

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Según (Joseph Barnett, 1897) dice que todos los vehículos al circular en curvas horizontales a velocidades altas tienden a perder el equilibrio dinámico. Se busca determinar el rango de velocidad en el cual un vehículo pierde el equilibrio dinámico, evitando así vuelcos o deslizamientos. Este análisis también pretende determinar el factor de fricción, el cual contribuye al equilibrio de todos los vehículos al variar su velocidad en comparación con la velocidad de operación, es importante destacar que debido a la variación los vehículos se encuentran en desequilibrio, siendo el peralte el único elemento que contrarresta la pérdida de equilibrio,

La velocidad de los vehículos al tomar curvas horizontales es un factor crítico que afecta directamente el equilibrio dinámico y la seguridad durante la conducción, la estabilidad del vehículo tiene un impacto significativo al circular por curvas horizontales donde la norma AASHTO, muestra la ecuación de equilibrio y está en función de la velocidad, peraltes y radios, la ecuación de equilibrio se convierte en el núcleo de investigación para una amplia gama de combinaciones; si el vehículo supera la velocidad de operación la fuerza de fricción actúa hacia el exterior sobre el vehículo, la situación empeora si se supera la velocidad de operación donde el vehículo pierde el equilibrio y se desliza fuera de la carretera.

La velocidad directriz guía el diseño de elementos de los alineamientos horizontales (Fissore y Sierra. 2016), indican que el equilibrio dinámico se alcanza con una amplia gama de combinaciones de valores prácticos de los parámetros, las salidas de la calzada tienen radios menores. Los resultados mostrados en su investigación es una comparación gráfica de como varía de acuerdo con diferentes normas.

Cuando se pierde el equilibrio entre el peralte y la velocidad, la fuerza lateral actúa hacia el exterior sobre el vehículo sin embargo es disminuida por el peso del vehículo hacia abajo de la pendiente de la carretera.

El propósito de la investigación es explorar la relación entre la velocidad y el equilibrio dinámico en curvas horizontales, con el fin de proporcionar una comprensión más profunda de como estos factores interactúan, y de qué manera la velocidad de vehículo afecta el equilibrio dinámico en la red fundamental de las carreteras de Tarija.

## **1.2 Situación problemática**

A través del crecimiento económico y el aumento del turismo de las zonas de la ciudad de Tarija los ciudadanos generan movimiento de una comunidad hacia los centros poblados, generando un incremento en el flujo vehicular; mismos que deben transitar por carreteras donde existen trazos con curvas horizontales es importante garantizar la seguridad de los usuarios proporcionando un diseño geométrico adecuado que permita un recorrido seguro.

El peralte cumple una función necesaria en la seguridad y estabilidad del vehículo; Ayuda a contrarrestar las fuerzas que empuja a los vehículos hacia afuera de la curva cuando circulan a velocidades altas, un diseño inadecuado del peralte ocasiona la pérdida de control vehicular e incomodidad de las personas.

Cuando el diseño geométrico no tiene los parámetros adecuados, como ser el peralte, los radios y la velocidad, puede provocar un aumento de accidentes por velocidades altas y este efecto es más propensos en radios menores.

### **1.2.1 Problema**

¿Cómo definir el límite de la velocidad en el equilibrio dinámico de los vehículos al circular por curvas horizontales en carreteras del departamento de Tarija?

### **1.2.2 Relevancia y factibilidad del problema**

El análisis del equilibrio dinámico es relevante para determinar si existe un adecuado diseño geométrico que generar seguridad en las personas.

Es factible determinar el equilibrio dinámico de los vehículos que circulan por las carreteras mediante el uso de la ecuación de la norma AASHTO donde los parámetros pueden ser medibles como, el peralte, velocidad y radio de curvatura, para cada punto de análisis.

### **1.2.3 Delimitación temporal y espacial**

La investigación está siendo realizada en tiempo presente, que analiza la velocidad de diseño, el peralte y los radios de curvatura para establecer la existencia de un diseño adecuado que será verificado a través del equilibrio dinámico.

El espacio de investigación son las rutas que pertenecen al departamento de Tarija, en el Tramo 1 Tarija-Bermejo, Tramo2 Tarija-Entre Ríos, Tramo 3 Tarija- El Puente.

### **1.3 Justificación**

El equilibrio dinámico se ve afectado por la velocidad, es fundamental entender como la velocidad tiene un papel importante en el equilibrio dinámico al ingresar en las curvas horizontales. Así mismo el peralte es esencial para la estabilidad del vehículo debido a la inclinación que contribuye a la fuerza centrífuga en la curva horizontal.

Los vehículos circulan por tramos curvos y rectos; al circular por tramos rectos no existe problemas, debido a que la sección transversal de la carretera se mantiene constante, Sin embargo, al ingresar en tramos curvos la situación cambia circunstancialmente debido a las características de la plataforma como ser el peralte y ancho de plataforma, si los conductores circulan a altas velocidades por estos tramos curvos en el cual, un diseño inadecuado del peralte genera vuelcos, deslizamientos; donde el peralte tiene la función de minimizar los esfuerzos que se generan (fuerza centrífuga, fuerza de rozamiento); así mismo la circulación en velocidades mínimas pueden causar deslizamiento del vehículo donde la fuerza centrífuga se compensa con el peso del vehículo y la fuerza centrípeta se contrarresta con el peralte.

El peso del vehículo es otro factor importante, especialmente en velocidades altas, porque altera la distribución del peso en las ruedas y compromete el equilibrio del centro de gravedad del vehículo. También, el radio de la curva es determinante; en las curvas amplias permiten velocidades altas sin afectar el equilibrio, mientras que en curvas con radios pequeños imponen límites debido a las fuerzas (fuerza centrífuga, fuerza de rozamiento). En conjunto, estos factores tienen un papel importante en la seguridad y estabilidad del vehículo en carretera.

La investigación muestra un análisis donde la velocidad del vehículo afecta el equilibrio dinámico, lo que permite el desarrollo de medidas específicas, reducción de accidentes en curvas horizontales.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Analizar la velocidad en el equilibrio dinámico en curvas horizontales mediante aforo de velocidades en los tramos de estudio para establecer de qué manera la velocidad afecta al equilibrio dinámico en los vehículos.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Identificar las curvas horizontales de estudio.
- Realizar un inventario de la geometría del peralte, radio y anchos de carril de los tramos de estudio.
- Determinar las velocidades promedio en las curvas horizontales en los tramos.
- Evaluar los resultados obtenidos de la velocidad que influye en el equilibrio dinámico.
- Analizar los resultados obtenidos de la investigación.

## **1.5 Hipótesis**

Si, al realizar un análisis de velocidades para determinar el equilibrio dinámico en curvas horizontales en la red fundamental de Tarija entonces se podrá determinar los rangos de aplicación establecidos por la norma.

## **1.6 Operacionalización de las variables**

### **1.6.1 Variable independiente**

- Peralte
- Velocidad
- Radio de curvatura

### **1.6.2 Variable dependiente**

- Equilibrio dinámico

Tipo de Variable	Nombre	Concepto	Indicador	Medición	Proceso
Variable independiente	Peralte	Un peralte en una carretera, circuito o vía férrea, es una elevación mayor de la parte exterior de una curva en relación con la parte interior.	Peralte	m/m	Ficha de recolección y tablas de resultados
	Radios	Segmento lineal que une un punto cualquiera de la circunferencia o de la superficie de una esfera con su centro.	Radios	m	
	Velocidad	Hace referencia a las velocidades de operación de los vehículos ligeros y pesados medidas en campo de la longitud del elemento geométrico	Velocidad	km/h	
Variable Dependiente	Equilibrio dinámico	Es la capacidad para mantenerse erguido y estable mientras se realiza movimiento o acción que requieren el desplazamiento o movimiento de una persona	Peralte	m/m	Ficha de recolección y tablas de resultados
			Velocidad	km/h	
			Radios	m	
			Factor de rozamiento	Adimensional	

### 1.7 Identificación del tipo de investigación

Es una de investigación descriptiva:

La investigación es de tipo descripción porque detalla las características del fenómeno a estudiar la relación entre velocidad y equilibrio dinámico en curvas horizontales se analiza una recopilación de datos mediante aforo de velocidades.

## **1.8 Unidades de estudio y decisión muestral**

### **1.8.1 Unidad de estudio**

La investigación se enfoca exclusivamente en la relación entre la velocidad y el equilibrio dinámico en curvas horizontales. Se recopilan datos de la velocidad del vehículo al ingresar en las curvas para determinar cómo varía el equilibrio dinámico del vehículo durante la circulación en las curvas horizontales

### **1.8.2 Población**

La investigación en los tramos de las carreteras Tarija-Entre Ríos, Tarija-El Puente, Tarija-Bermejo de la Red Fundamental de Tarija

### **1.8.3 Muestra**

Los tramos seleccionados fueron identificados con la plataforma de Google Maps, se realizó un análisis de los radios en los distintos tramos de la ruta. Este método permitió identificar puntos específicos a lo largo del recorrido, considerando las variaciones de la geometría de las curvas y asegurando así una selección precisa y representativa de los diferentes peraltes y radios de curvatura presentes en la carretera para realizar la recopilación de velocidades en punto y realizar su evaluación.

### **1.8.4 Selección de las técnicas de muestreo**

**Método no probabilístico.** -Es una técnica donde las muestras se recogen en un proceso que nos brinda a todos los individuos de la población iguales oportunidades de ser seleccionados.

**-Muestreo por conveniencia.** -El muestreo por conveniencia es probablemente la técnica de muestreo más común. En el muestreo por conveniencia, las muestras son seleccionadas porque son accesibles para el investigador. Los sujetos son elegidos simplemente porque son fáciles de reclutar. Esta técnica es considerada la más fácil, la más barata y la que menos tiempo lleva.

Se optó por seleccionar una serie de radios de curvatura pronunciados, basándose en radios menores que existe una mayor probabilidad de pérdida de equilibrio. Esta elección es respaldada por el estudio realizado por (Joseph Barnett, 1897), que señala que la

mayoría de los accidentes ocurren precisamente en curvas con radios más cerrados. Es esencial tener en cuenta estos hallazgos al diseñar y planificar carreteras, con el fin de garantizar la seguridad de los usuarios.

## **1.9 Métodos y técnicas empleadas**

### **1.9.1 Métodos**

Dentro de los métodos que se pueden utilizar en la investigación métodos teóricos y empíricos:

**Métodos empíricos.** – En la investigación sobre la relación entre la velocidad del vehículo y el equilibrio dinámico en curvas horizontales, aplicaremos métodos empíricos para recopilar datos de campo en los puntos señalados para registrar analizamos estos datos utilizado técnicas estadísticas para identificar patrones que nos permiten extraer conclusiones fundamentadas y proporcionar recomendaciones para mejorar la seguridad vial.

**Métodos teóricos.** -Para emplear el método teórico en esta investigación sobre la relación entre la velocidad del vehículo y el equilibrio dinámico se realiza una exhaustiva revisión de la literatura para comprender las teorías existentes sobre dinámica vehicular y seguridad vial para formular unas hipótesis solidas sobre como la velocidad del vehículo influye en el equilibrio dinámico en curvas horizontales.

### **1.9.2 Técnicas**

Técnicas empíricas. – Son métodos de investigación que se basan en la observación directa, la experiencia práctica y la evidencia concreta obtenida a partir de datos observados o medidos en el mundo real. Estas técnicas se utilizan en diversas disciplinas científicas y sociales para recopilar información objetiva y describir fenómenos de manera sistemática

## **1.10 Procesamiento de la información**

Los datos recopilados durante el desarrollo de la investigación serán tabulados de manera organizada para garantizar una disponibilidad y una estructura sistemática para su análisis, esta sistematización ayudara a determinar la confiabilidad de los datos.

Una vez que los datos estén organizados se lleva a cabo una limpieza para identificar y corregir posibles errores, valores inconsistentes una vez que los datos están limpios y organizados se realiza un análisis descriptivo inicial para comprender la distribución y las características de las variables implica el cálculo medidas estadísticas como medias, desviaciones estándar y frecuencias.

Finalmente, los resultados se presentan de manera clara y concisa utilizando tablas, gráficos y descripciones narrativas que enfatizan los hallazgos más importantes y se respaldan la veracidad y confiabilidad de los datos recopilados.

### **1.11 Alcance de la investigación**

Los tramos de investigación consisten en el análisis de velocidades de qué manera influye en el equilibrio dinámico: Tramo1 Tarija-El Puente que tiene una longitud de análisis de 23 km sobre la ruta 1, Tramo2 Tarija-Bermejo que tiene una longitud de análisis de 22 km sobre la ruta 1 y Tramo 3 Tarija-Entre Ríos que tiene una longitud de análisis de 23 km sobre la ruta 11.

