

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA VÍA  
PUNO LARAQUERI QUE INCIDEN EN ACCIDENTES DE TRÁNSITO  
EN RELACIÓN A LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA  
NORMATIVIDAD VIGENTE.**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**LUDVIK VILEM ARIAS VILLANUEVA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PUNO – PERÚ**

**2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA VÍA PUNO LARAQUERI QUE INCIDEN EN ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN RELACIÓN A LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA NORMATIVIDAD VIGENTE.

**PRESENTADA POR:**

**LUDVIK VILEM ARIAS VILLANUEVA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR :**



**PRESIDENTE:**

  
 M. Sc. Edgar Vidal Hurtado Chávez

**PRIMER MIEMBRO:**

  
 Ing. José Luis Cutipa Arapa

**SEGUNDO MIEMBRO:**

  
 M. Sc. Gino Frank Laque Cordova

**DIRECTOR DE TESIS:**

  
 M. Sc. Emilio Castillo Aroni

FECHA DE SUSTENTACIÓN 23 DE AGOSTO DEL 2019

**Tema** : Análisis de las características geométricas  
**Área** : Transportes  
**Línea de investigación** : Transportes y gestión vial

## DEDICATORIA

A mis padres Jackeline y Lin, los cuales me dieron la vida y la oportunidad de poder lograr conquistar este reto para el inicio de mi vida profesional, por sus grandes esfuerzos en el día a día desde que nací, sus recomendaciones y manos duras para moldearme y convertirme en la mejor versión que esperaban de mí.

A mi hermana Nayeli, por estar acompañándome y ayudándome cuando lo necesitaba en esta etapa de mi vida.

A mi pareja Stephany por apoyarme incansablemente a lograr uno de los anhelos más deseados, por saber comprenderme en esta etapa, la cual fue muy crucial para el desarrollo de mi vida profesional y personal y por su empuje para convertirme en un mejor hombre.

A todos los profesionales y amigos que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

**Ludvik Vilem Arias Villanueva**

## AGRADECIMIENTO

Mi más profundo agradecimiento a:

A la Universidad Nacional del Altiplano, por haberme acogido en sus claustros universitarios siendo pilar fundamental de mi formación profesional.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, en especial a los docentes de la Escuela; los cuales guiaron con sus conocimientos a una mejor visión para el desarrollo de la sociedad.

A mi familia por el apoyo brindado a lo largo de mi formación universitaria.

A mi asesor, un gran profesional y excelente docente, el cual con sus enseñanzas hizo que este alumno quiera convertirse en un especialista de esta hermosa rama, que es transportes.

A los ingenieros miembros del jurado, cuyas críticas y profesionalismo fueron vitales en el desarrollo de esta investigación, por su rectitud como docente y profesional, y por sus consejos que me servirán en mi vida profesional.

**Ludvik Vilem Arias Villanueva**

## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>10</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>11</b>
<b>ÍNDICE DE ACRÓNIMOS .....</b>	<b>12</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>13</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>15</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>15</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	15
1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	17
1.3.1 Hipótesis General .....	17
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.4.1 Objetivo General .....	17
1.4.2 Objetivos Específicos.....	18
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>19</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>19</b>
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	19
2.2 MARCO TEÓRICO.....	24

2.2.1	Vía.....	24
2.2.2	Tránsito. ....	24
2.2.3	Vehículo. ....	24
2.2.4	Accidentes de tránsito. ....	24
2.2.5	Tipos de accidentes de tránsito.....	24
2.2.6	Causas de los accidentes de tránsito.....	25
2.2.7	Clases de los accidentes de tránsito.....	26
2.2.8	Seguridad vial.....	31
2.2.9	Definición de puntos negros.....	31
2.2.10	Definición de tramos de concentración de accidentes.....	32
2.2.11	Estudio de tráfico. ....	32
2.2.12	Diseño geométrico de la vía. ....	40
2.2.13	Diseño geométrico en planta. ....	54
2.2.14	Señales de tránsito.....	60
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>67</b>
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>		<b>67</b>
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	67
3.2	NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	67
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	68
3.3.1	Población.....	68
3.3.2	Muestra.....	68
3.4	RECOLECCIÓN DE DATOS .....	68

3.4.1	Control de Accidentes Semanal. ....	68
3.5	MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS .....	75
3.5.1	Identificación de TCA según método del Transportation Research Board (TRB) (EEUU). 75	
3.5.2	Método del número o frecuencia de accidentes. ....	76
3.5.3	Método de la tasa de accidentes. ....	81
3.5.4	Método del número - tasa.....	86
3.5.5	Método del control de calidad de la tasa. ....	91
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>98</b>
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>98</b>
4.1	DATOS GENERALES DEL TRAMO DE INVESTIGACIÓN.....	98
4.2	DISTRIBUCIÓN DE ACCIDENTES .....	99
4.3	ESTUDIO VOLUMÉTRICO.....	100
4.3.1	Datos de conteo vehicular. ....	100
4.3.2	Cálculo de TPDA. ....	101
4.3.3	TPDA ajustado. ....	103
4.4	IDENTIFICACIÓN DE TRAMOS DE CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES (TCA) 105	
4.4.1	Método del número o frecuencia de accidentes. ....	106
4.4.2	Método de la tasa de accidentes. ....	107
4.4.3	Método del número – tasa de accidentes.....	108
4.4.4	Método del control de calidad de la tasa. ....	109
4.4.5	Identificación de los TCA. ....	110

4.5	CÁLCULO DE ELEMENTOS A EVALUAR.....	110
4.5.1	Calzada mínima.....	111
4.5.2	Berma mínima.....	112
4.5.3	Peralte mínimo y máximo.....	112
4.5.4	Radio mínimo.....	112
4.6	EVALUACIÓN Y RESULTADOS DE LOS TCA.....	112
4.6.1	Calzada y berma real.....	112
4.6.2	Radios y pendientes.....	113
4.6.3	Resultados de los TCA.....	113
4.7	DISCUSIÓN DE LOS TCA.....	121
4.7.1	TCA N°1.....	121
4.7.2	TCA N°2, N°3 y N° 4.....	123
4.7.3	TCA N°5.....	125
4.7.4	TCA N°6.....	128
4.7.5	TCA N°7.....	129
4.8	PROPUESTA DE MITIGACIÓN.....	130
4.8.1	Generalidades.....	130
4.8.2	Propuesta a largo plazo.....	133
4.8.3	Propuesta a corto plazo.....	138
	<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>145</b>
	<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>145</b>
	<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>148</b>



<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>148</b>
<b>CAPÍTULO VII.....</b>	<b>151</b>
<b>VII. REFERENCIAS .....</b>	<b>151</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>155</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Simbología de la curva circular .....	Pag. N° 58
Figura N° 2: Ejemplo de señal reglamentaria (R-12). .....	Pag. N° 62
Figura N° 3: Ejemplo de señal preventiva (P-4A). .....	Pag. N° 62
Figura N° 4: Ejemplo de señal informativa .....	Pag. N° 63
Figura N° 5: Relación entre el número de accidentes y el TMDA para una tasa unitaria .....	Pag. N° 83
Figura N° 6: Ubicación del tramo en estudio .....	Pag. N° 99
Figura N° 7: Tramo 10.....	Pag. N° 114
Figura N° 8: Tramo 18.....	Pag. N° 115
Figura N° 9: Tramo 24.....	Pag. N° 116
Figura N° 10: Tramo 25.....	Pag. N° 117
Figura N° 11: Tramo 29.....	Pag. N° 118
Figura N° 12: Tramo 31.....	Pag. N° 119
Figura N° 13: Tramo 39.....	Pag. N° 120
Figura N° 14: TCA N°1: Ubicación del Km 10+700 .....	Pag. N° 121
Figura N° 15: TCA N°1: Ubicación del Km 10+500 .....	Pag. N° 122
Figura N° 16: TCA N°2: Ubicación del Km 18+400 .....	Pag. N° 123
Figura N° 17: TCA N°3: Ubicación del Km 24+000 .....	Pag. N° 124
Figura N° 18: TCA N°4: Ubicación del Km 25+000 .....	Pag. N° 125
Figura N° 19: TCA N°5: Ubicación del Km 29+800 .....	Pag. N° 126
Figura N° 20: TCA N°5: Ubicación del Km 29+500 .....	Pag. N° 127
Figura N° 21: TCA N°6: Ubicación del Km 31+800 .....	Pag. N° 128
Figura N° 22: TCA N°7: Ubicación del Km 39+000 .....	Pag. N° 129
Figura N° 23: Señal I-3B - Señal de control de velocidad en tramo .....	Pag. N° 140
Figura N° 24: Señalización para TCA (Inicio) .....	Pag. N° 141
Figura N° 25: Señalización para TCA (Fin) .....	Pag. N° 141
Figura N° 26: Esquema tacha bidireccional .....	Pag. N° 143

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Rangos de la velocidad de Diseño en función de la clasificación de la carretera por demanda y orografía .....	Pag. N° 46
Tabla N° 2: Anchos mínimos de calzada en tangente. ....	Pag. N° 47
Tabla N° 3: Anchos mínimos de berma.....	Pag. N° 48
Tabla N° 4: Valores de peralte máximo.....	Pag. N° 54
Tabla N° 5: Radios mínimos y peraltes máximos para diseño de carreteras....	Pag. N° 60
Tabla N° 6: Formato de recolección de datos de accidentes COVISUR S.A....	Pag. N° 70
Tabla N° 7: Resumen de recolección de datos de accidentes COVISUR S.A.	Pag. N° 71
Tabla N° 8: Nivel de Confianza en función del valor K.....	Pag. N° 79
Tabla N° 9: Nivel de Confianza en función del valor K – Método del control de la tasa. ....	Pag. N° 94
Tabla N° 10: Resumen de accidentes para análisis.....	Pag. N° 99
Tabla N° 11: Ubicación de las estaciones de conteo, clasificación, pesos y encuestas. ....	Pag. N° 100
Tabla N° 12: IMDA de la estación E-1 Laraqueri.....	Pag. N° 102
Tabla N° 13: IMDA de la estación E-2 Mallcomayo. ....	Pag. N° 102
Tabla N° 14: Resumen de TPDA de estaciones. ....	Pag. N° 103
Tabla N° 15: Ajuste de TPDA .....	Pag. N° 104
Tabla N° 16: Identificación de TCA por el Método del Número o frecuencia de accidentes.....	Pag. N° 106
Tabla N° 17: Identificación de TCA por el Método del Tasa de Accidentes. Pag. N° 107	
Tabla N° 18: Identificación de TCA por el Método del Número - Tasa de Accidentes. ....	Pag. N° 108
Tabla N° 19: Identificación de TCA por el Método de Control de Calidad de la Tasa. ....	Pag. N° 109
Tabla N° 20: Identificación de TCA.....	Pag. N° 110
Tabla N° 21: Pendientes dominantes .....	Pag. N° 111
Tabla N° 22: Análisis del TCA N°1 – Tramo 10.....	Pag. N° 114
Tabla N° 23: Análisis del TCA N°2 – Tramo 18.....	Pag. N° 115
Tabla N° 24: Análisis del TCA N°3 – Tramo 24.....	Pag. N° 116
Tabla N° 25: Análisis del TCA N°4 – Tramo 25.....	Pag. N° 117
Tabla N° 26: Análisis del TCA N°5 – Tramo 29.....	Pag. N° 118
Tabla N° 27: Análisis del TCA N°6 – Tramo 31.....	Pag. N° 119
Tabla N° 28: Análisis del TCA N°7 – Tramo 39.....	Pag. N° 120

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

TCA	: Tramos de concentración de accidentes.
DG-2018	: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2018.
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
EG-2013	: Manual de Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción 2013.
TRB	: Transportation Research Board.
IMDA	: Índice medio diario anual.
TPDA	: Tránsito promedio diario anual.
TMDA	: Tránsito medio diario anual.
OSITRAN	: Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transporte de Uso Público.
CASA	: Construcción y Administración S.A.
COVISUR	: Concesionaria Vial del Sur S.A.
MVK	: Millón de vehículos por kilómetro.
PBI	: Producto Bruto Interno.
BCR	: Banco Central de Reserva del Perú.
ASV	: Auditoría de Seguridad Vial.

## RESUMEN

La presente investigación tiene por objetivo el análisis de las características geométricas de la vía Puno – Laraqueri las cuales inciden en los accidentes de tránsito con respecto a la diferencia de estos elementos en campos con los estipulados en la normatividad vigente, para lo cual en primer lugar se hizo la identificación de los tramos de concentración de accidentes (TCA); se tomó los datos de los accidentes ocurridos en los periodos 2017 y 2018, dentro de los Km 00+000 al Km 40+000. Se identificó 7 tramos de concentración de accidentes, mediante los métodos propuestos por la Transportation Research Board (TRB) (EEUU), los cuales son: El método del número de accidentes; método de la tasa de accidentes; método del número – tasa de accidentes y método del control de la calidad de la tasa, siendo estos 7 tramos los comprendidos de los Km 10+000 – Km 11+000, Km 18+000 – Km 19+000, Km 24+000 – Km 25+000, Km 25+000 – Km 26+000, Km 29+000 – Km 30+000, Km 31+000 – Km 32+000, Km 39+000 – Km 40+000. Posteriormente se hizo la comparación de calzada, berma, peralte y radio de curva con respecto a la norma vigente Diseño Geométrico DG-2018, siendo los requerimientos mínimos de, 7.20m para calzada, 2.0m para berma, 230m radio mínimo y un rango de 2% - 8% de peralte. Se identificó el incumplimiento de calzada y berma en todos los tramos en estudio y el incumplimiento de un (01) radio mínimo en el tramo del Km 29+000, lo cual determina la incidencia directa de las características geométricas en los accidentes, por lo que se hizo el replanteo de estos elementos geométricos.

**PALABRAS CLAVE:** Carretera, características geométricas, tramos de concentración de accidentes y accidentes de tránsito.

## ABSTRACT

The purpose of this research is to analyze the geometric characteristics of the Puno - Laraqueri road, which affect traffic accidents with respect to the difference between these existing elements and those stipulated in current regulations, for which first the identification of the accident concentration sections (TCA) was made; the data of the accidents occurred in the periods 2017 and 2018, within the Km 00 + 000 to the Km 40 + 000 were taken. 7 accident concentration sections were identified, using the methods proposed by the Transportation Research Board (TRB) (USA), which are: The number of accidents method; accident rate method; number method - accident rate and rate quality control method, these 7 sections are from Km 10 + 000 - Km 11 + 000, Km 18 + 000 - Km 19 + 000, Km 24 + 000 - Km 25 + 000, Km 25 + 000 - Km 26 + 000, Km 29 + 000 - Km 30 + 000, Km 31 + 000 - Km 32 + 000, Km 39 + 000 - Km 40 + 000. Subsequently, the comparison of roadway, berm, cant, and curve radius was made with respect to the current DG Geometric Design standard DG-2018, with the minimum requirements being 7.20m for roadway, 2.0m for berm, 230m minimum radius and a range of 2% - 8% for slope. The road and berm breach was identified in all the sections under study and the breach of a (01) minimum radius in the section of Km 29 + 000, which determines the direct incidence of the geometric characteristics in the accidents, so the staking of these geometric elements was done

**KEYWORDS:** Road, geometric characteristics, accident concentration stretch and traffic accidents.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1 INTRODUCCIÓN

En el Perú así como a nivel mundial, los accidentes de tránsito han sido y son una problemática general a lo largo del territorio nacional, específicamente nos enfocaremos en las vías que unen pueblos, ciudades, etc; los cuales han costado la vida de cientos de personas en el transcurso de los años, es por ello que uno de los factores relevantes a evaluar, es el diseño geométrico de la vía, la cual acorde a la norma debe responder a adecuados parámetros para asegurar una adecuada maniobrabilidad y tiempo de respuesta, lo cual de al conductor, el tiempo, visibilidad y longitud adecuada para llevar a cabo las maniobras necesarias para operar su vehículo en la vía con seguridad.

Desde el momento de su construcción hasta la actualidad la vía Puno – Laraqueri, tramo comprendido dentro del Sector 13: Puno – Puente Gallatini de la Carretera Interoceánica Tramo 5 Perú – Brasil, no ha tenido cambios en el trazo geométrico, en general la mayoría de vías no tienen una evaluación del trazo geométrico posterior a la construcción, por lo cual se entiende que la normatividad vigente Diseño Geométrico-2018 (DG-2018)<sup>1</sup>, el cual se nombrará como DG-2018 en adelante, este empezó a estar en vigencia a partir del 30 enero del 2018, puede tener precisiones las cuales por su antigüedad no fueron consideradas al momento de la ejecución de la vía en mención.

---

<sup>1</sup> Con fecha 30 de enero del 2018, mediante Resolución Directoral N° 03-2018-MTC/14, aprueban Manual de Carreteras - Diseño Geométrico DG 2018

La identificación de los puntos negros de concentración de accidentes en el tramo Puno – Laraqueri nos mostrará en que partes es donde ocurren los accidentes para de acuerdo a ello hacer la evaluación del cumplimiento de la normatividad vigente respecto al diseño geométrico en dicho punto negro; los accidentes y su tipo se tomarán de acuerdo a los datos brindados por la concesionaria encargada del mantenimiento de la vía Concesionaria Vial del Sur S.A., la cual como parte de su contrato con el Estado Peruano esta encargada de atender los accidentes que ocurran en la vía.

Ya planteado el problema, y con mayor exactitud, el procedimiento es hacer las comparaciones respectivas al trazo actual con el estipulado en la normatividad vigente, concluyendo respecto a los puntos negros de concentración de los accidentes de tránsito, si es que influye este antiguo diseño en estos.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

De acuerdo al MTC, durante el 2017 en todo el Perú se registraron cerca de 90 mil accidentes de tránsito, 10% de estos tuvo como resultado muertes humanas. El jefe de Gabinete de Asesores del MTC, señaló que la mayoría de los accidentes ocurrieron en zonas urbanas. Sin embargo, en los accidentes ocurridos en carreteras, fallecieron mayor cantidad de personas. Arequipa y Puno están entre las cuatro primeras regiones donde más accidentes han ocurrido. Las anteceden Lima e Iquitos. En la ciudad ocurren accidentes, pero con varios heridos, y lo que más se detecta son daños materiales. Pero en las carreteras los buses interprovinciales transportan más de 30 personas y casi siempre mueren todos los ocupantes (La República, 2018)

Los contratos viales a la actualidad precisan el mantenimiento vial respecto a la calzada, berma, señalizaciones, puentes, drenaje, elementos de encarrilamiento, etc; se puede deducir que los niveles de servicio son exigentes respecto a estos parámetros, pero con el avance de los manuales de diseño, específicamente el mencionado en la introducción es que se queda desfasado y anticuado estos contratos a lo largo del periodo de concesión con respecto a las características inherentes y difícilmente cambiantes de la vía, es por ello la necesidad de la evaluación de estas características geométricas, las cuales de acuerdo a la evaluación de los puntos negros de concentración de accidentes contrastados con lo requerido actualmente en la norma, nos permitirán vislumbrar la dirección y sentido en el que es necesario el tema presente de investigación.

### **1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1 Hipótesis General**

- Las características geométricas de la vía Puno Laraqueri que se contraponen con las características geométricas que plantea la normatividad vigente, generan accidentes de tránsito.

### **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.4.1 Objetivo General**

- Analizar las características geométricas de la vía Puno Laraqueri en relación a las características geométricas de la normatividad vigente, las cuales inciden en los accidentes de tránsito.

#### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar los tramos de concentración de accidentes (TCA) de los accidentes de tránsito a lo largo de la vía.
- Determinar el cumplimiento de las características geométricas de diseño en los tramos de concentración de accidentes (TCA).

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

De las investigaciones tomadas en cuenta para el presente trabajo se tiene en consideración las conclusiones y precisiones a continuación para cada una:

Berardo, María Graciela. (2005), da el alcance de que el objetivo del trabajo es identificar los tramos de concentración de accidentes, por lo que llega a:

- La identificación de 6 rutas las cuales presentan sus tramos de concentración de accidentes.
- Para cada ruta se obtuvo el número absoluto de accidentes para cada sub-tramo y su respectivo índice de peligrosidad. Cabe resaltar que los TCA, en general, no presentan una continuidad en el tiempo, es decir que los tramos no mantienen su peligrosidad a través de los años.
- Los resultados de los métodos del Número, Tasa y Número-Tasa se aproximan a los resultados del método de Control de Calidad de la Tasa cuando se aplica el criterio de nivel de confianza.
- No todos los tramos identificados como TCA por el método del Número son identificados también en el método de la Tasa a pesar de utilizar el mismo nivel de confianza o coeficiente de mayoración. Esto se nota en la menor cantidad de sitios peligrosos según el método del Número-Tasa con respecto a los dos anteriores.

Castillo, Herrera y Muñoz (2013), plantean como objetivo general, analizar los factores que inciden en los accidentes de tránsito que tienen las empresas prestadoras de servicio, y llegan a las siguientes conclusiones.

- Debido a que la tasa de accidentes de tránsito en el Ecuador es alta, la realización de evaluaciones médicas para los conductores de servicio público interprovincial son sumamente necesarias demostrando así que la salud ocupacional juega un papel importante en el área de servicio de transporte público.
- El tema de accidentes de tránsito en las carreteras interprovinciales del Ecuador, ha cobrado una importancia creciente en el escenario nacional ya que al momento es la cuarta causa de muerte más frecuente en su País.
- Se debe trabajar en conjunto el sector público con el privado de manera que se pueda desarrollar planes estratégicos que permitirían la reducción del índice de accidentes de tránsito en las carreteras interprovinciales del Ecuador.

Cesan, Verónica (2012), plantea como objetivo general conocer el perfil epidemiológico de los accidentes de tránsito en la Provincia de La Pampa en el periodo enero de 2000 a diciembre de 2004, por lo que llegó a las siguientes conclusiones:

- El sesgo de información en las variables utilizadas puede comprometer el análisis, pero ante la ausencia de alguna fuente más confiable, se intentó hacer una aproximación a la problemática de los accidentes de tránsito en la provincia de La Pampa a riesgo de que cuando se presentan los métodos y los resultados a otros, y surjan preguntas, de un poco de frustración tener que describir y explicar los métodos utilizados.

- Creo que el trabajo adolece del análisis de algunas variables que hubieran sido interesantes poder estudiar, esto se debió a la ausencia del registro de las variables en las fuentes de datos.
- Los accidentes de tránsito presentaron en descenso en el período 2000-2002 para ascender hasta el 2004.

Huamancayo (2012), plantea como objetivo general la evaluación de los Tramos de Concentración de Accidentes (TCA) de la vía Libertadores y su estudio determina lo siguiente:

- Se identificaron 18 tramos de concentración de accidentes, mediante la metodología del control de calidad de la tasa, siendo la más viable, ya que el cálculo se basa en el control de calidad de los análisis estadísticos para determinar si la tasa de accidentes de un lugar en particular es inusual. La metodología del control de calidad de la tasa considera un tramo de concentración de accidentes, aquellos sub tramos donde se producen 2 a más accidentes
- En el método del índice de peligrosidad se concluye que el método no resulta, a priori, un procedimiento adecuado para la identificación de TCA, ya que no tiene en cuenta la distribución de los accidentes en la vía y solo contempla aquellos accidentes que registran víctimas.

Leiva (2003), define su objetivo general encontrar soluciones que permitan reducir el número de accidentes de tránsito en las vías de transporte terrestre, por lo que llega a la siguiente conclusión:

- Para reducir el número de accidentes de tránsito, es insuficiente un buen diseño geométrico de una vía, sino que también es necesaria una adecuada señalización,

con el objeto de mantener informados a los usuarios, tanto de los lugares de destino como de las condiciones en las que se encuentren las calles y carreteras.

- La recopilación de información verídica, es indispensable para mejorar la calidad en los reportes de accidentes de tránsito, y es de estos reportes en los que se basa el Instituto Nacional de Estadística para realizar los informes anuales en este tema.
- Un buen diseño geométrico, una buena iluminación y la adecuada señalización de las calles y carreteras, son parte fundamental para ofrecer una eficiente seguridad vial. Lamentablemente la solución al problema de los accidentes de tránsito no es tan simple.
- En todo tipo de desarrollo está íntimamente ligada la cultura que se logra con la educación de una población, pues bien, para lograr una eficiente reducción de este tipo de hechos, es necesario un proyecto que encuadre a la educación vial, como la principal arma para combatir este mal, iniciando esta educación en la edad preescolar, y continuando como parte del programa de estudio, para que el alumno conozca desde temprana edad las normas que rigen el sistema vial.

Astochao (2015), define su objetivo general, evaluar el impacto de la implementación de un sistema inteligente de transporte, en la disminución de accidentes de tránsito en vías nacionales para mejorar la seguridad vial, por lo que llega a las siguientes conclusiones.

- Se identificó 18 Tramos de Concentración de Accidentes (TCA), mediante la metodología del Control de Calidad de la Tasa, siendo la más viable, ya que el cálculo se basa en el control de calidad de los análisis estadísticos para determinar la tasa de accidentes de un lugar en particular.
- Se identificó 13 tramos de concentración de accidentes mediante la metodología de número de accidentes, tasa de accidentes y número – tasa, en los que considera

Tramos de Concentración de Accidentes, aquellos sub tramos donde se producen 3 a más accidentes, que en particular no son las más viables.

- Se Determinó que los elementos geométricos de las curvas en los Tramos de Concentración de Accidentes cumplen con la normativa vigente, por lo tanto, las principales causas de los accidentes tránsito en los TCA son el exceso de velocidad seguido de los factores climáticos como son presencia de nieve y neblina.

Chamba (2013), define su objetivo general como estudiar y analizar los riesgos que existen a lo largo del corredor exclusivo del SITU mediante la detección de los tramos de concentración de accidentes (puntos negros) e implementar alternativas de seguridad vial, que permitan disminuir los mismos, por lo que llega a las siguientes conclusiones:

- Una vez aplicada la metodología de la Transportation Research Board (TRB) en el corredor exclusivo del SITU, se observa que la mayor cantidad puntos negros (TCA) se encuentran localizados en los tramos 3,4 y 5 que pertenecen a la intersección de calles donde se presenta mayor volumen de tráfico.
- La metodología propuesta utiliza una serie de variables como: número de días, longitud del tramo, TPDA y el número de accidentes, lo que permite localizar los puntos críticos, y además poder conocer a futuro los posibles TCA, mientras que los levantamientos de accidentes realizados por la policía, generaliza el número de accidentes que se sucedieron en determinado periodo de tiempo.
- El método más adecuado para detectar los tramos de concentración de accidentes es el Método de Control de Calidad de la Tasa, porque aplica un control estadístico sobre los valores de las tasas de cada tramo. Este control estadístico se ajusta al modelo de Poisson.
- La seguridad vial es una tarea de todos, donde deben estar involucrados tanto las autoridades como la ciudadanía en general. Para concienciar al ciudadano

conductor están las Escuelas de Conducción, que son los entes encargados de enseñar cómo adquirir la habilidad de manejo del vehículo.

## **2.2 MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1 Vía.**

Según el MTC (2008). Camino, arteria o calle. En nuestro caso los carriles de la carretera.

### **2.2.2 Tránsito.**

Según el MTC (2008). Conjunto de desplazamientos de personas, vehículos y animales por las vías terrestres de uso público (Circulación).

