\iint_S dA}$$

4.44. Centroide de un área

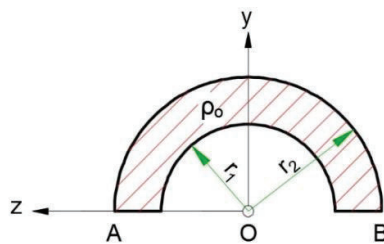


Figura 4.7. Centroides de la mitad de una corona circular.
(Fuente: Los autores)

$$\bar{y}_1 = \frac{4(r_2^3 - r_1^3)}{3A}$$

4.45. Distancia al centroide de la mitad de la corona circular

Por lo tanto al reemplazar en la ecuación 4.27 y 4.29, y notando que $\bar{y}_1 = \bar{y}_2$ debido a la simetría de la sección transversal de corona circular, se tiene que:

$$Z = \frac{4}{3}(r_2^3 - r_1^3)$$

4.46. Módulo de la sección de corona circular en régimen elastoplástico

$$M_p = \frac{4}{3} \sigma_y (r_2^3 - r_1^3)$$

4.47. Momento plástico de una sección de corona circular

Al reemplazar 4.46 y 4.47 en la ecuación 4.28, se obtiene el factor de forma para el caso de una barra con sección de corona circular.

$$f = \frac{16r_2 (r_2^3 - r_1^3)}{3\pi(r_2^4 - r_1^4)}$$

4.48. Factor de forma para una sección de corona circular

Al sustituir los valores de la sección utilizada, presentados en la tabla 4.11, se obtiene un factor de forma $f = 1,315$, que significa que se tiene una reserva de 31% luego de haberse alcanzado el límite fluencia.

Al reemplazar en los datos obtenidos en la ecuación 4.31, se puede obtener la carga última que puede resistir la barra $w_{ult} = 11.85 \text{ kN/m}$.

Con estos datos la viga soporta únicamente una carga última después de deformarse plásticamente de 11.85 kN/m . Anteriormente se indicó que la viga necesita resistir una carga de 256 kN/m , es decir, la viga resiste apenas un 4.62 % de lo que debe soportar.

Considerando como carga ultima a la fuerza por unidad de longitud que se obtuvo para una colisión por alcance a 50 km/h (256 kN/m), se realizó un cálculo sencillo iterando en las

ecuaciones anteriores, el mismo que determinar que se necesita un tubo de diámetro. 88,9 mm (3,5 pulg) y con un espesor de 5 mm, el cual tiene una resistencia de 263050 N/m, con una deflexión 0,00046 m (0,46 mm). Esto sumado al necesario redimensionamiento de los soportes (columnas) que se unen al chasis que se mostraron anteriormente.

Finalmente se ha podido demostrar que las dimensiones de los elementos del dispositivo antiempotramiento no resisten a las solicitaciones indicadas, por lo que se ha realizado una propuesta en donde se han calculado secciones más resistentes, esto sin modificar el diseño, ya que no es parte del alcance de este trabajo. En resumen, en la tabla 4.13, se tienen las siguientes dimensiones para el sistema propuesto, el cual resiste a la fuerza de impacto, ver anexo 4.

Tabla 4.13. Dimensiones del sistema propuesto.

Descripción del parámetro	Símbolo	Valor	Unidades
Diámetro externo del tubo	D_2	88.9	mm
Diámetro interno del tubo	D_1	78.9	mm
Espesor del tubo	t	5	mm
Sección de la barra de unión	A_t	4.76	cm ²
Radio de giro	r	2.37	cm

(Fuente: Los autores)

Por lo expuesto es preferible utilizar secciones llenas en general, ya que estas ofrecen un mayor factor de forma; es decir, una resistencia de reserva en el régimen elastoplástico; la sección circular otorga un 70% de reserva, mucho mayor al 31% que ofrece la sección tubular del caso analizado.

Más adelante se comprobará que la estructura con estas dimensiones resiste a la fuerza de impacto, a través de un software de elementos finitos.

4.2. Modelado de la colisión mediante software MEF

En este apartado se procedió a analizar por medio del método de elementos finitos el dispositivo antiempotramiento cuando está sometido a las cargas producidas durante una colisión por alcance, esto tanto para el sistema actual como para el propuesto de acuerdo a los cálculos realizados aplicando mecánica de materiales; para ello se utilizó el software ANSYS el cual permitirá visualizar el comportamiento de los elementos frente a los esfuerzos generados en estos elementos.

Para realizar el análisis indicado se tomó como referencia la normativa aplicada en Estados Unidos (NHTSA, 2012), en la cual se indica los requisitos de carga de prueba y la posición de las mismas según la regulación FMVSS 223 y 224; estos valores dados por la normativa se utilizarán como datos para el análisis a realizar en el software ANSYS.

4.2.1. Análisis del dispositivo antiempotramiento de un solo tubo

A continuación, se indica los resultados obtenidos del dispositivo antiempotramiento de un solo tubo utilizado en el medio, ver anexo 1.

En la figura 4.8 se indica el modelado del elemento, para ello se utilizó elementos tipo Shell, ya que al momento de realizar el proceso de mallado y cálculo estos tipos de elementos demandan menos costo computacional y además se puede simular el espesor de los perfiles sin necesidad de generar un elemento sólido.

Los elementos tipo Shell se usan para simular el comportamiento de sólidos de sección transversal fina, como son placas delgadas o chapa; estos elementos tienen por lo general seis grados de libertad por nodo, traslaciones en las direcciones nodales x, y, z, y rotaciones sobre los ejes nodales x, y, z. Dichos elementos poseen características de membrana y capacidad de soportar esfuerzos a flexión; ambos tipos de carga están permitidas en el plano y en dirección normal al mismo. (Colomina Francés, Colomer Romero, Eixerés Tomás, & A., 2002)

La variable que debe ser introducida en cada sección es el espesor de cada elemento plano, de manera más específica tienen aplicación en todo tipo de estructuras laminares, cuyo espesor es menor que 0,1 veces su longitud menor. (CAEsoft, 2016)

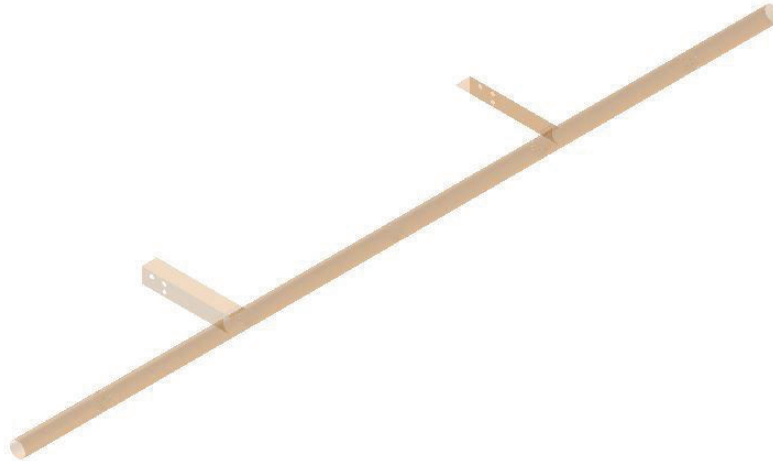
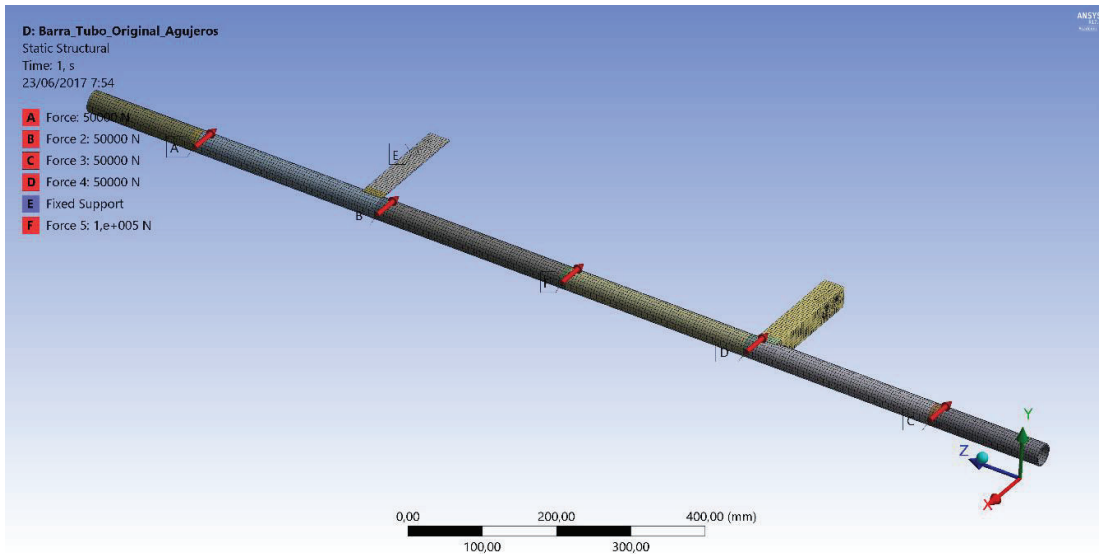


Figura 4.8. Modelado del dispositivo antiempotramiento de un solo tubo.
(Fuente: Los autores)

La calidad del mallado obtenido se indica en la figura 4.9, como se puede observar se obtuvo una calidad de la malla del 97,74 % garantizando así la convergencia del análisis realizado.