Es importante mencionar que en los tramos de investigación en las curvas horizontales son escogidos mediante imágenes satelitales, la investigación se centra en el estudio del equilibrio dinámico de los vehículos en relación con su desempeño en curvas horizontales; así como la velocidad promedio para analizar el comportamiento de los conductores de cada tramo, esta variedad de mediciones comprende como la velocidad del vehículo influye en la estabilidad al circular por curvas horizontales.

Se llevó a cabo un inventario detallado de la geometría de las curvas para obtener una comprensión completa y precisa de la configuración de las curvas horizontales en los tramos. Se realizó un análisis riguroso de la ecuación de equilibrio dinámico que describe la relación entre la velocidad del vehículo y la geometría de la carretera, lo que nos permitió comprender cómo éstas influían en el equilibrio dinámico del vehículo.

La investigación comparación los resultados obtenidos en términos de velocidades promedio en cada tramo, implementando la creación de tablas gráficas sobre el equilibrio dinámico, este análisis brinda una perspectiva detallada sobre la variabilidad entre los

tramos permitiendo identificar que vehículos presentan desafíos en la estabilidad vehicular.

# **CAPÍTULO II**

## **EQUILIBRIO DINÁMICO**

## CAPÍTULO II

### EQUILIBRIO DINÁMICO

#### 2.1 Equilibrio Dinámico

La fórmula de equilibrio dinámico en curvas horizontales se utiliza para describir la relación entre la velocidad de un vehículo, el peralte de la carretera, y el coeficiente de fricción lateral, de manera que el vehículo no derrape al tomar la curva.

Según este modelo, de la ecuación de equilibrio dinámico es mediante las fuerzas que actúan en el vehículo:

**-Fuerza centrífuga (Fc):**

$$F_c = \frac{m * V^2}{R}$$

Donde:

m= Masa del vehículo

V= Velocidad del vehículo

R= Radio de la curva

**-Fuerza de fricción lateral (Ff):**

$$F_f = f * N$$

f= Coeficiente de fricción entre los neumáticos y la carretera

N= Fuerza normal que actúa sobre el vehículo (N=m\*g)

**-Componente del peso debido al peralte (Fp):**

$$F_p = m * g * e$$

Donde:

m= Masa del vehículo

g= Aceleración debido a la gravedad

e= Peralte de la carretera

**Equilibrio dinámico**

$$F_c = F_p + F_f$$

Sustituyendo las expresiones de las fuerzas:

$$f * m * g + m * g * e = \frac{m * V^2}{R}$$

Podemos simplificar dividiendo todo por m\*g:

$$f + e = \frac{V^2}{g * R}$$

Teniendo una fórmula:

$$f + e = \frac{V^2}{g * R}$$

Donde.

e = Peralte de la carretera

f = Factor de fricción lateral

g = Gravedad constante, 9.81m/s<sup>2</sup>

V = Velocidad del vehículo, km/h

R = Radio de curva medido con respecto al centro de gravedad de un vehículo

Para obtener la fórmula final haciendo una conversión de unidades:

$$1 \text{ m/s} = 3.6 \text{ km/h}$$

Por lo tanto, si V está en km/h, podemos expresar la velocidad en m/s como:

$$V_{m/s} = \frac{V_{km/h}}{3.6}$$

Sustituyendo esto en la fórmula del equilibrio dinámico:

$$f + e = \frac{\left(\frac{V_{km/h}}{3.6}\right)^2}{g * R}$$

Simplificamos el términos:

$$f + e = \frac{\left(\frac{V_{km/h}}{12.96}\right)^2}{g * R}$$

Multiplicamos el numerador y el denominador por 12.96:

$$f + e = \frac{V_{km/h}^2}{12.96 * 9.81 * R}$$

Fórmula general:

$$f + e = \frac{V^2}{127 * R}$$

Para toda curva circular con el peralte máximo correspondiente se cumplirá que, recorrida la curva circular a la velocidad específica (Ve), no se sobrepasaran los valores del coeficiente transversal máximo movilizad (fmáx) de la tabla:

**Tabla N°1:** Coeficiente de rozamiento transversal máximo movilizad (fmáx).

Ve (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
f máx	0.18	0.166	0.151	0.137	0.122	0.113	0.104	0.096	0.087	0.078	0.069

**Fuente:** AASTHO Norma 3.1-IC

### **Radio-Peralte-Velocidad Especifica-Coeficiente de Fricción Transversal**

La ecuación general que se dio puede escribirse también, como:

$$V^2 - 127 * R * (e+f) = 0$$

Si se reemplaza el valor de “f” por la expresión analítica dada en la tabla 1 para cada uno de los rangos de velocidad allí indicados, y la variable V pasa a denominarse se tiene:

Para caminos con  $V_p \leq 80$  km/h

$$V_e^2 + (0.211 * R) * V_e - 127 * R * (e + 0.193) = 0$$

Para carreteras con  $V_p \geq 80$  km/h

$$V_e^2 + (0.112 * R) * V_e - 127 * R * (e + 0.193) = 0$$

**Fuente:** AASTHO Norma 3.1-1C

### **2.1.1 Diseño geométrico horizontal**

De una manera general una carretera se puede concebir como un sistema que logra integrar beneficios, conveniencia, satisfacción y seguridad a sus usuarios; que conserva; aumenta y mejora los recursos naturales de la tierra, el agua que colabora en el logro de los objetivos del desarrollo regional, agrícola, industrial, comercial y de salud pública.

### **2.2.2 Curvas circulares simples**

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. Por lo tanto, las curvas reales del espacio no necesariamente son circulares.

### **2.2. Criterios para la asignación de la velocidad específica en las curvas horizontales**

- 1) La velocidad específica de una curva horizontal, no puede ser menor que la velocidad de diseño del tramo.
- 2) La velocidad específica de una curva horizontal, debe ser asignada teniendo en cuenta la velocidad específica de la curva horizontal anterior y la longitud del segmento en tangente anterior.

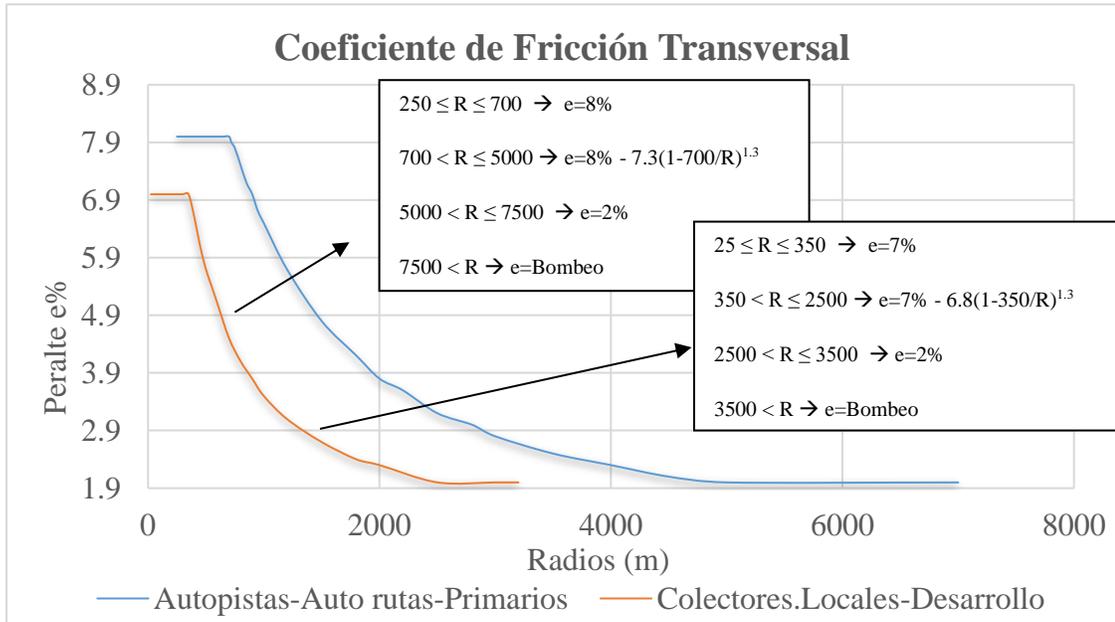
**Fuente:** DG-2018

**TablaN°2:** Velocidades específicas en curvas horizontales según radio-peralte y fricción transversal.

<b>Colectores-Locales-Desarrollo</b>			
R (m)	e%	Ve (km/h)	f
25	7	30.1	0.215
30	7	32.7	0.211
40	7	37.2	0.202
50	7	41.1	0.196
60	7	44.6	0.191
70	7	47.7	0.186
80	7	50.5	0.181
90	7	53.1	0.177
100	7	55.5	0.173
120	7	59.9	0.165
150	7	65.6	0.156
180	7	70.6	0.148
200	7	73.5	0.143
220	7	76.3	0.138
250	7	80.1	0.132
300	7	84.7	0.118
350	7	90.3	0.113
400	6.6	94.5	0.11
450	6.1	97.9	0.107
500	5.7	101.1	0.104
550	5.4	104.1	0.101
600	5.1	106.8	0.099
700	4.5	>110	0.095
800	4.1	>110	0.091
900	3.8	>110	0.087
1000	3.5	>110	0.084
1200	3.1	>110	0.079
1500	2.7	>110	0.072
1800	2.4	>110	0.066
2000	2.3	>110	0.063
2500	2	>110	0.056
3000	2	>110	0.05
3200	2	>110	0.047

**Fuente:** Manual de Diseño ABC

**Gráfico N°1:** Relación radio-Peralte para carreteras y caminos



**Fuente:** Manual de Diseño Geométrico ABC

### 2.3. Radios y Peraltes

El peralte (e) en tanto por ciento (%) se establecerá de acuerdo con los criterios indicados:

**Tabla N°3:** Clasificación de tipo de carretera

Grupo	Denominación	Radio (m)	Peralte (%)
1	Autopistas y autovías A-140 y A-130	$850 \leq R \leq 1050$	8
		$1050 \leq R \leq 5000$	$8 - 7.96(1 - 1050/R)^{1.2}$
		$5000 \leq R < 7500$	2
		$7500 \leq R$	Bombeo
2	Autopistas y autovías A-120, A-110, A-100, A-90 y A-80, carreteras multicarril C-100 y carreteras convencionales C-100	$250 \leq R \leq 700$	8
		$700 \leq R \leq 5000$	$8 - 7.3(1 - 700/R)^{1.3}$
		$5000 \leq R < 7500$	2
		$7500 \leq R$	Bombeo
3	Carreteras multicarril C-90, C-80, C-70, C-60, C-50 y C-40 y carreteras convencionales C-90,	$50 \leq R \leq 350$	7
		$350 \leq R \leq 2500$	$7 - 6.65(1 - 350/R)^{1.9}$
		$2500 \leq R < 3500$	2
		$3500 \leq R$	Bombeo

**Fuente:** AASTHO Norma 3.1-1C

## **2.4. Carretera**

Una carretera es una infraestructura del transporte especialmente acondicionada dentro de una franja de terreno denominada derecho de vía, con el propósito de permitir la circulación de vehículos de manera continua en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y comodidad. (Cárdenas, 2013).

## **2.5. Velocidad**

### **2.5.1. Velocidad específica**

La velocidad específica es aquella que se puede mantenerse en una curva horizontal considerando en condiciones de seguridad y comodidad (Cárdenas, 2013).

#### a) Velocidad específica de los elementos en planta y perfil

La velocidad específica de un vehículo en planta, está en función principal entre las oportunidades que ofrezca el trazo de la curva de una carretera, el estado de la superficie de la calzada, las condiciones climáticas, la intensidad del tráfico y las características del vehículo. (Cárdenas, 2013).

#### b) Velocidad específica de la curva horizontal

Para asignar la velocidad específica a las curvas horizontales debe ser la misma velocidad de la curva horizontal anterior, se tiene que considerar los siguientes parámetros. (DG,2018)

### **2.5.2. Velocidad de diseño del tramo homogéneo**

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 indica la tabla N°4.

**Tabla N°4:** Rangos de la velocidad de diseño en función a la clasificación de 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: DG,2018

**Tabla N°5:** Rangos de la velocidad de diseño en función a 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
Primaria de dos calzadas	Plano									
	Ondulado									
	Accidentado									
	Escarpado									
Primaria de una calzada	Plano									
	Ondulado									
	Accidentado									
	Escarpado									
Secundaria	Plano									
	Ondulado									
	Accidentado									
	Escarpado									
Terciaria	Plano									
	Ondulado									
	Accidentado									
	Escarpado									

**Fuente:** James C. Colombia

**Tabla N°6:** Rangos de la velocidad de diseño en función a la clasificación de la carretera por demanda y orografía.

Terreno	Hasta 500	500 a 2000	más de 2000
Escarpado	40	40	-
Montañoso	50	60	60-80
Ondulado	60	80	80-100
Plano	70	10	100-120

**Fuente:** Pedro A. (1998)

Como los datos para esta grafica indican que muy poco conductores viajan a más de 100 km/h o a menos de 40 km/h, las velocidades para diseño se pueden escoger dentro de ese intervalo, y los valores más utilizadas son de 40, 50, 60, 70, 80, 100 y 120 km/h. Con la velocidad seleccionada se calculan los elementos del tramo de carretera donde se cumplan

las condiciones que motivaron esa velocidad. Donde sea necesario pasar de una velocidad de diseño a otra menor es necesario avisar a los conductores con anticipación por medio de señales educativas. (Pedro A. (1998)).