### **2.2.3 Vehículo.**

Según el MTC (2008). Todo medio capaz de desplazarse que sirve para transportar personas o mercancías y que se encuentra comprendido dentro de la clasificación vehicular del Anexo I del Reglamento Nacional de Vehículos.

### **2.2.4 Accidentes de tránsito.**

Según el MTC (2008). Cualquier hecho fortuito u ocurrencia entre uno o más vehículos en una vía pública o privada.

### **2.2.5 Tipos de accidentes de tránsito.**

Según Huamancayo (2012) indica los siguientes tipos de accidentes:

#### **2.2.5.1 Atropello.**

Ocurren entre un vehículo en movimiento y al menos una persona.

#### **2.2.5.2 Colisión entre vehículos.**

Ocurre entre dos o más vehículos.

#### ***2.2.5.3 Colisión con punto fijo.***

Ocurre entre un vehículo en movimiento y un objeto inerte que puede ser una casa, un poste, un establecimiento, una acera inclusive con otro vehículo estacionado.

#### ***2.2.5.4 Vuelcos.***

Es un tipo de accidente en el cual el conductor de un vehículo pierde el control del mismo.

#### ***2.2.5.5 Accidente con semoviente.***

Es un accidente donde participa un vehículo y un semoviente.

#### ***2.2.5.6 Caída de pasajeros.***

Ocurre cuando una persona cae de un vehículo que es transportada sufriendo lesiones o muertes.

#### ***2.2.5.7 Caída de objetos.***

Este accidente ocurre, cuando, los vehículos del transporte de carga no aseguran correctamente la misma o violan la ley de tránsito al sobrecargarlos. Zambrana (2010).

### **2.2.6 Causas de los accidentes de tránsito.**

Según Huamancayo (2012) indica las siguientes causas de accidentes:

#### ***2.2.6.1 Debido a la carretera.***

Entre estas se pueden contar aquellas que se deben a defectos de diseño o ingeniería, como son: asfalto o material inadecuado, curvas sin peralte (inclinación en la carretera para contrarrestar la fuerza centrífuga) o mal diseñadas, pendientes o curvas muy pronunciadas, derrumbe, falta de señalización o demarcación, mal

estado de la carretera, como son los baches y hundimientos, obstáculos en la vía tales como deslizamientos, piedras caídas, vehículos mal estacionados, animales

#### ***2.2.6.2 Debido a factores ambientales.***

Estos pueden ser aquellos como la lluvia, la luz solar (amanecer, crepúsculo u oscuridad), viento, neblina, tormenta, inundación, temblor, terremoto.

#### ***2.2.6.3 Por defecto o falla mecánica.***

Entre estas se pueden contar aquellas como: llantas o frenos defectuosos, fallas en la dirección, suspensión o transmisión, entre otros.

#### ***2.2.6.4 Por factores humanos.***

Según Zambrana (2010) citado en Huamancayo (2012). Enfermedades o defectos físicos, impericia, imprudencia, negligencia, cansancio, conducción temeraria, irrespeto a las señales de tránsito, estado de Ebriedad, bajo efectos de droga o sustancias Psicotrópicas, exceso de velocidad.

### **2.2.7 Clases de los accidentes de tránsito.**

Según Chihuán (2011), indica que, de acuerdo a la doctrina existente, los accidentes de tránsito se clasifican en:

#### ***2.2.7.1 Accidente de tránsito simple.***

Son todos aquellos en los que participa un solo vehículo en movimiento sobre la vía de circulación y con una relación directa o indirecta del elemento hombre. Entre ellos tenemos:

##### **a. Choque.**

Viene a ser la colisión de un vehículo en movimiento con un objeto fijo o contra otro vehículo estacionado. Entre ellos tenemos:

- Choque Frontal, cuándo un vehículo colisiona y lo hace con su parte frontal.
- Choque Angular, cuando el vehículo que impacta lo hace con cualquiera de sus ángulos.
- Choque Lateral, cuando el impacto lo hace por cualquiera de sus lados.
- Choque Posterior, cuando el vehículo que colisiona lo hace con su parte posterior.

#### **b. Volcadura.**

Es el vuelco que sufre un vehículo cuando se encuentra en traslación (movimiento), pudiendo hacerlo por cualquiera de sus lados por delante o hacia atrás.

- Volcadura Tipo Tonel, cuando la volcadura del vehículo es sobre cualquiera de sus lados laterales (giro sobre su eje longitudinal tanto derecho como izquierdo).
- Volcadura Tipo Campana, es un vuelco que sufre un vehículo en movimiento, girando sobre su eje generalmente de atrás hacia adelante y muy excepcionalmente de adelante hacia atrás.

#### **c. Incendio.**

Se produce cuando el vehículo se encuentra en movimiento y el incendio se da por falta de orden eléctrico y/o mecánico. Es el accidente que consiste en la inflamación total o parcial de un vehículo, suele tener como causa un fallo de orden mecánico, la rotura de la alimentación de combustible, un fallo de explosión que devuelve combustible por cualquier circunstancia generalmente en forma casual.

#### **d. Despiste.**

Es la pérdida de contacto de las llantas de un vehículo con la superficie normalmente circulable de la vía: es decir salirse de la porción circulable. Cuando el vehículo simplemente sale de la vía donde estaba circulando puede ser total o parcial. Es la acción o efecto de perder la pista. Consideramos:

- Despistaje Parcial, cuando no todas las llantas del vehículo pierden contacto con la porción circulable de la vía.
- Despistaje Total, cuando todas las llantas del vehículo pierden contacto con la porción circulable de la vía.

#### **2.2.7.2 Accidente de tránsito múltiple.**

Son aquellos que intervienen por lo menos dos vehículos en movimiento o un vehículo en traslación y un peatón. Se clasifican en:

##### **a. Choque.**

Es la colisión de un vehículo a otro estando ambos en movimiento o detenido.

- Choque Frontal, es cuando las partes medias anteriores de ambos vehículos entran en contacto entre sí. Pueden ser:
  - Choque Frontal Céntrico, cuando las partes medias frontales de ambos vehículos concuerdan en el impacto, es decir el eje longitudinal de los vehículos se alinean.
  - Choque Frontal o Excéntrico, cuando las partes medias anteriores no coinciden al colisionar ambas unidades. Estos pueden ser: choque frontal excéntrico izquierdo o Derecho.
- Choque por Embiste, es aquella que se produce cuando un vehículo colisiona con su parte frontal contra la pared lateral del otro vehículo que está en marcha.

Por la forma en que se impacta se le denomina Choque en “T”. son los siguientes:

- Choque por Embiste Lateral Izquierdo, cuando el vehículo sufre la colisión en su parte lateral izquierda.
- Choque por Embiste Lateral Derecho, cuando el vehículo sufre la colisión en su parte lateral derecha.

Estos choques son por embiste, sean lateral derecho o izquierdo según la zona de cada lado cambia la denominación. Pudiendo ser:

- Céntrico, cuando el eje de equilibrio longitudinal del vehículo que impacta coincide con el eje de equilibrio transversal del vehículo impactado. Pudiendo ser lateral derecho o izquierdo.
  - Excéntrico, cuando los ejes de equilibrio longitudinal del impactante con el transversal del impactado no coinciden. Pudiendo ser: lateral anterior derecho o izquierdo y lateral posterior derecho o izquierdo.
- Choque por Alcance, es la colisión que se produce entre los vehículos en traslación, que circulan en el mismo sentido, impactando por su parte anterior al vehículo que lo precede. Estos a su vez pueden ser:
- Choque por Alcance Céntrico, cuando los ejes de equilibrio longitudinal de ambos vehículos coinciden con el impacto.
  - Choque por Alcance Excéntrico, cuando los ejes de equilibrio longitudinal de ambos vehículos no coinciden. Pueden ser: choque por alcance excéntrico derecho e izquierdo

- Choque Lateral, es la colisión que se produce entre los vehículos de traslación, donde sus partes laterales toman contacto entre sí. Pueden ser:
  - Choque Lateral Positivo, cuando los vehículos circulan en sentidos opuestos y sus partes laterales entran en contacto en forma longitudinal.
  - Choque Lateral Negativo, cuando los vehículos circulan en el mismo sentido y sus partes laterales toman contacto entre sí en forma longitudinal.
  - Choque Lateral por Topetazo, cuando los vehículos circulan en mismo sentido y sus partes laterales toman contacto entre sí en forma transversal lateral izquierda.

#### **b. Caída de Pasajero.**

Es el accidente que consiste en la caída del pasajero de una persona de un vehículo en movimiento, generalmente se produce en los vehículos de transporte público de pasajeros. Este accidente se puede ocasionar al subir o bajar o dentro del mismo vehículo.

##### ***2.2.7.3 Accidente de tránsito mixto.***

Son aquellos donde se combina un accidente simple y un múltiple y viceversa u otros puede ser, por ejemplo:

- Despiste (simple) y atropello (múltiple).
- Choque por embiste (múltiple) y una volcadura (simple).

##### ***2.2.7.4 Accidente de tránsito en cadena.***

Son aquellos accidentes donde participan por lo menos tres vehículos, los que entran en contacto uno de tras de otro. Para considerarse esto en la clasificación, el evento debe producirse en la vía de circulación, los vehículos deben de desplazarse

en el mismo sentido y por lo menos el último que impacta por detrás debe encontrarse en movimiento.

### **2.2.8 Seguridad vial.**

Según Huamancayo (2012). La seguridad vial viene siendo una seria preocupación desde la aparición del automóvil, aproximadamente 12 décadas atrás. No obstante, esta preocupación, los problemas en seguridad vial no sólo se ha mantenido con el paso de los años, sino que han aumentado y causando enormes costos económicos y sociales. Es comúnmente aceptado que son muchos los costos asociados con el movimiento de vehículos, tales como la contaminación del aire, el ruido, la contaminación visual y las colisiones. Sin embargo, los costos económicos y sociales relacionados con accidentes de tránsito, como son pérdidas de propiedad (autos y otros), heridos y muertos atribuidos a los accidentes de tránsito, con la consiguiente pena y aflicción que golpea a miles de personas, exceden largamente los otros costos asociados al flujo vehicular. Consecuentemente, la importancia de reducir los costos sociales y económicos debido a los accidentes de tránsito no se debe subestimar.

### **2.2.9 Definición de puntos negros.**

No existe una definición aceptada universalmente de lo que es un Punto Negro, pero de manera general es descrita como la ubicación de alto riesgo de accidente de tránsito, o también como, un tramo de vía donde ocurren accidentes de tránsito de manera frecuente.

Algunas investigaciones definen los puntos negros de acuerdo a un ratio de los accidentes ocurridos en relación a los vehículo-kilómetro o por vehículo; en otros

casos se toma la frecuencia de los accidentes ya sea como el ratio por kilómetro o simplemente como el acumulado de ocurrencias.

Otra forma en que ha sido definido es a través de un ranking de la magnitud de accidentes registrados en cada punto negro (o del ratio de cada uno) o más comúnmente por la definición de una cantidad mínima de accidentes a partir del cual, cualquier valor que lo supere será denominado como punto negro. (MTC – 2007).

#### **2.2.10 Definición de tramos de concentración de accidentes.**

El concepto de tramo de concentración de accidentes es un concepto nuevo que viene a sustituir al tradicional punto negro.

Tramo de Concentración de Accidentes (TCA), es aquel tramo de carretera en el que estadísticamente el número de accidentes que se producen, es significativamente más alto que el valor medio de los que tienen lugar en tramos análogos de la red. Así en la definición de los TCA interviene el tipo de vía, la intensidad de tráfico, y el número de accidentes. Berardo (2005).

#### **2.2.11 Estudio de tráfico.**

Según Huamancayo (2012) desglosaremos los siguientes términos para uso en la presente investigación:

##### **2.2.11.1 Volumen de tránsito.**

Se define volumen de tránsito, como el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o de una calzada, durante un periodo determinado. Se expresa como:

$$Q = \frac{N}{T} \quad (1)$$

Donde:

Q : Vehículos que pasa por unidad de tiempo (vehículos/periodo).

N : Número total de vehículos que pasan (vehículos).

T : Periodo determinado (unidades de tiempo).

### 2.2.11.2 *Volumen de tránsito absoluto.*

Es el número total de vehículos que pasan durante el lapso de tiempo determinado. Dependiendo de la duración del lapso de tiempo determinado, se tienen los siguientes volúmenes de tránsito absolutos o totales:

➤ **Tránsito anual (TA)**

Es el número total de vehículos que pasan durante un año. En este caso,  $T = 1$  año.

➤ **Tránsito mensual (TM)**

Es el número total de vehículos que pasan durante un mes. En este caso.  $T = 1$  mes.

➤ **Tránsito semanal (TS)**

Es el número total de vehículos que pasan durante una semana. En este caso.  $T = 1$  semana.

➤ **Tránsito diario (TD)**

Es el número total de vehículos que pasan durante un día. En este caso.  $T = 1$  día

➤ **Tránsito horario (TH)**

Es el número total de vehículos que pasan durante una hora En este caso  $T = 1$  hora

➤ **Tasa de flujo o flujo ( $q$ )**

Es el número total de vehículos que pasan durante un periodo inferior a una hora. En este caso,  $T < 1$  hora.

En todos los casos anteriores, los períodos especificados, un año un mes, una semana, un día, una hora y menos de una hora, no necesariamente son de orden cronológico. Por lo tanto, pueden ser 365 días seguidos, 30 días seguidos, 7 días seguidos, 24 horas seguidas, 60 minutos seguidos y período en minutos seguidos inferiores a una hora.

**2.2.11.3 Volumen de tránsito promedio.**

Se define el volumen de tránsito promedio diario (TPD), como el número total de vehículos que pasan durante un período dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día, dividido entre el número de días del período. De acuerdo al número de días de este período, se presentan los siguientes volúmenes de tránsito promedios diarios, dados en vehículos por día:

➤ Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

Este parámetro es también conocido como Índice Medio Diario Anual o IMDA.

$$TPDA = \frac{TA}{365} \quad (2)$$

➤ Tránsito Promedio Diario Mensual (TPDM)

$$TPDM = \frac{TM}{30} \quad (3)$$

- Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDS)

$$TPDM = \frac{TS}{7} \quad (4)$$

#### 2.2.11.4 *Uso de volúmenes de tránsito.*

De una manera general, los datos sobre volúmenes de tránsito se utilizan ampliamente en los siguientes campos:

##### a. Planeación.

- Clasificación sistemática de redes de vías.
- Estimación de los cambios anuales en los volúmenes de tránsito.
- Modelos de asignación y distribución de tránsito.
- Desarrollo de programas de mantenimiento, mejores y prioridades.
- Análisis económicos.
- Estimaciones de la calidad del aire.
- Estimaciones del consumo de combustibles.

##### b. Proyecto

- Aplicación a normas de proyecto geométrico.
- Requerimientos de nuevas vías.
- Análisis estructural de superficies de rodamiento

##### c. Ingeniería de Tránsito

- Análisis de capacidad y niveles de servicio en todo tipo de vialidades.
- Caracterización de flujos vehiculares.
- Zonificación de velocidades
- Necesidades de dispositivos para el control de tránsito.
- Estudio de estacionamientos.

d. Seguridad

- Cálculo de índices de accidentes y mortalidad.
- Evaluación de mejoras por seguridad

e. Investigación

- Nuevas metodologías sobre capacidad.
- Análisis e investigación en el campo de los accidentes y la seguridad.
- Estudio sobre ayudas, programas o dispositivos para el cumplimiento de las normas de tránsito.
- Estudios de antes y después.
- Estudios sobre el medio ambiente y la energía

f. Usos comerciales

- Hoteles y restaurantes
- Urbanismo
- Autoservicios

- Actividades recreacionales y deportivas.

Específicamente, dependiendo de la unidad de tiempo en que se expresen los volúmenes de tránsito, éstos se utilizan para:

### **1. Los Volúmenes de Tránsito Anual (TA)**

- Determinar los patrones de viaje sobre áreas geográficas.
- Estima los gastos esperados de los usuarios de carreteras
- Calcular índices de accidentes.
- Indicar las variaciones y tendencias de los volúmenes de tránsito, especialmente en carreteras de peaje.

### **2. Los Volúmenes de Tránsito Promedio Diario (TPD)**

- Medir la demanda actual en vías.
- Evaluar los flujos de tránsito actuales con respecto al sistema vial.
- Definir el sistema arterial de calles.
- Localizar áreas donde se necesite construir nuevas vías o mejorar las existentes.
- Programar mejoras.

### **3. Los Volúmenes de Tránsito Promedio Horario (TH)**

- Determinar la longitud y magnitud de los períodos de máxima demanda.
- Evaluar deficiencias de capacidad.
- Establecer controles en el tránsito, como colocación de señales, semáforos y marcas viales, jerarquización de vías, sentidos de circulación y rutas de tránsito: y prohibición de estacionamiento, paradas y maniobras de vueltas.
- Proyectar y rediseñar geométricamente calles e intersecciones

### **4. Las Tasas de Flujo (q)**

- Analizar flujos máximos.
- Analizar variaciones del flujo dentro de las horas de máxima demanda.
- Analizar limitaciones de capacidad en el flujo de tránsito.
- Analizar las características de los volúmenes máximos

#### **2.2.11.5 Características de los volúmenes de tránsito.**

Los volúmenes siempre deben ser considerados como dinámicos, por lo que solamente son precisos para el período de duración de los aforos. Sin embargo, debido a que sus variaciones son generalmente rítmicas y repetitivas, es importante tener un conocimiento de sus características, para así programar aforos, relacionar volúmenes en un tiempo y lugar con volúmenes de otro tiempo y lugar, y prever con la debida anticipación la actuación de las fuerzas dedicadas al control de tránsito y labor preventiva, así como las de conservación.

Por ejemplo, si se sabe que en Semana Santa se va a tener el mayor número de accidentes de tránsito, se debe planear una campaña preventiva para actuar antes y durante esa semana. Por otro lado, en esta semana no se deben realizar trabajos de reparación normal en la calle o carretera, pues pueden estorbar o resultar peligrosos.

Por lo tanto, es fundamental, en la planeación y operación de la circulación vehicular, conocer las variaciones periódicas de los volúmenes de tránsito dentro de las horas de máxima demanda, en las horas del día, en los días de la semana y en los meses del año. Aún más, también es importante conocer las variaciones de los volúmenes de tránsito en función de su distribución por carriles, su distribución direccional y su composición

### 2.2.11.6 *Distribución y composición del volumen de tránsito.*

La distribución de los volúmenes de tránsito por carriles debe ser considerada, tanto en el proyecto como en la operación de calles y vías. Tratándose de tres o más carriles de operación en un sentido, el flujo se asemeja a una corriente hidráulica. Así, al medir los volúmenes de tránsito por carril, en zona urbana, la mayor velocidad y capacidad, generalmente se logran en el carril del medio: las fricciones laterales, como paradas de autobuses y taxis y las vueltas izquierdas y derechas causan un flujo más lento en los carriles extremos, llevando el menor volumen el carril cercano a la acera. En carretera, a volúmenes bajos y medios suele ocurrir lo contrario, por lo que se reserva el carril cerca de la faja separadora central para los vehículos más rápidos y para rebases, y se presentan mayores volúmenes en el carril inmediato al acotamiento. En autopistas de tres carriles con altos volúmenes de tránsito, rurales o urbanas, por lo general hay mayores volúmenes en el carril inmediato a la faja separadora central.

En cuanto a la distribución direccional, en las calles que comunican el centro de la ciudad con la periferia de la misma, el fenómeno común que se presenta en el flujo de tránsito es de volúmenes máximos hacia el centro en la mañana y hacia la periferia en las tardes y noches. Es una situación semejante al flujo y reflujo que se presenta los fines de semana cuando los veraneantes salen de la ciudad el viernes y sábado y regresan el domingo en la tarde. Este fenómeno se presenta especialmente en arterias del tipo radial. En cambio, ciertas arterias urbanas que comunican "centros de gravedad" importantes, no registran variaciones direccionales muy marcadas en los volúmenes de tránsito.

Igualmente, en los estudios de volúmenes de tránsito muchas veces es útil conocer la composición y variación de los distintos tipos de vehículos.

La composición vehicular se mide en términos de porcentajes sobre el volumen total. Por ejemplo, porcentaje de automóviles, de autobuses y de camiones. En los países más adelantados, con un mayor grado de motorización, los porcentajes de autobuses y camiones en los volúmenes de tránsito son bajos. En cambio, en países con menor grado de desarrollo, el porcentaje de estos vehículos grandes y lentos es mayor. Chávez (2005).

## **2.2.12 Diseño geométrico de la vía.**

### **2.2.12.1 Generalidades.**

Según el MTC: DG - 2018: “Los elementos geométricos de una carretera (planta, perfil y sección transversal), deben estar convenientemente relacionados, para garantizar una circulación ininterrumpida de los vehículos, tratando de conservar una velocidad de operación continua y acorde con las condiciones generales de la vía. Lo antes indicado, se logra haciendo que el proyecto sea desarrollado con un adecuado valor de velocidad de diseño; y, sobre todo, estableciendo relaciones cómodas entre este valor, la curvatura y el peralte. Se puede considerar entonces que el diseño geométrico propiamente dicho, se inicia cuando se define, dentro de criterios técnico – económicos, la velocidad de diseño para cada tramo homogéneo en estudio.”

Según Huamancayo (2012); La funcionalidad vendrá determinada por el tipo de vía a proyectar y sus características, así como por el volumen y propiedades del tránsito, permitiendo una adecuada movilidad por el territorio a los usuarios y mercancías a través de una suficiente velocidad de operación del conjunto de la circulación.

La seguridad vial debe ser la premisa básica en cualquier diseño vial, inspirando todas las fases del mismo, hasta las mínimas facetas, reflejada principalmente en la simplicidad y uniformidad de los diseños.

La comodidad de los usuarios de los vehículos debe incrementarse en consonancia con la mejora general de la calidad de vida, disminuyendo las aceleraciones y, especialmente, sus variaciones que reducen la comodidad de los ocupantes de los vehículos. Todo ello ajustando las curvaturas de la geometría y sus transiciones a las velocidades de operación por las que optan los conductores a lo largo de los alineamientos.

La integración en su entorno debe procurar minimizar los impactos ambientales, teniendo en cuenta el uso y valores de los suelos afectados, siendo básica la mayor adaptación física posible a la topografía existente.

La armonía o estética de la obra resultante tiene dos posibles puntos de vista: el exterior o estático, relacionado con la adaptación paisajística, y el interior o dinámico vinculado con la comodidad visual del conductor ante las perspectivas cambiantes que se agolpan a sus pupilas y pueden llegar a provocar fatiga o distracción, motivo de peligrosidad. Hay que obtener un diseño geométrico conjunto que ofrezca al conductor un recorrido fácil y agradable, exento de sorpresas y desorientaciones.

La economía o el menor costo posible, tanto de la ejecución de la obra, como del mantenimiento y la explotación futura de la misma, alcanzando siempre una solución de compromiso con el resto de objetivos o criterios.

La elasticidad suficiente de la solución definitiva para prever posibles ampliaciones en el futuro.

### 2.2.12.2 Clasificación de las carreteras.

Según el MTC: DG-2018, las carreteras del Perú se clasifican, en función a la demanda y orografía.

#### **Por demanda:**

##### ➤ **Autopistas de Primera Clase**

Son carreteras con IMDA (Índice Medio Diario Anual) mayor a 6 000 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central mínimo de 6.00 m; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3.60 m de ancho como mínimo, con control total de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos, sin cruces o pasos a nivel y con puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

##### ➤ **Autopistas de Segunda Clase**

Son carreteras con un IMDA entre 6000 y 4 001 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central que puede variar de 6.00 m hasta 1.00 m, en cuyo caso se instalará un sistema de contención vehicular; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3.60 m de ancho como mínimo, con control parcial de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos; pueden tener cruces o pasos vehiculares a nivel y puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

##### ➤ **Carreteras de Primera Clase**

Son carreteras con un IMDA entre 4 000 y 2 001 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3.60 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con

puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

➤ **Autopistas de Segunda Clase**

Son carreteras con IMDA entre 2 000 y 400 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3.30 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

➤ **Autopistas de Tercera Clase**

Son carreteras con IMDA menores a 400 veh/día, con calzada de dos carriles de 3.00 m de ancho como mínimo. De manera excepcional estas vías podrán tener carriles hasta de 2.50 m, contando con el sustento técnico correspondiente. Estas carreteras pueden funcionar con soluciones denominadas básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos; o en afirmado, en la superficie de rodadura. En caso de ser pavimentadas deberán cumplirse con las condiciones geométricas estipuladas para las carreteras de segunda clase.

➤ **Trochas carrozables**

Son vías transitables, que no alcanzan las características geométricas de una carretera, que por lo general tienen un IMDA menor a 200 veh/día. Sus calzadas deben tener un ancho mínimo de 4.00 m, en cuyo caso se construirá ensanches denominados plazoletas de cruce, por lo menos cada 500 m.

La superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar.

**Por orografía:****➤ Terreno plano (tipo 1)**

Tiene pendientes transversales al eje de la vía, menores o iguales al 10% y sus pendientes longitudinales son por lo general menores de tres por ciento (3%), demandando un mínimo de movimiento de tierras, por lo que no presenta mayores dificultades en su trazo.

**➤ Terreno ondulado (tipo 2)**

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 11% y 50% y sus pendientes longitudinales se encuentran entre 3% y 6 %, demandando un moderado movimiento de tierras, lo que permite alineamientos rectos, alternados con curvas de radios amplios, sin mayores dificultades en el trazo.

**➤ Terreno accidentado (tipo 3)**

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 51% y el 100% y sus pendientes longitudinales predominantes se encuentran entre 6% y 8%, por lo que requiere importantes movimientos de tierras, razón por la cual presenta dificultades en el trazo.

**➤ Terreno escarpado (tipo 4)**

Tiene pendientes transversales al eje de la vía superiores al 100% y sus pendientes longitudinales excepcionales son superiores al 8%, exigiendo al máximo de movimiento de tierras, razón por la cual presenta grandes dificultades en su trazo.

**2.2.12.3 Velocidad de diseño.**

Según indica el MTC: DG-2018, es la velocidad escogida para el diseño, entendiéndose que será la máxima que se podrá mantener con seguridad y

comodidad, sobre una sección determinada de la carretera, cuando las circunstancias sean favorables para que prevalezcan las condiciones de diseño.

En el proceso de asignación de la velocidad de diseño, se debe otorgar la máxima prioridad a la seguridad vial de los usuarios. Por ello, la velocidad de diseño a lo largo del trazo, debe ser tal, que los conductores no sean sorprendidos por cambios bruscos y/o muy frecuentes en la velocidad a la que pueden realizar con seguridad el recorrido. Para identificar los tramos homogéneos y establecer su velocidad de diseño, se debe atender a los siguientes criterios:

- La longitud mínima de un tramo de carretera, con una velocidad de diseño dada, debe ser de tres (3.0) kilómetros, para velocidades entre veinte y cincuenta kilómetros por hora (20 y 50 km/h) y de cuatro (4.0) kilómetros para velocidades entre sesenta y ciento veinte kilómetros por hora (60 y 120 km/h).
- La diferencia de la velocidad de diseño entre tramos adyacentes, no debe ser mayor a veinte kilómetros por hora (20 km/h).