Details of "Mesh"	
Element Midside Nodes	Program Controlled
Sizing	
Inflation	
Advanced	
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	8950
<input type="checkbox"/> Elements	8480
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	0,25399
<input type="checkbox"/> Max	0,99941
<input type="checkbox"/> Average	0,97747
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	7,1845e-002

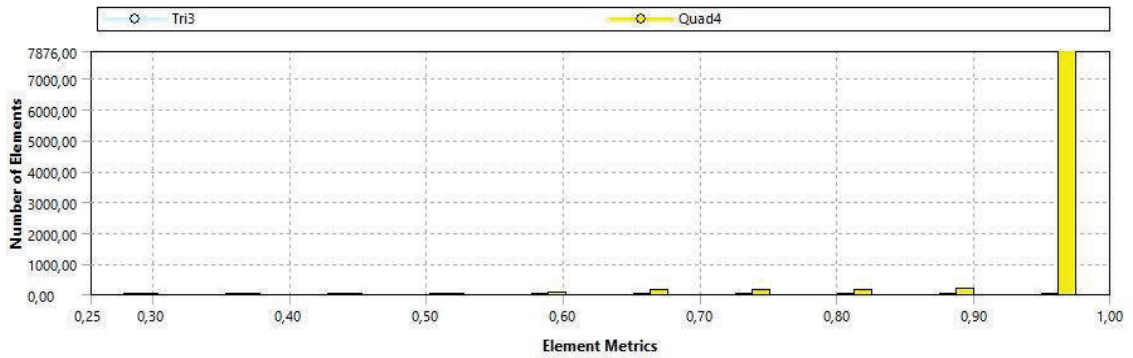
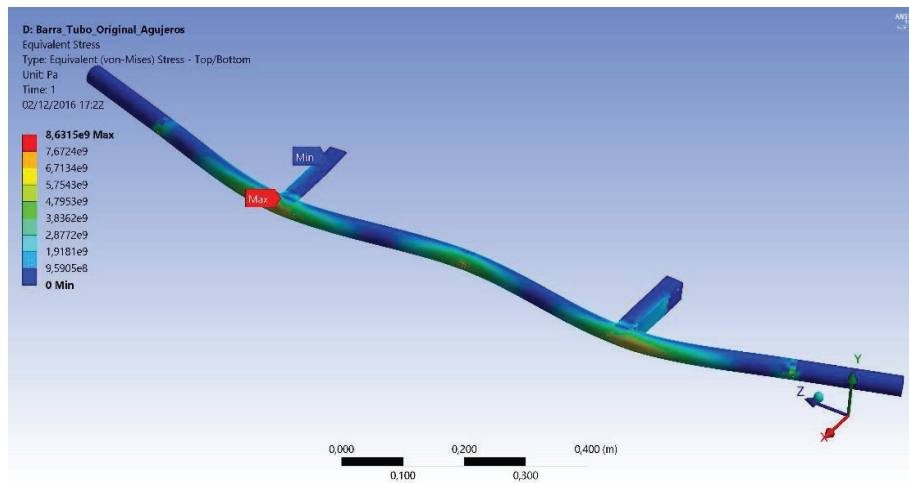


Figura 4.9. Calidad del mallado obtenido del dispositivo antiempotramiento de un solo tubo.
(Fuente: Los autores)

Para el análisis de la resistencia del elemento frente a las cargas aplicadas se aplicó el criterio de fallo elástico de Von Mises el cual hace referencia a la máxima energía de distorsión; en donde como resultado se puede observar que el valor máximo obtenido es de 8631,5 MPa, en los lugares indicados en la figura 4.10, en comparación con los valores del material que es un acero estructural, el cual tiene una resistencia a la tracción de 250 MPa y una resistencia última a tracción de 460 MPa, se puede concluir que el material no resiste al esfuerzo al cual está sometido, sobre todo en las zonas indicadas en la figura.



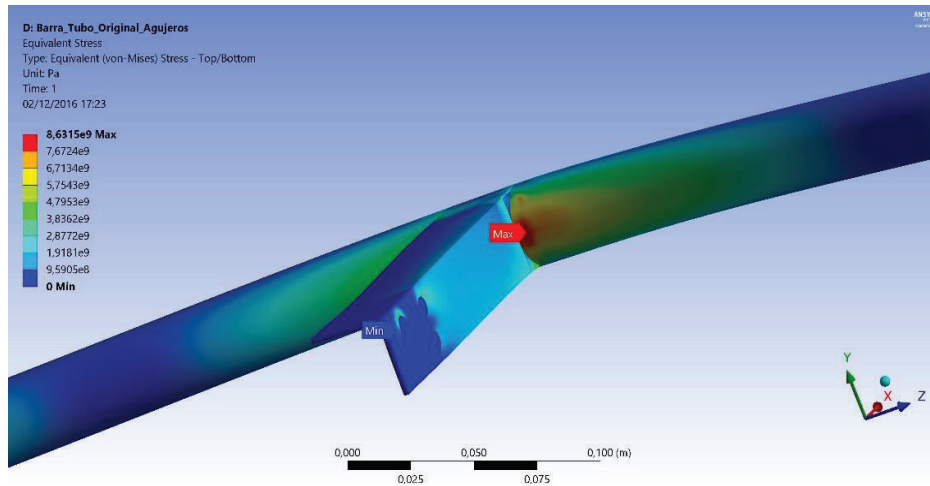
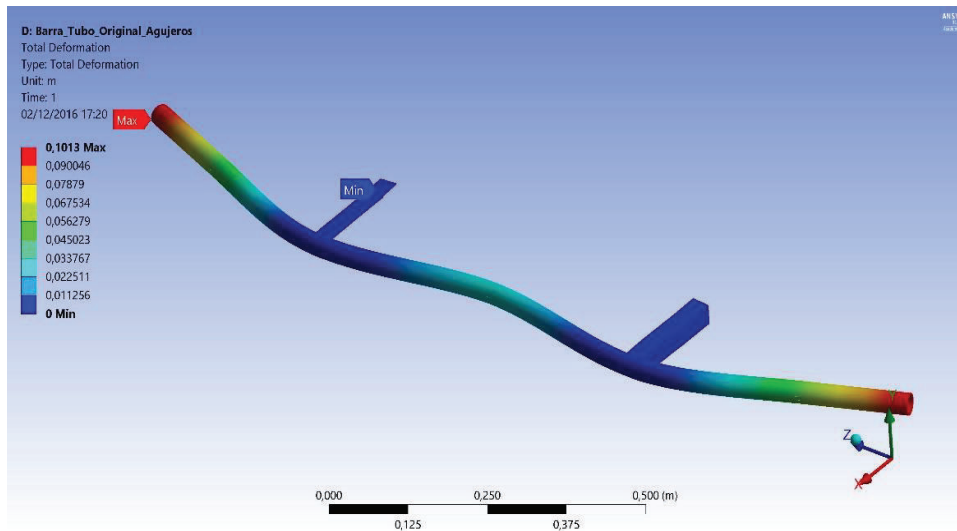


Figura 4.10. Esfuerzo de Von Mises obtenido del dispositivo antiempotramiento de un solo tubo.
 (Fuente: Los autores)

Con respecto a la deformación obtenida en respuesta a los esfuerzos aplicados, se puede observar en la figura 4.11, el valor máximo obtenido que es de 101,3 mm, el cual se considera como un valor no admisible; esto debido a que al analizar conjuntamente con los valores obtenidos al aplicar el criterio de fallo elástico de Von Mises, se puede concluir que el elemento en análisis no soporta los esfuerzos al cual está sometido, esto en los lugares indicados en la figura.



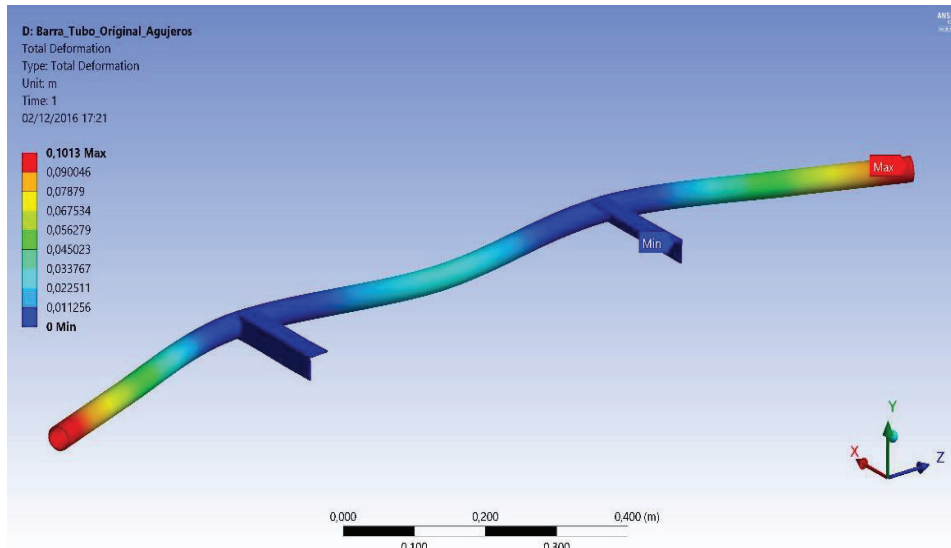


Figura 4.11. Deformación total obtenida del dispositivo antiempotramiento de un solo tubo.
 (Fuente: Los autores)

Otro aspecto importante en indicar es el factor de seguridad obtenido con respecto al esfuerzo al cual está sometido este elemento, en la figura 4.12 se verifica que el elemento en estudio posee un factor de seguridad de 0,028 a 1 en la gran parte del elemento, concluyendo así que las dimensiones y forma geométrica del elemento no están dimensionadas adecuadamente para soportar las sollicitaciones de esfuerzo al cual está sujeto.

