



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Proyecto de Investigación previo  
a la obtención del Título de  
Ingeniero Mecánico.

**Proyecto de Investigación**

**“COMPORTAMIENTO AL IMPACTO DE BARRERAS SOSTENIBLES PARA  
SEGURIDAD VEHICULAR PROVENIENTES DE LLANTAS USADAS CON  
RESPECTO A UN SISTEMA CONVENCIONAL DE BARRERAS”**

**Autores:**

Cevallos Castro Katherine Judith

**Director de proyecto de investigación:**

Ing. Omar Arturo Cevallos Muñoz

**Quevedo – Los Ríos – Ecuador**

**2019 - 2020**



## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS**

Yo, **Katherine Judith Cevallos Castro**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

**Katherine Judith Cevallos Castro**

**C.C. # 1206681056**



## **CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

El suscrito, **Ing. Omar Arturo Cevallos Muñoz**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante, **Katherine Judith Cevallos Castro**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “**Comportamiento al impacto de barreras sostenibles para seguridad vehicular provenientes de llantas usadas con respecto a un sistema convencional de barreras**”, previo a la obtención del título de, **Ingeniero Mecánico**, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

---

**Ing. Omar Arturo Cevallos Muñoz**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**



## **CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA O PLAGIO ACADÉMICO**

Por medio de la presente me permito certificar, que el Sr. **KATHERINE JUDITH CEVALLOS CASTRO** con número de cédula **1206681056**, estudiante de la carrera **Ingeniería Mecánica**, una vez revisada la tesis de grado titulada **“Comportamiento al impacto de barreras sostenibles para seguridad vehicular provenientes de llantas usadas con respecto a un sistema convencional de barreras”**, tengo a bien informar que se realizó la revisión respectiva por medio del sistema Urkund, con un porcentaje favorable del 0%, cumpliendo con el reglamento de Graduación de Estudiantes de Pregrado y la Normativa establecida por la Universidad.



### **Urkund Analysis Result**

<b>Analysed Document:</b>	TESIS CEVALLOS - BARRERAS SOSTENIBLES.pdf (D60761067)
<b>Submitted:</b>	11/12/2019 3:12:00
<b>Submitted By:</b>	katherine.cevallos2013@uteq.edu.ec
<b>Significance:</b>	0 %

Sources included in the report:

Instances where selected sources appear:

0

---

**Ing. Omar Arturo Cevallos Muñoz**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**Título:**

“COMPORTAMIENTO AL IMPACTO DE BARRERAS SOSTENIBLES PARA  
SEGURIDAD VEHICULAR PROVENIENTES DE LLANTAS USADAS CON  
RESPECTO A UN SISTEMA CONVENCIONAL DE BARRERAS”

Presentado a la Comisión Académica como requisito previo a la obtención del título de  
Ingeniero Mecánico.

Aprobado por:

---

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE TESIS**

Ing. Patricio Alcocer Quinteros

---

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TESIS**

Ing. Gabriel Arellano Ortiz

---

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TESIS**

Ing. Rodger Salazar Loor

**QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR**

**2019 - 2020**

## **AGRADECIMIENTO**

Dios, tu amor y tu bondad no tienen fin, me permites sonreír ante todos mis logros que son resultado de tu ayuda, cuando caigo y me pones a prueba, aprendo de mis errores, me doy cuenta que los pones en frente mío para que mejore como ser humano, y crezca de diversas maneras.

La universidad me dió la bienvenida al mundo como tal, las oportunidades que me ha brindado son incomparables, y antes de todo esto ni pensaba que fuera posible que algún día siquiera me topara con una de ellas.

Agradezco a mis padres, hermanas, familiares y amigos que son parte de mi diario vivir, con su motivación, apoyo económico y anhelo por dejarme el mejor legado que es la educación e integrarme como un profesional.

Gracias por estar presentes no solo en esta etapa tan importante de mi vida, sino en todo momento ofreciéndome lo mejor y buscar lo mejor para mi persona.

**Katherine Judith Cevallos Castro**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación se lo dedico a Dios, a mis padres y mi familia quienes fueron ellos que me apoyaron y guiaron en el transcurso de mi carrera a alcanzar un propósito y una meta que veía inalcanzable.

Por sus consejos que me ayudaron a orientar en el camino correcto, por animarme cuando estaba confundida, por su cariño y amistad lo que me ayudó a ser una mejor persona y poder cumplir mi objetivo.

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, carrera de Ingeniería Mecánica, amigos y cada uno de los docentes que aportaron con sus conocimientos y experiencias académicas u laborales, contribuyendo a nuestra formación durante el tiempo de estudio.

**Katherine Judith Cevallos Castro**

## RESUMEN EJECUTIVO

El siguiente proyecto tiene como propósito analizar el comportamiento al impacto del sistema de barreras sostenibles para seguridad vehicular provenientes de llantas usadas mediante el método de elementos finitos (MEF), utilizando un software computacional aplicado en Ingeniería Mecánica. Este tema se plantea por la gran cantidad de accidentes vehiculares que existe debido al exceso de velocidad contra el sistema convencional de protección en las vías que no cumplen adecuadamente la función de disminuir el impacto cuando los vehículos se desvían de la carretera, teniendo como resultado pérdidas materiales y humanas. De esta forma, se procura facilitar el conocimiento del comportamiento de estos elementos de seguridad pasiva que permiten amortiguar el impacto y conjuntamente con este sistema redirigir el vehículo a la calzada, a su vez reducir la contaminación ambiental aprovechando como materia prima el neumático. Para llevar a cabo la realización del tema propuesto, se integran las herramientas de modelamiento tridimensional (3D) asistido por ordenador, como el programa SolidWorks, con las que se diseñarán los elementos del sistema de barreras sostenibles, se prosigue con la respectiva simulación entre el objeto y el sistema de barreras por medio del estudio de impacto, el cual permite, con el análisis de resultados observar el comportamiento de los efectos que se ocasionaran en los componentes del mencionado sistema. Además, con la propuesta se pretende atraer la atención de los ciudadanos, a reusar los desechos de neumáticos de una manera adecuada generando beneficios para la sociedad y a conducir con responsabilidad, a la velocidad establecida. El sistema contará con separadores que fueron diseñados bajo la NORMA INEN – 2473: 2013 mismos que fueron acoplados a los barriles rotativos, mediante el software de diseño y aplicación mecánica ANSYS ACADEMIC R3, se realizaron las fases del bosquejo, generación del mallado cuyas condiciones de velocidad de impacto fueron de 75 Km/h, 90 Km/h y 110 Km/h, tiempo establecido de impacto de 0.2 sg, una curva de 2500 m, ángulo de impacto 20° y restricciones de movimiento, dado estos valores se obtuvo una deformación total del barril de 0.30 m, la restricción del movimiento (poste) sobrepasa el límite de rotura siendo 757 MPa ocasionando la rotura permanente del elemento y 0.16 m de deformación plástica, dicho estudio tiene costo final el valor de \$987,98 siendo esta la mejor alternativa para la elaboración de barreras sostenible.

### **Palabras claves:**

Impacto, barreras, sostenible, seguridad, contaminación, neumático.

## EXECUTIVE SUMMARY

The following project aims to analyze the impact behavior of the system of sustainable barriers for vehicular safety from used tires using the finite element method (MEF), using computer software applied in Mechanical Engineering. This issue is raised by the large number of vehicle accidents that exist due to speeding against the conventional system of protection on roads that do not adequately fulfill the function of reducing the impact when vehicles deviate from the road, resulting in losses Material and human. In this way, it is sought to facilitate the knowledge of the behavior of these passive safety elements that allow cushioning the impact and together with this system redirect the vehicle to the road, in turn reduce environmental pollution by taking advantage of the tire as raw material. To carry out the realization of the proposed theme, the three-dimensional (3D) computer-assisted modeling tools are integrated, such as the SolidWorks program, with which the elements of the system of sustainable barriers will be designed, the respective simulation between the object and the system of barriers through the study of impact, which allows, with the analysis of results to observe the behavior of the effects that will be caused in the components of the mentioned system. In addition, the proposal aims to attract the attention of citizens, to reuse tire waste in an appropriate way generating benefits for society and to drive responsibly, at the established speed. The system will have separators that were designed under the INEN - 2473: 2013 standard that were coupled to the rotating barrels, through the design and mechanical application software ANSYS ACADEMIC R3, the phases of the sketching were performed, generating the meshing whose conditions of impact speed was 75 km / h, 90 km / h and 110 km / h, established impact time of 0.2 sg, a curve of 2500 m, angle of impact 20 ° and movement restrictions, given these values a total deformation was obtained of the 0.30 m barrel, the restriction of movement (post) exceeds the breaking limit being 757 MPa causing the permanent breakage of the element and 0.16 m of plastic deformation, said study has a final cost of \$ 987.98 being this the best alternative for the development of sustainable barriers.

### **Keywords:**

Impact, barriers, sustainable, safety, pollution, tire.

# ÍNDICE

1.	CAPITULO I CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	2
1.1.	Problema de investigación .....	3
1.1.1.	Planteamiento del problema.....	3
1.1.2.	Formulación del problema .....	4
1.1.3.	Sistematización del problema .....	4
1.2.	Objetivos .....	5
1.2.1.	Objetivo general.....	5
1.2.2.	Objetivos específicos .....	5
1.3.	Justificación .....	6
2.	CAPÍTULO II FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN .	7
2.1.	MARCO CONCEPTUAL .....	8
2.1.1.	Barreras de Seguridad .....	8
2.1.2.	Caucho Natural .....	8
2.1.3.	Caucho Sintético .....	8
2.1.4.	Impacto .....	8
2.2.	MARCO REFERENCIAL.....	9
2.2.1.	Barreras de Seguridad vial en carreteras.....	9
2.2.2.	Componentes de las barreras de seguridad .....	10
2.2.3.	Tipos de Barreras de Seguridad .....	10
2.2.3.1.	Barreras de seguridad con cable de acero (Guardarraíles).....	11
2.2.3.2.	Barrera de seguridad de madera.....	11
2.2.3.3.	Barrera de seguridad de hormigón (New Jersey).....	12
2.2.3.4.	Barreras de seguridad de viga tubular.....	13
2.2.4.	Normativa de fabricación nacional de barreras de seguridad .....	13
2.2.4.1.	Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2473:2013 .....	13
2.2.5.	Clasificación de barreras .....	14
2.2.5.1.	Por su recubrimiento .....	14
2.2.5.2.	Por el espesor del acero base .....	14
2.2.5.3.	Por su configuración de montaje.....	14
2.2.6.	Requisitos de construcción .....	16
2.2.6.1.	Requisitos mecánicos.....	16
2.2.7.	Características del material .....	16
2.2.7.1.	Metal Base .....	16
2.2.7.2.	Pernos y tuercas .....	17

2.2.7.3.	Arandelas y placas de respaldo .....	18
2.2.7.4.	Elementos retrorreflectivos .....	18
2.2.7.5.	Postes .....	18
2.2.7.6.	Placas de anclaje y separadores .....	18
2.2.7.7.	Separadores para barandal de doble onda. ....	19
2.2.8.	Recubrimiento o acabado superficial.....	19
2.2.8.1.	Barandales del tipo I y II.....	19
2.2.8.2.	Barandales del tipo III.....	20
2.2.8.3.	Pernos y tuercas .....	20
2.2.9.	Dimensiones.....	20
2.2.10.	Problema ecológico de los neumáticos en fin de uso.....	20
2.2.11.	Composición de las llantas.....	22
2.2.12.	Reutilización de neumáticos usados .....	22
2.2.12.1.	Regeneración.....	22
2.2.12.2.	Desvulcanización .....	23
2.2.12.3.	Pirolisis .....	23
2.2.12.4.	Termólisis .....	23
2.2.12.5.	Incineración.....	23
2.2.12.6.	Triturado .....	23
2.2.13.	Propiedades mecánicas, físicas y químicas del caucho granulado.....	25
3.	<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>26</b>
3.1.	Localización .....	27
3.1.1.	Características principales del Cantón Quevedo.....	27
3.2.	Tipos de investigación .....	28
3.2.1.	Investigación aplicada.....	28
3.2.2.	Investigación bibliográfica.....	28
3.3.	Métodos de la investigación.....	28
3.3.1.	Método analítico .....	28
3.3.2.	Método científico .....	28
3.4.	Fuentes de recopilación de la información .....	29
3.5.	Diseño de la investigación .....	29
3.6.	Instrumentos de investigación.....	29
3.7.	Recursos humanos y materiales de investigación.....	29
3.7.1.	Recurso humano.....	29
3.7.2.	Recurso material .....	30

3.7.2.1.	Materiales de hardware .....	30
3.7.2.2.	Materiales de software .....	30
4.	CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	31
4.1.	Diseño del sistema de barreras de protección vehicular .....	32
4.1.1.	Elaboración del diseño paramétrico del sistema de barreras sostenibles.....	32
4.1.2.	Bosquejo de la Geometría .....	32
4.1.2.1.	Características de los elementos de la barrera .....	33
4.2.	Descripción de la simulación de condiciones aplicadas .....	35
4.2.1.	Asignación de material .....	35
4.2.2.	Generación del mallado .....	35
4.2.3.	Condiciones Iniciales .....	36
4.2.3.1.	Velocidad de Impacto .....	36
4.2.3.2.	Límite de Velocidad.....	37
4.2.3.3.	Ángulo de Impacto.....	37
4.2.4.	Análisis de la simulación .....	38
4.2.4.1.	Datos para la simulación .....	38
4.2.5.	Impacto a velocidad de 75 Km/h - 20° - Radio de curvatura 2500 mm .....	39
4.2.5.1.	Condiciones Iniciales .....	39
4.2.5.2.	Restricción de movimiento .....	39
4.2.5.3.	Tiempo de impacto .....	40
4.2.5.4.	Tiempo estimado para la simulación .....	40
4.2.5.5.	Deformación total .....	40
4.2.5.6.	Esfuerzo equivalente / Von Mises .....	41
4.2.5.7.	Deformación plástica .....	42
4.2.6.	Impacto a velocidad de 90 Km/h - 20° - Radio de curvatura 2500 mm .....	42
4.2.6.1.	Deformación total .....	42
4.2.6.2.	Esfuerzo equivalente .....	43
4.2.6.3.	Deformación plástica .....	43
4.2.7.	Impacto a velocidad de 110 Km/h - 20° - Radio de curvatura 2500 mm. ....	44
4.2.7.1.	Deformación total .....	44
4.2.7.2.	Esfuerzo equivalente .....	44
4.2.7.3.	Deformación plástica .....	45
4.3.	Análisis del presupuesto para la fabricación del sistema de barreras a partir de neumáticos reciclados.....	46
4.3.1.	Análisis económico .....	46

4.3.2.	Costos de los materiales .....	46
4.3.3.	Costos de elementos varios .....	46
4.3.4.	Costo de mano de obra.....	47
4.3.5.	Costo de ingeniería y diseño .....	47
4.3.6.	Presupuesto final .....	48
4.4.	Selección de alternativa para el óptimo diseño de la barrera de protección .....	49
4.4.1.	Alternativa 1 (Barrera de Seguridad con cables de acero).....	49
4.4.2.	Alternativa 2 (Barreras de Seguridad de Hormigón) .....	50
4.4.3.	Alternativa 3 (Barreras de Seguridad Sostenibles) .....	51
4.4.4.	Alternativa 4 (Barreras de Seguridad Metálicas).....	52
4.4.5.	Matriz de residuos ponderados .....	53
4.4.6.	Criterios de Ponderación.....	53
4.4.7.	Evaluación de los criterios ponderados.....	54
4.4.7.1.	Ponderación – Alternativa con respecto a su forma.....	56
4.4.7.2.	Ponderación – Alternativa con respecto al índice de severidad.....	56
4.4.7.3.	Ponderación – Alternativa con respecto al mantenimiento.....	57
4.4.7.4.	Ponderación – Alternativa con respecto al costo .....	57
4.4.7.5.	Ponderación – Alternativa con respecto a la adaptabilidad .....	58
4.4.7.6.	Ponderación – Alternativa con respecto a la vida útil.....	58
4.4.7.7.	Ponderación – Alternativa con respecto a la Resistencia al impacto.....	59
4.4.7.8.	Ponderación – Alternativa con respecto a la Integración de elementos.....	59
4.4.7.9.	Ponderación – Alternativa con respecto a la calidad .....	60
4.4.7.10.	Ponderación – Alternativa con respecto a la fiabilidad.....	60
4.4.7.11.	Tabla de conclusiones .....	61
5.	CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	62
5.1.	Conclusiones .....	63
5.2.	Recomendaciones .....	65
6.	CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA .....	66
6.1.	BIBLIOGRAFÍA .....	67
7.	CAPÍTULO VII ANEXOS .....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Componentes de la barrera de seguridad .....	10
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de barreras .....	14
<b>Tabla 3.</b> Espesor del acero base .....	14
<b>Tabla 4.</b> Configuración de montaje .....	15
<b>Tabla 5.</b> Requisitos mecánicos .....	16
<b>Tabla 6.</b> Elementos retrorreflectivos.....	18
<b>Tabla 7.</b> Recubrimiento o acabado superficial .....	19
<b>Tabla 8.</b> Dimensiones .....	20
<b>Tabla 9.</b> Composición de llantas.....	22
<b>Tabla 10.</b> Productos reutilizables de neumáticos de desecho .....	24
<b>Tabla 11.</b> Propiedades del caucho granulado proveniente del neumático reciclado .....	25
<b>Tabla 12.</b> Recursos materiales (hardware).....	30
<b>Tabla 13.</b> Recursos materiales (software).....	30
<b>Tabla 14.</b> Especificaciones Generales .....	34
<b>Tabla 15.</b> Límite de seguridad ANT .....	37
<b>Tabla 16.</b> Ángulo de Impacto según la velocidad .....	38
<b>Tabla 17.</b> Descripción de los costos de materiales .....	46
<b>Tabla 18.</b> Costos de elementos .....	47
<b>Tabla 19.</b> Costo de mano de obra .....	47
<b>Tabla 20.</b> Costos de ingeniería y diseño .....	48
<b>Tabla 21.</b> Costo final del sistema de barreras sostenible .....	48
<b>Tabla 22</b> Valores de criterios .....	54
<b>Tabla 23.</b> Matriz de ponderación y sus criterios.....	55
<b>Tabla 24</b> Matriz normalizada.....	55
<b>Tabla 25.</b> Evaluación del criterio forma .....	56
<b>Tabla 26.</b> Evaluación del criterio índice de severidad.....	56
<b>Tabla 27.</b> Evaluación del criterio Mantenimiento .....	57
<b>Tabla 28.</b> Evaluación del criterio Costo .....	57
<b>Tabla 29.</b> Evaluación del criterio Adaptabilidad .....	58
<b>Tabla 30.</b> Evaluación del criterio Vida útil.....	58
<b>Tabla 31.</b> Evaluación del criterio Resistencia al impacto.....	59
<b>Tabla 32.</b> Evaluación del criterio Integración de elementos.....	59
<b>Tabla 33.</b> Evaluación del criterio Calidad .....	60
<b>Tabla 34.</b> Evaluación del criterio Fiabilidad.....	60
<b>Tabla 35.</b> Valores finales del diseño.....	61

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1.</b> Impacto contra barreras de seguridad .....	9
<b>Ilustración 2.</b> Redireccionamiento del vehículo.....	10
<b>Ilustración 3.</b> Barreras de seguridad - cables de acero .....	11
<b>Ilustración 4.</b> Barrera de seguridad de madera.....	12
<b>Ilustración 5.</b> Barreras de seguridad de hormigón .....	12
<b>Ilustración 6.</b> Barrera de Seguridad Tubular .....	13
<b>Ilustración 7.</b> Pernos y tuercas. ....	17
<b>Ilustración 8.</b> Placas de anclaje y separadores .....	19
<b>Ilustración 9.</b> Elaboración de llantas con caucho sintético .....	21
<b>Ilustración 10.</b> Vertederos de llantas.....	21
<b>Ilustración 11.</b> Trituración mecánica .....	24
<b>Ilustración 12.</b> Ubicación Geográfica del Cantón Quevedo .....	27
<b>Ilustración 13.</b> Bosquejo de la barrera .....	33
<b>Ilustración 14.</b> Baranda de separación .....	33
<b>Ilustración 15.</b> Barril Giratorio .....	34
<b>Ilustración 16.</b> Ensamble General de elementos .....	34
<b>Ilustración 17.</b> Propiedades de Acero A36 – SolidWorks. ....	35
<b>Ilustración 18.</b> Generación de la malla .....	36
<b>Ilustración 19.</b> Condición de velocidad a 75km/h.....	39
<b>Ilustración 20.</b> Restricción de la barrera .....	39
<b>Ilustración 21.</b> Parámetro de análisis .....	40
<b>Ilustración 22.</b> Deformación total del material .....	41
<b>Ilustración 23.</b> Esfuerzo Von Mises en los postes .....	41
<b>Ilustración 24.</b> Deformación Plástica .....	42
<b>Ilustración 25.</b> Deformación total del barril.....	42
<b>Ilustración 26</b> Esfuerzo equivalente a 90 km/h.....	43
<b>Ilustración 27</b> Deformación plástica del material .....	43
<b>Ilustración 28</b> Deformación total a 110 km/h .....	44
<b>Ilustración 29.</b> Esfuerzo equivalente a 110km/h.....	44
<b>Ilustración 30</b> Deformación plástica a 110Km/h .....	45
<b>Ilustración 31.</b> Barrera de seguridad con cable de acero.....	49
<b>Ilustración 32.</b> Barrera de seguridad de hormigón.....	50
<b>Ilustración 33.</b> Barrera de Seguridad con barriles.....	51
<b>Ilustración 34.</b> Barrera de Seguridad Metálica .....	52

## CÓDIGO DUBLÍN

Titulo:	Comportamiento al impacto de barreras sostenibles para seguridad vehicular provenientes de llantas usadas con respecto a un sistema convencional de barreras.			
Autores	Cevallos Castro Katherine Judith			
Palabras clave:	Impacto	Barreras	Sostenible	Seguridad
Fecha de publicación:				
Editorial:	Quevedo, UTEQ, 2019.			
Resumen:	<p><b>Resumen.</b> - El siguiente proyecto tiene como propósito analizar el comportamiento al impacto del sistema de barreras sostenibles para seguridad vehicular provenientes de llantas usadas mediante el método de elementos finitos (MEF), utilizando un software computacional aplicado en Ingeniería Mecánica. Este tema se plantea por la gran cantidad de accidentes vehiculares que existe debido al exceso de velocidad contra el sistema convencional de protección en las vías que no cumplen adecuadamente la función de disminuir el impacto cuando los vehículos se desvían de la carretera, teniendo como resultado pérdidas materiales y humanas.</p> <p><b>Abstract.</b> - The following project aims to analyze the impact behavior of the system of sustainable barriers for vehicular safety from used tires using the finite element method (MEF), using computer software applied in Mechanical Engineering. This issue is raised by the large number of vehicle accidents that exist due to speeding against the conventional system of protection on roads that do not adequately fulfill the function of reducing the impact when vehicles deviate from the road, resulting in losses Material and human.</p>			
Descripción:				
URL:				

# INTRODUCCIÓN

En la actualidad encontramos una gran cantidad de neumáticos en sus diversas dimensiones, esto se debe a la gran demanda vehicular que se presenta hoy en día en nuestra sociedad, para ello se plantea el diseño de un sistema de protección vehicular, el cual utiliza caucho reciclado de neumáticos (sintético) formando así un dispositivo adicional de forma cilíndrica que trabaja en conjunto con vallas transversales.