### 2.5.3. Velocidad de directriz

Es la máxima velocidad segura que puede mantenerse sobre una sección específica en camino cuando las condiciones son tan favorables que gobiernan las características de diseño del camino la velocidad directriz debe ser lógica respecto de la topografía, uso del suelo adyacente y clasificación funcional del camino. Deben hacerse esfuerzos para usar una velocidad directriz tan alta como fuere práctico como para alcanzar el deseado grado de seguridad, movilidad y eficiencia. (AASHTO-1994. 3ra Edición).

**Fuentes:** AASTHO, 1994. 3a Edición

**Tabla N°7:** Radios mínimos para peralte máximo  $e_{m\acute{a}x}=8\%$  y fricción máxima

Velocidad específica km/h	Peralte máximo %	Coeficiente de fricción transversal	Total $e_{m\acute{a}x}+f_{m\acute{a}x}$	Radio mínimo m	
				Calculado	Redondeado
40	8	0.23	0.31	40.6	41
50	8	0.19	0.27	72.9	73
60	8	0.17	0.25	113.4	113
70	8	0.15	0.23	167.8	168
80	8	0.14	0.22	229.1	229
90	8	0.13	0.21	303.7	304
100	8	0.12	0.2	393.7	394
110	8	0.11	0.19	501.5	504
120	8	0.09	0.17	667	667
130	8	0.08	0.16	831.7	832

**Fuente:** Álvaro U. (2008)

**Tabla N°8:** Radios mínimos para peralte máximo  $e_{m\acute{a}x}=6\%$  y fricción máxima

Velocidad específica km/h	Peralte máximo %	Coeficiente de fricción transversal	Total $e_{m\acute{a}x}+f_{m\acute{a}x}$	Radio mínimo m	
				Calculado	Redondeado
20	6	0.35	0.41	7.7	15
30	6	0.28	0.34	20.8	21
40	6	0.23	0.29	43.4	43
50	6	0.19	0.25	78.7	79
60	6	0.17	0.23	123.2	123

Fuente: Álvaro U. (2008)

#### 2.5.4. Variables condicionantes de la velocidad de operación

variables más influyentes sobre la velocidad de operación se clasificadas en categorías.

**Tabla N°9:** Clasificación de carreteras

Clasificación de la carretera	N°	Velocidad máxima de operación (Km/h)		
		Vehículos ligeros	Vehículos pesados	
			Buses	Camiones
Autopista primera clase	1	130	100	90
	2	120	90	80
	3	100	80	70
	4	90	70	60
Autopista segunda clase	1	120	90	80
	2	120	90	80
	3	100	80	70
	4	90	70	60
Autopista tercera clase	1	100	90	80
	2	100	80	70
	3	90	70	60
	4	80	60	50

Fuentes: DG,2018

**Notas:**

1. Orografía plana
2. Orografía ondulada
3. Orografía accidentada
4. Orografía escarpada
5. Para vehículos de transporte de mercancía peligrosa la velocidad máxima de operación es 70 km/h o la que establezca el reglamento nacional de tránsito, vigente.
6. Las autoridades componentes, podrán fijar velocidades de operación inferiores a las indicadas en la tabla, en función a las particularidades de cada vía.
7. Las autoridades componentes, deben señalar la máxima velocidad de operación, principalmente al inicio de cada tramo homogéneo.
8. Según las particularidades de las carreteras de segunda clase y tercera clase, las autoridades competentes establecerán las velocidades máximas de operación. (DG,2018).

**2.5.5. Velocidad de media marcha**

La velocidad media de marcha de todos los vehículos es la medida de la velocidad más adecuada para evaluar el nivel de servicio y los costos de usuarios de la vía. La velocidad media de marcha es la suma de las distancias recorridas por los vehículos en una sección de camino durante un periodo de tiempo especificado dividido por la suma de sus tiempos de ejecución.

$$\begin{array}{ll} VMN = V & V \leq 40Km/h \\ VMN = 1.782 * V^{0.83758} & V > 40km/h \end{array}$$

**Fuente:** AASTHO, 1994. 3a Edición

### 2.5.6. La velocidad de operación y la geometría de la carretera

La velocidad de operación está en función de la geometría de la carretera, para definir la distribución de velocidades de operación desarrolladas por los conductores en condiciones de flujo libre, se define como el percentil 85 o la velocidad (85) (DG,2018).

### 2.5.7 Variación entre la velocidad de diseño y operación

La variación entre la velocidad de diseño y operación en el proceso de diseño geométrico con la normativa peruana en una carretera no se incluye al conductor, se define que la velocidad de diseño no coincide con la velocidad de operación, se le indica con señales verticales y horizontales la velocidad de diseño de acuerdo con la normativa, lo cual no tiene ningún efecto (DG,2018).

**Tabla N°10:** Ecuaciones de Fitzpatrick para la estimación de velocidades de operaciones

	<b>Condiciones de alineamiento</b>	<b>Ecuación</b>
1	Curva horizontal sobre pendiente (-9% < i < -4%)	$V_{85} = 102.10 - \frac{3077.13}{R}$
2	Curva horizontal sobre pendiente (-4% < i < 0%)	$V_{85} = 105.98 - \frac{3709.90}{R}$
3	Curva horizontal sobre pendiente (0% < i < 4%)	$V_{85} = 104.82 - \frac{3574.51}{R}$
4	Curva horizontal sobre pendiente (4% < i < 9%)	$V_{85} = 96.61 - \frac{2752.19}{R}$
5	Curva horizontal combinada con curvas cóncavas (sag)	$V_{85} = 105.32 - \frac{3438.19}{R}$
6	Curva horizontal combinada con curvas convexas sin limitación de visibilidad	(Nota 2)
7	Curva horizontal combinada con curvas convexas con limitación de visibilidad (k ≤ 43 m / %)	$V_{85} = 103.24 - \frac{3573.51}{R}$
8	Curva vertical cóncava sobre resta horizontal	<i>V<sub>85</sub> se asume como la velocidad deseada</i>
9	Curva vertical convexa con distancia de visibilidad no limitada (k > 43 m / %) sobre resta horizontal	<i>V<sub>85</sub> se asume como la velocidad deseada</i>
10	Curva vertical convexa con distancia de visibilidad limitada (k ≤ 43 m / %) sobre resta horizontal	$V_{85} = 105.08 - \frac{149.69}{K}$

Fuente: DG,2018

### 2.5.8. Importancia de la velocidad de operación (85) o percentil 85.

La importancia de la velocidad de operación o el percentil 85, es de gran incidencia para la elección de velocidad de diseño (DG,2018).

### 2.6. Clasificación de carretera por demanda

Las carreteras en Perú se clasifican de acuerdo con la función de la demanda y la necesidad operacional en diferentes niveles (DG, 2018).

- **Autopistas de primera clase:** Son autopistas que proporcionan flujos vehiculares continuos, sin cruces y con puentes peatonales en zonas urbanas.

- **Autopistas de segunda clase:** Son autopistas, con control parcial de accesos con flujos vehiculares continuos pueden tener cruces o pasos vehiculares y puentes peatonales en zonas urbanas y con separador mínimo con sistema de contención.

- **Carreteras de primera y segunda clase:** Estas carreteras so de calzada única, berma y sobreebanco de compactación para colocación de elementos de seguridad o de información, pueden tener cruces vehiculares y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales.

- **Carreteras de tercera clase:** 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.

**Tabla N°11:** Clasificación de carretera por demanda

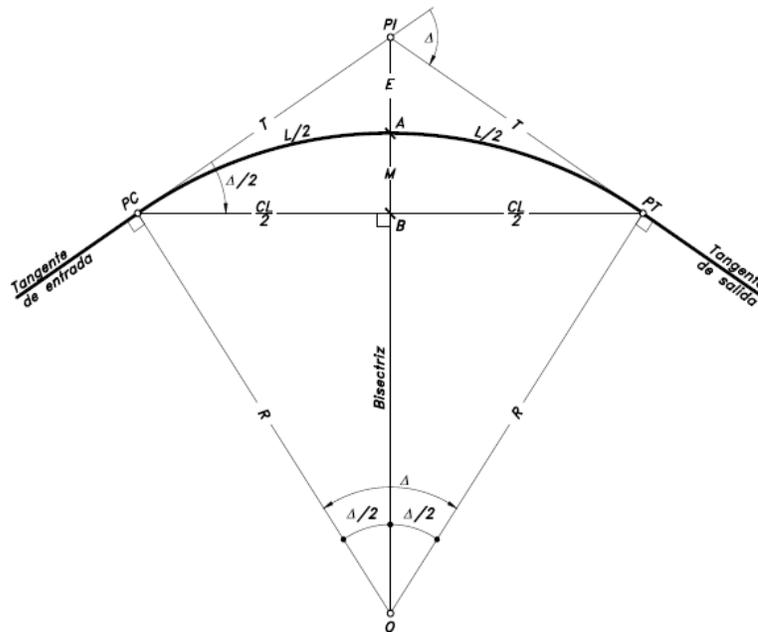
<b>Clasificación por demanda</b>	<b>IMDA (Veh/Dia)</b>
Autopista de primera clase	>6000
Autopista de segunda clase	6000-4001
Carreteras de primera clase	4000-2001
Carreteras de segunda clase	2000-4000
Carreteras de tercera clase	<400
Trochas carrozables	<200

**Fuente:** DG, 2018

## 2.7. Curvas horizontales circulares simples

Las curvas circulares simples son arcos de circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes consecutivas, conformando la proyección horizontal de las curvas reales ver la imágenes N°1 ,imagen N°2 e imagen N°3 se puede observar las curvas de circulación (DG, 2018).

**Imagen N°1:** Elementos geométricos de una curva circular simple



Elementos geométricos que caracterizan a una curva

PC= punto de inicio de la curva

T= Tangente distancia desde el PI al PC

PI= punto de intersección

L= longitud del arco(m.)

PT= punto de tangencia

CL= longitud de la cuerda (m.)

O= Centro de curva

E= distancia a externa (m.)

Δ=Ángulo de deflexión de las tangentes

M= distancia de la ordenada media (m.)

R = Radio de la curva

### 2.7.1 Expresiones que relacionan los elementos geométricos

Los anteriores elementos geométricos se relacionan entre sí, dando origen a expresiones que permiten el cálculo de la curva. De acuerdo con la Imagen N°1 algunas de estas expresiones son:

Tangente (T) y Radio (R):

$$R = \frac{T}{\tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)} \qquad T = R * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

Cuerda larga (CL):

$$CL = 2 * R * \sin\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

Flecha (F):

$$F = R * \left(1 - \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)\right)$$

Externa (E):

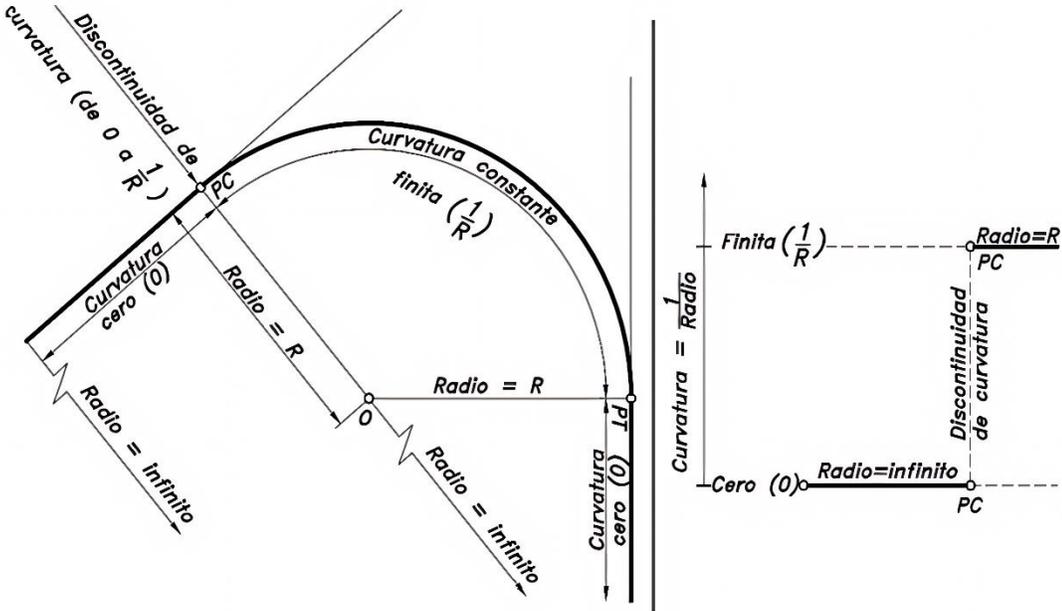
$$E = R * \left(\frac{1}{\cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)} - 1\right)$$