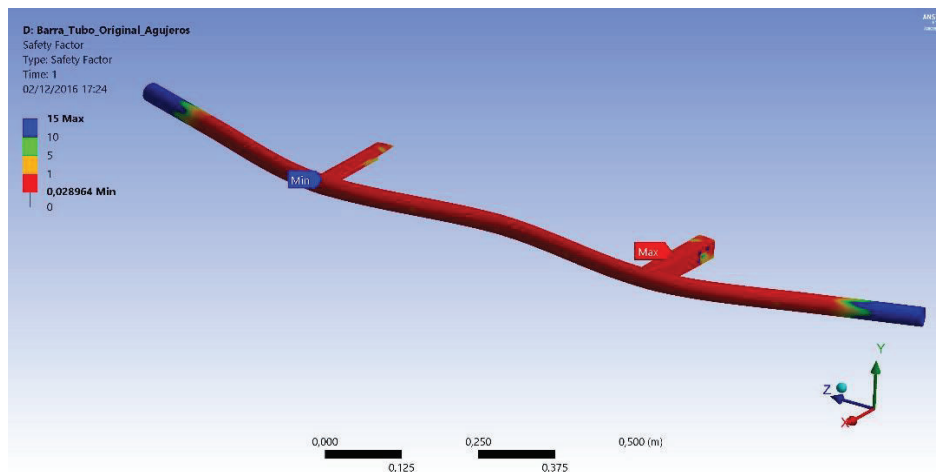


Figura 4.12. Factor de seguridad con respecto al esfuerzo obtenido del dispositivo antiempotramiento de un solo tubo.
 (Fuente: Los autores)

4.2.2. Análisis del dispositivo antiempotramiento de plancha corrugada tipo grada

En este apartado se analiza los resultados obtenidos del dispositivo antiempotramiento de plancha corrugada tipo grada, sus dimensiones se indican en el anexo 3.

En la figura 4.13 se presenta el modelado del elemento en estudio, para ello se utilizó elementos tipo Shell.

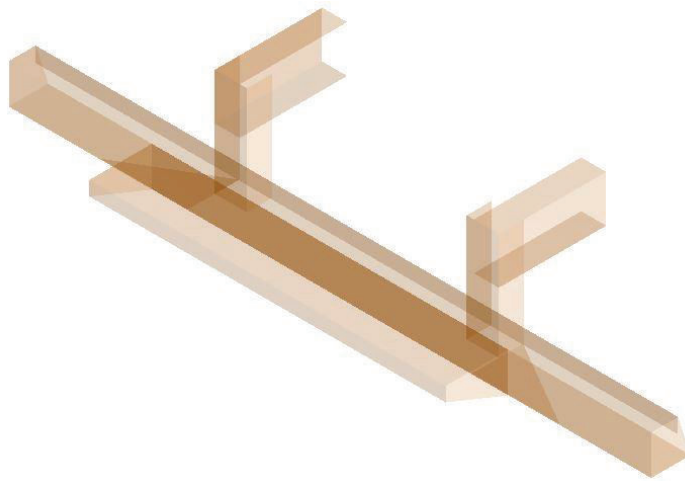
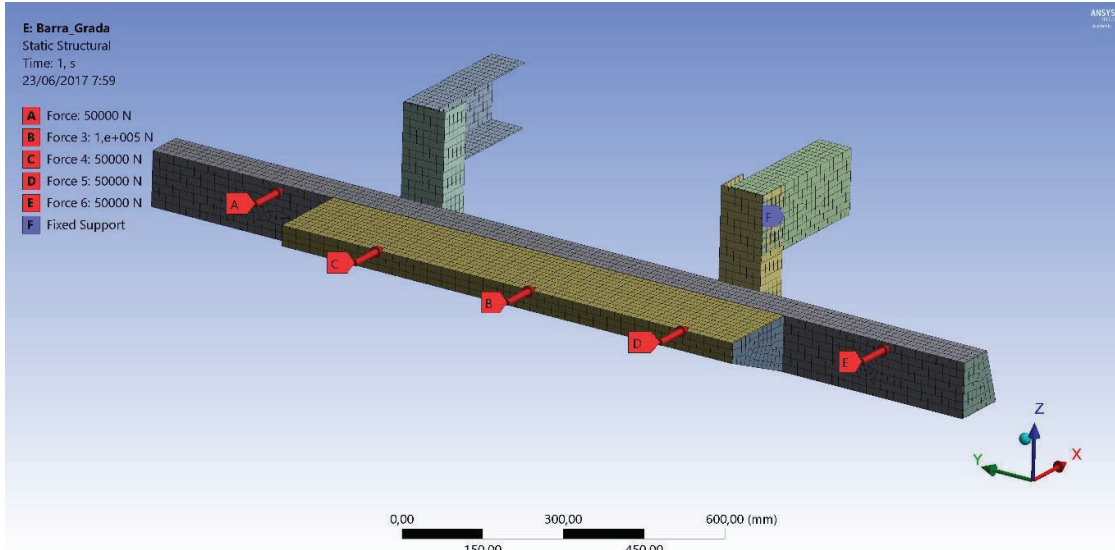


Figura 4.13. Modelado del dispositivo antiempotramiento de plancha corrugada tipo grada.
(Fuente: Los autores)

Con respecto a la calidad del mallado obtenido se indica en la figura 4.14, como se puede observar se obtuvo una calidad de la malla del 97,73 % obteniendo de esta manera la convergencia del análisis efectuado.



Details of "Mesh"	
Element Midside Nodes	Program Controlled
+ Sizing	
+ Inflation	
+ Advanced	
- Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	6236
<input type="checkbox"/> Elements	5753
Mesh Metric: Element Quality	
<input type="checkbox"/> Min	0,50258
<input type="checkbox"/> Max	0,99947
<input type="checkbox"/> Average	0,97733
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	5,2827e-002

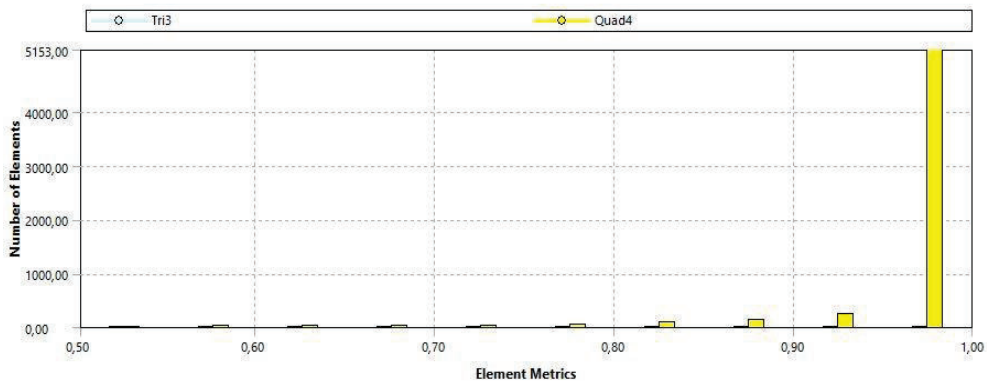


Figura 4.14. Calidad del mallado obtenido del dispositivo antiempotramiento de plancha corrugada tipo grada.
(Fuente: Los autores)

En el elemento en estudio se procedió a aplicar el criterio de falla de Von Mises para analizar la resistencia del dispositivo frente a las cargas aplicadas; en donde como

resultado se puede observar que el valor máximo obtenido es de 27762 MPa y un valor mínimo de 3084,7 MPa, los cuales su posición se puede observar en la figura 4.15; estos valores obtenidos se comparan con los valores del material acero estructural, el cual tiene una resistencia a la tracción de 250 MPa y una resistencia última a tracción de 460 MPa. Por lo expuesto se puede concluir que el material no resiste al esfuerzo al cual está sometido, sobre todo en las zonas indicadas en la figura.

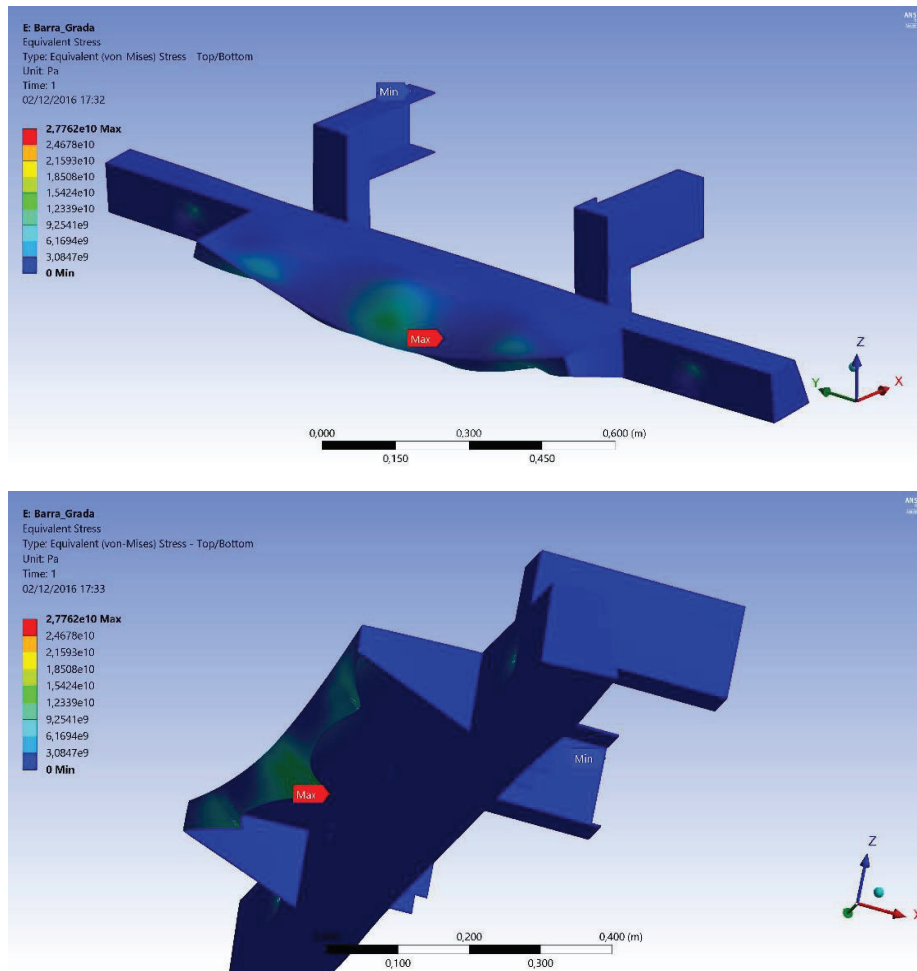


Figura 4.15. Esfuerzo de Von Mises obtenido del dispositivo antiempotramiento de plancha corrugada tipo grada.
(Fuente: Los autores)

