

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1. Introducción**

La seguridad vial en nuestro país tiene muchas falencias y soluciones para estas, generalmente no son las convenientes. En este proyecto analizaremos las barreras de contención instaladas en nuestras carreteras de tres distintos tramos, los cuales serán observados con el respaldo de la norma NB 165002.

Las barreras viales son un medio eficaz para evitar o proteger zonas susceptibles a riesgos de accidentes de tránsito, los cuales en los últimos años ha reducido notablemente el número de percances en las carreteras. El 40% de los accidentes en carreteras se producen por la ausencia barreras y como consecuencia el despiste de los autos. Si no existen barreras de seguridad que contengan un vehículo fuera de control, esto puede ocasionar el vuelco de los mismos, impactos con otros vehículos, y víctimas peatonales. En cualquiera de los casos el número de víctimas fatales aumenta notablemente.

Las Barreras de Seguridad forman parte esencial y crítica para garantizar la seguridad vial en nuestras carreteras, ya que contienen y re direccionan a los vehículos que están fuera de control, reduciendo así los riesgos para los ocupantes, y para otros usuarios de la carretera.

Con este trabajo se procura analizar el funcionamiento, beneficios que estos traen, requisitos que deben cumplir y donde deben ser implementados, para reducir el número de damnificados en accidentes.

#### **1.1. Justificación**

En nuestra ciudad como en el país, el parque automotor tuvo un crecimiento considerable, el cual en las carreteras este se ve reflejado, como consecuencia trae el incremento de accidentes e inseguridad en las vías. Lo cual la importancia de diseño geométrico y estructural no lo son todo y que cumpla con todas las exigencias ingenieriles, sino también poner a disposición seguridad vial.

Para esto se proporciona en las carreteras las barreras de contención para seguridad vial, las cuales están respaldadas en una norma, para su debida implementación. Estas barreras de contención deben estar tomadas en cuenta en los tramos que así lo soliciten.

Los tramos elegidos para el trabajo, serán analizados en respaldo de la norma, y así tener una constancia de su correcta aplicación o la falta de estas.

## **1.2. Planteamiento del problema**

### **1.2.1. Situación problemática**

Se conoce en nuestro país las estadísticas de accidentes viales, y en estos se puede nombrar a los “accidentes por salida de la vía” los cuales son los producidos por vehículos que se salen de la carretera y vuelcan, colisionan o atropellan y por esto se producen al menos un 30% de muertes en las vías.

En Bolivia según el centro de investigación y capacitación en seguridad vial, en la Universidad Policial, se da a conocer un índice muy elevado de muertes por accidentes de tránsito, que va creciendo en los últimos años.

De las principales causas de muerte a nivel nacional o internacional, las colisiones en las carreteras son la segunda, producen 1 millón de muertos y hasta más de 55 millones de heridos al año, producto de estas colisiones.

Por lo cual se busca analizar las barreras de contención en las vías interdepartamentales, las cuales deberían ser fundamentales para la seguridad vial, para quienes usan nuestras carreteras. Viendo que estas puedan ser la medida más acertada para reducir el alto índice de accidentes, y reducir el número de víctimas fatales.

### **1.2.2. Problema**

Evaluyendo las barreras de contención respaldadas en la norma en el marco de la seguridad vial; ¿será que las barreras de contención cumplen con requerimientos técnicos según la norma?

### **1.3. Objetivos del proyecto**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar la conformidad y desempeño de las barreras de contención vial instaladas en los tramos Cieneguillas, El Cóndor y Yunchará, con base en los requisitos técnicos de la norma NB 165002, mediante análisis de aforos vehiculares y velocidades operativas, con el fin de proponer una solución técnica adecuada, que garantice un nivel de contención acorde a las condiciones reales de tránsito y mejore la seguridad vial.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- ❖ Identificar y caracterizar las barreras de contención actualmente instaladas en los tramos Cieneguillas, El Cóndor y Yunchará, considerando su tipología, dimensiones y estado físico.
- ❖ Recolectar y analizar datos operacionales del tránsito vehicular (aforo, tipos de vehículos, velocidades promedio y máximas) en los tramos estudiados, según lo establecido por la Ley de Cargas de Bolivia.
- ❖ Evaluar el nivel de contención requerido en cada tramo, en función de las condiciones reales del tráfico y los parámetros establecidos en la norma NB 165002.
- ❖ Determinar la conformidad técnica de las barreras existentes con respecto a los criterios y exigencias de la norma NB 165002.
- ❖ Proponer una solución técnica alternativa, como la implementación de barreras metálicas de triple onda, que garantice un nivel de contención adecuado para las condiciones reales de circulación y mejore la seguridad vial.

### **1.4. Hipótesis**

La instalación de barreras de contención en carreteras, conforme a los estándares de la norma NB 165002, contribuye significativamente a la reducción de accidentes graves y mejora la seguridad vial al aumentar la efectividad en la contención de vehículos en situaciones de impacto. La aplicación de estos elementos, está definido según al

comportamiento de tránsito y topografía del tramo. Entonces podrían ser evaluados los tramos para poder conocer si las barreras de contención están aplicadas de la mejor manera para la contención vehicular en las carreteras de nuestro departamento.

### **1.5. Alcance**

La presente investigación se enfoca exclusivamente en el análisis de barreras de contención metálicas instaladas en los tramos carreteros Cieneguillas, El Cóndor y Yunchará, dentro del marco normativo de la NB 165002. Se excluyen del estudio otros tipos de sistemas de contención vial (como muros de hormigón, defensas mixtas o elementos móviles).

El estudio comprende un relevamiento de campo que incluye: el levantamiento de las características físicas de las barreras existentes, aforos vehiculares según la Ley de Cargas de Bolivia, medición de velocidades de operación y verificación de señalización vial. Estos datos permitirán evaluar la conformidad técnica de las barreras instaladas en relación con los criterios de diseño, ubicación y nivel de contención exigidos por la norma. La investigación es de tipo descriptiva, comparativa y propositiva, con un enfoque transeccional, ya que se realiza en un momento específico en el tiempo. Se trabaja con una variable principal: las barreras metálicas de contención, pero se integran también variables complementarias como el tránsito vehicular y la señalización, en función del análisis de seguridad vial.

Se busca identificar fortalezas, deficiencias y oportunidades de mejora en la implementación de la NB 165002, proponiendo recomendaciones técnicas, que contribuyan a optimizar la seguridad vial en los tramos evaluados.

Los resultados de esta investigación podrán servir como insumo técnico para entidades públicas responsables de infraestructura vial, contribuyendo a la toma de decisiones orientadas a mejorar los estándares de seguridad vial en carreteras de alta vulnerabilidad.

### **1.6. Procedimiento del análisis y el procesamiento de la información**

#### **1.6.1. Definición de variables independiente y dependiente**

- Variable independiente

V1: Aplicación adecuada según norma de las barreras de contención

- Variable dependiente
  - V2: Tipo de barrera de contención
  - V3: Criterio de aplicación de barreras de contención

### **1.7. Unidad de estudio**

La unidad de estudio del presente trabajo es: Evaluación de barreras de contención respaldadas por la norma, para carreteras en el marco de seguridad vial.

En cuanto a la seguridad vial implican muchos elementos, uno de ellos será el que analizaremos, que son las barreras de contención vehicular aplicadas en nuestras carreteras.

Estos elementos se aplican según las características topográficas y riesgo de accidentes en el tramo aplicado.

#### **1.7.1. Población**

La población objetivo son las barreras de contención para la realización de nuestro estudio.

#### **1.7.2. Muestra**

En el presente trabajo la muestra será barreras de contención ubicadas en los tramos seleccionados.

- Tramo N° 1

Tramo Cieneguillas, carretera 1 hacia el norte.

- Tramo N° 2

Tramo El Cóndor, carretera 11.

- Tramo N°3

Tramo Yunchará, carretera a Yunchará.

#### **1.7.3. Muestreo**

Se realizará de forma manual las mediciones de las barreras de contención, se tomará las medidas de los elementos de las barreras de contención, tomaremos en cuenta que tipo de barreras están aplicadas en cada curva del tramo en estudio, para poder establecer criterios de estas barreras ya existentes en el lugar.

## **1.8.Métodos y técnicas empleadas**

### **1.8.1. Selección de métodos y técnicas empleadas**

Se utilizará el método inductivo con el cual se realizará un análisis y una síntesis de la investigación basada en toda la bibliografía encontrada, mediante el razonamiento para obtener conclusiones, y con datos de campo que serán analizados para luego ser depurados y así llegar a un resultado.

La técnica para lograr todos los objetivos planteados, se establece en el análisis de la información obtenida, respaldada en la norma y la formulación expuesta en el marco teórico.

### **1.8.2. Técnicas de muestreo**

La técnica aplicada es no probabilística en la cual se selecciona muestras basadas en un juicio subjetivo en lugar de hacer selecciones al azar.

### **1.8.3. Instrumentos para la obtención de datos**

Para la obtención de datos necesarios para la realizar la evaluación, se utilizarán los siguientes instrumentos:

- Ordenador o computadora.
- Planillas para obtención de datos.
- Calculadora.
- Calibrador Vernier.
- Flexómetro.
- Equipo de sistema GPS

El presente trabajo estará primeramente orientado a recopilar toda la información que fuese necesaria para tener toda la bibliografía y poder realizar un análisis.

Este proyecto se divide en dos fases; fase de investigación y fase de gabinete.

- Fase de investigación: Se hará una investigación de toda la información necesaria para la elaboración del proyecto.

- Para la investigación de este proyecto: se procederá a realizar un análisis de datos aplicando la estadística descriptiva para cada variable, cuya la primera tarea es describir los datos, valores o puntuaciones obtenidas para cada variable involucrada en esta investigación con el fin de concluir de manera satisfactoria.



# **CAPÍTULO II**

## **MARCO TEÓRICO**

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2. Seguridad Vial**

La seguridad vial significa adoptar medidas más adecuadas para paliar o eliminar los problemas de inseguridad vial en carreteras y calles identificando los factores de riesgo que influyen en que se sufra un accidente como ser: velocidad excesiva, ingestión de alcohol, defectos de diseño trazado y mantenimiento de la vía pública, falta de visibilidad, etc (OPS/OMS).

La seguridad vial es un aspecto clave dentro del sistema de transporte, ya que tiene como objetivo prevenir accidentes de tránsito, proteger la vida y la integridad de las personas, y garantizar la movilidad eficiente en las vías. Su relevancia radica en la necesidad de reducir la siniestralidad vial y mitigar los impactos sociales, económicos y ambientales derivados de los accidentes de tránsito. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), los accidentes viales son una de las principales causas de muerte en el mundo, especialmente en países en desarrollo.

En el ámbito vial, la seguridad se fundamenta en el diseño, mantenimiento y equipamiento de las carreteras, integrando elementos que permitan prevenir accidentes (seguridad activa) y reducir sus consecuencias (seguridad pasiva). Dentro de este contexto, las barreras de contención son dispositivos esenciales para proteger a los usuarios y minimizar los riesgos asociados a las salidas de vía o colisiones.

Este marco teórico aborda la relación entre la seguridad vial y las barreras de contención, destacando su importancia en la infraestructura vial boliviana, con énfasis en la Norma NB 165002, que establece los estándares para su evaluación e implementación.

#### **2.1. Componentes de la seguridad vial**

La seguridad vial se sustenta en los siguientes pilares:

- Infraestructura segura: Diseño y mantenimiento adecuado de las carreteras, considerando elementos como señalización, iluminación, superficies de rodadura y dispositivos de seguridad pasiva.

- Vehículos seguros: Incorporación de tecnologías que reduzcan el riesgo de accidentes, como frenos ABS, control de tracción y sistemas de asistencia al conductor.
- Factores humanos: Educación y concienciación para fomentar conductas responsables entre los usuarios.
- Normativas y regulaciones: Implementación de leyes y estándares técnicos que regulen la construcción y operación de infraestructuras viales.

En Bolivia, la Norma NB 165002 regula el diseño (IBNORCA, 2002), instalación y evaluación de las barreras de contención. Esta normativa se basa en estándares internacionales, como los establecidos por la Asociación Mundial de la Carretera (PIARC), adaptándolos a las condiciones específicas del país.

#### 2.1.1. Objetivos de la Norma NB 165002

- Proveer lineamientos técnicos que garanticen la efectividad de las barreras de contención.
- Asegurar que las barreras cumplan con requisitos mínimos de desempeño en condiciones reales de impacto.
- Reducir la siniestralidad en carreteras mediante la correcta instalación de dispositivos de seguridad pasiva.

#### 2.1.2. Requisitos técnicos según la NB 165002

- Especificaciones de diseño:

Altura y resistencia de las barreras según el tipo de vía y vehículo.

Consideración de factores como el ángulo de impacto y la velocidad promedio de tránsito.

- Materiales:

Uso de materiales resistentes a condiciones climáticas extremas.

Garantía de durabilidad y facilidad de mantenimiento.

- Pruebas de impacto:  
 Ensayos que simulen colisiones para evaluar la capacidad de las barreras de absorber y redirigir energía.  
 Evaluación del nivel de contención y seguridad para los ocupantes del vehículo.
- Ubicación estratégica:  
 Instalación en puntos críticos, como curvas cerradas, pendientes pronunciadas, viaductos y puentes.

A nivel mundial los accidentes de tránsito causan casi 1,3 millones de muertes y entre 20 y 50 millones de heridos al año y son la principal causa de muerte en los jóvenes entre 15 a 29 años de edad. El 90% de los heridos se producen en países en desarrollo.

En Bolivia, la problemática de los accidentes viales es aún una asignatura pendiente, pese a que se están realizando acciones diversas como la mejora de la infraestructura vial, con la construcción de dobles vías en las principales carreteras, y otras acciones enmarcadas dentro de planes de seguridad vial, el problema de la accidentabilidad en el país persiste afectando a la sociedad en su conjunto, los accidentes viales causan muertes, heridos, sufrimiento tanto de los afectados como de los familiares constituyendo un problema social con pérdidas económicas que no son percibidas por la sociedad.

De acuerdo a las estadísticas del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2000-2014), los accidentes de tránsito en Bolivia en los últimos años han sufrido incrementos y reducciones, como se puede apreciar en la Figura 1, alcanzando el año 2014 a 31782 accidentes de tránsito. Sin embargo, el número de muertos y heridos ha ido en permanente crecimiento alcanzando el año 2014 a 1581 muertos y 15362 heridos de acuerdo a estadísticas de la Policía de Tránsito y el INE.

El Plan Nacional de Seguridad Vial 2014-2018 de Bolivia aprobado el año 2014, muestra que para el año 2013 se tenía una tasa de heridos por 100,000 habitantes de 171.6, mientras la tasa de muertes por 100,000 habitantes alcanzaba a 18.4. Para el año 2014 estos valores son 148.4 y 15.3 respectivamente (hasta la conclusión del presente trabajo no se contaba con información para el año 2015). Las figuras siguientes muestran la variación del

número de accidentes de tránsito, así como de las tasas de mortalidad y lesividad para el período 2008-2014.

**Figura 1 :Accidentes de tránsito en Bolivia**



Fuente: Base a datos del Instituto Nacional de Estadística con información de la Policía Nacional

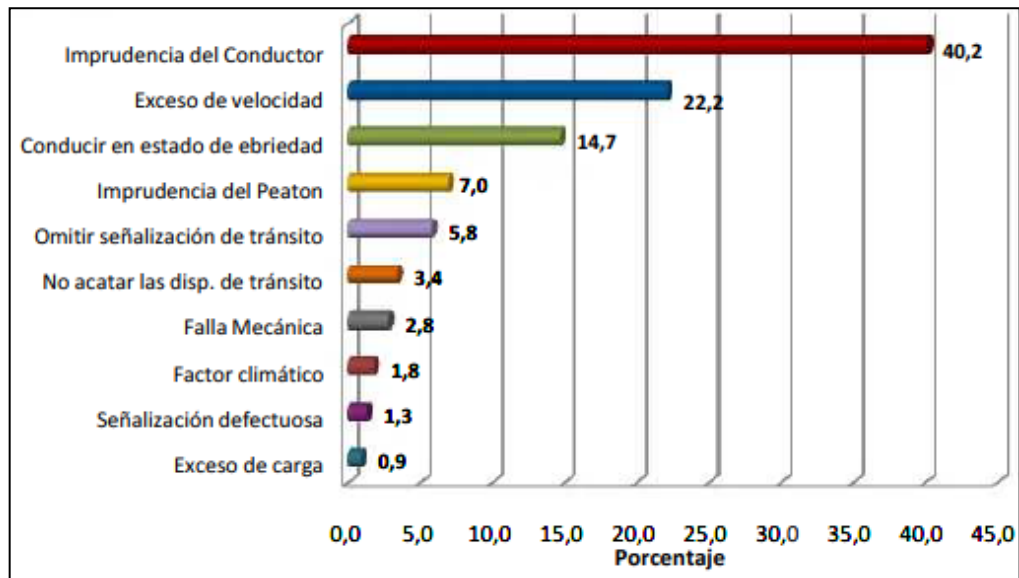
Los departamentos con mayor incidencia de accidentes de tránsito son La Paz y Santa Cruz, hallándose en tercer lugar Cochabamba.

En este contexto, el Gobierno Plurinacional de Bolivia ha aprobado mediante D.S. No. 2079 de 13 de agosto de 2014, el **Plan Plurinacional de Seguridad Vial 2014-2018** (CEPB, 2014-2018), sin embargo el avance percibido parece muy lento, por lo cual consideramos que una evaluación es necesaria, pese a que la información disponible es escasa.

Sobre las causas de los accidentes de tránsito que clasificó el Organismo Operativo de Tránsito y registrados por departamento para el año 2013 se cuenta con los siguientes datos (Ver Figura 2):

- Primer lugar tenemos a la imprudencia del conductor
- Segundo lugar tenemos al exceso de velocidad
- Tercer lugar al estado de embriaguez.

**Figura 2: Relación porcentual de causas que ocasionaron**



Fuente: Observatorio Nacional de Seguridad Ciudadana con datos del Comando General de la Policía Boliviana

### 2.1.3. Sistemas de contención vehicular

Los sistemas de contención de vehículos son aquellos dispositivos instalados en la carretera con la finalidad de proporcionar un cierto nivel de contención a un vehículo fuera de control, que puede impactar contra algún objeto fijo (un puente, un pilar, un poste) o salirse de la carretera, mitigando los daños y lesiones tanto para sus ocupantes como para los otros usuarios de la carretera (Comunicaciones-Perú, 2008).

Los sistemas de contención de vehículos deben cumplir con tres funciones básicas:

- Contener al vehículo
- Redireccionar el vehículo
- Mitigar la gravedad del impacto de los ocupantes del vehículo.

## 2.2. Barreras metálicas de contención

Las barreras de contención son elementos fundamentales dentro de las estrategias de seguridad vial, diseñadas para minimizar la gravedad de los accidentes de tránsito y proteger tanto a los usuarios de las vías como al entorno. Su desarrollo histórico ha estado estrechamente ligado a la evolución de las carreteras, los vehículos y las normativas viales,

adaptándose a las necesidades de protección en diferentes contextos y geografías (Duero, 2024).

El origen y evolución de las barreras de contención, proporcionando una perspectiva integral sobre su desarrollo desde las primeras soluciones rudimentarias hasta las modernas estructuras técnicas, como las que se regulan en la Norma NB 165002.

En los primeros años del siglo XX, las barreras de contención eran simples estructuras hechas de madera, piedra o terraplenes. Estas construcciones se diseñaban más como límites visuales que como elementos efectivos para absorber impactos. Sin embargo, con el aumento de las velocidades vehiculares, se hizo evidente que estas barreras eran insuficientes para garantizar la seguridad de los usuarios (Autopistas.com, 2024).

Las primeras barreras metálicas se comenzaron implementar en la década de 1930, que marcó el inicio del uso de barreras de acero como elementos de seguridad vial. Estas barreras fueron diseñadas para ser más flexibles que los muros rígidos, permitiendo cierto grado de deformación al absorber el impacto de los vehículos. En esta época, Estados Unidos y Europa comenzaron a implementar barreras metálicas en autopistas y carreteras principales.

A partir de la década de 1960, los avances en la investigación sobre accidentes de tránsito jugaron un papel crucial en la evolución de las barreras de contención. Instituciones como el Instituto de Investigación del Transporte de Texas (TTI) y la Organización Mundial de la Carretera (PIARC) realizaron estudios sobre las dinámicas de impacto vehicular y desarrollaron criterios para evaluar la efectividad de las barreras.

Entre los resultados clave de estas investigaciones, se encuentran:

- La importancia de diseñar barreras capaces de redirigir vehículos hacia la calzada, en lugar de detenerlos bruscamente.
- El desarrollo de sistemas de contención segmentados, que combinan rigidez y flexibilidad según el tipo de vía y el riesgo identificado.

En los años 70 y 80, surgieron estándares internacionales para la evaluación y diseño de barreras de contención, como las Normas EN 1317 en Europa y las especificaciones del Manual de Dispositivos Uniformes de Control del Tráfico (MUTCD) en Estados Unidos.

Estas normativas establecieron lineamientos técnicos sobre:

- Clasificación de barreras según su nivel de contención.
- Métodos de prueba y evaluación, incluyendo simulaciones de impacto con diferentes tipos de vehículos.
- Requisitos de instalación y mantenimiento para garantizar un desempeño óptimo.

En América Latina, la implementación de barreras de contención comenzó a adoptarse significativamente a partir de los años 90, impulsada por la modernización de las infraestructuras viales. Sin embargo, las limitaciones presupuestarias y la falta de normativas específicas retrasaron su desarrollo en comparación con regiones como Europa o América del Norte.

Países como Brasil, México y Argentina han liderado la adopción de barreras de contención modernas, desarrollando normativas nacionales basadas en estándares internacionales.

En Bolivia, el diseño y la instalación de barreras de contención se han visto influenciados por las características geográficas y climáticas del país, así como por los altos niveles de riesgo asociados a las carreteras de montaña. La aprobación de la Norma NB 165002 marcó un hito importante al establecer lineamientos técnicos específicos para la implementación de estas estructuras en el contexto boliviano.

En Bolivia, estas barreras desempeñan un papel crucial en la protección de los usuarios, especialmente en carreteras de alta montaña y zonas de alto riesgo, contribuyendo de manera significativa a los objetivos de seguridad vial.

#### 2.2.1. Definición

Se definen como barrera de seguridad a aquellos sistemas de contención de vehículos ubicados e instalados en los márgenes o en los separadores centrales de la carretera y en los bordes de los puentes. Las barreras pueden ser flexibles, semirrígidas o rígidas.



**Figura 3: Barreras metálicas de seguridad**



Fuente: Elaboración propia

El comportamiento de una barrera de seguridad metálica frente al impacto de un vehículo depende fundamentalmente de las características geométricas y mecánicas de los elementos individuales constitutivos del sistema y de su conjunto, así como del tipo de cimentación empleado.