La velocidad de diseño está definida en función de la clasificación por demanda u orografía de la carretera a diseñarse. A cada tramo homogéneo se le puede asignar la velocidad de diseño en el rango que se indica en la tabla 1 que se rescata de la DG-2018:

**Tabla N° 1: Rangos de la velocidad de Diseño en función de la clasificación de la carretera por demanda y orografía**

CLASIFICACIÓN	OROGRAFÍA	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO VTR (km/h)											
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	
Autopista de primera clase	Plano												
	Ondulado												
	Accidentado												
	Escarpado												
Autopista de segunda clase	Plano												
	Ondulado												
	Accidentado												
	Escarpado												
Carretera de primera clase	Plano												
	Ondulado												
	Accidentado												
	Escarpado												
Carretera de segunda clase	Plano												
	Ondulado												
	Accidentado												
	Escarpado												
Carretera de tercera clase	Plano												
	Ondulado												
	Accidentado												
	Escarpado												

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) - DG-2018.

2.2.12.4 Calzada.

Según el MTC: DG - 2018, indica referente a la calzada que, parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos compuesta por uno o más carriles, no incluye la berma. La calzada se divide en carriles, los que están destinados a la circulación de una fila de vehículos en un mismo sentido de tránsito.

El número de carriles de cada calzada se fijará de acuerdo con las previsiones y composición del tráfico, acorde al IMDA de diseño, así como del nivel de servicio deseado. Los carriles de adelantamiento, no serán computables para el número de carriles. Los anchos de carril que se usen, serán de 3,00 m, 3,30 m y 3,60 m.

Se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

**En autopistas:** El número mínimo de carriles por calzada será de dos.

**En carreteras de calzada única:** Serán dos carriles por calzada.

En la Tabla 2, se indican los valores del ancho de calzada para diferentes velocidades de diseño con relación a la clasificación de la carretera.

**Tabla N° 2: Anchos mínimos de calzada en tangente.**

Clasificación	Autopista								Carretera				Carretera				Carretera			
	> 6,000				6,000 - 4,001				4,000-2.001				2,000-400				< 400			
Tipo	Primera Clase				Segunda Clase				Primera Clase				Segunda Clase				Tercera Clase			
Orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Velocidad de diseño: 30km/h																			6.00	6.00
40 km/h																	6.60	6.60	6.60	6.00
50 km/h											7.20	7.20			6.60	6.60	6.60	6.60	6.60	6.00
60 km/h					7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60	
70 km/h			7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	6.60		6.60	6.60		
80 km/h	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20			6.60	6.60		
90 km/h	7.20	7.20	7.20		7.20	7.20	7.20		7.20	7.20			7.20				6.60	6.60		
100 km/h	7.20	7.20	7.20		7.20	7.20	7.20		7.20				7.20							
110 km/h	7.20	7.20			7.20															
120 km/h	7.20	7.20			7.20															
130 km/h	7.20																			

**Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - DG-2018.**

**2.2.12.5 Berma.**

Según el MTC: DG-2018, indica que la berma es la franja longitudinal, paralela y adyacente a la calzada o superficie de rodadura de la carretera, que sirve de confinamiento de la capa de rodadura y se utiliza como zona de seguridad para estacionamiento de vehículos en caso de emergencias.

Cualquiera sea la superficie de acabado de la berma, en general debe mantener el mismo nivel e inclinación (bombeo o peralte) de la superficie de rodadura o calzada, y acorde a la evaluación técnica y económica del proyecto, está constituida por materiales similares a la capa de rodadura de la calzada.

Las autopistas contarán con bermas interiores y exteriores en cada calzada, siendo las primeras de un ancho inferior. En las carreteras de calzada única, las bermas deben tener anchos iguales.

Adicionalmente, las bermas mejoran las condiciones de funcionamiento del tráfico y su seguridad; por ello, las bermas desempeñan otras funciones en proporción a su ancho tales como protección al pavimento y a sus capas inferiores, detenciones ocasionales, y como zona de seguridad para maniobras de emergencia.

La función como zona de seguridad, se refiere a aquellos casos en que un vehículo se salga de la calzada, en cuyo caso dicha zona constituye un margen de seguridad para realizar una maniobra de emergencia que evite un accidente.

En la Tabla 3, se establece el ancho de bermas en función a la clasificación de la vía, velocidad de diseño y orografía.

**Tabla N° 3: Anchos mínimos de berma.**

Clasificación	Autopista								Carretera				Carretera				Carretera							
	> 6.000				6.000 - 4001				4.000-2.001				2.000-400				< 400							
	Primera clase				Segunda clase				Primera clase				Segunda clase				Tercera Clase							
Tipo de orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Velocidad de diseño: 30 km/h																					0.50	0.50		
40 km/h																	1.20	1.20	0.90	0.50				
50 km/h									2.60	2.60			1.20	1.20	1.20	0.90	0.90							
60 km/h					3.00	3.00	2.60	2.60	3.00	3.00	2.60	2.60	2.00	2.00	1.20	1.20	1.20	1.20						
70 km/h			3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.00	2.00	1.20		1.20	1.20						
80 km/h	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00		2.00	2.00			1.20	1.20						
90 km/h	3.00	3.00	3.00		3.00	3.00	3.00		3.00	3.00			2.00				1.20	1.20						
100 km/h	3.00	3.00	3.00		3.00	3.00	3.00		3.00				2.00											
110 km/h	3.00	3.00			3.00																			
120 km/h	3.00	3.00			3.00																			
130 km/h	3.00																							

**Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - DG-2018.**

**Nota:** Para carreteras de Primera, Segunda y Tercera Clase, en casos excepcionales y con la debida justificación técnica, la Entidad Contratante podrá aprobar anchos de berma menores a los establecidos en la presente tabla, en tales casos, se preverá áreas de ensanche de la plataforma a cada lado de la carretera, destinadas al estacionamiento de vehículos en caso de emergencias, de acuerdo a lo previsto en el Tópico 304.12 de la DG-2018, debiendo reportar al órgano normativo del MTC.

#### **2.2.12.6 Criterio y controles básicos para el diseño.**

Según Huamancayo (2012) indica, existen factores de diversa naturaleza, que influyen en distinto grado en el diseño de una carretera. No siempre es posible considerarlos explícitamente en una norma en la justa proporción que les puede corresponder. Por ello, en cada proyecto será necesario examinar la especial relevancia que pueda adquirir, a fin de aplicar correctamente los criterios que aquí se presentan.

Entre estos factores se destacan los siguientes:

- El tipo y la calidad de servicio que la carretera debe brindar al usuario y a la comunidad, debe definirse en forma clara y objetiva.
- La seguridad para el usuario y para aquellos que de alguna forma se relacionen con la carretera. Constituye un factor fundamental que no debe ser transado por consideraciones de otro orden.
- La inversión inicial en una carretera es sólo uno de los factores de costo y debe ser siempre ponderado conjuntamente con los costos de conservación y operación a lo largo de la vida de la obra.

#### **2.2.12.7 Relación entre la velocidad directriz y las características geométricas.**

La velocidad de diseño es la velocidad seleccionada para fines del diseño vial y que condiciona las principales características de la carretera, tales como: curvatura, peralte y distancia de visibilidad, de las cuales depende la operación segura y cómoda de los vehículos. Es la mayor velocidad a la que puede recorrerse con seguridad un tramo vial, incluso con pavimento mojado, cuando el vehículo estuviere sometido apenas a las limitaciones impuestas por las características geométricas.

Uno de los principales factores que rigen la adopción de valores para la velocidad de diseño es el costo de construcción resultante. Una velocidad de diseño elevada exige características físicas y geométricas más amplias, principalmente en lo que respecta a curvas verticales y horizontales, declives y anchos, las cuales, salvo que midan condiciones muy favorables, elevarán el costo de construcción considerablemente. Esa elevación en los costos será tanto menos pronunciada cuanto más favorables sean las características físicas del terreno, principalmente la topografía, aunque también la geotecnia, el drenaje, etc. Además, en los tramos que, según los usuarios, sean los más favorables, habrá una tendencia inevitable espontánea de los conductores a aumentar la velocidad. Este hecho habrá de ser reconocido mediante la adopción de valores, principalmente de curvatura horizontal y vertical y de visibilidad, que corresponden a velocidades de diseño más elevadas. Lo mismo ocurre en relación con los tramos donde se desea proporcionar una distancia de visibilidad de paso adecuada.

#### **2.2.12.8 Velocidad de marcha.**

Según el MTC: DG-2018, la velocidad de marcha es también denominada también velocidad de crucero, es el resultado de dividir la distancia recorrida entre el tiempo durante el cual el vehículo estuvo en movimiento, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito, la vía y los dispositivos de control. Es una medida de la calidad del servicio que una vía proporciona a los conductores y varía durante el día, principalmente, por la modificación de los volúmenes de tránsito.

Es deseable que la velocidad de marcha de una gran parte de los conductores, sea inferior a la velocidad de diseño. La experiencia indica que la desviación de este objetivo es más evidente y problemática en las curvas horizontales más favorables. En particular, en las curvas con bajas velocidades de diseño (en relación a las

expectativas del conductor) se suele conducir a velocidades mayores lo que implica menores condiciones de seguridad. Por tanto, es importante que la velocidad de diseño utilizada para la configuración de la curva horizontal sea un reflejo conservador de la velocidad que se espera de la instalación construida.

El promedio de la velocidad de marcha en una carretera determinada varía durante el día, dependiendo sobre todo del volumen de tránsito. Por tanto, cuando se hace referencia a una velocidad de marcha, se deberá indicar claramente si esta velocidad representa las horas de mayor demanda, fuera de las horas de mayor demanda, o un promedio para el día. Las horas de mayor demanda y el resto se utilizan en el proyecto y operación, mientras que la velocidad promedio de funcionamiento durante todo un día se utiliza en los análisis económicos.

#### **2.2.12.9 Velocidad de operación**

Según el MTC: DG-2018, la velocidad directriz es la velocidad máxima a la que pueden circular los vehículos en un determinado tramo de una carretera, en función a la velocidad de diseño, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito, estado del pavimento, meteorológicas y grado de relación de ésta con otras vías y con la propiedad adyacente.

Si el tránsito y las interferencias son bajas, la velocidad de operación del vehículo es del orden de la velocidad de diseño por tramo homogéneo, no debiendo sobrepasar a ésta. A medida que el tránsito crece, la interferencia entre vehículos aumenta, tendiendo a bajar la velocidad de operación del conjunto. Este concepto es básico para evaluar la calidad del servicio que brinda una carretera, así como parámetro de comparación, entre una vía existente con características similares a

una vía en proyecto, a fin de seleccionar una velocidad de diseño por tramos homogéneos, lo más acorde con el servicio que se desee brindar.

#### **2.2.12.10 Elección de velocidad directriz**

Según el MTC: DG-2018, la velocidad de diseño de un tramo de características geométricas homogéneas y longitud razonable está relacionada con las velocidades específicas de sus curvas, y con la longitud e inclinación de su rasante. Para que un tramo pueda ser considerado homogéneo, no debe haber una gran diferencia entre esta velocidad de diseño y la máxima velocidad de operación (percentil 85) que pueda alcanzarse en cualquier punto de él.

En la elección de la velocidad directriz, se debe tener en cuenta las consideraciones siguientes:

- Desde el punto de vista de la seguridad, no siempre es beneficiosa la adopción de la mayor velocidad posible de diseño, pero tampoco debe olvidarse que, si bien los conductores aceptan fácilmente limitar su velocidad de operación en zonas evidentemente difíciles, en otras que no lo sean suelen rebasar con frecuencia la velocidad específica de sus elementos, especialmente de los del perfil.
- En autopistas y multicarriles fuera de poblado se pueden emplear velocidades de diseño superiores a 120 Km/h en entornos cuya lectura por el usuario favorecería altas velocidades de recorrido.
- Consideraciones de costo de construcción, especialmente en carreteras de calzada única, limitan la velocidad de diseño fuera de poblado a valores comprendidos entre 30 (en terreno tipo 4) y 100 Km/h (en terreno tipo 1).

- Velocidades de proyecto inferiores a 80 Km/h fuera de poblado guardan poca relación con las velocidades de operación, que son generalmente superiores apenas el entorno lo permite. Su empleo sólo está justificado para acoplar un trazado a un terreno muy accidentado, especialmente en curvas aisladas.
- Las velocidades de diseño empleadas en vías urbanas pueden ser menores que fuera de poblado, no sólo por consideraciones de costo, especialmente el relacionado con las expropiaciones, tanto más importante cuanto mayor sea aquélla, sino también funcionales: la frecuente gran intensidad de la circulación en ellas - que sólo necesita las velocidades de operación asociadas a la capacidad - y la menor distancia entre intersecciones. Su valor está relacionado con la función asignada a la vía urbana en la estructura vial jerarquizada.
- En intersecciones, únicamente en ramales de enlace que no crucen a nivel ninguna otra trayectoria, y que vayan a funcionar cerca de su capacidad, está justificado adoptar velocidades de proyecto del orden de 60 y aun 80 Km/h. En los demás casos, se emplean velocidades de proyecto más bajas, sobre todo donde haya limitaciones de espacio o los cruces a nivel de otras trayectorias pudieran obligar a la detención.

#### 2.2.12.11 *Peralte.*

Según el MTC: DG-2018, con el fin de contrarrestar la acción de la fuerza centrífuga, las curvas horizontales deben ser peraltadas.

El valor del peralte, bajo el criterio de seguridad ante el deslizamiento, está dado por la expresión.

$$p = \frac{v^2}{127R} - f \quad (5)$$

- P : Peralte asociado a V.
- V : Velocidad directriz o de diseño (Kph)
- R : Radio mínimo absoluto (m)
- F : Coeficiente de fricción lateral máximo asociado a V

Normalmente resultan justificados radios superiores al mínimo, con peraltes inferiores al máximo, que resultan más cómodos tanto para los vehículos lentos (disminuyendo la incidencia de f negativos) como para vehículos rápidos (que necesitan menores f). Si se eligen radios mayores que el mínimo, habrá que elegir el peralte en forma tal que la circulación sea cómoda tanto para los vehículos lentos como para los rápidos.

Los valores máximos del peralte, son controlados por algunos factores como: Condiciones climáticas, orografía, zona (rural o urbana) y frecuencia de vehículos pesados de bajo movimiento, en términos generales se utilizarán como valores máximos los siguientes en la tabla N°4.

**Tabla N° 4: Valores de peralte máximo**

Pueblo o ciudad	Peralte Máximo (p)		Ver Figura
	Absoluto	Normal	
Atravesamiento de zonas urbanas	6.0%	4.0%	302.02
Zona rural (T. Plano, Ondulado o Accidentado)	8.0%	6.0%	302.03
Zona rural (T. Accidentado o Escarpado)	12.0	8.0%	302.04
Zona rural con peligro de hielo	8.0	6.0%	302.05

**Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - DG-2018**

### 2.2.13 Diseño geométrico en planta.

Como indica el MTC: DG-2018, el diseño geométrico en planta o alineamiento horizontal, está constituido por alineamientos rectos, curvas circulares y de grado

de curvatura variable, que permiten una transición suave al pasar de alineamientos rectos a curvas circulares o viceversa o también entre dos curvas circulares de curvatura diferente.

El alineamiento horizontal deberá permitir la operación ininterrumpida de los vehículos, tratando de conservar la misma velocidad de diseño en la mayor longitud de carretera que sea posible.

En general, el relieve del terreno es el elemento de control del radio de las curvas horizontales y el de la velocidad de diseño y a su vez, controla la distancia de visibilidad.

En proyectos de carreteras de calzadas separadas, se considerará la posibilidad de trazar las calzadas a distinto nivel o con ejes diferentes, adecuándose a las características del terreno.

### **Consideraciones de diseño**

- Deben evitarse tramos con alineamientos rectos demasiado largos. Tales tramos son monótonos durante el día, y en la noche aumenta el peligro de deslumbramiento de las luces del vehículo que avanza en sentido opuesto. Es preferible reemplazar grandes alineamientos, por curvas de grandes radios.
- Para las autopistas de primer y segundo nivel, el trazo deberá ser más bien una combinación de curvas de radios amplios y tangentes no extensas.
- En el caso de ángulos de deflexión  $\Delta$  pequeños, iguales o inferiores a  $5^\circ$ , los radios deberán ser suficientemente grandes para proporcionar longitud de curva mínima  $L$  obtenida con la fórmula siguiente:

$$L > 30(10 - \Delta), \Delta < 5^\circ (L \text{ en metros, } \Delta \text{ en grados}) \quad (5)$$

- Al final de las tangentes extensas o tramos con leves curvaturas, o incluso dónde siga inmediatamente un tramo homogéneo con velocidad de diseño inferior, las curvas horizontales que se introduzcan deberán concordar con la precedente, proporcionando una sucesión de curvas con radios gradualmente decrecientes para orientar al conductor. En estos casos, siempre deberá considerarse el establecimiento de señales adecuadas.
- No son deseables dos curvas sucesivas en el mismo sentido cuando entre ellas existe un tramo en tangente. Será preferible sustituir por una curva extensa única o, por lo menos, la tangente intermedia por un arco circular, constituyéndose entonces en curva compuesta. Si no es posible adoptar estas medidas, la tangente intermedia deberá ser superior a 500 m. En el caso de carreteras de tercera clase la tangente podrá ser inferior o bien sustituida por una espiral o una transición en espiral dotada de peralte.
- Las curvas sucesivas en sentidos opuestos, dotadas de curvas de transición, deberán tener sus extremos coincidentes o separados por cortas extensiones en tangente. En el caso de curvas opuestas sin espiral, la extensión mínima de la tangente intermedia deberá permitir la transición del peralte.
- En consecuencia, deberá buscarse un trazo en planta homogéneo, en el cual tangentes y curvas se sucedan armónicamente.
- No se utilizarán desarrollos en Autopistas y se tratará de evitar estos en carreteras de Primera clase. Las ramas de los desarrollos tendrán la máxima longitud posible y la máxima pendiente admisible, evitando en lo posible, la superposición de ellas sobre la misma ladera.

Donde:

L mín.s : Longitud mínima (m) para trazados en “S” (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura de sentido contrario).

L mín.o : Longitud mínima (m) para el resto de casos (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura del mismo sentido).

L máx : Longitud máxima deseable (m).

V : Velocidad de diseño (km/h)

### Curvas circulares

Las curvas horizontales circulares simples son arcos de circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes consecutivas, conformando la proyección horizontal de las curvas reales o espaciales.

A continuación, se presentaran los elementos de la curva circular:

P.C. : Punto de inicio de la curva

P.I. : Punto de Intersección de 2 alineaciones consecutivas

P.T. : Punto de tangencia

E : Distancia a externa (m)

M : Distancia de la ordenada media (m)

R : Longitud del radio de la curva (m)

T : Longitud de la subtangente (P.C a P.I. y P.I. a P.T.) (m)

L : Longitud de la curva (m)

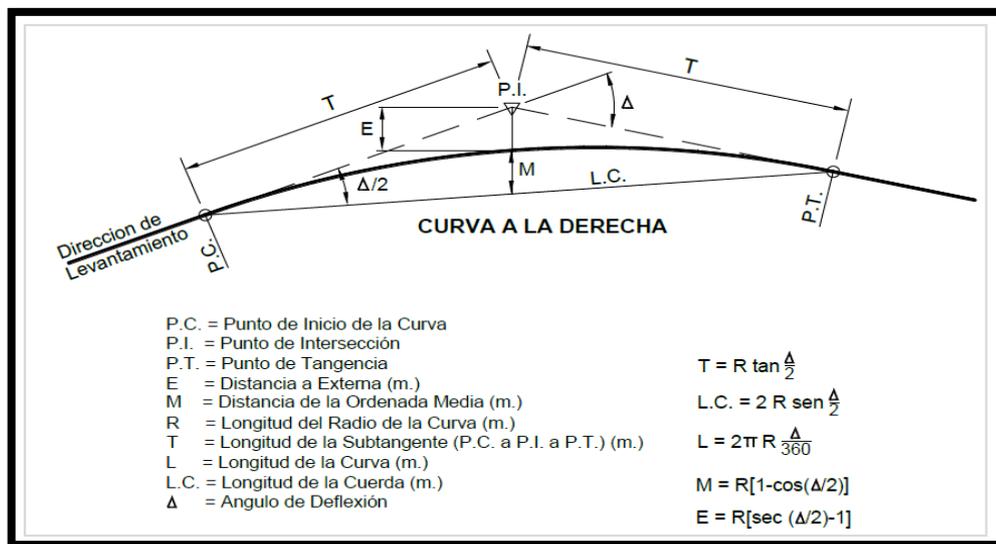
L.C : Longitud de la cuerda (m)

$\Delta$  : Ángulo de deflexión ( $^{\circ}$ )

P : Peralte; valor máximo de la inclinación transversal de la calzada, asociado al diseño de la curva (%)

Sa : Sobreechanco que pueden requerir las curvas para compensar el aumento de espacio lateral que experimentan los vehículos al describir la curva (m)

Nota: Las medidas angulares se expresan en grados sexagesimales.



**Figura N° 1: Simbología de la curva circular**

**Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) - DG-2018.**

**Radios mínimos**

Los radios mínimos de curvatura horizontal son los menores radios que pueden recorrerse con la velocidad de diseño y la tasa máxima de peralte, en condiciones aceptables de seguridad y comodidad, para cuyo cálculo puede utilizarse la siguiente formular:

$$R_{mín} = \frac{v^2}{127(P_{máx} + f_{máx})} \tag{6}$$

Donde:

$R_{mín}$  : Radio Mínimo

$V$  : Velocidad de diseño

$P_{máx}$  : Peralte máximo asociado a  $V$  (en tanto por uno).

$f_{máx}$  : Coeficiente de fricción transversal máximo asociado a  $V$ .

La DG-2018 nos da una tabla de acuerdo a la velocidad de diseño, peralte y coeficiente de fricción reemplazado en la fórmula (6), el radio mínimo calculado y redondeado:

**Tabla N° 5: Radios mínimos y peraltes máximos para diseño de carreteras.**

Ubicación de la vía	Velocidad de diseño	$P$ máx. (%)	$f$ máx.	Radio calculado (m)	Radio redondeado (m)
Área urbana	30	4.00	0.17	33.7	35
	40	4.00	0.17	60.0	60
	50	4.00	0.16	98.4	100
	60	4.00	0.15	149.2	150
	70	4.00	0.14	214.3	215
	80	4.00	0.14	280.0	280
	90	4.00	0.13	375.2	375
	100	4.00	0.12	492.10	495
	110	4.00	0.11	635.2	635
	120	4.00	0.09	872.2	875
Área rural (con peligro de hielo)	130	4.00	0.08	1,108.9	1,110
	30	6.00	0.17	30.8	30
	40	6.00	0.17	54.8	55
	50	6.00	0.16	89.5	90
	60	6.00	0.15	135.0	135
	70	6.00	0.14	192.9	195
	80	6.00	0.14	252.9	255
	90	6.00	0.13	335.9	335
	100	6.00	0.12	437.4	440
	110	6.00	0.11	560.4	560
Área rural (plano u ondulada)	120	6.00	0.09	755.9	755
	130	6.00	0.08	950.5	950
	30	8.00	0.17	28.3	30
	40	8.00	0.17	50.4	50
	50	8.00	0.16	82.0	85
	60	8.00	0.15	123.2	125
	70	8.00	0.14	175.4	175
	80	8.00	0.14	229.1	230
	90	8.00	0.13	303.7	305
	100	8.00	0.12	393.7	395
Área rural (accidentada o escarpada)	110	8.00	0.11	501.5	500
	120	8.00	0.09	667.0	670
	130	8.00	0.08	831.7	835
	30	12.00	0.17	24.4	25
	40	12.00	0.17	43.4	45
	50	12.00	0.16	70.3	70
	60	12.00	0.15	105.0	105
	70	12.00	0.14	148.4	150
	80	12.00	0.14	193.8	195
	90	12.00	0.13	255.1	255
	100	12.00	0.12	328.1	330
	110	12.00	0.11	414.2	415
	120	12.00	0.09	539.9	540
	130	12.00	0.08	665.4	665

Fuente: DG-2018. MTC.

#### 2.2.14 Señales de tránsito.

El MTC-2016 indica que; para garantizar las especificaciones técnicas y características de desempeño y calidad de los materiales usados en la señalización vertical y horizontal así como de otros dispositivos de control del tránsito, deben

cumplirse las disposiciones establecidas por el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG vigente), así como de las Especificaciones Técnicas de Pinturas para Obras Viales, vigente; del MTC.

De ser necesaria la utilización de materiales no abarcados por la normatividad antes indicada, tendrán las condiciones de especificaciones especiales, que deberán cumplir con las normatividad internacional correspondiente y aprobación respectiva, a continuación, presentamos las contempladas en la norma.

#### **2.2.14.1 Señales verticales.**

Las señales verticales son dispositivos instalados al costado o sobre el camino, y tienen por finalidad, reglamentar el tránsito, prevenir e informar a los usuarios mediante palabras o símbolos establecidos en este Manual. Cabe mencionar que los ejemplos presentados solo tienen carácter ilustrativo, por cuanto cada dispositivo de control que se incluya en un proyecto, deberá ser diseñado específicamente.

**Función:** Siendo la función de las señales verticales, la de reglamentar, prevenir e informar al usuario de la vía, su utilización es fundamental principalmente en lugares donde existen regulaciones especiales, permanentes o temporales, y en aquellos donde los peligros no siempre son evidentes. Su implementación será de acuerdo al estudio de ingeniería vial anteriormente citado debiendo evitarse, por ejemplo, el uso excesivo de señales verticales en un tramo corto puesto que puede ocasionar contaminación visual y pérdida de su efectividad. Asimismo, es importante el uso frecuente de señales informativas de identificación y destino, a fin de que los usuarios de la vía conozcan oportunamente su ubicación y destino.

#### **Clasificación de las señales verticales**

De acuerdo a la función que desempeñan, las señales verticales se clasifican en 3 grupos:

**a. Señales Regulatoras o de Reglamentación:** Tienen por finalidad notificar a los usuarios de las vías, las prioridades, prohibiciones, restricciones, obligaciones y autorizaciones existentes, en el uso de las vías. Su incumplimiento constituye una falta que puede acarrear un delito.



**Figura N° 2: Ejemplo de señal reglamentaria (R-12).**

**Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) (2016).**

**b. Señales de Prevención:** Su propósito es advertir a los usuarios sobre la existencia y naturaleza de riesgos y/o situaciones imprevistas presentes en la vía o en sus zonas adyacentes, ya sea en forma permanente o temporal.



**Figura N° 3: Ejemplo de señal preventiva (P-4A).**

**Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) (2016).**

**c. Señales de Información:** Tienen como propósito guiar a los usuarios y proporcionarles información para que puedan llegar a sus destinos en la forma más simple y directa posible. Además, proporcionan información relativa a distancias a centros poblados y de servicios al usuario, kilometrajes de rutas, nombres de calles, lugares de interés turístico, y otros.

Las indicadas señales son de carácter permanente, sin embargo, también deben utilizarse en situaciones temporales, que están referidas a aquellas que modifican transitoriamente la utilización u operación de la vía, en cuyo caso también podrá utilizarse señalización transitoria de carácter especial, estáticas y/o dinámicas de mensaje variable, a fin de prevenir e informar al usuario sobre la existencia de situaciones particulares en la vía, mediante mensajes oportunos y claros en tiempo real, de acuerdo al estudio de ingeniería vial correspondiente para cada caso.