La deformación obtenida del dispositivo frente a los esfuerzos aplicados, se puede observar en la figura 4.16, en donde el valor máximo obtenido es de 150,3 mm, el cual se considera como un valor no admisible para el elemento en estudio; para llega a esta conclusión se analizó conjuntamente con los valores obtenidos al aplicar el criterio de fallo elástico de Von Mises; con lo que se puede concluir que el dispositivo en análisis no soporta los

esfuerzos al cual está sometido ocasionando así una rotura del mismo en las partes indicadas en la figura.

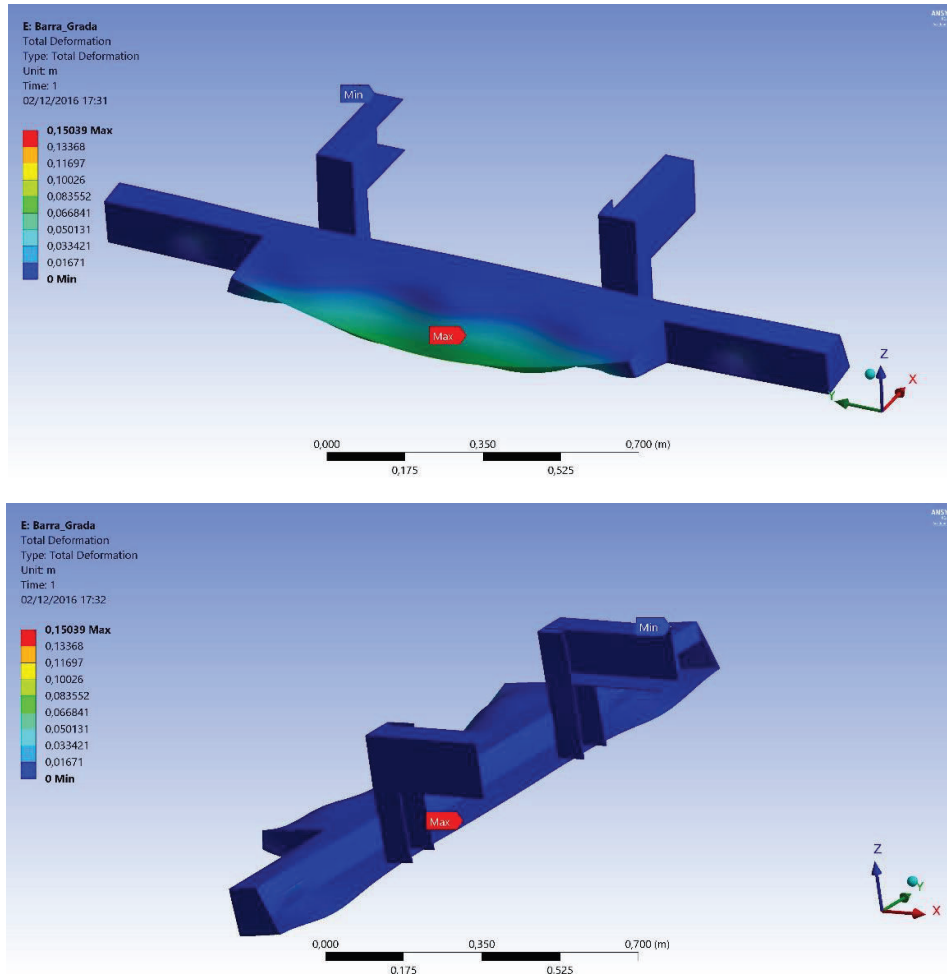


Figura 4.16. Deformación total obtenida del dispositivo antiempotramiento de plancha corrugada tipo grada.
(Fuente: Los autores)

El análisis del factor de seguridad con respecto al esfuerzo se indica en la figura 4.17, en donde se puede observar que el elemento posee valores de 0,009 a 1 en la gran mayoría del dispositivo; por lo expuesto se puede concluir que este diseño referente a su dimensionamiento no es el adecuado para soportar los esfuerzos a los cuales está sometido.

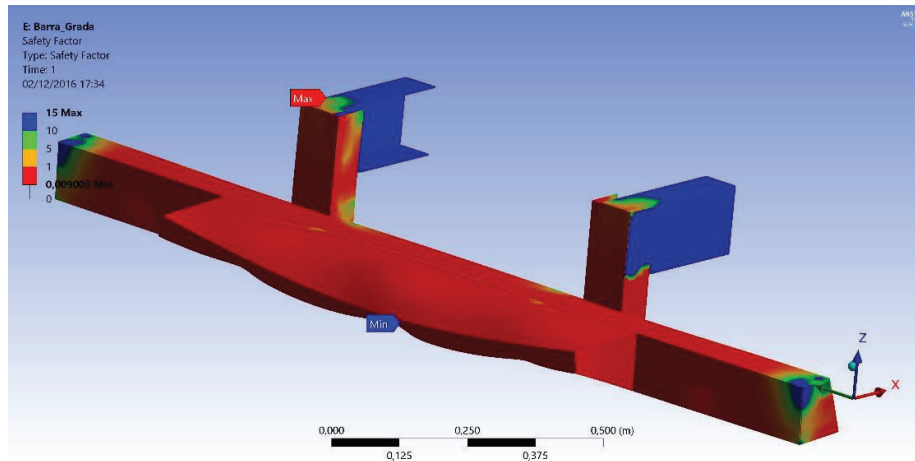


Figura 4.17. Factor de seguridad con respecto al esfuerzo obtenido del dispositivo antiempotramiento de plancha corrugada tipo grada.
(Fuente: Los autores)

4.2.3. Análisis de la propuesta de dispositivo antiempotramiento de un solo tubo

En este punto del estudio planteado se propone las medidas de un dispositivo antiempotramiento de un solo tubo, ver anexo 4, esto con la finalidad de verificar el planteamiento matemático realizado en el apartado 4.1.

La figura 4.18 se presenta el modelado del elemento propuesto utilizando elementos tipo Shell.

La calidad del mallado obtenido se observa en figura 4.19, en donde se obtuvo una calidad de la malla del 98,69 %, de esta manera se verifica la convergencia del análisis efectuado.

En primer lugar se procedió a analizar el elemento bajo el criterio de falla de Von Mises con la finalidad de analizar la resistencia del dispositivo frente a las cargas aplicadas; el resultado obtenido se muestra en la figura 4.20, en donde se puede observar el valor máximo obtenido de 1465,6 MPa y el valor mínimo de 162,85 MPa, los lugares en donde se encuentran los valores mencionados se observa en la figura; posteriormente los datos obtenidos se comparan con los del material acero estructural el cual tiene una resistencia a la tracción de 250 MPa y una resistencia última a tracción de 460 MPa.

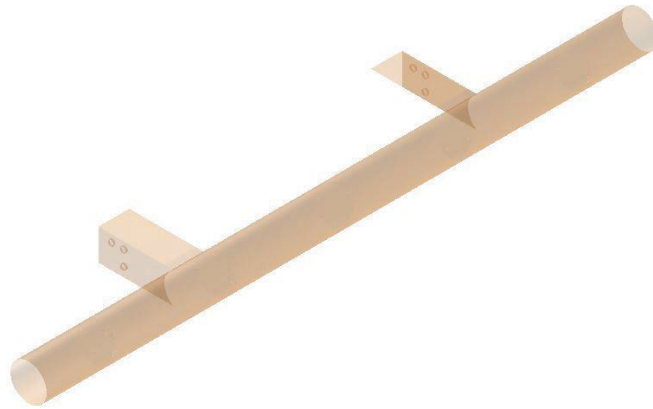
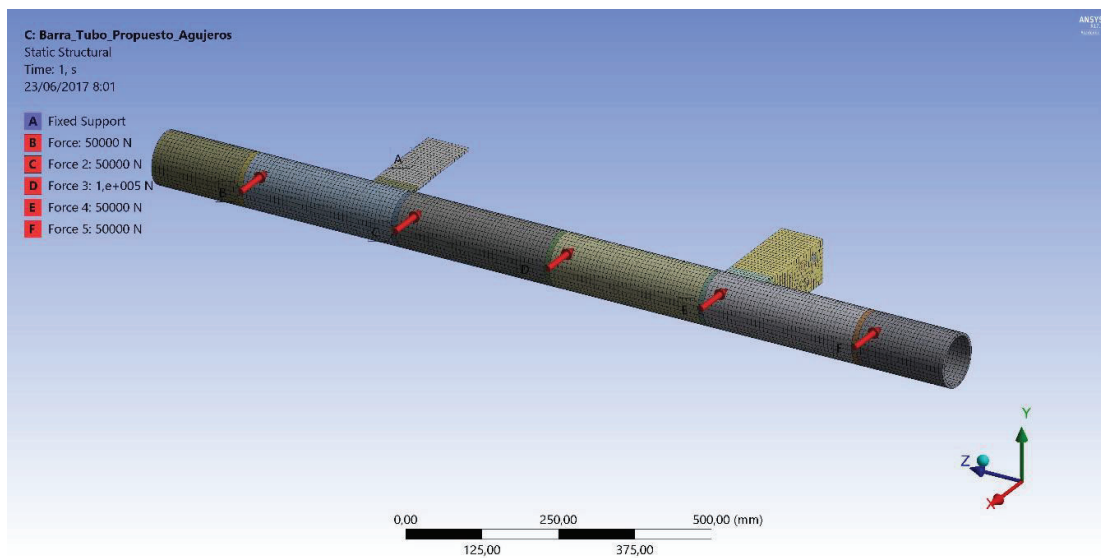