Longitud de arco (Ls):

$$Ls = \frac{\pi * R * \Delta}{180}$$

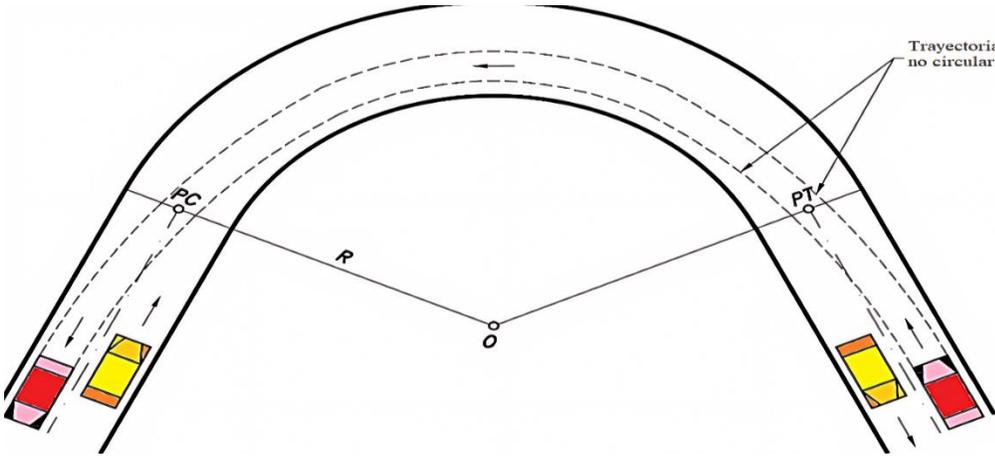
**Fuente:** James, C.

**Imagen N°2:** Curvatura en el enlace de tramos rectos con una curva circular simple



**Fuente:** Diseño geométrico de carreteras (Cárdenas, 2013)

**Imagen N°3:** Trayectoria de los vehículos en una curva circular



**Fuente:** Diseño geométrico de carreteras (Cárdenas, 2013)

### 2.7.1. Radios mínimos

Los radios mínimos en curvatura horizontal se clasifican de acuerdo con la orografía y la velocidad de diseño que son permitidos para los giros de los vehículos en condiciones de flujo libre (DG, 2018).

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127(e_{\max} - f_{\max})}$$

Dónde:

$R_{\min}$  = Radio mínimo

V = Velocidad de diseño

$e_{\max}$  = Peralte máximo asociado a V

$f_{\max}$  = Coeficiente de fricción transversal máximo asociado a V

**Tabla N°12: Radios mínimos y factores de fricción máximos**

Velocidad directriz km/h	e <sub>máx</sub> (%)	Valores Límites de fr	e+f	Radio		Grado de Curvatura
				Calculado (m)	Redondeado (m)	
30	4	0.17	0.21	33.7	35	163.7
40	4	0.17	0.21	60	60	95.49
50	4	0.16	0.2	98.4	100	57.3
60	4	0.15	0.19	149.2	150	38.2
70	4	0.14	0.18	214.3	215	26.65
80	4	0.14	0.18	280	280	20.46
90	4	0.13	0.17	375.2	375	15.28
100	4	0.12	0.16	492.1	490	11.69
110	4	0.11	0.15	635.2	635	9.02
120	4	0.09	0.13	872.2	870	6.59
30	6	0.17	0.23	30.8	30	190.99
40	6	0.17	0.23	54.8	55	104.17
50	6	0.16	0.22	89.5	90	63.66
60	6	0.15	0.21	135	135	42.44
70	6	0.14	0.2	192.9	195	29.38
80	6	0.14	0.2	252	250	22.92
90	6	0.13	0.19	335.7	335	17.1
100	6	0.12	0.18	437.4	435	13.17
110	6	0.11	0.17	560.4	560	10.23
120	6	0.09	0.15	755.9	755	7.59
30	8	0.17	0.25	28.3	30	190.99
40	8	0.17	0.25	50.4	50	114.59
50	8	0.16	0.24	82	80	71.62
60	8	0.15	0.23	123.2	125	45.84
70	8	0.14	0.22	175.4	175	32.74
80	8	0.14	0.22	229.1	230	24.91
90	8	0.13	0.21	303.7	305	18.79
100	8	0.12	0.2	393.7	395	14.51
110	8	0.11	0.19	501.5	500	11.46
120	8	0.09	0.17	667	665	8.62
30	10	0.17	0.27	26.2	25	229.18
40	10	0.17	0.27	46.7	45	127.32
50	10	0.16	0.26	75.7	75	79.39
60	10	0.15	0.25	113.4	115	49.82
70	10	0.14	0.24	160.8	160	35.81
80	10	0.14	0.24	210	210	27.28
90	10	0.13	0.23	277.3	275	20.83
100	10	0.12	0.22	357.9	360	15.92
110	10	0.11	0.21	453.7	455	12.58
120	10	0.09	0.19	596.8	595	9.63
30	12	0.17	0.29	24.4	25	229.16
40	12	0.17	0.29	43.4	45	127.32
50	12	0.16	0.28	70.3	70	81.85
60	12	0.15	0.27	105	105	54.57
70	12	0.14	0.26	148.4	150	38.22
80	12	0.14	0.26	193.8	195	29.38
90	12	0.13	0.25	255.1	255	22.47
100	12	0.12	0.24	328.1	330	17.36
110	12	0.11	0.23	414.2	415	14.81
120	12	0.09	0.21	539.9	540	10.61

Fuente: AASHTO-1994. 3ra Edición

El uso de este límite de control para altas velocidades, y un factor de fricción de alrededor de 0.5 que podría desarrollarse a una baja velocidad como el otro límite, da una curva media o representativa a través del trazado de las observaciones individuales, una relación entre la velocidad directriz (95-percentil) y el factor de fricción lateral que se considera adecuada para diseñar curvas rurales y urbanas de alta velocidad en las intersecciones a nivel.

Para el diseño de las curvas de una intersección es deseable establecer un único radio mínimo para cada velocidad directriz. (Libro Verde 1994. 3a Edición)

**Tabla N°13:** Radios mínimos dependiendo de los peraltes

Velocidad directriz (km/h)	$e_{\text{máx}} 6\%$		$e_{\text{máx}} 8\%$		$e_{\text{máx}} 10\%$	
	Radios mínimos		Radios mínimos		Radios mínimos	
	Deseable (m)	Absoluto (m)	Deseable (m)	Absoluto (m)	Deseable (m)	Absoluto (m)
25	80	20	60	20	50	20
30	120	30	90	30	70	25
40	210	55	155	50	125	50
50	290	90	220	85	175	75
60	395	135	300	120	240	110
70	515	185	385	170	310	155
80	645	250	480	230	685	210
90	785	340	585	305	470	280
100	935	450	700	405	560	265
110	1095	585	820	520	655	470
120	1270	755	950	665	760	595
130	1450	970	1085	845	870	750
140	1640	1235	1230	1065	985	935

**Fuente:** AASHTO-1994. 3ra Edición

### 2.7.1.1 Radios mínimos deseable

Para una determinada VD, a partir del radio mínimo absoluto, al crecer los radios disminuye. Convencionalmente, un primer criterio para fijar radios deseables sería el de

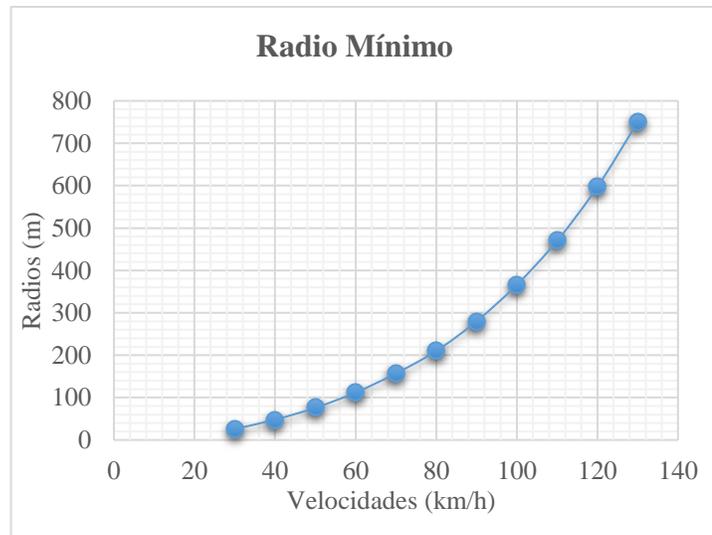
encuadrar en ellos a los que a la velocidad directriz desarrollan una fricción menor que la mitad de la máxima, para esa velocidad directriz. Un segundo criterio sería considerar como deseables los radios que durante la noche permitan iluminar suficientemente a objetos colocados en la calzada de la curva del camino, a una distancia igual a la de frenado. Si se adoptará la distancia de frenado correspondiente a la velocidad directriz, los radios mínimos que cumplirían las condiciones anteriores serían excesivamente grandes para velocidades directrices elevadas.

La suposición de velocidades menores que la directriz en operación nocturna no fue confirmada por la realidad, y suponer distancias de frenado en curva iguales a las calculadas en los alineamientos rectos no es correcto, dado que la fricción longitudinal disponible disminuye por el consumo de parte la fricción total por la fricción lateral en las curvas. (AASHTO-1994. 3ra Edición)

**Tabla N°14:** Radios mínimos deseables

**Gráfica N°2:** Curva de gráfica de radios mínimos

V(km/h)	R <sub>mín</sub>
30	26
40	48
50	76
60	112
70	157
80	210
90	280
100	366
110	470
120	597
130	750



**Fuente:** AASHTO-1994. 3ra Edición

**Tabla N°15:** Radio mínimos absolutos em curvas horizontales

Caminos Colectores-Locales-Desarrollo			
Vp	e <sub>máx</sub>	f	R <sub>mín</sub>
km/h	(%)		(m)
30	7	0.215	25
40	7	0.198	50
50	7	0.182	80
60	7	0.165	120
70	7	0.149	180
80	7	0.132	250
Carreteras-Autopistas Autor rutas-Primarios			
80	8	0.122	250
90	8	0.114	330
100	8	0.105	425
110	8	0.096	540
120	8	0.087	700

**Fuente:** Manual de Diseño Geométrico ABC

### 2.7.2. Peralte

Inclinación transversal de la calzada, tangente la inclinación hace que parte de la aceleración lateral actué perpendicular a la calzada peraltada. Esto se siente como una fuerza hacia abajo por parte de los ocupantes del vehículo.

**Tabla N°16:** Radio mínimos absolutos em curvas horizontales

Velocidad de proyecto km/h	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3	
	A-140 y A-130		A-120, A-110, A-100, A-90, A80 y C-10		C-90, C-80, C-70, C-60, C-50 Y C-40	
	Radio mínimo (m)	Peralte máximo (%)	Radio mínimo (m)	Peralte máximo (%)	Radio mínimo (m)	Peralte máximo (%)
140	1050	8	-	-	-	-
130	850	8	-	-	-	-
120	-	-	700	8	-	-
110	-	-	550	8	-	-
100	-	-	450	8	-	-
90	-	-	350	8	350	7
80	-	-	250	8	265	7
70	-	-	-	-	190	7
60	-	-	-	-	130	7
50	-	-	-	-	85	7
40	-	-	-	-	50	7

Fuente: AASHTO Norma 3.1-1C

### 2.7.2.1. Peralte máximo y mínimo

Para drenar lateralmente la superficie, se da a la calzada en curva una pendiente transversal mínima igual, en valor absoluto, a la de la calzada en recta. Para curvas de radios muy grandes, donde la aceleración centrífuga es muy baja (0.015), la sección curva se trata como recta (bombeo normal). Caso contrario, se peralta la sección curva con la pendiente transversal mínima, bombeo removido.

La pendiente mínima que se utiliza es aquella que permite un adecuado drenaje superficial en los límites tolerables para la operación segura del tránsito: 2% para caminos pavimentados y 3% para las superficies de grava. (AASHTO-1994. 3ra Edición).