Los neumáticos son materiales con un tiempo de degradación aproximado de 500 años que genera un impacto ambiental. Al ser un material que posee gran capacidad para disipar la energía de impacto y por su gran volumen presente en el país, se recomienda reutilizarlo, de tal forma que brinde un beneficio para la sociedad.

Se conoce que existe una gran cantidad de accidentes vehiculares debido al exceso de velocidad y que el mecanismo de protección en las vías no cumple adecuadamente la función de amortiguar el impacto cuando los vehículos pierden pista, generando así no solo pérdidas materiales sino también humanas. Con el diseño y análisis de las propiedades mecánicas del mencionado sistema se pretende demostrar que este reduce aún más la fuerza de impacto entre el vehículo y la barrera de protección, y se aprovecha la materia prima (polvillo de neumático) consiguiendo una reducción significativa de contaminación ambiental de la barrera.

Para la obtención de la barrera de cilindros rotativos de protección vehicular, objeto de esta investigación, se hará una previa recolección de materia prima (polvillo de neumático), posteriormente se someterá a transformaciones y tratamientos previos los cuales permitirán obtener el producto final de acuerdo a las especificaciones deseadas, una vez obtenido el producto esperado se realizará ensayos de impacto, los mismos que serán ejecutados en diferentes disposiciones de las barreras de protección, por lo que este sistema se convierte en una nueva tecnología de seguridad vial en el Ecuador.

**1. CAPITULO I**  
**CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Problema de investigación**

### **1.1.1. Planteamiento del problema**

El sistema de protección vehicular mediante barreras de protección es escaso e inseguro en el país, ya que no cumplen las normativas de seguridad correspondiente y no se aplica un plan de mantenimiento regular y ajustado, por lo tanto, ocasionan pérdidas materiales y humanas. A su vez, los neumáticos desechados están provocando un gran impacto ambiental puesto que el neumático tiene un gran tiempo de degradación y al ser eliminados mediante deposición a vertederos se convierten en alojamiento de algunos factores que atacan al hombre siendo estos principalmente insectos, roedores, entre otros.

Por lo tanto, para cubrir este déficit que encontramos en el diseño de barreras convencionales se plantea el diseño de las barreras de protección con barriles rotativos de caucho reciclado, el cual además de presentar una reducción en los costos, contribuye a la reducción de la afectación ambiental por su incorrecta eliminación, comprobándose de esta manera su capacidad de mejora al nuevo fin propuesto.

### **Diagnóstico**

En la actualidad, en la ciudad de Quevedo las vías de colisión cuentan con un sistema de protección vehicular escaso e ineficiente, provocando que el impacto entre el vehículo y la barrera genere daños significativos (deterioro o pérdida de funcionalidad del vehículo y factor humano), además la acumulación de llantas desechadas incrementa la contaminación y desarrollan nuevos factores que atentan contra la salud humana.

### **Pronóstico**

En caso de no aplicarse la propuesta planteada provocará la acumulación excesiva de neumáticos en fin de uso, contribuyendo al incremento del impacto ambiental y a su vez el impacto generado por el choque, aumentará los daños en los vehículos, pérdidas humanas y el deterioro de la estructura de las barreras.

### **1.1.2. Formulación del problema**

¿De qué manera una propuesta de barreras de seguridad vehicular procedentes de llantas usadas es una mejor alternativa frente a las barreras convencionales?

### **1.1.3. Sistematización del problema**

¿Cómo incide el actual diseño, disposición y mantenimiento de barreras de seguridad vehicular en las carreteras del país?

¿Cuál sería el diseño apropiado para el sistema de barreras de protección vehicular propuesto?

¿Cómo evaluar las variables del sistema de barreras en consideración?

¿Cómo establecer la sostenibilidad en el ámbito económico el sistema de barreras a partir de neumáticos en fin de uso?

¿Qué criterios técnico-económicos permite establecer la diferencia entre las barreras tradicionales frente a la barrera propuesta?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Evaluar el comportamiento al impacto entre un sistema de barreras sostenibles para seguridad vehicular con respecto a las barreras convencionales.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Diseñar un sistema de barreras de protección vehicular a partir de neumáticos reciclados.
- Simular las condiciones de impacto en el sistema de barreras propuesto.
- Analizar el presupuesto de fabricación del sistema de barreras a partir de neumáticos reciclados.
- Determinar la mejor alternativa para la barrera de protección entre las barreras tradicionales y la propuesta de barrera sostenible.

### **1.3. Justificación**

En el Ecuador, los accidentes vehiculares, tales como: choques entre vehículos, estrellamiento con barreras instaladas en el borde exterior de las carreteras, son ocasionados por el uso de vehículos motorizados con desperfectos, conductores en inapropiadas condiciones de conducción, las calzadas mojadas por efecto de las lluvias, carreteras sin barreras de protección o inclusive sin peralte, conllevan a la pérdida de vidas humanas y son noticias diarias de la crónica roja.

El análisis del actual sistema de barreras de protección convencional de las carreteras del país, permite proponer una nueva alternativa de diseño que contraste las características de sostenibilidad (técnica, económica, social y ambiental), la cual, contribuye a reducir los niveles de hacinamientos en vertederos de los neumáticos desechados y aprovechar sus propiedades mecánicas de absorber energía durante el impacto generado en el momento de colisión vehicular con la barrera de protección.

**2. CAPÍTULO II**  
**FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN**

## **2.1. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.1.1. Barreras de Seguridad**

Son barreras de seguridad los sistemas de contención de vehículos instalados en los márgenes de las carreteras cuyo propósito es proporcionar un cierto nivel de contención de un vehículo fuera de control. Dependiendo de la necesidad las barreras de seguridad pueden ser construidas de diferentes materiales tales como metálicas, hormigón y madera, siempre que cumpla con lo específico en el pliego de prescripciones [1].

### **2.1.2. Caucho Natural**

El caucho natural es un producto que se obtiene del látex el mismo que es producido por algunas especies vegetales como defensa ante heridas en la corteza de su tronco, la más importante de estas plantas es el árbol Hevea. La plancha de caucho natural, debido a sus propiedades mecánicas, es generalmente apreciada en entornos sometidos a un desgaste por rozamiento, expuestos de forma constante a impactos y al contacto directo con elementos abrasivos [2].

### **2.1.3. Caucho Sintético**

El caucho sintético es un producto de elaboración artificial, a partir de refinados petrolíferos, cuyas propiedades son semejantes a las del caucho, es decir que es propenso a sufrir una elevada deformación elástica que otros materiales y aun así recuperar su estado original [3]. Su elaboración consta a partir de la polimerización de variedad de monómeros tales como el isopreno y el isobutileno. Mediante el añadido de adicciones controladas, sus propiedades físicas, mecánicas y químicas son modificadas [3].

### **2.1.4. Impacto**

Es aquel instante en que un objeto colisiona de forma violenta y fuerte contra otro objeto. El impacto altera las características de los elementos, aunque solo puede ser en una porción de mencionado objeto dependiendo de la zona en la que se generó el daño. Esto se debe a que el golpe generado por el choque siempre es muy fuerte y a su vez dañino [4].

## 2.2. MARCO REFERENCIAL

### 2.2.1. Barreras de Seguridad vial en carreteras

Las barreras de seguridad en carreteras, son utilizadas como protección en ingresos a puentes, curvas peligrosas, barrancos y zonas de alta velocidad ya que son considerados lugares con alto riesgo de accidentes. La ubicación correcta de las barandas de seguridad es en los márgenes o en los separadores centrales de la carretera y en los bordes de los puentes. Las barreras de seguridad pueden ser flexibles, semirrígidas y rígidas [5].

Estas barreras están conformas por perfiles y postes corrugados, este tipo de sistema de seguridad son utilizados para:

- Dominar y conservar el vehículo en las vías
- Correcto desarrollo del trafico
- Redireccionar el vehículo en caso de que pierda el control
- Disminuir la gravedad del impacto de los acompañantes del vehículo
- Limitar lesiones a peatones que circulan por la carretera

**Ilustración 1.** Impacto contra barreras de seguridad



**FUENTE: GUÍA PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO DE SEGURIDAD VIAL  
AUTOR: GERMAN VALVERDE GONZÁLEZ [2015]**

## Ilustración 2. Redireccionamiento del vehículo



FUENTE: GUÍA PARA LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS  
AUTOR: GERMAN VALVERDE GONZÁLEZ [2015]

### 2.2.2. Componentes de las barreras de seguridad

Tabla 1. Componentes de la barrera de seguridad

Partes	Materiales	Función
Baranda	Perfiles W – Acero galvanizado o inoxidable y zinc	Amortiguar el impacto
Postes	Perfil C – Acero galvanizado o inoxidable y zinc	absorber la mayor parte de energía y sostener la baranda
Terminales	Acero galvanizado o inoxidable y zinc	Eludir el impacto del vehículo con los bordes
Separadores	Perfil C – Acero galvanizado o inoxidable y zinc.	Conservar la división de las llantas de los postes
Pernos, tuercas de sujeción	Acero galvanizado o inoxidable y zinc.	Sostener la baranda a los postes

FUENTES: PROGRAMA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE (PITRA)  
AUTOR: CHAVERRI-JIMÉNEZ, JENNY [2018]

### 2.2.3. Tipos de Barreras de Seguridad

Las condiciones ambientales, la velocidad máxima, la cantidad y el tipo de vehículos que circulan en las vías, son los principales factores para la fabricación de las barreras de seguridad, por lo general son de material metálico, como también de hormigón, cables de acero y madera [6].

### 2.2.3.1. Barreras de seguridad con cable de acero (Guardarraíles)

Esta barrera de seguridad se dispone de tres o cuatro cables de acero galvanizado, tensionados su altura con los cables depende de del sistema adaptados, los que están soportados por postes bases de acero galvanizado distanciados de acuerdo con necesidad con la distancia entre postes de 3,20m [7].

Este tipo de barreras de seguridad en las vías son menor costo, fácil de ensamblar e instalar, su principal función como defensa para reducir el impacto de los accidentes en los vehículos y así salvar la vida del conductor [7].

**Ilustración 3.** Barreras de seguridad - cables de acero

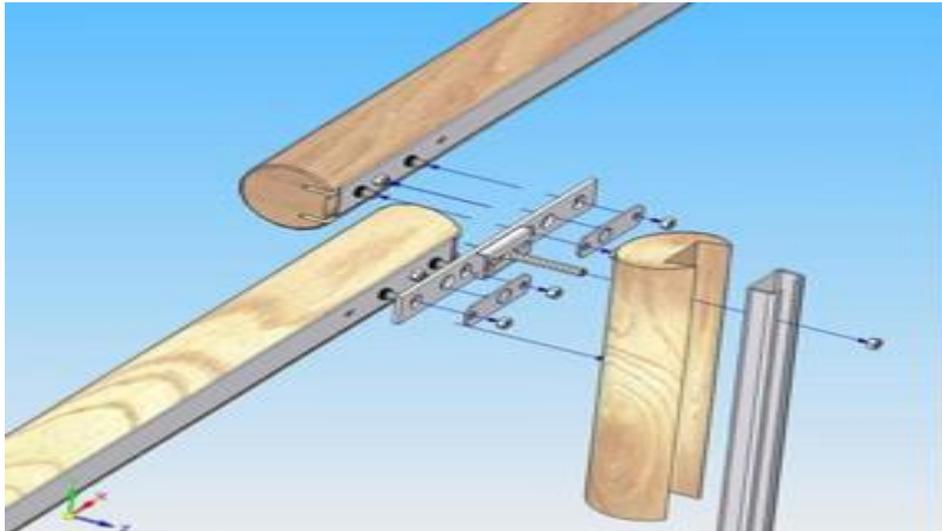


FUENTE: BRIKAL INFRAESTRUCTURA  
AUTOR: BRIKAL S.R.L. [2019]

### 2.2.3.2. Barrera de seguridad de madera

La utilización de madera como infraestructura vial es una de las elecciones de tecnología innovadora para Latinoamérica. La madera es un material noble, es un símbolo de estética natural, mejorando el aspecto visual de belleza y salud. El montaje de esos tipos de barreras es sencillo y ensamble rápido [8]. La **Ilustración 4**, presenta el sistema de unión de la barrera de seguridad de madera.

#### **Ilustración 4. Barrera de seguridad de madera**



**FUENTE: GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL  
AUTOR: SOLMINIHAC, HERNÁN [2018]**

#### **2.2.3.3. Barrera de seguridad de hormigón (New Jersey)**

La barrera New Jersey es la barrera de concreto de forma cónica que se utilizan en varias carreteras, cuya función es evitar que vehículos intercepten y así cortar provisionalmente el tráfico. Como principales ventajas de esta barrera es la resistencia al impacto y no requiere de mayor espacio. Su fabricación requiere un molde de acero, por lo que es más económico de adquirir estos elementos de hormigón [9].

#### **Ilustración 5. Barreras de seguridad de hormigón**



**FUENTE: SISTEMAS PARA VIALIDAD  
AUTOR: BOTTAI [2019]**

#### **2.2.3.4. Barreras de seguridad de viga tubular**

Este tipo de barreras de seguridad son de mayor uso en los EE.UU. debido a su puntuación en seguridad vial. La viga de acero que proviene de los puestos de la barandilla tiene forma de caja, hecho por una bobina de acero fabricado. Su fabricación depende de un elevado costo ya que el acero es un metal de alto precio por lo que son difícil de reemplazar, sin embargo tiene una extensa vida útil y cuya estructura no suelen sufrir averías graves [3].

**Ilustración 6.** Barrera de Seguridad Tubular



**FUENTE:** PUENTE SUR – QUEVEDO  
**AUTOR:** EL TELÉGRAFO [2019]

### **2.2.4. Normativa de fabricación nacional de barreras de seguridad**

#### **2.2.4.1. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2473:2013**

La norma INEN 2473:2013; PERFILES CORRUGADOS Y POSTES DE ACERO PARA GUARDAVÍAS REQUISITOS, publicada el 15 de mayo del 2013 en el Registro Oficial No. 954, normativa que reemplaza a la NTE 2473:2008, siendo esta la norma vigente que establece los requisitos que deben cumplir los perfiles corrugados, separadores, terminales, transiciones, elementos de fijación y postes de acero que tienen como función la protección lateral en vías terrestres [10].

La norma ecuatoriana tiene como referencia en dos normalizaciones extranjeras como lo son:

- Norma Chilena NCH 2032/2:1999. Sistemas de contención vial: Barrera metálica de seguridad – Especificaciones. Instituto Nacional de Normalización. Santiago de Chile 19993

- AAHTON M 180:2004 Standard Specification for corrugated sheet Steel beams for highway guardrail. The American Association of State Highway and transportation officials. Washington, EEUU:2004

## 2.2.5. Clasificación de barreras

### 2.2.5.1. Por su recubrimiento

Según el recubrimiento, la norma INEN 2473:2013 define 3 tipos con determinados valores mínimos en una sola medida  $g/m^2$ . [10]

**Tabla 2.** Clasificación de barreras

<b>Tipo</b>	<b>Recubrimiento</b>
<b>I</b>	Recubrimiento de zinc; $550 g/m^2$ como mínimo
<b>II</b>	Recubrimiento de zinc; $1100 g/m^2$ como mínimo
<b>III</b>	Barandales de acero resistente a la corrosión

**FUENTE: PERFILES CORRUGADOS Y POSTES DE ACERO PARA GUARDAVÍAS. REQUISITOS**  
**AUTOR: NTE INEN 2473:2013**

### 2.2.5.2. Por el espesor del acero base

De acuerdo con el espesor la norma INEN 2473:2013 define 2 clases, las cuales se mencionan en la **Tabla 3**.

**Tabla 3.** Espesor del acero base

<b>Clase</b>	<b>Espesor del acero base</b>
<b>A</b>	Espesor nominal del metal base 2,67 mm.
<b>B</b>	Espesor nominal del metal base 3,43 mm.

**FUENTE: PERFILES CORRUGADOS Y POSTES DE ACERO PARA GUARDAVÍAS. REQUISITOS**  
**AUTOR: NTE INEN 2473:2013**

### 2.2.5.3. Por su configuración de montaje

La norma INEN 2473:2013 define cinco formas de configuración de montaje de barandas de seguridad, teniendo en cuenta que las dimensiones en cada esquema de la **Tabla 4** están expresadas en milímetros [10].

**Tabla 4.** Configuración de montaje

Configuración	Esquema
1. Barandal simple sin separador	
2. Barandal simple con separador	
3. Barandal doble sin separador	
4. Barandal doble con separador	
5. Barandal triple con separador	

FUENTE: PERFILES CORRUGADOS Y POSTES DE ACERO PARA GUARDAVÍAS. REQUISITOS  
 AUTOR: NTE INEN 2473:2013

## 2.2.6. Requisitos de construcción

Se emplean ciertos requisitos para la construcción de las barandas de seguridad, tales como:

- Requisitos mecánicos
- Características del material
- Recubrimiento o acabado superficial
- Dimensiones
- Tolerancias

### 2.2.6.1. Requisitos mecánicos

Los barandales, elementos de transición, postes, separadores y terminales deben cumplir como mínimo los requisitos que se muestran en la **Tabla 5**, cuya elongación mínima está en función de una probeta de 50 mm de longitud calibrada [10].