Las variables anteriores dan lugar a diferentes sistemas de barreras de seguridad metálicas, que se distinguen por los efectos y consecuencias que el impacto de un vehículo tiene sobre el propio sistema, sobre el vehículo y sobre sus ocupantes.

#### 2.2.2. Clasificación de las barreras de contención

Las barreras de contención se clasifican generalmente en tres tipos según su rigidez y función:

- Barreras rígidas

No se deforman significativamente y se utilizan en zonas donde no es posible desviar el impacto, como muros de hormigón.

**Figura 4: Barrera rígida**



Fuente: Elaboración propia

- Barreras semirrígidas

Fabricadas principalmente de metal (acero galvanizado) y tienen cierta flexibilidad que permite disipar parte de la energía del impacto.

**Figura 5: Barrera semirrígida**



Fuente: Elaboración propia

- Barreras flexibles

Se componen de cables de acero sujetos por postes y se utilizan en situaciones donde se desea mayor amortiguación, desviando la energía del impacto en múltiples puntos.

**Figura 6: Barrera flexible**



Fuente: DEACERO blog

### 2.2.3. Normativas y Estándares de seguridad

Los estándares de diseño y las normativas de instalación de estas barreras se regulan internacionalmente por organismos como la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) (AASHTO), la EN 1317 en Europa (UNE-EN, 2011) y la estadounidense NCHRP 350 (NCHRP, 1993) (y su actualización MASH) son dos de los estándares más utilizados. Estas normativas especifican los niveles de contención, los ensayos de choque y las condiciones de instalación, exigiendo que las barreras soporten tanto choques frontales como laterales en velocidades específicas.

Estas normativas también especifican la altura, separación y resistencia que debe cumplir cada tipo de baranda (simple, doble o triple onda) para garantizar la seguridad en caso de accidente. Estas normativas especifican:

- Los niveles de contención que debe soportar cada tipo de barrera.
- Pruebas de colisión que evalúan su resistencia y capacidad de absorción de energía.
- La distancia mínima que deben mantener de otros elementos viales.

La normativa que utilizaré en este trabajo será la NB 165002, la cual norma los materiales y la instalación de las barreras metálicas de contención.

#### 2.2.4. Materiales y diseño estructural

Las barreras metálicas suelen estar fabricadas de acero galvanizado debido a su resistencia a la corrosión y durabilidad en condiciones climáticas adversas. Las características de diseño más comunes incluyen:

- Perfil en W: Ofrecen una mayor resistencia y capacidad de absorción del impacto.
- Postes de soporte: Instalados en el suelo a intervalos regulados para distribuir la carga.
- Separadores: Permiten que la barrera mantenga cierta distancia de la carretera y aumentan la eficiencia del impacto.

**Figura 7: Materiales y diseño estructural**



Fuente: Elaboración propia



### 2.2.5. Principios Físicos de Funcionamiento

Los principios de absorción de energía, deflexión controlada y capacidad de redirección son claves en el diseño de estas barreras:

- Absorción de energía: La deformación del acero disipa la energía cinética del vehículo.
- Deflexión controlada: Evita que el vehículo rebote de vuelta a la carretera, manteniéndolo en una trayectoria segura.
- Redirección: La forma y el ángulo de la barrera redirigen el vehículo de forma paralela a la carretera para minimizar el riesgo de vuelco.

### 2.2.6. Tipos de barreras metálicas por número de onda

Las barreras de contención metálicas están disponibles en tres configuraciones principales, según el tipo y número de ondas en su diseño estructural. La cantidad de ondas está relacionada con la capacidad de absorción de energía y la resistencia de la barrera.

#### 2.2.6.1. Baranda de onda simple

La baranda de onda simple, también conocida como perfil en "W", es una barrera con un solo pliegue o "onda". Es el tipo de baranda metálica más común en carreteras de menor riesgo o con menor tráfico pesado. Algunas de sus características son:

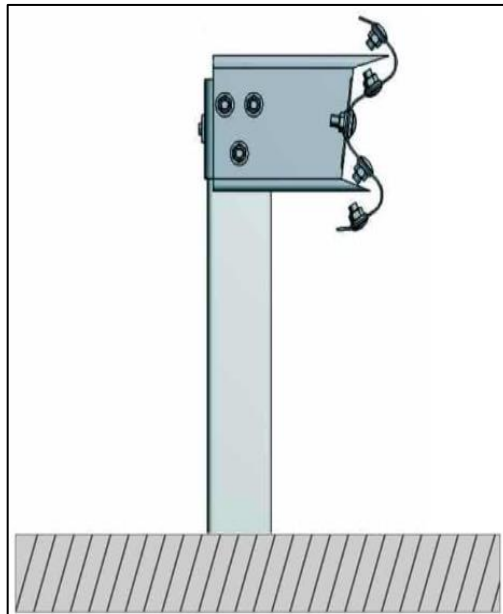
- Uso: Ideal para tramos de velocidad moderada o en vías secundarias.
- Resistencia: Tiene menor capacidad de absorción de energía en comparación con los perfiles de doble y triple onda, pero suficiente para impactos de vehículos ligeros.
- Ventajas: Es más económica y fácil de instalar.
- Limitaciones: No es adecuada para áreas donde el riesgo de accidentes es elevado o donde transiten vehículos pesados.

#### 2.2.6.2. Baranda de onda doble

La baranda de onda doble es una de las configuraciones más utilizadas en carreteras de alta velocidad y autopistas. Cuenta con dos pliegues en el perfil, lo que le otorga mayor capacidad de absorción de energía y resistencia estructural.

- Uso: Frecuentemente instalada en carreteras con alta densidad de tráfico y tramos de alta velocidad.
- Resistencia: Mayor absorción de energía y capacidad para soportar impactos más severos en comparación con la onda simple.
- Ventajas: Mejor capacidad de redirección de vehículos, lo que contribuye a evitar vuelcos o salidas de vía.
- Limitaciones: Su costo es superior al de la baranda de onda simple y requiere más espacio para su correcta instalación debido a su deflexión en impactos.

**Figura 8: Baranda de onda doble**



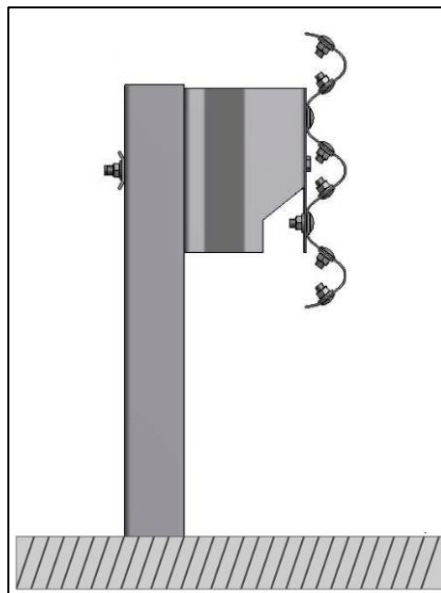
Fuente: Elaboración propia

### 2.2.6.3. Baranda de onda triple

La baranda de onda triple es la de mayor resistencia y capacidad de contención en el grupo de las barreras metálicas onduladas. Su perfil incluye tres ondas, lo que mejora significativamente su capacidad de absorber energía y mantener la integridad ante impactos de vehículos pesados.

- **Uso:** Utilizada en carreteras de alto riesgo, áreas con tráfico de camiones pesados o en ubicaciones donde los accidentes podrían ser particularmente peligrosos, como en curvas cerradas y pendientes pronunciadas.
- **Resistencia:** Mayor capacidad de absorción de energía y menor deflexión lateral, ideal para impactos de vehículos pesados.
- **Ventajas:** Ofrece la mejor protección entre los tres tipos y minimiza el riesgo de que el vehículo atraviese la barrera.
- **Limitaciones:** Su instalación es más costosa y puede ser más compleja, además de requerir un espacio considerable para su correcto funcionamiento.

**Figura 9: Baranda de onda doble**



Fuente: Elaboración propia

### 2.2.7. Impacto en la seguridad vial

Los estudios de seguridad vial muestran que la instalación de barreras de contención reduce drásticamente las muertes y lesiones en accidentes en carreteras. Las barreras metálicas, en particular, ofrecen una solución de bajo costo y alto impacto para mejorar la seguridad en áreas de alto riesgo. Su capacidad para redirigir vehículos y absorber energía contribuye a reducir la severidad de los accidentes y a prevenir salidas de vía que podrían resultar fatales.

**Figura 10: Redireccionamiento y mitigación del impacto**



Fuente: Elaboración propia

## 2.3. Criterios de instalación de las barreras de contención

### 2.3.1. Factores que se consideran en la selección de barreras

El proceso de selección de una barrera de contención vehicular es complicado debido a las diferentes situaciones que se encuentran en los márgenes de las vías y las múltiples opciones de sistemas disponibles en el mercado (GONZÁLES, 2011).

Se debe enfatizar que la mejor opción es aquella que brinda el nivel de protección requerido al menor costo durante un determinado período.

Instalar una barrera de seguridad o cualquier otro sistema de contención vehicular debe considerarse como última opción. Siempre se debe analizar la viabilidad técnica y económica de otras opciones que incluyen la eliminación, modificación o mitigación del peligro potencial.

Los siguientes factores se deben considerar antes de hacer una selección definitiva del sistema de contención vehicular:



- Nivel de contención.
- Condiciones del sitio.
- Compatibilidad.
- Costos de instalación y mantenimiento.

De estos factores se desarrollará el nivel de contención.

### 2.3.2. Nivel de contención

El nivel de contención es la capacidad de la barrera de seguridad de absorber la energía de impacto de un vehículo, manteniendo una adecuada deformación, desaceleración y capacidad de redireccionamiento del vehículo.

La normativa UNE-EN 1317 establece los requisitos y criterios para la evaluación de los sistemas de contención en carreteras, principalmente las barreras de contención metálicas. A continuación, te detallo los niveles de contención establecidos en esta norma:

#### 2.3.2.1. Baja contención (N1 y N2)

- Aplicación: Para carreteras de baja intensidad de tráfico o zonas donde se prevea un impacto menor.
- Niveles:
  - N1.- Diseñado para vehículos ligeros, con capacidad de contener un impacto leve.
  - N2.- Para vehículos de mayor peso, pero aún dentro de situaciones de bajo riesgo.
- Pruebas: Pruebas de impacto realizadas con vehículos ligeros de hasta 1,5 toneladas (aproximadamente) a velocidades moderadas.

#### 2.3.2.2. Media contención (H1 y H2)

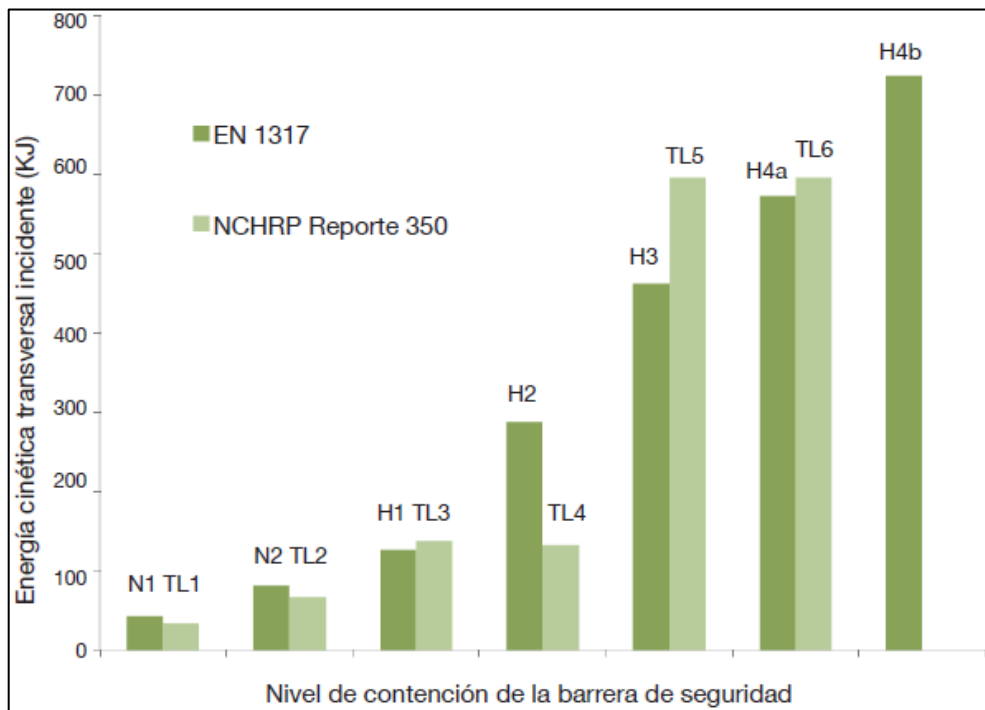
- Aplicación: Usada en tramos de carreteras donde se requiere una mayor capacidad de contención, como carreteras secundarias y autopistas de tráfico moderado.

- Niveles:
  - H1: Mayor capacidad que N2, apto para vehículos medianos y algunos camiones.
  - H2: Diseñado para soportar impactos de vehículos pesados en situaciones de riesgo medio.
- Pruebas: Ensayos con vehículos pesados y camiones ligeros, con velocidades y ángulos de impacto más altos que en el nivel de baja contención.

#### 2.3.2.3. Alta contención (H3, H4a y H4b)

- Aplicación: Utilizado en carreteras de alta velocidad y autopistas donde existe un tráfico intenso de vehículos pesados y se requiere la máxima capacidad de contención.
- Niveles:
  - H3: Para contención de camiones y vehículos pesados en impactos de alta energía.
  - H4a y H4b: Son niveles con la capacidad de contención más alta; están diseñados para soportar impactos de camiones muy pesados y cargas extremas. Estos niveles varían principalmente en la cantidad de energía que pueden absorber.
- Pruebas: Evaluación con camiones de gran tonelaje y en condiciones de alta energía de impacto. Asegura la protección máxima frente a vehículos pesados en tramos con alto riesgo de impacto.

**Figura 11: Energía cinética transversal máxima incidente en la barrera de seguridad según los niveles de prueba definidos en las normativas EN 1317 y Reporte 350 NCHRP**



Fuente: Manual Seguridad vial de carreteras

**Tabla 1: Clasificación vehicular por su peso**

Tipo de vehículo	Peso (Kg)	Clase
Liviano	820 a 2000	Automóvil
Mediano	2000 a 8000	Buses, Camión mediano
Pesado	8000 a 36000	Camión grande, Tráiler

Fuente: Manual Seguridad vial de carreteras

El nivel de contención indica que tipo de baranda colocar, pueden ser barandas para carreras de baja velocidad y vehículos livianos hasta barandas para carreteras de alta velocidad y vehículos pesados.

En la siguiente tabla se observará condiciones que se deben cumplir, para pruebas de impacto.

**Tabla 2: Condiciones que deben cumplir según Norma**

Nivel de contención UNE-EN 1317	Denominación de los ensayos UNE-EN 1317	Tipo de vehículo	Condiciones de ensayo		
			Masa del vehículo (kg)	Velocidad (km/h)	Ángulo de impacto (°)
N1	TB21	Liviano	1300	80	8
N2	TB22	Liviano	1300	80	15
	TB11(*)	Liviano	900	100	20
H1	TB42	Pesado no articulado	10000	70	15
	TB11(*)	Liviano	900	100	20
H2	TB51	Autobús	13000	70	20
	TB11(*)	Liviano	900	100	20
H3	TB61	Pesado no articulado	16000	80	20
	TB11(*)	Liviano	900	100	20
H4a	TB71	Pesado no articulado	30000	65	20
	TB11(*)	Liviano	900	100	20
H4b	TB81	Pesado articulado	38000	65	20
	TB11(*)	Liviano	900	100	20

Fuente: Norma UNE-EN 1317

**Figura 12: Nivel de contención**



Fuente: Norma UNE-EN 1317

### 2.3.3. Nivel de severidad del impacto

La norma UNE-EN 1317 clasifica la severidad del impacto de las barreras de contención en diferentes niveles, basándose en la protección que ofrecen a los ocupantes del vehículo en caso de colisión. Esto se evalúa mediante los llamados Índices de Severidad de Impacto (ASI y THIV), que miden los efectos del impacto sobre los ocupantes. Estos niveles ayudan a seleccionar el tipo de barrera adecuado para proteger a los ocupantes y minimizar el riesgo de lesiones. A continuación, detallo los niveles de severidad de impacto según la norma:

#### 2.3.3.1. Índice de Severidad de Impacto ASI (Acceleration Severity Index)

El ASI evalúa las aceleraciones que experimentan los ocupantes durante un impacto, clasificándolas en función del nivel de riesgo de lesión.

- Valores de ASI:

ASI  $\leq$  1.0 (Nivel A): Impacto con baja severidad, proporcionando la mayor protección para los ocupantes.

1.0 < ASI  $\leq$  1.4 (Nivel B): Impacto de severidad media; implica un riesgo de lesión moderado para los ocupantes.

$1.4 < ASI \leq 1.9$  (Nivel C): Impacto con alta severidad, con un riesgo de lesión más alto para los ocupantes.

- Aplicación: Las barreras que logran un nivel de severidad bajo (Nivel A) son preferibles en áreas donde el riesgo de colisión es alto y se desea proteger a los ocupantes al máximo.

#### 2.3.3.2. Clasificación y selección de nivel de severidad de impacto

La selección del nivel de severidad de impacto (Niveles A, B, o C) depende de la velocidad del tráfico, la composición de vehículos y las características de la vía. En carreteras de alta velocidad o tráfico pesado, se prefieren barreras con un ASI bajo (Nivel A) para maximizar la protección de los ocupantes.

- ASI – índice de severidad de la aceleración.
- THIV – velocidad teórica de choque de la cabeza.

**Tabla 3: Nivel de severidad del impacto**

Nivel de severidad del impacto	Valores		
A	$ASI \leq 1,0$	y	$THIV \leq 33\text{km/h}$
B	$1,0 < ASI \leq 1,4$		$33 \text{ km/h} < THIV \leq 44 \text{ km/h}$
C	$1,4 < ASI \leq 1,9$		$THIV > 44 \text{ km/h}$

Fuente: Norma UNE-EN 1317

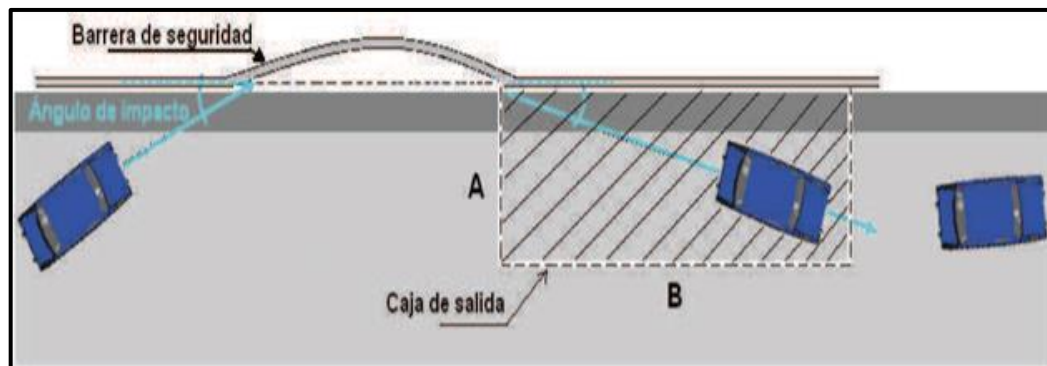
En la tabla 3, se muestra los valores del nivel de severidad del impacto. El de tipo A, es menos severo para los ocupantes del vehículo que el tipo B y a su vez que el tipo C.

#### 2.3.4. Capacidad de redireccionamiento

La función de las barandas de seguridad es la de redireccionar al vehículo después de que el mismo impactara. La trayectoria de los neumáticos del vehículo no debe sobrepasar lo que se conoce como la caja de salida, que es el área formada entre A y B.

En la siguiente figura se muestra el esquema del impacto de vehículo en la baranda de seguridad y la capacidad que esta tiene de redireccionar el vehículo.

**Figura 13: Capacidad de redireccionamiento del sistema de contención.**



Fuente: Elaboración propia

## 2.4. Señalización horizontal en carreteras

### 2.4.1. Señalización para mejorar la seguridad vial

La señalización horizontal es un elemento fundamental de la infraestructura vial, diseñado para guiar y advertir a los conductores sobre las condiciones de las vías. Su importancia radica en la capacidad de comunicar información esencial de manera visual y efectiva, garantizando la seguridad de los usuarios.

La implementación adecuada de señalización horizontal complementa otros dispositivos de seguridad pasiva, como las barreras de contención, creando un sistema integrado para prevenir accidentes y minimizar sus consecuencias.

En el marco de la seguridad vial, la señalización horizontal abarca marcas pintadas en la calzada, como líneas, símbolos y textos, que sirven para delimitar carriles, indicar prioridades, advertir peligros y reforzar las normas de tránsito. Este marco teórico examina su papel dentro del diseño vial y su influencia en la reducción de accidentes, considerando el contexto de las carreteras bolivianas y su relación con la Norma NB 165002.

### 2.4.2. Concepto de señalización horizontal

La señalización horizontal se define como el conjunto de marcas aplicadas directamente sobre la superficie de rodadura de las vías, cuya función principal es

regular el tránsito vehicular y peatonal, mejorando la seguridad y fluidez en las carreteras. Estas marcas son visibles de día y de noche, y utilizan materiales reflectantes para garantizar su efectividad en condiciones de baja iluminación.

#### 2.4.2.1. Objetivos principales

- Ordenar el flujo vehicular: Delimitar carriles y facilitar la circulación en sentido único o bidireccional.
- Incrementar la seguridad vial: Reducir el riesgo de colisiones mediante advertencias claras sobre condiciones peligrosas o restricciones.
- Mejorar la visibilidad: Proveer información adicional en tramos de baja visibilidad, como curvas o zonas montañosas.
- Fomentar el cumplimiento de las normas: Actuar como un recordatorio visual de las regulaciones de tránsito.

#### 2.4.3. Materiales para la señalización

Los materiales utilizados en la señalización horizontal deben ser duraderos y ofrecer alta visibilidad. Los más comunes incluyen:

- Pinturas termoplásticas: Resistentes al desgaste y con propiedades reflectantes.
- Microesferas de vidrio: Incorporadas en las pinturas para mejorar la visibilidad nocturna.
- Cintas preformadas: Utilizadas en situaciones donde se requiere una instalación rápida y duradera.

#### 2.4.4. Situación en Bolivia

En carreteras bolivianas de alta montaña, la combinación de barreras de contención y señalización horizontal es esencial para minimizar riesgos en curvas cerradas, pendientes pronunciadas y zonas propensas a deslizamientos.

En Bolivia, las especificaciones para la señalización horizontal se incluyen en normativas como la NB 58001, que establece criterios de diseño y mantenimiento, y complementan la NB 165002 en el contexto de las barreras de contención.