**Tabla N°17:** Valores para los elementos de diseño relacionados con la velocidad directriz y la curva horizontal em<sub>ax</sub>=12%

Velocidad Directriz	Velocidad de Marcha	Radio de Curva M <sub>inimo</sub>	Factores de Fricción Lateral Resultante f con Pendiente Transversal Adversa a la:	
km/h	(km/h)	(m)	Velocidad Directriz	Velocidad de Marcha
30	30	450	0.031	0.031
40	40	800	0.031	0.031
50	47	1110	0.033	0.031
60	55	1520	0.034	0.031
70	63	2000	0.034	0.031
80	70	2480	0.035	0.031
90	77	3010	0.036	0.031
100	85	3680	0.036	0.03
110	91	4240	0.037	0.03
120	98	4960	0.038	0.03

**Fuente:** AASHTO-1994. 3ra Edición

**Tabla N°18:** Condiciones en que se desarrolla la ruta

e máx	Condiciones en que se desarrolla la ruta
10%	En zonas rurales montañosas, con heladas o nevadas poco frecuentes
8%	En zonas rurales llanas, con heladas o nevadas poco frecuente
6%	En zonas próximas a la urbanas, con vehículos que operan a bajas velocidades o en zonas rurales, llanas o montañosas, sujetas a heladas o nevadas frecuentes.

**Fuente:** AASHTO-1994. 3ra Edición

**Tabla N°19: AASHTO 2011- Distribución del peralte,  $e_{máx}$  12%**

e %	Vd=20	Vd=30	Vd=40	Vd=50	Vd=60	Vd=70	Vd=80	Vd=90	Vd=100	Vd=110	Vd=120	Vd=130
	km/h	km/h	km/h	km/h								
	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)								
NC	210	459	804	1130	1540	2030	2510	3040	3720	4280	4990	5440
RC	155	338	594	835	1150	1510	1870	2270	2770	3190	4740	4080
2.2	139	306	536	755	1040	1360	1690	2050	2510	2900	3390	3710
2.4	127	278	488	988	942	1250	1550	1880	2300	2650	3110	3400
2.6	116	255	448	631	865	1140	1420	1730	2110	2440	2860	3140
2.8	107	235	413	583	799	1060	1320	1600	1960	2260	2660	2910
3	99	218	382	541	742	980	1220	1490	1820	2110	2480	2720
3.2	92	202	356	504	692	914	1140	1390	1700	1970	2320	2550
3.4	86	189	332	472	648	856	1070	1300	1600	1850	2180	2400
3.6	81	177	312	443	609	805	1010	1230	1510	1750	2060	2270
3.8	76	166	293	417	573	759	947	1160	1420	1650	1950	2150
4	71	157	276	393	542	718	896	1100	1350	1560	1850	2040
4.2	67	148	261	372	513	680	850	1040	1280	1490	1760	1940
4.4	64	140	247	353	487	646	808	988	1220	1420	1680	1850
4.6	60	132	234	335	486	615	770	941	1160	1350	1600	1770
4.8	57	126	222	319	441	586	734	899	1110	1290	1530	1700
5	54	119	211	304	412	560	702	860	1060	1240	1470	1630
5.2	52	114	201	290	402	535	672	824	1020	1190	1410	1570
5.4	49	108	192	277	384	513	644	790	993	1140	1360	1510
5.6	47	103	183	265	368	492	618	759	936	1100	1310	1460
5.8	45	98	175	254	353	472	594	730	900	1060	1260	1410
6	43	94	167	244	339	454	572	703	867	1020	1220	1360
6.2	41	90	159	234	326	436	551	678	837	981	1180	1310
6.4	39	86	153	225	313	420	531	654	808	948	1140	1270
6.6	37	82	146	216	302	405	512	632	781	917	1100	1230
6.8	35	78	140	208	290	391	494	611	755	888	1070	1200
7	34	75	134	200	280	377	478	591	731	860	1040	1160
7.2	32	71	128	192	270	364	462	575	708	834	1010	1130
7.4	30	68	122	185	260	352	447	554	686	810	974	1100
7.6	29	65	117	178	251	340	433	537	666	786	947	1070
7.8	27	61	112	172	243	329	420	521	646	764	921	1040
8	26	58	107	165	235	319	407	506	628	743	897	1020
8.2	24	55	102	159	227	309	395	491	610	723	874	989
8.4	23	52	97	154	219	299	383	477	593	704	852	965
8.6	22	50	93	148	212	290	372	464	577	686	8321	942
8.8	20	47	88	142	205	281	361	451	562	668	811	921
9	19	45	85	137	198	273	351	439	547	652	792	900
9.2	18	43	81	132	191	264	341	428	533	636	774	880
9.4	18	41	77	127	185	256	332	416	520	621	756	861
9.6	17	39	74	123	179	249	323	406	507	606	739	843
9.8	16	37	71	118	173	241	314	395	494	592	723	826
10	15	36	68	114	167	234	305	385	482	579	708	809
10.2	14	34	65	110	161	226	296	375	471	566	693	793
10.4	14	33	62	105	155	219	288	365	459	553	679	778
10.6	13	31	59	101	150	212	279	355	448	541	665	763
10.8	12	30	57	97	144	204	270	345	436	529	652	749
11	12	28	54	93	139	197	261	335	423	516	639	735
11.2	11	27	51	89	133	189	252	324	411	503	626	722
11.4	11	25	49	85	127	182	242	312	397	488	613	709
11.6	10	24	46	80	120	173	232	300	382	472	598	697
11.8	9	22	43	75	113	163	219	285	364	453	579	685
12	7	18	36	64	98	143	194	255	328	414	540	665

Fuente: AASHTO-1994. 3ra Edición

**Tabla N°20: AASHTO 2011- Distribución del peralte, emáx 10%**

e %	Vd=20	Vd=30	Vd=40	Vd=50	Vd=60	Vd=70	Vd=80	Vd=90	Vd=100	Vd=110	Vd=120	Vd=130
	km/h	km/h	km/h	km/h								
	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)								
NC	197	454	790	1110	1520	2000	2480	3010	3690	4250	4960	5410
RC	145	333	580	815	1120	1480	1840	2230	2740	3160	3700	4050
2.2	130	300	522	735	1020	1340	1660	2020	2480	2860	3360	3680
2.4	118	272	474	669	920	1220	1520	1840	2260	2620	3070	3370
2.6	108	249	434	612	844	1120	1390	1700	2080	2410	2830	3110
2.8	99	229	399	564	778	1030	1290	1570	1920	2230	2620	2880
3	91	211	368	522	720	952	1190	1460	1970	2070	2440	2690
3.2	85	196	342	485	6700	887	1110	1360	1670	1940	2280	2520
3.4	79	182	318	453	626	829	1040	1270	1560	1820	2140	2370
3.6	73	170	297	424	586	777	974	1200	1470	1710	2020	2230
3.8	68	159	278	398	551	731	917	1130	1390	1610	1910	2120
4	64	149	261	374	519	690	866	1060	1310	1530	1810	2010
4.2	60	140	245	353	490	652	820	1010	1240	1450	1720	1910
4.4	56	132	231	333	464	617	777	953	1180	1380	1640	1820
4.6	53	124	218	315	439	586	738	907	1120	1310	1560	1740
4.8	50	117	206	299	417	557	703	864	1070	1250	1490	1670
5	47	111	194	283	396	530	670	824	1020	1200	1430	1600
5.2	44	104	184	269	377	505	640	788	975	1150	1370	1540
5.4	41	98	174	256	359	482	611	754	934	1100	1320	1480
5.6	39	93	164	243	343	461	585	723	896	1060	1270	1420
5.8	36	88	155	232	327	441	56	693	860	1020	1220	1370
6	33	82	146	221	312	422	538	666	827	976	1180	1330
6.2	31	77	138	210	298	404	516	640	795	941	1140	1280
6.4	28	72	130	200	285	387	496	616	766	907	1100	1240
6.6	26	67	121	191	273	372	476	593	738	876	1060	1200
6.8	24	62	114	181	261	357	458	571	712	746	1030	1170
7	22	58	107	172	249	342	441	551	688	819	993	1130
7.2	21	55	101	164	238	329	425	532	664	792	963	1100
7.4	20	51	95	156	228	315	409	513	642	767	934	1070
7.6	18	48	90	148	218	303	394	496	621	743	907	1040
7.8	17	45	85	141	208	291	380	479	601	721	882	1010
8	16	43	80	135	199	279	366	463	582	699	857	981
8.2	15	40	76	128	190	68	353	448	564	679	834	956
8.4	14	38	72	122	182	257	339	432	546	660	812	932
8.6	14	36	68	116	174	246	326	417	528	641	790	910
8.8	13	34	64	110	166	236	313	4022	509	621	770	888
9	12	32	61	105	158	225	300	386	491	602	751	867
9.2	11	30	57	99	150	215	287	371	472	582	731	847
9.4	11	28	54	94	142	204	274	354	453	560	709	828
9.6	10	26	50	88	133	192	259	337	432	537	685	809
9.8	9	24	46	81	124	179	242	316	407	509	656	766
10	7	19	38	68	105	154	210	277	358	454	597	739

Fuente: AASHTO-1994. 3ra Edición

**Tabla N°21: AASHTO 2011- Distribución del peralte, emáx 8%**

e %	Vd=20	Vd=30	Vd=40	Vd=50	Vd=60	Vd=70	Vd=80	Vd=90	Vd=100	Vd=110	Vd=120	Vd=130
	km/h	km/h	km/h	km/h								
	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)								
NC	197	454	790	1110	1520	2000	2480	3010	3690	4250	4960	5410
RC	145	333	580	815	1120	1480	1840	2230	2740	3160	3700	4050
2.2	130	300	522	735	1020	1340	1660	2020	2480	2860	3360	3680
2.4	118	272	474	669	920	1220	1520	1840	2260	2620	3070	3370
2.6	108	249	434	612	844	1120	1390	1700	2080	2410	2830	3110
2.8	99	229	399	564	778	1030	1290	1570	1920	2230	2620	2880
3	91	211	368	522	720	952	1190	1460	1970	2070	2440	2690
3.2	85	196	342	485	6700	887	1110	1360	1670	1940	2280	2520
3.4	79	182	318	453	626	829	1040	1270	1560	1820	2140	2370
3.6	73	170	297	424	586	777	974	1200	1470	1710	2020	2230
3.8	68	159	278	398	551	731	917	1130	1390	1610	1910	2120
4	64	149	261	374	519	690	866	1060	1310	1530	1810	2010
4.2	60	140	245	353	490	652	820	1010	1240	1450	1720	1910
4.4	56	132	231	333	464	617	777	953	1180	1380	1640	1820
4.6	53	124	218	315	439	586	738	907	1120	1310	1560	1740
4.8	50	117	206	299	417	557	703	864	1070	1250	1490	1670
5	47	111	194	283	396	530	670	824	1020	1200	1430	1600
5.2	44	104	184	269	377	505	640	788	975	1150	1370	1540
5.4	41	98	174	256	359	482	611	754	934	1100	1320	1480
5.6	39	93	164	243	343	461	585	723	896	1060	1270	1420
5.8	36	88	155	232	327	441	56	693	860	1020	1220	1370
6	33	82	146	221	312	422	538	666	827	976	1180	1330
6.2	31	77	138	210	298	404	516	640	795	941	1140	1280
6.4	28	72	130	200	285	387	496	616	766	907	1100	1240
6.6	26	67	121	191	273	372	476	593	738	876	1060	1200
6.8	24	62	114	181	261	357	458	571	712	746	1030	1170
7	22	58	107	172	249	342	441	551	688	819	993	1130
7.2	21	55	101	164	238	329	425	532	664	792	963	1100
7.4	20	51	95	156	228	315	409	513	642	767	934	1070
7.6	18	48	90	148	218	303	394	496	621	743	907	1040
7.8	17	45	85	141	208	291	380	479	601	721	882	1010
8	16	43	80	135	199	279	366	463	582	699	857	981
8.2	15	40	76	128	190	68	353	448	564	679	834	956
8.4	14	38	72	122	182	257	339	432	546	660	812	932
8.6	14	36	68	116	174	246	326	417	528	641	790	910
8.8	13	34	64	110	166	236	313	4022	509	621	770	888
9	12	32	61	105	158	225	300	386	491	602	751	867
9.2	11	30	57	99	150	215	287	371	472	582	731	847
9.4	11	28	54	94	142	204	274	354	453	560	709	828
9.6	10	26	50	88	133	192	259	337	432	537	685	809
9.8	9	24	46	81	124	179	242	316	407	509	656	766
10	7	19	38	68	105	154	210	277	358	454	597	739