**Tabla 5.** Requisitos mecánicos

<b>Elemento</b>	<b>Límite de fluencia mínima (MPA)</b>	<b>Resistencia a la tracción mínima (MPA)</b>	<b>Elongación mínima (%)</b>
Barandales	345	483	12
Elementos de transición	345	483	12
Postes	250	483	-
Separadores	250	483	-
Terminales	227	483	-

Fuente: PERFILES CORRUGADOS Y POSTES DE ACERO PARA GUARDAVÍAS. REQUISITOS  
Autor: NTE INEN 2473 [2013]

## 2.2.7. Características del material

### 2.2.7.1. Metal Base

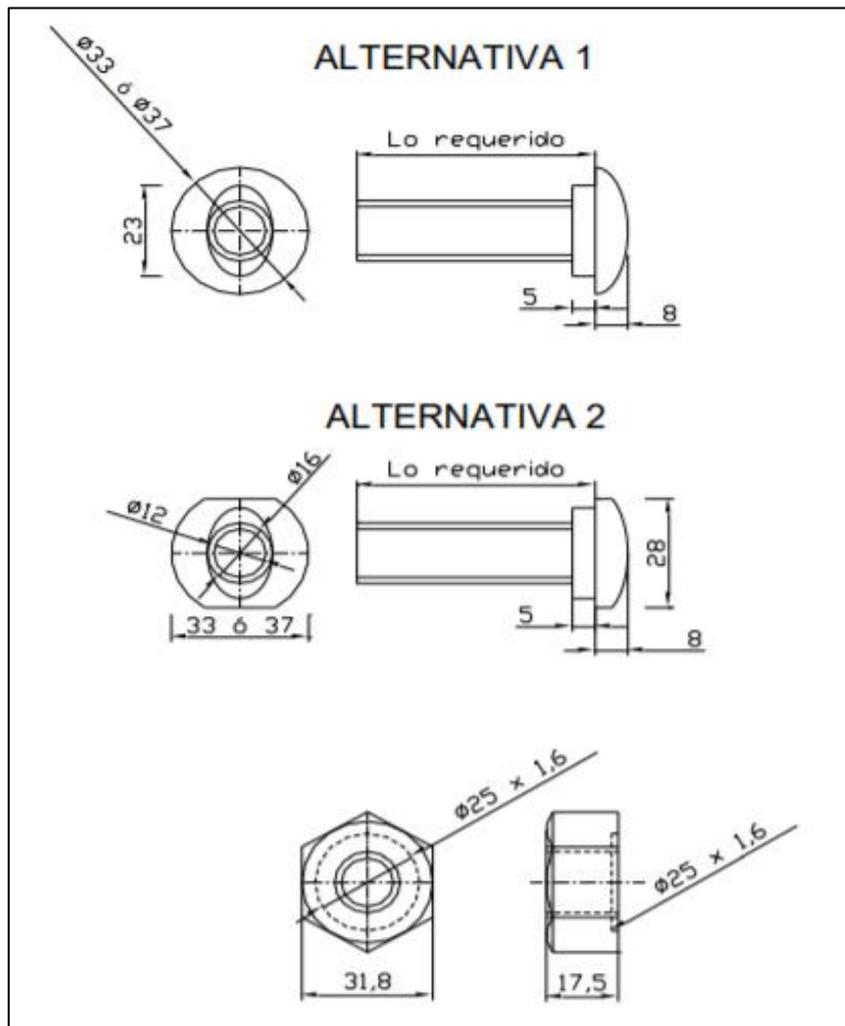
Los barandales y terminales deben estructurarse con placas de acero al carbono y por lo tanto cumplir con las especificaciones de las propiedades mecánicas mencionadas anteriormente. Para barandales del tipo III la composición química debe ser garantizada por el fabricante [10].

### 2.2.7.2. Pernos y tuercas

Hasta que exista una NTE INEN equivalente, los pernos y tuercas para los barandales del tipo III deben ser de un material resistente a la corrosión y para los barandales del tipo I y II deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM A 307. Especificación Estándar para Acero al carbono. Tornillos, pernos prisioneros y varilla roscada 60 000 PSI Resistencia a la tracción [10].

Todas las conexiones o empalmes deben realizarse con los pernos de cabeza de botón oval, para reducir al mínimo la proyección al lado de la carretera del barandal. En el empalme, los pernos y las tuercas del poste deben cumplir con una de las alternativas según lo indicado en la alternativa 2 como se muestra en la **Ilustración 7** [10].

**Ilustración 7.** Pernos y tuercas.



**FUENTE: PERFILES CORRUGADOS Y POSTES DE ACERO PARA GUARDAVÍAS. REQUISITOS**  
**AUTOR: NTE INEN 2473 [2013]**

### 2.2.7.3. Arandelas y placas de respaldo

Las arandelas deben ser rectangulares. Las arandelas para barandales tipo I y II deben ser galvanizadas. Las arandelas para barandales tipo III deben ser de un acero apropiado resistente a la corrosión [10].

### 2.2.7.4. Elementos retrorreflectivos

La instalación de los elementos retrorreflectivos en las barreras de seguridad tiene como propósito mejorar la visibilidad en los guardavías de acero según lo establecido en la **Tabla 6**.

**Tabla 6.** Elementos retrorreflectivos

<b>Radio curva horizontal (m)</b>	<b>Separación (m)</b>
Radios menores a 100	3.81
$100 \leq \text{Radio} < 200$	7.62
$200 \leq \text{Radio} < 300$	15.24
$300 \leq \text{Radio} < 500$	19.05
$500 \leq \text{Radio}$ y tramo recto	22.86

**FUENTE: PERFILES CORRUGADOS Y POSTES DE ACERO PARA GUARDAVÍAS. REQUISITOS**  
**AUTOR: NTE INEN 2473 [2013]**

### 2.2.7.5. Postes

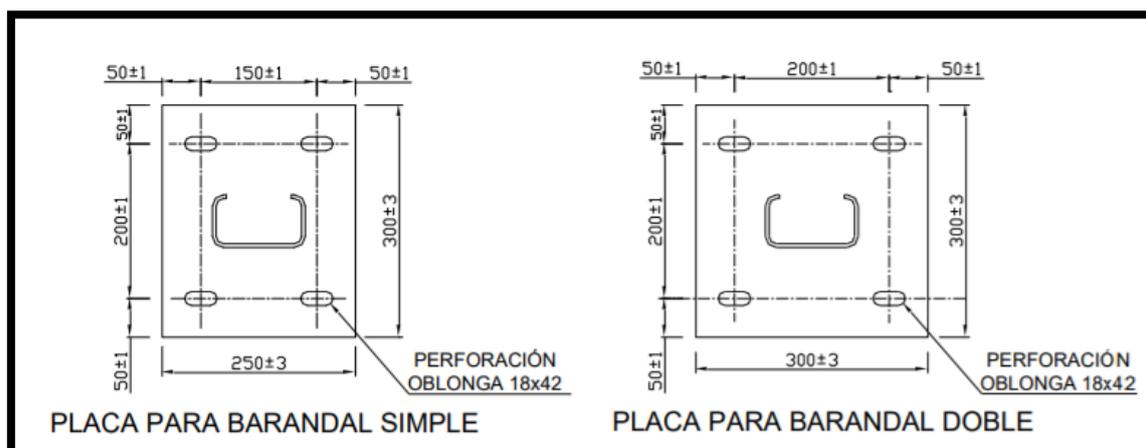
La función de este elemento es de soporte de terreno, Para su fabricación se utilizan perfiles metálicos de distintas formas (tipo C, tubular o CPN.). En carreteras tienen doble sentido de circulación de vehículos este elemento tienen que ser de perfil tubulares, y para autopistas son tipo CPN [10].

Deben ser de espesor BMT igual o mayor a 4,75 mm. La longitud del poste dependerá de la configuración de montaje y de las características del suelo o lugar de hincado.

### 2.2.7.6. Placas de anclaje y separadores

Deben ser de espesor BMT igual o mayor a 10 mm. Son utilizadas específicamente para los casos en que no se puede hincar el poste, deben ser soldadas al poste en su extremo inferior y cumplir con las dimensiones, en la **Ilustración 8** se aprecia las medidas para las placas y los separadores [10].

### Ilustración 8. Placas de anclaje y separadores



FUENTE: PERFILES CORRUGADOS Y POSTES DE ACERO PARA GUARDAVÍAS. REQUISITOS  
 AUTOR: NTE INEN 2473 [2013]

#### 2.2.7.7. Separadores para barandal de doble onda.

Los separadores deben ser de espesor BMT igual o mayor 3 mm.

### 2.2.8. Recubrimiento o acabado superficial

#### 2.2.8.1. Barandales del tipo I y II

Los barandales pueden ser galvanizados antes o después de la fabricación. La masa del recubrimiento debe cumplir con los requisitos que se establecen en la **Tabla 7**, para los tipos especificados. La masa del recubrimiento es la cantidad total de galvanizado en ambos lados del barandal, expresada como gramos por metro cuadrado de placa [10].

**Tabla 7.** Recubrimiento o acabado superficial

TIPO	MASA DE RECUBRIMIENTO	
	Valor mínimo en una sola medida (g/m <sup>2</sup> )	Valor promedio mínimo en tres medidas (g/m <sup>2</sup> )
I	550	610
II	1100	1220

FUENTE: PERFILES CORRUGADOS Y POSTES DE ACERO PARA GUARDAVÍAS. REQUISITOS  
 AUTOR: NTE INEN 2473 [2013]

Los terminales, postes, transición, placas base y separadores deben tener como mínimo la misma masa de recubrimiento de los barandales con los cuales se está instalando.

### 2.2.8.2. Barandales del tipo III

Los barandales de acero resistente a la corrosión no necesitan ser galvanizados o pintados.

### 2.2.8.3. Pernos y tuercas

Los pernos y tuercas deben ser galvanizados por inmersión en caliente y tener un peso de recubrimiento promedio mínimo de 379 g/m<sup>2</sup>, y de 303 g/m<sup>2</sup> para una medida individual.

Para la reparación del recubrimiento galvanizado debe realizarse según la norma ASTM A 780. Practica estándar para la reparación de zonas dañadas y sin recubrir de Inmersión en Caliente. Recubrimientos galvanizados. [10]

### 2.2.9. Dimensiones

El espesor nominal para el barandal terminado debe ser conforme con los requisitos determinados en la **Tabla 8**.

**Tabla 8.** Dimensiones

TIPO	CLASE A		CLASE B	
	Espesores (mm)	Tolerancia (mm)	Espesores (mm)	Tolerancia (mm)
I	2,74	- 0,17	3.51	- 0,17
II	2,82	- 0,17	3.58	- 0,17
III	2,67	- 0,17	3.43	- 0,17

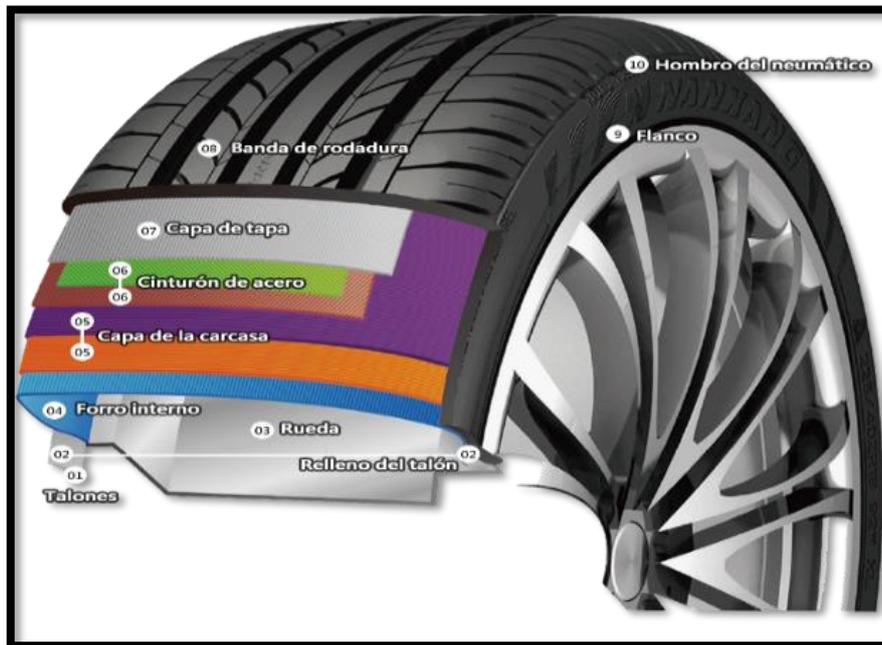
**FUENTE: PERFILES CORRUGADOS Y POSTES DE ACERO PARA GUARDAVÍAS. REQUISITOS**

**AUTOR: NTE INEN 2473:2013**

### 2.2.10. Problema ecológico de los neumáticos en fin de uso

La masiva fabricación de neumáticos y la dificultad para su retirada una vez usados es uno de los problemas medioambientales más relevantes de los últimos años, las fabricaciones de un neumático generan grandes cantidades de energía (medio barril de crudo para un neumático de camión) y si no es convenientemente reciclado, también provoca contaminación ambiental ya que muchas veces pasa a formar parte de vertederos incontrolados [11].

### Ilustración 9. Elaboración de llantas con caucho sintético



FUENTE: ESTRUCTURA DE NEUMÁTICO  
AUTOR: NANKANG [2017]

Estos productos son reciclados mediante varios métodos existentes, pero a su vez existe un déficit de políticas que logren favorecer la recolección y la implantación de industrias con la finalidad de recuperar y eliminar de manera limpia los elementos peligrosos de los neumáticos de los vehículos y la reutilización de la materia prima interna como el algodón y el acero. Su proceso de reciclaje no es contaminante y radica en la extracción selectiva de sus componentes, aislándolos para ser de nuevo utilizados [11].

### Ilustración 10. Vertederos de llantas



FUENTE: EQUIPOS INDUSTRIALES PARA EL RECICLAJE DE NEUMÁTICOS  
AUTOR: ECO GREEN [2019]

### 2.2.11. Composición de las llantas

La llanta tiene un aspecto macizo de caucho. Sin embargo, en la parte inferior de la lona hay distintas materiales y estructuras que han sido profundamente estudiados y diseñados, toda esta tecnología es esencial para garantizar la seguridad y el desempeño de un vehículo [12].

**Tabla 9.** Composición de llantas

Materiales	Composición (%)	
	Automóviles	Camiones
Caucho Natural	14	27
Caucho Sintético	27	14
Rellenos Reforzantes	28	28
Acero	14	15
Antioxidante y Rellenos	17	16

FUENTE: MATERIALES Y COMPUESTOS PARA LA INDUSTRIA DEL NEUMÁTICO  
AUTOR: NEUMÁTICOS TORREVIEJA SL [2019]

### 2.2.12. Reutilización de neumáticos usados

Los procesos de eliminación se agrupan de manera general en las siguientes categorías:

- Regeneración y desvulcanización (Proceso químico)
- Pirolisis (Proceso térmico)
- Incineración
- Trituración mecánica

Todos los procesos mencionados para la eliminación de neumáticos en fin de uso tienen efectos sobre el medio ambiente y la salud, que actualmente no pueden evitarse por completo [13].

#### 2.2.12.1. Regeneración

Es un proceso mecánico que incluye energía térmica y productos químicos, permite que el caucho del neumático pase a un estado donde puede mezclarse, procesarse y vulcanizarse una vez más. El proceso consiste en la rotura de los enlaces intermoleculares de sus propiedades químicas, permitiendo que el producto final de la regeneración sea utilizado en la fabricación de productos que tienen demanda y usos limitados [13].

#### **2.2.12.2. Desvulcanización**

La desvulcanización consiste en reducir el tamaño y la rotura de los enlaces químicos, resultados que se obtienen mediante el proceso químico, este proceso se ejecuta por lotes en donde las partículas reducidas se mezclan en un reactor a elevadas temperaturas que oscilan hasta 180°C y a presiones de 15 bar. Una vez culminado el proceso de reacción, el producto final se filtra y seca para remover los componentes químicos no deseados y se envasa para su comercialización [13].

#### **2.2.12.3. Pirólisis**

Proceso de degradación térmica que se genera en ausencia de oxígeno como para no provocar combustión, el mismo que produce aceite de bajo contenido energético, un gas sintético denominado como “syngas”, alquitrán negro de humo y acero. El proceso es complejo y se cree que tiene aplicaciones limitadas para neumáticos de desecho [13].

#### **2.2.12.4. Termólisis**

Este sistema consiste en someter a los residuos del neumático a un calentamiento en donde no existe oxígeno, las temperaturas altas y la ausencia de oxígeno provocan el efecto de eliminación de enlaces químicos. En este proceso se presentan las cadenas de hidrocarburos, mediante el cual se obtiene de nuevo los compuestos originales de un neumático [13].

#### **2.2.12.5. Incineración**

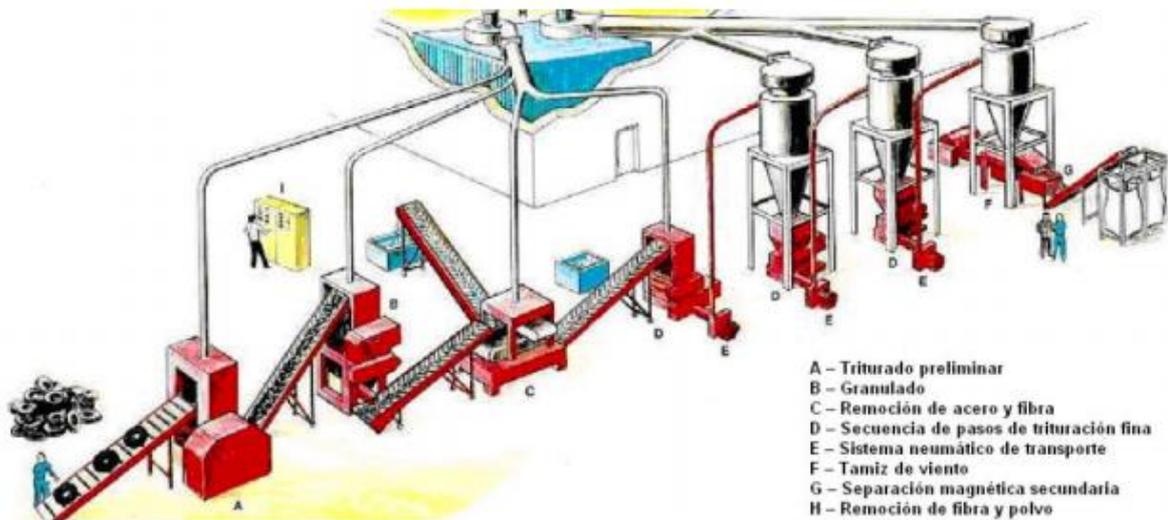
El proceso de incineración se genera mediante la combustión de los materiales del neumático en un horno con materiales refractarios a altas temperaturas. El inconveniente en este proceso son las diversas velocidades de combustión de los componentes y la depuración de los residuos cuyo control es complejo y a su vez es contaminante [13].

#### **2.2.12.6. Triturado**

Existe un proceso denominado trituración mecánica que consiste en reducir de manera eficiente y económica las dimensiones del neumático fuera de uso, uno de los beneficios que

presenta es otorgar confiabilidad de su aplicación para fines de reciclaje de neumáticos fuera de utilización [14].

**Ilustración 11.** Trituración mecánica



**FUENTE: PLANTA DE TRITURACIÓN MECÁNICA**  
**AUTOR: PATRICIO MIGUEL LUNA MOROCHO [2013]**

Si el caucho a obtener es relativamente grueso, es decir, aproximadamente una malla de 20 (0,8 mm), el molido a temperatura ambiente en efecto resulta seguro y económico, no obstante, genera ruido, polvo, alto consumo energético y emisiones de NOx y SOx. Su lugar de almacenamiento deberá estar protegido de la luz solar [14].

Las dimensiones del neumático no influyen en la trituración del mismo, dependiendo de la aplicación final. Es decir, a menor tamaño, el proceso de reducción será mayor ya que utiliza una elevada cantidad de energía, desgasta el equipo y requiere controles ambientales. En la **Tabla 10** se indica el porcentaje que indican las cantidades de caucho molido, fibra, acero y residuos que se originan en neumáticos de camiones y automóviles [13].