En el marco de la Norma NB 165002, la integración de la señalización horizontal con las barreras de contención refuerza la efectividad de las medidas de protección vial, contribuyendo significativamente al desarrollo de un sistema de transporte más seguro y eficiente.

#### 2.4.5. Uso de ojos de gato

Los "ojos de gato" son dispositivos reflectantes instalados sobre la superficie de las carreteras para mejorar la visibilidad y advertir a los conductores sobre las condiciones de la vía. Si bien su función principal es la demarcación vial, su implementación estratégica también ha demostrado ser efectiva como mecanismo para reducir velocidades, mejorando la seguridad vial en zonas críticas.

El uso de ojos de gato como reductores de velocidad representa una solución económica y eficiente en la gestión del tránsito, particularmente en tramos donde la velocidad excesiva incrementa el riesgo de accidentes, como zonas escolares, curvas pronunciadas, intersecciones peligrosas y áreas urbanas de alta densidad vehicular.

##### 2.4.5.1. Principio de funcionamiento

La instalación de ojos de gato como reductores de velocidad se basa en el efecto psicológico y físico que estos dispositivos generan en los conductores.

- Efecto psicológico

El conductor percibe los ojos de gato como una barrera visual y táctil, lo que lo incentiva a reducir la velocidad.

- Efecto físico

La sensación vibratoria y sonora que se produce al pasar sobre ellos refuerza la necesidad de moderar la velocidad.

##### 2.4.5.2. Diseño e instalación estratégica

Para maximizar su efectividad como reductores de velocidad, los ojos de gato deben instalarse de manera estratégica:

- En líneas transversales repetidas para crear una zona de reducción progresiva.
- En curvas o áreas de aproximación a puntos conflictivos, como cruces o zonas escolares.
- Espaciado: Ajustado según la velocidad deseada; menor distancia entre los dispositivos genera un mayor efecto de frenado.

#### 2.4.5.3. Costo-efectividad

- Instalación económica: Comparado con otros dispositivos como reductores físicos (resaltos o lomos de burro).
- Bajo mantenimiento: Especialmente en carreteras de tráfico moderado.

En el contexto boliviano, donde las carreteras presentan desafíos únicos debido a su geografía y condiciones climáticas, la implementación estratégica de ojos de gato, en combinación con barreras de contención y señalización adecuada, puede contribuir significativamente a la reducción de accidentes y al desarrollo de un sistema vial más seguro.

## 2.5. Ley de Cargas N°441

La Ley N° 441 constituye un instrumento jurídico crucial para la protección de la infraestructura vial en Bolivia, al regular los límites de carga y dimensiones, establecer mecanismos de control y sanción, y definir claramente responsabilidades de actores e instituciones involucradas.

Su enfoque combina categorías técnicas (ejes, dimensiones, tara) con estrategias administrativas (controles, boletas, multas y permisos) y refuerza la necesidad de un marco normativo sólido en el transporte terrestre.

#### 2.5.1. Objetivo y finalidad

- Objetivo.- Establece los límites máximos de pesos y dimensiones vehiculares permitidos para circular por la Red Vial Fundamental, así como los mecanismos de control correspondientes.

- Finalidad.- Preservar y conservar la infraestructura vial fundamental; busca proteger las carreteras del deterioro ocasionado por sobrecargas.

#### 2.5.2. Ámbito de aplicación y controles

Aplica a todas las personas responsables de vehículos y/o cargas que transiten por la Red Vial Fundamental, sin excepción. Se considera responsable de la carga al generador u otros implicados en su manejo.

Todos los vehículos de carga o pasajeros deben detenerse en los puestos de control para verificar cumplimiento. Este control se registra mediante una boleta de control no valorada, la cual debe conservarse y presentarse en otros controles si se solicita.

#### 2.5.3. Instituciones responsables y sistema de control

- Vías Bolivia (Administradora Boliviana de Carreteras) administra los peajes, controla pesos y dimensiones, y opera estaciones de control.
- Ministerio de Obras Públicas y Viceministerio de Transportes: proponen políticas, normas y supervisan la infraestructura vial.
- Sistema de Control de Pesos y Dimensiones: integrado por elementos técnicos, procedimientos y recursos para prevenir la circulación de vehículos que excedan límites permitidos.

#### 2.5.4. Disposición de vehículos

En la Ley N°441 se tiene una disposición de vehículos según sus ejes y tamaños.

**Tabla 4: Artículo 8° (Pesos brutos máximos permitidos)**

Dimensiones	Tipo de vehículo	Metros
Ancho total máximo	Todos	2,60
Altura total máxima	Camiones	4,20
	Furgones y Contenedores	4,30
Buses	4,10 / 4,20 *	
Longitudes totales máximas	Buses	14,00
	Camiones con dos ejes	12,00
	Camiones con más de dos ejes (rígidos)	12,50
	Tracto camiones con semirremolque	18,60
	Camiones con remolque	20,50
Vehículos para transporte de ganado en pie	24,00 **	

\* La Circulación en la Red Vial Fundamental de Buses con alturas mayores a 4,10 metros o menores o iguales a 4,20 metros, estarán sujetos a las condiciones especiales establecidas en la reglamentación de la presente Ley.

\*\* La circulación en la Red Vial Fundamental, estará sujeta a rutas predeterminadas establecidas en reglamento.

**por ejes y grupos de ejes)**

Fuente: Ley N°441

**Tabla 5: Artículo 12° (Dimensiones máximas permitidas)**

Tipos de configuraciones de eje y grupos de ejes vehiculares	Peso bruto máximo permitido por eje o grupo de ejes (Toneladas)
Eje sencillo (direccional o fijo) de 2 llantas	7,00
Eje sencillo de 2 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática	7,70
Eje tipo tandem de 4 llantas	10,00
Eje sencillo de 4 llantas	11,00
Eje tipo tandem de 4 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática	12,00
Eje tipo tandem de 6 llantas	14,00
Eje tipo tandem de 6 llantas con un eje con cubiertas extra anchas y suspensión neumática	16,00
Eje tipo tridem de 6 llantas	17,00
Eje tipo tandem de 8 llantas	18,00
Eje tipo tridem de 6 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática	18,00
Eje tipo tridem de 10 llantas	21,00
Eje tipo tridem de 10 llantas con un eje con cubiertas extra anchas y suspensión neumática	22,00
Eje tipo tridem de 12 llantas	25,00

Fuente: Ley N°441

De estos dos artículos de la Ley N°441, se saca una referencia de vehículos para realizar el aforo.

Tipo de vehículos tomados para el aforo.

**Tabla 6: Tipos de vehículos según Ley de cargas N°441**

Vehículo	Tipo	Peso máximo por eje o grupo de ejes (toneladas)	Tipos de vehículo según ABC
Automóviles	Ejes sencillos	7.00 – 7.70	Automóviles, vagonetas, camionetas, minibuses
Buses	Eje tipo tandem 6-8 llantas	10.00-18.00	Microbuses, buses medianos, buses grandes
Camión con dos ejes	Con dos ejes 4-6 llantas	18.00-21.00	Camiones medianos
Camiones con dos o más de dos ejes (rígidos)	Más de dos ejes 8-12 llantas	21.00-25.00	Camiones grandes
Tracto camiones (semi remolque-remolque)	Más de dos ejes 10-24 llantas	18.00-25.00	Camiones semirremolque, camiones remolque.

Fuente: Ley de cargas N°441

## 2.6.Fundamentos de diseño de barreras de contención

El diseño de barreras de contención es un proceso técnico que debe garantizar la funcionalidad, seguridad y eficacia del sistema en condiciones reales de operación. Se basa en principios de ingeniería vial, resistencia estructural, dinámica vehicular y análisis de riesgo. La correcta selección y diseño de estos sistemas puede marcar la diferencia entre un accidente con consecuencias graves y uno controlado con daños menores.

### 2.6.1. Normativa aplicable

#### 2.6.1.1. Norma NB-165002

La NB-165002 (emitida por el Instituto Boliviano de Normalización y Calidad, IBNORCA) especifica las dimensiones, materiales, protección anticorrosiva, montaje y anclaje de las barreras metálicas de seguridad.

Entre sus aspectos principales se destacan:

- Uso de acero estructural con resistencia mínima establecida.

- Espesor y perfil estandarizado (por ejemplo, viga en W).
- Galvanizado por inmersión en caliente para garantizar durabilidad.
- Distancia entre postes y altura de montaje específicas.
- Requisitos de terminales y transiciones.

#### 2.6.1.2.Ley de Cargas (Ley N° 441)

La Ley 441 y su reglamento definen los límites de peso y dimensiones para vehículos que circulan en la Red Vial Fundamental de Bolivia. Estos datos son esenciales para el diseño de barreras, ya que permiten determinar la masa de ensayo o masa crítica que debe soportar el sistema.

Algunos valores relevantes:

- Peso bruto vehicular según número de ejes y tipo de configuración (camión rígido, camión articulado, bus interdepartamental).
- Distribución de peso por eje, importante para calcular la fuerza de impacto lateral en caso de colisión.
- Dimensiones máximas permitidas que inciden en la altura de la barrera y su geometría.

#### 2.6.2. Fundamento principales

El diseño de una barrera de contención metálica parte de tres ejes conceptuales:

- Geometría y velocidad de proyecto de la carretera.
- Masa y tipología de vehículos que circulan.
- Clase de contención necesaria según riesgo.

La velocidad de impacto considerada en el diseño debe ser coherente con la velocidad de proyecto de la vía y la ubicación de la barrera (curva, recta, zona de aproximación). La

geometría de la curva influye directamente en la magnitud de las fuerzas laterales y, por tanto, en la capacidad de la barrera para redirigir el vehículo.

#### 2.6.2.1. Cálculo de velocidad de proyecto

Para determinar la velocidad del proyecto se utiliza la siguiente ecuación:

$$V = \sqrt{R * g * (e + f)}$$

V: velocidad del Proyecto (m/s)

R: radio de curvatura (m)

$g$ : aceleración de la gravedad; 9,81 (m/s<sup>2</sup>)

$e$ : superelevación (0.06 a 0.08)

$f$ : coeficiente de fricción lateral admisible (0.10 a 0.16, adimensional)

#### 2.6.2.2. Tipos y masas de vehículos según Ley de Cargas

La selección del vehículo de diseño se realiza en base a:

- Vehículos livianos: automóviles y camionetas (masa típica: 900–1 500 kg).
- Vehículos pesados: camiones rígidos y articulados (masa bruta según Ley 441, hasta 45 t en configuraciones especiales).
- Buses: masa bruta ~18–20 t.

En el diseño de la barrera se considera la masa más crítica de acuerdo con el riesgo del sitio. Por ejemplo, en carreteras troncales donde circulan camiones articulados de hasta 45 t, se recomienda utilizar barreras certificadas para niveles de contención H2 o H4b (norma UNE-EN 1317), equivalentes a impactos de vehículos pesados.

**CAPÍTULO III**  
**RELEVAMIENTO DE**  
**INFORMACIÓN OBTENIDA**



### CAPÍTULO III

## RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN OBTENIDA

### 3. Ubicación

Para la evaluación del presente proyecto se tomó en cuenta los tramos que salen de la ciudad de Tarija hacia distintos puntos del departamento.

Tenemos tres tramos tomados en cuenta, el primero es en la Ruta 1, TRAMO CIENEGUILLAS; el segundo es en la Ruta 11, TRAMO EL CÓNDOR; el tercero es en la Ruta zona alta de Tarija, TRAMO YUNCHARA.

#### 3.1.Ubicación de los tramos

##### 3.1.1. Tramo 1 – Cieneguillas

Este se encuentra sobre la Ruta 1(rumbo al norte), está entre las progresivas **Prog. 829+ 580** a la **Prog. 826+ 950**, este tramo fue escogido por sus curvas accidentadas que existen en esta vía, es una zona montañosa, la carretera se encuentra con pendiente de consideración.

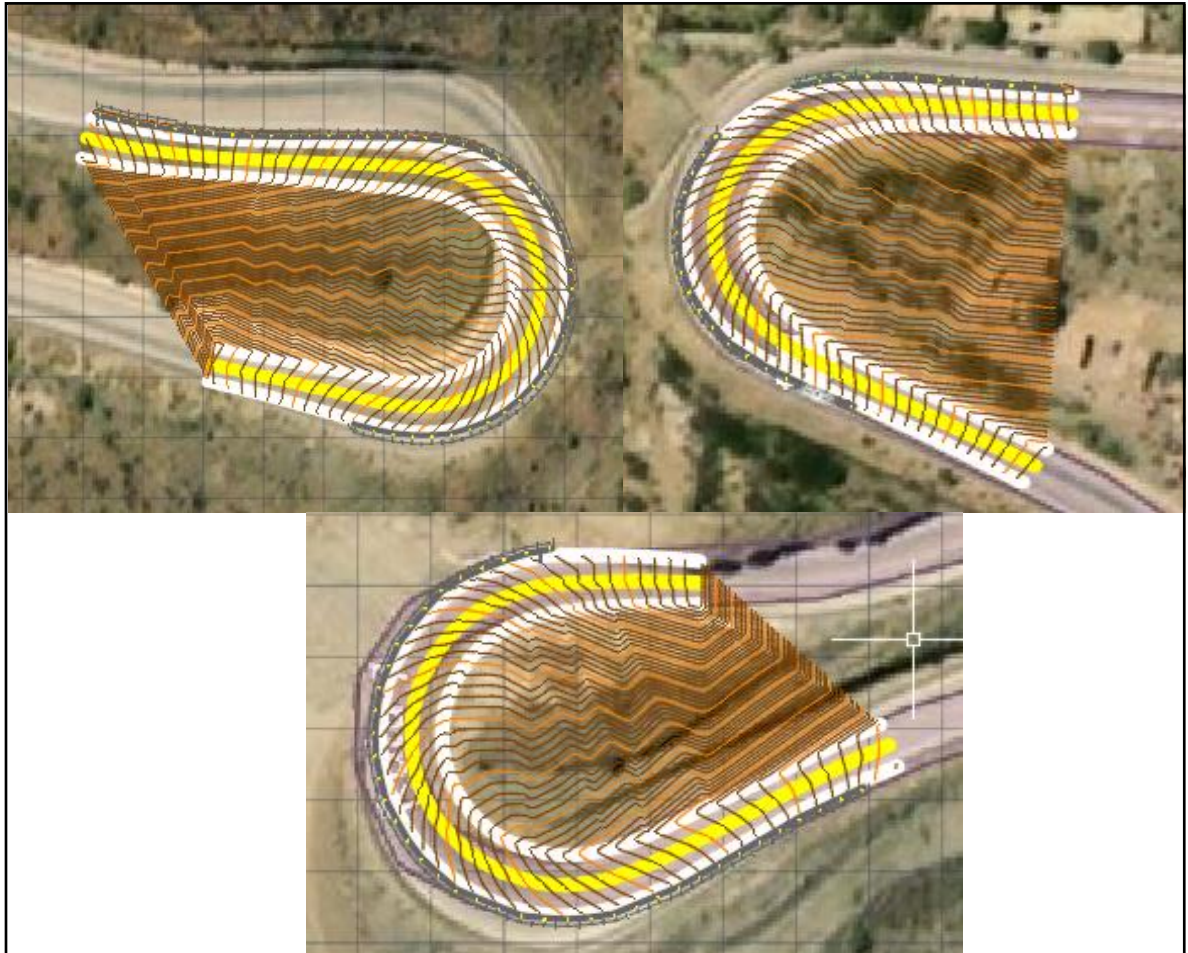
**Figura 14: Ubicación del Tramo 1**



Fuente: Elaboración propia Google Earth.

Se realizó levantamiento topográfico de las curvas seleccionadas, de tal manera poder obtener datos de campo que sean necesarios para poder determinar criterios sobre la instalación de las barreras de contención en las siguientes figuras:

**Figura 15: Vista en planta segunda curva en AutoCAD con mapa aéreo**



Fuente: Elaboración propia.

El tramo tiene la siguiente descripción técnica:

**Tabla 7: Características de la vía**

Características de la vía	
Ancho de calzada	9.00 m
Ancho de carril	4.50 m
Ancho de bermas	0.90 m
Distancia de calzada-barrera	1.00 m

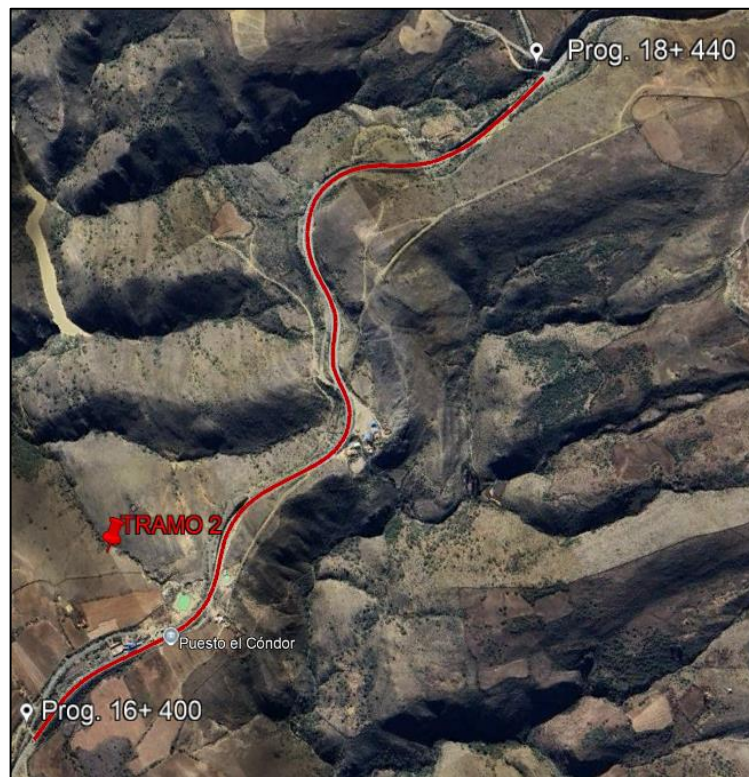
Fuente: Elaboración propia.

El tramo tiene una topografía accidentada, donde se tiene una variabilidad de altitud entre 3210msnm. A 3335msnm. El cual cuenta con pendientes pronunciadas.

#### 3.1.1.1. Tramo 2 – El Cóndor

Este se encuentra sobre la Ruta 11 (rumbo al chaco), está entre las progresivas **Prog. 18+ 440** a la **Prog. 16+ 400**, este tramo fue escogido por sus curvas con alto riesgo de accidentes y estas contienen las barreras metálicas.

**Figura 16: Ubicación del Tramo 2**



Fuente: Elaboración propia Google Earth.

Se realizó levantamiento topográfico de las curvas seleccionadas, de tal manera poder obtener datos de campo que sean necesarios para poder determinar criterios sobre la instalación de las barreras de contención en las siguientes figuras:



**Figura 17: Vista en planta en AutoCAD con mapa aéreo**



Fuente: Elaboración propia.

El tramo tiene la siguiente descripción técnica:

**Tabla 8: Características de la vía**

Características de la vía	
Ancho de calzada	7.00 m
Ancho de carril	3.50 m
Ancho de bermas	0.80 m
Distancia de calzada-barrera	1.10 m

Fuente: Elaboración propia.

El tramo tiene una topografía accidentada, donde se tiene una variabilidad de altitud entre 2580msnm. A 2517msnm. El cual cuenta con curvas largas con una pendiente de consideración.

#### 3.1.1.2. Tramo 3 – Yunchará

Este se encuentra sobre ruta rumbo a Villazón a 2 horas de la ciudad de Tarija, está entre las progresivas **Prog. 46+ 500** a la **Prog. 47+ 680**, este tramo fue elegido por ser

una ruta secundaria, la cual tiene curvas peligrosas y contienen barreras metálicas para reducir los accidentes en este tramo.

**Figura 18: Ubicación Tramo 3**



Fuente: Elaboración propia.

Se realizó levantamiento topográfico de las curvas seleccionadas, de tal manera poder obtener datos de campo que sean necesarios para poder determinar criterios sobre la instalación de las barreras de contención en las siguientes figuras:

**Figura 19: Vista en planta de todo el tramo en AutoCAD con mapa aéreo**



Fuente: Elaboración propia.

El tramo tiene la siguiente descripción técnica:

**Tabla 9: Características de la vía**

Características de la vía	
Ancho de calzada	7.30 m
Ancho de carril	3.65 m
Ancho de bermas	0.85 m
Distancia de calzada-carrera	1.90m

Fuente: Elaboración propia.

El tramo tiene una topografía accidentada, donde se tiene una variabilidad de altitud entre 3920msnm. A 3887msnm. El cual cuenta con curva cerrada con mucho riesgo de accidentes en la zona, la cual cuenta con barrera metálica.

### 3.1.2. Resumen de los tres tramos

Para la el levantamiento topográfico de los tres tramos, se realizó con el equipo RTK, el cual nos permitió obtener datos para ser vistos en planta, de manera más precisa.

**Figura 20: Equipo RTK en trabajo de campo**



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Selección de curvas

En los tramos estudiados se tienen curvas pronunciadas, con pendientes de consideración en lo que los vehículos pueden perder el control y salir de la calzada y se tenga daños en el vehículo y sus ocupantes, zonas donde la situación topográfica provoca limitaciones de visibilidad.

Las curvas seleccionadas en cada tramo presentan un trazo vial con curvas cerradas en segmentos relativamente cortos, con cortes o taludes muy profundos con pendientes muy pronunciadas cerca del borde de la calzada. Una vez identificadas las zonas con barreras metálicas y situaciones potenciales de riesgo, se estudiará la situación de cada curva propuesta para su evaluación.

### 3.3. Identificación de las barreras de contención instaladas en curvas con riesgo alto

Se identificaron 7 curvas con riesgo alto a lo largo de los tramos, las cuales se clasificaron y caracterizaron de acuerdo al cuadro siguiente:

**Tabla 10: Identificación de las barreras de contención**

Tramo 1 - Cieneguillas				
Barrera	Curva	Longitud	Tipo	Material
1	A	68.80	Viga W	Metálica
2		44.87	Viga W	Metálica
1	B	60.801	Viga W	Metálica
2		116.80	Viga W	Metálica
1	C	156.599	Viga W	Metálica
Tramo 2 – El Cóndor				
Barrera	Curva	Longitud	Tipo	Material
1	D	84.80	Viga W	Metálica

2		88.80	Viga W	Metálica
3		76.40	Viga W	Metálica
Tramo 3 - Yunchará				
1	E	128.80	Viga W	Metálica
2	F	112.80	Viga W	Metálica
3	G	68.80	Viga W	Metálica

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4. Caracterización de barreras de contención

Las barreras de contención identificadas en los tramos en estudio se dan de la siguiente manera:

En el Tramo 1-Cieneguillas, se identificaron zonas de alto riesgo de accidentes en las cuales existen 5 barreras de contención. De estas la más larga es de 156.599 m. de longitud y la más corta es de 44.87 m. de longitud.