**Figura N° 4: Ejemplo de señal informativa**

**Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) (2016).**

#### 2.2.14.2 Señales horizontales.

De acuerdo al Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras en el capítulo 3 de la norma vigente indica que, las marcas en el

pavimento o demarcaciones, constituyen la señalización horizontal y está conformada por marcas planas en el pavimento, tales como líneas horizontales y transversales, flechas, símbolos y letras, que se aplican o adhieren sobre el pavimento, sardineles, otras estructuras de la vía y zonas adyacentes.

Forma parte de esta señalización, los dispositivos elevados que se colocan sobre la superficie de rodadura, también denominadas marcas elevadas en el pavimento, con el fin de regular, canalizar el tránsito o indicar restricciones.

La Marcas en el Pavimento, también tienen por finalidad complementar los dispositivos de control del tránsito, tales como las señales verticales, semáforos y otros, puesto que tiene la función de transmitir instrucciones y mensajes que otro tipo de dispositivo no lo puede hacer de forma efectiva.

Para que las Marcas en el Pavimento, cumpla su función adecuadamente requieren uniformidad respecto a sus dimensiones, diseño, símbolos, caracteres, colores, frecuencia de uso, circunstancias en que se emplea y tipo de material usado.

En ningún caso se pondrá en servicio una vía sin las marcas en el pavimento correspondientes, en caso de ser necesario, se utilizará demarcación temporal debe ser retrorreflectiva y debe cumplir con los requisitos mínimos establecido en este manual y las especificaciones técnicas correspondientes que establece las de más normas de gestión de infraestructura vial sobre la materia.

Los materiales, su clasificación, dimensiones, uso de colores y otras especificaciones técnicas deberán cumplir con lo establecido en las Especificaciones Técnicas de Pinturas para Obras Viales, y el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG - vigente).

### **Colores**

Los colores a utilizarse en las marcas planas en el pavimento son:

- a. Blanco: Separación de corrientes de tráfico en el mismo sentido. se empleará en bordes de calzada, demarcaciones longitudinales, demarcaciones transversales, demarcaciones elevadas, flechas direccionales, letras, espacios de estacionamiento permitido.
- b. Amarillo: Se emplea excepcionalmente para señalar áreas que requieran ser resaltadas por las condiciones especiales de la vías, tales como canales de tráfico en sentidos opuestos, canales de tráfico exclusivos para sistemas de transportes masivo, objetos fijos adyacentes a la misma, líneas de no bloqueo de intersección, demarcación elevada y borde de calzada de zonas donde está prohibido estacionar.
- c. Azul: Complementación de señales informativas, tales como zonas de estacionamiento para personas con movilidad reducida, separación de carriles para cobro de peaje electrónico y otros.
- d. Rojo: Demarcación de rampas de emergencia o zonas con restricciones.

#### **2.2.14.3 Elementos de encarrilamiento.**

##### **Delineadores**

Los delineadores de curva son elementos de seguridad los cuales como su nombre lo dice son delimitadores y señalizadores de una curva en la vía, lo cual sirve para que el conductor a parte de las marcas en el pavimento tenga la visualización de la distancia a la cual se encuentra la máxima longitud de la berma para maniobrar y encarrilarse en la vía.

#### **2.2.14.4 *Derecho de vía.***

El derecho de vía es un área intangible propia de la vía destinada para mejora de la carretera, señalizaciones y futuras obras de ensanchamiento de la vía, depende del tipo e importancia de la vía la cual está contemplada e indicada en el diario El Peruano abarcando los diferentes tipos de derecho de vía en las carreteras nacionales.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Por el propósito perseguido:

##### **Investigación aplicada:**

Suca (2014), este tipo de investigación también recibe el nombre de práctica o empírica. Se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren. La investigación aplicada se encuentra estrechamente vinculada con la investigación básica, pues depende de los resultados y avances de esta última: esto queda aclarado si nos percatamos de que toda investigación aplicada requiere de un marco teórico. Sin embargo, en una investigación empírica, lo que le interesa al investigador, primordialmente, son las consecuencias prácticas.

#### 3.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

##### **Nivel explicativo:**

Según Caballero (2000), estas investigaciones responden a la pregunta ¿Por qué? Es así la realidad objeto de investigación o estudio. Son causales ya que plantean hipótesis explicativas que mediante el cruce o relación de variables primero de las del problema (variables dependientes) con las de la Realidad (Variables intervinientes); y luego con las del marco referencial (variables independientes), plantean propuesta (s) de explicación al problema causal, que deberán, luego, ser contrastadas. Estas investigaciones, junto con las experimentales, son las más apropiadas para la tesis de maestría y doctorado.

En este nivel el investigador conoce y da a conocer las causas o factores que han dado origen o han condicionado la existencia y naturaleza del hecho o fenómeno en estudio. Así mismo indaga sobre la relación recíproca y concatenada de todos los hechos de la realidad, buscando dar una explicación objetiva, real y científica a aquello que se desconoce. Necesariamente supone la presencia de dos o más variables.

### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.3.1 Población.**

La población está constituida por los 13 accidentes suscitados entre los años 2017 y 2018 los cuales se encuentran comprendidos entre los Km 00+000 al Km 40+000, kilometraje que corresponde a la vía comprendida entre la ciudad de Puno y Laraqueri a investigar.

#### **3.3.2 Muestra.**

La muestra de investigación está conformada por los 9 accidentes preponderantes resultantes que determinan los Tramos de Concentración de Accidentes (TCA) de la vía Puno – Laraqueri.

Estos TCA se determinarán del análisis de los datos recolectados.

### **3.4 RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.4.1 Control de Accidentes Semanal.**

La empresa concesionaria COVISUR S.A. tiene como una de sus funciones atender las emergencias ocurridas en toda la vía, para lo cual dispone de dos (02) grúas las cuales se encargan de prestar servicio a los accidentes ocurridos, por lo cual cada vez que la grúa hace dicho servicio se encarga de recolectar información del siniestro y a su vez comunicar a la Central de Emergencias, la cual se encarga de comunicar mediante correo electrónico a todas las personas

pertinentes entre los cuales están funcionarios de Provías Nacional, OSITRAN, COVISUR, CASA y OPECOVI.

Los datos a utilizar son los comunicados de los accidentes ocurridos en el tramo Puno – Puente Gallatini, precisamente los comprendidos entre el Km 00+000 al Km 40+000 que son los comprendidos de Puno a Laraqueri. El tiempo en el que se laboró en la empresa COVISUR S.A. se pudo hacer la recopilación de los accidentes correspondientes al 2017 y 2018, los cuales serán los datos utilizados para la presente investigación, en la siguiente figura se muestra un ejemplo del formato de la recolección de datos de accidentes:

**Tabla N° 6: Formato de recolección de datos de accidentes COVISUR S.A.**

<b>CONTROL DE ACCIDENTES SEMANAL</b> SEMANA DEL 22 AL 28 DE MAYO DEL 2017 <span style="float: right;">Código: FO-ATCE-07 Rev. 1</span>						
<b>PUNO</b>						
Fecha	Hora	Lugar	Sentido	Evento	Heridos	Fallecidos
22/05/2017	04:30	192+200	IMATA-SANTA LUCÍA	DESPISTE DEL AUTOMÓVIL, MARCA TOYOTA, COLOR ROJO, DE PLACA V1A-234, CONDUcido POR KEVIN CASTRO Y AURI (19), IDENTIFICADO CON DNI 72189950, QUIEN SE DIRIGÍA DE AREQUIPA HACIA JULIACA.	0	0
23/05/2017	20:10	10+700	PUNTE GALLATINI - PUNO	EL CHOQUE POR EMBISTE DE LA CAMIONETA, MARCA TOYOTA, COLOR GRIS, DE PLACA V8E-831, CONDUcido POR MATEO DAVID MAMA NI VEGA, IDENTIFICADO CON DNI 02388703, QUIEN SE DIRIGÍA DE PUNO HACIA MOQUEGUA.	0	0
28/05/2017	06:30	31+800	PUNTE GALLATINI - PUNO	EL DESPISTE DEL AUTOMÓVIL, MARCA MITSUBISHI, COLOR BLANCO, DE PLACA V2Y-623, CONDUcido POR RUBÉN VALERIANO QUISPE (45), QUIEN SE DIRIGÍA DE PUNO HACIA MOQUEGUA.	0	0
28/05/2017	17:15	13+800	PUNTE GALLATINI - PUNO	CHOQUE LATERAL ENTRE EL SEMI-TRÁILER, MARCA VOLVO, COLOR ROJO, DE PLACA V6Y-800, CONDUcido POR JESÚS ÁNGEL FERNÁNDEZ ARPA (30), IDENTIFICADO CON DNI 44394127, QUIEN SE DIRIGÍA DE PUNO HACIA MOQUEGUA Y EL BUS, MARCA SCANIA, COLOR AZUL, DE PLACA A9Z-960, CONDUcido POR JOSÉ MELO GONZÁLES, IDENTIFICADO CON DNI 01310402, QUIEN SE DIRIGÍA DE MOQUEGUA HACIA PUNO	4	0
<b>AREQUIPA</b>						
Fecha	Hora	Lugar	Sentido	Evento	Heridos	Fallecidos
23/05/2017	08:00	84+000	YURA-PATAHUASI	DESPISTE Y VOLCADURA, DEL SEMI-TRÁILER BOLIVIANO, MARCA VOLVO, COLOR BLANCO/ROJO, DE PLACA 1937-KDI, CONDUcido POR YUNEY ÁNGEL QUISPE CATARI, CON CÉDULA DE IDENTIDAD 2715607, QUIEN SE DIRIGÍA DE PUNO HACIA AREQUIPA.	1	0
25/05/2017	19:35	63+800	YURA-PATAHUASI	DESPISTE DEL SEMI-TRÁILER, MARCA INTERNACIONAL, COLOR BLANCO, DE PLACA B7R-837, CONDUcido POR LEONEL ÁNGEL VALENCIA DURAND (37), IDENTIFICADO CON DNI 40363687, QUIEN SE DIRIGÍA DE JULIACA HACIA AREQUIPA.	0	0
26/05/2017	04:30	10+500	DV. AREQUIPA-UCHUMAYO-YURA	DESPISTE Y VOLCADURA, DEL AUTOMÓVIL, MARCA VOLKSWAGEN, COLOR PLATA, PLACA V3G-146, CONDUcido POR JULIO SULEIMAN SÁNCHEZ VALDIVIA (34), IDENTIFICADO CON DNI 41632198, QUIEN SE DIRIGÍA DE SAN CAMILO HACIA AREQUIPA.	0	0
28/05/2017	02:30	111+090	YURA-PATAHUASI	EL CHOQUE CONTRA LA CASETA N°304, DEL BUS, MARCA SCANIA, COLOR VERDE, PLACA V4L-966, CONDUcido POR ORLANDO HUBBER OCAPA ANCCA, IDENTIFICADO CON DNI 42221607, QUIEN SE DIRIGÍA DE PUNO HACIA AREQUIPA.	0	0
<b>MOQUEGUA</b>						
Fecha	Hora	Lugar	Sentido	Evento	Heridos	Fallecidos
24/05/2017	13:00	1165+500	REPARTICIÓN (EMP. PANAM. SUR)-DV. MOQUEGUA	DESPISTE Y VOLCADURA DEL CAMIÓN, MARCA MERCEDES BENZ, COLOR BLANCO, DE PLACA V6C-801, CONDUcido POR VÍCTOR GONZALES RODRÍGUEZ, QUIEN SE DIRIGÍA DE ILO HACIA MOQUEGUA.	0	0
24/05/2017	19:20	107+000	HUMAJALSO-PUNTE GALLATINI	DESPISTE Y VOLCADURA DE CARRETA DEL SEMI-TRÁILER, MARCA INTERNACIONAL, COLOR ROJO, DE PLACA C3B-917, CONDUcido POR MANUEL SIVINCHA MURIEL (45), IDENTIFICADO CON DNI 24804208, QUIEN SE DIRIGÍA DE PUNO HACIA MOQUEGUA.	0	0

**Fuente: Central de Emergencias de COVISUR S.A.**

A continuación, se muestran el resumen de los accidentes ocurridos en los años 2017 y 2018, motivo del cual es la presente investigación.

**Tabla N° 7: Resumen de recolección de datos de accidentes COVISUR S.A.**

ACCIDENTES					
Tramo: Puno - Laraqueri Km 00+000 - Km 40+000					
2017					
Fecha	Km	Evento	Heridos	Fallecidos	Causa del accidente
23/05/2017	10+700	El choque por embiste de la camioneta, marca toyota, color gris, de placa v8e-831, conducido por mateo david mamani vega, identificado con dni 02388703, quien se dirigía de puno hacia moquegua.	0	0	Choque por embiste
28/05/2017	31+800	El despiste, del automóvil, marca mitsubishi, color blanco, de placa v2y-623, conducido por rubén valeriano quispe (45), quien se dirigía de puno hacia moquegua.	0	0	Despiste Total
28/05/2017	13+800	Choque lateral entre el semi-tráiler, marca volvo, color rojo, de placa v6y-800, conducido por jesús angel fernández arpa (30), identificado con dni 44394127, quien se dirigía de puno	4	0	Choque Lateral Positivo

		hacia moquegua y el bus, marca scania, color azul, de placa a9z-950, conducido por josé melo gonzáles, identificado con dni 01310402, quien se dirigía de moquegua hacia puno			
28/06/2017	18+400	El choque por alcance del automóvil, marca toyota, color rojo, de placa b2r-041, conducido por flavio juárez pineda, identificado con dni 01282434 y el automóvil, marca toyota, color blanco, de placa z4t-501, conducido por edwin josé velazco escobar, identificado con dni 43679024, quienes se dirigían de laraqueri hacia puno.	0	0	Choque por Alcance Excéntrico
26/08/2017	39+000	Despiste, del automóvil, marca renault, color gris, de placa b4r-665, conducido por santiago hilari cáceres, quien se dirigía de moquegua hacia puno.	1	0	Despiste Total
21/10/2017	4+500	Choque frontal, entre el camión, marca mitsubishi, color azul, de placa x1d-882, conducido por manuel ever vilca arpasi (37), identificado con dni 41646583, quien se dirigía de puno hacia moquegua y el automóvil, marca	0	1	Choque Frontal Céntrico

		toyota, color plomo, de placa cjtg-36 conductor no identificado, quien se dirigía de moquegua hacia puno.			
2018					
15/03/2018	29+800	Despiste y volcadura del automóvil, marca toyota, color azul, de placa f0e-282, conducido por teofilo quispe yucra (36), identificado con dni 02146141, quien se dirigía de puno hacia moquegua.	0	0	Despiste y Volcadura
13/04/2018	29+500	El despiste, del semi-tráiler, marca volvo, color azul, de placa c9v-822, conducido por denis giovanni roca baca (35), identificado con dni 43985299, quien se dirigía de puno hacia moquegua.	0	0	Despiste Total
21/07/2018	24+000	Choque lateral, entre automóvil, marca kia, color blanco, placa v6e-082, conductor no fue identificado, quien se encontraba con dirección hacia puno; y automóvil, marca toyota, color negro, placa c5d-076, conductor no identificado, quien se encontraba con dirección hacia laraqueri.	2	0	Choque Lateral Positivo

15/08/2018	15+900	Choque lateral entre la camioneta rural, marca nissan, color blanco, de placa z2d-861, conducido por eloy gutiérrez torres (58), identificado con dni 01222004 quien se dirigía de puno hacia laraqueri y la camioneta, marca toyota, color plata, de placa b1d-522, conducido por alcides mamani pineda (27), identificado con dni 70096983 quien se dirigía de laraqueri hacia puno	1	1	Choque Lateral Positivo
16/08/2018	5+500	Choque por alcance entre la camioneta rural, wings, color blanco, de placa z6e-845, conducido por simón marciano merma gomez (66), identificado con dni 01221137, quien se dirigía de puno hacia moquegua y el trimoto, marca excel motors, color azul-amarillo, de placa z3-7789, conducido por piter saúl medina afaraya, identificado con dni 76019109, quien se dirigía de puno hacia laraqueri.	0	0	Choque por Alcance Excéntrico
02/11/2018	10+500	Despiste del automóvil, marca hyundai, color gris, de placa h1t-563, conducido por américo blas mamani	0	0	Despiste Total

		checalla (28), identificado con dni 46228863 quien se dirigía de puno hacia moquegua.			
03/11/2018	25+000	Despiste y volcadura de la camioneta rural, marca kingstar neptune l6, color azul, de placa z0d-969, conducido por lupo apaza carita, identificado con dni 01329322, quien se dirigían de puno hacia Moquegua.	1	3	Despiste y Volcadura

**Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.**

Todos los formatos de donde se recolecto la información de los accidentes para la presente investigación se encuentran en el Anexo 1.

### 3.5 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de los datos se hizo mediante:

#### 3.5.1 Identificación de TCA según método del Transportation Research Board (TRB) (EEUU).

Para la identificación de los Tramos de Concentración de Accidentes, se hará mediante los métodos que propone el Transportation Research Board (TRB), los siguientes métodos se harán de acuerdo a Berardo et al. (2008)

“La TRB es una de las seis divisiones principales del Consejo Nacional de Investigación, una institución privada, sin fines de lucro que es la agencia principal de operaciones de las academias nacionales en la prestación de servicios al gobierno, el público y las comunidades científicas y de ingeniería.”

La TRB es apoyado por los departamentos de transporte estatales, agencias federales, incluyendo las administraciones que integran el departamento de transporte de EE.UU., y otras organizaciones e individuos interesados en el desarrollo del transporte.

El estudio teórico de cada método se compone de un análisis de sensibilidad sobre las variables involucradas, el que permite comprender el funcionamiento de las ecuaciones y analizar los límites de aplicación.

Cuatro son las técnicas de análisis que se adaptan para el presente estudio las cuales son:

- Método del número o frecuencia de accidentes
- Método de la tasa de accidentes
- Método del número – tasa
- Método del control de calidad de la tasa

### **3.5.2 Método del número o frecuencia de accidentes.**

El método número o frecuencia de accidentes se lo puede utilizar para ciudades pequeñas dentro de la zona urbana ya que el mismo no considera el factor cantidad de tránsito el mismo no es de tanta importancia en el sistema vial para el cálculo del presente método.

Los sitios peligrosos detectados por este método presentan un gran número de accidentes y consecuentemente las soluciones que se apliquen producirán una significativa reducción con respecto al total de siniestros.

Para poder aplicar el método (Berardo et al., 2008), nos recomienda subdividirse la red vial en estudio en tramos homogéneos de igual longitud (un kilómetro) asignando a cada tramo la cantidad de accidentes registrados, de esta

manera se obtiene la cantidad de accidentes por kilómetro del tramo. Inmediatamente, se define para tramos homogéneos el valor promedio de los siniestros. Por último, puede considerarse TCA a aquel tramo cuya cantidad de accidentes por kilómetro sea superior a la media de la vía más un desvío representado a través un coeficiente de mayoración que en este caso es K.

Primero, se debe calcular de la frecuencia ecuación (7) y la frecuencia media de accidentes ecuación (8):

$$Ni = \frac{\text{Número de accidentes en el tramo } i}{\text{Longitud del tramo } i} \quad (7)$$

$$Nm = \frac{\sum \text{Accidentes en tramos homogéneos}}{\sum \text{Longitud en tramos homogéneos}} \quad (8)$$

De donde:

$Ni$  : Frecuencia de accidentes de un tramo.

$Nm$  : Frecuencia media de accidentes.

Un tramo será considerado TCA cuando se cumpla que:

$$Ni \geq k \cdot Nm \quad (9)$$

$$\text{Con } k \geq 1 \quad (10)$$

De donde:

K : Factor de mayoración; para aproximaciones iniciales se recomienda ajustarlo en 2.

### **Análisis del método**

El método es simple, de aplicación directa y cuyas únicas variables son la cantidad de accidentes, la longitud de los tramos de estudio y el coeficiente de mayoración.

A través del factor  $k$  puede ajustarse la sensibilidad del método. A medida que el valor de  $k$  se incrementa, disminuye la cantidad de TCA detectados, por el contrario, la disminución del valor de  $k$  incrementa la cantidad de TCA detectados.

### **Consistencia de los resultados**

Como se expone en el punto anterior, la consistencia de los resultados de este método no está garantizada, esto se debe a que el límite inferior de frecuencias a partir del cual un tramo es considerado peligroso se obtiene a partir de la media de la muestra en lugar de considerar un valor de la frecuencia con una probabilidad de ocurrencia dada. Esto implica que, para dos muestras con igual media y distinta dispersión, el método no detecta la misma cantidad de TCA.

Admitiendo que la distribución de frecuencias puede ajustarse a una distribución normal, si para calcular el límite inferior de frecuencias a partir del cual un tramo es considerado peligroso se toma un valor de frecuencia que con alto grado de seguridad no se presenta habitualmente en la muestra, es decir que la probabilidad que se den frecuencias de accidentes mayores a esta es de  $1-S$ , siempre se tendrá el mismo nivel de confianza sobre los tramos detectados.

Exigiendo que las frecuencias de accidentes de los tramos peligrosos sean mayores o iguales a la frecuencia elegida según su probabilidad de ocurrencia,

siempre se estará evaluando la misma área de la campana de Gauss, con lo que se logran resultados consistentes.

Para el cálculo de la frecuencia y la frecuencia media de accidentes, así como el desvió estándar se utilizan las siguientes ecuaciones (7) y (8)

$$N\sigma = \sqrt{\frac{\sum(Ni-Nm)^2}{n-1}} \tag{11}$$

Donde n es la cantidad de tramos considerados y  $N\sigma$  es el desvió. Si se establece un grado de seguridad S, el valor límite de la frecuencia está dado por:

$$S = \Phi(k) \tag{12}$$

$$Nlim = k \cdot N\sigma + Nm \tag{13}$$

Donde  $\Phi$  es la función probabilidad acumulada y k se obtiene de la tabla 8 de distribución normal.

Un tramo será considerado TCA cuando se cumpla que:

$$Ni \geq Nlim \tag{14}$$

O bien

$$Ni \geq k \cdot N\sigma + Nm \tag{15}$$

**Tabla N° 8: Nivel de Confianza en función del valor K.**

Nivel de confianza	Valor de K
0.999	3.575
0.995	3.077
0.950	1.645
0.900	1.282

**Fuente: Identificación de tramos con concentración de accidentes en rutas nacionales de la provincia de córdoba (Berardo et al., 2008)**

Resulta entonces que aplicando un factor al desvío y adicionando el valor de la media para calcular el límite de aplicación del método, se asegura la consistencia en los resultados que estén distribuidos.

### **Características del método**

La identificación de los TCA por el método del número, presenta las siguientes características distintivas:

- Los resultados pueden ajustarse a partir del factor de mayoración  $k$ , esto permite una mayor flexibilidad en su aplicación y el análisis de los resultados.
- No requiere datos de tránsito, es decir que no tiene en cuenta la exposición al tránsito del tramo, por lo que solo es aplicable para tramos con volúmenes de tránsito semejantes. Por el mismo motivo, es independiente de la fiabilidad de los aforos de tránsito.
- La longitud de los tramos en los que se divide la vía bajo estudio debe mantenerse constante en todo el trayecto ya que es especialmente sensible a esta variable.
- No clasifica los accidentes según su severidad (accidente con daños, con víctimas o con muertos).
- La aplicación es casi intuitiva, y al depender de pocas variables, su interpretación es sencilla. Por tal motivo resulta una opción interesante para realizar estudios expeditivos de los problemas de seguridad de una vía especialmente cuando se carece de datos fidedignos de tránsito.
- Mientras se cuente con un registro de accidentes prolongado para un período más extenso de años, mayor será el grado de confiabilidad de los resultados.

- Los tramos peligrosos detectados presentan una cantidad significativa de accidentes.
- La consistencia de los resultados se logra aplicando algún criterio estadístico para determinar el valor límite de frecuencia a partir de la cual se considera peligroso el tramo.

### 3.5.3 Método de la tasa de accidentes.

Un análisis basado solo en el número de accidentes puede conducir a conclusiones equivocadas, sobre todo si a lo largo del camino existen variaciones considerables en los volúmenes de tránsito. A dos ubicaciones que registren el mismo número de accidentes, no debiera atribuírsele idéntica peligrosidad si una de ellas dobla a la otra en cuanto a volumen de tránsito se refiere.

El método de la tasa de accidentes considera la variable del volumen de tránsito para establecer la peligrosidad del tramo, por ello para aplicarlo, además de la ubicación y cantidad de accidentes del camino es necesario contar con los datos de volumen de tránsito.

Para el cálculo de la tasa de un tramo  $i$  cualquiera se calcula de la siguiente manera:

$$T_i = \frac{\text{Accidentes en el tramo}}{TPDA \times N^\circ \text{ de días} \times \text{Long.del tramo}} \times 10^6 \quad (16)$$

Donde:

$T_i$  : Tasa de accidentes de un tramo.

TPDA : Trafico promedio diario anual.

La tasa media del sistema se define con ( $T_m$ ) de igual manera que la tasa del tramo, pero considerando la sumatoria de los accidentes, el tránsito medio y la longitud total del camino en estudio.

$$T_m = \frac{\sum \text{Accidentes en todo el tramo}}{TPDA_{\text{medio}} \times N^{\circ} \text{ de días} \times \text{Long. del tramo}} \times 10^6 \quad (17)$$

Donde:

$T_m$  : Tasa media de accidentes de todos los tramos.

TPDA : Trafico promedio diario anual.

$\sum \text{Accidentes}$  : Sumatoria de accidentes de todo el año de estudio.

### Identificación de tramos de concentración de accidentes

Para definir un TCA debe cumplirse que:

$$T_i \geq k \cdot T_m \quad (18)$$

$$\text{Con } k \geq 1 \quad (19)$$

Donde  $k$  es un factor de mayoración que para aproximaciones iniciales se recomienda ajustarlo en 2.

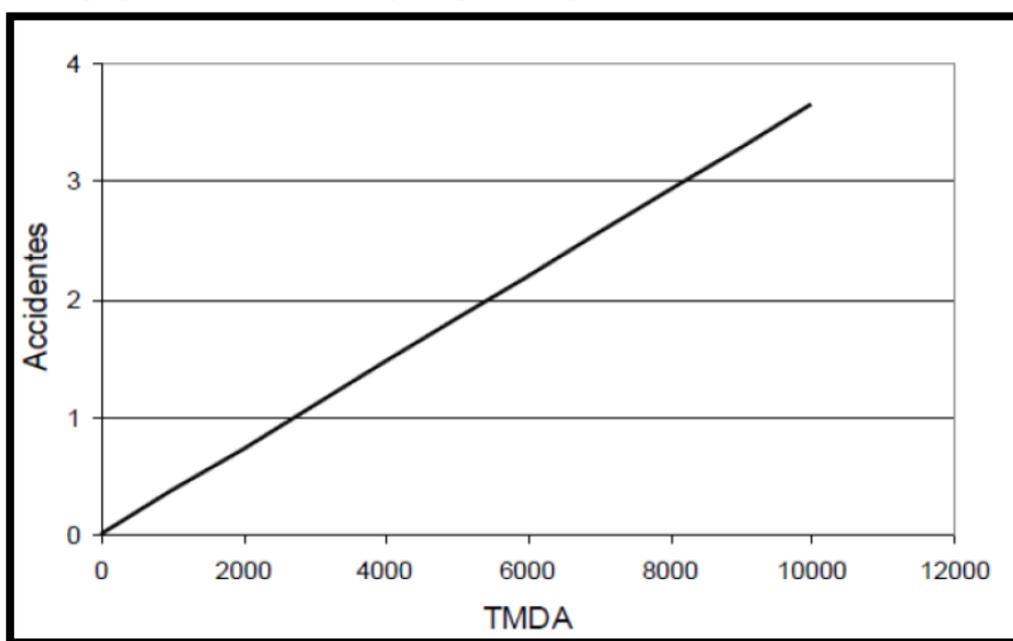
El propósito principal del factor  $k$  es controlar la cantidad de TCA que detecta el método. Si el valor de  $k$  es grande, la lista de tramos de concentración de accidentes es corta, mientras que, si el valor de  $k$  es pequeño, la lista será más larga.