Figura 4.18. Modelado del dispositivo antiempotramiento propuesto de un solo tubo.
(Fuente: Los autores)

Luego del análisis correspondiente y considerando que la gran parte del elemento tiene un valor del esfuerzo de 162,85 MPa y que los valores máximos se encuentran en las uniones del dispositivo con respecto al chasis, esto debido a la forma geométrica del diseño, se puede concluir que el material resiste al esfuerzo al cual está sometido.



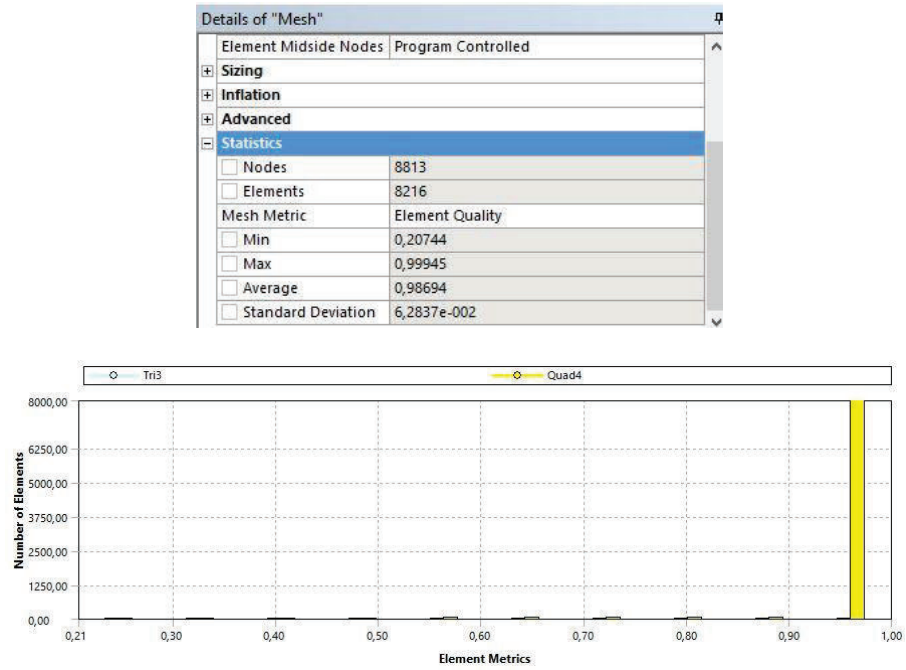


Figura 4.19. Calidad del mallado obtenido del dispositivo antiempotramiento propuesto de un solo tubo.
(Fuente: Los autores)

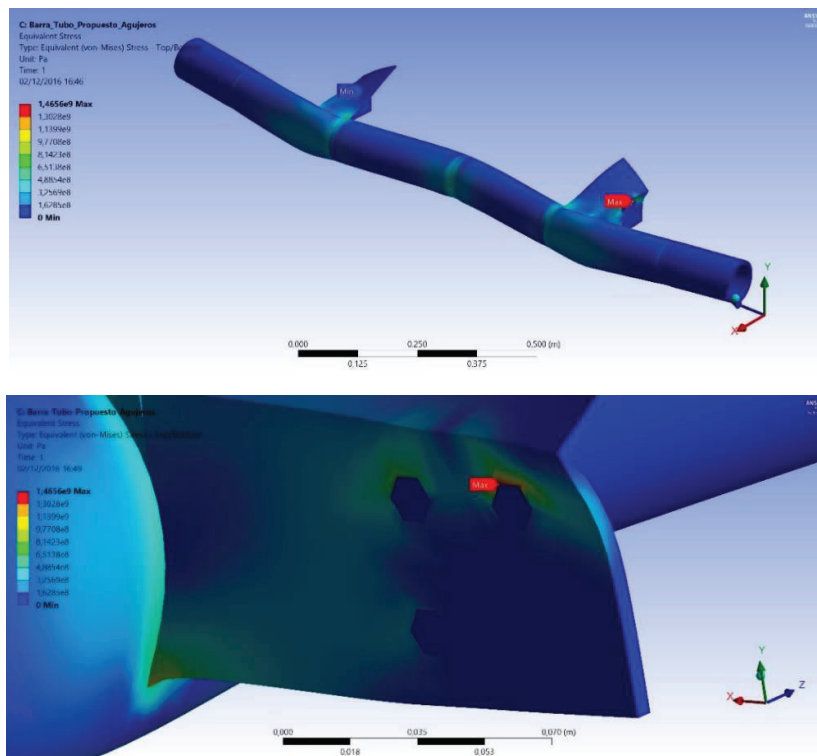


Figura 4.20. Esfuerzo de Von Mises obtenido del dispositivo antiempotramiento propuesto de un solo tubo
(Fuente: Los autores)

Con respecto a la deformación del dispositivo propuesto se obtuvo un valor máximo de 1,5 mm y un valor mínimo de 0,17 mm como se muestra en la figura 4.21, los cuales se consideran como valores admisibles dentro del análisis efectuado; concluyendo así que el dispositivo propuesto soporta los esfuerzos al cual está sometido, y por ende que el planteamiento matemático realizado se aproxima a lo obtenido al aplicar elementos finitos para la resolución del caso en estudio.

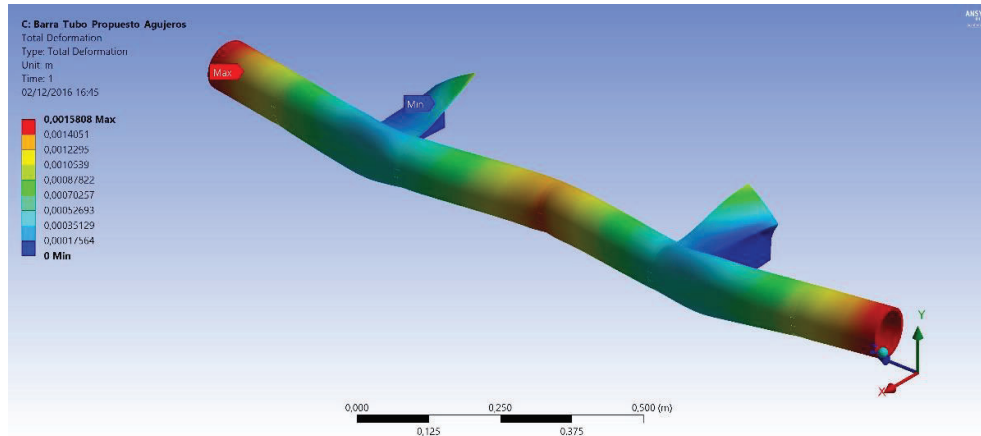


Figura 4.21. Deformación total obtenida del dispositivo antiempotramiento propuesto de un solo tubo.
(Fuente: Los autores)

El factor de seguridad con respecto al esfuerzo obtenido del elemento en análisis se muestra en la figura 4.22, en donde se verifica que el dispositivo posee valores de 1 a 5 en la mayoría del elemento; por lo expuesto se puede manifestar que las dimensiones, material y forma geométrica de la propuesta realizada está dentro del rango requerido y admisible para su funcionamiento y resistencia; esto utilizando los criterios del modelo matemático planteado.