En el Tramo 2-Puesto Cóndor, se identificaron zonas de alto riesgo de accidentes en las cuales existen 3 barreras de contención. De estas la más larga es de 88.80 m. de longitud y la más corta es de 76.40 m. de longitud.

En el Tramo 3-Yunchará, se identificaron zonas de alto riesgo de accidentes en las cuales se existen 3 barreras de contención. De estas la más larga es de 128.80 m. de longitud y la más corta es de 68.80 m. de longitud. Estas últimas barreras se encuentran en la única curva con un alto riesgo de accidentes, pero con una longitud mayor a las curvas de los otros tramos.

Se observó que los tramos tienen en su totalidad instaladas la misma variedad de barreras de contención. En los cuales se están estudiando las barreras en las curvas de alto riesgo, las cuales cumplirán su función de manera adecuada para lo que fueron instaladas.



**Tabla 11: Reporte de las barreras**

Reporte	
Tramos	3
Curvas Peligrosas	5
Barreras simples	11
Barreras dobles	0
Estado bueno	5
Estado regular	3
Estado malo	3

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran fotografías de las barreras, las curvas y su estado.

**Figura 21: Curva peligrosa**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 22: Barreras simples**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 23: Estado de las barreras**



Fuente: Elaboración propia.

### **3.5. Ubicación de las curvas peligrosas**

#### **3.5.1. Tramo 1-Cieneguillas**

Este tramo tiene una longitud de 2.72 km. con unas pendientes muy pronunciadas siendo de hasta 35.8% en una parte del tramo, teniendo una pendiente promedio de 12%, en el cual tiene varias curvas, 3 de ellas son peligrosas, las cuales la curva A tiene una longitud de 209 m., la curva B tiene una longitud de 159 m. y la curva C tiene una longitud de 232 m.



**Figura 24: Ubicación de curvas peligrosas**



Fuente: Elaboración propia.

### 3.5.2. Tramo 2- El Cóndor

Este tramo tiene una longitud de 2.59 km. con unas pendientes muy pronunciadas siendo de hasta 24.2% en una parte del tramo, teniendo una pendiente promedio de 8.5%, el cual tiene varias curvas, 1 de ellas es peligrosa, la cual la curva D tiene una longitud de 473 m.

**Figura 25: Ubicación de curva peligrosa**



Fuente: Elaboración propia.

### 3.5.3. Tramo 3-Yunchará

Este tramo tiene una longitud de 2.04 km. con unas pendientes muy pronunciadas siendo de hasta 21.2% en una parte del tramo, teniendo una pendiente promedio de 7.7%, el cual tiene varias curvas, 3 de ellas son peligrosas, la cual la curva E tiene una longitud de 125 m., la curva F tiene una longitud de 173 m. y la curva G tiene una longitud de 208 m.

**Figura 26: Ubicación de curvas peligrosas**



Fuente: Elaboración propia.

## 3.6. Evaluación de componentes de las barreras de contención respaldada en la Norma NB 165002

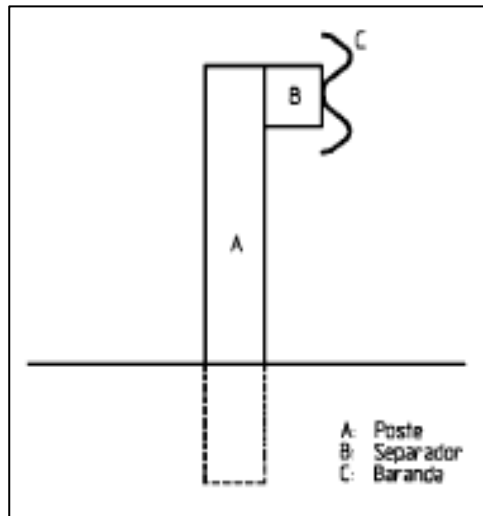
El presente trabajo está basado en la norma NB 165002, la cual nos da la instalación y terminología para poder aplicar de manera correcta las barreras de contención para la seguridad vial en carreteras.

### 3.6.1. Tipos de barreras metálicas

#### 3.6.1.1. Barrera simple

Barrera de contención que dispone de baranda de contención por un solo lado del poste de sujeción.

**Figura 27: Barrera simple**

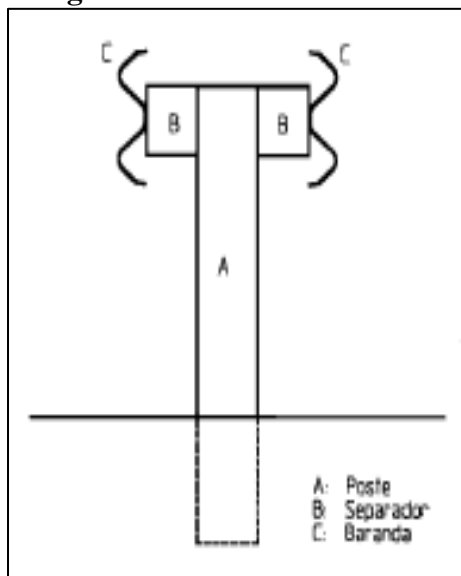


Fuente: NB 156002

#### 3.6.1.2. Barrera simétrica

Barrera metálica de seguridad que dispone de baranda de contención por ambos lados del poste de sujeción.

**Figura 28: Barrera simétrica**



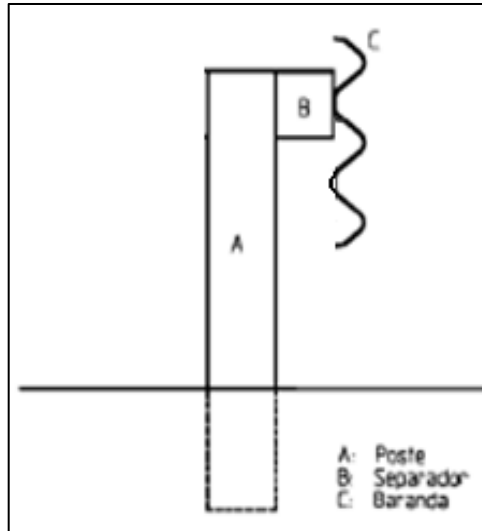
Fuente: NB 156002



### 3.6.1.3. Barrera doble

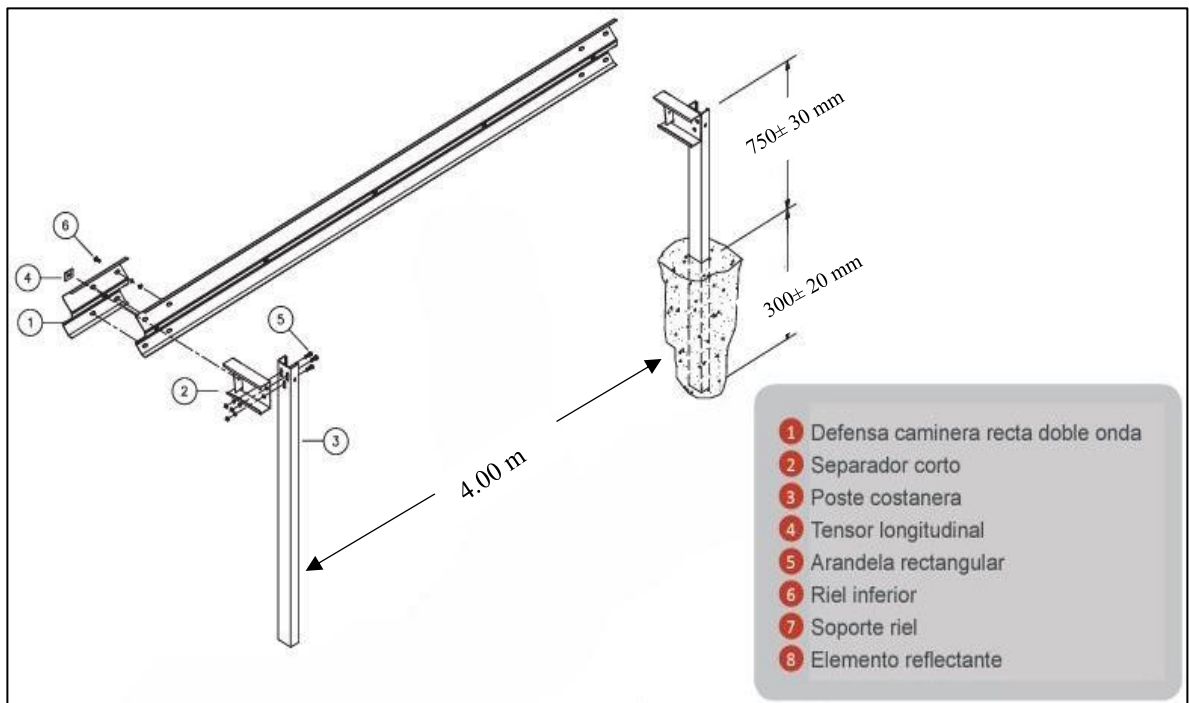
Barreras metálicas de seguridad, que disponen de dos barandas de contención superpuestas.

**Figura 29: Barrera doble**



Fuente: NB 156002

**Figura 30: Isometría de instalación**



Fuente: Elaboración propia.

### 3.6.2. Elementos de fijación

Los elementos de fijación deben ser galvanizados según norma ASTM A 153 y cumplir las siguientes especificaciones:


- Pernos: Deben ser como mínimo M 16 x 2,5 de un largo no inferior a 30 mm y de grado 2 o superior según la norma ANSI/ASME B 18.5.2.2M, a excepción de la altura de cuello (dimensión  $f$ ) que debe tener un máximo de 5 mm y el espárrago debe tener hilo en toda su extensión. El torque mínimo de apriete de los pernos debe ser 45 Nm.
- Tuercas: De grado 2 ó superior según la norma ASTM 307.
- Arandela: En las uniones entre barandas se debe utilizar, una golilla normal según el perno que se ha utilizado, en las uniones entre la baranda y el poste se debe utilizar una golilla rectangular.

Para fijación tenemos los siguientes componentes que forman parte de la barrera de contención:

#### 3.6.2.1. Pernos

Se obtuvo medidas de los pernos en las barreras instaladas en los 3 tramos en estudio.

**Tabla 12: Valores de los pernos**


Pernos 5/16 cabeza redonda		Medidas	
		L =	35.4 mm
		$d_k$ =	34.5 mm
		b =	28.2 mm
		d =	15.5 mm
		$d_s$ =	16 mm
		$k_1$ =	4.6 mm
		k =	8.5 mm
		s =	16.5 mm

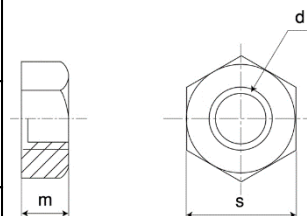
Fuente: Elaboración propia.

### 3.6.2.2. Tuercas

Se realizó la toma de datos de las tuercas aplicadas en los 3 tramos en estudio.

**Tabla 13: Valores de las tuercas**

Tuerca	Medidas	
	m =	14.65 mm
	s =	26.6 mm
	d =	15.5 mm



Fuente: Elaboración propia.

### 3.6.3. Elementos de sujeción

Se utilizan los postes de sujeción: El poste debe ser de acero y debe tener las siguientes características.

**Tabla 14: Poste sujeción**

Alma (mm)	Ala (mm)	Atiesado (mm)	Espesor (mm)
120,0	68,0	18,0	5,0

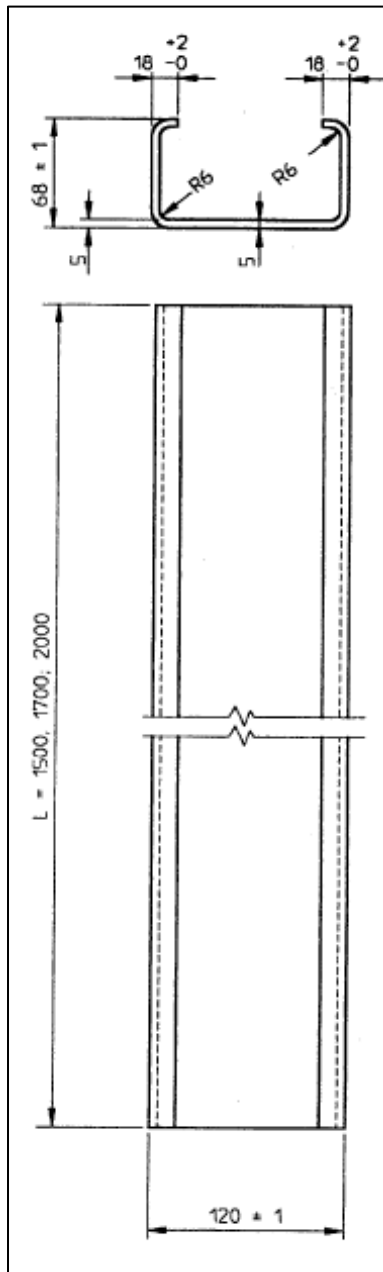
Fuente: NB 165002

La longitud de poste depende de las características del suelo y la tipología de la barrera a emplear. Los postes de sujeción se cimentarán por hincapié en el terreno, salvo que ésta resulte imposible por la dureza de aquél, o que su resistencia sea insuficiente, en cuyo caso se podrán emplear las siguientes alternativas:

- Poste con placa base inferior para barreras ubicadas en una superestructura como un puente o ubicadas en una losa de hormigón.
- Otro método debidamente validado



**Figura 31: Especificaciones del poste de sujeción**

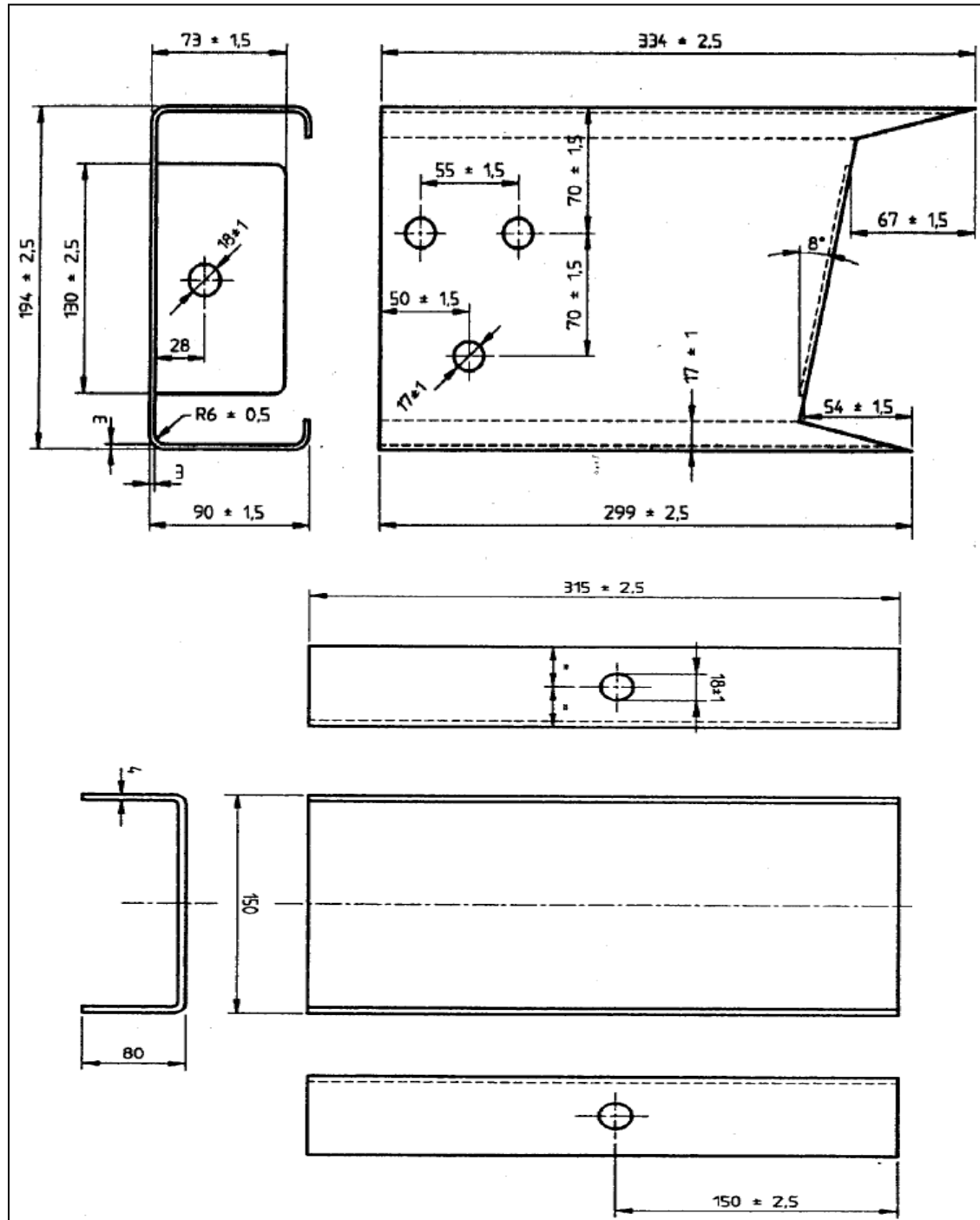


Fuente: NB 165002

Se utiliza Separador: Los separadores tienen un comportamiento rígido, cuya función es separa al poste del vehículo y mantener la baranda de contención a una altura adecuada durante el choque.

El separador debe ser tipo estándar, simple o simétrico, que se muestra en las siguientes figuras.

**Figura 32: Especificaciones del Separador**




Fuente: NB 165002

### 3.6.3.1.Poste de sujeción

Los valores obtenidos del poste son los siguientes:

**Tabla 15: Valores de Poste**


Poste de sujeción	Medidas	
	L =	1400 ± 30 mm
	H =	1000 ± 30 mm
	Ala =	68 mm
	Alma =	118 mm
	Atiesado =	18 mm
	Espesor =	4.65 mm

Fuente: Elaboración propia.

### 3.6.3.2.Separador

Los valores obtenidos del separador son los siguientes:

**Tabla 16: Valores del separador**

Separador	Medidas	
	L =	334 mm
	Ala =	90 mm
	Alma =	193 mm
	Atiesado =	17 mm
	Ala de fijación (m) =	130 mm
	Ala de fijación (n) =	73 mm
	Espesor =	3.40 mm

Fuente: Elaboración propia.

### 3.6.3.3.Segmento inicial y final de la barrera

Para reducir la gravedad de los accidentes se debe proteger los inicios y términos de la barrera de seguridad. Con este objetivo se debe empotrar y enterrar el extremo de la barrera completamente en el terreno, para lo que la parte inclinada de la baranda debe tener una longitud mínima de 10 m.

Se aceptan las siguientes alternativas para empotrar y enterrar los extremos de barrera:

- a) Poste con placa
- b) Otro sistema de anclaje debidamente validado.

En la mediana de la vía vehicular y complementariamente a los puntos anteriores, si existe espacio disponible, se debe alejar el extremo de la barrera en una longitud mínima de 12 m y 20°, Se acepta en los costados de la vía vehicular que el extremo superior de la barrera este empotrado y sobresalga 35 cm del nivel del terreno.

En casos especiales cuando el espacio disponible no permita cumplir con la cláusula, la longitud mínima de la parte inclinada de la barrera de contención puede ser 4 m, para ello se debe utilizar la pieza especial las cuales véase en las siguientes figuras.

**Figura 33: Pieza especial tipo aleta**



Fuente: Elaboración propia.


**Figura 34: Pieza especial tipo cola de pez**



Fuente: Elaboración propia.


En los segmentos inicial y final se analizaron los elementos instalados:

**Tabla 17: Valores de segmento**

Segmento inicial y final		Medidas	
		L =	680 mm
		Espesor =	3.30 mm
		H =	310 mm

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 18: Valores de segmento**

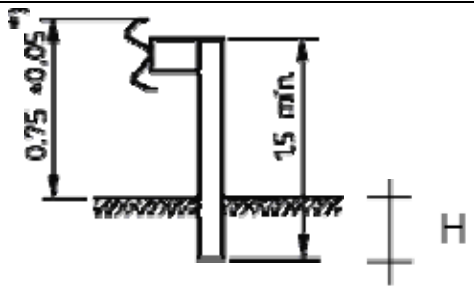
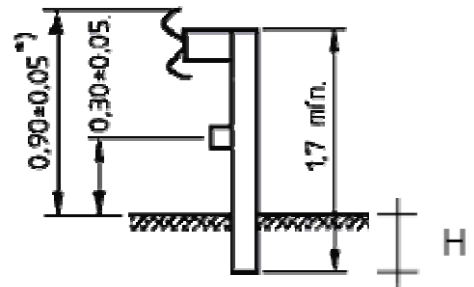
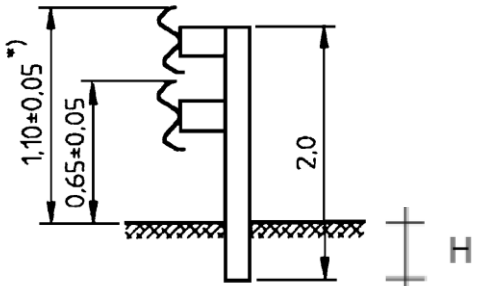
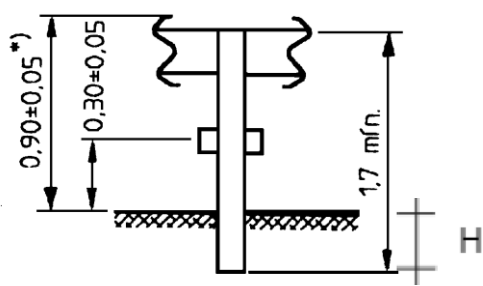
Segmento inicial y final		Medidas	
		L =	565 mm
		Espesor =	3.30 mm
		H =	310 mm

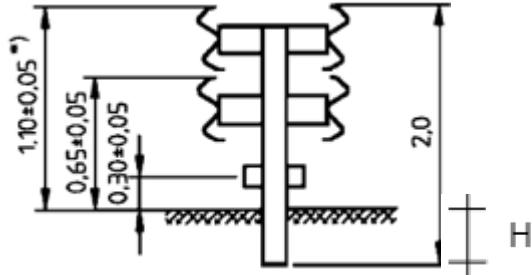
Fuente: Elaboración propia.

### 3.6.3.3.1. Tipos de baranda aplicada

La clasificación se presenta en la siguiente tabla, la cual tiene único objeto de unificar la terminología y no excluye otro tipo de configuraciones debidamente validadas.