**Fuente: AASHTO-1994. 3ra Edición**

**Tabla N°22: AASHTO 2011- Distribución del peralte, emáx 6%**

e %	Vd=20	Vd=30	Vd=40	Vd=50	Vd=60	Vd=70	Vd=80	Vd=90	Vd=100	Vd=110	Vd=120	Vd=130
	km/h	km/h	km/h	km/h								
	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)								
NC	194	421	738	1050	1440	1910	2360	2880	3510	4060	4770	5240
RC	138	299	525	750	1030	1380	1710	2090	2560	2970	3510	3880
2.2	122	265	465	668	919	1230	1530	1880	2300	2670	3160	3500
2.4	109	236	415	599	825	1110	1380	1700	2080	2420	2870	3190
2.6	97	212	372	540	746	1000	1260	1540	1890	2210	2630	2930
2.8	87	190	334	488	676	910	1150	1410	1730	2020	2420	2700
3	78	170	300	443	615	831	1050	1290	1550	1870	2240	2510
3.2	70	152	269	402	561	761	959	1190	1470	17630	2080	2330
3.4	61	133	239	364	511	697	885	1100	1360	1600	1940	2180
3.6	51	113	206	329	465	640	813	1020	1260	1490	1810	2050
3.8	42	96	177	294	422	586	749	939	1170	1390	1700	1930
4	36	82	155	261	380	535	690	870	1090	100	1590	1820
4.2	31	72	136	234	343	488	635	806	1010	1220	1500	1820
4.4	27	63	121	210	311	446	584	746	938	1140	1410	1630
4.6	24	56	108	190	283	408	538	692	873	1070	1330	140
4.8	21	50	97	172	258	374	496	641	812	997	1260	1470
5	19	45	88	156	235	343	457	594	755	933	1190	1400
5.2	17	40	79	142	214	315	421	549	701	871	1120	1330
5.4	15	36	71	128	195	287	386	506	648	810	1060	1260
5.6	13	32	63	115	176	260	351	463	594	747	980	1190
5.8	11	28	56	102	156	232	315	416	537	679	900	1110
6	8	21	43	79	123	184	252	336	437	560	756	951

**Fuente: AASHTO-1994. 3ra Edición**

**Tabla N°23: AASHTO 2011- Distribución del peralte, emáx 4%**

e %	Vd=20	Vd=30	Vd=40	Vd=50	Vd=60	Vd=70	Vd=80	Vd=90	Vd=100
	km/h								
	R (m)								
NC	163	371	679	951	1310	1740	2170	2640	3250
RC	102	237	441	632	877	1180	1490	1830	2260
2.2	75	187	363	534	749	1020	1290	1590	1980
2.4	51	132	273	435	626	865	1110	1390	1730
2.6	38	99	209	345	508	720	944	1200	1510
2.8	30	79	167	283	422	605	802	1030	1320
3	24	64	137	236	356	516	690	893	1150
3.2	20	54	114	199	303	443	597	779	1010
3.4	17	45	96	170	260	382	518	680	879
3.6	14	38	81	144	222	329	448	591	767
3.8	12	31	67	121	187	278	381	505	658
4	8	22	47	86	135	203	280	375	492

**Fuente:** AASHTO-1994. 3ra Edición

**Tabla N°24: Valores máximos para el peralte y la fricción transversal**

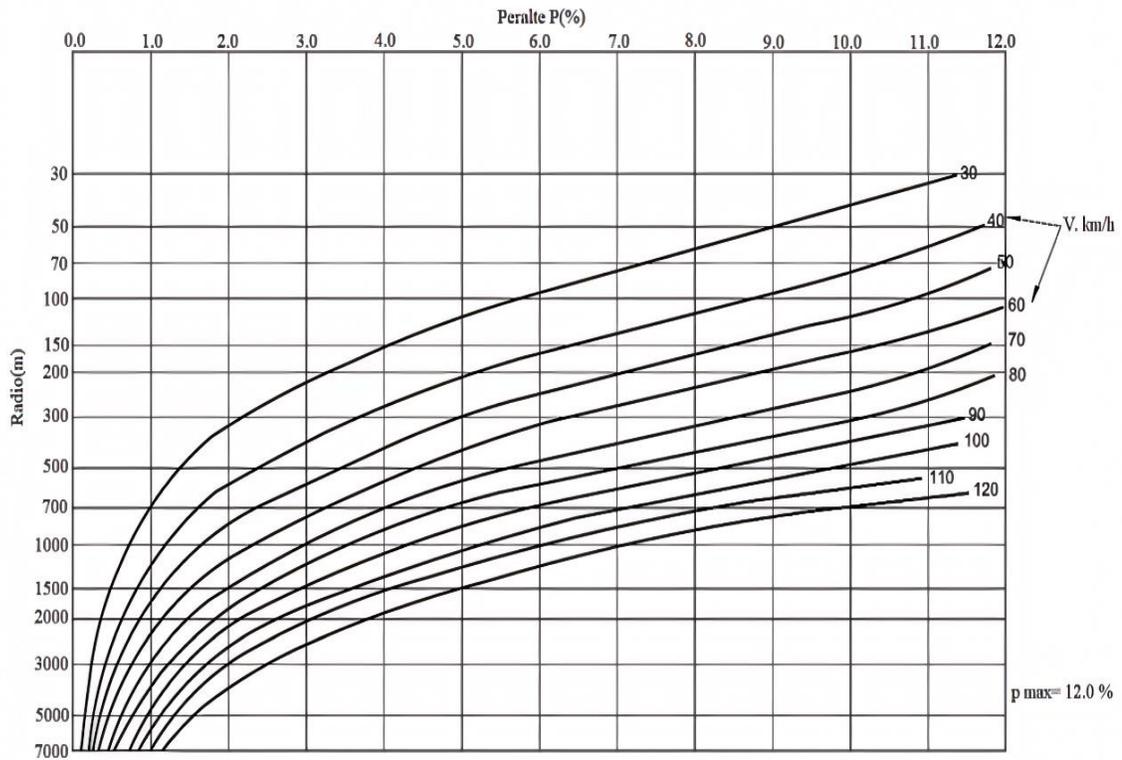
	e máx	f
Caminos Vp 30 a 80 km/h	7%	$0.265 - V/602.4$
Carreteras Vp 80 a 120 km/h	8%	$0.193 - V/1134$

**Fuente:** Manual de Diseño ABC

### 2.7.2.2 Peralte para una curva horizontal

El peralte para una curva está relacionado en función al radio y velocidad de diseño

**Imagen N°4: Peralte en zona rural (Tipo 3 o 4)**



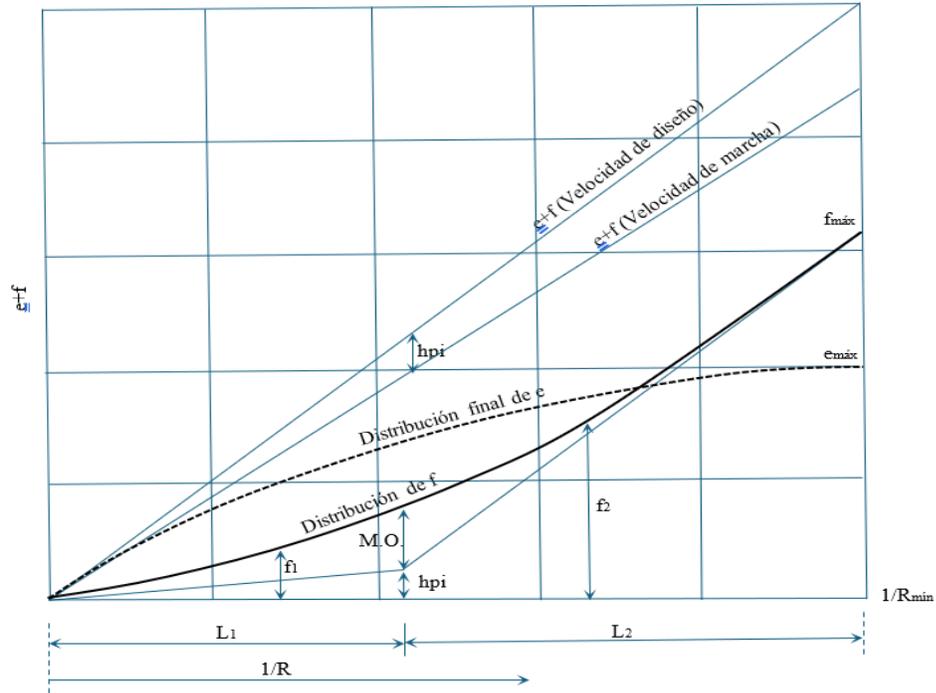
**Fuente:** Manual de carreteras (DG, 2018)

### 2.7.2.3. Procedimiento para desarrollar la distribución final de e

Los factores de fricción lateral mostrados por la línea llena representan los máximos valores permisibles de  $f$  para cada velocidad directriz. Cuando estos valores se usan en conjunción con el recomendado método 5, determinan las curvas de distribución de  $f$  para varias velocidades.

Al restar estos valores  $f$  calculados del valor calculado  $e+f$  a la velocidad de diseño, se obtiene la distribución final de  $e$ .

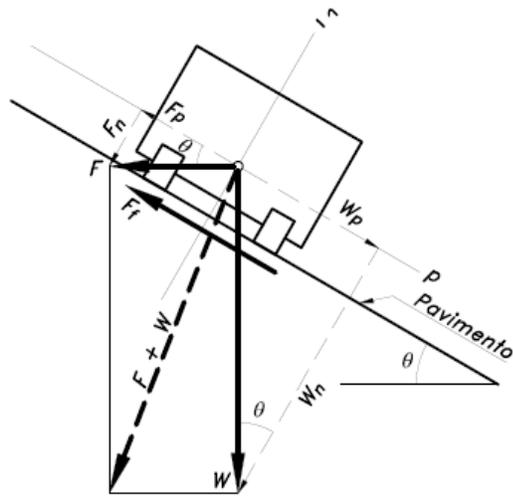
**Grafica N°3:** Procedimiento para desarrollar la distribución final del peralte



**Fuente:** AASHTO-1994. 3ra Edición

**2.7.3. Equilibrio dinámico**

**Imagen N° 5:** Gráfica del equilibrio dinámico



**Fuente:** Jamen C. Colombia

El principal criterio de proyecto de una curva horizontal es la oposición a la fuerza centrífuga desarrollada cuando el vehículo se mueve en una trayectoria curva.

Las fuerzas que actúan sobre un vehículo circulando a velocidad  $V$  en una curva horizontal de radio  $R$ , con calzada inclinada respecto al plano horizontal, son:

- Fuerza centrífuga.
- Fricción transversal.
- Peso.

### 2.7.3.1. Fricción Transversal

El coeficiente de fricción transversal depende de una serie de factores la velocidad de vehículo, el tipo de vehículo, condición y peralte de la superficie del camino, el tipo y estado de los neumáticos. Para la AVN'10 el coeficiente que utiliza es el de fricción transversal máxima húmeda ( $F_{m\acute{a}x}$ ) es el desarrollo en condiciones de inminente deslizamiento lateral del vehículo con un razonable margen de seguridad.

La expresión de  $F_{t_{m\acute{a}x}}$  que propone la AVN'10 es la de AASTHO 94:

$$\text{Para } V \leq 80 \text{ Km/h; } F_{t_{m\acute{a}x}}=0.188-3V/5000$$

$$\text{Para } V > 80 \text{ Km/h; } F_{t_{m\acute{a}x}}=0.24-V/800$$

La expresión de  $F_{t_{m\acute{a}x}}$  que propone la AVN'10:

$$F_t= 0.196-0.0007V$$

**Fuente:** AASHTO-1994. 3ra Edición

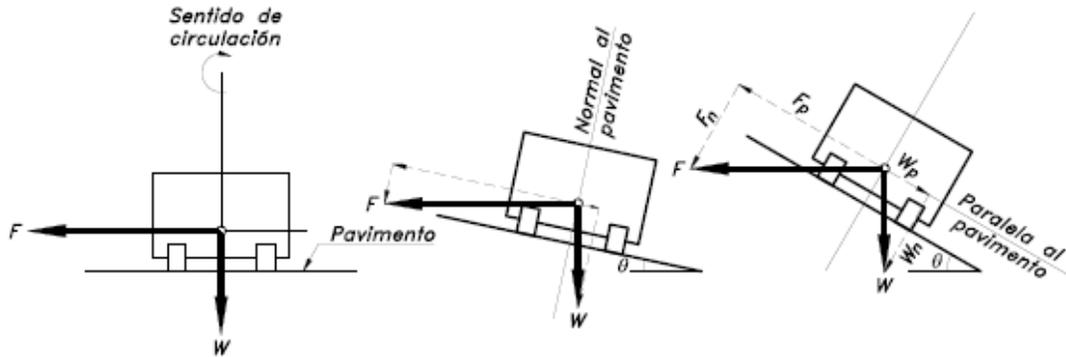
#### 2.7.3.1.1 Coeficientes de fricción transversal máximos, $f_r$ máx

**Tabla N°25:** Valores máximos para el peralte y la fricción transversal

Velocidad específica	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Coeficiente de fricción transversal	0.35	0.28	0.23	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.09	0.08

**Fuente:** James C. Colombia

**Imagen N°6:** Efecto de la inclinación de la calzada sobre un vehículo



**Fuente:** James C. Colombia

Caso 1:  $W_p=0$

La calzada es horizontal no hay inclinación transversal y  $F_p$  alcanza su valor máximo  $F$ .