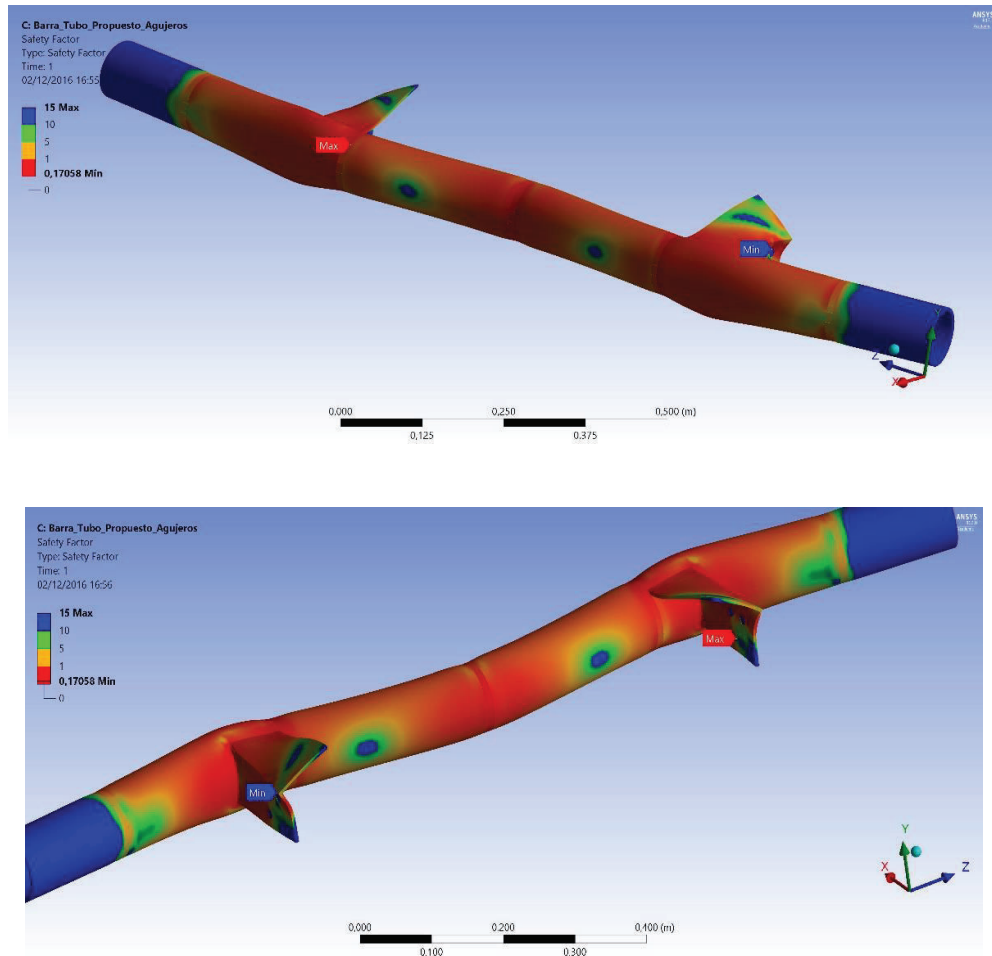


Figura 4.22. Factor de seguridad con respecto al esfuerzo obtenido del dispositivo antiempotramiento propuesto de un solo tubo.
(Fuente: Los autores)

4.3. Análisis de resultados

De los resultados obtenidos del estudio efectuado es importante indicar algunos aspectos relevantes, los cuales se mencionan a continuación.

El modelo matemático planteado y comprobado por medio del software ANSYS, dio como resultado que el dispositivo antiempotramiento de un solo tubo utilizado en la mayoría de los camiones de transporte de carga no resiste los esfuerzos a los cuales están sometidos, esto siguiendo la normativa aplicada en Estados Unidos (NHTSA, 2012) regulación FMVSS 223 y 224.

El análisis matemático realizado no considera algunos aspectos como son las uniones entre las partes del dispositivo y el anclaje al chasis, esto debido a la complejidad de estos elementos, razón por la cual se utilizó elementos finitos aplicando el software ANSYS, el cual nos da valores que se pueden considerar reales de los esfuerzos y deformaciones a cuales está sometido todos los componentes del dispositivo antiempotramiento durante una colisión a una velocidad de 50 km/h, según normativa aplicada.

El resultado obtenido por medio del análisis de elementos finitos ayudó a verificar la hipótesis planteada en este estudio; se pudo confirmar que las dimensiones de estos elementos no son las adecuadas, estas no permiten la atenuación del impacto generado en una colisión por alcance, a esto hay que sumar que las formas geométricas de estos elementos no son diseñadas adecuadamente tanto en la forma, tipo de sus uniones y en la selección del material.

Al aplicar el criterio de fallo elástico de Von Mises, el cual hace referencia a la máxima energía de distorsión, en los dos casos analizados tanto del dispositivo de un solo tubo y de plancha corrugada tipo grada se obtuvo valores que sobrepasan los admisibles del material, que en este caso es de acero estructural, y conjuntamente con las deformaciones obtenidas, las cuales son considerables, se concluye que los elementos estudiados no soportan los esfuerzos a los cuales están sometidos; además se pudo observar que las uniones y formas geométricas utilizadas no son las adecuadas para estos tipos de sistemas de seguridad pasiva.

4.4. Procedimiento técnico para el diseño de dispositivo antiempotramiento en plataforma de camiones

El diseño parte de la necesidad de contar con un sistema de seguridad vehicular, que evite el empotramiento de un vehículo de turismo en el momento de una colisión por alcance, evitando así las consecuencias fatales del accidente. El problema es que no se cuenta con análisis de los sistemas antiempotramiento utilizados en el medio, lo que provoca que al momento se utilicen algunos dispositivos sin que se haya probado su eficiencia ante las cargas de impacto, que a su vez dependen de varios factores físicos y humanos.

A fin de poder realizar este tipo de análisis es necesario una revisión de la normativa vigente no solo local sino además internacional, a fin de poder contar con criterios básicos que permitan por un lado el análisis de lo que se tiene al momento y por otro realizar una propuesta en base a lo trabajado en este estudio, es decir, en base al modelo matemático planteado que involucra la dinámica vehicular, la mecánica de materiales y el método de Campbell como un enfoque al problema de las cargas dinámicas involucradas. Ciertamente un análisis de este tipo de situación requiere una simulación para poder verificar los resultados obtenidos, ya que muchas veces el problema se vuelve demasiado complejo como para poder enfrentarlo de forma puramente analítica; por ello fue necesario utilizar un software CAE que permita observar el comportamiento del dispositivo bajo las cargas establecidas. Sin embargo, es posible que sea necesario un análisis más minucioso por lo que se podría pensar en otros tipos de análisis más avanzados que consideren la no linealidad inherente del problema y cuyo desarrollo está fuera del alcance de este trabajo.

Desde este punto de vista se plantea un procedimiento técnico enmarcado dentro de lo desarrollado en este trabajo, el cual se presenta a continuación.

4.4.1. Análisis del problema

Revisar la normativa vigente, en donde se especifica los parámetros y datos técnicos los cuales deben ser respetados tales como velocidades permitidas en las diferentes vías y distancias de seguridad entre vehículos. Para ello se debe utilizar el Reglamento de la ley de Transito Transporte Terrestre y Seguridad Vial.

4.4.2. Síntesis y análisis del sistema

a) Determinación de la velocidad de colisión

Establecer las condiciones bajo las cuales se reconstruirá el accidente; es decir, las condiciones que permitan determinar mediante un análisis dinámico la fuerza de impacto del vehículo de turismo contra la barra antiempotramiento del camión, usando la ecuación 4.11.

En este punto es necesario determinar varios parámetros como:

- Velocidades del turismo y del camión antes de la colisión.

- Condiciones de la calzada y neumáticos.
- Tiempos de reacción al frenado de los conductores del turismo y camión.
- Tiempos de distracción comunes al momento de conducir.

El escenario planteado dependerá también de un estudio de los factores indicados y el impacto de estos en nuestro medio; los cuales permitan caracterizar la conducción en el país y poder así definir con mejor criterio los parámetros antes mencionados.

b) Determinación de la carga de impacto

Definir la carga de impacto en base de la velocidad de colisión y el método de Campbell usando las ecuaciones 4.15 y 4.16 que permitirán obtener la fuerza por unidad de longitud o fuerza puntual respectivamente; la cual actuará sobre la barra antiempotramiento. En este paso es necesario considerar parámetros explícitos en la tabla 4.5 y que dependen de la geometría y tamaño del vehículo que se impacta sobre la barra. Se debe advertir que el método de Campbell esta validado solamente para velocidades del turismo entre 24 a 97 km/h.

Si se requiere verificar la pertinencia de un sistema antiempotramiento o proponer las dimensiones de un sistema, será necesario seguir los puntos siguientes.

c) Análisis de flexión elastoplástica de la barra antiempotramiento

Con las ecuaciones establecidas mediante un análisis de flexión elastoplástica, ecuación 4.31, se puede determinar la carga ultima que podría soportar una barra de sección determinada y luego compararla con la carga calculada en el paso tres y así poder observar si resiste o no a la solicitación. Si la barra no logra resistir a la carga necesariamente deberá ser desechada, sin embargo, utilizando las mismas ecuaciones se puede determinar las dimensiones de la barra que pueden cumplir con el requerimiento.

En este punto es necesario observar dos aspectos: el primero considera la posibilidad de introducir un factor de seguridad, como por ejemplo el coeficiente de seguridad admisible según Pugsley, en donde indica las incertidumbres más frecuentes declaradas por los diseñadores de estructuras metálicas tales como la calidad de los materiales, exactitud en al análisis de los esfuerzos involucrados y el control sobre las cargas aplicadas. Ver anexo 5.

El segundo aspecto considera la geometría de la sección y el efecto del factor de forma, ecuación 4.28. En el análisis elastoplástico, a fin de tener un mejor porcentaje de resistencia de la carga que puede soportar después de que el material supero la zona elástica, es mejor tener secciones en donde la mayor cantidad de material esté más cerca del centroide de la sección; es decir, se debe evitar secciones huecas y más bien proponer secciones macizas, siendo la mejor la sección circular maciza.

d) Análisis de cargas axiales en los elementos de unión de la barra y el chasis

Considerando a las uniones de la barra con el chasis como columnas en voladizo sometidas a cargas axiales, usando las ecuaciones 4.21 o 4.22, se debe determinar el esfuerzo permisible en las columnas y se compara con el esfuerzo que genera la carga de impacto, si esta no resiste se desecha y se procede a proponer las dimensiones que permitan soportar la carga, considerando un factor de seguridad propuesto en el paso anterior.