### Análisis del método

El método propone la linealidad entre el número de accidentes y el volumen de tránsito, esta relación puede verse en la Figura 5, de la fórmula (16) se deduce

$$Accidentes\ en\ el\ tramo = \frac{Ti \times TPDA \times N^{\circ}\ de\ días \times Long.\ del\ tramo}{10^6} \quad (20)$$

Luego para una tasa  $Ti=cte$  y longitudes iguales



**Figura N° 5: Relación entre el número de accidentes y el TMDA para una tasa unitaria**

**Fuente: identificación de tramos con concentración de accidentes en rutas nacionales de la provincia de Córdoba, (Berardo, et al., 2008)**

Para el cálculo del desvió estándar de la tasa media utilizamos la ecuación

$$T\sigma = \sqrt{\frac{\sum(Ti - Tm)^2}{n-1}} \quad (21)$$

El valor límite de la tasa está dado por la ecuación:

$$Tlim = k \cdot T\sigma + Tm \quad (22)$$

Un tramo será considerado TCA cuando se cumpla que:

$$Ti \geq Tlim \quad (23)$$

Esto significa que para bajos valores de tránsito pocos accidentes generarán una tasa elevada y viceversa. Entonces identificar sitios peligrosos basados exclusivamente en las tasas de accidentes puede ser engañoso si se trabaja con tránsitos bajos en algunos tramos y tránsitos muy altos en otros.

El método de la tasa es sensible a la longitud de tramo en la que se divide el camino en estudio.

Al igual que para el método del número, al incrementar la longitud de los tramos, disminuye la dispersión de la muestra, por ello los valores de la  $T_i$  se aproximan cada vez más al valor de la tasa media, con lo cual, para un mismo camino, con la misma distribución de accidentes y tránsitos, y el mismo factor de mayoración, el método identifica mayor cantidad de TCA en el estudio en el que se dividió el camino en tramos de menor longitud.

### **Consistencia de los resultados**

Dada la similitud en cuanto a los criterios de detección del presente método con respecto al de la frecuencia, valen las mismas consideraciones hechas para aquel.

Se recomienda aplicar algún criterio estadístico (en este trabajo se aplica la distribución normal) para establecer el límite de detección del método, con esto se persigue lograr una mayor consistencia de los resultados obtenidos mediante esta técnica.

### **Características del método**

La identificación de los TCA por el método de la tasa de accidentes, presenta las siguientes características distintivas:

- Los resultados pueden ajustarse a partir del factor de mayoración  $k$ , esto permite una mayor flexibilidad en su aplicación y el análisis de los resultados.
- La longitud de los tramos en los que se divide el camino bajo estudio debe mantenerse constante en todo el camino, ya que es especialmente sensible a esta variable.
- No discrimina los accidentes según su severidad (accidente con daños, con víctimas, con muertos).
- Su aplicación presenta mayor complejidad que en el caso del método del número, sin embargo, cuando se poseen datos confiables de volúmenes de tránsito y un adecuado registro de accidentes, su aplicación se traduce usualmente en resultados más satisfactorios.
- No exige que el registro de accidentes se prolongue un determinado período de tiempo, sin embargo, a medida que se cuenta con un período más extenso de datos, mayor será el grado de confiabilidad de los resultados.
- Propone la linealidad entre la cantidad de accidentes y la cantidad de vehículos que transitan el tramo. Otros métodos aumentan las exigencias de seguridad a medida que se incrementa el tránsito, es decir, consideran que las vías de mayor categoría deben tener estándares de seguridad superiores.
- La consistencia de los resultados se logra aplicando algún criterio estadístico para determinar el valor límite de Tasa a partir de la cual se considera peligroso el tramo.

#### 3.5.4 Método del número - tasa.

Para el método del número-tasa se puede aplicar a todos los sistemas de calles ya sea urbano o rural, cualquiera sea su magnitud o variación de los volúmenes de tránsito.

Para identificar lugares peligrosos, es importante asegurar que la ocurrencia de accidentes en los lugares definidos como tales, sea en realidad anormalmente alta. Uno de los riesgos que se corre al confiar solo en números y tasas de accidentes es que las cifras pueden conducir a errores de detección cuando volúmenes de tránsito varían a lo largo de una amplia gama de valores.

Para un lugar con un número elevado de accidentes, o de accidentes por kilómetro, puede a priori parecer peligroso, sin embargo, si el volumen de tránsito del tramo es excepcionalmente grande, la tasa de accidentes puede no ser anormal y por lo tanto el lugar no es tan peligroso como aparenta.

Este método se basa en el concepto de que, si tanto el número y la tasa de accidentes de un lugar superan en mucho al promedio, se puede tener una razonable certeza de estar ante un registro anormal de accidentes.

Los requerimientos de datos básicos para la aplicación del método comprenden:

- Período de tiempo
- Ubicación de los accidentes
- Volúmenes de tránsito
- Categoría de caminos

#### **Identificación de tramos peligrosos.**

El método define como lugar peligroso, a aquellos tramos cuya ocurrencia de eventos sea considerablemente mayor que la media, es decir que todos los sitios cuyos números y tasas de accidentes superen (ambos) a los valores límite, serán considerados lugares peligrosos.

Luego se tiene que:

Para calcular la frecuencia de accidentes por kilómetro se procede de la siguiente manera:

$$N_i = \frac{\text{Número de accidentes en el tramo } i}{\text{Longitud del tramo } i} \quad (24)$$

$$N_m = \frac{\sum \text{Accidentes en tramos homogéneos}}{\sum \text{Longitud de tramos homogéneos}} \quad (25)$$

De donde:

$N_i$  : Frecuencia de accidentes de un tramo.

$N_m$  : Frecuencia media de accidentes.

La tasa de accidentes de un tramo  $i$  cualquiera se calcula de la siguiente manera:

$$T_i = \frac{\text{Accidentes en el tramo}}{\text{TPDA} \times \text{N}^\circ \text{ de días} \times \text{Long. del tramo}} \times 10^6 \quad (26)$$

Donde:

$T_i$  : Tasa de accidentes de un tramo.

TPDA : Trafico promedio diario anual.

Se define la tasa media del sistema de igual manera que la tasa del tramo, pero considerando la sumatoria de los accidentes, el tránsito medio y la longitud total del camino en estudio.

$$Tm = \frac{\Sigma \text{Accidentes en todo el tramo}}{TPDA_{\text{medio}} \times N^{\circ} \text{ de días} \times \text{Long. del tramo}} \times 10^6 \quad (27)$$

Donde:

$Tm$  : Tasa media de accidentes de todos los tramos.

$TPDA$  : Trafico promedio diario anual.

$\Sigma \text{Accidentes}$  : Sumatoria de accidentes de todo el año de estudio.

El método del número-tasa considera que un tramo es peligroso cuando:

$$Ni \geq kN \cdot Nm \wedge Ti \geq kT \cdot Tm \quad (28)$$

### Análisis del método

El método exige el cumplimiento simultáneo de las condiciones del método del número de accidentes y de la tasa de accidentes. Esta doble exigencia reduce el número de ubicaciones en las que verifica el método, además asegura que el tramo peligroso exhiba una cantidad anormal de accidentes (especialmente cuando éste presenta una baja exposición al tránsito).

### Sensibilidad a los factores de mayoración

Como en los métodos del número y la tasa, el factor de mayoración establece a partir de qué desvío con respecto al promedio verifique cada condición. Se recomienda establecer inicialmente el valor de  $kN$  y  $kT$  en 2. A medida que se incrementa el valor de  $k$ , el método detecta una menor cantidad de TCA, ocurre lo contrario si  $k$  disminuye.

Los factores de mayoración ( $k$ ) son independientes (para el número y para la tasa).

### **Sensibilidad a la longitud del tramo elegida**

Como se ha mencionado anteriormente, tanto el método del número, como el de la tasa son especialmente sensibles a la longitud elegida del tramo. Dado que ambos métodos condicionan la detección del TCA a un desvío de sus  $N_i$  o  $T_i$  con respecto a sus valores medios ( $N_m$  y  $T_m$ ), y considerando que a medida que se incrementa la longitud de los tramos, los valores de  $N_i$  y  $T_i$  presentan una menor desviación, es decir que el método presenta una menor sensibilidad a medida que la longitud del tramo aumenta.

### **Sensibilidad a la variación de los volúmenes de tránsito**

Para la condición  $T_i \geq kT \cdot T_m$ , el método propone una relación lineal entre el número de accidentes y el volumen de vehículos-kilómetro, mientras que la condición  $N_i \geq kN \cdot N_m$  es independiente del volumen de vehículos del tramo.

Aplicado en un camino con amplias variaciones en los volúmenes de tránsito, y suponiendo la variación lineal de los accidentes con el tránsito, la condición  $N_i \geq kN \cdot N_m$  tenderá a no verificar para tránsitos bajos. Lo que persigue el método es identificar como peligrosas a aquellas ubicaciones en la que tanto la cantidad como la tasa de accidentes sean anormalmente superiores a las del sistema, logrando eliminar de la lista de lugares peligrosos a tramos con altas tasas y pocos accidentes (o sea bajo tránsito).

### **Consistencia de los resultados**

Dado que el método del número-tasa o frecuencia-tasa es la combinación de los dos descritos anteriormente, la consistencia de sus resultados depende del criterio adoptado para establecer el límite de detección en cada uno de ellos.

### **Características del método**

La identificación de los TCA por el método del número-tasa de accidentes, presenta las siguientes características distintivas:

- Los resultados pueden ajustarse a partir de los factores de mayoración  $kN$  y  $kT$ , esto permite una mayor flexibilidad en su aplicación y el análisis de los resultados.
- Requiere datos de tránsito, por lo que es aplicable para tramos con volúmenes de tránsito diferentes. Por el mismo motivo, los resultados se ven afectados por la fiabilidad de los aforos de tránsito.
- Pretende no detectar tramos peligrosos cuando debido a la amplia gama de volúmenes de tránsito (y cantidad de accidentes), el valor  $N_i$  de tramos con bajo tránsito no verifique la condición  $N_i \geq kN \cdot Nm$ . Es decir que pretende un número mínimo de accidentes en un tramo peligroso.
- La longitud de los tramos en los que se divide el camino bajo estudio debe mantenerse constante en todo el camino, ya que es especialmente sensible a esta variable.
- No discrimina los accidentes según su severidad (accidente con daños, con víctimas, con muertos).
- Su aplicación no presenta mayor complejidad que en el caso del método de la tasa, sin embargo, cuando se poseen datos confiables de volúmenes de

tránsito y un adecuado registro de accidentes, su aplicación se traduce usualmente en resultados más satisfactorios.

- No exige que el registro de accidentes se prolongue un determinado período de tiempo, sin embargo, a medida que se cuente con un período más extenso de datos, mayor será el grado de confiabilidad de los resultados.

### 3.5.5 Método del control de calidad de la tasa.

El método del control de calidad de la tasa, que es aplicable a todo tipo de volúmenes de tránsito y a los distintos tipos de vía, debe su nombre a que controla la calidad de los análisis aplicando “test” estadísticos para determinar si la tasa de accidentes de un lugar en particular es inusualmente alta en relación con una tasa media predeterminada correspondiente a lugares de características similares.

Los “test” se basan en la hipótesis comúnmente aceptada que supone el ajuste de los accidentes a la distribución de Poisson, entonces se tiene que:

$$P(n) = \frac{e^{-\lambda m} (\lambda m)^n}{n!} \quad (29)$$

Donde:

$P(n)$  : Probabilidad de que ocurran  $n$  accidentes en un sitio dado durante un período de tiempo determinado.

$\lambda$  : Tasa de accidentes esperada (en accidentes por MVK).

$n$  : Cantidad de tránsito en el lugar durante el período de análisis, (expresado en MVK).

El objetivo del método es encontrar dentro de esta distribución aquel valor de  $n$  para el cual la probabilidad de ocurrencia es particularmente baja (menor

al 5%), con ello busca que los tramos detectados como peligrosos no sean producto del azar, sino de un defecto importante en la vía que contribuya a la inusual concentración de accidentes.

Para su aplicación práctica debe establecerse un límite superior de control de la probabilidad de ocurrencia de accidentes, es decir la probabilidad de que un tramo registre mayor o igual cantidad de siniestros que el valor de control, esto puede calcularse como sigue:

$$P(X \geq U) = P \quad (30)$$

Donde:

X : número observado de accidentes

U : límite superior de control

P : probabilidad límite predefinida

El límite crítico, o límite superior de control puede ser calculado a partir de las tablas para la distribución de Poisson, sin embargo, esto resulta trabajoso y poco práctico, por ello se utiliza una aproximación para calcularlo.

En la práctica, el límite crítico del sistema se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$P = \lambda + k \sqrt{\frac{\lambda}{n} + \frac{0.5}{n}} \quad (31)$$

### **Identificación de tramos peligrosos.**

El criterio adoptado para establecer la peligrosidad de un lugar, se basa en calcular para cada tramo en estudio, una tasa de accidentes crítica. Aquellos tramos cuyas tasas superen a la crítica, serán considerados TCA.

La tasa crítica se determina estadísticamente, en función de la tasa media de accidentes del sistema vial en conjunto, correspondiente a la categoría de vía que se trate, y el tránsito del lugar en estudio.

La tasa crítica del sistema se calcula de la siguiente manera:

$$Tci = Tm + k \sqrt{\frac{Tm}{ti}} + \frac{0.5}{ti} \quad (32)$$

Los primeros dos elementos de la ecuación resultan de la aproximación Normal a la ecuación de Poisson, mientras que el tercer elemento sirve como factor de corrección ya que la distribución de Poisson es discreta mientras que la Normal es continua.

Donde:

TCi : Tasa crítica de accidentes para el tramo i, expresada en millón de vehículos – kilómetro (MVK)

Tm : Tasa media de accidentes del sistema vial en conjunto, correspondiente a la categoría de la vía en estudio, expresada en MVK.

$$Tm = \frac{\sum \text{Accidentes}}{TPDA_{\text{medio}} \times N^{\circ} \text{ de días} \times \text{Long. del tramo}} \times 10^6 \quad (33)$$

ti : Cantidad de tránsito en el lugar durante el período de análisis, expresado en MVK.

$$ti = \frac{TPDA \times N^{\circ} \text{ de días} \times \text{Long del tramo}}{10^6} \quad (34)$$

K : Constante que determina el nivel de confianza en que las tasas de accidentes superiores a la tasa crítica son significativas, es decir que las tasas no son producto del azar.

En cuanto al valor de k, se considera deseable un nivel de confianza del 95%, que se consigue con un valor de k igual a 1,645. En la práctica, sin embargo, se sugiere utilizar un valor inicial de k igual a 1,5. Valores menores de k, conducirán a la detección de mayor cantidad de TCA con un menor nivel de confianza, por el contrario, valores altos de k se traducen en una menor detección de TCA, pero de un nivel de confianza superior.

En la Tabla N°9 se transcribe el nivel de confianza del método para diferentes valores de k.

**Tabla N° 9: Nivel de Confianza en función del valor K – Método del control de la tasa.**

Nivel de confianza	Valor de K
0.999	3.575
0.995	3.077
0.950	1.645
0.900	1.282

**Fuente: Identificación de tramos con concentración de accidentes en rutas nacionales de la provincia de Córdoba (Berardo et al., 2008).**

El método considera peligroso a aquel tramo cuya tasa de accidentes sea mayor o igual que la tasa crítica del sistema.

Nos dice que existe un TCA solo si:  $Ti \geq TC$

$$Ti = \frac{\text{Número de Accidentes}}{TPDA \times N^{\circ} \text{ de días} \times \text{Long del tramo}} \times 10^6 \quad (35)$$

### **Análisis del método**

Las variables que participan en el cálculo de la tasa crítica del tramo Tci son la tasa media de accidentes del sistema Tm y el tránsito del tramo a evaluar ti.

Admitiendo que para cualquier tramo de un camino de la red el valor de la tasa media del sistema se mantiene constante, el cálculo de la tasa crítica del

sistema depende solo de la variable  $t_i$ , luego si a todos los tramos se les asigna la misma longitud, la tasa crítica será función solo del tránsito del tramo.

$$t_i = \frac{TPDA \times N^\circ \text{ de días} \times \text{Long del tramo}}{10^6} \quad (36)$$

Entonces:

$$TC_i \rightarrow f(TPDA) \quad (37)$$

Siendo:

$$TC_i = T_m + k \sqrt{\frac{T_m}{t_i} + \frac{0.5}{t_i}} \quad (38)$$

Resulta evidente que el valor de  $T_{ci}$  depende de una función con la forma siguiente:

$$TC_i = \frac{1}{2t_i} + \frac{1}{\sqrt{t_i}} + cte \quad (39)$$

Entonces, en el límite para un valor de  $t_i$  que tiende a cero, la tasa crítica tiende a infinito, mientras que para valores de  $t_i$  que tienden a infinito, el valor de  $T_{Ci}$  tiende al valor de la constante, es decir la tasa media del sistema.

Esto significa que, para tránsitos bajos, la tasa crítica será alta, mientras que, para tránsitos altos, la tasa crítica se aproximará a la tasa media del sistema.

Recordando que:

Entonces existe un TCA solo si:

$$T_i \geq TC_i = TCA \quad (40)$$

$$T_i = \frac{\text{Número de Accidentes}}{TPDA \times N^\circ \text{ de días} \times \text{Long del tramo}} \times 10^6 \quad (41)$$

$$Ti = \frac{\text{Número de Accidentes}}{ti} \quad (42)$$

Siendo:

$$Tci = Tm + k \sqrt{\frac{Tm}{ti}} + \frac{0.5}{ti} \quad (43)$$

Simplificando se llega que un tramo será TCA solo si:

$$\text{Número de accidentes} \geq Tm \cdot ti + k \cdot \sqrt{Tm \cdot ti} + 0.5 \quad (44)$$

Considerando válida la hipótesis de que la tasa media del sistema puede ser tomada como una constante, y admitiendo que todos los tramos poseen la misma longitud, el límite de detección del método.

### Consistencia de los resultados

El método aplica un control estadístico sobre los valores de las tasas de cada tramo, este control estadístico asume que la distribución de accidentes se ajusta al modelo de Poisson, por lo que se requiere que la varianza de la muestra sea igual a la media. Esta restricción hace que el método sea criticado, ya que en general, las muestras de accidentes presentan una dispersión importante siendo la varianza significativamente mayor que la media.

Dado el caso en que la muestra de accidentes presente una dispersión importante, el método del control de calidad de la tasa a través del modelo de Poisson presentará resultados consistentes.

### **Características del método**

La identificación de los TCA por el método del control de calidad de la tasa de accidentes, presenta las siguientes características distintivas:

- Asume que los datos de accidentes se ajustan a través de una distribución de Poisson, a partir de la cual se aplican test estadísticos para detectar tramos, en los que la vía sea con cierto grado de certeza un factor importante en la ocurrencia de accidentes.
- -Esta técnica requiere el cálculo de la tasa media de accidentes del sistema por categorías, esto si bien tiene un fundamento estadístico, resulta en la necesidad de datos de accidentes de caminos similares en la red vial, los que muchas veces no existen.
- Dado que se utiliza la distribución de Poisson en el ajuste de los datos, estos deben presentar una varianza igual a la media. Si la muestra es muy dispersa, es decir que la varianza sea sensiblemente mayor a la media, los resultados pierden consistencia.
- Para tránsitos bajos, exige altas tasas de accidentes para compensar la baja exposición al tránsito.
- Es especialmente sensible a los valores de tránsito utilizados, ya que, si se considera constante a la tasa media del sistema, la única variable es el tránsito del tramo.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 DATOS GENERALES DEL TRAMO DE INVESTIGACIÓN

##### Descripción del Tramo

La presente investigación se realizó dentro del departamento y provincia de Puno, en los Distritos de Puno y Pichacani - Laraqueri.

**Carretera** : Corredor Vial Interoceánico Sur Perú – Brasil Tramo 5

**Sector** : 13: Puno – Puente Gallatini

**Tramo** : Km 00+000 al Km 40+000

**Referencia de tramo** : Ciudad de Puno Salida a Moquegua – Fin de ciudad Laraqueri

**Ruta** : 032 (De acuerdo a Resol. Ministerial N°348-2005 MTC/02)<sup>2</sup>

**Derecho de vía** : 24m. (12m. a cada lado de eje)(Resol. Ministerial N°348-2005)

**Coordenadas Puno** : Latitud : 15°51'15.39"S

Longitud : 70°1'3.46"O

Altitud : 3855 m.s.n.m.

**Coordenadas Laraqueri** : Latitud : 16° 9'23.17"S

Longitud : 70°4'13.01"O

Altitud : 3965 m.s.n.m.

---

<sup>2</sup> Precisan Derecho de Vía en diversas Carreteras. Resolución Ministerial N° 348-2005 MTC/02, de fecha 6 de junio de 2005. Publicado en el diario El Peruano. Lima, jueves 9 de junio de 2005.



**Figura N° 6: Ubicación del tramo en estudio**

**Fuente: Google Earth Pro**

#### 4.2 DISTRIBUCIÓN DE ACCIDENTES

Para la presente investigación los accidentes se dividieron y distribuyeron en sub tramos de 1 km como recomienda Berardo (2008). En la tabla N°10 se resumen los accidentes para realizar el análisis y cálculo de Tramos de Concentración de Accidentes (TCA) según las fórmulas indicadas en el capítulo IV.

Para posteriormente determinar las características geométricas en estos tramos y poder compararlas con las señaladas en la norma Diseño Geométrico (DG-2018).

**Tabla N° 10: Resumen de accidentes para análisis**

2017			
Fecha	Km	Causa del accidente	Sub Tramo de Análisis
23/05/2017	10+700	Choque por Embiste	Km 10+000
28/05/2017	31+800	Despiste Total	Km 31+000
28/05/2017	13+800	Choque Lateral Positivo	Km 13+000
28/06/2017	18+400	Choque por Alcance Excéntrico	Km 18+000

26/08/2017	39+000	Despiste Total	Km 39+000
21/10/2017	4+500	Choque Frontal Céntrico	Km 04+000
<b>2018</b>			
15/03/2018	29+800	Despiste y Volcadura	Km 29+000
13/04/2018	29+500	Despiste Total	Km 29+000
21/07/2018	24+000	Choque Lateral Positivo	Km 24+000
15/08/2018	15+900	Choque Lateral Positivo	Km 15+000
16/08/2018	5+500	Choque por Alcance Excéntrico	Km 05+000
02/11/2018	10+500	Despiste Total	Km 10+000
03/11/2018	25+000	Despiste y Volcadura	Km 25+000

**Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.**

### 4.3 ESTUDIO VOLUMÉTRICO

#### 4.3.1 Datos de conteo vehicular.

Con fecha 2012 se realizó la “Elaboración del Estudio para el Mantenimiento Periódico Tramo N°5: Corredor Vial Interoceánico Sur Perú Brasil”<sup>3</sup>, el cual en el Volumen I: Memoria Descriptiva y Estudios Básicos, tomo I se encuentra el estudio de Tráfico y carga, el cual indica que se realizó la ubicación de estaciones de conteo vehicular como se indica en la siguiente tabla:

**Tabla N° 11: Ubicación de las estaciones de conteo, clasificación, pesos y encuestas.**

ESTACIÓN	TRAMO	UBICACIÓN
E-1	PTE GALLATINI-PUNO	LARAQUERI
E-2	PTE GALLATINI-PUNO	MALCOMAYO

**Fuente: Elaboración del Estudio para el Mantenimiento Periódico Tramo N°5: Corredor Vial Interoceánico Sur Perú Brasil (Pag. 11).**

Para la ejecución de los conteos de tráfico en este tramo se colocó la Estación E-1 la cual fue ubicada en Laraqueri y la Estación E-2 fue ubicada en Mallcomayo, los trabajos se realizaron siete días consecutivos, clasificando los vehículos según su tipo, las veinticuatro horas del día.

<sup>3</sup> A cargo de la empresa EPCM CONSULTING S.A.C como parte del Mantenimiento Periódico del Sector 13: Puno – Puente Gallatini, en función del contrato entre el Concedente y el Concesionario.

- **Estación E-1:** Laraqueri Km 39+000
- **Estación E-2:** Puente Mallcomayo Km 16+100

Las labores de Conteo y clasificación en el campo se iniciaron el miércoles 13 y concluyeron el martes 19 de junio del 2012 para la estación E-1 y del martes 12 al 18 de junio del 2012 para la estación E-2.

#### **4.3.2 Cálculo de TPDA.**

Del conteo vehicular se tiene el resumen por cada estación del promedio semanal, y posteriormente el cálculo del IMDA, para lo cual a continuación se muestra el promedio de la semana multiplicado por el factor de corrección del mes, el cual nos da el Índice Medio Diario Anual (IMDA) o Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) como lo estamos considerando en las presentes fórmulas de esta investigación.

Tabla N° 12: IMDA de la estación E-1 Laraqueri.

IMDA EN EL SECTOR															
SENTIDO	VEHICULOS LIGEROS				BUS				CAM. UNIT			CAMIONES ACOPLADOS			
	Autos	Pick up	C.R.	Micros	B2	B3-1	B4	C2	C3	C4	2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
Sentido: Hacia Puno	74	57	76	5	3	8	2	26	7	1	2	2	3	6	272
Sentido: Hacia Humajalzo	58	52	68	5	5	9	2	24	5	1	1	3	4	4	241
Sentido: Ambos clasif.	132	109	144	10	8	17	4	50	12	2	3	5	7	10	513
Vehicular	25.73%	21.25%	28.07%	1.95%	1.56%	3.31%	0.78%	9.75%	2.34%	0.39%	0.58%	0.97%	1.36%	1.95%	100.00%

Fuente: Elaboración del Estudio para el Mantenimiento Periódico Tramo N°5: Corredor Vial Interoceánico Sur Perú Brasil (Pag. 13).

Tabla N° 13: IMDA de la estación E-2 Mallcomayo.

IMDA EN EL SECTOR															
SENTIDO	VEHICULOS LIGEROS				BUS				CAM. UNIT			CAMIONES ACOPLADOS			
	Autos	Pick up	C.R.	Micros	B2	B3-1	B4	C2	C3	C4	2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
Sentido: Hacia Puno	67	48	122	3	2	8	3	38	14	1	0	3	3	5	317
Sentido: Hacia Humajalzo	52	42	119	2	3	8	3	38	16	0	0	3	3	5	294
Sentido: Ambos clasif.	119	90	241	5	5	16	6	76	30	1	0	6	6	10	611
Vehicular	19.48%	14.73%	39.44%	0.82%	0.82%	2.62%	0.98%	12.44%	4.91%	0.16%	0.00%	0.98%	0.98%	1.64%	100.00%

Fuente: Elaboración del Estudio para el Mantenimiento Periódico Tramo N°5: Corredor Vial Interoceánico Sur Perú Brasil (Pag. 15).