**Tabla 19: Clasificación de barreras metálicas**

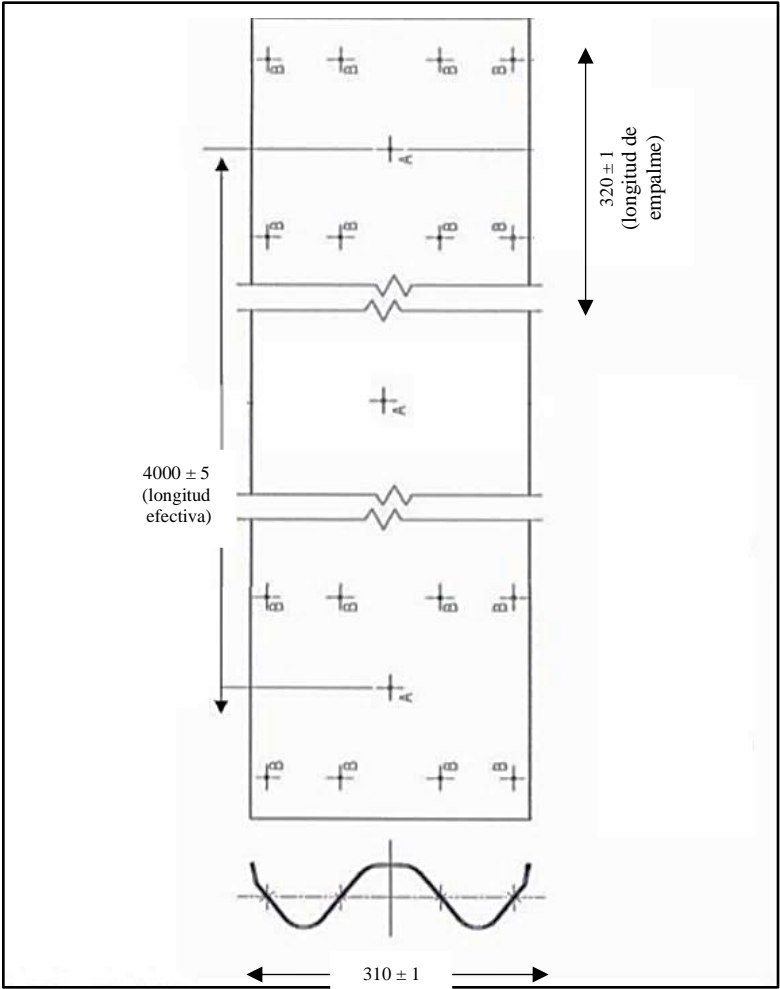
Tipo	Distancia entre postes (m)	Esquema
Barrera simple con baranda de doble onda	2.0 4.0	
Barrera simple con baranda de doble onda y riel inferior	2.0 4.0	
Barrera simple duplex con barandas de doble onda	2.0 4.0	
Barrera simétrica con barandas de doble onda y riel inferior	2.0 4.0	

Barrera simétrica duplex con barandas de doble onda y riel inferior	2.0	
	4.0	

Fuente: NB 165002

\*) Altura verificada a 0.50 m desde la cara externa de la baranda hacia la calzada  
H: de acuerdo a las condiciones del terreno, una profundidad mínima de 40 cm.

**Figura 35: Especificaciones técnicas de baranda doble onda**




Fuente: NB 165002

Se analizó los 3 tramos, y se verificaron las barandas instaladas y se obtuvieron los siguientes valores.




**Tabla 20: Valores de baranda**

Baranda aplicada	Medidas
	$L = 4320 \text{ mm}$


Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 21: Valores de baranda**

Baranda aplicada	Medidas
	$H = 310 \text{ mm}$

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 22: Valores de baranda**

Baranda aplicada	Medidas
	$\text{Empalme} = 320 \text{ mm}$

Fuente: Elaboración propia.



### 3.6.3.3.2. Elementos retrorreflectantes

Tienen el propósito de mejorar la visibilidad de las barreras de seguridad, son imprescindibles en viales de cierta peligrosidad y en curvas, los más utilizados son los capta faros.

**Tabla 23: Disposición de los elementos retrorreflectantes**

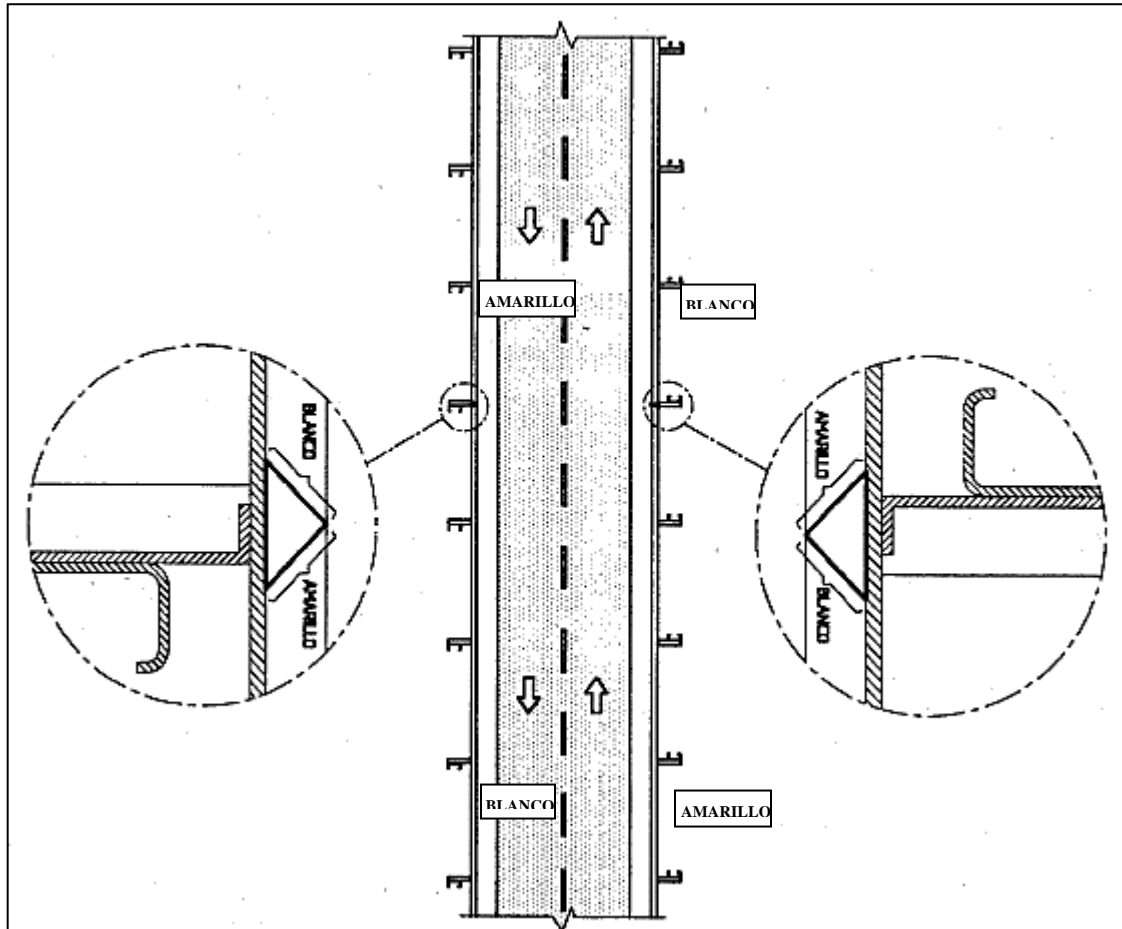
Radio curva horizontal, (m)	Distancia, (m)
Radios menores a 100	4
$100 \leq \text{Radio} < 200$	8
$200 \leq \text{Radio} < 300$	16
$300 \leq \text{Radio}$	20

Fuente: NB 165002

El elemento retrorreflectante debe cumplir con una intensidad mínima de 250 Cd/Lux/m<sup>2</sup> para el blanco y 170 Cd/Lux/m<sup>2</sup> para el amarillo. Cada cara del elemento retrorreflectante debe tener un área mínima de 4.000 mm<sup>2</sup>. El elemento retrorreflectante no debe sobresalir de la baranda cuando se mira la baranda desde arriba.

Su posición y orientación según el sentido del tránsito se indica en las figura siguiente.



**Figura 36: Ubicación en barrera metálica de seguridad calzada bidireccional**



Fuente: NB 165002

Se evaluó los elementos retrorreflectantes de los 3 tramos estudiados, se obtuvo los siguientes datos.

**Tabla 24: Elementos retrorreflectantes**

	
Medidas	
colocado cada 4m. según la necesidad de la curva el color reflectante se coloca en cada curva.	

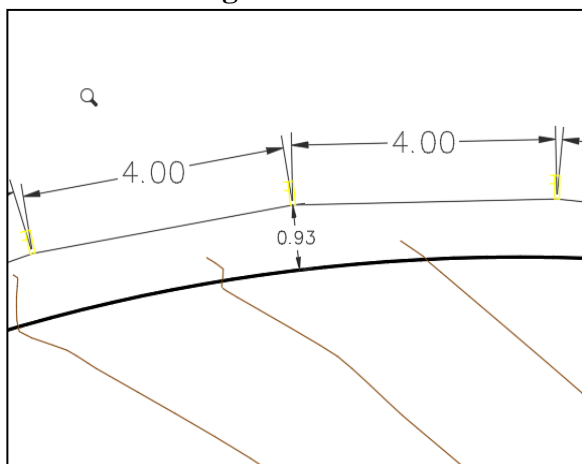
Fuente: Elaboración propia.

### 3.7. Distancia al borde de la calzada

En el caso de los tres Tramos estudiados se tienen los siguientes datos:

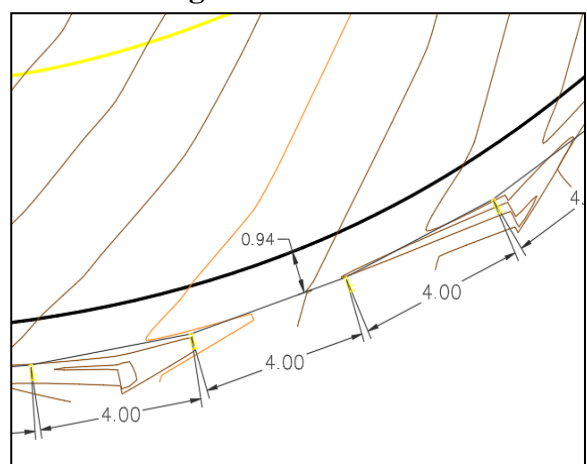
- Tramo Cieneguillas

**Figura 37: Curva A**



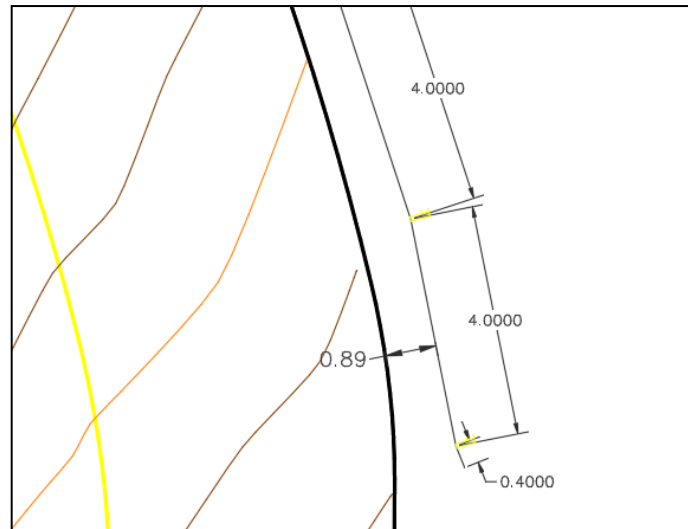
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 38: Curva B**



Fuente: Elaboración propia.

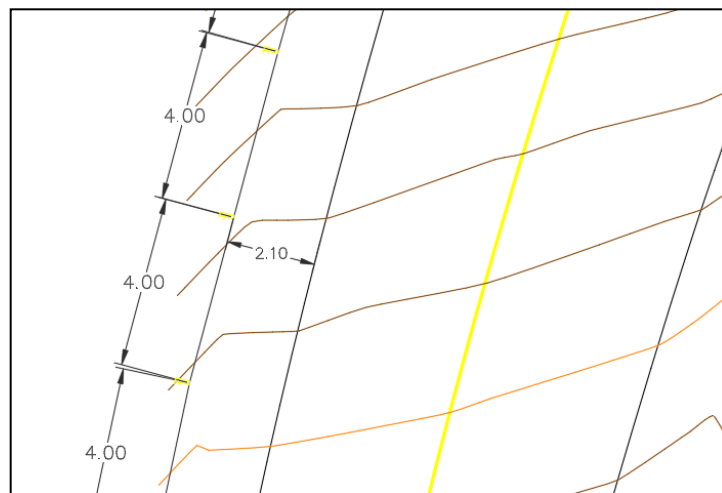
**Figura 39: Curva C**



Fuente: Elaboración propia.

- Tramo El Cóndor

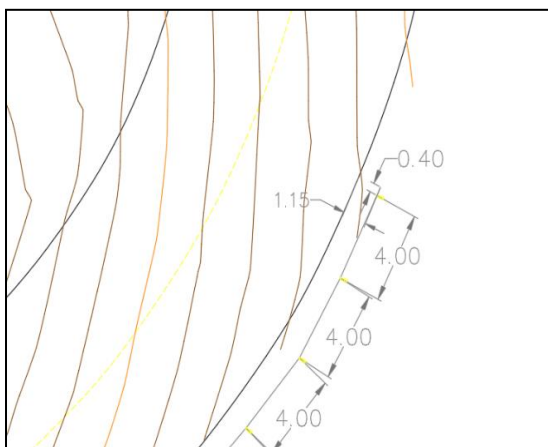
**Figura 40: Curva D**



Fuente: Elaboración propia.

- Tramo Yunchará

**Figura 41: Curva E**



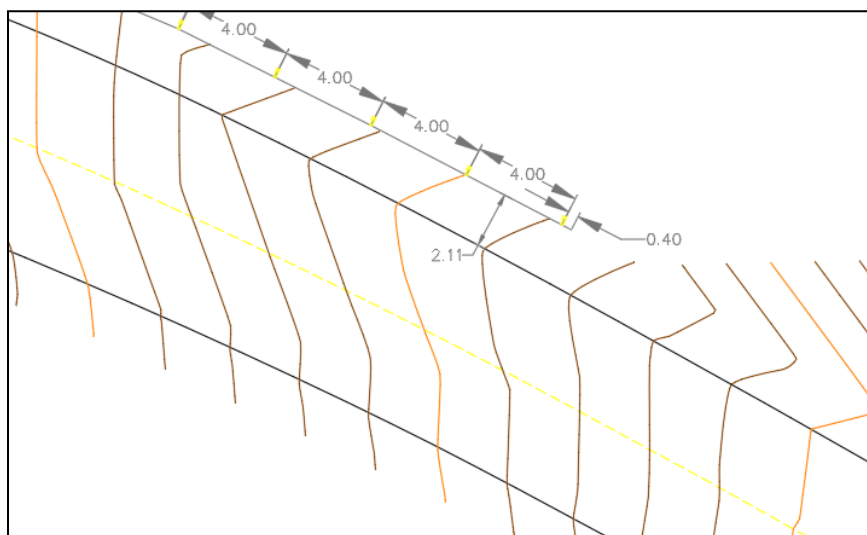
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 42: Curva F**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 43: Curva G**



Fuente: Elaboración propia.

### 3.8. Recopilación de datos de tráfico

Se realizó una recolección de datos en horas pico en los 3 tramos de estudio.

#### 3.8.1. Aforo de tráfico en el Tramo Cieneguillas.

Se lo realizó en tres horarios elegidos a criterio de horas pico en cada tramo.

**Tabla 25: Aforo horario 1**

Hora pico 7:00-8:00	Tramo Cieneguillas			
	Tipo vehículo	Sentido		Total
		Sur	Norte	
	Automóviles	24	26	50
	Buses	5	1	6
	Camión con dos ejes	3	2	5
	Camiones con dos o más de dos ejes (rígidos)	4	3	7
	Tracto camiones (semi remolque-remolque)	3	1	4

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 1: Aforo horario 1**



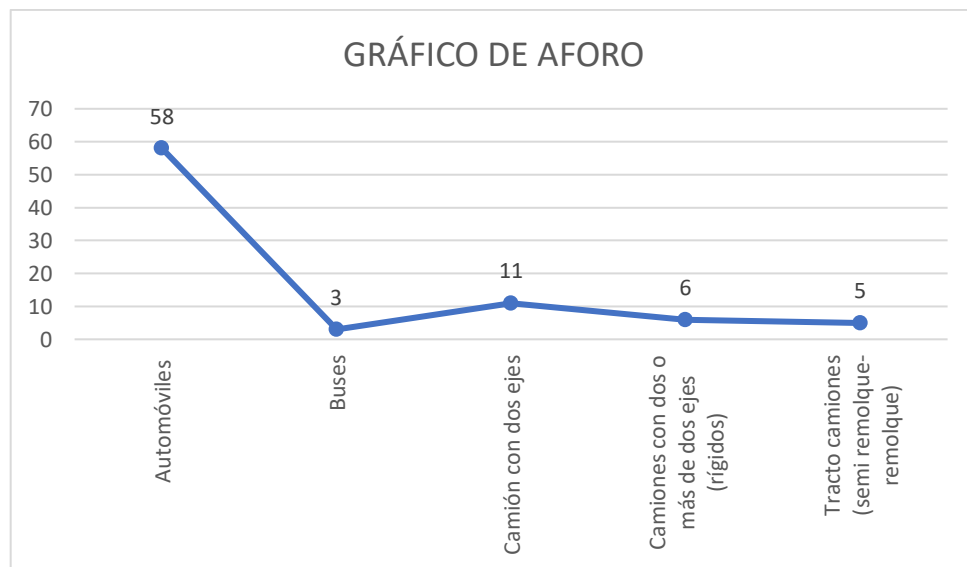
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 26: Aforo horario 2**

Hora pico 15:00- 16:00	Tramo Cieneguillas			
	Tipo vehículo	Sentido		Total
		Sur	Norte	
	Automóviles	31	27	58
	Buses	1	2	3
	Camión con dos ejes	5	6	11
	Camiones con dos o más de dos ejes (rígidos)	2	4	6
	Tracto camiones (semi remolque-remolque)	2	3	5

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 2: Aforo horario 2**



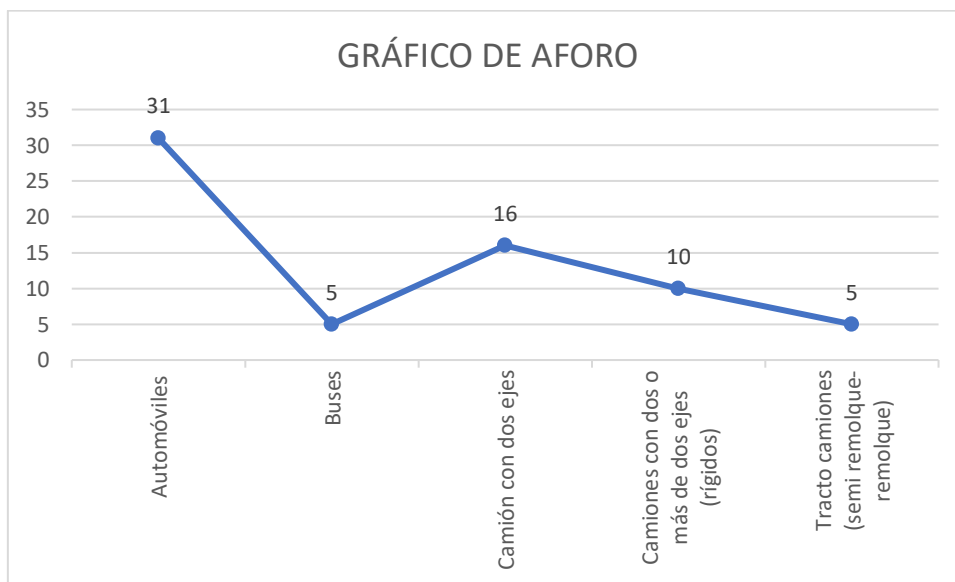
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 27: Aforo horario 3**

Hora pico 18:00-19:00	Tramo Cieneguillas			
	Tipo vehículo	Sentido		Total
		Sur	Norte	
	Automóviles	14	17	31
	Buses	1	4	5
	Camión con dos ejes	7	9	16
	Camiones con dos o más de dos ejes (rígidos)	2	8	10
	Tracto camiones (semi remolque-remolque)	1	4	5

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 3: Aforo horario 3**



Fuente: Elaboración propia.



3.8.2. Aforo de tráfico en el Tramo El Cóndor

Se lo realizó en tres horarios elegidos a criterio de horas pico en cada tramo.