4.4.3. Simulación y optimización

Una vez planteado el proceso matemático se procede a comparar sus resultados, los cuales se pueden efectuar de manera física o por medio de simulaciones aplicando elementos finitos; es importante indicar que las pruebas físicas requieren recursos tecnológicos y económicos elevados, razón por la cual la simulación es una técnica viable y que ofrece resultados muy cercanos a los reales a costos muy bajos en comparación con las pruebas físicas de los elementos. Para la simulación del dispositivo antiempotramiento se utilizó un software tipo CAE (Computer Aided Engineering) que en este caso es el ANSYS.

En la primera etapa del proceso de simulación, considerado como el pre proceso, se procedió a analizar los dispositivos para su correspondiente modelado, en esta etapa se simplifico los modelos para evitar la no convergencia del sistema y además se seleccionó elementos tipo Shell para el modelo de los mismos; con estos criterios se pudo obtener una elevada convergencia en los modelos planteados.

En la etapa de post proceso dentro de la simulación se evalúa los resultados obtenidos, para ello se valoró las variables de deformación, criterio de Von Mises y el factor de seguridad, con estos resultados obtenidos y garantizando la convergencia de los sistemas

planteados se concluyó la validez y eficacia de estos dispositivos de seguridad pasiva utilizados en camiones cuando están sometidos a cargas dinámicas como las que se producen en una colisión por alcance.

4.4.4. Evaluación

La etapa final debe abarcar una evaluación del sistema y compararlo con otros que realicen la misma función, si es que existen, y poder comparar así algunos factores como son el desempeño, competitividad con productos sustitutos, facilidad de fabricación, costos, la confiabilidad que ofrecen y otros factores secundarios como por ejemplo el impacto visual de estos dispositivos. Sin embargo, es importante indicar que en esta etapa se recomienda realizarse pruebas en laboratorios para asegurar su desempeño, todo esto enmarcado en el cumplimiento de las normativas vigentes. El procedimiento técnico se puede resumir en la figura 4.23.

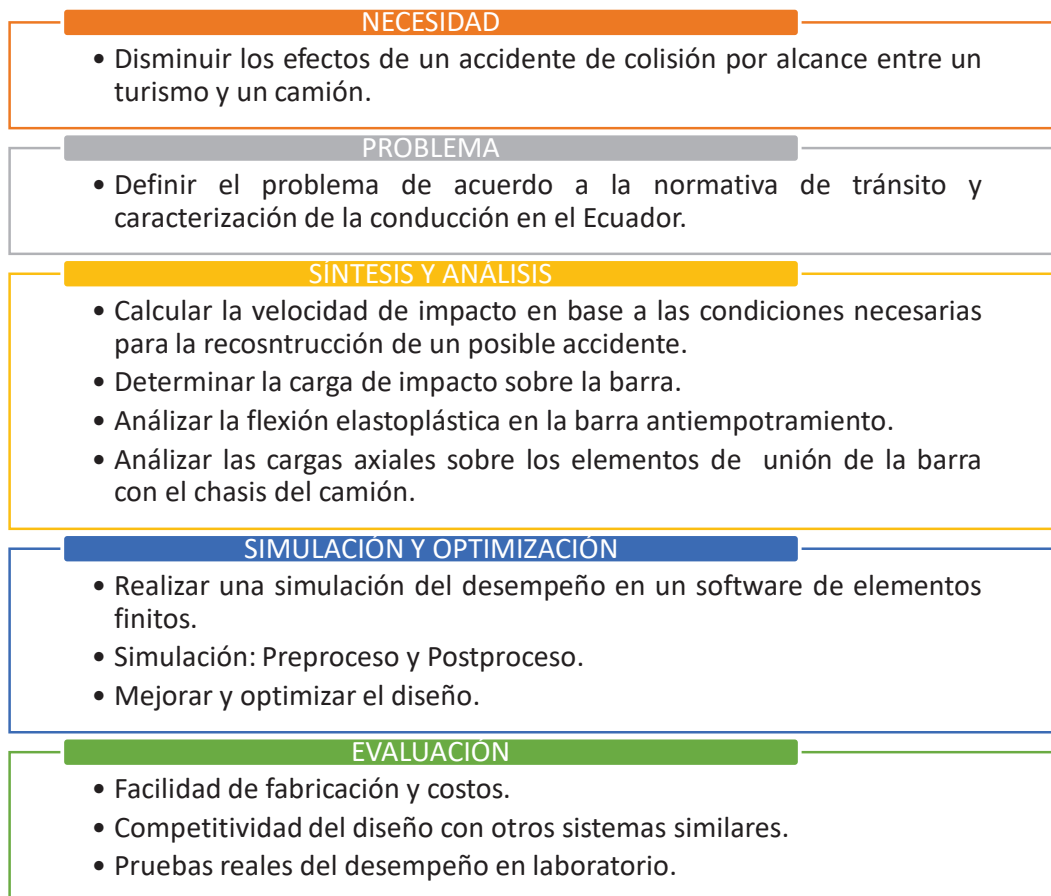


Figura 4.23. Esquema del procedimiento técnico para el diseño de un dispositivo antiempotramiento.
(Fuente: Los autores)

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

A nivel internacional existe varias normas que hace referencia al dispositivo antiempotramiento aplicado a plataformas de camiones como se indicó en el capítulo dos de este documento; la normativa vigente en nuestro país regulada por el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN posee el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034:2009 Elementos de Seguridad en Vehículos Automotores, en donde en su cláusula 4.2.4 Barras antiempotramiento posteriores para vehículos pesados, indica de manera muy general la aplicación de este elemento en vehículos automotores y no da un procedimiento con datos técnicos para la aplicación de este elemento de seguridad. Es importante indicar que no se pudo evidenciar durante el desarrollo de este tema un seguimiento por parte de las autoridades pertinentes sobre el cumplimiento de la normativa indicada.

Se calculó una fuerza de impacto sobre la barra de 256.51 kN/m y una carga axial sobre los elementos de unión de la barra con el chasis de 96 kN. El sistema analizado que se presenta en el anexo 1 y que se está utilizando actualmente apenas soporta una carga de 11.85 kN/m y tiene una carga permisible de 65.7 kN, es decir, la barra utilizada apenas soporta un 4.62% de la carga de flexión y los elementos de unión soportan un 62.7 % de la carga axial. Además, los fabricantes de este elemento de seguridad pasiva en el país no se rigen en ninguna norma como se pudo constatar en el desarrollo del tema planteado, razones por lo cual el sistema utilizado actualmente y cuya geometría se muestra en el anexo 1 se debe reemplazar ya que fallaría ante las cargas aplicadas.

Con las dimensiones del sistema propuesto en el anexo 2, se pueden resistir las cargas aplicadas según el estudio elastoplástico realizado; además al realizar la simulación con el software CAE se pudo observar que puede resistir las cargas ya que se tiene un factor de seguridad de 1 a 5 en todo el sistema analizado. Cabe indicar que en los cálculos analíticos con la teoría elastoplástica no se utilizó un coeficiente de seguridad.

Con respecto a las pruebas físicas que se debe realizar a estos elementos se debe mencionar que no son viables en nuestro medio debido a su elevado costo para su ejecución; razón por lo cual la importancia de esta propuesta que se sustenta en un modelo matemático y utilizando herramientas de simulación que permite obtener valores cercanos al comportamiento real del elemento y a un costo accesible.

Para el planteamiento matemático es importante indicar que son muchos los parámetros que están presentes en un accidente de tráfico por colisión por alcance, por lo expuesto existe una complejidad muy elevada en generar un modelo que abarque todas las variables involucradas en este tipo de análisis; aspectos como la definición de la distancia de seguridad, la cual requiere de un estudio más detallado sobre la caracterización de la conducción en el Ecuador, tiempos de reacción y valores de los coeficientes de rozamiento entre las ruedas y calzada, son datos que no se posee ya que no existe un estudio aplicado a nuestro medio.

Es importante indicar que el planteamiento propuesto no considera aspectos como la forma geométrica y tipo de uniones para el anclaje del dispositivo antiempotramiento al chasis de los camiones; esto debido a la complejidad de los elementos y la no uniformidad en su construcción, es decir, no existe un diseño normalizado de estos elementos.

Como conclusión de la formulación matemática se puede decir que los elementos en análisis no soportan las cargas y esfuerzos a los cuales están sometidos, además el planteamiento realizado da como resultado que estos elementos para que puedan cumplir con su finalidad deben tener un momento de inercia elevado, esto se obtiene al utilizar barra maciza como elemento antiempotramiento.

Es importante indicar que para la validación de los resultados obtenidos del planteamiento indicado se utilizó elementos finitos con la utilización del software ANSYS el cual dio como resultado valores similares a los obtenidos matemáticamente, teniendo en cuenta que el software realiza un cálculo de las distribuciones de los esfuerzos del problema en análisis ya que considera todas las variables antes mencionadas para el cálculo, razón por la cual existe la variación entre los datos obtenidos, validando así el planteamiento efectuado.

El proceso de simulación realizado tiene como finalidad la verificación de la formulación matemática planteada; dentro de la etapa de pre proceso se obtuvo algunos inconvenientes debido a factores fundamentales como es que no existen criterios técnicos en los diseños

de los dispositivos usados actualmente, ellas están pensadas para otros fines diferentes a los que se necesita de un dispositivo que brinde seguridad ante colisiones por alcance y evitar un empotramiento del vehículo impactado.

El análisis de una barra antiempotramiento es muy complejo debido a sus formas geométricas y sus sistemas de sujeción al chasis de los vehículos, por lo expuesto es posible que no se pueda realizar una formulación matemática sencilla que abarque todas estas variables ya que la estructura debe considerarse como un todo y no solo como la suma de sus partes.