**Tabla 10.** Productos reutilizables de neumáticos de desecho

<b>Producto</b>	<b>Neumáticos de camión</b>	<b>Neumáticos de automóvil</b>
Caucho molido	70%	70%
Acero	27%	15%
Fibra y residuos	3%	15%

**FUENTE: ADAPTADO DE RESCHNER**  
**AUTOR: MENDEZ CHRISTIAN; SOLANO FRANKLIN [2010]**

### 2.2.13. Propiedades mecánicas, físicas y químicas del caucho granulado.

**Tabla 11.** Propiedades del caucho granulado proveniente del neumático reciclado

<b>Propiedades mecánicas</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>
Modulo elástico	884.73	Psi
Coefficiente de Poisson	0.49	N/D
Módulo Cortante	420.60	Psi
Límite de Tracción	1999.64	Psi
Límite elástico	1339.76	Psi
Coefficiente de expansión térmica	0.0003	°F
Conductividad térmica	1.87247e-06	Btu/(pulg*s* °F)
<b>Propiedades Físicas</b>		
Forma	Granulado y polvo	
Densidad	0.7942	gr/cm3
Peso específico	1,15	
Humedad	<0.75	%
Punto de combustión	300-450	°C
<b>Propiedades químicas</b>		
Extracto cetónico	5.00-22.00	%
Contenido en cenizas	7,00 -11,00	%
Contenido de polímeros NR/ SR	70/30 – 60/40	%
Contenido de negro de humo	26,00 – 38,00	%
Contenido de caucho natural	10,00 – 35,00	%
Contenido en hidrocarburo de caucho	57,00 – 58,00	%
Contenido de plomo	<0.03	mg/kg
Azufre	1,0 – 7,00	%
pH	8,12 – 8,20	°C

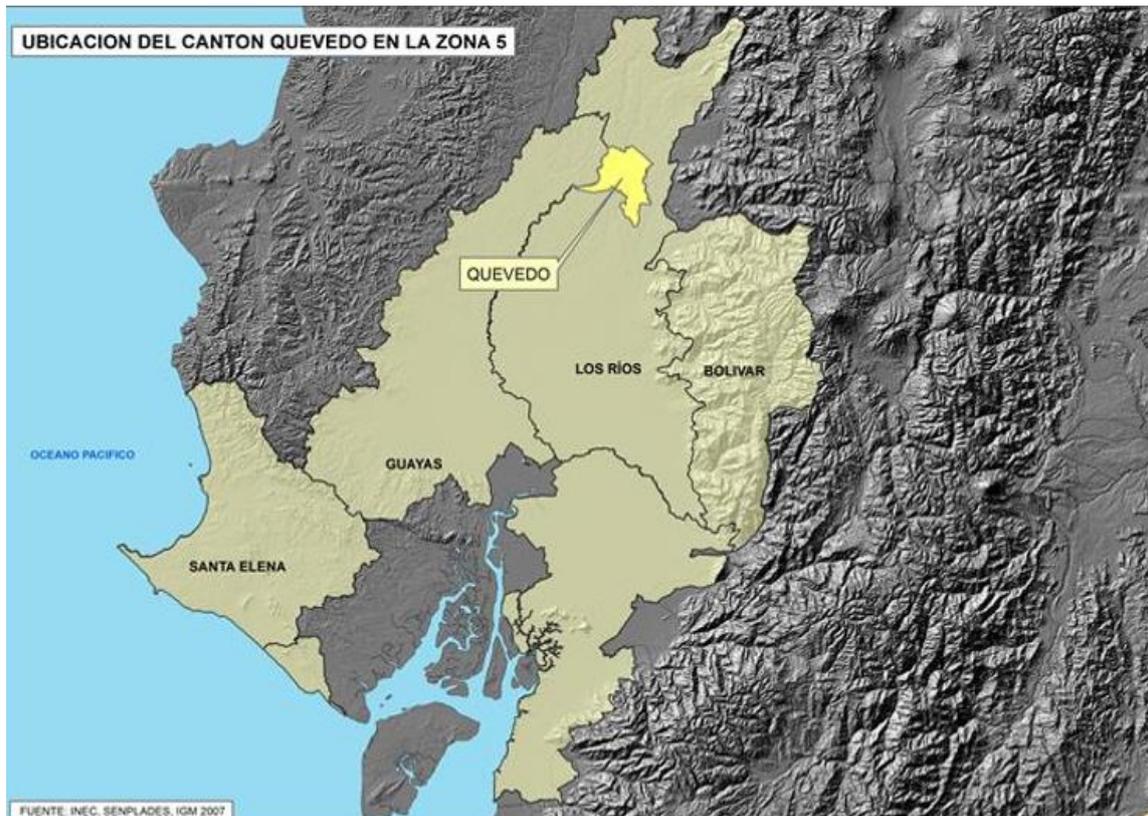
**FUENTE: FICHA TÉCNICA DEL CAUCHO GRANULADO**  
**AUTOR: CASGUZ S.A. [2016]**

**3. CAPÍTULO III**  
**METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### 3.1. Localización

El presente trabajo de investigación se realizó en la lotización La Carolina, ubicada en el Km 1 ½ Vía El Empalme perteneciente al cantón Quevedo, Provincia de Los Ríos en donde se analizó el comportamiento al impacto de barreras sostenibles.

**Ilustración 12.** Ubicación Geográfica del Cantón Quevedo



FUENTE: GOOGLE MAPS [2018]

#### 3.1.1. Características principales del Cantón Quevedo

- Latitud: 1°01'43''S
- Longitud: 49°27'48''O
- Temperatura Habitual: 20°C a 33°C.
- Altitud sobre el nivel del mar: 51m

## **3.2. Tipos de investigación**

### **3.2.1. Investigación aplicada**

Se la utilizó mediante la aplicación del conocimiento de resistencia de materiales, partiendo del fundamento teórico sobre las entidades fuerzas aplicadas, también llamadas cargas o acciones, y los esfuerzos y desplazamientos inducidos por ellas. Permitió realizar el análisis de las propiedades físicas determinando así el comportamiento de la estructura.

### **3.2.2. Investigación bibliográfica**

La búsqueda de información principal en fuentes privadas tales como trabajos científicos y académicos (tesis doctorales y trabajos fin de máster, noticias de prensa y sitios web) permitió apoyar y respaldar las bases del proyecto de investigación, así como, investigar información explícita del estudio de impacto para las barreras con cauchos reciclados: funcionamiento, características, materiales a usar y de esta forma diferenciarlas con las barreras convencionales,

## **3.3. Métodos de la investigación**

### **3.3.1. Método analítico**

Este método permitió hacer un análisis mediante simulación de impacto tanto a las barreras convencionales como a las barreras con caucho reciclado, considerando que, por las características de su estructura que hacen que su diseño sea funcional y ampliamente utilizado para la seguridad vial en las colisiones de alta velocidad. Además, la realización del diseño, bajo la condición de cambios en sus condiciones físicas, de esta forma se analiza que efectos causan en su funcionamiento.

### **3.3.2. Método científico**

Se sigue una secuencia de pasos, primero: la observación de campo de las barreras de protección, segundo: relacionar el impacto con el modelo elaborado, tercero: obtener un análisis del comportamiento de las propiedades mecánicas de ambos sistemas y, finalmente elaborar una propuesta dirigida a los tomadores de decisiones.

### **3.4. Fuentes de recopilación de la información**

Todo estudio se basa en la recopilación de información que involucra antecedentes importantes y significativos de acuerdo con lo que se está investigando. En este proyecto se empleó fuentes primarias, tales como: libros, tesis de pregrado y posgrados, revistas y tutoriales web de la actualidad.

### **3.5. Diseño de la investigación**

El desarrollo de este proyecto investigativo se compone con una serie de pasos que comprende: análisis de conceptos, variables a manipular para el sistema provocando situaciones de impacto con el propósito de comprobar la resistencia del material mediante el software de diseño (CAD) SolidWorks de manera que simule el comportamiento del sistema de barreras sostenibles.

### **3.6. Instrumentos de investigación**

Se establecen procedimientos por medio el análisis de información, para obtener un modelo que cumpla las principales funcionalidades del sistema de barreras sostenibles, para esto se operaron los siguientes instrumentos: modelamiento 3D, ensamblaje de componentes y simulación al impacto.

### **3.7. Recursos humanos y materiales de investigación**

#### **3.7.1. Recurso humano**

Los recursos humanos considerados en esta investigación corresponden a los docentes de la FCI de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, el autor. Srta. Katherine Judith Cevallos Castro y el Ing. Omar Arturo Cevallos Muñoz. Msc. en su calidad de Director de la investigación.

### 3.7.2. Recurso material

#### 3.7.2.1. Materiales de hardware

**Tabla 12.** Recursos materiales (hardware).

<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Características</b>
1	Computadora Portátil	Intel® Core™ i7-8700H CPU @ Processor 16GB RAM
1	Impresora	EPSON L355 con sistema de tinta continua
1	Memoria USB	KINGSTON USB Flash Drive Capacidad 8 GB

AUTOR : CEVALLOS CASTRO [2019]

#### 3.7.2.2. Materiales de software

**Tabla 13.** Recursos materiales (software).

<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
Software Utilitario	MS Office 2010 Word Excel
Software de modelamiento	Programa asistido por computador (Script) Matlab 2018

AUTOR : CEVALLOS CASTRO [2019]

**4. CAPÍTULO IV**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## **4.1. Diseño del sistema de barreras de protección vehicular**

### **4.1.1. Elaboración del diseño paramétrico del sistema de barreras sostenibles**

Para realizar el diseño de la barrera de seguridad seleccionada como mejor alternativa es necesario el uso de un software CAD (Diseño Asistido por Computadora). Como se trata de un sistema que se encuentra sometido a esfuerzos y deformaciones el programa emplea análisis mediante elementos finitos. SOLIDWORKS, usado para enmendar problemas con estructuras dinámicas y estáticas, el diseño de la barrera está dividido en cinco fases principales:

- Bosquejo de la geometría
- Generación del mallado
- Pre-procesamiento.
- Cálculo
- Resultados

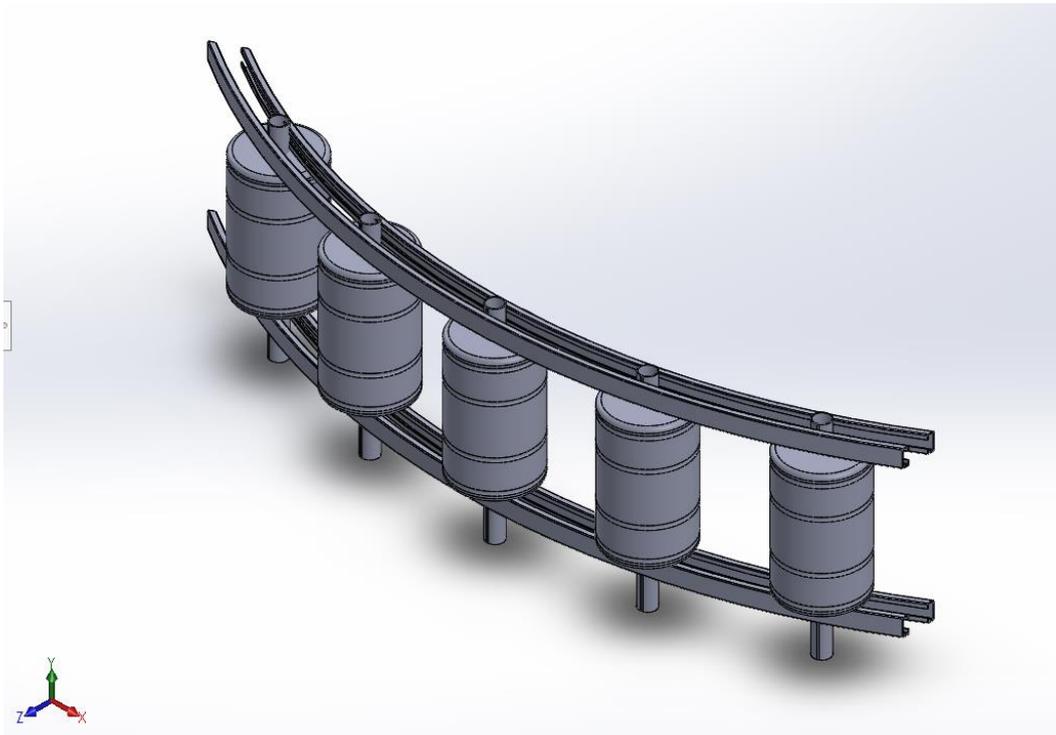
### **4.1.2. Bosquejo de la Geometría**

Teniendo en cuenta los parámetros establecidos en la NTE se procede a esquematizar el diseño propuesto mediante SOLIDWORKS, de esta manera se definirá la forma que tendrá nuestra superficie, incluyendo como referencia un sistema de coordenadas y puntos. Utilizando operaciones propias del mencionado software como:

- Extrusiones.
- Vaciados
- Revoluciones
- Barridos
- Cortes
- Simetrías
- Chaflanes
- Redondeos

Con las operaciones establecidas se procede a realizar el respectivo ensamble de las partes o piezas diseñadas.

**Ilustración 13.** Bosquejo de la barrera



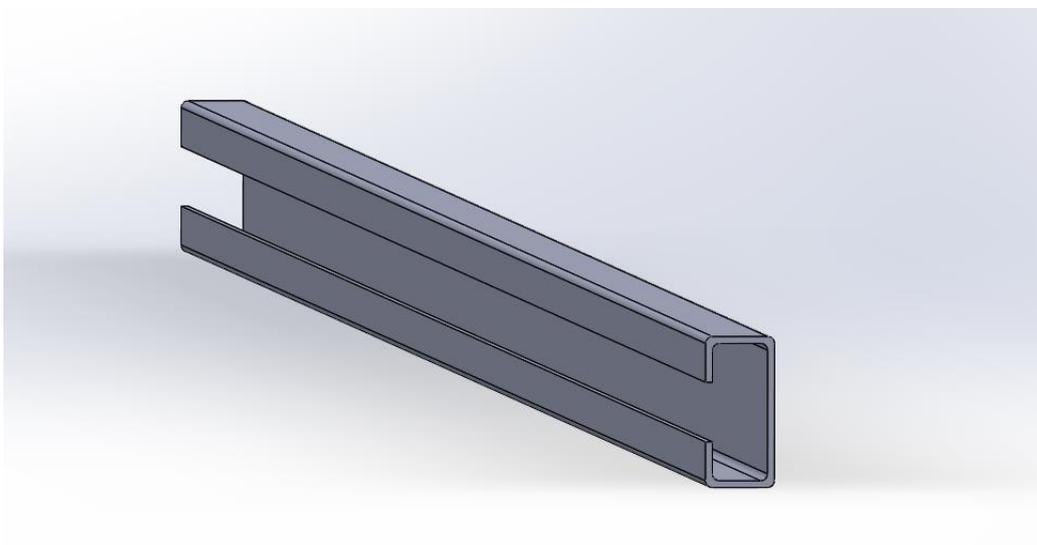
AUTOR: KATHERINE CEVALLOS [2019]

#### 4.1.2.1. Características de los elementos de la barrera

- Separadores

El diseño para los separadores en donde se acoplará los barriles giratorios, se utilizará el acero estructural de perfil G, 150x75x25 establecido por la norma INE 2473:2013

**Ilustración 14.** Baranda de separación



AUTOR: KATHERINE CEVALLOS, (2019)

**Tabla 14.** Especificaciones Generales

<b>Norma</b>	<b>INEN 2473:2013</b>
Calidad	ASTM A36
Longitud	6.00 m
Espesor	3 mm
Acabado	Acero Negro
Límite de Rotura	400 MPa

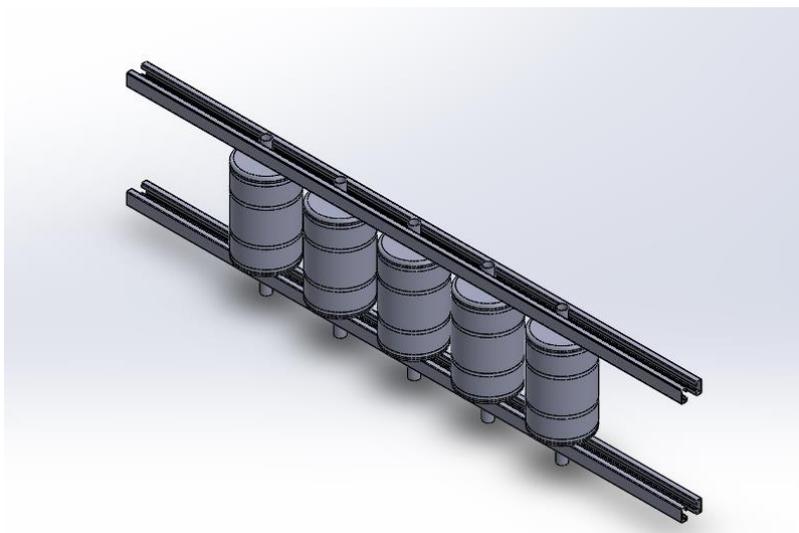
**FUENTE: DIPAC S.A.**

**Ilustración 15.** Barril Giratorio



**AUTOR: KATHERINE CEVALLOS, (2019)**

**Ilustración 16.** Ensamble General de elementos



**AUTOR: KATHERINE CEVALLOS, (2019)**

## 4.2. Descripción de la simulación de condiciones aplicadas

### 4.2.1. Asignación de material

Antes de realizar en análisis del diseño se procede a la asignación de los distintos materiales tales como acero estructural y caucho para los rodillos en la figura se puede apreciar las propiedades que posee cada uno.

**Ilustración 17.** Propiedades de Acero A36 – SolidWorks.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	29007547.53	psi
Coefficiente de Poisson	0.26	N/D
Módulo cortante	11501492.6	psi
Densidad de masa	0.2835991622	lb/pulgadas <sup>3</sup>
Límite de tracción	58015.09507	psi
Límite de compresión		psi
Límite elástico	36259.43442	psi
Coefficiente de expansión térmica		/°F
Conductividad térmica		Btu/(pulg·s·°F)

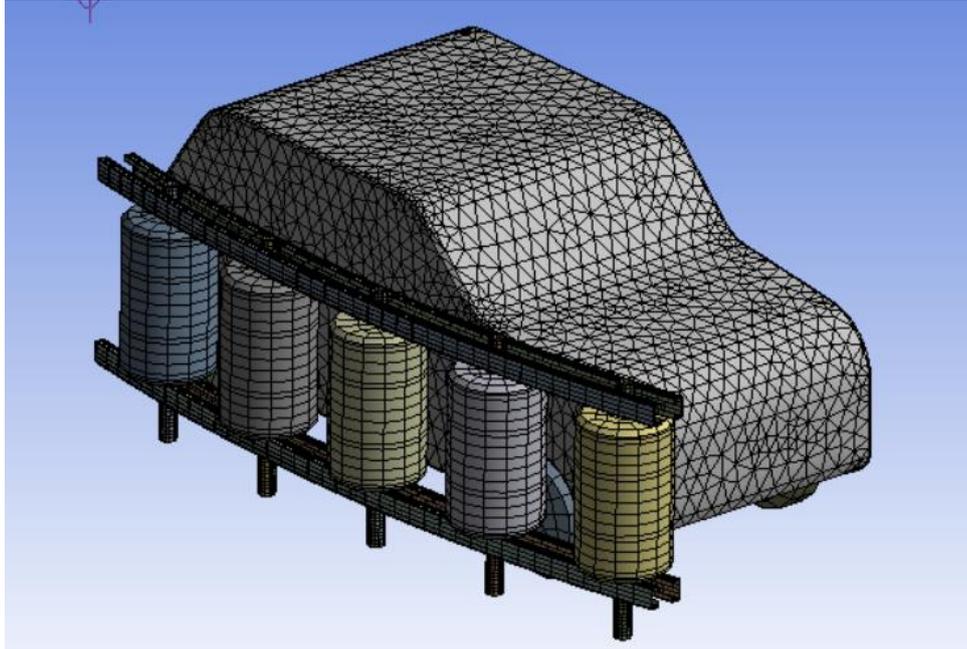
FUENTE: SOLIDWORKS 2018

### 4.2.2. Generación del mallado

Una vez realizado el bosquejo de la geometría se genera el mallado, ver ilustración 22, el cual definirá el número de elementos y nodos que tendrá sobre la pieza o ensamble, mientras más elementos tenga se podrá realizar un análisis que significará mayor exactitud que demanda un mayor recurso computacional. En el estudio, el elemento analizado es la baranda y el barril cuyos materiales son de acero estructural y caucho molido respectivamente. Para elegir el tipo de malla, se consideran algunos aspectos:

- Tiempo necesario para crear la malla
- Costes computacionales
- El efecto de la difusión numérica

**Ilustración 18.** Generación de la malla



FUENTE: ANSYS ACADEMIC R3

En la creación del mallado se generan mallas estructuradas (elementos cuadriláteros) y no estructuradas (elementos triangulares o tetraédricos). Para geometrías complejas o de rango de longitudes de escala grande, un mallado no estructurado es el más apropiado. Definiendo la dimensión del mallado de 0.058 m acorde al número de elementos y nodos (máximo 32.000) que el programa (ANSYS ACADEMIC R3) permite analizar.

### **4.2.3. Condiciones Iniciales**

Conseguido el mallado en todos los componentes que conforman la barrera se procede a citar las condiciones iniciales para la simulación:

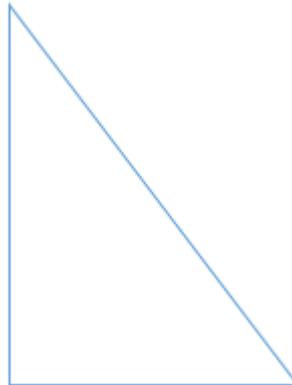
- Velocidad de Impacto
- Tiempo de impacto
- Restricciones de movimiento

#### **4.2.3.1. Velocidad de Impacto**

La velocidad con la cual el vehículo se movilizará deberá ser determinada mediante componentes en x, y debido a que el impacto viene dado en un ángulo  $\alpha$  establecido. Estas componentes serán obtenidas aplicando razones trigonométricas.

$$V_x = V * \text{Sen } \alpha$$

$$V_y = V * \text{Cos } \alpha$$



#### 4.2.3.2. Límite de Velocidad

El límite de velocidad permitidos en Ecuador se referencia en la **Tabla 15**, emitida por el Art 142g y Art 145e del reglamento general para la aplicación de la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial.