**Tabla 28: Aforo horario 1**

Hora pico 7:00-8:00	Tramo El Cóndor			
	Tipo vehículo	Sentido		Total
		Sur	Norte	
	Automóviles	22	18	40
	Buses	2	6	8
	Camión con dos ejes	4	9	13
	Camiones con dos o más de dos ejes (rígidos)	3	5	8
	Tracto camiones (semi remolque-remolque)	7	3	10

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 4: Aforo horario 1**



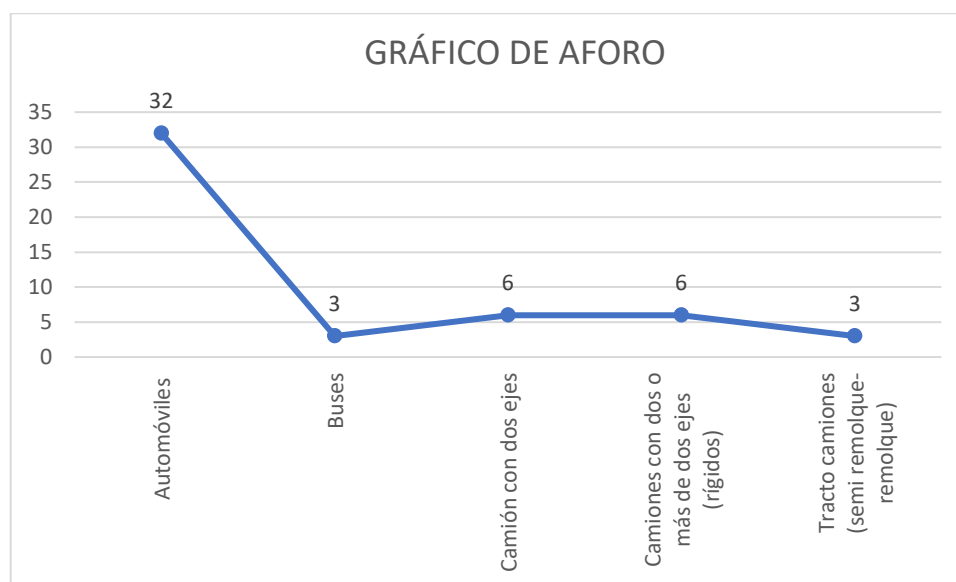
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 29: Aforo horario 2**

Hora pico 15:00-16:00	Tramo El Cóndor			
	Tipo vehículo	Sentido		Total
		Sur	Norte	
	Automóviles	15	17	32
	Buses	1	2	3
	Camión con dos ejes	5	1	6
	Camiones con dos o más de dos ejes (rígidos)	2	4	6
	Tracto camiones (semi remolque-remolque)	1	2	3

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 5: Aforo horario 2**



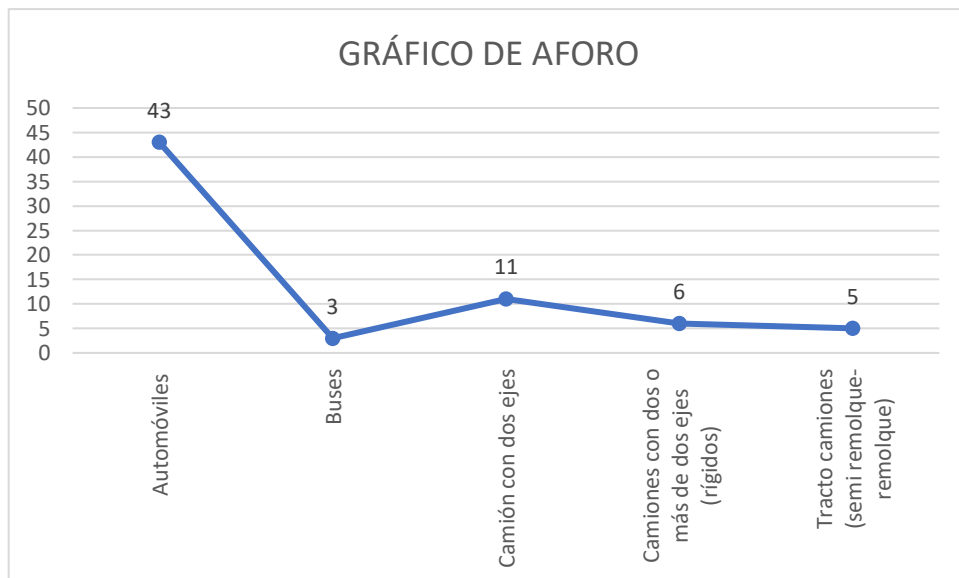
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 30: Aforo horario 3**

Hora pico 17:00-18:00	Tramo El Cóndor			
	Tipo vehículo	Sentido		Total
		Sur	Norte	
	Automóviles	23	20	43
	Buses	3	0	3
	Camión con dos ejes	7	4	11
	Camiones con dos o más de dos ejes (rígidos)	3	3	6
	Tracto camiones (semi remolque-remolque)	4	1	5

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 6: Aforo horario 3**



Fuente: Elaboración propia.

### 3.8.3. Aforo de tráfico en el Tramo Yunchará

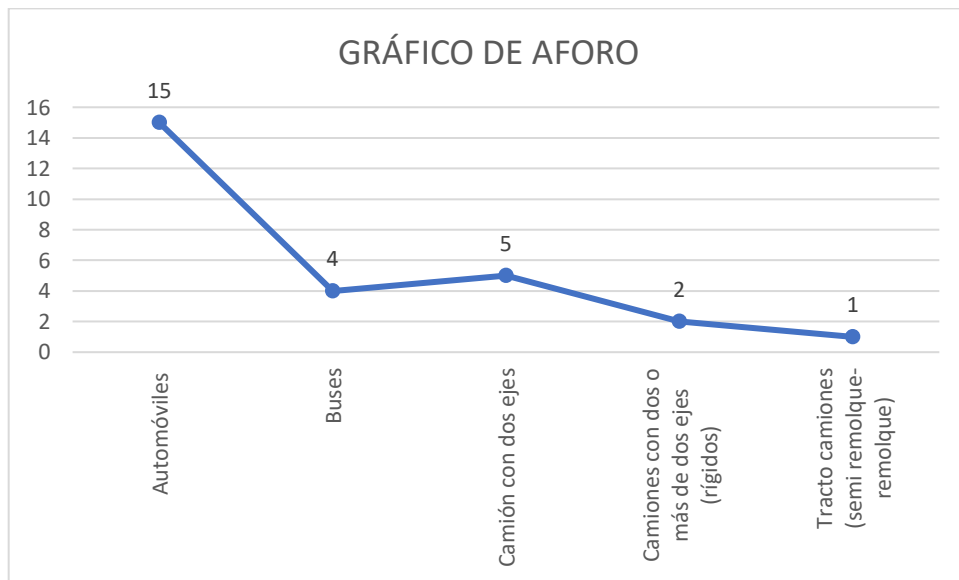
Se lo realizó en tres horarios elegidos a criterio de horas pico en cada tramo.

**Tabla 31: Aforo horario 1**

Hora pico 7:00-8:00	Tramo El Cóndor			
	Tipo vehículo	Sentido		Total
		Sur	Norte	
	Automóviles	6	9	15
	Buses	3	1	4
	Camión con dos ejes	1	4	5
	Camiones con dos o más de dos ejes (rígidos)	1	1	2
	Tracto camiones (semi remolque-remolque)	1	0	1

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 7: Aforo horario 1**



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 32: Aforo horario 2**

Hora pico 12:00-13:00	Tramo El Cóndor			
	Tipo vehículo	Sentido		Total
		Sur	Norte	
	Automóviles	5	3	8
	Buses	2	1	3
	Camión con dos ejes	1	3	4
	Camiones con dos o más de dos ejes (rígidos)	0	0	0
	Tracto camiones (semi remolque-remolque)	0	2	2

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 8: Aforo horario 2**

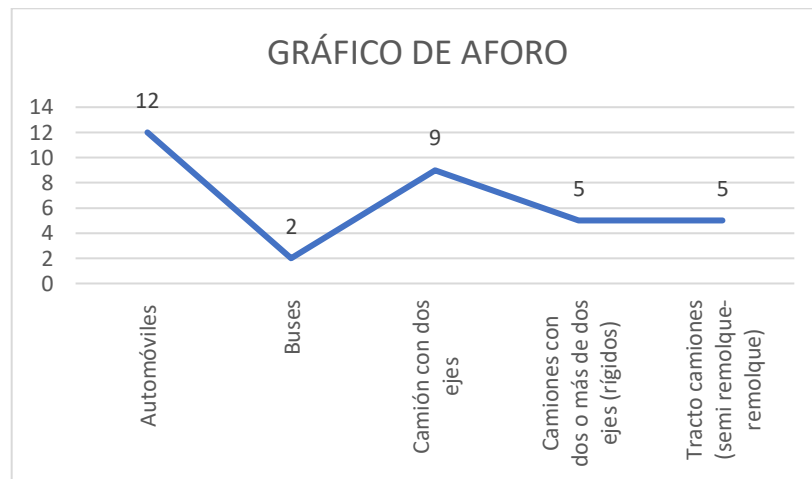


Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 33: Aforo horario 3**

Hora pico 17:00-18:00	Tramo El Cóndor			
	Tipo vehículo	Sentido		Total
		Sur	Norte	
	Automóviles	8	4	12
	Buses	1	1	2
	Camión con dos ejes	5	4	9
	Camiones con dos o más de dos ejes (rígidos)	3	2	5
	Tracto camiones (semi remolque-remolque)	3	2	5

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 9: Aforo horario 3**

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, mostramos una tabla de clasificación de los tipos de vehículos por su peso.

**Tabla 34: Clasificación vehicular por su peso**

Tipo de vehículo	Peso (Kg)	Clase
Liviano	820 a 2000	Automóvil
Mediano	2000 a 8000	Buses, Camión mediano
Pesado	8000 a 36000	Camión grande, Tráiler

Fuente: En base a la tabla II-12 del Manual SCV

### 3.9. Resumen de tipo de vehículos que circulan

Con estos datos se puede separar los vehículos que circulan entre vehículos livianos medianos pesados, como se observará en los siguientes cuadros:

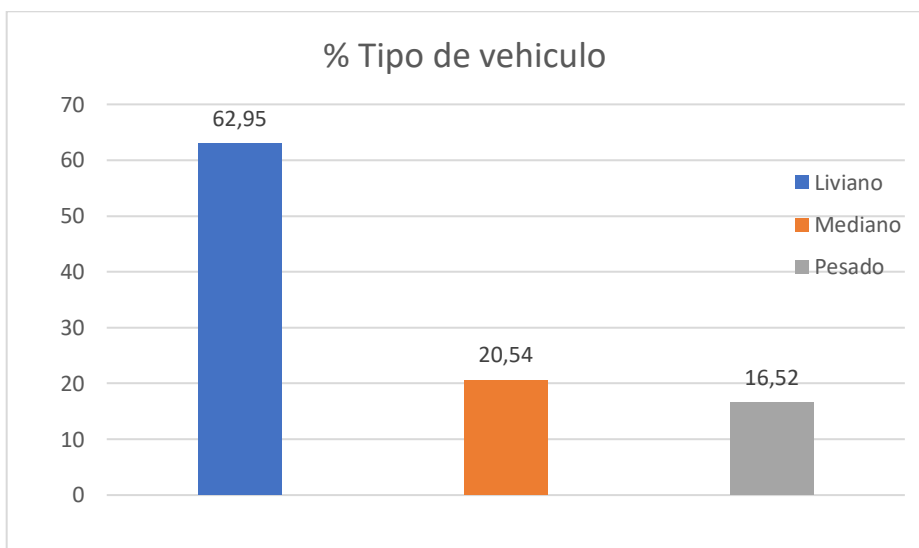
#### 3.9.1. Datos del Tramo Cieneguillas

**Tabla 35: Resumen de vehículos**

Dirección	Hora	Tipo de vehículo		
		Liviano	Mediano	Pesado
Sur	7:00-8:00	24	9	7
Norte		26	3	4
Sur	15:00-16:00	32	6	4
Norte		27	9	7
Sur	18:00-19:00	15	8	4
Norte		17	11	11
TOTAL		141	46	37
Volumen por día (horas pico)		224		
% Tipo de vehículo		62,95	20,54	16,52

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 10: Resumen de vehículos**



Fuente: Elaboración propia.

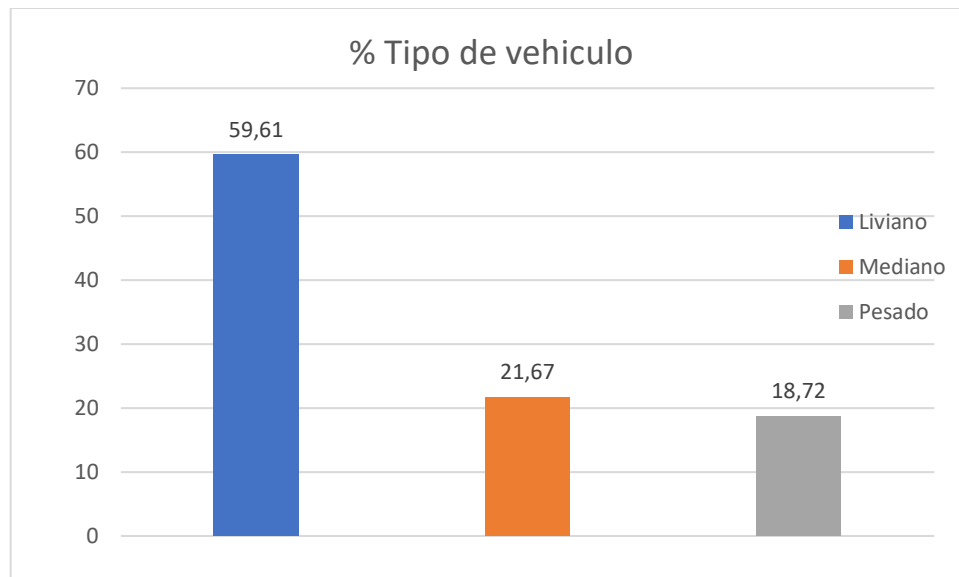
### 3.9.2. Datos del Tramo El Cóndor

**Tabla 36: Resumen de vehículos**

Dirección	Hora	Tipo de vehículo		
		Liviano	Mediano	Pesado
Sur	7:00-8:00	25	6	10
Norte		19	15	8
Sur	15:00-16:00	15	6	3
Norte		18	3	6
Sur	18:00-19:00	23	10	7
Norte		21	4	4
TOTAL		121	44	38
Volumen por día (horas pico)		203		
% Tipo de vehículo		59,61	21,67	18,72

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 11: Resumen de vehículos**



Fuente: Elaboración propia.



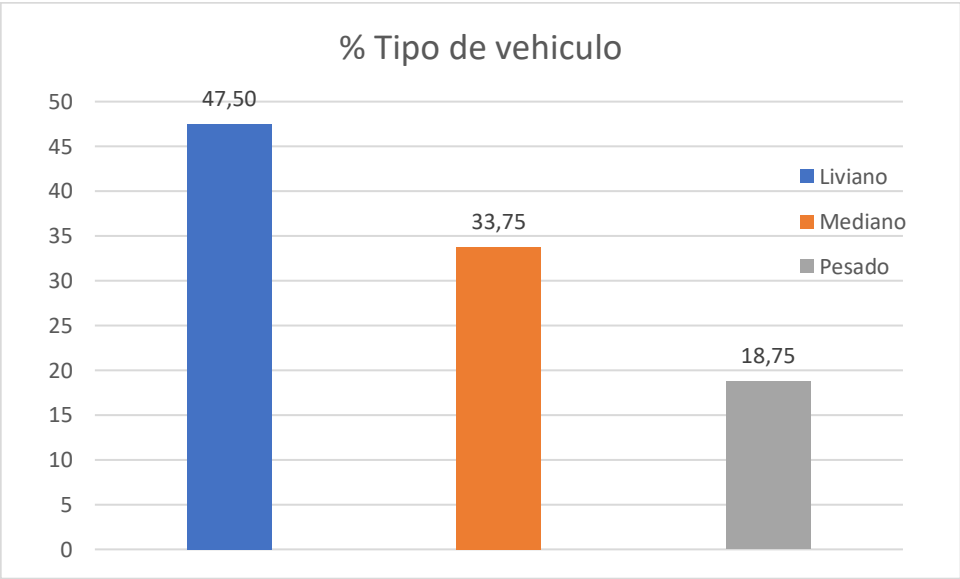
3.9.3. Datos del Tramo Yunchará

**Tabla 37: Resumen de vehículos**

Dirección	Hora	Tipo de vehículo		
		Liviano	Mediano	Pesado
Sur	7:00-8:00	6	4	2
Norte		10	5	1
Sur	15:00-16:00	5	3	0
Norte		3	4	2
Sur	18:00-19:00	9	6	6
Norte		5	5	4
TOTAL		38	27	15
Volumen por día (horas pico)		80		
% Tipo de vehículo		47,50	33,75	18,75

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 12: Resumen de vehículos**



Fuente: Elaboración propia.

### 3.10. Velocidades de recorrido

Para la recolección real de velocidades se tomó en el ingreso a las curvas con riesgo de cada tramo.

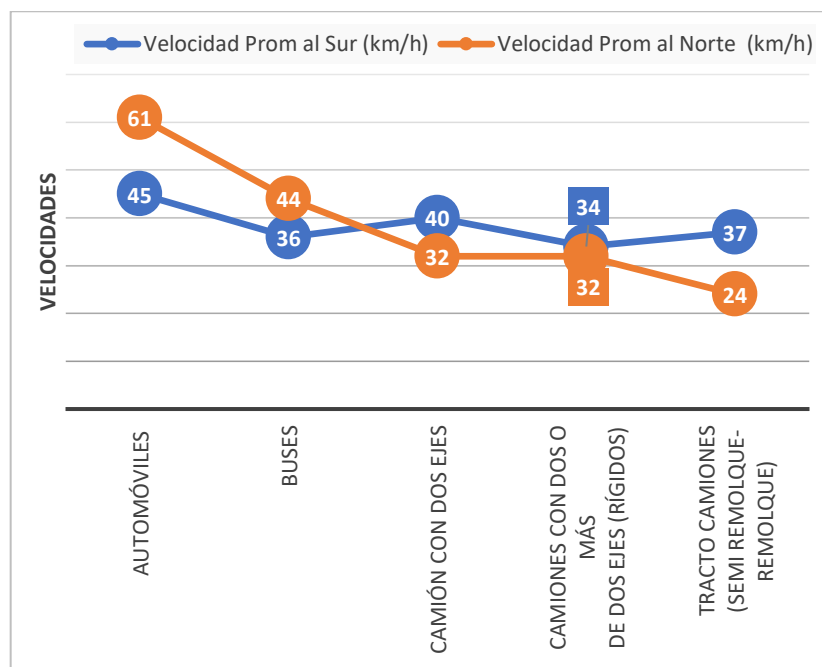
#### 3.10.1. Velocidades del Tramo Cieneguillas

**Tabla 38: Velocidades en el Tramo**

Vehículo	V=d/t									tiempo prom (seg)	Velocidad Prom al Sur (km/h)	Velocidad Prom al Norte (km/h)
	distancia (m)	tiempo (seg)										
		al Sur				al Norte						
Automóviles	98	7,11	7,67	7,96	8,91	4,61	4,92	8,62	6,42	7,03	45	61
Buses	98	9,73	9,12	10,02	10,36	7,28	8,34	8,51	7,72	8,51	36	48
Camión con dos ejes	98	8,94	8,07	9,27	9,48	7,23	9,63	18,48	15,34	10,81	40	32
Camiones con dos o más de dos ejes (rígidos)	98	9,49	10,84	10,27	10,63	8,31	11,45	12,26	12,64	11,02	33	32
Tracto camiones (semi remolque-remolque)	98	7,84	15,13	8,56	9,41	18,33	16,9	11,2	13,79	13,88	34	24

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 13: Resumen de velocidades**



Fuente: Elaboración propia.

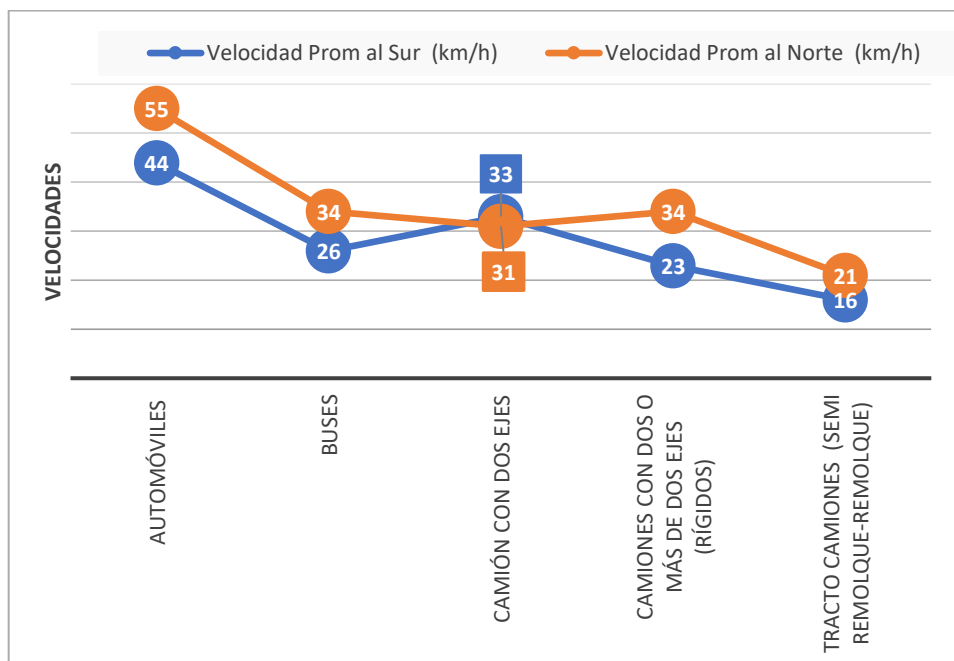
### 3.10.2. Velocidades del Tramo El Cóndor

**Tabla 39: Velocidades en el Tramo**

Vehículo	V=d/t										Velocidad Prom al Sur (km/h)	Velocidad Prom al Norte (km/h)
	distancia (m)	tiempo (seg)										
		al Sur				al Norte				tiempo prom (seg)		
Automóviles	44	3,22	3,47	3,85	4,03	2,98	2,49	2,81	3,38	3,28	44	55
Buses	44	5,48	5,91	7,14	6,32	4,87	4,25	4,61	4,73	5,41	26	34
Camión con dos ejes	44	3,9	5,88	4,62	5,21	4,89	4,95	5,12	5,26	4,98	33	41
Camiones con dos o más de dos ejes (rígidos)	44	5,54	6,88	7,12	9,73	4,26	4,58	4,91	5,03	6,01	23	34
Tracto camiones (semi remolque-remolque)	44	9,13	10,22	9,58	9,83	7,14	7,22	7,67	8,34	8,64	16	21

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 14: Resumen de velocidades**



Fuente: Elaboración propia.

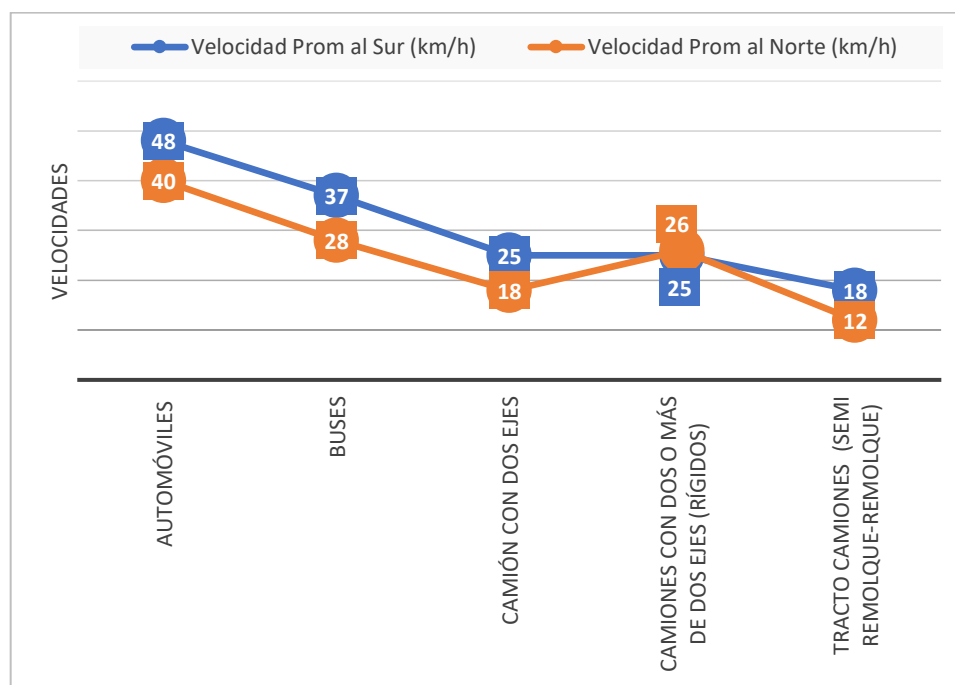
### 3.10.3. Velocidades del Tramo Yunchará

**Tabla 40: Velocidades en el Tramo**

Vehículo	V=d/t										Velocidad Prom al Sur (km/h)	Velocidad Prom al Norte (km/h)
	distancia (m)	tiempo (seg)										
		al Sur				al Norte				tiempo prom (seg)		
Automóviles	56	3,55	4,21	4,39	4,76	4,22	4,99	4,91	6,42	4,68	48	40
Buses	56	4,54	5,39	5,63	6,78	6,69	6,91	8,12	7,11	6,40	37	28
Camión con dos ejes	56	8,71	7,32	7,76	8,39	7,23	9,63	18,48	15,34	10,36	25	18
Camiones con dos o más de dos ejes (rígidos)	56	5,72	8,92	9,21	9,49	7,1	7,66	8,44	7,82	8,05	25	26
Tracto camiones (semi remolque-remolque)	56	10,56	10,81	12,91	11,59	16,39	17,25	18,33	16,9	14,34	18	12

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 15: Resumen de velocidades**



Fuente: Elaboración propia.