Por lo cual se deduce que los TPDA para cada estación y su área de influencia serían los siguientes:

**Tabla N° 14: Resumen de TPDA de estaciones.**

ESTACIÓN	Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)	Área de influencia
E-1 Laraqueri	513	Km 16+100 – Km 40+000
E-2 Mallcomayo	611	Km 00+000 – Km 16+100

**Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.**

### 4.3.3 TPDA ajustado.

Desde la elaboración del estudio en fecha 2012 a la actualidad 2019 han transcurrido 7 años, por lo que es necesario ajustar el tránsito para el tráfico actual a la fecha, es por ello que haremos uso de la fórmula que nos proporciona el Manual de Carreteras: “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” (2013) en el capítulo VI dedicado a Tráfico vial.<sup>4</sup>

$$T_n = T_o (1 + r)^{n-1} \tag{45}$$

En la que:

T<sub>n</sub> : Tránsito proyectado al año “n” en veh/día

T<sub>o</sub> : Tránsito actual (año base o) en veh/día

n : Número de años del período de diseño

r : Tasa anual de crecimiento del tránsito.

El cual también indica que, la tasa anual de crecimiento del tránsito se define en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico. Normalmente se asocia la tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de pasajeros con la tasa anual

<sup>4</sup> Capítulo VI: Estudio de tráfico. Cálculo De Tasas De Crecimiento Y Proyección.

de crecimiento poblacional; y la tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de carga con la tasa anual del crecimiento de la economía expresada como el Producto Bruto Interno (PBI). Normalmente las tasas de crecimiento del tráfico varían entre 2% y 6%.

### **PBI**

Según el Diario Oficial del Bicentenario “El Peruano” con fecha 10 de febrero del 2019 indica que, “Agentes del sistema financiero elevaron su proyección de crecimiento del producto bruto interno (PBI) del país de 3.8% a 3.9% para este año, reportó el Banco Central de Reserva del Perú (BCR)”.

Por lo cual para el ajuste de TPDA se hará uso del 3.9%

### **TPDA final**

Reemplazando los datos en la fórmula (45) se tiene los TPDA tanto para el tramo en total como para las estaciones.

**Tabla N° 15: Ajuste de TPDA**

ESTACIÓN	Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)	ÁREA DE INFLUENCIA	TPDA AJUSTADO
E-1 Laraqueri	513	Km 16+100 – Km 40+000	645
E-2 Mallcomayo	611	Km 00+000 – Km 16+100	769
Total	562	Km 00+000 – Km 40+000	707

**Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.**

#### **4.4 IDENTIFICACIÓN DE TRAMOS DE CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES**

##### **(TCA)**

El análisis de los accidentes se hizo mediante los métodos formulados en el capítulo IV, los cuales registraron los Tramos de Concentración de Accidentes que se detallan a continuación:

**4.4.1 Método del número o frecuencia de accidentes.**

Los resultados del cálculo de las fórmulas en la sección 3.6.2. y la condición de Tramo de Concentración de Accidente (TCA) por el método de Número o frecuencia de accidentes. se muestran en la tabla a continuación:

**Tabla N° 16: Identificación de TCA por el Método del Número o frecuencia de accidentes**

METODO DEL NÚMERO O FRECUENCIA DE ACCIDENTES											
Prog. Inicio	0+000	Long. Tramo	1 Km		N° de accidentes en el tramo i	Niv. Confianza	Nm	$(Ni-Nm)^2$	Nσ	Nlim	Condición Ni>=Nlim
			40+000	Long. Total							
Tramo i	Inicio	Fin	Hito Próximo al Tramo		Ni	Nm	$(Ni-Nm)^2$	Nσ	Nlim	Condición Ni>=Nlim	
			Progresivas	Fin							
4	4+000	5+000	Falla geológica salida a Laraqueri	1	1.000	0.325	0.456	0.499	0.965	TCA	
5	5+000	6+000	Los andes - cancharani	1	1.000	0.325	0.456	0.499	0.965	TCA	
10	10+000	11+000	Zona de curvas	2	2.000	0.325	2.806	0.499	0.965	TCA	
13	13+000	14+000	Zona de curvas	1	1.000	0.325	0.456	0.499	0.965	TCA	
15	15+000	16+000	Zona de curvas	1	1.000	0.325	0.456	0.499	0.965	TCA	
18	18+000	19+000	Tramo recto	1	1.000	0.325	0.456	0.499	0.965	TCA	
24	24+000	25+000	Tramo recto	1	1.000	0.325	0.456	0.499	0.965	TCA	
25	25+000	26+000	Tramo recto	1	1.000	0.325	0.456	0.499	0.965	TCA	
29	29+000	30+000	Zona de curvas	2	2.000	0.325	2.806	0.499	0.965	TCA	
31	31+000	32+000	Tramo recto	1	1.000	0.325	0.456	0.499	0.965	TCA	
39	39+000	40+000	Zona de curvas, salida Moquegua	1	1.000	0.325	0.456	0.499	0.965	TCA	
Total				13			9.712				

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

**4.4.2 Método de la tasa de accidentes.**

Los resultados del cálculo de las fórmulas en la sección 3.6.3. y la condición de Tramo de Concentración de Accidente (TCA) por el método de la Tasa de accidentes. se muestran en la tabla a continuación:

**Tabla N° 17: Identificación de TCA por el Método del Tasa de Accidentes.**

MÉTODO DE TASA DE ACCIDENTES																	
Prog. Inicio	0+000	Long. Tramo	1 Km	TPDA: 00-16	769	Num. Días	730	Prog. Final	40+000	Long. Total	TPDA: 16-40	645	90%	K=1.282	T <sub>σ</sub>	T <sub>lim</sub>	Condición T <sub>i</sub> >=T <sub>lim</sub>
Tramo i	Progresivas		Hito Próximo al Tramo	N° de accidentes en el tramo i	T <sub>i</sub>	T <sub>m</sub>	(T <sub>i</sub> -T <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>	T <sub>σ</sub>	T <sub>lim</sub>	Condición T <sub>i</sub> >=T <sub>lim</sub>							
Inicio	Fin																
4	4+000	5+000	Falla geológica salida a Laraqueri	1	1.781	0.630	1.326	0.989	1.898	-							
5	5+000	6+000	Los andes - cancharani	1	1.781	0.630	1.326	0.989	1.898	-							
10	10+000	11+000	Zona de curvas	2	3.563	0.630	8.603	0.989	1.898	TCA							
13	13+000	14+000	Zona de curvas	1	1.781	0.630	1.326	0.989	1.898	-							
15	15+000	16+000	Zona de curvas	1	1.781	0.630	1.326	0.989	1.898	-							
18	18+000	19+000	Tramo recto	1	2.124	0.630	2.232	0.989	1.898	TCA							
24	24+000	25+000	Tramo recto	1	2.124	0.630	2.232	0.989	1.898	TCA							
25	25+000	26+000	Tramo recto	1	2.124	0.630	2.232	0.989	1.898	TCA							
29	29+000	30+000	Zona de curvas	2	4.248	0.630	13.089	0.989	1.898	TCA							
31	31+000	32+000	Tramo recto	1	2.124	0.630	2.232	0.989	1.898	TCA							
39	39+000	40+000	Zona de curvas, salida Moquegua	1	2.124	0.630	2.232	0.989	1.898	TCA							
Total				13			38.159										

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

**4.4.3 Método del número – tasa de accidentes.**

Los resultados del cálculo de las fórmulas en la sección 3.6.4. y la condición de Tramo de Concentración de Accidente (TCA) por el método del Número – Tasa de Accidentes. se muestran en la tabla a continuación:

**Tabla N° 18: Identificación de TCA por el Método del Número - Tasa de Accidentes.**

MÉTODO DEL NÚMERO – TASA DE ACCIDENTES.										
Prog. Inicio	0+000	Long. Tramo	1 Km	TPDA: 00-16	769	Num. Días	730			
Prog. Final	40+000	Long. Total	40 Km	TPDA: 16-40	645	Niv. Confianza	90%			
				TPDA Tramo	707	K=1.282				
Tramo i	Progresivas		Hito Próximo al Tramo	N° de accidentes en el tramo i	Ni	Nlim	Ti	Nlim	Condición Ni>=Nlim y Ti>=Tlim	
	Inicio	Fin								
4	4+000	5+000	Falla geológica salida a Laraqueri	1	1	0.965	1.781	1.898	-	
5	5+000	6+000	Los andes - cancharani	1	1	0.965	1.781	1.898	-	
10	10+000	11+000	Zona de curvas	2	2	0.965	3.563	1.898	TCA	
13	13+000	14+000	Zona de curvas	1	1	0.965	1.781	1.898	-	
15	15+000	16+000	Zona de curvas	1	1	0.965	1.781	1.898	-	
18	18+000	19+000	Tramo recto	1	1	0.965	2.124	1.898	TCA	
24	24+000	25+000	Tramo recto	1	1	0.965	2.124	1.898	TCA	
25	25+000	26+000	Tramo recto	1	1	0.965	2.124	1.898	TCA	
29	29+000	30+000	Zona de curvas	2	2	0.965	4.248	1.898	TCA	
31	31+000	32+000	Tramo recto	1	1	0.965	2.124	1.898	TCA	
39	39+000	40+000	Zona de curvas, salida Moquegua	1	1	0.965	2.124	1.898	TCA	
Total				13						

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

**4.4.4 Método del control de calidad de la tasa.**

Los resultados del cálculo de las fórmulas en la sección 3.6.5. y la condición de Tramo de Concentración de Accidente (TCA) por el método de Control de Calidad de la Tasa, se muestran en la tabla a continuación:

**Tabla N° 19: Identificación de TCA por el Método de Control de Calidad de la Tasa.**

Método del control de calidad de la tasa.																								
Prog. Inicio	0+000	Long. Tramo	1 Km	TPDA: 00-16	769	Num. Días	730	Prog. Final	40+000	Long. Total	40 Km	TPDA: 16-40	645	90%	TPDA Tramo	707	Niv. Confianza	K=1.282	Tm	ti	Tci	Ti	Condición $T_i \geq T_{ci}$	
																								Progresivas
Tramo i	Inicio	Fin																						
4	4+000	5+000	Falla geológica salida a Laraqueri	1	0.630	0.561	2.878	1.781	-															
5	5+000	6+000	Los andes - cancharani	1	0.630	0.561	2.878	1.781	-															
10	10+000	11+000	Zona de curvas	2	0.630	0.561	2.878	3.563	TCA															
13	13+000	14+000	Zona de curvas	1	0.630	0.561	2.878	1.781	-															
15	15+000	16+000	Zona de curvas	1	0.630	0.561	2.878	1.781	-															
18	18+000	19+000	Tramo recto	1	0.630	0.471	3.174	2.124	-															
24	24+000	25+000	Tramo recto	1	0.630	0.471	3.174	2.124	-															
25	25+000	26+000	Tramo recto	1	0.630	0.471	3.174	2.124	-															
29	29+000	30+000	Zona de curvas	2	0.630	0.471	3.174	4.248	TCA															
31	31+000	32+000	Tramo recto	1	0.630	0.471	3.174	2.124	-															
39	39+000	40+000	Zona de curvas, salida Moquegua	1	0.630	0.471	3.174	2.124	-															
Total				13																				

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

#### 4.4.5 Identificación de los TCA.

De acuerdo a la identificación de los TCA mediante los métodos de la Transportation Research Board (TRB) (EEUU) en las tablas N°16,17,18 y 19; se identificó 7 Tramos de Concentración de Accidentes, los cuales fueron escogidos al estar identificados al menos por 2 métodos, el cuadro de los TCA identificados para la evaluación se muestran a continuación:

**Tabla N° 20: Identificación de TCA**

TCA IDENTIFICADOS				
Prog. Inicio	0+000	Long. Tramo	1 Km	
Prog. Final	40+000	Long. Total	40 Km	
Tramo i	Progresivas		Hito Próximo al Tramo	Condición
	Inicio	Fin		
10	10+000	11+000	Zona de curvas	TCA
18	18+000	19+000	Tramo recto	TCA
24	24+000	25+000	Tramo recto	TCA
25	25+000	26+000	Tramo recto	TCA
29	29+000	30+000	Zona de curvas	TCA
31	31+000	32+000	Tramo recto	TCA
39	39+000	40+000	Zona de curvas, salida Moquegua	TCA

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

#### 4.5 CÁLCULO DE ELEMENTOS A EVALUAR

Según la norma DG-2018, clasificaremos la carretera por demanda y por orografía, para luego evaluar los elementos geométricos correspondientes en los TCA identificados:

- **Demanda:** Carretera 2da Clase

Según el TPDA ajustado calculado en la tabla N°16 da un IMDA de 707 veh/días, por lo cual de acuerdo a demanda estaría entre 2000 y 400 veh/día la cual corresponde a Carretera de 2da Clase.

- **Orografía:** Terreno Tipo 2 Ondulado

Del expediente “Elaboración del Estudio para el Mantenimiento Periódico Tramo N°5: Corredor Vial Interoceánico Sur Perú Brasil” en los planos ubicados en el Anexo 2 para cada TCA detectados, se ha ubicado la pendiente dominante en el tramo unitario, los cuales se muestran en la tabla N°21.

**Tabla N° 21: Pendientes dominantes**

TCA	Tramo	Pendiente Dominante (p%)
N° 1	10	-3.771 %
N° 2	18	-0.351 %
N° 3	24	-0.045 %
N° 4	25	+0.938 %
N° 5	29	-2.678 %
N° 6	31	+0.416 %
N° 7	39	+0.529 %

**Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.**

A pesar de que la mayoría de pendientes no pasan el 3%, por motivos académicos y también puesto de que el tramo está compuesto de 40 kilómetros y el sector de 96+412 kilómetros es que se tomará en adelante como pendientes entre 3% y 6%, por lo que sería un terreno Tipo 2 Ondulado.

- **Velocidad de diseño :**  $V_{dis} = 80 \text{ Km/h}$

De la tabla N°1, con la clasificación por demanda y orografía de la carretera, ubicamos que se puede elegir la velocidad de diseño en un rango de 60 a 80 km/h. Por motivos académicos y encontrar las situaciones más críticas se tomará 80 Km/h como velocidad de diseño.

#### 4.5.1 Calzada mínima.

De acuerdo a la Tabla N°2, el ancho mínimo de calzada es:

- Calzada : 7.20 m (mínimo)

#### 4.5.2 Berma mínima.

De acuerdo a la Tabla N°3, el ancho mínimo de la berma es:

- Berma : 2.00 m (mínimo)

#### 4.5.3 Peralte mínimo y máximo.

La DG-2018 determina que el peralte mínimo es de 2%, y para el caso de peralte máximo según la Tabla N°5 indica 8%.

- P mín : 2.00 %
- P máx : 8.00 %

#### 4.5.4 Radio mínimo.

Según la tabla N°5, para una velocidad de diseño de 80 Km/h, peralte máximo de 8%, terreno rural ondulado y factor de fricción 0.14 indicado en la tabla misma, el radio mínimo será de:

- R mín : 230 m

### 4.6 EVALUACIÓN Y RESULTADOS DE LOS TCA

#### 4.6.1 Calzada y berma real.

Con fecha Enero del 2018, el Inventario Vial 2017 es entregado por la concesionaria COVISUR S.A. al concedente Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) con copia al regulador Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transporte de Uso Público (OSITRAN), en el cual se hace entrega anual de todos los elementos pertenecientes a la concesión inmuebles y muebles para su revisión.

Del inventario vial entregado al MTC en fecha 30 de enero del 2018, es que se rescata los elementos continuos como es la calzada y berma, para la presente investigación, los cuales se encuentran en el Anexo 3.

#### **4.6.2 Radios y pendientes.**

Del expediente, Elaboración del Estudio para el Mantenimiento Periódico Tramo N°5: Corredor Vial Interoceánico Sur Perú Brasil, en el cual en el volumen IV muestra el trazo vial de cada kilómetro, en que se rescata los elementos geométricos correspondientes a radios y pendientes para la presente investigación, los cuales pertenecen al replanteamiento real en campo para la realización del mantenimiento periódico de dicho sector, ellos se encuentran contenidos en los planos en el Anexo 2.

#### **4.6.3 Resultados de los TCA**

A continuación, se muestran los cuadros de la evaluación de los elementos geométricos en los TCA.

Tabla N° 22: Análisis del TCA N°1 – Tramo 10

ANÁLISIS DE LOS TCA				Ver Plano T5-S13-PLPE-01
TCA N°1	Tramo 10	Prog. Inicio Km 10+000	Prog. Fin Km 11+000	
Ítem	Criterio	Real		Cumple
Calzada	7.20 m	6.60 m		No cumple
Berma	2.00 m	I= 1.05 - 1.35 m D= 1.05 - 1.35 m		No cumple
Peralte	2%	8%		Si cumple
Radio	230 m	450 m		Si cumple

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

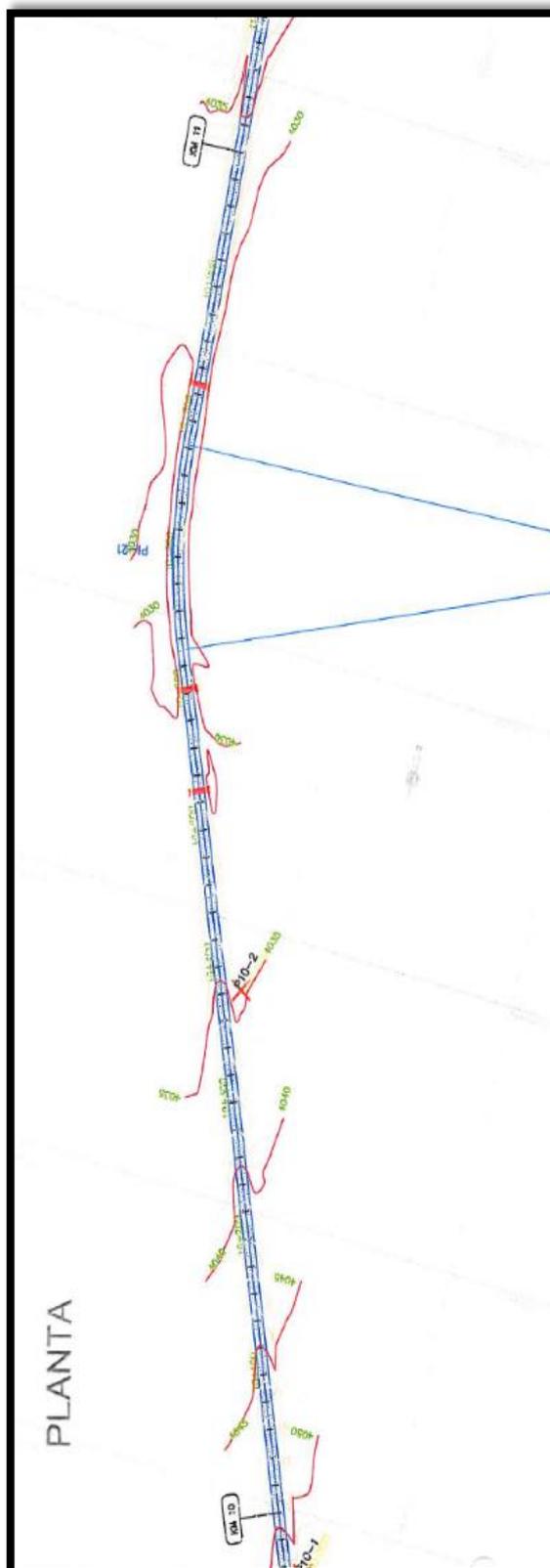


Figura N° 7: Tramo 10

Fuente: Elaboración del Estudio de Mantenimiento Periódico Tramo 5

Tabla N° 23: Análisis del TCA N°2 – Tramo 18

ANÁLISIS DE LOS TCA				Ver Plano T5-S13-PLPE-02
TCA	Tramo	Prog. Inicio	Prog. Fin	
N°2	18	Km 18+000	Km 19+000	
Ítem	Criterio		Real	Cumple
Calzada	7.20 m		6.60 m	No cumple
Berma	2.00 m		I= 1.05 - 1.35 m D= 1.05 - 1.35 m	No cumple

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

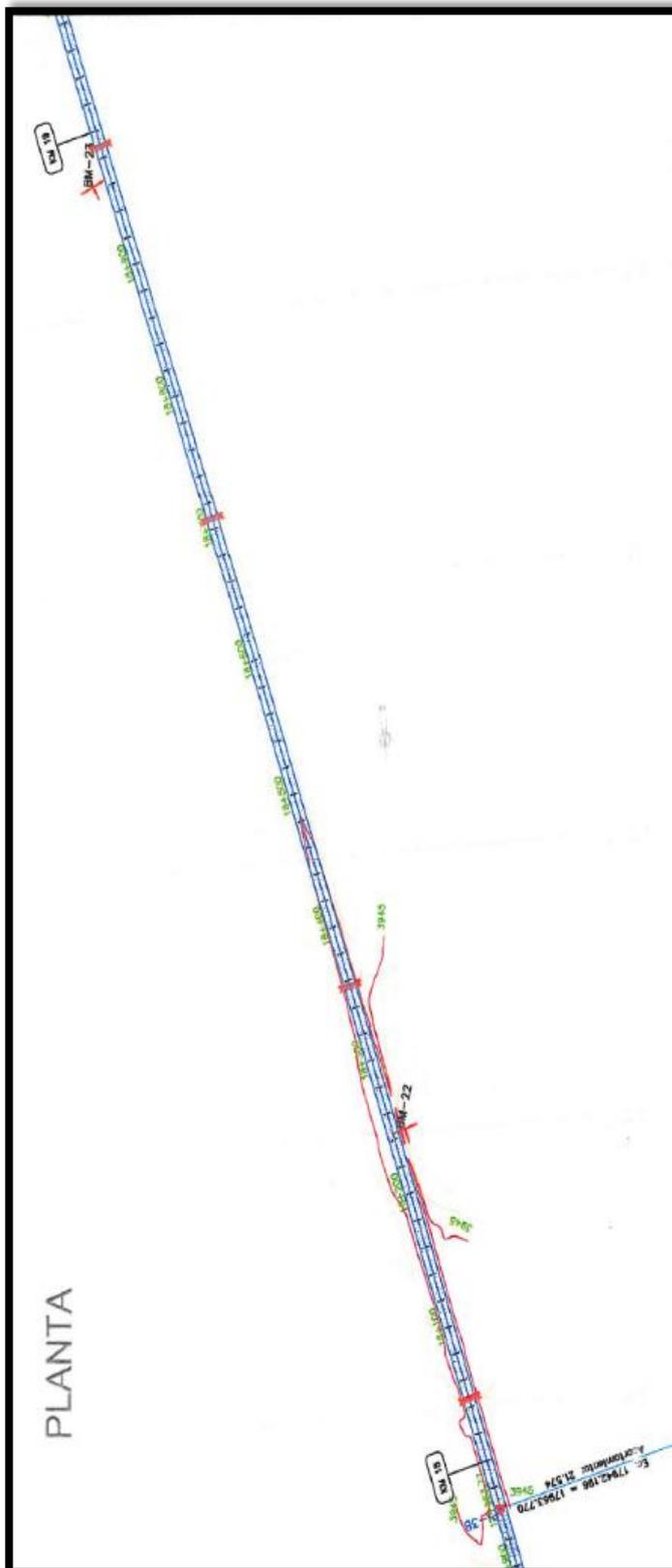


Figura N° 8Figura N°8: Tramo 18

Fuente: Elaboración del Estudio de Mantenimiento Periódico Tramo 5

Tabla N° 24: Análisis del TCA N°3 – Tramo 24

ANÁLISIS DE LOS TCA				Ver Plano T5-S13-PLPE-03
TCA	Tramo	Prog. Inicio	Prog. Fin	
N°3	24	Km 24+000	Km 25+000	
Ítem	Criterio	Real		Cumple
Calzada	7.20 m	6.60 m		No cumple
Berma	2.00 m	I= 1.05 - 1.35 m D= 1.05 - 1.35 m		No cumple

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

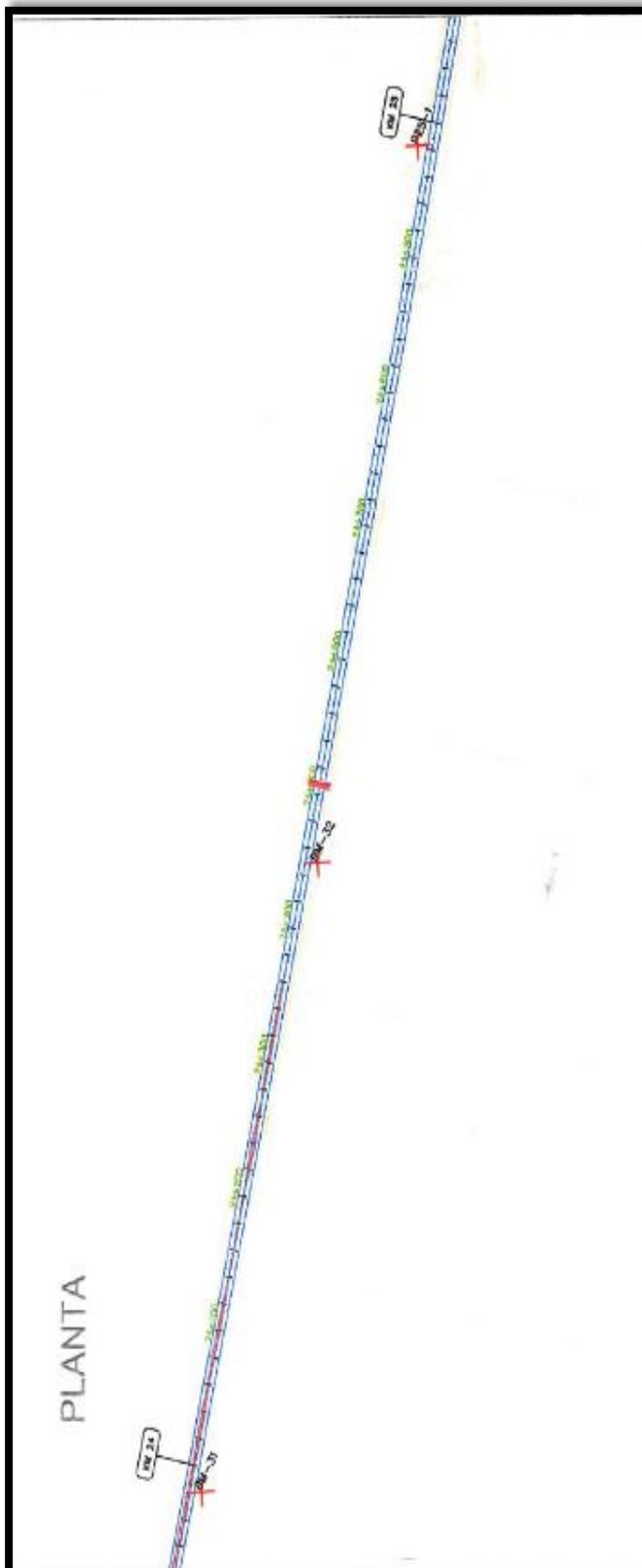


Figura N° 9: Tramo 24

Fuente: Elaboración del Estudio de Mantenimiento Periódico Tramo 5

Tabla N° 25: Análisis del TCA N°4 – Tramo 25

ANÁLISIS DE LOS TCA				Ver Plano T5-S13-PLPE-04
TCA N°4	Tramo 25	Prog. Inicio Km 25+000	Prog. Fin Km 26+000	
Ítem	Criterio	Real	Cumple	
Calzada	7.20 m	6.60 m	No cumple	
Berma	2.00 m	I= 1.05 - 1.35 m D= 1.05 - 1.35 m	No cumple	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