**Tabla 15.** Límite de seguridad ANT

Tipo de Vía	Límite Máximo km/h	Rango moderado km/h
Urbana	50	50 – 60
Perimetral	90	90 – 120
Rectas	100	100 – 135
Curvas	60	60 – 75

FUENTE: AGENCIA NACIONAL DE TRANSITO

#### 4.2.3.3. Ángulo de Impacto

Usando las ecuaciones descritas anteriormente, se generan las magnitudes en (x, y) correspondientes a las velocidades expresadas en mm/s, cuyos valores de impacto a un determinado ángulo se registran en la Tabla 16.

**Tabla 16.** Ángulo de Impacto según la velocidad

Velocidad de impacto (km/h)	Componentes velocidad (mm/s)	Ángulo de impacto ( $\alpha$ )
		20°
75	X	7125.40
	Y	19576.89
90	X	8550.00
	Y	23491.67
110	X	10450.76
	Y	28713.24

AUTOR: KATHERINE CEVALLOS, (2019)

#### 4.2.4. Análisis de la simulación

El software realiza la simulación del impacto teniendo como referencia un ángulo, velocidades y masas de un cuerpo en segmentos diferentes de la barrera sostenible.

##### 4.2.4.1. Datos para la simulación

Los datos que emplea el software para ejecutar la simulación son los siguientes:

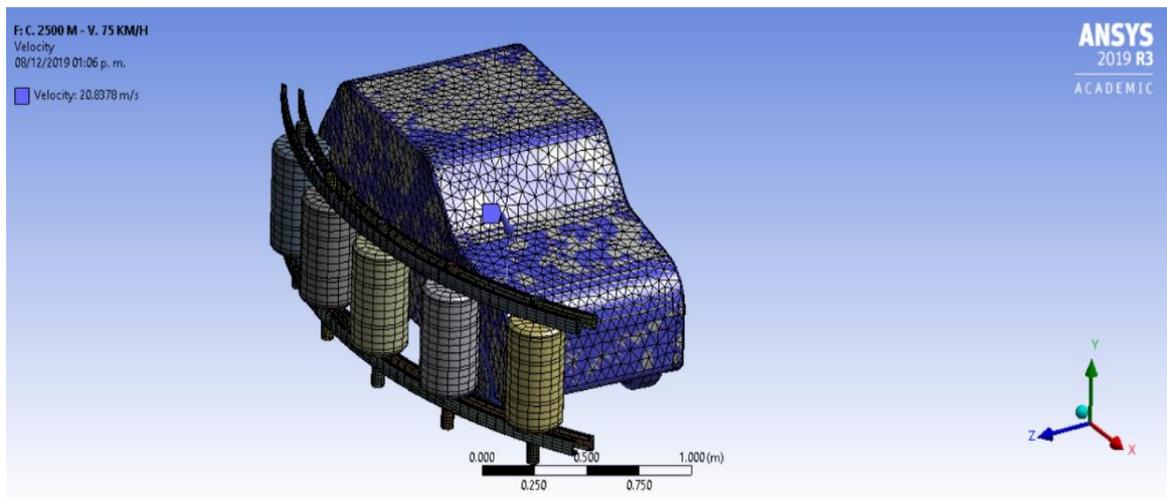
- Material de la barrera: Acero estructural.
- Material del cuerpo: Acero estructural.
- Tiempo de impacto: 0.2 segundos.
- Velocidades de impacto: 75 Km/h – 90 Km/h – 110 Km/h
- Ángulo de impacto: 20°
- Restricciones de movimiento: Base de los postes
- Porcentaje del mallado: 88%

## 4.2.5. Impacto a velocidad de 75 Km/h - 20° - Radio de curvatura 2500 mm

### 4.2.5.1. Condiciones Iniciales

Se establece la condición inicial de velocidad a 75 km/h, donde transformamos la velocidad a m/s y descomponemos la misma con un ángulo de incidencia de 20°. Quedando los valores para las componentes x y z según el sistema de referencia global que se ejecuta para el análisis.

**Ilustración 19.** Condición de velocidad a 75km/h

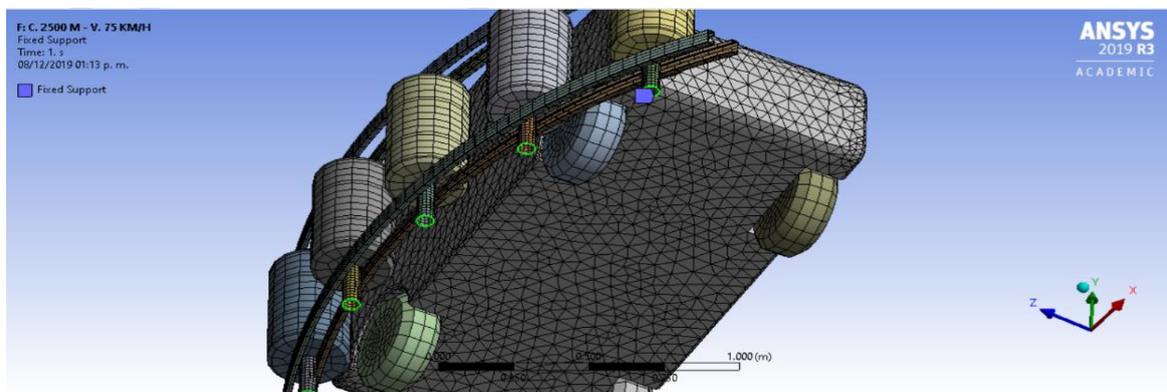


FUENTE: ANSYS ACADEMIC R3

### 4.2.5.2. Restricción de movimiento

Segundo punto, la condición de las partes fijas que serán los postes o tubos de la barrera que están empotrados con el suelo, por ende, corresponde fijar la base de los tubos.

**Ilustración 20.** Restricción de la barrera

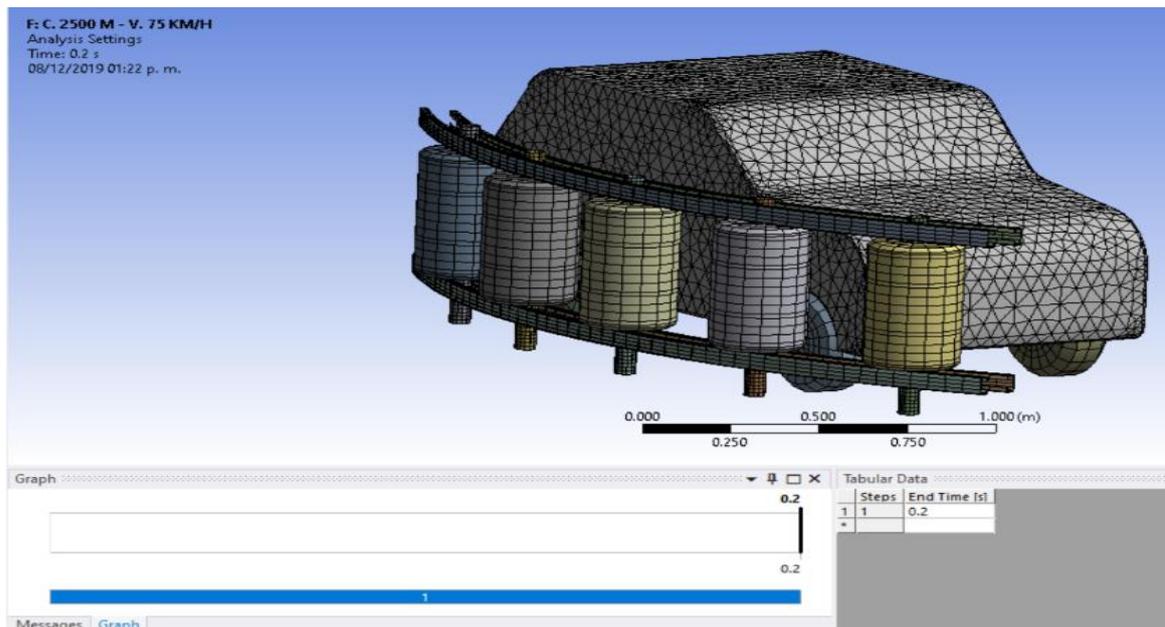


FUENTE: ANSYS ACADEMIC R3

### 4.2.5.3. Tiempo de impacto

Por último, ajustamos los parámetros de análisis (Analysis Settings). Con un tiempo final de 0.2 segundos con una totalidad de  $2.5 \times 10^5$  ciclos de Analysis. Los valores estipulados son necesarios para evitar extender el análisis que conllevaría un mayor tiempo de procesamiento. Además, se selecciona los resultados a ser analizados, tales como: deformación total, los esfuerzos producidos y la deformación plástica del material.

**Ilustración 21.** Parámetro de análisis



FUENTE: ANSYS ACADEMIC R3

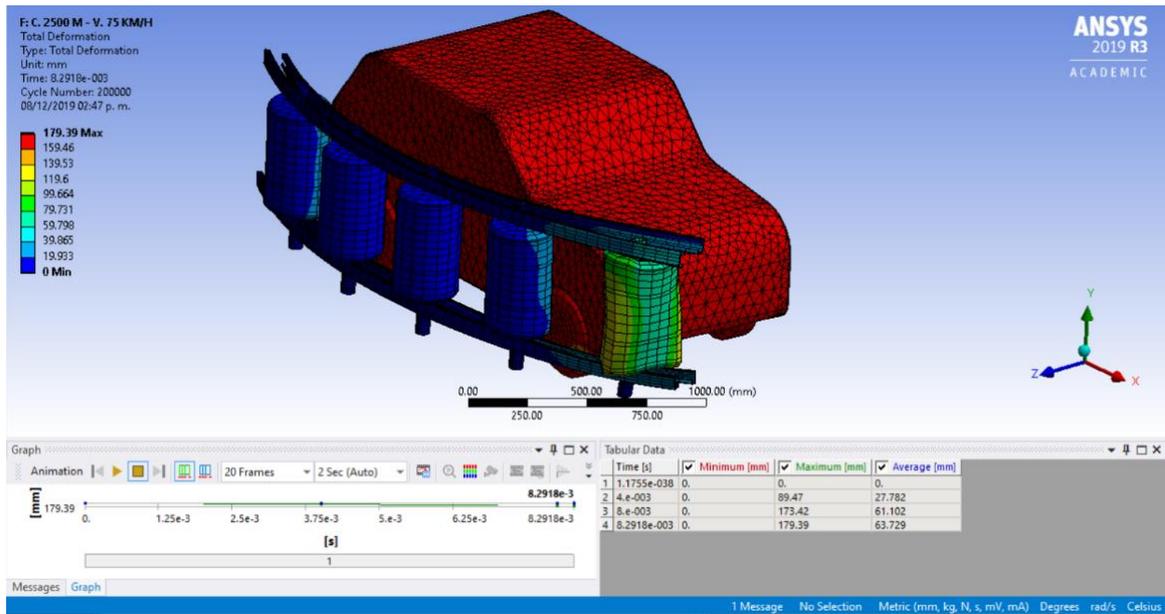
### 4.2.5.4. Tiempo estimado para la simulación

Ejecutamos el análisis como paso final teniendo en cuenta que los pasos citados anteriormente son iguales para todas las simulaciones, solo cambiando las condiciones de velocidad para cada una y a su vez la geometría de curvatura de la barrera a ser analizada. Cada simulación tiene un tiempo estimado de procesamiento de resultados de 1.4 horas.

### 4.2.5.5. Deformación total

Deformación total (mm) presente al momento del impacto, tomando como tiempo fracciones de segundo en el análisis, evidenciando en el área de contacto mayor deformación equivale a 119.6 mm.

**Ilustración 22. Deformación total del material**

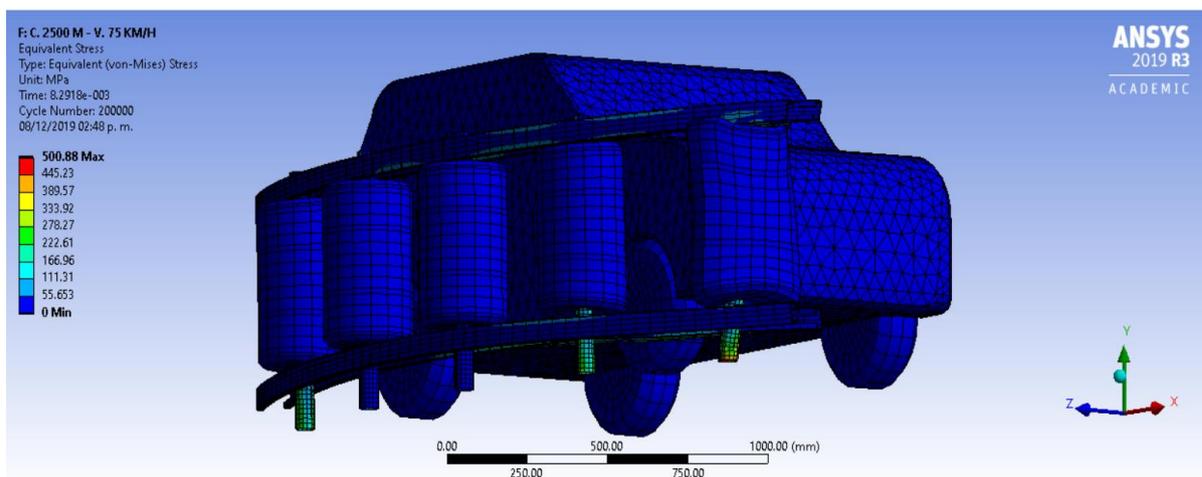


FUENTE: ANSYS ACADEMIC R3

#### 4.2.5.6. Esfuerzo equivalente / Von Mises

Esfuerzos resultantes al instante del choque del vehículo contra la barrera. Donde el mayor esfuerzo en el área inferior del poste el cual supera el límite elástico de 389,57 MPa, y logrando así una posible rotura del material.

**Ilustración 23. Esfuerzo Von Mises en los postes**

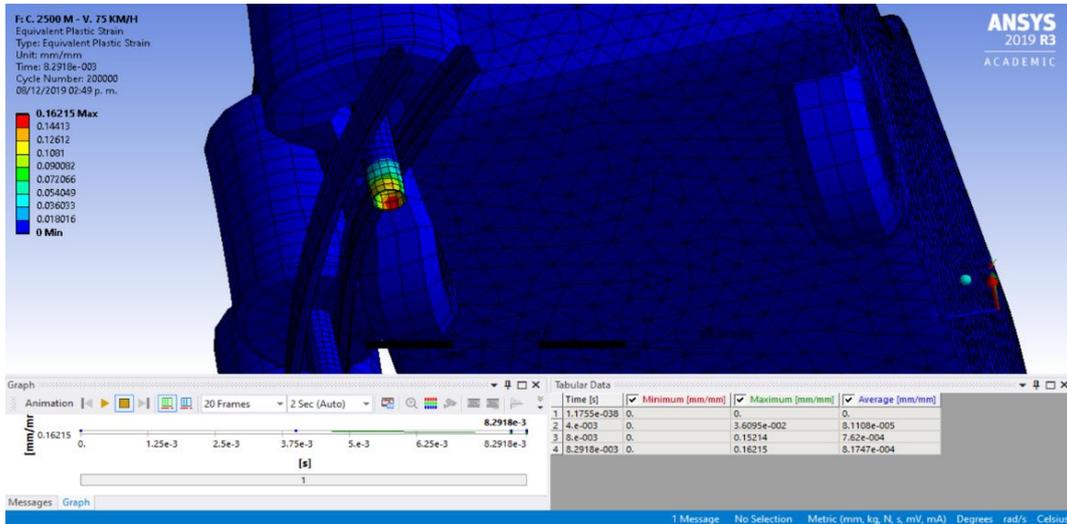


FUENTE: ANSYS ACADEMIC R3

#### 4.2.5.7. Deformación plástica

Los esfuerzos producen deformación, el poste más deformado con 0,16 mm se encuentra en la parte inferior donde ocurre el impacto.

Ilustración 24. Deformación Plástica



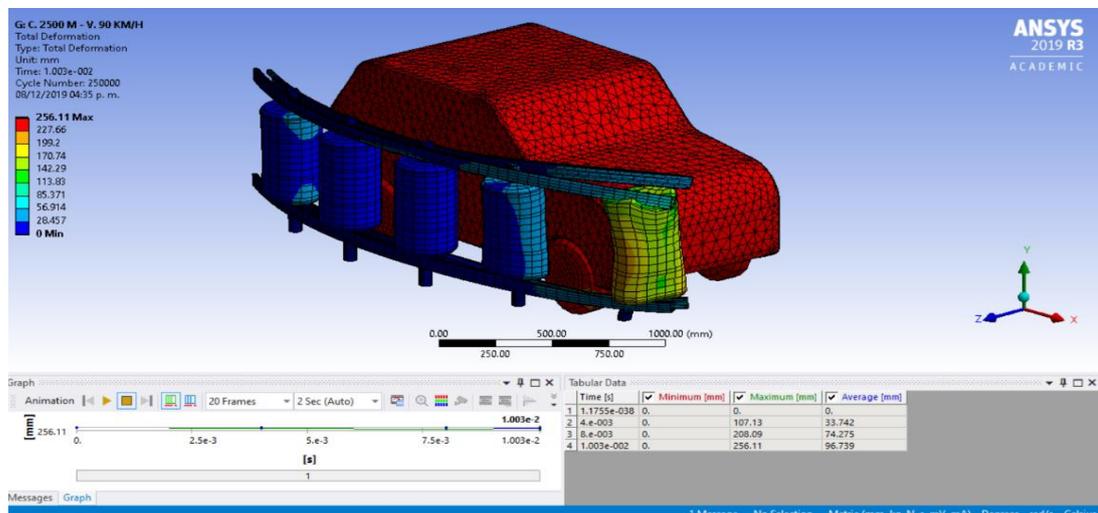
FUENTE: ANSYS ACADEMIC R3

#### 4.2.6. Impacto a velocidad de 90 Km/h - 20° - Radio de curvatura 2500 mm

##### 4.2.6.1. Deformación total

Se obtienen como resultado una deformación máxima de 256 mm para el automóvil en el área de contacto y una deformación de 205 mm para el barril entre otras dimensiones de las deformaciones alrededor del mismo elemento.

Ilustración 25. Deformación total del barril

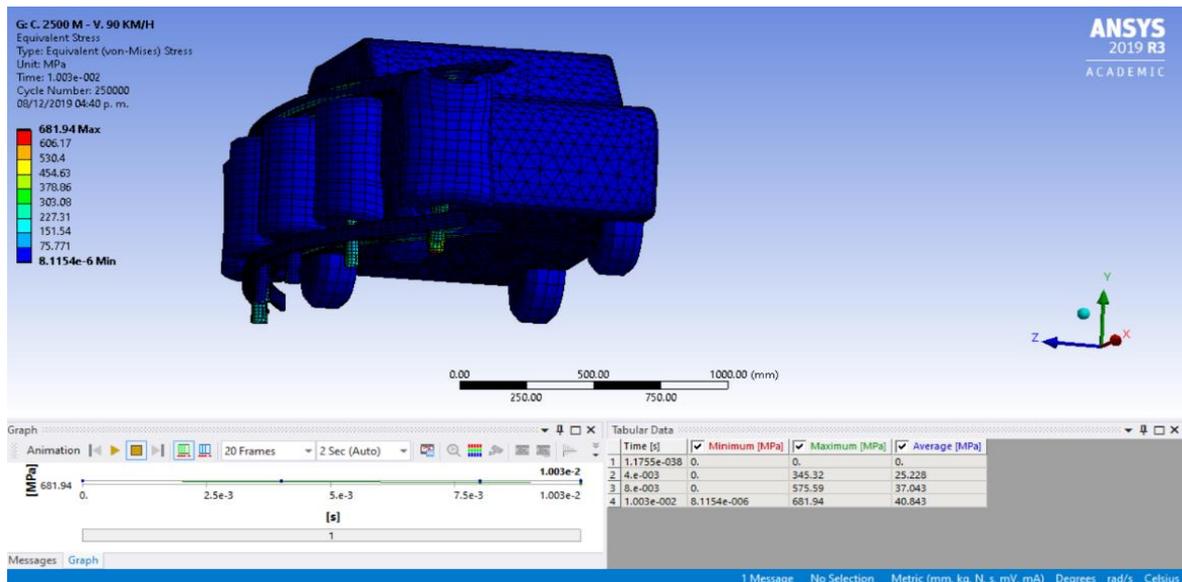


FUENTE: ANSYS ACADEMIC R3

#### 4.2.6.2. Esfuerzo equivalente

Los esfuerzos en la base de los postes al momento del impacto no sobrepasan la zona plástica siendo el límite de rotura del material 400 MPa, el material se deforma enfocando que su límite de rotura es de 378,86 MPa, soportando el impacto del vehículo.