### 3.11. Cálculo de radio de curvatura

El radio de curvatura es la medida del grado de curvatura de una carretera. Matemáticamente, se define como el radio del círculo que mejor se ajusta a una curva en un punto dado. Mientras mayor sea el radio, más suave será la curva; en cambio, radios pequeños generan curvas cerradas que exigen menor velocidad de circulación.

El radio de curvatura ayuda a definir la velocidad de proyecto de una carretera, estos influyen en el diseño y por ende la seguridad vial de la carretera. Este punto puede relacionarse con la evaluación de barreras de contención, ya que en curvas con radios reducidos aumenta el riesgo de impacto, lo que exige un diseño más robusto y el cumplimiento estricto de la norma para garantizar seguridad vial.

Calculamos el radio de curvatura para cada curva estudiada:

- Tramo Cieneguillas

#### Curva A

$$\begin{array}{lcl} \text{Cuerda} = & 57,58 & \\ \text{Media} = & 41,64 & \end{array} \quad R \approx \frac{C^2}{8m} + \frac{m}{2}$$

$$R \approx 30,77 \quad \text{M}$$

#### Curva B

$$\begin{array}{lcl} \text{Cuerda} = & 40,68 & \\ \text{Media} = & 65,5 & \end{array} \quad R \approx \frac{C^2}{8m} + \frac{m}{2}$$

$$R \approx 35,91 \quad \text{m}$$

#### Curva C

$$\begin{array}{lcl} \text{Cuerda} = & 38,77 & \\ \text{Media} = & 61,41 & \end{array} \quad R \approx \frac{C^2}{8m} + \frac{m}{2}$$

$$R \approx 33,76 \quad \text{m}$$

- Tramo El Cóndor

**Curva D**

$$\begin{array}{lcl} \text{Cuerda} = & 288,36 \\ \text{Media} = & 110,17 \end{array}$$

$$R \approx \frac{C^2}{8m} + \frac{m}{2}$$

$$R \approx 149,43 \quad \text{m}$$

- Tramo Yunchará

**Curva E**

$$\begin{array}{lcl} \text{Cuerda} = & 71,65 \\ \text{Media} = & 12,28 \end{array}$$

$$R \approx \frac{C^2}{8m} + \frac{m}{2}$$

$$R \approx 52,26 \quad \text{m}$$

**Curva F**

$$\begin{array}{lcl} \text{Cuerda} = & 96,47 \\ \text{Media} = & 53,01 \end{array}$$

$$R \approx \frac{C^2}{8m} + \frac{m}{2}$$

$$R \approx 48,45 \quad \text{m}$$

**Curva G**

$$\begin{array}{lcl} \text{Cuerda} = & 138,61 \\ \text{Media} = & 12,26 \end{array}$$

$$R \approx \frac{C^2}{8m}$$

$$R \approx 195,89 \quad \text{m}$$

Estos datos obtenidos mediante el levantamiento topográfico, se pudo realizar usando la formula general.

### 3.12. Velocidad de diseño

La velocidad de proyecto es la máxima velocidad a la que se puede circular de forma segura y confortable en un tramo de carretera, considerando factores como la fricción, el peralte y la visibilidad.

Mediante la siguiente fórmula:

$$V = \sqrt{127 * R * (e + f)}$$

$R$ : radio de curvatura

$e$ : peralte (8%)

$f$ : coeficiente de fricción lateral admisible (0,10 ~ 0,16)

Esto permite determinar la velocidad de diseño en función del radio existente y las condiciones de fricción y peralte.

Calculamos la velocidad de diseño en los tramos estudiados.

#### ➤ Tramo Cieneguillas

$$V = \sqrt{127 * R * (e + f)}$$

$R = 30,77$

$e = 0,08$

$f = 0,12$

$V = 27,96 \text{ m/s}$

#### ➤ Tramo El Cóndor

$$V = \sqrt{127 * R * (e + f)}$$

$R = 149,43$

$e = 0,08$

$f = 0,12$

$V = 61,61 \text{ m/s}$

➤ Tramo Yunchará

$$V = \sqrt{127 * R * (e + f)}$$

$$R = 48,45$$

$$e = 0,08$$

$$f = 0,12$$

$$V = 35,08 \text{ m/s}$$



# **CAPÍTULO IV**

## **PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN**

## CAPÍTULO IV

### PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN

#### 4. Resultados obtenidos

Se realizó el relevamiento de todos los datos necesarios para poder realizar la evaluación.

Se presenta una tabla de resumen de las instalaciones realizadas en los tramos presentados para el estudio.

**Tabla 41: Resumen de especificaciones técnicas**

Normativa			V°B° NB 165002	V°B° AASHTO M 180
		(mm)		
Baranda	Longitud =	4320	Cumple	Cumple
Poste	Altura =	800 + 300	Cumple	Cumple
	Ala =	68	Cumple	Cumple
	Alma =	118	Cumple	cumple
Separador	Longitud =	334	Cumple	Cumple
	Ala =	90	Cumple	Cumple
	Alma =	193	Cumple	Cumple
Segmento	Longitud =	680	Cumple	Cumple
	Altura =	330	Cumple	Cumple
Pernos	M16		Cumple	Cumple
	Cabeza redonda		Cumple	Cumple
Tuercas	M=	14,65	Cumple	Cumple
	S=	26,6	Cumple	Cumple
	D=	15,5	Cumple	Cumple
Elementos retroreflectantes	Distancia de colocado =	4000	Cumple	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1. Distancia al borde de la calzada

Las barreras de seguridad deben colocarse a una separación mínima del borde de la calzada de 0.5 m, y de ser posible, colocarse más allá de la distancia de preocupación(Ls).

**Tabla 42: Distancia de preocupación Ls**

Velocidad (km/hr)	Distancia entre el borde de la vía y la línea de preocupación Ls (m)
50	1,1
60	1,4
70	1,7
80	2,0
90	2,2
100	2,4
110	2,8

Fuente: Norma UNE-EN 1317

En el Tramo 1-Cieneguillas se obtuvo:

- Curva A: 0.93 m
- Curva B: 0.94 m
- Curva C: 0.89 m

En el Tramo 2-El Cóndor se obtuvo:

- Curva D: 2.10 m

En el Tramo 3-Yunchará

- Curva E: 1.15 m
- Curva F: 2.02 m
- Curva G: 2.11 m

La distancia de las barreras y pretiles a la calzada debe limitarse para evitar que el ángulo de impacto supere el ángulo con el que se realizan los ensayos (20°), como indica en la Tabla 42, según Norma UNE-EN 1317.

Los datos obtenidos con el levantamiento topográfico se asegura una funcionabilidad correcta de las barreras de contención, como indica en la norma NB 165002.

#### 4.1.1. Nivel de Contención

Se realizó la medición de velocidades en cada tramo, en las siguientes tablas nos mostraran las velocidades máximas en cada tramo.

**Tabla 43: Velocidades del tramo Cieneguillas**

Vehículo	Tiempo (seg)	Distancia (m)	Vel. Máxima (km/h)
Automóviles	4,61	98	76
Buses	7,28	98	49
Camión con dos ejes	7,23	98	48
Camiones con dos o más de dos ejes (rígidos)	8,31	98	43
Tracto camiones (semi remolque-remolque)	8,56	98	41

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 44: Velocidades del tramo El Cóndor**

Vehículo	Tiempo (seg)	Distancia (m)	Vel. Máxima (km/h)
Automóviles	2,43	44	65
Buses	4,25	44	37
Camión con dos ejes	4,66	44	34
Camiones con dos o más de dos ejes (rígidos)	4,36	44	36
Tracto camiones (semi remolque-remolque)	7,14	44	22

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 45: Velocidades del tramo Yunchará**

Vehículo	Tiempo (seg)	Distancia (m)	Vel. Máxima (km/h)
Automóviles	3,43	56	59
Buses	4,21	56	48
Camión con dos ejes	4,98	56	40
Camiones con dos o más de dos ejes (rígidos)	5,87	56	34
Tracto camiones (semi remolque-remolque)	6,13	56	33

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo un promedio de vehículos que circulan por los 3 tramos.

**Tabla 46: Promedio de tipo de vehículos**

% Tipo de vehículo	Liviano	Mediano	Pesado
	56,684	25,320	17,996

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2. Comparación de velocidades

En la siguiente tabla se realiza la comparación entre velocidad medida en cada tramo vs velocidad de diseño:

**Tabla 47: Comparación de velocidades**

Tramo	Velocidad de diseño (km/h)	Velocidad máxima (km/h)
Cieneguillas	27,96	61
El Cóndor	61,61	65
Yunchará	35,08	59

Fuente: Elaboración propia.

Para seleccionar el nivel de contención vehicular, se selecciona de acuerdo a los criterios mostrados en la siguiente tabla.

**Tabla 48: Criterios para seleccionar el nivel de contención de una barrera de seguridad**

Velocidad (km/hr)	Nivel de contención
$\leq 60$	H1, TL3, TL4
$> 60$	H2, H3, H4b, TL5, TL6

Fuente: Norma UNE-EN 1317

Observando los resultados obtenidos de las velocidades de cada tramo tenemos que están instaladas las barreras que no cumplen con el Nivel de Contención, se puede decir que las barreras instaladas están de manera que no satisfacen para la seguridad vial de cada tramo.

De todas las curvas, en el Tramo Cieneguillas la curva C, es un peligro muy alto el cual se tiene datos históricos que hubo accidentes de consideración, los cuales la barrera instalada en el lugar no cumple con mitigar, redireccionar y disminuir la gravedad del accidente.

**Figura 44: Estado de la barrera en la curva C**



Fuente: Elaboración propia.

Esta barrera tiene una instalación de los postes con cimentación hormigonada, la cual no soporta la severidad del impacto.

#### **4.2. Propuesta de barrera de contención**

Ya teniendo datos de las barreras de contención instaladas en los tramos estudiados, se observa que son barreras simples con baranda de doble onda, las cuales no son las adecuadas para la seguridad vial. En la cual se tiene como propuesta instalación de una barrera con Nivel de Contención tipo H4b, siendo esta la más robusta, o por tema costos una baranda de triple onda con Nivel de Contención H3.

La barrera de contención de triple onda, es un tipo de barrera de seguridad vial utilizada principalmente en carreteras y autopistas para mejorar la contención en caso de impacto. En la normativa española (basada en la norma europea EN 1317 ), las barreras de triple onda suelen cumplir con niveles de contención H1, H2 o H3 .

Niveles de contención en barreras de triple onda:

- **H1:** Este nivel de contención es adecuado para contener vehículos ligeros y medianos, soportando impactos de vehículos de hasta 1,5 toneladas (como coches estándar) y vehículos pesados en situaciones controladas.
- **H2:** Este nivel de contención es más robusto y está diseñado para soportar impactos de vehículos más pesados (hasta 13 toneladas), como furgonetas o camiones pequeños. Es uno de los niveles más comunes para barreras de triple onda en carreteras de alta velocidad.
- **H3:** Este es un nivel de contención aún más alto, adecuado para retener vehículos de gran tamaño, como camiones pesados (hasta 16 toneladas), en tramos de carretera de mayor riesgo, donde la probabilidad de accidentes severos es significativa.

**Figura 45: Baranda 3 ondas**



Fuente: Elaboración propia

#### Especificaciones principales de baranda 3 ondas-H3

- Altura fuera del terreno: 800 mm
- Profundidad de anclaje: 700 mm
- Anchura total: 508 mm
- Distancia entre postes: 4000-4500mm
- Material: acero galvanizado

Esta barrera podrá garantizar el fin que tienen estas, que es mitigar, redireccionar y disminuir la gravedad del accidente.

##### 4.2.1. Detalles de barrera 3 ondas

Las barreras triple onda, instaladas como una gran viga continua, soportada por postes, distanciados según especificaciones técnicas y normativas, son fabricadas con acero de calidad, galvanizado en caliente según norma ASTM A123, los pernos se fabrican en acero de calidad ASTM 303 grado A, galvanizado en caliente según norma ASTM A153 clase C.



Tiene un Nivel de Contención H3, el cual es para contener vehículos de hasta 16 toneladas.

#### 4.2.1.1. Ventajas

Poseen una mayor resistencia al impacto de vehículos pesados como camiones de doble eje, como así también de vehículos livianos a alta velocidad. El diseño de estos dispositivos, se elabora en base a norma UNE-EN 1317.

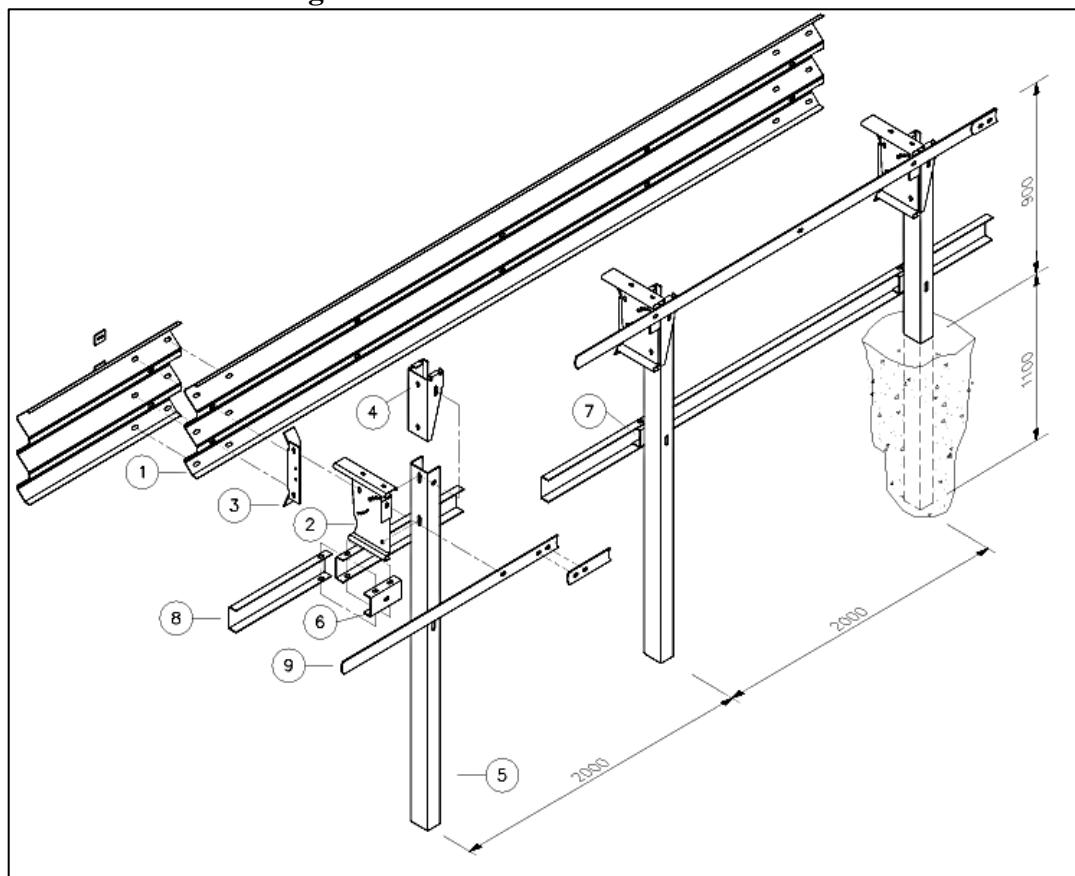
Tiene un Nivel de Contención Medio Alto, destinado a buses y camiones que operan a velocidades medias de 70 a 80 km/h.

#### 4.2.1.2. Principales componentes de la barrera 3 ondas

Se tienen los siguientes componentes.

- Postes: Van hincados en el terreno y disipan parte del impacto además de mantener la altura de la barrera.
- Separador: Conecta el poste con la baranda, para mantener la altura de la barrera constante durante el impacto, separando las ruedas del vehículo del poste y evitando que se enganchen producto del choque.
- Riel: Es un perfil metálico tipo canal, ubicado en paralelo a la baranda a 20cm del suelo, cuya función es evitar que las ruedas de los vehículos menores se enganchen en los postes durante el impacto.
- Barrera: Es la pieza que permite contener al vehículo y en conjunto con los postes lo redirecciona a la vía.
- Tensor: Elemento que entra en tracción inmediatamente después del impacto actuando como cable de contención, contribuyendo a disminuir el ancho de deformación del sistema durante el choque.

**Figura 46: Isométrica barrera 3 ondas**



Fuente: Tecnovial.cl

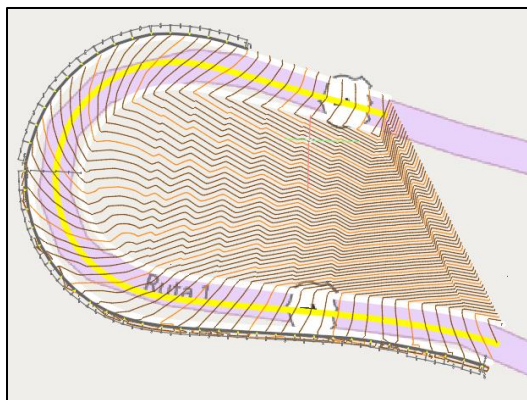
- 1) Baranda 3 ondas
- 2) Separador angosto simple
- 3) Disipador de energía
- 4) Elemento de unión y desenganche
- 5) Poste para barrera triple onda
- 6) Soporte U 100 x 50 x 5 (extremos)
- 7) Soporte U 100 x 50 x 5 (intermedios)
- 8) Riel inferior
- 9) Tensor longitudinal

### 4.3. Curvas en las que se debe aplicar la barrera propuesta

En el tramo Cieneguillas las tres curvas luego de la evaluación se puede llegar a proponer la instalación de la barrera de triple onda.

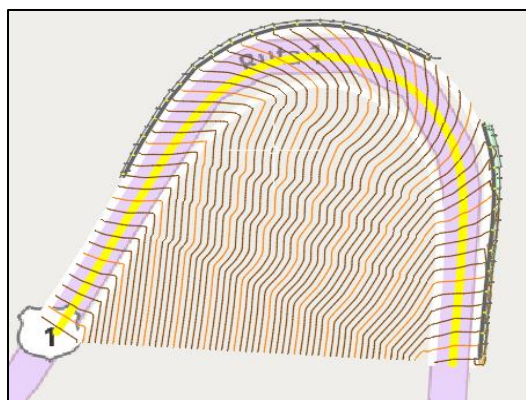
Se puede observar que las curvas son muy accidentadas.

**Figura 47: Curva A**



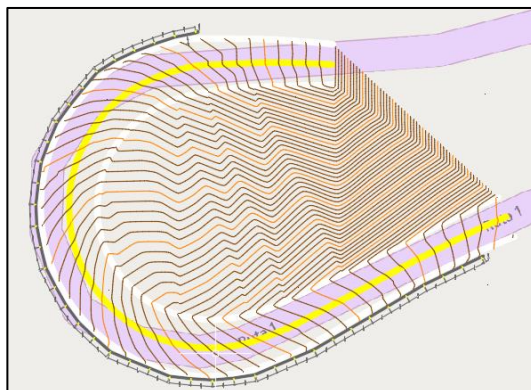
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 48: Curva B**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 49: Curva C**



Fuente: Elaboración propia.

En este tramo se tiene que:

**Tabla 49: Valores de barreras propuestas**

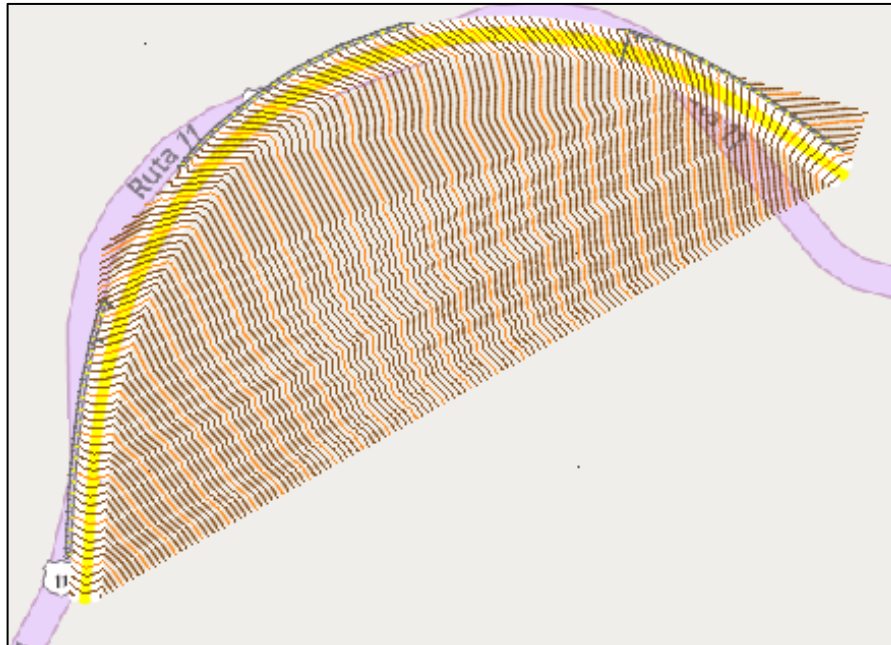
Curva	Longitud de barrera (m)	Distancia entre postes (m)
A	114	4
B	178	4
C	157	4

Fuente: Elaboración propia.

En el tramo El Cóndor la curva D luego de la evaluación se puede llegar a proponer la instalación de la barrera de triple onda.

Se puede observar que la curva es muy rápida y larga.

**Figura 50: Curva D**



Fuente: Elaboración propia.