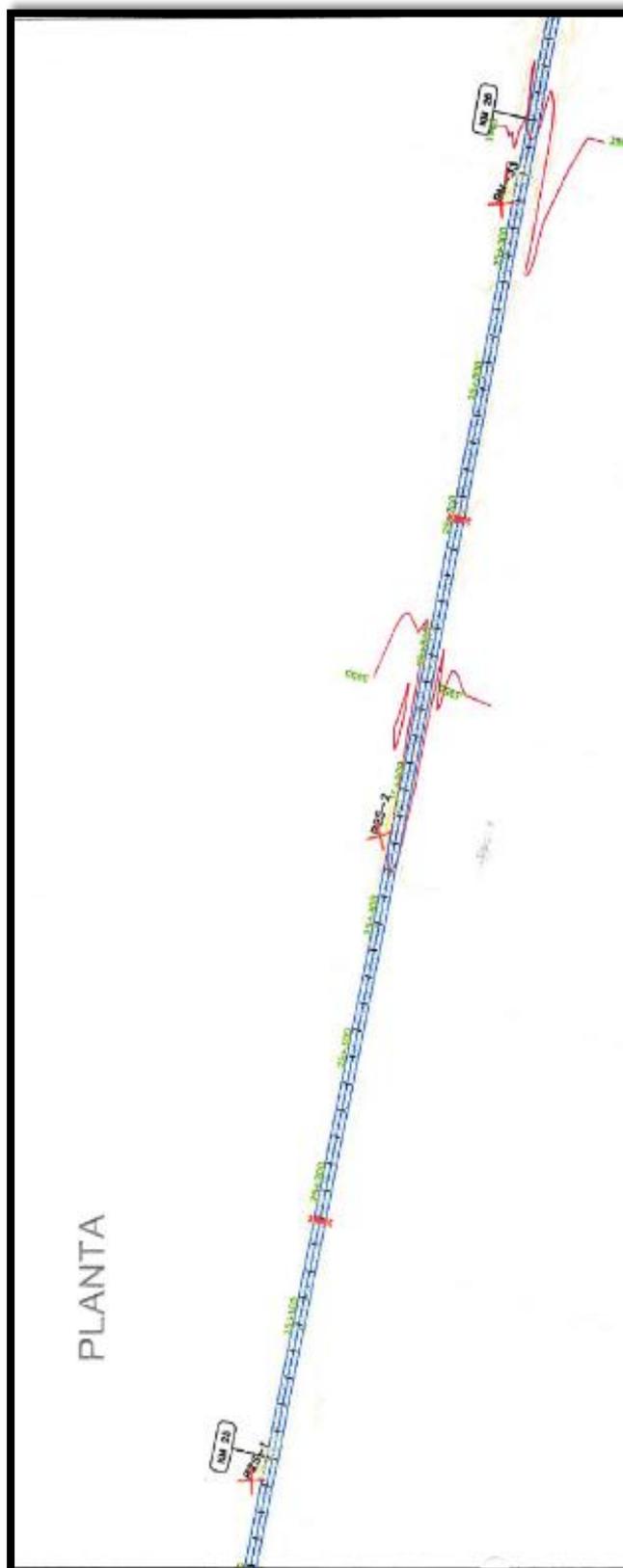


Figura N° 10: Tramo 25

Fuente: Elaboración del Estudio de Mantenimiento Periódico Tramo 5

Tabla N° 26: Análisis del TCA N° 5 – Tramo 29

ANÁLISIS DE LOS TCA				Ver Plano T5-S13-PLPE-05
TCA	Tramo	Prog. Inicio	Prog. Fin	
N° 5	29	Km 29+000	Km 30+000	
Ítem	Criterio	Real		Cumple
Calzada		7.20 m	6.60 m	No cumple
Berma		2.00 m	I= 1.10 - 1.30 m D= 1.10 - 1.30 m	No cumple
Peralte	2%	8%	p1= 2.5% p2= 3.0% p3= 2.5%	Si Cumple
Radio		230 m	R1= 450 m R2= 190 m R3= 400 m	R2 No Cumple

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

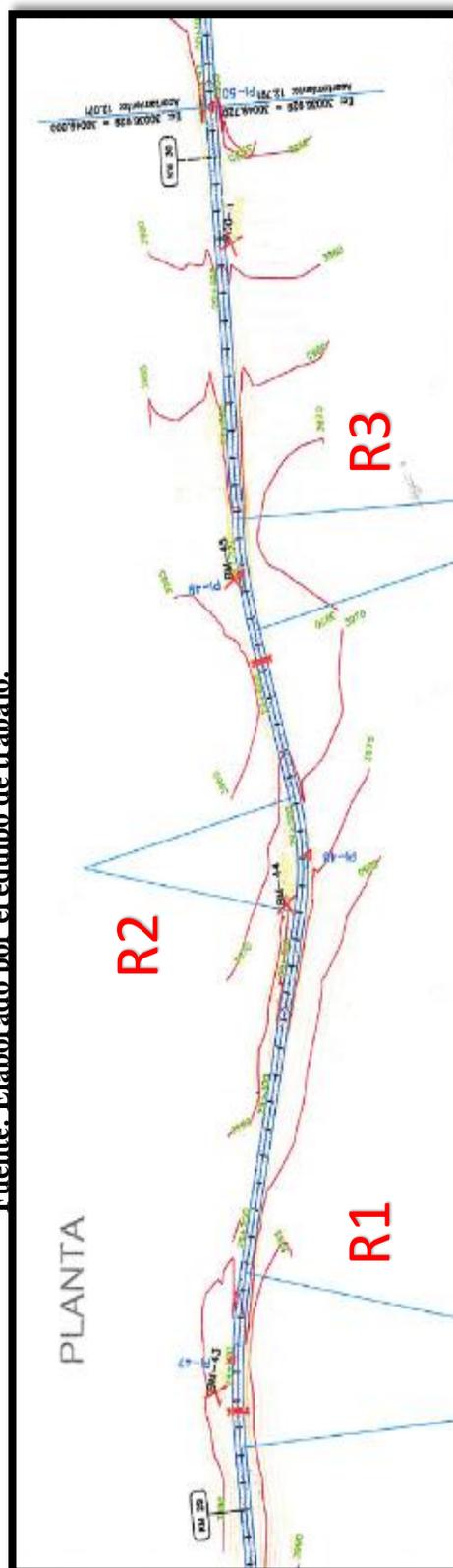


Figura N° 11: Tramo 29

Fuente: Elaboración del Estudio de Mantenimiento Periódico Tramo 5

Tabla N° 27: Análisis del TCA N°6 – Tramo 31

ANÁLISIS DE LOS TCA				Ver Plano T5-S13-PLPE-06
TCA	Tramo	Prog. Inicio	Prog. Fin	
N°6	31	Km 31+000	Km 32+000	
Ítem	Criterio	Real		Cumple
Calzada	7.20 m	6.60 m		No cumple
Berma	2.00 m	I= 1.10 - 1.30 m D= 1.10 - 1.30 m		No cumple

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

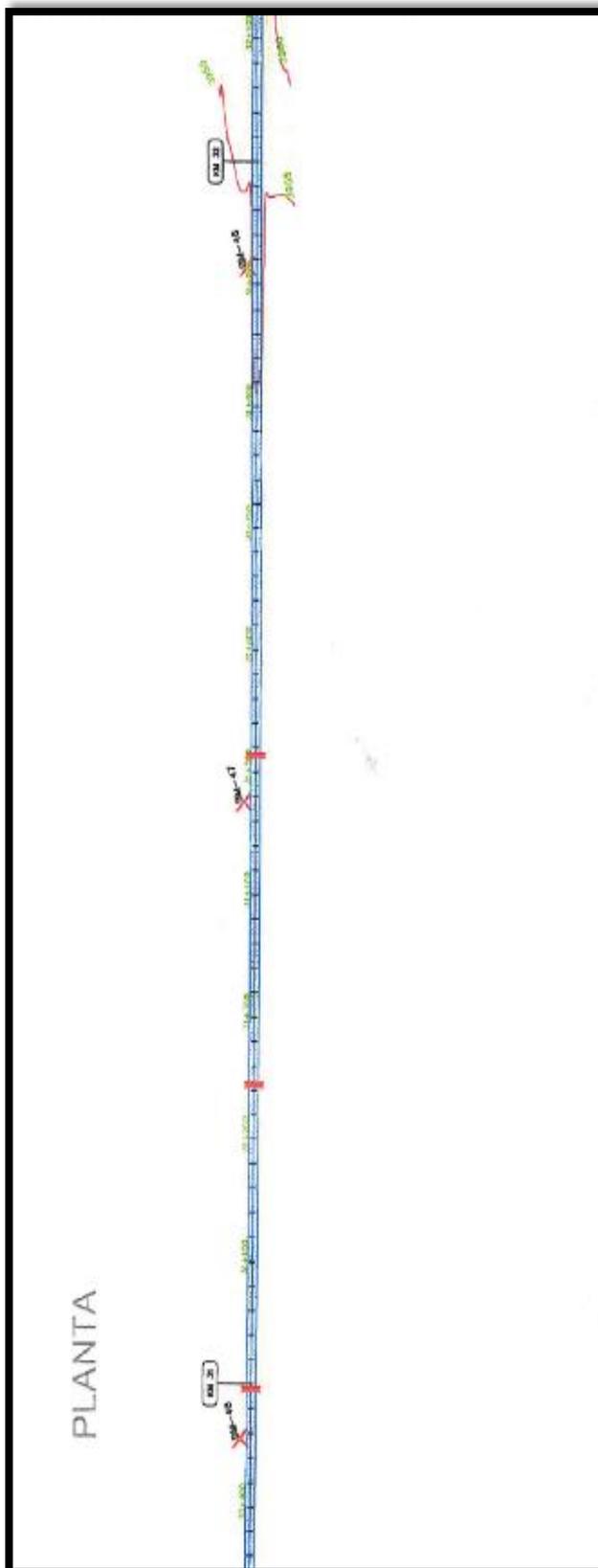


Figura N° 12: Tramo 31

Fuente: Elaboración del Estudio de Mantenimiento Periódico Tramo 5

Tabla N° 28: Análisis del TCA N°7 – Tramo 39

ANÁLISIS DE LOS TCA				Ver Plano T5-S13-PLPE-07
TCA N°7	Tramo 39	Prog. Inicio Km 39+000	Prog. Fin Km 40+000	
Ítem	Criterio	Real	Real	Cumple
Calzada	7.20 m		6.60 m	No cumple
Berma	2.00 m	I= 1.10 - 1.30 m D= 1.10 - 1.30 m		No cumple
Peralte	2%	8%	p = 2.5%	Si cumple
Radio	230 m		290 m	Si cumple

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

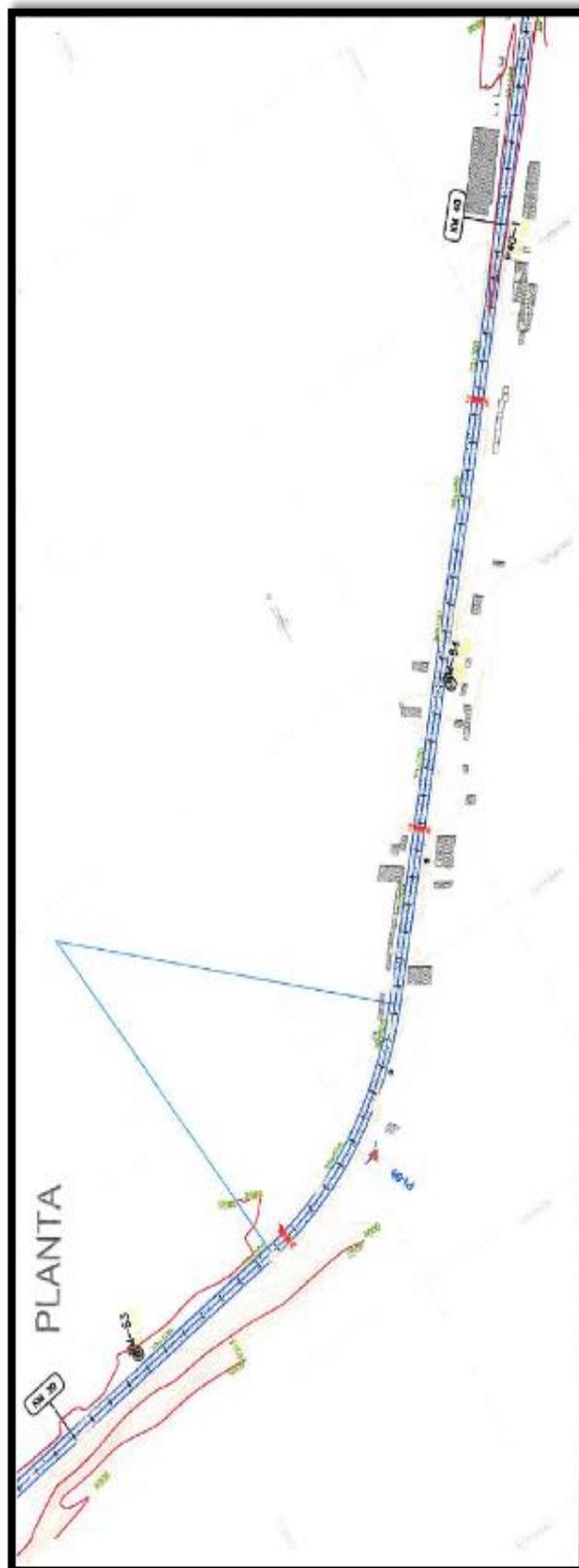


Figura N° 13: Tramo 39

Fuente: Elaboración del Estudio de Mantenimiento Periódico Tramo 5

## 4.7 DISCUSIÓN DE LOS TCA

### 4.7.1 TCA N°1.

De los resultados obtenidos vemos que el peralte y el radio son de 2.5% y 490 m respectivamente cumpliendo ampliamente el mínimo de 2% y máximo de 8% en peralte y los 230 m en radio, por lo que la curva cumple con los requerimientos de la DG-2018.

Sin embargo, la calzada de 6.60 m y berma de 1.05 m a 1.35 m, no llegan al mínimo de 7.20 m y 2.0 m que establece la norma, por lo que se considera una causa directa de accidente. Ahora consultaremos los detalles de los accidentes ocurridos en este TCA.

#### **10+700 (Choque por Embiste):**

Choque por embiste de la camioneta, marca Toyota, color gris, de placa V8E-831, conducido por Mateo David Mamani Vega, identificado con DNI 02388703, quien se dirigía de Puno hacia Moquegua.



**Figura N° 14: TCA N°1: Ubicación del Km 10+700**

**Fuente: Google Earth Pro**

Como se puede apreciar en la fotografía, el accidente ocurrió en zona de curva, la cual tiene todas sus características geométricas de acuerdo a la norma y no tiene ningún impedimento de visibilidad, y por ser de naturaleza de choque por embiste se atribuye que en mayoría fue una mala maniobrabilidad de cálculo de giro en curva, sin embargo si se contara con una calzada y berma acorde a la norma, nos daría la posibilidad de que a mayor ancho se hubiera evitado la el choque por embiste al tener una mayor superficie de rodadura.

#### **10+500 (Despiste Total):**

Despiste del automóvil, marca Hyundai, color gris, de placa HIT-563, conducido por Américo Blas Mamani Checalla (28), identificado con DNI 46228863 quien se dirigía de Puno hacia Moquegua.



**Figura N° 15: TCA N°1: Ubicación del Km 10+500**

**Fuente: Google Earth Pro**

Se puede ver en la figura que el despiste ocurrió en el lado derecho, y por la naturaleza del despiste se deduce una incidencia directa de la falta del ancho

necesario de calzada y berma acorde a la norma, de esta manera se hubiera evitado el accidente.

#### 4.7.2 TCA N°2, N°3 y N° 4.

De los resultados obtenidos la calzada de 6.60 m y berma de 1.05 m a 1.35 m, no llegan al mínimo de 7.20 m y 2.0 m que establece la norma, por lo que se considera una causa directa de accidente. Ahora consultaremos los detalles de los accidentes ocurridos en este TCA.

##### **18+400 (Choque Alcance Excéntrico):**

Choque por alcance del automóvil, marca Toyota, color rojo, de placa B2R-041, conducido por Flavio Juárez Pineda, identificado con DNI 01282434 y el automóvil, marca Toyota, color blanco, de placa Z4T-501, conducido por Edwin José Velazco Escobar, identificado con DNI 43679024, quienes se dirigían de Laraqueri hacia puno.



**Figura N° 16: TCA N°2: Ubicación del Km 18+400**

**Fuente: Google Earth Pro**

De acuerdo a la naturaleza del accidente es por alcance por lo que se deduce que es por exceso de velocidad probablemente al momento de adelantar al vehículo de adelante, existe adecuada visibilidad por lo que de contar con una calzada y berma acorde a la norma se pudo haber evitado el accidente y poder dar al conductor la comodidad para adelantar.

#### **24+000 (Choque Lateral Positivo):**

Choque lateral, entre automóvil, marca Kia, color blanco, placa V6E-082, conductor no fue identificado, quien se encontraba con dirección hacia puno; y automóvil, marca toyota, color negro, placa C5D-076, conductor no identificado, quien se encontraba con dirección hacia Laraqueri. Resultado 2 heridos.



**Figura N° 17: TCA N°3: Ubicación del Km 24+000**

**Fuente: Google Earth Pro**

El tramo es de geometría recta y por la naturaleza del accidente que es choque lateral positivo se atribuye que si la calzada y berma estuvieran acorde a la norma se pudo haber evitado dicho accidente.

**25+000 (Despiste y volcadura):**

Despiste y volcadura de la camioneta rural, marca Kingstar Neptune 16, color azul, de placa ZOD-969, conducido por Lupo Apaza Carita, identificado con dni 01329322, quien se dirigían de Puno hacia Moquegua. Resultado 01 herido y 03 muertos.



**Figura N° 18: TCA N°4: Ubicación del Km 25+000**

**Fuente: Google Earth Pro**

El accidente por ser de sentido Puno – Moquegua ocurrió en el lado derecho, se puede notar la acumulación de desmonte en el lado derecho incluso el empozamiento de aguas por lo que muy probablemente al despistarse el vehículo y con estos obstáculos presentes se dio la volcadura, aquí se puede ver que una calzada y berma de acorde a la norma pudo haber evitado el accidente.

**4.7.3 TCA N°5.**

De los resultados obtenidos vemos que los peraltes de las curvas de 2.5%, 3.0% y 2.5% cumplen con el mínimo de 2% y máximo de 8% en peralte, y los radios de

las curvas con 450 m, 190 m, 400 m, cumplen para R1 y R3, sin embargo el R2 del TCA no cumple con el mínimo de 230 m de radio, por lo que la curva R2 no cumple con los requerimientos de la DG-2018 y es una causa directa de accidente.

La calzada de 6.60 m y berma de 1.10 m a 1.30 m, no llegan al mínimo de 7.20 m y 2.0 m que establece la norma, por lo que se considera una causa directa de accidente. Ahora consultaremos los detalles de los accidentes ocurridos en este TCA.

#### **29+800 (Despiste y volcadura):**

Despiste y volcadura del automóvil, marca Toyota, color azul, de placa F0E-282, conducido por Teofilo Quispe Yucra (36), identificado con DNI 02146141, quien se dirigía de Puno hacia Moquegua.



**Figura N° 19: TCA N°5: Ubicación del Km 29+800**

**Fuente: Google Earth Pro**

Por la naturaleza del accidente de despiste posterior volcadura hace notar la falta de maniobrabilidad del conductor puesto que acababa de pasar 2 curvas, por lo que

no se puede atribuir a la somnolencia que causa el cansancio y/o aburrimiento. Sin embargo, de contar con calzada y berma de acuerdo a la norma se pudo haber evitado el accidente, por lo cual la falta de cumplimiento de la norma es una causa directa del accidente.

**29+500 (Despiste total):**

El despiste, del semi-tráiler, marca Volvo, color azul, de placa C9V-822, conducido por Denis Giovanni Roca Baca (35), identificado con DNI 43985299, quien se dirigía de Puno hacia Moquegua.



**Figura N° 20: TCA N°5: Ubicación del Km 29+500**

**Fuente: Google Earth Pro**

En este caso el accidente se produjo en la curva N°2 la cual no cumple con el radio mínimo, por lo que naturalmente el semi-trailer tuvo problemas al girar adecuadamente despistándose hacia la derecha, lo que se traduce en que el incumplimiento de la norma con respecto a la curva es una causa directa del accidente, por lo cual será necesario el replanteamiento de esta curva.

#### 4.7.4 TCA N°6.

La calzada de 6.60 m y berma de 1.10 m a 1.30 m, no llegan al mínimo de 7.20 m y 2.0 m que establece la norma, por lo que se considera una causa directa de accidente. Ahora consultaremos los detalles de los accidentes ocurridos en este TCA.

##### 31+800 (Despiste Total):

Despiste del automóvil, marca Mitsubishi, color blanco, de placa V2Y-623, conducido por Rubén Valeriano Quispe (45), quien se dirigía de Puno hacia Moquegua.



**Figura N° 21: TCA N°6: Ubicación del Km 31+800**

**Fuente: Google Earth Pro**

El tramo es de geometría recta y por la naturaleza del accidente que es despiste se afirma que una calzada y berma acorde a la norma pudo haber evitado dicho accidente.

#### 4.7.5 TCA N°7.

De los resultados obtenidos vemos que el peralte y el radio son de 2.5% y 290 m respectivamente cumpliendo ampliamente el mínimo de 2% y máximo de 8% en peralte y los 230 m en radio, por lo que la curva cumple con los requerimientos de la DG-2018.

La calzada de 6.60 m y berma de 1.10 m a 1.30 m, no llegan al mínimo de 7.20 m y 2.0 m que establece la norma, por lo que se considera una causa de accidente probable. Ahora consultaremos los detalles de los accidentes ocurridos en este TCA.

#### **39+000 (Despiste total):**

Despiste del automóvil, marca Renault, color gris, de placa B4R-665, conducido por Santiago Hilari Cáceres, quien se dirigía de Moquegua hacia Puno. Resultado 01 herido.



**Figura N° 22: TCA N°7: Ubicación del Km 39+000**

**Fuente: Google Earth Pro**

El accidente se suscitó al salir de la curva, en un tramo recto, por la naturaleza del mismo que es despiste se atribuye incidencia directa de la falta de calzada y berma acorde a la berma, ya que de estar acorde a la norma se pudo haber evitado el accidente.

## 4.8 PROPUESTA DE MITIGACIÓN

### 4.8.1 Generalidades.

#### **Con respecto al conductor:**

Astochao (2015) resume que, si bien el factor humano se encuentra implicado en más del 90% en los casos de accidentes de tránsito, las acciones inmediatas a disminuir el número de accidentes y el número de víctimas no deben encontrarse únicamente en la educación vial o en el endurecimiento de nuestro sistema sancionador, lo cual tendría un impacto poco alentador por motivos culturales aún predominantes en nuestra región. Lo prioritario es identificar un remedio, y no la culpa o la responsabilidad del accidente, la medida más efectiva puede no estar relacionada con la causa principal del accidente, sino que puede encontrarse en un área o factor diferente (causa secundaria). El que se precise de un remedio para un factor concreto (en nuestro caso el humano) no quiere decir necesariamente que dicho remedio exista, pero cuando se analizan las relaciones con el resto de factores es posible identificar otros remedios alternativos que sí existen y son eficaces. Póngase por ejemplo los nuevos sistemas de frenado automático que ya están siendo implementados en gran cantidad de vehículos a nivel mundial.

En gran número de accidentes estudiados, las soluciones se habrían encontrado en actuaciones sobre el vehículo o la propia vía. La mejora de la señalización

vertical y horizontal, la fijación de límites específicos de velocidad adecuados a cada tramo, pueden compensar o, incluso, hacer desaparecer el error humano.

En definitiva, incluso cuando el error humano ha sido identificado como el único factor, influenciar el comportamiento humano puede resultar más sencillo mediante medidas de ingeniería que mediante medidas de educación, formación, control policial o legislación.

### **Con respecto a la prevención:**

Las auditorías de seguridad vial constituyen una útil herramienta de diagnóstico de los defectos o carencias que presentan las carreteras en relación a la seguridad, permitiendo incluso la predicción de los tramos de concentración de accidentes. Las auditorías, en un principio, se conciben para la evaluación y definición de riesgos potenciales de accidentes y el nivel de seguridad de las carreteras durante las etapas de planeamiento, diseño, construcción y puesta en servicio. Estas auditorías proponen soluciones encaminadas a eliminar o reducir el número de accidentes. También existen las auditorías post-apertura, es decir, una vez que la carretera ya se encuentra en servicio. Estas auditorías deberían generalizarse en Perú para todo tipo de carreteras, nuevas y antiguas, siguiendo el ejemplo del Reino Unido y de Australia con excelentes resultados. El gasto público debe desplazarse al campo de la prevención de accidentes y no estancarse en el campo de la reducción de las consecuencias de los accidentes.

La educación vial también debería comprender el conocimiento del mantenimiento del vehículo. Los conductores deben conocer con detalle qué órganos o elementos del vehículo inciden de forma importante en la seguridad en la conducción: neumáticos, frenos, suspensión, dirección, etc. Un vehículo bien

mantenido puede compensar de forma suficiente un error humano y evitar una situación fatal. La educación vial debe entenderse en un sentido amplio y no debe contemplarse únicamente desde la perspectiva de la conducta humana. Todo conductor debería tener bien claro cuál es el plan adecuado de mantenimiento de su vehículo y cumplirlo a rajatabla. A todo ello debería sumarse una reglamentación más exigente en materia de inspección técnica de vehículos.

En definitiva, el problema de la inseguridad vial no puede ser únicamente abordado desde la perspectiva de la educación vial de los usuarios de la vía o del endurecimiento de nuestro sistema legal. Ambos aspectos son necesarios y han dado buenos resultados en otros países, pero ello no significa que no se pueda compensar en parte o, en ocasiones, anular por completo el error humano.

#### **Con respecto a la propuesta de ingeniería:**

La falta de cumplimiento de la norma con respecto a calzada, berma y radio mínimo de la vía incide directamente en los accidentes; ya que, si bien se habló líneas antes sobre la culpabilidad del conductor, es necesario que nosotros como ingenieros planteemos soluciones a estos dejando atrás el factor humano y tomándolo como referencia para las propuestas ingenieriles al momento del diseño.