Ilustración 26 Esfuerzo equivalente a 90 km/h

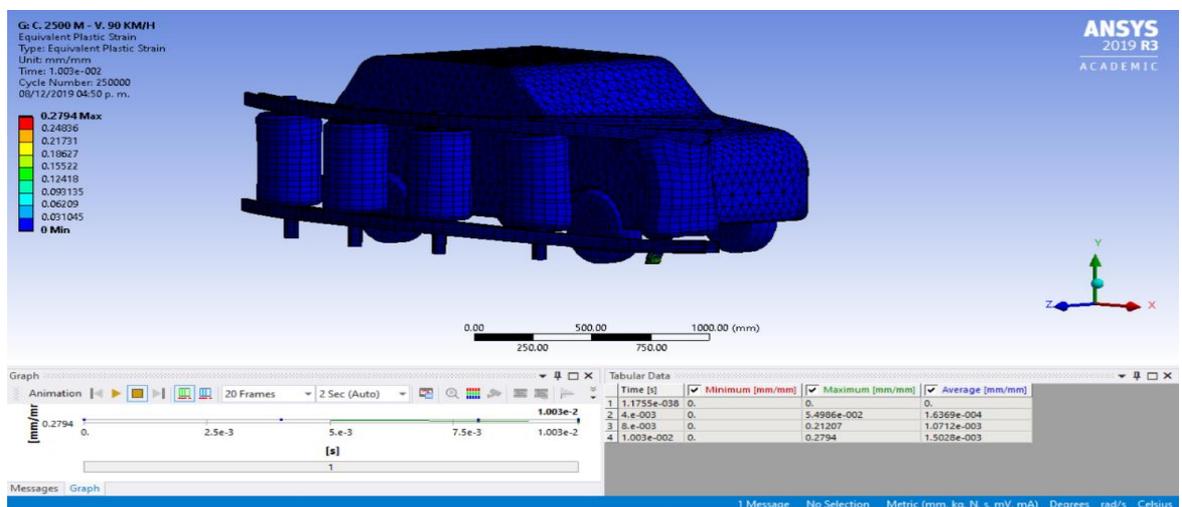


FUENTE: ANSYS ACADEMIC R3

#### 4.2.6.3. Deformación plástica

La deformación de la barrera alcanza 0,27 mm, este redirecciona el vehículo a la vía permitiendo que siga su trayectoria.

Ilustración 27 Deformación plástica del material



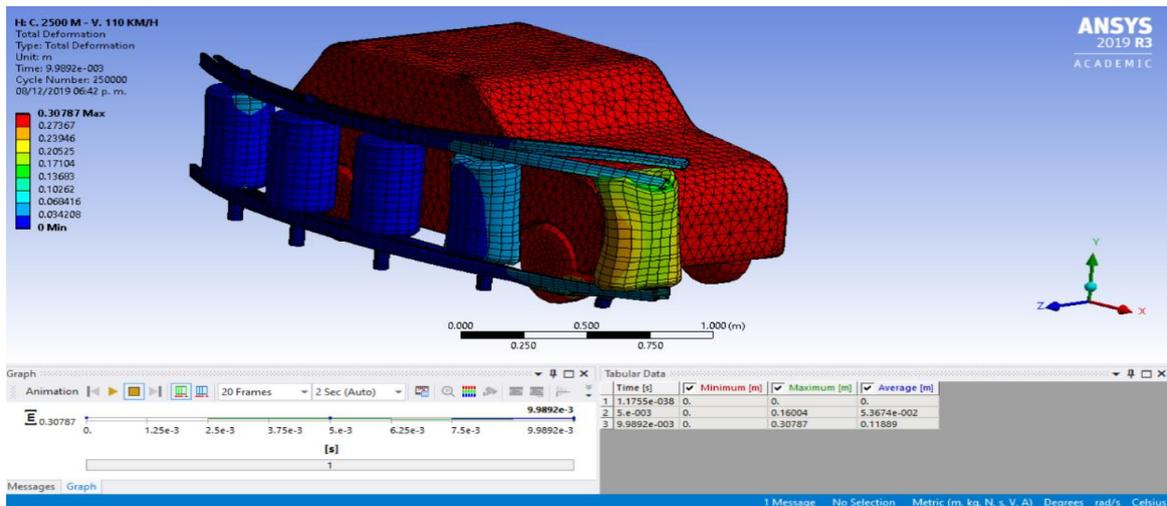
FUENTE: ANSYS ACADEMIC R3

## 4.2.7. Impacto a velocidad de 110 Km/h - 20° - Radio de curvatura 2500 mm.

### 4.2.7.1. Deformación total

La barrera sostenible cumple la función de redireccionar el cuerpo, dando como resultado la deformación de los elementos que la componen para la absorción del impacto, cuyo componente principal a deformarse en un aproximado de 0.30 m es el barril.

Ilustración 28 Deformación total a 110 km/h

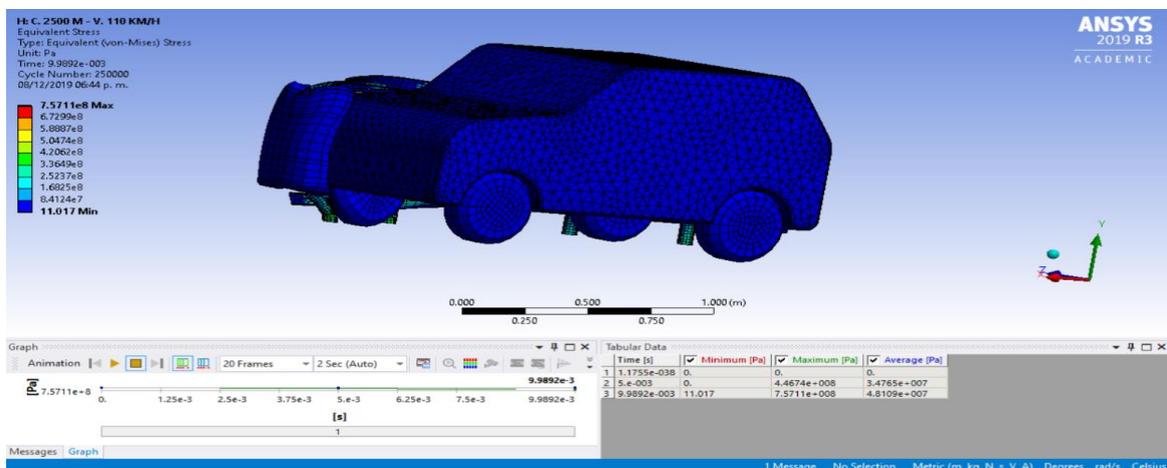


FUENTE: ANSYS ACADEMIC R3

### 4.2.7.2. Esfuerzo equivalente

Parte de la base del poste llegó a romperse ya que los esfuerzos generados en la simulación de 757 MPa sobrepasaron el límite de rotura establecido de 400 MPa.

Ilustración 29. Esfuerzo equivalente a 110km/h

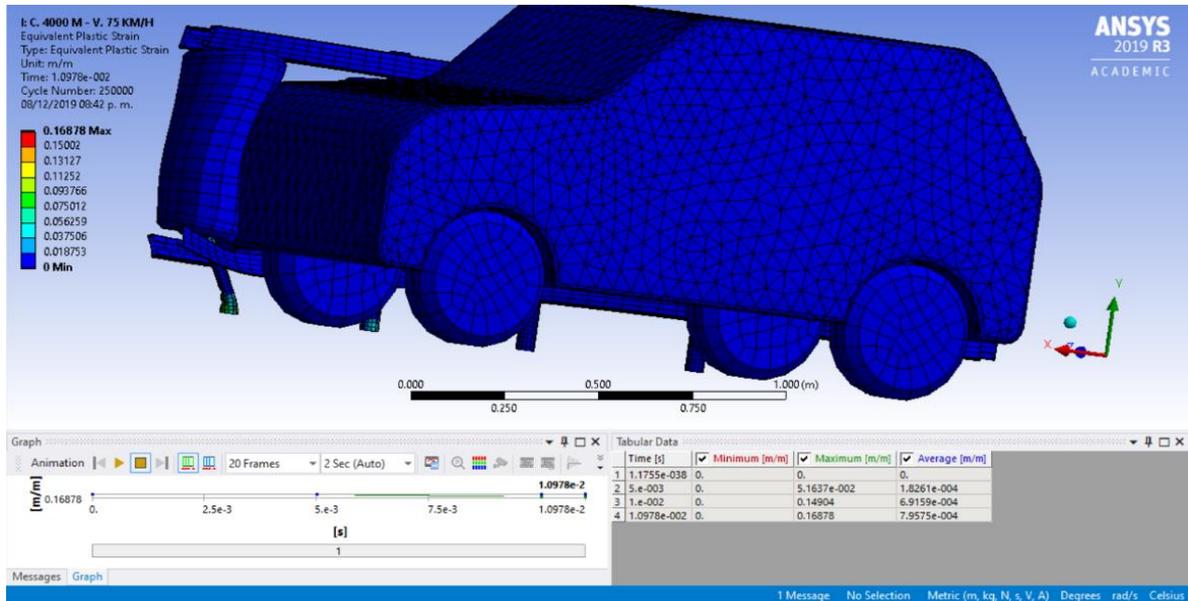


FUENTE: ANSYS ACADEMIC R3

### 4.2.7.3. Deformación plástica

Los postes se deforman gran cantidad por recibir el impacto, el poste con mayor deformación es el más cercano al impacto, con una deformación de 0.16 m en su parte inferior.

**Ilustración 30** Deformación plástica a 110Km/h



FUENTE: ANSYS ACADEMIC R3

### 4.3. Análisis del presupuesto para la fabricación del sistema de barreras a partir de neumáticos reciclados

#### 4.3.1. Análisis económico

Se procede a ejecutar un estudio de los costos generados durante el diseño, construcción, manufactura y ensamble del sistema de barreras a partir de neumáticos reciclados. El presupuesto evaluado. Para esto, los materiales y elementos mecánicos se han obtenido de varias empresas nacionales, precios económicos y de calidad óptima. Cada una de las agrupaciones es detallada en este análisis.

#### 4.3.2. Costos de los materiales

Posteriormente, se realiza el desglose de los materiales que se emplean en la construcción de las partes importantes del sistema de barreras sostenibles, en los cuales están las vigas de perfil G, tubo redondo, cinta refractiva, soldadura, pintura, caucho molido. Estos materiales se muestran en la siguiente **Tabla 17** detallado el costo de cada uno de ellos y la cantidad que se utiliza en la construcción.

**Tabla 17.** Descripción de los costos de materiales

<b>Cant.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unid.</b>	<b>Valor</b>	<b>Total</b>
4	Viga Perfil G 150x75x25	6 metros	13.00	52.00
2	Tubo redondo	6 metros	13.00	26.00
2	Cinta Refractiva	u (6 metros)	25.00	50.00
1	Caucho molido	7 kg	4	28.00
<b>SUBTOTAL</b>				<b>156.00</b>

AUTOR: KATHERINE CEVALLOS (2019)

#### 4.3.3. Costos de elementos varios

En la **Tabla 18**, se detalla materiales complementarios para la fabricación del sistema de barreras que van a aportar un buen acabado y presentación de la misma.

**Tabla 18.** Costos de elementos

<b>Cant.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unid.</b>	<b>Valor</b>	<b>Total</b>
1.5	Thinner	Litro	2.25	4,50
2	Pintura anticorrosiva	Litro	10,50	21,00
2	Pintura para acabado	Litro	16.00	32,00
2	Disco de corte 12"x3mm	unidad	4,50	9.00
2	Lija de hierro #100	Unidad	0,60	1,20
<b>SUBTOTAL</b>				<b>67.70</b>

**AUTOR:** KATHERINE CEVALLOS (2019)

#### 4.3.4. Costo de mano de obra

RUBBERACTION S.A. empresa ecuatoriana que se encarga de transformar los neumáticos en fin de uso en granulado de caucho, que se usa para la elaboración de adoquines, mesones decorativos, asfalto, entre otros, mencionó que al día procesan 10,11 toneladas de este material y el costo varía entre \$140 y \$160.

En esta tabla se realiza los costos que corresponden a la mano de obra ejecutada en la construcción y elaboración del sistema de barreras.

**Tabla 19.** Costo de mano de obra

<b>Cant.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unid.</b>	<b>Valor</b>	<b>Total</b>
1	Maestro Mecánico	5.00	15	75.00
1	Ayudante	3.00	15	45.00
1	Procesamiento del caucho granulado			140.00
<b>SUBTOTAL</b>				<b>260.00</b>

**AUTOR:** KATHERINE CEVALLOS (2019).

#### 4.3.5. Costo de ingeniería y diseño

Pertenece a los costos debido a la realización de cálculos y elementos diseñados en el programa SolidWorks. El costo establecido por diseñadores en el mercado nacional es de \$15 por hora. De esta manera se determina lo siguiente:

**Tabla 20.** Costos de ingeniería y diseño

N°	Descripción	Salario /hora	Horas	Total
1	Ingeniería y diseño	15,00	40	600,00
<b>SUBTOTAL</b>				<b>600,00</b>

**AUTOR:** KATHERINE CEVALLOS (2019).

#### 4.3.6. Presupuesto final

La **Tabla 21** se determina la sumatoria total de las cantidades anteriores y a ello se suma el costo imprevisto que tiene relación con el transporte y valores adicionales que se originan en el desarrollo del proyecto. Por lo general son equivalentes al 5% del subtotal de costos.

**Tabla 21.** Costo final del sistema de barreras sostenible

Costo de Materiales	156.00
Costo de Elementos Varios	67.70
Costo de Mano de Obra	260,00
Costo de ingeniería y diseño	600.00
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 927.70</b>
Costos Imprevistos (5%)	60.28
<b>VALOR OFERTADO</b>	<b>\$ 987.98</b>

**AUTOR:** KATHERINE CEVALLOS (2019).

## 4.4. Selección de alternativa para el óptimo diseño de la barrera de protección

### 4.4.1. Alternativa 1 (Barrera de Seguridad con cables de acero)

La Barrera de cables de acero está diseñada para recibir impactos vehiculares salvar vidas humanas y con poco mantenimiento continuo su funcionamiento normal. Antes un impacto vehicular, la Barrera actúa como una red de contención, funcionando como una “hamaca” que desacelera gradualmente el desplazamiento del vehículo. Los cables y postes especiales absorben y disipan progresivamente la inercia del vehículo impidiendo que este rebote y vuelva a los carriles de la autopista. Impidiendo así una segunda colisión, lo que ocurre al impactar las barreras tradicionales.

**Ilustración 31.** Barrera de seguridad con cable de acero



FUENTE: MALLMEX.COM

#### **Ventajas**

- Instalación sencilla. No hay partes traseras y secciones ocultas.
- No impide la visibilidad del terreno.
- Gran flexibilidad para amortiguar el impacto.

#### **Inconvenientes**

- Peligrosidad para motoristas.
- Alto costo de mantenimiento.
- Son susceptibles a la corrosión.

#### 4.4.2. Alternativa 2 (Barreras de Seguridad de Hormigón)

Las barreras prefabricadas, es un elemento de hormigón que suele utilizarse tanto en el borde como en el eje de una vía. Desempeña el propósito de evitar que los vehículos que pierdan el control, puedan salirse de la carretera. La parte lateral de la barrera tiene la función de interactuar principalmente con los neumáticos, reorientando al automotor con un mínimo daño o nulo en la carrocería. Las barreras de separación de hormigón para un ángulo de impacto normal de 20 grados, reorienta la trayectoria del vehículo por medio de las ruedas. Estas barreras, son ubicadas sobre asfalto e incorporadas entre sí por un sistema metálico que permite su continuidad como un solo elemento, aún en curvas.

**Ilustración 32.** Barrera de seguridad de hormigón



FUENTE: CONSTRUMATICA.COM

#### **Ventaja**

- Alta resistencia ante un impacto.
- Reducción de costo de mantenimiento.
- Uso temporal o indefinido.

#### **Desventajas**

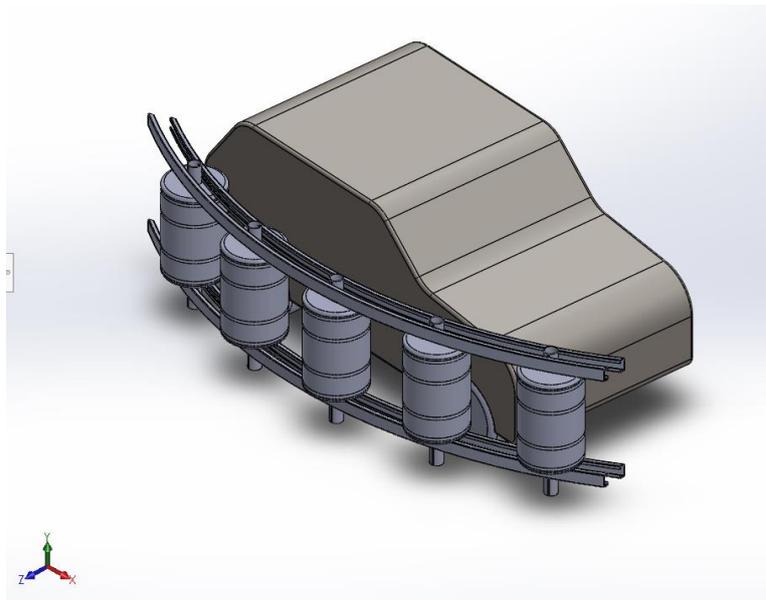
- Alto costo inicial
- Capacidad para devolver el vehículo tras la colisión a la zona transitada de la calzada.
- Espacio excesivamente limitado para la posibilidad de garantizar la reacción humana.

### 4.4.3. Alternativa 3 (Barreras de Seguridad Sostenibles)

Se trata de una barrera compuesta de barriles giratorios creados a partir de llantas recicladas, comúnmente conocido como caucho molido, que ayuda a absorber los impactos de turismos, motocicletas o camiones. Cuando un automóvil se golpea contra la barrera, el barril giratorio de caucho molido convierte la potencia del impacto del vehículo en energía rotatoria. Así mismo, los marcos inferior y superior de la barrera permiten que los neumáticos de los vehículos encajen, tanto los grandes como los pequeños, con el objetivo de preservar el sistema de dirección del vehículo y que este no termine destrozado.

Tras la colisión, tan solo las partes dañadas de la barrera deben de ser reemplazadas gracias a que se tratan de accesorios independientes. Gracias a ello, los costos de mantenimiento son bastante bajos.

**Ilustración 33.** Barrera de Seguridad con barriles



FUENTE: SOLIDWORKS

#### Ventajas

- Están diseñados para absorber un segundo choque.
- Menor costo de inversión.
- Bajo costo de mantenimiento.

#### Desventajas

- Su diseño no proteger a los motoristas.
- Tiempo de fabricación de los barriles.

#### 4.4.4. Alternativa 4 (Barreras de Seguridad Metálicas)

Las barreras de seguridad metálicas son elementos en acero laminados en frío, su geometría es en forma de w o doble onda, las cuales son acopladas sobre postes metálicos y separadores metálicos o plásticos, constituyendo un sistema flexible cuyo propósito es absorber los impactos de los vehículos al colisionar en la vía; de esta manera se preserva la vida de personas y a su vez se disminuye los daños al permitir el retorno de los vehículos a la vía. Su principal objetivo es controlar y direccionar el sentido del tránsito, indicando la alineación de la vía, exponiendo la proximidad de la carretera. Su óptima instalación es en las curvas, aunque también suelen ser instalados en línea recta. La dimensión de la barrera dependerá de la velocidad en la que los vehículos se movilen, a mayor velocidad es recomendable colocar una barrera más alta.

**Ilustración 34.** Barrera de Seguridad Metálica



FUENTE: METALESA.COM

#### **Ventajas**

- Baja severidad de impacto.
- Bajo costo de instalación.
- Rápido montaje y desmontaje.

#### **Desventajas**

- Peligro eminente para motociclista.
- Alto costo de mantenimiento.
- Reponer en caso de impacto.

#### 4.4.5. Matriz de residuos ponderados

Basado en las alternativas definidas se procede a establecer los criterios que permitirán evaluar las opciones planteadas, así como también la ponderación relativa entre ellas, sobre la cual se diseñara la barrera sostenible, el método a utilizar para la ponderación se denomina Método Analítico Jerárquico “Método AHP”.

#### 4.4.6. Criterios de Ponderación

A continuación, se enlistan los diferentes tipos de criterios necesarios para el diseño de la barrera.