Caso 2:  $W_p=F_p$

En este caso, la fuerza resultante  $F+W$  es perpendicular a la superficie del pavimento. Por lo tanto, la fuerza centrífuga  $F$  no es sentida en el vehículo. La velocidad a la cual se produce este efecto se le llama velocidad de equilibrio.

Caso 3:  $W_p < F_p$

En este caso, la fuerza resultante  $F+W$  actúa en el sentido de la fuerza centrífuga  $F$ .

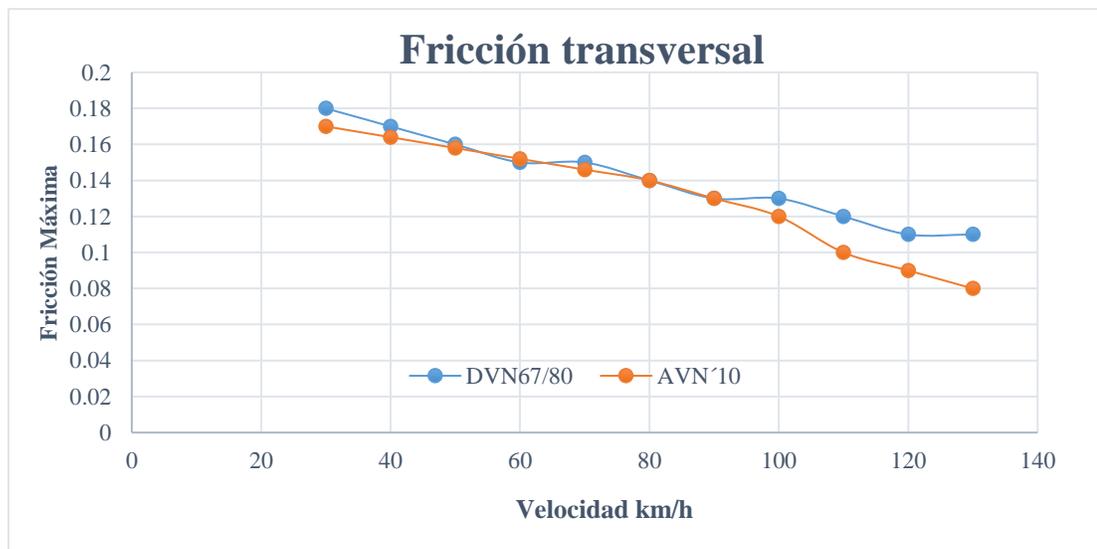
Por lo tanto, el vehículo tiende a deslizarse hacia el exterior de la curva, pues se origina un momento en sentido contrario al movimiento de las agujas del reloj. Volcamiento de este caso es típico en vehículos livianos. (James C. Colombia).

**Tabla N°26:** Comparativamente los valores que se obtienen de ambas normas se observan

	AVN'10	DVN67/80
V (Km/h)	ftmáx (m)	ftmáx (m)
30	0.17	0.18
40	0.164	0.17
50	0.158	0.16
60	0.152	0.15
70	0.146	0.15
80	0.14	0.14
90	0.13	0.13
100	0.12	0.13
110	0.1	0.12
120	0.09	0.11
130	0.08	0.11

**Fuente:** Ing. RUHLE, 1967

**Grafica N°4:** Gráfica del comportamiento de la fricción transversal.



**Fuente:** Ing. RUHLE, 1967

### 2.7.3.2. Fricción Transversal Máxima

La fricción permite tomar curvas, frenar y transmitir las fuerzas de aceleración desde los neumáticos hacia el pavimento en lugar de utilizar el coeficiente de fricción de la dinámica, los ingenieros viales utilizan una relación de fuerzas laterales que el pavimento pueda resistir, comúnmente conocida como factor de fricción.

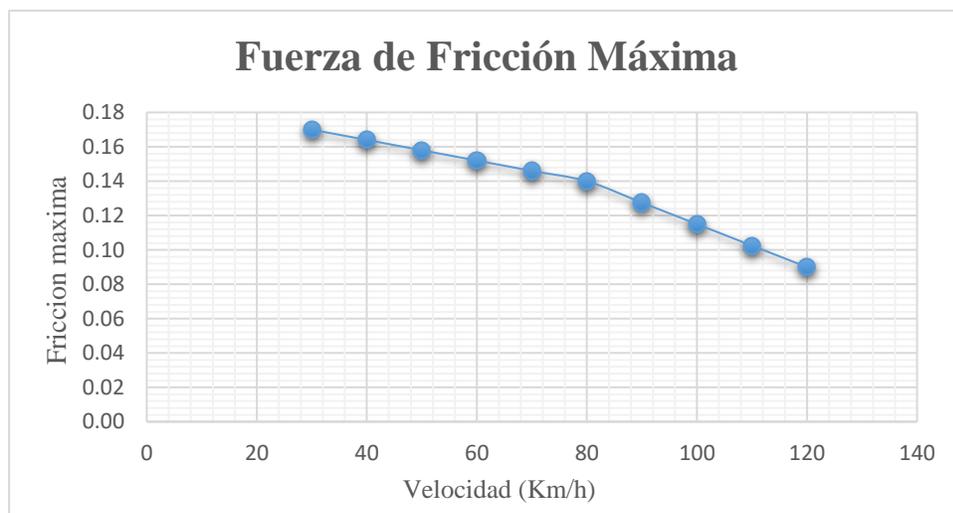
El factor de fricción para contrarrestar las fuerzas centrífugas se reduce en un vehículo al frenar o acelerar el factor de fricción también depende de numerosas variables: velocidad, peso y suspensión del vehículo, estado de los neumáticos, pavimento y cualquier sustancia entre el neumático y pavimento. (Libro Verde 1994. 3a Edición)

$$f_{tm\acute{a}x} = 0.188 - 3V/5000 \quad V \leq 80\text{Km/h}$$

$$f_{tm\acute{a}x} = 0.24 - V/800 \quad V > 80\text{Km/h}$$

**Fuente:** AASHTO, 1994. 3a Edición

**Gráfica N°5:** Fuerza de fricción

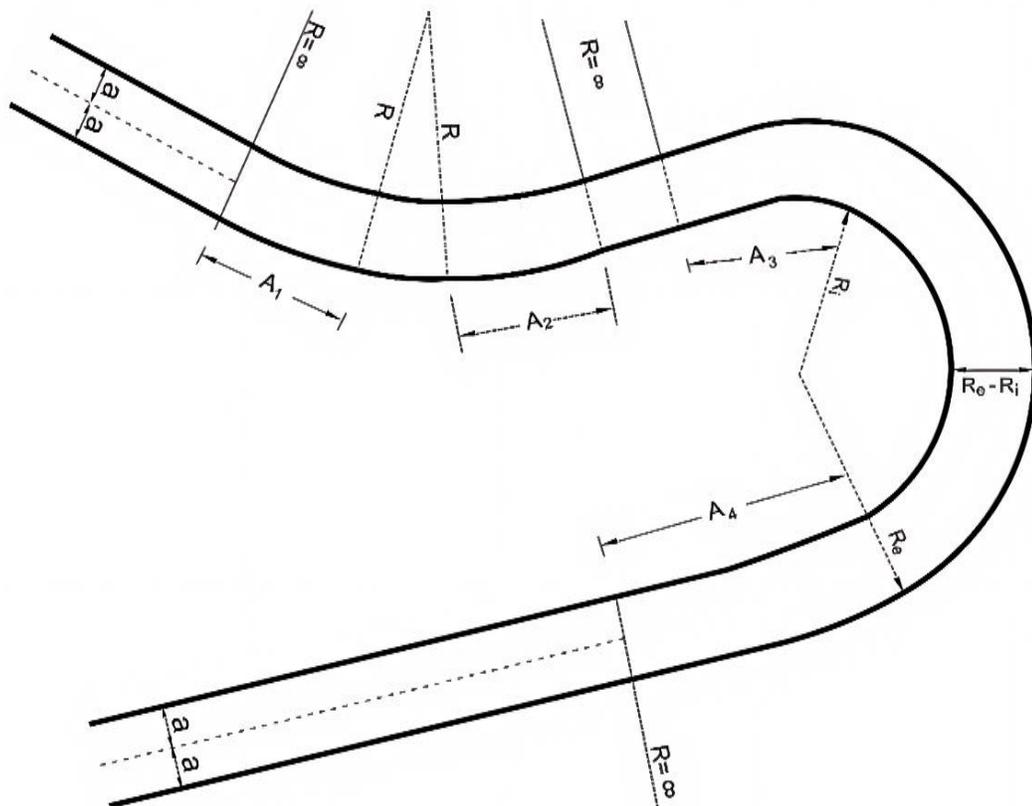


**Fuente:** AASHTO, 1994. 3a Edición

#### 2.7.4. Curvas en vuelta

Las curvas en vuelta son las que se proyectan sobre orografía accidentado y escarpados con pendientes pronunciadas, se tomara en cuenta las pendientes máximas, son las que no se pueden proyectar trazos como alternativa, el radio interior mínimo es 20 m, los alineamientos pueden ser paralelas, en la figura 6 se muestra la curva de vuelta está definido por dos radios o arcos circulares como el radio interior ( $R_i$ ) y radio exterior ( $R_e$ ) (DG, 2018).

**Imagen N°7:** Alineamiento de salida y entrada en curva de vuelta



**Fuente:** Manual de carreteras, (DG, 2018).

En la tabla 8 se muestra los radios de interior y exterior ( $R_i$  y  $R_e$ ) para tipos de vehículo T2S2 C2, C2, C2 + C2 (DG, 2018).

T2S2 C2: Un camión semirremolque

C2: Un camión de 2 ejes puede describir la curva simultáneamente con un vehículo ligero (automóvil o similar)

C2+C2: Dos camiones de dos ejes pueden describir la curva simultáneamente

**Tabla N°27:** Radio exterior mínimo correspondiente a un radio interior adoptado

<b>Radio interior (m)</b>	<b>Radio exterior mínimo</b>	<b>R (m) según maniobras previstas</b>	
5	T2S2	C2	C2+C2
6	14	15.75	17.5
7	14.5	16.5	18.25
8	15.25	17.25	19
10	16.75	18.75	20.5
12	18.25	220.5	22.25
15	21	23.25	24.75
20	26	28	29.25

**Fuente:** Manual de carreteras, (DG, 2018).

-El radio interior de 8m, representa un mínimo normal.

-El radio interior de 6m, representa un mínimo absoluto y sólo podrá ser usado en forma excepcional.

### **2.7.5. Anchos de calzada**

El ancho de calzada o superficie de rodadura varía de acuerdo con el tráfico vial, tipo orografía, velocidad de diseño y la clasificación de la carretera (DG, 2018).

**Tabla N°28:** Anchos mínimos de calzada en tangente

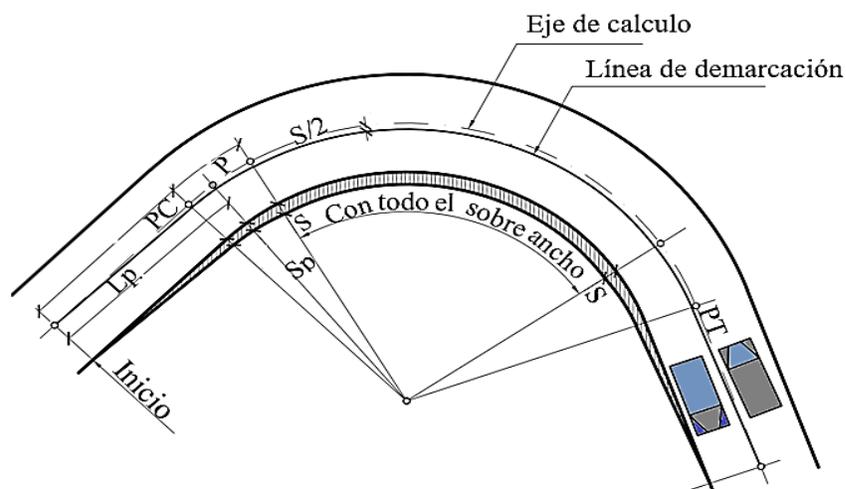
Clasificación	Carretera				Carretera				Carretera			
Tráfico Vehicular/Día	4-2.001				2-400				<400			
Tipo Orografía	Primera Clase				Segunda clase				Tercera Clase			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
30 km/h	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	6	6
40 km/h	--	--	--	--	--	--	--	6.6	6.6	6.6	6	--
50 km/h	--	--	7.2	7.2	--	--	6.6	6.6	6.6	6.6	6	--
60 km/h	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	6.6	6.6	6.6	6.6	--	--
70 km/h	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	6.6	--	6.6	6.6	--	--
80 km/h	7.2	7.2	7.2	--	7.2	7.2	--	--	6.6	6.6	--	--

**Fuente:** Manual de carreteras (DG, 2018)

### 2.7.5.1. Sobreancho

El sobreancho es el ancho que se adicional de la superficie de rodadura de la carretera en las en curvas, para que el vehículo permanezca en el carril del tramo de trayectoria ver la figura 7, para calcular el sobreancho se requiere las longitudes del tipo vehículo que se tomó para el diseño (DG, 2018).