Teniendo una de las premisas de la ingeniería que es la “seguridad” por delante, es que se hace de carácter necesario la implementación de calzada, berma y radio de curvatura acorde a lo estipulado en la norma vigente DG-2018; 7.20m en calzada, 2.0m en berma y radio mínimo de 230m, por lo que la propuesta ingenieril es ampliar estos elementos a lo estipulado en la norma vigente, por lo que se adjunta el replanteo de los tramos de concentración de accidentes respecto a estos elementos geométricos como propuesta de mitigación a la presente investigación.

#### **4.8.2 Propuesta a largo plazo.**

Torres (2017), plantea la aplicación de Auditorías de Seguridad Vial en carreteras concesionadas, de las cuales según su tramo de estudio la cual es la red vial N°5 tramo: Huacho-Pativilca, concluye la siguiente relación de actividades a ejecutar en la auditoría:

##### **4.8.2.1 Acciones generales.**

Bajo el escenario descrito hasta este punto, a iniciativa propia, el regulador gestionó la realización de una auditoría de seguridad vial en la red vial N° 5 tramo: Huacho–Pativilca. De tal modo, en septiembre del 2009 contrató a la empresa consultora MTV Perú (la consultora) para realizar la auditoría mencionada.

Para tal efecto, esta consultora llevó a cabo el siguiente plan de trabajo:

##### **4.8.2.2 Revisión de los planos.**

Esta revisión se realizó en base a los planos del proyecto de la red vial 5 comprendido entre las progresivas Km 147+000 y el Km 204+000 de la carretera Huacho–Pativilca que se utilizará para el análisis de datos en gabinete y que fueron proporcionados por el regulador a la consultora, tales como:

- Planos de diseño geométrico en planta, perfil y secciones transversales
- Planos de señalización horizontal y vertical

Así también, el regulador proporcionó datos históricos de tráfico con sus proyecciones en base al estudio de tránsito, de carga y de velocidades post – obra (informe final de la empresa supervisora de la concesión red vial N° 5) y una base de datos de accidentes las que fueron utilizadas por la

consultora y que se consideran en el anexo 3 denominado análisis de puntos negros del apéndice B del trabajo citado.

Se debe indicar que el objetivo de la revisión de estos planos del proyecto era determinar las posibles fallas de diseño que afectarían directamente en la seguridad vial de la concesión, por lo que la consultora tomó como referencia la normativa nacional vigente según los siguientes documentos:

- Manual de dispositivos de control de tránsito para calles y carreteras del MTC y sus modificatorias
- Manual de diseño geométrico para carreteras del MTC
- Directiva N° 007-2008-MTC/02 Sistemas de contención de vehículos tipo barreras de seguridad, aprobado mediante Resolución Ministerial N° 824-2008-MTC/02 el 10/11/2008.
- Directiva N° 02-2007-MTC/14 - Reductores de velocidad tipo resalto aprobado mediante Resolución Directoral N° 050-2007-MTC/14 el 24/08/200
- Modificatoria Resolución Ministerial N° 870-2008-MTC 02.

Además, la consultora tuvo como referencia la normativa internacional que rige, según los términos de referencia que forma parte de su contrato con el regulador, para carreteras similares según los siguientes documentos:

- Road safety guidelines de la National Roads Authority de Irlanda.
- Manual of road safety audit, del Ministerio de Transporte de Dinamarca

Según el juicio del autor, indica que la normativa nacional adoptada como marco referencial para esta auditoría fue tomada con buen criterio ya que rige las prácticas adecuadas de la ingeniería peruana y permite

desarrollar los trazos geométricos propios de nuestro territorio; por otra parte, debo indicar que fue pertinente tomar en cuenta la normativa del Ministerio de Transporte de Dinamarca, porque permitió tener una referencia comparativa con la auditoría de seguridad vial realizada por la Dirección Danesa de Carreteras, del mismo ministerio, entre Huacho y Pativilca en septiembre de 1999.

#### **4.8.2.3 Gestiones post-auditoría.**

##### **- Acciones de prevención y conocimiento:**

Sobre la base de los resultados obtenidos en la auditoría de seguridad vial del tramo Huacho - Pativilca, el regulador comunicó al concesionario dichos resultados, a fin que implemente en la carretera sus recomendaciones contenidas, con las cuales se mejorará el ordenamiento vial en salvaguarda de la integridad de los usuarios.

Asimismo, el regulador hizo de conocimiento de las autoridades locales de la ciudad de Huaura los resultados de dicha auditoría de seguridad vial, alcanzando una copia del mismo para su difusión e implementación, de ser el caso.

##### **- Control y seguimiento**

En atención al documento remitido por el regulador, el concesionario implementó, en su mayoría, las recomendaciones formuladas por la auditoría de seguridad vial en el tramo Huacho – Pativilca. Quedó pendiente una minoría que su ejecución deberá ser evaluada por el concedente ya que constituirá la ejecución de trabajos adicionales no contemplados en el contrato de concesión.

Respecto a lo implementado por el concesionario, el regulador realizó la verificación correspondiente mediante una inspección de campo, luego de la cual dio la conformidad correspondiente.

- **Supervisión post-auditoría desde el año 2010 al 2017.**

El regulador, a través de sus supervisores de operación y supervisores in situ, efectúa permanentemente la supervisión de los trabajos ejecutados respecto a la conservación y mantenimiento de la vía concesionada. Asimismo, el regulador supervisa el cumplimiento de los servicios obligatorios del concesionario de la red vial N° 5 y que tiene a su cargo la operatividad de las unidades de peaje y estaciones de pesaje a lo largo de la vía. Estas actividades se realizan mediante inspecciones de campo con evaluación continua, contemplando, obviamente, el tramo de la carretera Huacho – Pativilca.

Durante las evaluaciones continuas señaladas, el regulador verificó el cumplimiento de los parámetros de condición y serviciabilidad, y específicamente lo concerniente a los elementos de señalización y seguridad vial, entre otros.

A lo largo de todos estos años, del 2010 al 2015, el regulador detectó algunas observaciones en estos parámetros, por lo que los notificó al concesionario para su atención y subsanación respectiva, según se establece en el contrato de concesión.

Según lo revisado, debo anotar, que estas observaciones fueron atendidas en su totalidad en forma oportuna y adecuada, por lo cual se comunicó al concesionario las conformidades correspondientes.

Dentro de las actividades supervisadas por el regulador que fueron ejecutadas por concesionario, respecto a la seguridad vial, se destacan las siguientes:

- ✓ Revisión permanentemente de la señalización, los guardavías y otros elementos para reponerlos cada vez que se requieran.
- ✓ Instalación y mantenimiento de guardavías, barandas y mallas metálicas.
- ✓ Instalación y mantenimiento de letreros (señalización vertical).

#### **4.8.2.4 Crítica.**

Se puede deducir que las auditorías viales aún son un tema pendiente en el Perú, puesto que si bien se puede plantear la realización de estas Auditorías de Seguridad Vial (ASV) todavía no es posible hacerlas 100% efectivas, puesto que las concesiones viales se encuentran vinculadas al Estado Peruano así como indica Torres (2017), el cual a la fecha de la realización de su investigación desempeñaba el cargo de Supervisor de Operaciones de OSITRAN, por lo que podemos inferir el conocimiento pleno de los contratos de concesiones viales de este destacado profesional.

Un contrato de concesión el cual ya estipula los parámetros a corregirse en los elementos viales de la carretera, por lo que las observaciones y correcciones planteadas por las auditorías viales tendrían que estar necesariamente dentro de este marco. Correcciones adicionales y diferentes a lo estipulados en los contratos viales llevarían a la generación de gastos adicionales los cuales deberían ser cubiertos por fuentes de ingresos diferentes a las ordinarias, de lo cual se podría o generar un nuevo

presupuesto para ello o volver los contratos viales dinámicos, para que a medida de avance de las nuevas precisiones referente a elementos geométricos y/o otros en la norma Diseño Geométrico (DG-2018 vigente a la fecha) y otras normas similares, pueda hacerse observaciones en las auditorías las cuales puedan ser subsanadas por la concesionaria, las dos propuestas son similares puesto que ambas llevarían a la generación de un nuevo presupuesto, lo que diferiría sería en donde se encontraría este.

Por lo dicho anteriormente es necesario mencionar que la implementación de esta idea llevaría a la realización de todo un estudio de pre-factibilidad, puesto que todo esto tendría que tener un presupuesto diferente los estipulados en los contratos viales, así como el presupuesto de emergencias viales, mantenimientos periódicos, etc.

#### **4.8.3 Propuesta a corto plazo.**

Las medidas correctivas para la reducción de los accidentes en estos tramos de concentración de accidentes como se indicó en la propuesta de ingeniería, planteadas según el tesista, es la ampliación de berma y calzada acorde a lo estipulado en la DG-2018, y replanteo de la curva que no cumple el radio mínimo de 230m.

Estos replanteamientos necesariamente deben ser ejecutados a la par de la señalización adecuada para conocimiento y precaución del usuario.

A continuación se propone la señalización para estos tramos de concentración de accidentes:

#### ***4.8.3.1. Señalización Vertical.***

Colocación de señales verticales; de acuerdo a la normatividad vigente Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras (2016), el cual según el acápite 2.4.7.6 Señales de identificación vial, nos brinda la siguiente señalización:

#### **I-3B: Señal de control de velocidad en tramo de carretera unidireccional o bidireccional o multicarril**

Señal de Poste de lámina tipo IV y para Señales Elevadas la del tipo XI. (Para EG-vigente).

Para señales de poste ubicadas al lado izquierdo de la vía el tipo de lámina debería ser como mínimo del tipo XI debido a que la cantidad de luz disponible en esta ubicación es alrededor del 20%.

La cual presenta las siguientes dimensiones según el MTC-2016:



**Figura N° 23: Señal I-3B - Señal de control de velocidad en tramo**

**Fuente: Manual de Dispositivos de Control de Tránsito (2016)**

Esta señal I-3B a criterio del tesista es la señal más aproximada para el fin que se persigue en la investigación, sin embargo, considero que la ideal es la que se propone según el Ministerio de Fomento Español, la cual propone y actualmente usa el siguiente modelo de señalización:



Figura N° 24: Señalización para TCA (Inicio)

Fuente: Dirección General de Tránsito - Ministerio de Fomento Español



Figura N° 25: Señalización para TCA (Fin)

Fuente: Dirección General de Tránsito - Ministerio de Fomento Español

Las cuales representarían una mejor señalización para el fin que buscamos, y acorde a la señalización I-3B sus dimensiones serían de 2.65m de ancho y 1.90m de alto para la señalización de la figura N°24 y 1.10m de alto para la señalización de la figura N°25.

Por lo que se propone la colocación de estas señalizaciones al principio y fin de cada tramo de concentración de accidentes en este caso 1km. Es necesario mencionar que esta propuesta de señalización señaladas por el tesista tiene que ser regulada por las entidades competentes antes de su revisión y emisión.

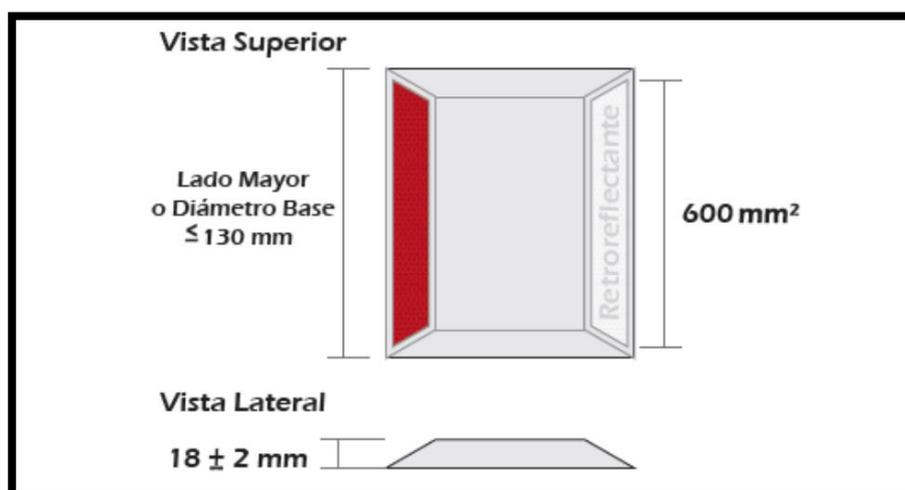
Los planos típicos para estas señalizaciones se encuentran en conjunto con los planos de replanteo de elementos geométricos.

#### ***4.8.3.2. Señalización Horizontal.***

Para el caso de nuestra carretera la cual tiene un orden de Segunda Clase, debe ser necesario precisar que las medidas correctivas deben ser económicas como ya se indicó anteriormente; por lo que los costos de construcción de despertadores de concreto armado para dar señal de aviso de proximidad a los tramos de concentración de accidentes como indica Huamancayo (2012), serían no justificables; por lo que a criterio del tesista, según dos factores que rigen la ingeniería, que es la funcionalidad y economía, se propone la implementación de tachas retroreflectivas en todo el ancho de la calzada, las cuales cumplirían el mismo fin que los despertadores, dando aviso de proximidad a la señalización vertical propuesta en el punto 4.8.3.1. y encarrilar al usuario de la vía a reducir la velocidad y poder recibir la información de la señalización vertical.

A continuación, se muestran las especificaciones según el MTC en el Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras (2016), en el acápite 3.5.7.2.1.1 Tachas retroreflectivas indica lo siguiente:

Son aquellas que cuentan con un material retrorreflectivo en una o dos de sus caras que enfrentan el sentido del tráfico, pero también pueden ser iluminadas internamente en forma continua. En el caso de advertir la presencia de un reductor de velocidad o cruce peatonal, estas tachas podrán ser destellantes o intermitentes. Los materiales, su clasificación, dimensiones, uso de colores y otras especificaciones técnicas deberán cumplir con lo establecido en el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG vigente), y en el caso de ser iluminadas, deberá realizarse de acuerdo a lo establecido en las Subsección 01.02 Especificaciones Especiales del Manual antes mencionado



**Figura N° 26: Esquema tacha bidireccional**

**Fuente: Manual de Dispositivos de Tránsito (2016)**

Sin embargo, se precisa que el color de estas tachas para ser diferenciadas de las longitudinales deben ser de color amarillo.

Los planos típicos para estas señalizaciones horizontales se encuentran en conjunto con los planos de replanteo de elementos geométricos.

#### ***4.8.3.2. Replanteo de elementos geométricos.***

A continuación, se presentan las propuestas de replanteo de la calzada, berma, y radio de curvatura para cada uno de los tramos de concentración de accidentes, así como los respectivos planos típicos de las señalizaciones verticales y horizontales.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES

- Con respecto al objetivo general analizamos las características geométricas de la vía Puno – Laraqueri que inciden en los accidentes de tránsito, primero encontrando in-situ los valores reales para la calzada de 6.00m, berma variable de 1.05m a 1.35m, peraltes de 2.5% al 3.0% y radios entre 190m a 450m, posteriormente para determinar los valores establecidos en la norma vigente se tomó en cuenta los siguientes factores de: Velocidad de diseño de 80 km/h de la tabla N°01; demanda, carretera de 2da clase según la tabla N°16 y el punto 2.2.12.2; orografía, terreno tipo 2 ondulado según la tabla N°21 y el punto 2.2.12.2; Tránsito promedio diario anual medio (TPDA) de 707, y para los subtramos del Km 00+000 al Km 16+100 y Km 16+100 al Km 40+000 los TPDA de 769 veh/día y 645 veh/día respectivamente, por lo que se determinó los valores requeridos por la norma vigente para los elementos geométricos siguientes: Ancho de calzada, ancho de berma, radio mínimo en curvas y peraltes mínimos y máximos respecto a la norma vigente Diseño Geométrico-2018, siendo las estipuladas por la norma para calzada de 7.20m de ancho, 2.00m de ancho para bermas, radio mínimo de 230m y un peralte dentro del 2% a 8% en curvas, estas son las que inciden directamente en la generación de accidentes en la vía Puno-Laraqueri.
- De acuerdo al primero objetivo específico se identificó 7 tramos de concentración de accidentes (TCA) y/o puntos negros, mediante los métodos de la Transportation Research Board (TRB) con la información de accidentes brindada por la central de

emergencias de la Concesionaria Vial del Sur S.A. (COVISUR S.A.) entre los años 2017 y 2018, los cuales son TCA N°01: Km 10+000 – Km 11+000, TCA N°02: Km 18+000 – Km 19+000, TCA N°03: Km 24+000 – Km 25+000, TCA N°04: Km 25+000 – Km 26+000, TCA N°05: Km 29+000 – Km 30+000, TCA N°06: Km 31+000 – Km 32+000, TCA N°07: Km 39+000 – Km 40+000, de estos tramos de concentración de accidentes los TCA N°1, TCA N°5 y TCA N°7 presentan curvas dentro de sus tramos, siendo la curva N°2 del TCA N°5 que no cumple el radio mínimo y en la que se suscitó un accidente, y siendo los TCA N°2, TCA N°3, TCA N°4, TCA N°6 tramos rectos con accidentes en ellos.

- En los 7 tramos de concentración de accidentes identificados se verificó el incumplimiento de la siguiente manera: TCA N°1, incumplimiento de la calzada mínima siendo la real de 6.60m y la estipulada en la norma de 7.20m, berma en campo de 1.05m a 1.35m y la estipulada en la norma de 2.0m, radio en campo de 450m cumpliendo el mínimo de 230m y peralte de 2.5% cumpliendo el rango de 2% a 8% de la norma; TCA N°2, incumplimiento de la calzada mínima siendo la real de 6.60m y la estipulada en la norma de 7.20m, berma en campo de 1.05m a 1.35m y la estipulada en la norma de 2.0m; TCA N°3, incumplimiento de la calzada mínima siendo la real de 6.60m y la estipulada en la norma de 7.20m, berma en campo de 1.05m a 1.35m y la estipulada en la norma de 2.0m; TCA N°4, incumplimiento de la calzada mínima siendo la real de 6.60m y la estipulada en la norma de 7.20m, berma en campo de 1.05m a 1.35m y la estipulada en la norma de 2.0m; TCA N°5, incumplimiento de la calzada mínima siendo la real de 6.60m y la estipulada en la norma de 7.20m, berma en campo de 1.10m a 1.30m y la estipulada en la norma de 2.0m, radios en campo de  $R_1=450m$ ,  $R_2=190m$  y  $R_3=400m$ , incumpliendo el

mínimo de 230m para el radio R2, peraltes de  $p_1=2.5\%$ ,  $p_2=3.0\%$  y  $p_3=2.5\%$  cumpliendo el rango de 2% a 8% de la norma; TCA N°6, incumplimiento de la calzada mínima siendo la real de 6.60m y la estipulada en la norma de 7.20m, berma en campo de 1.10 a 1.30m y la estipulada en la norma de 2.0m; TCA N°7, incumplimiento de la calzada mínima siendo la real de 6.60m y la estipulada en la norma de 7.20m, berma en campo de 1.10 a 1.30m y la estipulada en la norma de 2.0m, radio en campo de 290m cumpliendo el mínimo de 230m y peralte de 2.5% cumpliendo el rango de 2% a 8% de la norma. Por lo que se prueba la hipótesis general que indica que las características geométricas de la vía Puno – Laraqueri que no están de acorde con las que plantea la norma DG-2018 inciden directamente en la generación de accidentes de la vía.

## CAPÍTULO VI

### RECOMENDACIONES

- Los métodos necesitan un reajuste de acuerdo al área de influencia del kilómetro unitario que se toma en cuenta para el análisis, puesto que los accidentes pueden ocurrir en el inicio y comienzo del kilómetro pudiendo ser influenciados por los tramos adyacentes.
- Se recomienda hacer uso del registro de accidentes que tienen las concesionarias de las vías a nivel nacional para las investigaciones posteriores y/o similares, puesto que los registros policiales, registros del INEI y con mayor razón recortes periodísticos no son precisos al momento de anotar las progresivas exactas de los siniestros, ya sea por desconocimiento de la vía o poca importancia con respecto al lugar de suceso.
- Con el fin de detectar la mayor cantidad de tramos de concentración de accidentes, se sugiere lograr recolectar la mayor cantidad de años posibles de registros de accidentes.
- Se recomienda continuar con investigaciones similares con el fin de lograr consolidar un mapa de tramos de concentración de accidentes de las vías de la región Puno.
- Se recomienda la realización de más estudios similares, puesto que los contratos de concesión viales actuales entre el Estado y las Concesionarias exigen niveles de servicio respecto a huecos, ahuellamientos, señalización horizontal, señalización vertical, etc;

sin embargo no cuentan con niveles de servicio respecto a características geométricas de la vía que son intrínsecas e inherentes.

- La presente investigación puede ser utilizada como piloto para el desarrollo de posteriores investigaciones con el fin de determinar y proponer diferentes soluciones a la problemática descrita en la presente.
- Se recomienda, a las concesionarias, que, para la conservación de la vía, pueda ponerse más énfasis en la conservación de los elementos viales en los tramos de concentración de accidentes, como son señalizaciones horizontales, señalizaciones verticales, elementos de encarrilamiento y derecho de vía.
- Se recomienda coordinación entre el concedente y concesionario con respecto a la acumulación de accidentes para lograr en un trabajo en conjunto soluciones a una de las situaciones más problemáticas del país.
- Del TCA N°04 se puede ver que el tema del derecho vial es aún es una asignatura pendiente en el Perú y también idiosincrasia de la población, ya que si se respetara el derecho de vía podría reducir los accidentes.
- El futuro de la investigación se podría traducir en mayor control y dinámica en los contratos viales del Perú, para que estos puedan ser mejorados a medida que la tecnología e investigaciones son actualizadas en el Perú.

- La investigación propone dos tipos de propuestas de mitigación, a corto y a largo plazo, la propuesta a corto plazo es de ingeniería la cual propone la ampliación de la calzada y berma para todos los tramos de concentración de accidentes TCA N°1, TCA N°2, TCA N°3, TCA N°4, TCA N°5, TCA N°6, TCA N°7, puesto que ninguno cumple con los requerimientos mínimos, siendo la propuesta de 7.20m de ancho para calzada y 2.0m de ancho para bermas derecha e izquierda, y el replanteamiento de la curva N°2 del TCA N°5: Km 29+000 – Km 30+000, de un radio en campo de 190m a un radio de 230m como mínimamente estipula la norma, para lo cual se presentaron los planos de replanteo de la calzada, berma y de curva; es importante señalar que para que tenga un mejor funcionamiento también se planteó la colocación de señales informativas al inicio y fin de cada tramo de concentración de accidentes, de manera que el diseño de replanteo funcione conjuntamente con la señalización indicada a la vez que las tachas retroreflectivas den aviso de proximidad a estos tramos de concentración de accidentes; respecto a la propuesta de mitigación a largo plazo se recomienda la implementación gradual de estas auditorías viales, ya que es un tema aún reciente en el Perú.

## **CAPÍTULO VII**

### **REFERENCIAS**

- Astochao Delgado, Jonhy. (2015). “Evaluación para la implementación de sistemas inteligentes de transporte en los puntos críticos de accidentes de tránsito en vías nacionales”. Escuela de Postgrado. Universidad Nacional de Ingeniería. Ayacucho-Perú.
- Bernardo, María Graciela. (2005) “Identificación de tramos de concentración de accidentes en rutas nacionales de las provincias de Córdoba”. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Caballero R. Alejandro (2009). “Innovaciones en las guías metodológicas para los planes y tesis de maestría y doctorado”. Instituto Alen Caroi. Lima – Peru.
- Castillo, Herrera y Muñoz (2013). “Análisis de los factores que inciden en los accidentes de tránsito del servicio de transportación pública interprovincial en el Ecuador”. Universidad de Guayaquil. Ecuador
- Cesan, Verónica (2012). “Análisis de los accidentes de tránsito en la provincia de la Pampa en el período 2000-2004”. Universidad Nacional de Lánues. Argentina.
- Chamba Coronel, Juan Carlos (2013). “Análisis de riesgos y seguridad vial, en el corredor exclusivo del sistema integrado de transporte urbano situ en la ciudad de Loja”. Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador.

- Chihuán Saúñe, Carlos (2011).“Accidentes de Tránsito II. PNP”. Lima-Perú
  
- Concesionaria Vial del Sur S.A. (2012). “Elaboración del estudio para el mantenimiento periódico tramo N° 5: corredor vial interoceánico Sur Perú – Brasil”. Volumen I: Memoria Descriptiva y Estudios Básicos Tomo I. Lima – Perú.
  
- Concesionaria Vial del Sur S.A. (2012). “Elaboración del estudio para el mantenimiento periódico tramo N° 5: corredor vial interoceánico Sur Perú – Brasil”. Volumen IV: Planos. Lima – Perú.
  
- Concesionaria Vial del Sur S.A. (2012). “Elaboración del estudio para el mantenimiento periódico tramo N° 5: corredor vial interoceánico Sur Perú – Brasil”. Volumen VII: Anexos Tomo I. Lima – Perú.
  
- Diario El Peruano (2005). Normas Legales. “Resolución ministerial N°348-2005 MTC/02: precisan derecho de vía en diversas carreteras”. Lima – Perú.
  
- Diario Gestión (2018). “PBI de Perú crecería más este año que en el 2019, estimó el Banco Mundial “. Rescatado de: <https://gestion.pe/economia/pbi-peru-creceria-ano-2019-estimo-banco-mundial-246266>.
  
- Huamancayo Quiquin, Carlos (2012). “Análisis y evaluación de tramos de concentración de accidentes de tránsito y propuesta de mitigación en la vía libertadores

- Ayacucho”. Escuela de Postgrado. Universidad Nacional de Ingeniería. Ayacucho – Perú.
- Leiva Alva, Jerie Wesley (2003). “Análisis de accidentes viales aplicando la ingeniería de tránsito”. Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala.
  - Ministerio de Fomento. Dirección General de Tránsito. “Lista de Puntos Negros”. Rescatado en: <http://www.dgt.es/es/el-traffic/puntos-negros/puntos-negros-2014.shtml>.
  - Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). “Diseño Geométrico De Carreteras DG-2018”. Lima. Perú
  - Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). “Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos. sección suelos y pavimentos”. Lima – Perú.
  - Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016). “Manual de dispositivos de control de tránsito automotor para calles y carreteras”. Lima – Perú.
  - Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016). “Manual de seguridad vial msv - 2016”. Lima – Perú.
  - Ministerio de Transportes y Comunicaciones. 2008. “Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial”. Aprobado por la Resolución Ministerial N° 660-2008-MTC02 – Perú.

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Consejo de Transportes de Lima y Callao. Secretaria Técnica. 2007. “Estudio de accidentes de tránsito en 27 comisarías de lima y callao –año 2005”. Lima – Callao.
  
- OSITRAN. (2015). “Contrato De Concesión De IIRSA Sur Tramo 5”. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
  
- Suca Suca, Nestor Leodan (2014). “Metodología de la investigación científica y tecnológica en la ingeniería civil”. 1ra edición. Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú.
  
- Torres Márquez, Rolando (2017). “Análisis de la aplicación de una auditoría de seguridad vial en carreteras concesionadas”. Universidad de Piura. Lima-Perú.
  
- Zambrana Gutiérrez, Luis Enrique (2010). “Determinación de los sitios de mayor accidentalidad vial en vehículos de motor de cuatro o más ruedas, área urbana del municipio de León, año 2007”. Tesis de Maestría en Ciencias con mención en Epidemiología Centro de Investigación en Demografía y Salud Facultad de Ciencias Médicas UNAN-León. Nicaragua.

## ANEXOS