- **Forma:** Su forma permite absorber y redireccionar la inercia de los vehículos que abandonen la ruta.
- **Índice de severidad:** Se entiende por índice de severidad la cualidad de un sistema que cuantifica el daño sufrido por los ocupantes en el interior del habitáculo de un vehículo ligero menor (masa de 900 kg) que impacta contra un sistema de contención.
- **Mantenimiento:** Se debe considerar el fácil mantenimiento y sencillo reemplazo de piezas y elementos mecánicos, esto ayudará a aumentar los beneficios de la barrera.
- **Costo:** El diseño deberá permitir minimizar costos de fabricación.
- **Adaptabilidad:** La barrera deberá tener la capacidad para reaccionar de manera flexible a las exigencias cambiantes e inconstantes del impacto al que estará expuesto.
- **Vida útil:** Se considera los materiales de los elementos para que su duración sea prolongada.
- **Resistencia al impacto:** El material a usar en el diseño debe soportar cargas de impacto extremas
- **Integración de elementos:** El diseño de cada elemento debe ajustarse perfectamente durante el ensamble permitiendo fijación y movilidad entre ellos.
- **Calidad:** Es determinante tanto en la duración de la barrera como en la decisión de los materiales a usar para su diseño y posterior fabricación.
- **Fiabilidad:** Debe brindar seguridad y cumplir su función de amortiguación bajo determinadas condiciones de impacto.

En la **Tabla 14** se detallan los valores a tomar para cada criterio, estos valores son asignados dependiendo de la importancia que refleja cada criterio.

**Tabla 22** Valores de criterios

<b>Escala Numérica</b>	<b>Escala Verbal</b>	<b>Explicación</b>
<b>1</b>	Igualmente importante.	Dos elementos contribuyen en igual medida al objetivo
<b>3</b>	Moderadamente importante.	Preferencia leve de un elemento sobre otro.
<b>5</b>	Fuertemente importante.	Preferencia fuerte de un elemento sobre el otro.
<b>7</b>	Importancia muy fuerte o demostrada.	Mucha más preferencia de un elemento sobre otro. Predominación demostrada.
<b>9</b>	Importancia extremadamente fuerte.	Preferencia clara y absoluta de un elemento sobre el otro.
<b>2,4,6,8</b>		Intermedio de los valores anteriores.

**FUENTE: DISEÑO CONCURRENTES**

**AUTOR: CARLES ROMEVA**

#### **4.4.7. Evaluación de los criterios ponderados**

Para la evolución de la ponderación cada criterio se confronta con los criterios restantes asignando así los valores, estos valores determinarán el criterio de mayor importancia para el diseño de la barrera de seguridad. De los resultados obtenidos en la tabla 15 se considera con mayor a menor rango los siguientes criterios:

- Resistencia al impacto.
- Calidad.
- Fiabilidad.
- Vida útil.
- Mantenimiento.
- Costo.
- Forma.
- Integración de elementos.
- Índice de severidad.
- Adaptabilidad.

**Tabla 23.** Matriz de ponderación y sus criterios

	Forma	Índice de severidad	Mantenimiento	Costo	Adaptabilidad	Vida útil	Resistencia al impacto	Integración de elementos	Calidad	Fiabilidad
Forma	1	2	0,1	0,2	3	0,2	0,1	2	0,2	0,1
Índice de severidad	0,3	1	0,2	0,3	2	0,3	0,1	0,3	0,1	0,2
Mantenimiento	7	5	1	5	3	0,2	0,2	3	0,3	0,2
Costo	5	3	0,2	1	3	0,2	0,2	3	0,3	0,2
Adaptabilidad	0,3	0,5	0,3	0,3	1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,1
Vida útil	5	3	5	5	3	1	0,3	3	0,3	0,3
Resistencia al Impacto	7	9	5	5	9	3	1	7	3	3
Integración de elementos	0,5	3	0,3	0,3	3	0,3	0,1	1	0,1	0,1
Calidad	5	7	3	3	7	3	0,3	7	1	3
Fiabilidad	7	5	5	5	9	3	0,3	7	0,3	1
	38,2	38,5	20,2	25	43	11,6	2,9	33,7	6,0	8,3

AUTOR: CEVALLOS CASTRO [2019]

**Tabla 24** Matriz normalizada

MATRIZ NORMALIZADA										VECTOR PROMEDIO
0,03	0,05	0,01	0,01	0,07	0,02	0,05	0,06	0,03	0,02	0,03
0,01	0,03	0,01	0,01	0,05	0,03	0,04	0,01	0,02	0,02	0,02
0,18	0,13	0,05	0,2	0,07	0,02	0,07	0,09	0,06	0,02	0,09
0,13	0,08	0,01	0,04	0,07	0,02	0,07	0,09	0,06	0,02	0,06
0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,04	0,01	0,02	0,01	0,02
0,13	0,08	0,25	0,2	0,07	0,09	0,11	0,09	0,06	0,04	0,11
0,18	0,23	0,25	0,2	0,21	0,26	0,34	0,21	0,5	0,36	0,27
0,01	0,08	0,02	0,01	0,07	0,03	0,05	0,03	0,02	0,02	0,03
0,13	0,18	0,15	0,12	0,16	0,26	0,11	0,21	0,17	0,36	0,19
0,18	0,13	0,25	0,2	0,21	0,26	0,11	0,21	0,06	0,12	0,17

AUTOR : CEVALLOS CASTRO [2019]

#### 4.4.7.1. Ponderación – Alternativa con respecto a su forma

La evaluación con respecto al criterio forma, determinó como prioridad a la alternativa 3, la barrera con barriles de seguridad, este sistema absorbe la energía de impacto y convierte en energía de rotación destinando al auto de regreso a la vía.

**Tabla 25.** Evaluación del criterio forma

CRITERIO: Forma									
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	MATRIZ NORMALIZADA				Vector Promedio
Alternativa 1	1	2	0,1	0,5	0,1	0,24	0,1	0,04	0,12
Alternativa 2	0,5	1	0,2	5	0,05	0,12	0,13	0,37	0,17
Alternativa 3	7	5	1	7	0,67	0,61	0,67	0,52	0,62
Alternativa 4	2	0,2	0,1	1	0,19	0,02	0,1	0,07	0,10
	10,5	8,2	1,4	14					

AUTOR : CEVALLOS CASTRO [2019]

#### 4.4.7.2. Ponderación – Alternativa con respecto al índice de severidad

Los resultados obtenidos en la tabla 26, mediante la evaluación al índice de severidad, establecen que la alternativa 3 proporciona mayor seguridad a los ocupantes al momento de que el vehículo se impacte.

**Tabla 26.** Evaluación del criterio índice de severidad.

CRITERIO: Índice de severidad									
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	MATRIZ NORMALIZADA				Vector Promedio
Alternativa 1	1	2	0,1	2	0,09	0,24	0,08	0,15	0,14
Alternativa 2	0,5	1	0,2	3	0,05	0,12	0,14	0,23	0,13
Alternativa 3	9	5	1	7	0,82	0,6	0,69	0,54	0,66
Alternativa 4	0,5	0,3	0,1	1	0,05	0,04	0,1	0,08	0,07
	11	8,3	1,4	13					

AUTOR : CEVALLOS CASTRO [2019]

#### 4.4.7.3. Ponderación – Alternativa con respecto al mantenimiento

De acuerdo con los resultados se estima que la alternativa 2 es la principal opción en cuanto al mantenimiento, debido a que se adapta a distintos terrenos y su fabricación facilitaría el cambio de su estructura.

**Tabla 27.** Evaluación del criterio Mantenimiento

CRITERIO: Mantenimiento									
Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	MATRIZ NORMALIZADA				Vector Promedio
Alternativa 1	1	0,2	0,2	3	0,09	0,03	0,02	0,21	0,09
Alternativa 2	5	1	7	5	0,44	0,16	0,83	0,36	0,45
Alternativa 3	5	0,14	1	5	0,44	0,02	0,12	0,36	0,23
Alternativa 4	0,33	5	0,2	1	0,03	0,79	0,02	0,07	0,23
	11,3	6,34	8,4	14					

AUTOR : CEVALLOS CASTRO [2019]

#### 4.4.7.4. Ponderación – Alternativa con respecto al costo

La alternativa 3 es uno de los sobresalientes en la valoración de costo, esto se debe a que la materia prima para la elaboración de los barriles es a base de recolección y recuperación/ reciclaje de los residuos de neumáticos.

**Tabla 28.** Evaluación del criterio Costo

CRITERIO: Costo									
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	MATRIZ NORMALIZADA				Vector Promedio
Alternativa 1	1	3	0,2	0,1	0,08	0,19	0,13	0,02	0,10
Alternativa 2	0,3	1	0,1	0,2	0,03	0,06	0,1	0,02	0,05
Alternativa 3	5	7	1	7	0,38	0,44	0,67	0,84	0,58
Alternativa 4	7	5	0,1	1	0,53	0,31	0,1	0,12	0,26
	13,3	16	1,4	8,3					

AUTOR : CEVALLOS CASTRO [2019]

#### 4.4.7.5. Ponderación – Alternativa con respecto a la adaptabilidad

De acuerdo al análisis en cuanto a la adaptabilidad se establece en la Tabla 29 que la alternativa 2 es la más apropiada para ser implementada en diversas superficies, teniendo como valor promedio de 0,20.

**Tabla 29.** Evaluación del criterio Adaptabilidad

CRITERIO: Adaptabilidad									
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	MATRIZ NORMALIZADA				Vector Promedio
Alternativa 1	1	0,2	0,33	0,1	0,06	0,13	0,04	0,01	0,06
Alternativa 2	5	1	7	7	0,31	0,67	0,82	0,53	0,58
Alternativa 3	3	0,14	1	5	0,19	0,1	0,12	0,38	0,20
Alternativa 4	7	0,14	0,2	1	0,44	0,1	0,02	0,08	0,16
	16	1,49	8,53	13					

AUTOR : CEVALLOS CASTRO [2019]

#### 4.4.7.6. Ponderación – Alternativa con respecto a la vida útil

Debido a las propiedades que tiene el caucho en cuanto a la durabilidad se establecieron los valores de mayor rango a la alternativa 3.

**Tabla 30.** Evaluación del criterio Vida útil

CRITERIO: Vida útil									
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	MATRIZ NORMALIZADA				Vector Promedio
Alternativa 1	1	0,2	0,1	7	0,08	0,03	0,1	0,35	0,14
Alternativa 2	5	1	0,2	5	0,38	0,16	0,13	0,25	0,23
Alternativa 3	7	5	1	7	0,53	0,78	0,67	0,35	0,58
Alternativa 4	0,1	0,2	0,1	1	0,01	0,03	0,1	0,05	0,05
	13,1	6,4	1,4	20					

AUTOR : CEVALLOS CASTRO [2019]

#### 4.4.7.7. Ponderación – Alternativa con respecto a la Resistencia al impacto

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la simulación se establecieron valores significativos que generaron como mejor opción a la alternativa 3 con un valor estimado de 0.62.

**Tabla 31.** Evaluación del criterio Resistencia al impacto

CRITERIO: Resistencia al impacto									
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	MATRIZ NORMALIZADA				Vector Promedio
Alternativa 1	1	0,1	0,1	0,2	0,05	0,01	0,08	0,02	0,04
Alternativa 2	7	1	0,1	0,2	0,32	0,08	0,1	0,02	0,13
Alternativa 3	9	7	1	7	0,41	0,53	0,72	0,83	0,62
Alternativa 4	5	5	0,1	1	0,23	0,38	0,1	0,12	0,21
	22	13,1	1,4	8,4					

AUTOR : CEVALLOS CASTRO [2019]

#### 4.4.7.8. Ponderación – Alternativa con respecto a la Integración de elementos

Para el análisis del criterio integración de elementos se seleccionó la alternativa 2 debido a que su estructura de concreto no conlleva elementos o piezas para su funcionamiento es decir solo consta de un solo material (concreto).

**Tabla 32.** Evaluación del criterio Integración de elementos

CRITERIO: Integración de elementos									
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	MATRIZ NORMALIZADA				Vector Promedio
Alternativa 1	1	0,14	0,14	3	0,07	0,08	0,02	0,23	0,10
Alternativa 2	7	1	5	2	0,46	0,54	0,8	0,15	0,49
Alternativa 3	7	0,2	1	7	0,46	0,11	0,16	0,54	0,32
Alternativa 4	0,33	0,5	0,14	1	0,02	0,27	0,02	0,08	0,10
	15,3	1,84	6,29	13					

AUTOR : CEVALLOS CASTRO [2019]

#### 4.4.7.9. Ponderación – Alternativa con respecto a la calidad

La alternativa 2 presenta un valor promedio de ponderación de 0.58 ya que la calidad del material detiene al vehículo en el momento que se provoca el impacto.

**Tabla 33.** Evaluación del criterio Calidad

CRITERIO: Calidad									
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	MATRIZ NORMALIZADA				Vector Promedio
Alternativa 1	1	0,2	0,2	0,2	0,06	0,14	0,02	0,01	0,06
Alternativa 2	5	1	9	7	0,31	0,69	0,87	0,46	0,58
Alternativa 3	5	0,11	1	7	0,31	0,08	0,1	0,46	0,24
Alternativa 4	5	0,14	0,14	1	0,31	0,1	0,01	0,07	0,12
	16	1,45	10,3	15					

AUTOR : CEVALLOS CASTRO [2019]

#### 4.4.7.10. Ponderación – Alternativa con respecto a la fiabilidad

Teniendo en cuenta las simulaciones realizadas se determina que la alternativa 3 es óptima con un valor promedio de 0.53 debido a que su comportamiento frente al impacto es totalmente fiable, es decir cumple la función de amortiguar el golpe y redireccionar el vehículo a la vía.

**Tabla 34.** Evaluación del criterio Fiabilidad

CRITERIO: Fiabilidad									
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	MATRIZ NORMALIZADA				Vector Promedio
Alternativa 1	1	3	0,14	0,2	0,08	0,33	0,1	0,02	0,13
Alternativa 2	0,33	1	0,2	7	0,03	0,11	0,13	0,53	0,20
Alternativa 3	7	5	1	5	0,53	0,55	0,67	0,38	0,53
Alternativa 4	5	0,14	0,14	1	0,38	0,02	0,1	0,08	0,14
	13,3	9,14	1,49	13					

AUTOR : CEVALLOS CASTRO [2019]

#### 4.4.7.11. Tabla de conclusiones

Teniendo en cuenta los datos obtenidos anteriormente, en la tabla 35 se procede a realizar el análisis de residuos ponderados generando como resultado que la alternativa 3 es una óptima iniciativa para continuar con la propuesta planteada ya que el diseño y los componentes del sistema permitirán reducir los niveles de contaminación generados por los desechos de neumáticos y aprovechar sus propiedades para resistir el impacto derivado de una colisión.

**Tabla 35.** Valores finales del diseño

Criterio	Forma	Índice de severidad	Mantenimiento	Costo	Adaptabilidad	Vida útil	Resistencia al impacto	Integración de elementos	Calidad	Fiabilidad	Priorización
Alternativa 1	0,12	0,14	0,19	0,1	0,06	0,14	0,04	0,1	0,06	0,13	0,1
Alternativa 2	0,17	0,13	0,45	0,1	0,06	0,23	0,13	0,49	0,58	0,2	0,27
Alternativa 3	0,62	0,66	0,23	0,6	0,2	0,58	0,62	0,32	0,24	0,53	0,47
Alternativa 4	0,1	0,07	0,23	0,3	0,16	0,05	0,21	0,1	0,12	0,14	0,16
Ponderación	0,03	0,02	0,09	0,1	0,02	0,11	0,27	0,03	0,19	0,17	

**5. CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1. Conclusiones

- Se diseñó un sistema de barreras de protección vehicular a partir de neumáticos reciclados combinado con un sistema convencional metálico, cuyos elementos principales son separadores que fueron diseñados bajo la NORMA INEN – 2473: 2013 que establece como material el acero estructural de Perfil G 150x75x25, espesor 3 mm y longitud de 6 m, estos fueron acoplados a los barriles rotativos que bajo el principio del reciclaje y los procesos de manufacturación se obtiene el caucho granulado cuyas propiedades mecánicas son apropiadas para la respectiva simulación dado que los únicos parámetros de variación son la densidad  $0.7942 \text{ gr/cm}^3$  y el módulo de elasticidad de 884,73 Psi.
- Mediante los criterios de diseño y la utilización del software de diseño y aplicación mecánica ANSYS ACADEMIC R3, se realizaron las fases del bosquejo, generación del mallado cuyas condiciones de velocidad de impacto fueron de 75 Km/h, 90 Km/h y 110 Km/h, tiempo establecido de impacto de 0.2 sg, una curva de 2500 m, ángulo de impacto  $20^\circ$  y restricciones de movimiento, estos valores generaron el resultado más significativo de la simulación, dada la velocidad de 110Km/h se obtuvo una deformación total del barril de 0.30 m, la restricción del movimiento (poste) sobrepasa el límite de rotura siendo 757 MPa ocasionando la rotura permanente del elemento y 0.16 m de deformación plástica.
- Se analizó el presupuesto de construcción de barreras de protección vehicular enfocándose en el costo de los materiales obteniendo un total de \$156,00, incluyendo el costo de elementos varios \$67,70, el costo de mano de obra \$260, costo de ingeniería y diseño \$600 que nos proporciona el presupuesto final aproximado de \$987,98, quedando como mejor opción la elaboración de barreras a partir de neumáticos reciclados, debido a sus bajos costos de elaboración y mantenimiento frente a los sistemas de protección vehicular convencionales.

- Con la matriz de residuos ponderados, se delimitó los siguientes criterios: forma, índice de severidad, mantenimiento, costo, adaptabilidad, vida útil, resistencia al impacto, integración de elementos, calidad y fiabilidad, obteniendo como resultado la barrera sostenible siendo esta la mejor alternativa para actuar frente a un posible colapso vehicular, llegando a absorber las cargas de impacto de una manera más distribuidas y redireccionando al vehículo para mantenerlo dentro de la calzada.

## 5.2. Recomendaciones

- Es necesario realizar una inspección y un correcto mantenimiento a los elementos que conforman la baranda de seguridad, con el fin de brindar mayor seguridad a los vehículos y pasajeros que circulan por las carreteras, ya que al momento de realizar el análisis se pudo observar barandas de seguridad deformadas e impactadas.
- Se recomienda emplear otra forma de anclaje al piso de estos elementos de seguridad, ya que se pudo evidenciar que los elementos de restricción de movimiento al momento de un impacto a velocidades elevadas, no resisten y por lo tanto no cumplen su objetivo que es deformarse y absorber energía. Además, se recomienda respetar los límites de velocidad establecidos.
- Para futuras implementaciones se recomienda realizar un correcto análisis económico, el mismo que constará de factores con mayor relevancia en el diseño del sistema de barreras sostenibles y así conocer cuan factible es su implantación.
- Los métodos de ponderación en estudios de factibilidad son de gran importancia, permitiendo realizar una comparación de datos característicos que nos proporcionan un perfil con mayor exactitud del comportamiento real que el sistema de barreras sostenible tendrá al momento de ser implementado.

**6. CAPÍTULO VI**  
**BIBLIOGRAFÍA**

## 6.1. BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. B. Pretel, Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras puentes, Madrid: Liteam, 2010.
- [2] D. Sofia, «CASIOPEA,» 26 Septiembre 2010. [En línea]. Available: [https://wiki.ead.pucv.cl/Historia\\_Del\\_Caucho](https://wiki.ead.pucv.cl/Historia_Del_Caucho). [Último acceso: 22 Septiembre 2019].
- [3] J. V. Pedro Bravo, Analisis de barrera de seguridad en carrteras de la Porvincia c Azuay, Cuenca, 2015.
- [4] C. Bembibre, «Definicion ABC,» 04 Septiembre 2010. [En línea]. Available: <https://www.definicionabc.com/general/impacto.php>. [Último acceso: 02 Diciembre 2019].
- [5] G. V. Gonzalez, Guía para el análisis y diseño de seguridad vial, Mexico, 2015.
- [6] I. C. Q. Serrano, «Programa de Infraestructura del Transporte PITRA LanammeUCR, vol. 3, n° 26, p. 8, 2012.
- [7] «BRIKAL S.R.L.,» [En línea]. Available: <https://www.brikal.com/vallapampa.pl> [Último acceso: 17 Septiembre 2019].
- [8] H. D. Solminihac, Gestión de infraestructura vial, Chile : Ediciones UC, 2018.
- [9] S. M. Kozel, «Historia de la Barrera de New Jersey,» 22 Noviembre 2004. [En línea]. Available: [http://www.roadstothefuture.com/Jersey\\_Barrier.html](http://www.roadstothefuture.com/Jersey_Barrier.html). [Último acceso: 17 Septiembre 2019].
- [10] INEN2473, «Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2473,» Quito, 2013.
- [11] A. M. Gonzalez, Aplicacion del caucho reciclado como solucion constructi ecologica, Valencia, 2015.
- [12] I. G. Castro, «Materiales y Compuestos para la Industria del Neumatico,» Diciembre 2018. [En línea]. Available: [https://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material\\_Complementario/Materiales\\_y\\_Cor\\_puestos\\_para\\_la\\_Industria\\_del\\_Neumatico.pdf](https://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Materiales_y_Cor_puestos_para_la_Industria_del_Neumatico.pdf). [Último acceso: 03 Diciembre 2019].
- [13] M. P. C. Victor, «Diseño triturador de neumaticos usados,» Abril 2010. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/W8/Downloads/UPS-CT002321.pdf>. [Último acceso: 08 Diciembre 2019].
- [14] P. M. L. Morocho, 5 Septiembre 2013. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/W8/Downloads/UPS-CT002730.pdf>. [Último acceso: 08 Diciembre 2019].