La aplicación del método de elementos finitos con la aplicación de un software es una alternativa viable para estos tipos de análisis que tienen una complejidad alta y que requieren pruebas físicas de alto costo, además que permite considerar algunas variables que en una formulación matemática no se puede abarcar por su dificultad en su análisis.

Dentro del proceso de simulación es importante identificar las etapas de pre proceso y post proceso, las cuales garantizan la convergencia del método en análisis. La etapa correspondiente al pre proceso es de gran importancia ya que en esta se debe simplificar los modelos para así no tener un gasto computacional elevado; un aspecto que hay que tener en cuenta es que existe una diversidad de los diseños utilizados en nuestro medio, aunque geoméricamente hablando sean similares la variación en medidas, sujeción y materiales son aspectos que influyen en esta fase, ya que los elementos no son normalizados ni regulados en su fabricación y utilización.

En la simulación efectuada se obtuvo valores de deformación, esfuerzos y factor de seguridad los mismos que luego del análisis pertinente ayuda a concluir la resistencia de estos elemento frente a los esfuerzos a los cuales está sometido en una colisión por alcance; todos los dispositivos de antiempotramiento analizados no soportan dichos esfuerzos, por lo tanto estos elementos no cumplen con la normativa referente a la barra antiempotramiento, es decir no cumple con la resistencia mínima requerida.

Como conclusión general del estudio efectuado se puede decir que los resultados obtenidos concuerdan con lo esperado; además es importante indicar que estos tipos de análisis requieren pruebas físicas que por su alto costo no pueden ser aplicadas en nuestro medio, por este motivo la importancia de esta propuesta efectuada la cual ayudará a generar análisis efectivos a un costo razonable de los dispositivos antiempotramiento de

seguridad pasiva, y así ayudar que estos elementos cumplan con su función establecida la cual ayudará a disminuir los índices de mortalidad y efectos de colisiones vehiculares por alcance.

5.2. Recomendaciones

Como recomendaciones obtenidas del trabajo efectuado se puede indicar dentro de las más importantes es referente a la normativa vigente en nuestro medio, ya que la misma no da pautas sobre aspectos de diseño, materiales y condiciones mínimas que deben tener estos dispositivos tanto para su construcción y validación de su resistencia, aunque la normativa ecuatoriana se fundamenta en normas internacionales se recomienda realizar estudios que contemplen las condiciones del medio.

Además de lo expuesto se recomienda que se implemente un sistema de control y monitoreo de la construcción de estos sistemas de seguridad pasiva, para ello se debe implementar un proceso de capacitación a las fábricas o talleres dedicados a la manufactura y montaje de estos elementos, en donde se indique los aspectos técnicos que deben cumplir y su forma de validación para así garantizar el funcionamiento de estos sistemas de antiempotramiento.

Otro aspecto que se debe considerar es la generación de una campaña de concientización de los efectos de:

- No respetar las velocidades permitidas
- No respetar las distancias de seguridad entre vehículos
- realizar actividades de distracción al conducir.
- Utilizar neumáticos y sistemas de freno en malas condiciones.

Se recomienda además que a las dimensiones del sistema propuesto en el anexo 2, se las multiplique por un factor de seguridad que se obtiene al considerar una buena calidad del material, la baja controlabilidad de la carga aplicada y una exactitud regular del análisis de esfuerzos que según Pugsley (ver anexo 5) es de 2.65. No obstante, esto puede provocar dimensiones demasiado grandes del sistema por lo que otra buena opción sería cambiar de una sección hueca a una sección maciza que incremente tanto el momento de inercia

como el factor de forma y de esta forma permite tener una barra que soporte una mayor carga

Las recomendaciones efectuadas ayudarán a mejorar las condiciones de seguridad vehicular, disminuyendo así los efectos mortales que se producen en una colisión por alcance.

5.3. Trabajos a futuro

Se ha dejado claro que uno de los insumos para caracterizar el verdadero problema de este tipo de accidentes de colisión por alcance es un estudio acerca de la conducción en el Ecuador y los factores que ocasionan los accidentes de tránsito. Sobre todo, un estudio de coeficientes de rozamiento entre ruedas y calzada en diferentes condiciones meteorológicas y además un estudio de la eficiencia de frenado de los sistemas. Además, este estudio debe ser complementado por una definición de las principales actividades que ocasionan distracción en los conductores y los tiempos de reacción tardíos que provocan.

Es evidente que este trabajo abarco el análisis de un sistema de barra antiempotramiento que se utiliza en nuestro medio, sin embargo, más allá de una propuesta de un procedimiento técnico para el diseño de estos sistemas, se debe realizar un estudio sobre el diseño de estas estructuras en donde se aplique y valide el proceso antes mencionado.

BIBLIOGRAFÍA

- (UNECE), U. N. (10 de 01 de 2017). UNECE. Obtenido de <http://www.unece.org/>
- ADAC. (2007). ¿Protección Insuficiente? Tráfico y seguridad vial, 42-43.
- Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador. (02 de 2017). Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador. Obtenido de <http://www.ant.gob.ec/>
- Alfonso, C. B. (2011). La protección trasera frente al empotramiento . Zaragoza: Escuela Universitaria Ingeniería Técnica Industrial Zaragoza.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (11 de 01 de 2017). Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Obtenido de <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=176176&idVersion=2002-12-14>, s.f.
- Bordegé, A., & González, D. (s.f.). La protección trasera frente al empotramiento.
- Buil, I. L. (2016). Homologación de Carrocerías de Camión. Applus - IDIADA.
- CAEsoft. (12 de 08 de 2016). CAEsoft. Obtenido de <http://www.caesoft.es>
- Colomina Francés, F., Colomer Romero, V., Eixerés Tomás, B., & A., S. M. (2002). Análisis de las Posibilidades de Modelado de Uniones Estructurales de Bastidores de Vehículos. VIII Congreso Nacional de Propiedades Mecánicas de Sólidos, Gandia 2002.
- DENATRAN. (10 de 12 de 2016). Ministério das Cidades DENATRAN Departamento Nacional de Transito. Obtenido de http://www.denatran.gov.br/publicacoes/show_public.asp?cod=18, s.f.
- Directiva N° 002-2006-MTC/15. (s.f.). Directiva N°- 002-2006-MTC/15: Clasificación Vehicular y Estandarización de Características Registrables Vehiculares. Lima, Perú.
- Economic Commission for Europe, U. (5 al 9 de 5 de 2014). World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations, ECE/TRANS/WP.29/78/Rev.3. Consolidated Resolution on the Construction of Vehicles. Geneva, Europe: Inland Transport Committee.
- Economic Commission for Europe, U. (5 al 9 de 5 de 2014). World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations, Regulation No. 58. Working Party on General Safety Provisions. Geneva, Europe: Inland Transport Committee.

- Francois, D. (2005). Choques frontales contra postes y columnas Aplicación del Modelo de Wood.
- García, A. O. (s.f.). Estimación de la energía absorbida en la deformación.
- Gere, J. M. (2009). Mecánica de materiales. Cengage Learning, México.
- Gutierrez, B. D. (2017). Norma Técnica (NT-01-2008). En B. D. Gutierrez, Norma Técnica (NT-01-2008) (pág. i). Cabimas: Instituto Universitario Politécnico "Santiago Mariño".
- Hidalgo, F. (2004). Accidentes de Tráfico "Reconstrucción".
- INEN. (2015). Perfiles abiertos de acero conformados en frío negros o galvanizados para uso estructural. Requisitos e inspección. En S. E. Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1623 cuarta revisión. (pág. 31). Quito - Ecuador.
- Ingemecánica. (02 de 2017). Ingemecánica. Obtenido de ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn69.html
- Instituto de investigación en Aragón, E. (4 de Enero de 2015). Centro Zaragoza. Obtenido de <http://www.escueladeltrabajo.net/bastcamion.pdf>
- MAPFRE, F. (19 de Diciembre de 2016). Circula Seguro. Obtenido de Circula Seguro: <http://www.circulaseguro.com/que-es-el-dispositivo-antiempotramiento/>
- Ministério das Cidades Conselho Nacional de Trânsi. (2015). Código de Trânsito brasileiro e Legislação complementar em vigor. Brasil: Departamento Nacional de Trânsito.
- NHTSA. (2012). Analysis of Rear Underride in Fatal Truck Crashes.
- Parera, A. (2000). Sietemas de seguridad y confort en el vehículo automóvil. Marcombo.
- Pérez, D. D. (Octubre de 2009). Simulación de un choque frontal de un vehículo automóvil contra diferentes tipos de barrera. Simulación de un choque frontal de un vehículo automóvil contra diferentes tipos de barrera. Madrid, España: Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior.
- Picabea Zubía, A., & J.O. (2010). Mantenimiento mecánico preventivo del vehículo. Madrid: Arán Ediciones.
- Popov, E. (2000). Mecánica de sólidos; Segunda Edición, 2000. Mecánica de sólidos; Segunda Edición, 2000. Pearson Educación.

Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034:2009. (2009). Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034:2009. Elementos Mínimos de Seguridad en Vehículo Automotores. Ecuador.

(junio de 2012). Reglamento y ley de transporte terrestre.

Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 2656:201. (2012). Clasificación Vehicular. Ecuador: INEN.

UNICAMP. (11 de 1 de 2016). Impact Project. Obtenido de <http://www.fem.unicamp.br/~impact/english.htm>

Anexo 1

Anexo 2

Anexo 3

Anexo 4

Anexo 5