En este tramo se tiene que:

**Tabla 50: Valores de barreras propuestas**

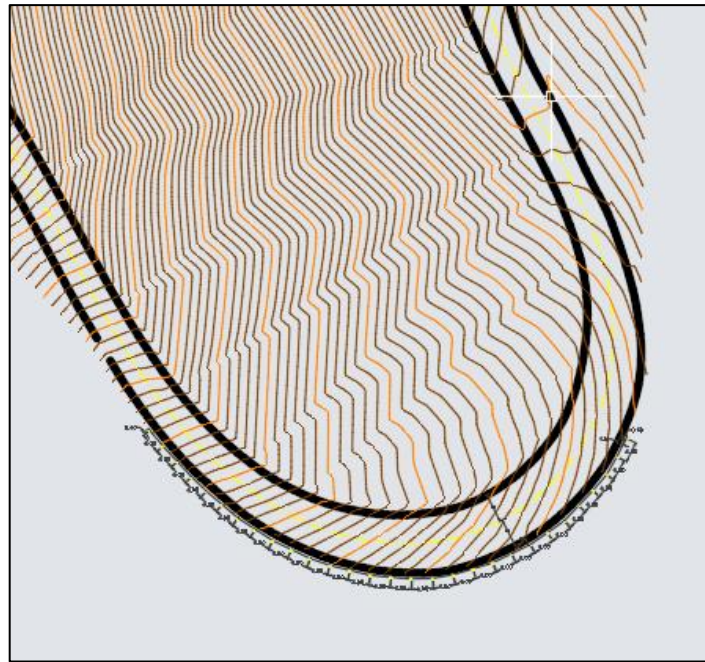
Curva	Longitud de barrera (m)	Distancia entre postes (m)
D	250	4

Fuente: Elaboración propia.

En el tramo Yunchará las curvas luego de la evaluación se puede llegar a proponer la instalación de la barrera de triple onda.

Se puede observar que una curva es muy rápida y accidentada.

**Figura 51: Curva F**



Fuente: Elaboración propia.

En este tramo se tiene que:

**Tabla 51: Valores de barreras propuestas**

Curva	Longitud de barrera (m)	Distancia entre postes (m)
F	113	4

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.4.Presupuesto de alternativa**

##### **4.4.1. Precio unitario**

El precio unitario para este proyecto se base en una investigación de costos de los materiales a utilizar. Para ellos nos basamos en una cotización adquirida a través de la empresa DisproVial, quien nos facilitó dicha información. En la cual nos apoyamos para efectuar nuestra planilla de precios unitarios.

##### **4.4.2. Alternativa**

Esta alternativa consta de # ítems, estos son:

**Tabla 52: Ítems de alternativa**

N°	Ítem
1	Provisión y colocado de barrera metálica de seguridad (viga 3 ondas) más sus componentes.
2	Provisión y colocado de terminal de barrera metálica de seguridad (viga 3 ondas).

Fuente: Elaboración propia

##### **4.4.3. Costo de materiales**

El análisis, cálculo e integración de los precios unitarios para un trabajo determinado deberá guardar congruencia con los procedimientos constructivos o metodología de ejecución de los trabajos. Debiendo tomar en cuenta los costos vigentes de los materiales, recursos humanos y demás insumos necesarios en el momento y zona que se llevarán a cabo los trabajos.

A continuación se muestra un cuadro de los resultados del análisis de precios unitarios para cada los ítems establecidos. Las planillas completas de los precios se muestran en los anexos de este documento.

**Tabla 53: Costos de Ítems**

N°	Ítem	Unidad	Precio (Bs)
1	Provisión y colocado barrera de seguridad (viga 3 ondas) más sus componentes	pza	3805
2	Provisión y colocado terminal de barrera tipo C (viga de 3 ondas)	pza	714

Fuente: Elaboración propia

**4.4.4. Presupuesto**

El presupuesto de alternativa del proyecto ha sido elaborado en base a los volúmenes de cada ítem de la propuesta.

**Tabla 54: Presupuesto**

Ítem	Descripción	Unid	Cantidad	Precio unid. (Bs)	Costo ítem (Bs)
1	Provisión y colocado barrera de seguridad (viga 3 ondas) más sus componentes	m	946,22	3805	3.600.367,10
2	Provisión y colocado terminal de barrera tipo C (viga de 3 ondas)	pza	22	714,00	15.708,00
Total presupuesto					3.616.075,10

Fuente: Elaboración propia

Para los tramos evaluados, se tiene la propuesta para mejorar el nivel de seguridad vial, ya que se tiene altos riesgos a las curvas de gran consideración y las fuertes pendientes que se presenta en los tramos.

**4.4.5. Especificaciones técnicas**

Las barreras metálicas son dispositivos de seguridad que se instalan en las carreteras y vialidades urbanas, en los lugares donde exista peligro, ya sea por el alineamiento del camino, altura de los terraplenes, alcantarillas, otras estructuras o por accidentes

topográficos, entre otros, con el fin de incrementar la seguridad de los usuarios, evitando en lo posible que los vehículos salgan del camino y encauzando su trayectoria hasta disipar la energía del impacto. Se forman con vigas acanaladas o tubos de acero galvanizado, de dos o de tres crestas, que se empalman longitudinalmente sujetándolas con tornillos y tuercas en elementos separadores soportados en postes. Sus extremos pueden ser aterrizados, tener secciones de amortiguamiento o terminales, según lo indique el proyecto.

A continuación, se hace mención del detalle de especificaciones de los elementos del tipo viga W de 3 ondas:

<b>Barrera:</b>	Sección “W” con ocho perforaciones alargadas por extremo y espesor de 3 mm. Largo Total: 4.320 mm., LARGO ÚTIL 4.000 mm. Perfil según geometría norma AASHTO M-180 de doble onda, galvanizada según Norma ASTM A-123 (espesor de galvanizado 65 micras por cara = 920 gr. de zinc sumando ambas caras), acero calidad A 37-24 ES (A-240 ES).
<b>Postes:</b>	Sección “C”, 120 (ancho) x 68 (ala) x 18 (pliegue), largo 1.500 mm., espesor 5 mm. Acero A 37-24 ES (A- 240 ES), galvanizado según Norma ASTM A-123 (espesor de galvanizado 85 micras por cara = 1.030 gr. de zinc sumando ambas caras).
<b>Separador estándar:</b>	Largo 334 mm., alto 194 mm., ancho 90 mm., espesor 3 mm., galvanizado según Norma ASTM A-123.
<b>Terminales:</b>	Standard, espesor 3 mm., galvanizado según Norma ASTM A-123 (espesor de galvanizado 65 micras por



cara = 920 gr. de zinc sumando ambas caras), Acero calidad A 37-24 ES (A-240 ES).

**Capta faros:**

Tipo plancha galvanizada de 2 mm., con scotchlite alta intensidad Amarillo de 170 Cd/luz/m<sup>2</sup> y color blanco de 250 Cd/luz/m<sup>2</sup>.

**Pernos y tuercas:**

Los pernos y tuercas son de 16 mm. de diámetro y largos de 32 mm. y 45 mm. Se incluyen los requeridos para el montaje. Fabricación según Norma ASTM A-307, Grado A y galvanizado según Norma ASTM A-153, Clase C.

Deseamos hacer notar que las barreras y accesorios cumplen Normas Internacionales de Seguridad y las NORMAS BOLIVIANAS NB 165001 y 165002, aprobadas por IBNORCA para SISTEMAS DE CONTENCIÓN VIAL.

Las especificaciones bajo la norma AASHTO M 180, en la que nos regimos, se encuentran en anexos de este documento. Para mayor referencia y detalle de los elementos a emplear.

#### **4.5. Análisis de los tramos desde el punto de vista de la señalización vial**

Cada tramo estudiado presenta su propia variación de señalización, los cuales pueden ser muy importantes para tener mayor seguridad vial.

##### **4.5.1. Señalizaciones verticales**

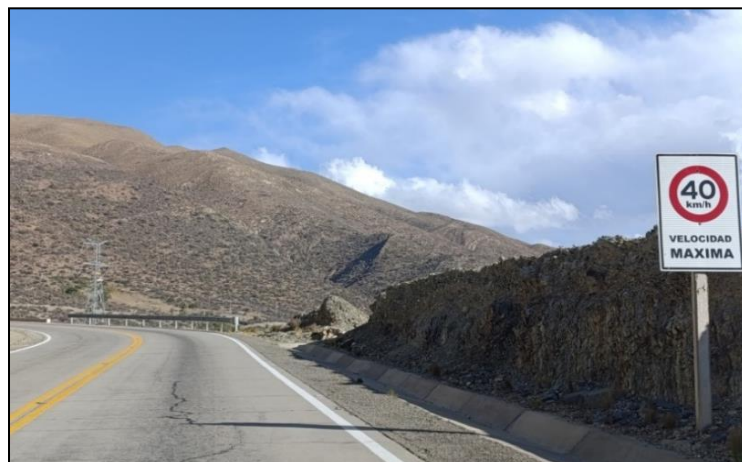
En los tramos se observó señalización vertical instalada con el fin de aumentar la seguridad vial.

**Figura 52: Señalizaciones verticales de advertencia**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 53: Señalizaciones verticales de restrictivas**



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5.2. Señalizaciones horizontales

**Figura 54: Señalizaciones horizontales de advertencia y restrictivas**



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6. Propuesta para mejorar la seguridad vial

Se propone el uso de ojos de gato (retroreflectantes) de manera que sean muy notorios y estos puedan aumentar la seguridad vial.

Con esta propuesta se espera poder reducir la velocidad antes de llegar a la curva, siendo estos muy notorios de día, pero de mayor manera en la noche, ya que estos son elementos retroreflectantes.

##### 4.6.1. Precio unitario de alternativas

Los costos de los materiales a utilizar, para ellos nos basamos en cotizaciones de la empresa SyR Suministros, quienes me facilitaron la información, más un parámetro

de la mano de obra. En la cual nos apoyamos para realizar las planillas de precios unitarios.

#### 4.6.1.1. Primera alternativa

Se presenta el ítem que forma parte:

**Tabla 55: Primera alternativa**

N°	Ítem
1	Provisión y colocado de ojos de gato

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 55: Ojos de gato**



Fuente: Elaboración propia.



#### 4.6.1.2. Segunda alternativa

Se presenta el ítem que forma parte:

**Tabla 56: Segunda alternativa**

N°	Ítem
1	Provisión y colocado de estoperoles

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 56: Estoperoles**



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6.1.3. Tercera alternativa

Se presenta el ítem que forma parte:

**Tabla 57: Tercera alternativa**

N°	Ítem
1	Provisión y colocado de tachón bidireccional

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 57: Tachón bidireccional**



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6.2. Costo de materiales

A continuación se presenta una tabla con los costos de los materiales:

**Tabla 58: Primera alternativa**

N°	Ítem	Unidad	Precio (Bs)
1	Provisión y colocado de ojos de gato	m <sup>2</sup>	986

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 59: Segunda alternativa**

N°	Ítem	Unidad	Precio (Bs)
1	Provisión y colocado de estoperoles	m <sup>2</sup>	456

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 60: Tercera alternativa**

N°	Ítem	Unidad	Precio (Bs)
1	Provisión y colocado de tachón bidireccional	m	95

Fuente: Elaboración propia

**4.6.3. Presupuesto de alternativas**

Se realizo según la necesidad que tengan las curvas peligrosas de los tramos estudiados.

**Tabla 61: Tercera alternativa**

Presupuesto					
Propuesta	Descripción	Unid.	Cant.	Precio unitario (Bs)	Costo total (Bs)
1	Provisión y colocado de ojos de gato	m2	46	986	45.356,00
2	Provisión y colocado de Estoperoles	m2	46	456,00	20.976,00
3	Provisión y colocado de Tachón bidireccional	m	46	95	4.370,00

Fuente: Elaboración propia.

**4.6.4. Especificaciones técnicas**

Para cada alternativa se tiene sus especificaciones técnicas, se las presentara en anexos, a continuación una síntesis de cada ítem.

#### 4.6.4.1. Ojos de gato

- Dimensiones
  - Altura total: 15,88 mm ( $\approx$  15.9 mm)
  - Longitud: 73 mm, 89,2 mm o 101,6 mm (según variante)
  - Ancho total: 89,154 mm o similar
- Materiales y construcción
  - Cuerpo fabricado en policarbonato de alta resistencia al impacto, con un diseño interno que dispersa el impacto de los neumáticos.
  - Lente microprismática de policarbonato, recubierta con una capa resistente a la abrasión (material tipo ceramer), para mayor durabilidad.
  - Para la versión “PSA 290”, se utiliza un adhesivo sensible a la presión, ideal para instalación sobre asfalto y concreto.
- Reflectividad y visibilidad
  - Reflectividad excelente tanto en condiciones secas como mojadas, gracias a ópticas microprismáticas Diamond Grade™.
  - Lentes prismáticos de policarbonato con revestimiento anti-abrasión, que garantizan alta reflectividad y resistencia al desgaste.
  - Cumplen con la norma BS EN 1463-1:2009, clasificadas como Type P3A (permanentes, no deprimibles, con capa resistente a la abrasión) y PRP1 en retroreflectancia. Además, logran las clasificaciones más altas: S1 (presencia en carretera) y R1 (visibilidad nocturna).
  - También cumplen con los requisitos de ASTM D4280, salvo algunos detalles de color en lentes verdes.
- Durabilidad y resistencia
  - Alta resistencia al impacto, abrasión y condiciones climáticas adversas.
  - Indicadas como de bajo mantenimiento, bajo costo y larga durabilidad.



- Instalación
  - La versión estándar se aplica con adhesivo bituminoso caliente, y cuenta con “finger grips” o agarres en el cuerpo para facilitar la colocación.
  - La versión PSA (adhesivo sensible a la presión) se instala retirando el liner y presionando el marcador sobre la superficie del pavimento.

#### 4.6.4.2. Estoperoles

- Forma y dimensiones
  - Su forma corresponde a una sección de esfera (domo) con base plana de 10 cm de diámetro.
  - La altura (espesor máximo) desde la base hasta el punto más alto no debe exceder los 2,5 cm. Para estoperoles con espigo (para fijación), se mantiene este límite también en la altura máxima.
- Espigo (anclaje)
  - Pueden incluir un espigo que permite su fijación al pavimento. Este espigo requiere una altura mínima de 5 cm, para asegurar un buen anclaje con el adhesivo y soportar el tráfico.
- Materiales
  - Fabricados en plástico, cerámica o incluso materiales metálicos, siempre con alta resistencia mecánica al impacto y al desgaste por fricción.
- Resistencia mecánica
  - Deben soportar una carga de compresión de aproximadamente 2 727 kg (2,727 toneladas) sin romperse ni deformarse más de 3,3 mm.
- Color y visibilidad
  - Los colores típicos exigidos para buena visibilidad son blanco o amarillo.

#### 4.6.4.3. Tachón bidireccional

- Construcción y materiales
  - Elaborados con concreto resinado, reforzado con fibra de vidrio y cuarzo, lo que garantiza resistencia al desgaste, la abrasión, solventes y condiciones climáticas extremas.
  - Algunos modelos incluyen resina epóxica compacta con adición de fibra de vidrio y cuarzo, similares a un diseño más robusto.
  - También existen versiones en polipropileno, que incluyen cinta reflectiva y pernos para fijación.
- Dimensiones, peso y resistencia
  - Modelo común (tipo T-20):  $20 \times 11 \times 5$  cm, peso aproximado de 4.6 kg, con resistencia a la compresión de hasta 10 toneladas por pulgada y adherencia del 100 % al pavimento.
  - Otros modelos tienen dimensiones ligeramente distintas, por ejemplo: 25 cm de largo  $\times$  15 cm de ancho  $\times$  6 cm de alto, o bien  $40 \times 15 \times 8$  cm, peso 1 kg (versión plástica).
  - Dimensiones ampliadas:  $40 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 8 \text{ cm}$ , con área de contacto mínima de  $600 \text{ cm}^2$  y resistencia mínima a la compresión de 2,500 psi ( $\sim 172 \text{ kg/cm}^2$ ).
- Reflectividad y visibilidad
  - Incorporan lentes retroreflectantes tipo III o IV prismático 3M de alta intensidad, que brindan excelente visibilidad tanto diurna como nocturna.
  - Ángulo de reflectividad típico: 50 grados.
- Fijación e instalación
  - Se instalan preferentemente con pegamento epóxico, sobre superficies limpias y libres de polvo o grasa.

- Algunos modelos incluyen pines (vástagos) de acero corrugado en U (por ejemplo, de 3/8" × 2.5") para mayor fijación mecánica, especialmente útiles en tráfico pesado o superficies irregulares.
- La base rugosa en algunos diseños mejora la adherencia al pavimento.
- Colores y usos
  - Disponibles en colores amarillo, rojo y blanco, adaptándose a distintas funciones de señalización vial:
    - Rojo: zonas peatonales o reducción de velocidad en frentes críticos.
    - Amarillo y blanco: para delimitar carriles, glorietas, entronques o ciclovías.
  - De uso ideal en pasos peatonales, escuelas, isletas, ciclovías, delimitación de carriles y reductores de velocidad en general.

#### 4.6.4.4. Adhesivo Bituminoso

- Composición
  - Mezcla de asfalto modificado, con cargas minerales y aditivos que mejoran la adhesión.
  - No contiene solventes, es un producto termo-fusible: se aplica en caliente.
  - Al enfriarse, se endurece y asegura fijación mecánica y química.
- Presentación
  - Bloques sólidos o en pellas de 16 kg, 20 kg o 25 kg (según fabricante).
  - Color: negro.
- Propiedades físicas y mecánicas
  - Punto de reblandecimiento (Anillo y Bola): 95 – 105 °C.
  - Viscosidad a 180 °C: 1 500 – 3 000 cP.
  - Penetración a 25 °C: 15 – 25 dmm.

- Tiempo de fraguado: 3 – 5 minutos después de aplicado.
- Resistencia a la tracción y adherencia: Alta, soporta tráfico pesado.
- Aplicación
  - Se calienta en ollas o calderas especiales hasta alcanzar 180 – 200 °C.
  - Se coloca una porción en el punto de instalación de la tacha/tachón.
  - El dispositivo se asienta sobre la masa caliente y se presiona.
  - El adhesivo se endurece en minutos al enfriarse, quedando firmemente adherido.
- Ventajas
  - Alta resistencia mecánica y térmica.
  - Impermeable y resistente a la humedad.
  - Durabilidad frente al tránsito y cambios de temperatura.
  - Bajo costo en relación con adhesivos epóxicos.
- Usos
  - Instalación de ojos de gato, tachas reflectivas, estoperoles, tachones reductores de velocidad.
  - También para fijación de elementos plásticos o metálicos en pavimento asfáltico y de concreto.

#### 4.7. Análisis de los resultados

##### 4.7.1. Propuesta barrera metálica de seguridad

De acuerdo a los datos obtenidos, se tiene que el costo para la alternativa planteada, siendo **Provisión y colocado de barrera de contención metálica de 3 ondas**, es de Bs.- **3,616,075,10** (Tres millones seiscientos dieciséis mil setenta y cinco con 10/100). Logrando con esta propuesta mejorar la seguridad vial en los tramos seleccionados, los cuales contaban con curvas peligrosas.

#### 4.7.2. Propuesta para señalización vial

Para esta se tiene 3 alternativas, las cuales nos presentaron los distintos presupuestos para cada una.

Se analizó las alternativas y la mejor opción económica es la Tercera, Tachón bidireccional, teniendo un costo de **Bs.- 4,370,00** (Cuatro mil trescientos setenta con 00/100), siendo la alternativa más económica.

**CAPÍTULO V**

**CONCLUSIONES Y**

**RECOMENDACIONES**

## CAPÍTULO V

### 5. Conclusiones y recomendaciones

#### 5.1. Conclusiones

- ❖ La evaluación realizada demuestra que las barreras de contención instaladas en los tramos de carretera analizados cumplen con los criterios técnicos y de diseño establecidos por la norma NB 165002. Esto garantiza un nivel mínimo de protección y contención frente a impactos, lo cual es fundamental para mejorar la seguridad vial en las vías evaluadas.
- ❖ Se identificó que las barreras de contención están instaladas de manera correcta como indica la norma NB 165002.
- ❖ Los datos obtenidos sugieren implementación de barreras de mayor nivel de contención que lo que propone la norma NB 165002.
- ❖ Se propone la instalación de barreras de triple onda en las curvas con riesgo alto, siendo estas las curvas A, B, C, D, F.
- ❖ Con los datos topográficos obtenidos se tiene que los segmentos de inicio y fin de las barreras de contención están instalados de manera que no es posible empotrar o enterrar el extremo de la baranda, por no tener distancias libres desde el borde de la vía hasta una distancia adecuada para la mejor instalación.
- ❖ La efectividad de estas barreras depende también de una supervisión y mantenimientos adecuados, lo que resalta la importancia de un enfoque integral en la gestión de la seguridad vial.
- ❖ Aunque las barreras cumplen con la norma NB 165002 en su instalación inicial, se identificó que el mantenimiento regular es crucial para asegurar su efectividad a largo plazo. Las barreras que no reciben un mantenimiento adecuado tienden a perder capacidad de contención, lo que puede comprometer la seguridad vial.

- ❖ El nivel de señalización en los tramos estudiados no es el suficiente para garantizar la seguridad vial.

## **5.2. Recomendaciones**

- ❖ Es recomendable realicen una revisión periódica de la norma NB 165002 para asegurar que esté alineada con los avances tecnológicos y las mejores prácticas internacionales en seguridad vial. Esta actualización debe basarse en los datos obtenidos de su implementación y los cambios en las condiciones del tráfico y la infraestructura vial.
- ❖ Se recomienda ajustar el tipo de barrera de contención según las características específicas de cada tramo de carretera, como la velocidad de tránsito, el tipo de tráfico y las condiciones geográficas o meteorológicas. Esto puede incluir el uso de barreras más robustas o con características especiales en zonas de alto riesgo.
- ❖ Es crucial establecer un programa de mantenimiento y revisión regular para las barreras de contención que cumplan con la norma NB 165002. Esto garantizará que continúen funcionando de manera efectiva y que cualquier daño o desgaste que pueda comprometer su rendimiento sea detectado y corregido a tiempo.
- ❖ La investigación sugiere que algunas adaptaciones en la implementación de las barreras, como la selección de modelos específicos para los tramos con características especiales, podrían optimizar aún más su efectividad.
- ❖ Para maximizar los beneficios de las barreras de contención en la seguridad vial, es esencial mantener un enfoque integral que combine la correcta instalación, el mantenimiento adecuado, la adaptación a las condiciones específicas de cada carretera y el análisis continuo del desempeño. De este modo, se puede asegurar que las barreras continúan contribuyendo efectivamente a la reducción de accidentes y a la protección de los usuarios de la vía.
- ❖ Se recomienda optar por la instalación de barrera metálica de contención de 3 ondas, para aumentar la seguridad vial.



- ❖ Se sugiere aumentar la señalización vial horizontal, siendo estos productos de mucha ayuda para mantener alerta a los conductores de los tramos estudiados.