**7. CAPÍTULO VII  
ANEXOS**

## ANEXOS

(D) Diámetro	Espesor	Peso	Área	I	W	I
Pulgadas	mm	Kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>
7/8"	1.50	0.77	0.98	0.53	0.47	0.73
1"	1.50	0.88	1.13	0.81	0.64	0.85
1 1/4"	1.50	1.12	1.43	1.63	1.03	1.07
1 1/2"	1.50	1.35	1.72	2.89	1.52	1.30
1 3/4"	1.50	1.59	2.02	4.67	2.10	1.52
2"	1.50	1.82	2.32	7.06	2.78	1.74
2 1/2"	1.50	2.29	2.92	14.05	4.42	2.19
3"	1.50	2.76	3.52	24.56	6.45	2.64
1"	2.00	1.15	1.47	1.01	0.80	0.83
1 1/4"	2.00	1.47	1.87	2.08	1.31	1.05
1 1/2"	2.00	1.78	2.27	3.71	1.95	1.29
1 3/4"	2.00	2.09	2.67	6.02	2.71	1.50
2"	2.00	2.41	3.07	9.14	3.60	1.73
2 1/2"	2.00	3.03	3.86	18.29	5.76	2.18
3"	2.00	3.66	4.66	32.11	8.43	2.62
2"	3.00	3.54	4.51	12.92	5.09	1.69
2 1/2"	3.00	4.48	5.70	26.15	8.24	2.14
3"	3.00	5.42	6.90	46.29	12.15	2.59

**Anexo 1 .-** Dimensiones de tubos para postes de las barreras

Designación	Dimensiones				Masa Kg/m	A cm <sup>2</sup>	d1 cm	Momento de inercia		Módulo resistente		Radio de giro	
	h	b	c	e				lx	ly	Wx	Wy	ix	iy
	mm	mm	mm	mm				cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm
G 60x30x10x2	60	30	10	2	1,96	2,54	1,44	14,88	5,28	4,9	2,74	2,42	1,44
G 80x40x15x2	80	40	15	2	2,75	3,54	1,46	35,25	8,07	8,81	3,18	3,16	1,51
G 80x40x15x3	80	40	15	3	3,95	5,11	1,46	49,04	10,85	12,26	4,27	3,1	1,46
G 80x50x15x2	80	50	15	2	3,06	3,88	1,46	41,11	13,55	10,28	4,34	3,23	1,88
G100x50x15x2	100	50	15	2	3,38	4,34	1,73	69,24	14,98	13,85	4,57	4,00	1,86
G100x50x15x3	100	50	15	3	4,89	6,31	1,72	97,78	20,51	19,56	6,25	3,94	1,8
G100x50x15x4	100	50	15	4	6,29	8,15	1,71	122,5	24,85	24,49	7,55	3,88	1,75
G100x50x20x4	100	50	20	4	6,60	8,55	1,85	126,7	28,5	25,34	9,05	3,85	1,83
G100x50x25x5	100	50	25	5	8,35	10,86	1,98	152,51	36,52	30,5	12,09	3,75	1,83
G125x50x15x2	125	50	15	2	3,77	4,84	1,56	116,4	16,16	18,63	4,69	4,91	1,83
G125x50x15x3	125	50	15	3	5,48	7,06	1,55	165,5	22,16	26,48	6,43	4,84	1,77
G125x50x15x4	125	50	15	4	7,07	9,15	1,54	208,7	26,88	33,39	7,78	4,78	1,71
G125x50x15x5	125	50	15	5	8,55	11,11	1,54	246,2	30,41	39,39	8,78	4,71	1,65
G125x50x50x4	125	50	20	4	7,39	9,55	1,68	217	30,9	34,7	9,32	4,77	1,8
G125x50x25x5	125	50	25	5	9,33	12,11	1,8	264,3	39,88	42,29	12,46	4,67	1,82
G125x50x30x6	125	50	30	6	11,32	14,73	1,92	307,1	48,69	49,14	15,81	4,56	1,81
G150x50x15x2	150	50	15	2	4,16	5,34	1,42	178,7	17,13	23,83	4,78	5,79	1,79
G150x50x15x3	150	50	15	3	6,07	7,81	1,42	255,2	23,49	34,03	6,56	5,72	1,73
G150x50x15x4	150	50	15	4	7,86	10,15	1,41	323,5	28,51	43,13	7,95	5,65	1,68
G150x50x15x5	150	50	15	5	9,53	12,36	1,41	383,6	32,27	51,15	8,98	5,57	1,62
G150x50x20x4	150	50	20	4	8,17	10,5	1,54	337	32,9	44,9	9,52	5,65	1,77
G150x75x25x5	150	75	25	5	12,28	15,86	2,65	545,4	117,2	72,71	24,17	5,86	2,72
G150x75x30x6	150	75	30	6	14,86	19,23	2,78	641,4	144,5	85,52	30,57	5,77	2,74
G175x50x15x2	175	50	15	2	4,56	5,84	1,31	257,7	17,92	29,45	4,85	6,64	1,75
G175x50x15x3	175	50	15	3	6,66	8,56	1,31	369,4	24,59	42,22	6,66	6,57	1,7
G175x50x15x4	175	50	15	4	8,64	11,15	1,3	470,0	29,85	53,71	8,07	6,49	1,64
G175x50x15x5	175	50	15	5	10,51	13,61	1,3	559,7	33,79	63,97	9,14	6,41	1,58
G175x75x25x4	175	75	25	4	10,84	13,9	2,48	653,0	105	74,6	20,9	6,84	2,75
G175x75x25x5	175	75	25	5	13,26	17,11	2,47	786,0	123,9	89,82	24,63	6,78	2,69
G175x75x30x6	175	75	30	6	16,03	20,73	2,6	929,4	152,8	106,2	31,19	6,7	2,72
G200x50x15x2	200	50	15	2	4,95	6,34	1,21	354,9	18,59	35,49	4,91	7,48	1,71
G200x50x15x3	200	50	15	3	7,25	9,31	1,21	510,3	25,51	51,03	6,73	7,4	1,66
G200x50x15x4	200	50	15	4	9,43	12,15	1,21	651,4	30,96	65,14	8,18	7,32	1,6
G200x50x15x5	200	50	15	5	11,49	14,86	1,21	778,3	35,06	77,83	9,26	7,24	1,54
G200x75x25x4	200	75	25	4	11,63	14,9	2,32	895,0	110,0	89,50	21,3	7,64	2,71
G200x75x25x5	200	75	25	5	14,24	18,37	2,32	1080,0	129,6	108,0	25,02	7,67	2,66
G200x75x30x6	200	75	30	6	17,21	22,23	2,45	1282,0	160,2	128,2	31,73	7,59	2,68
G250x75x25x4	250	75	25	4	13,20	6,90	2,07	1520,0	118,0	122,0	21,7	9,48	2,64
G250x100x25x5	250	100	25	5	18,17	23,36	2,73	2219,0	285,3	177,5	39,24	9,75	3,49
G250x100x30x6	250	100	30	6	21,92	8,23	3,1	2647,0	383,5	219,8	55,58	9,68	3,69
G300x100x30x4	300	100	30	4	16,65	21,3	2,84	2860,0	274,0	191,0	38,3	11,6	3,58
G300x100x35x5	300	100	35	5	20,91	26,9	2,97	3560,0	351,0	237,0	49,9	11,5	3,62
G300x100x35x6	300	100	35	6	24,75	31,8	2,96	4170,0	404,0	278,0	57,4	11,4	3,56

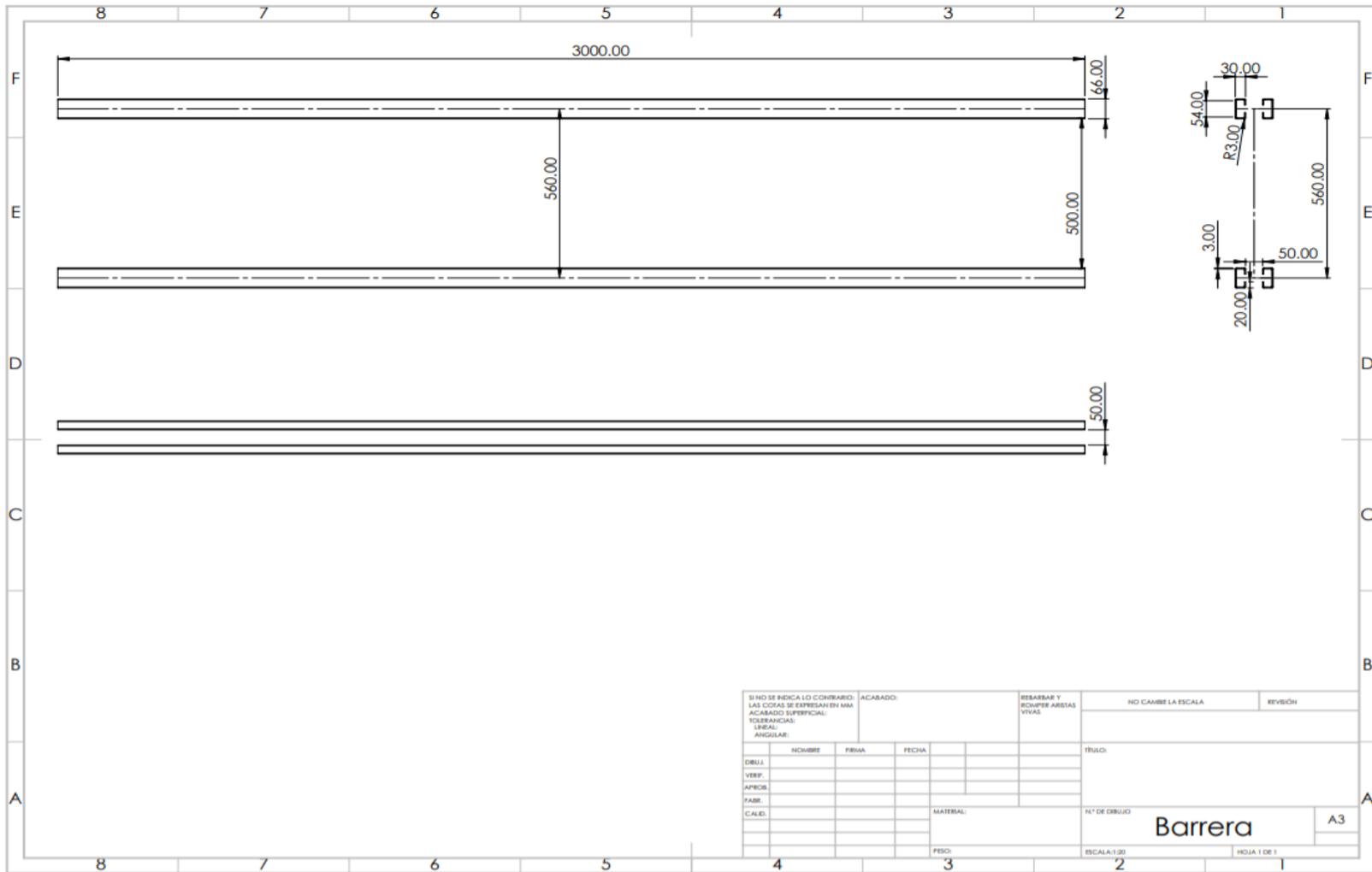
Anexo 2.- Dimensiones de correas para los separadores de las barreras

	<p><b>CAUCHO GRANULADO</b></p> <hr/> <p><b>GRANULADO DE NEUMATICOS USADOS</b></p>	
---	---	---

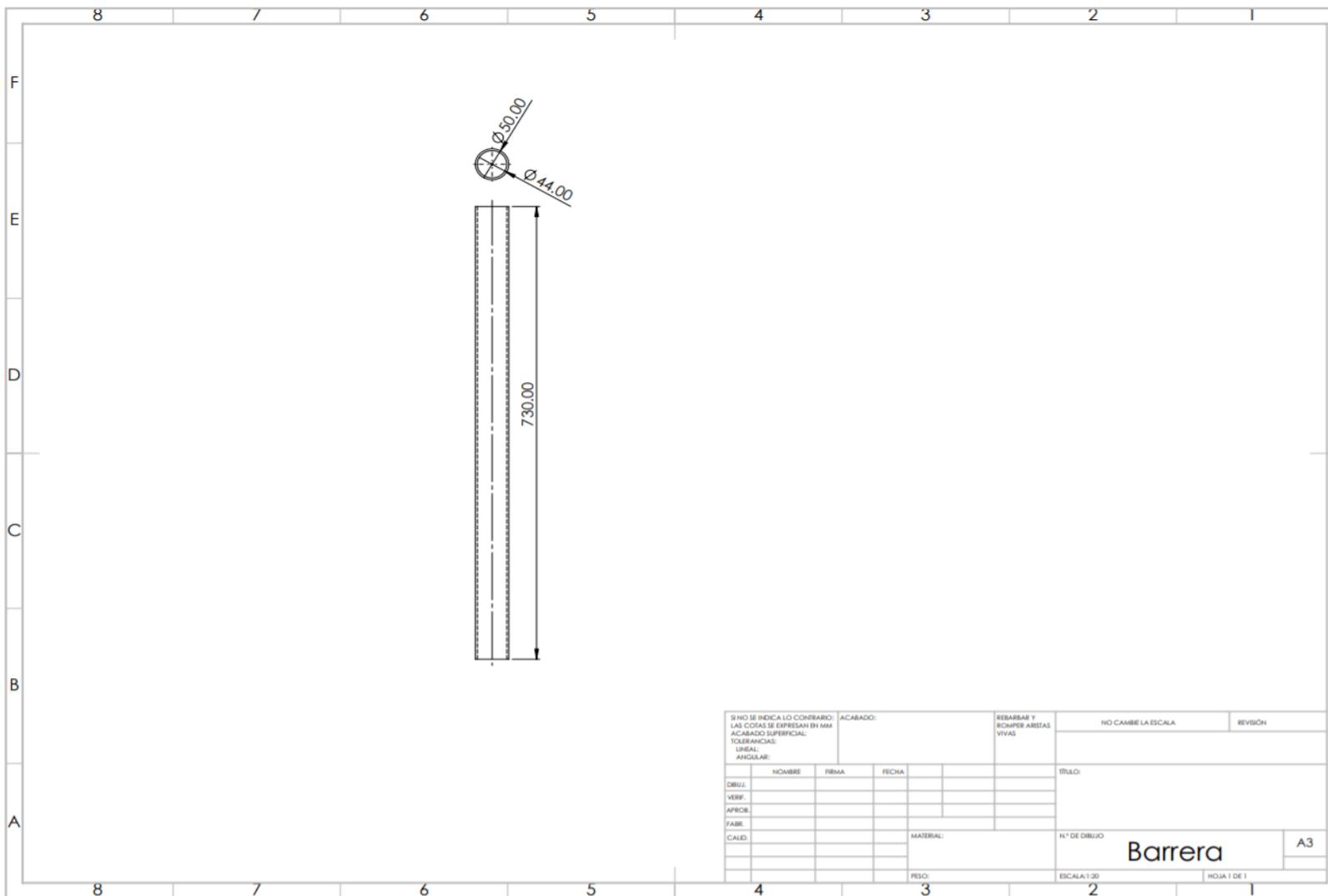
**4. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS.**

PROPIEDADES FISICAS	DESCRIPCION
Forma	Sólidos en forma de granulados y polvo.
Color	Negro
Olor	Caucho característico
Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	0.7942 – 1.032
Peso específico	1,15 – 1,27
Humedad (%)	< 0.75
Punto de combustión (°C)	300 - 450
PROPIEDADES QUIMICAS	DESCRIPCION
Extracto cetónico (%)	5,00 – 22,00
Contenido en cenizas (%)	7,00 – 11,00
Contenido en polímeros NR/SR (%)	70/30 – 60/40
Contenido de negro de humo (%)	26,00 – 38,00
Contenido de caucho natural (%)	10,00 – 35,00
Contenido en hidrocarburo de caucho (%)	57,00 - 58,00
Contenido de Plomo (mg/kg)	< 0.03
Azufre (%)	1,0 – 7,00
pH (25°C)	8,12 – 8,20
Solubilidad	Insoluble en agua, parcialmente soluble en acetona.

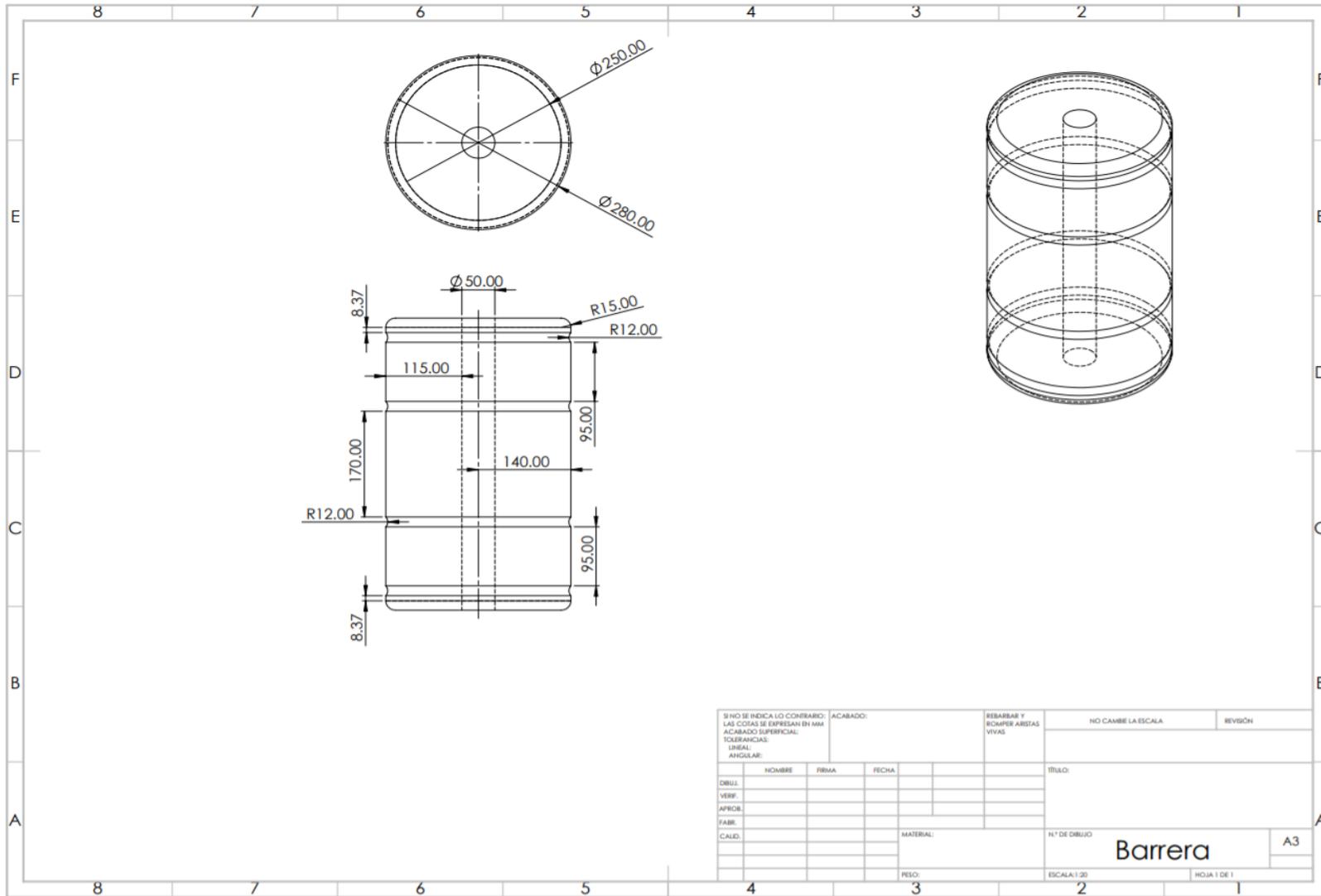
**Anexo 3.-** Propiedades del caucho granulado de neumáticos usados



Anexo 4.- Dimensiones de los separadores



**Anexo5.- Dimensiones del poste (elemento de restricción)**



Anexo 6.- Dimensiones del barril