**Imagen N°8:** Sobre ancho en curvas



**Fuente:** Diseño geométrico de carreteras (Cárdenas, 2013).

El sobreebanco variará en función al tipo de vehículo, radio de curvatura circular, velocidad de diseño y el número de carriles, se calculará con la siguiente fórmula:

$$Sa = n \left( R - \sqrt{R^2 - L^2} \right) + \frac{V}{10\sqrt{R}}$$

Donde:

Sa = Sobre ancho (m)

n = Número de carriles

R= Radio de curvatura circular (m)

L = Distancia entre eje posterior y parte frontal (m)

V = Velocidad de diseño (km/h)

#### **2.7.6. Clasificación por tipo de vehículo**

Expresa, en porcentaje, la participación que le corresponde en el IMDA a las diferentes categorías de vehículos, que acorde el reglamento nacional de vehículos, son las siguientes:

➤ **Categoría L:** Vehículos automotores con menos de cuatro ruedas

L1= Vehículos de dos ruedas, de hasta 50 cm<sup>3</sup> y velocidad máxima de 50 km/h.

L2= Vehículos de tres ruedas, de hasta 50 cm<sup>3</sup> y velocidad máxima de 50 km/h.

L3= Vehículos de dos ruedas, de más de 50 cm<sup>3</sup> y velocidad mayor de 50 km/h.

L4= Vehículos de tres ruedas asimétricas al eje longitudinal del vehículo, de más de 50 cm<sup>3</sup> o una velocidad mayor de 50 km/h.

L5= Vehículos de tres ruedas simétricas al eje longitudinal del vehículo, de más de 50 cm<sup>3</sup> o velocidad mayor a 50 km/h y cuyo peso bruto vehicular no exceda de una tonelada.

(DG, 2018)

➤ **Categoría M:** Vehículos automotores de cuatro ruedas o más diseñadas y construidos para el transporte de pasajeros.

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

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

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

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

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

Clase II: Vehículos construidos principales para el transporte de pasajeros sentados y también diseñados para permitir el transporte de pasajeros de pie en el pasadizo y en un área que no excede el espacio provisto para dos asientos dobles.

Clase III: Vehículos construidos exclusivamente para el transporte de pasajeros sentados. (DG, 2018)

➤ **Categoría N:** Vehículos automotores de cuatro ruedas o más diseñados y construidos para el transporte de mercancía.

N1: Vehículos de peso bruto vehicular de 3.5 toneladas o menos.

N2: Vehículos de peso bruto vehicular mayor a 3.5 toneladas hasta 12 toneladas.

N3: Vehículos de peso bruto vehicular mayor a 12 toneladas. (DG, 2018)

➤ **Categoría O:** Remolques (incluidos semirremolques)

O1: Remolques de peso bruto vehicular de 0.75 toneladas o menos.

O2: Remolques de peso bruto vehicular de más 0.75 toneladas hasta 3.5 toneladas.

O3: Remolques de peso bruto vehicular de más de 3.5 toneladas hasta 10 toneladas.

O4: Remolques de peso bruto vehicular de más de 10 toneladas. (DG, 2018)

➤ **Categoría S:** Adicionalmente, los vehículos de las categorías M, N u O para el transporte de pasajeros o mercancías que realizan una función específica, para la cual requieren carrocerías y equipos especiales, se clasifican en:

SA: Casas rodantes

SB: Vehículos blindados para el transporte de valores

SC: Ambulancias

SD: Vehículos funerarios (DG, 2018)

### **2.7.7. Radar**

El radar es un acrónimo que significa para la detección de radio y van (RADAR). utiliza ondas de radio para rebotar en un objeto distante como un vehículo por el tiempo que tardan las señales a volver (Arteaga & Ortega, 2015).

### **Medidores con el principio Doppler**

Los principios Doppler envían señal hacia un objeto en movimiento, el cambio de frecuencia entre la señal transmitida y la señal reflejada es proporcional a la velocidad del vehículo en movimiento, algunos equipos que funcionan bajo el principio Doppler son las pistolas radar que envían una señal de radio, y luego recibe la misma señal que se ha reflejado en un blanco (Arteaga & Ortega, 2015).

### **2.7.8. Pistola radar**

El instrumento mide la diferencia entre la frecuencia de las microondas señal transmitida por la pistola radar y la de la señal reflejada por el vehículo, que luego es derivada a velocidad en kilómetros por hora, la pistola radar operan en las bandas X, K, Ka, banda IR (infrarroja), la ventaja de usar estos dispositivos es que si se ubican en una buena posición en la que el aparato no sea percibido por los conductores se reduce el cambio del comportamiento de estos, además, lo importante de una pistola radar es su bajo precio y su maniobrabilidad (Arteaga & Ortega, 2015).

**Imagen N°9:** La pistola radar bushnell



**Fuente:** imagen de Google

#### **2.7.8.1 Especificaciones referenciales**

- Rendimiento de la velocidad: pelota: 10 a 110 MPH a 90 pies / 16-177 KPH a 27 metros
- Vehículos : 10-200 MPH a 1.500 Pies / 16-322 KPH a 457 metros
- Precisión: +/- 1 MPH
- Tipos de pila: C (2)
- Tiempo de funcionamiento: hasta 20 horas
- Gama de temperatura de funcionamiento : 32-104 F / 0-40 C

**Fuente:** Edith Cartagena Quispe-2022

#### **2.7.8.2. El funcionamiento de la pistola radar de medición de velocidades**

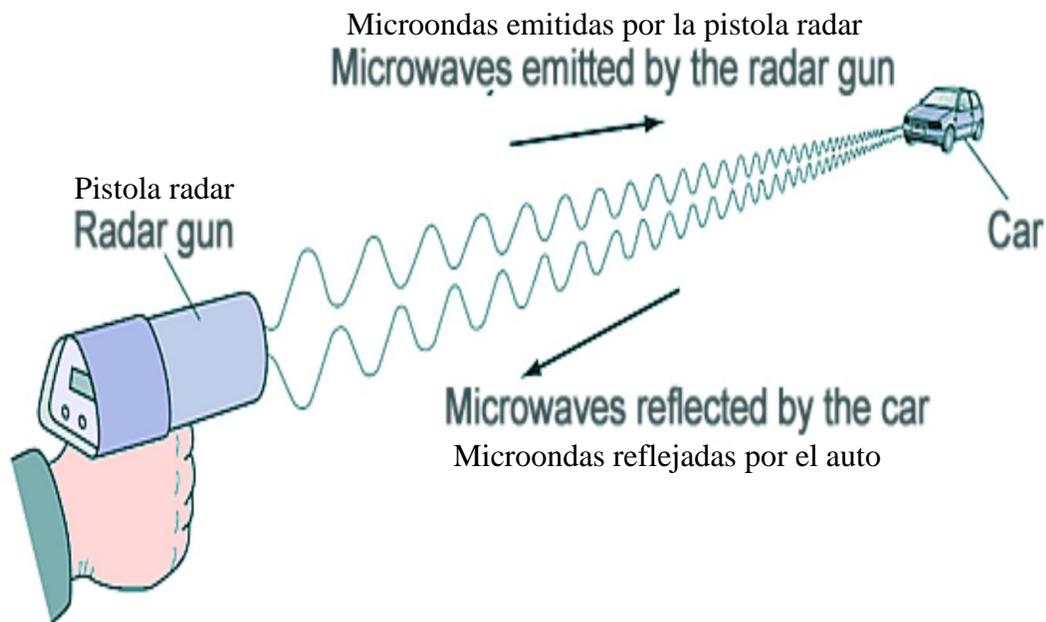
Los detectores de velocidad de radar hacen rebotar una radiación de microondas sobre el vehículo en movimiento y detectan las ondas reflejadas, estas ondas están desplazadas en frecuencia por el efecto Doppler, y la frecuencia de batido entre las ondas dirigidas y

reflejadas, proporcionan una medida de la velocidad del vehículo ver la figura 9 y10 (Arteaga & Ortega, 2015).

Como funciona:

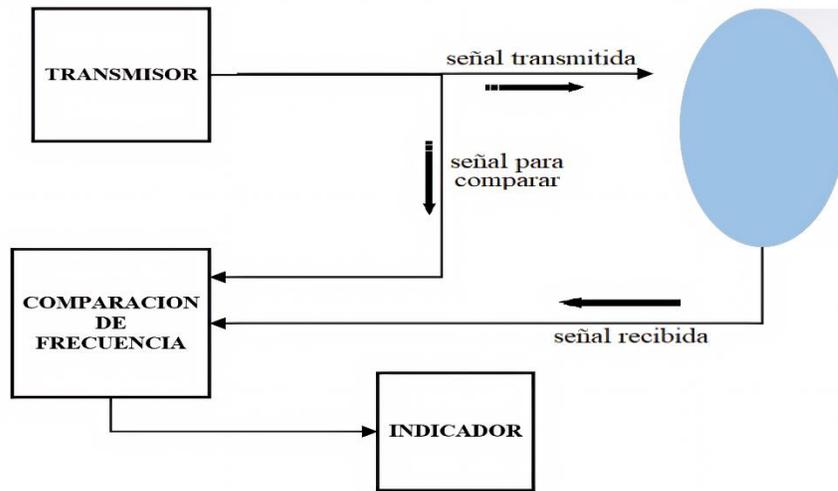
- Transmisor o radio de frecuencias.
- Un receptor y Comparación de frecuencias de la misma banda.
- Una pantalla que indica la velocidad estimada de vehículos que se aproxima.
- Una antena transmisora receptora con reflector parabólico.

**Imagen N°10:** Microondas emitidas por el vehículo vs pistola radar



**Fuente:** <https://www.cyberphysics.co.uk/Q&A/KS4/waves/A2.html>

**Imagen N°11: Funcionamiento de la pistola Radar**



**Fuente:** Google

Funciona de la siguiente manera la señal producida por el transmisor es enfocada por (Tara) y regresa a la antena y estas serán simplificadas en el receptor, en el comparador se compara la muestra de señal transmitida si ambas son idénticas en cuanto a su frecuencia la señal indicará cero velocidades, si hay diferencia en la frecuencia que se refleja en el vehículo la pantalla indicará un valor de velocidad. (<https://www.youtube.com/watch?v=ETLbemtbzI>).

**CAPÍTULO III**  
**INFORMACIÓN**

## **CAPÍTULO III**

### **INFORMACIÓN**

#### **3.1 Selección de los puntos de estudio**

Esta investigación se centra en los tramos del departamento de Tarija, específicamente en 30 puntos que coinciden con curvas horizontales, los trayectos de estudio donde la selección de las curvas horizontales se realizó una selección por el estudio de radios desfavorables y radios mayores para ver como es el comportamiento para diferentes radios, donde se tomara muestras de la velocidad de operación.

El deterioro del pavimento en las curvas horizontales, el pavimento puede estar desgastado como en el tramo Tarija-Entre ríos ayudo en la elección ya que existen baches que afectan la adherencia de los vehículos cuando ingresan a una curva horizontal donde se necesita un mayor control de estabilidad.

La visibilidad donde en varias curvas horizontales presentan problemas de visibilidad en el tramo Tarija-Bermejo donde tiene zonas montañosas bloquean la visión de los conductores esto limita la capacidad de reacción ante vehículos que se aproximan a obstáculos inesperados en la vía.

El exceso de la velocidad en curvas tiene un comportamiento entre los conductores es tomar en cuenta la peligrosidad de las curvas a velocidades altas esto conlleva a tomar las curvas a una velocidad mayor de la recomendada lo que puede causar salidas de la vía o colisiones.

La falta de barreras metálicas en curvas horizontales cercanas a precipicios o zonas de riesgo la falta de barreras de protección o muros de contención es un factor que agrava la peligrosidad del tramo Tarija-Bermejo y Tarija-El Puente en caso de pérdida de control en la curva, los vehículos podrían caer por el borde o sufrir accidentes donde en el tramo Tarija-El Puente y Tarija-Entre Ríos existen barreras metálicas destruidas ya sea por derrumbe oh por colisión del vehículo con la barrera.

### **3.2 Proceso de estudio**

#### **3.2.1. Proceso de obtención de información**

Para obtener los datos de velocidad necesarios para nuestra investigación en ingeniería, se realizaron mediciones discretas utilizando un equipo de pistola de radar. Estas mediciones se efectuaron en puntos estratégicos a lo largo de los tramos, permitiendo la recolección de datos precisos sobre la velocidad de punto en curvas horizontales.

La recolección de velocidades en punto como se muestra en la imagen este mismo proceso se realizó en los treinta puntos en los tres tramos.

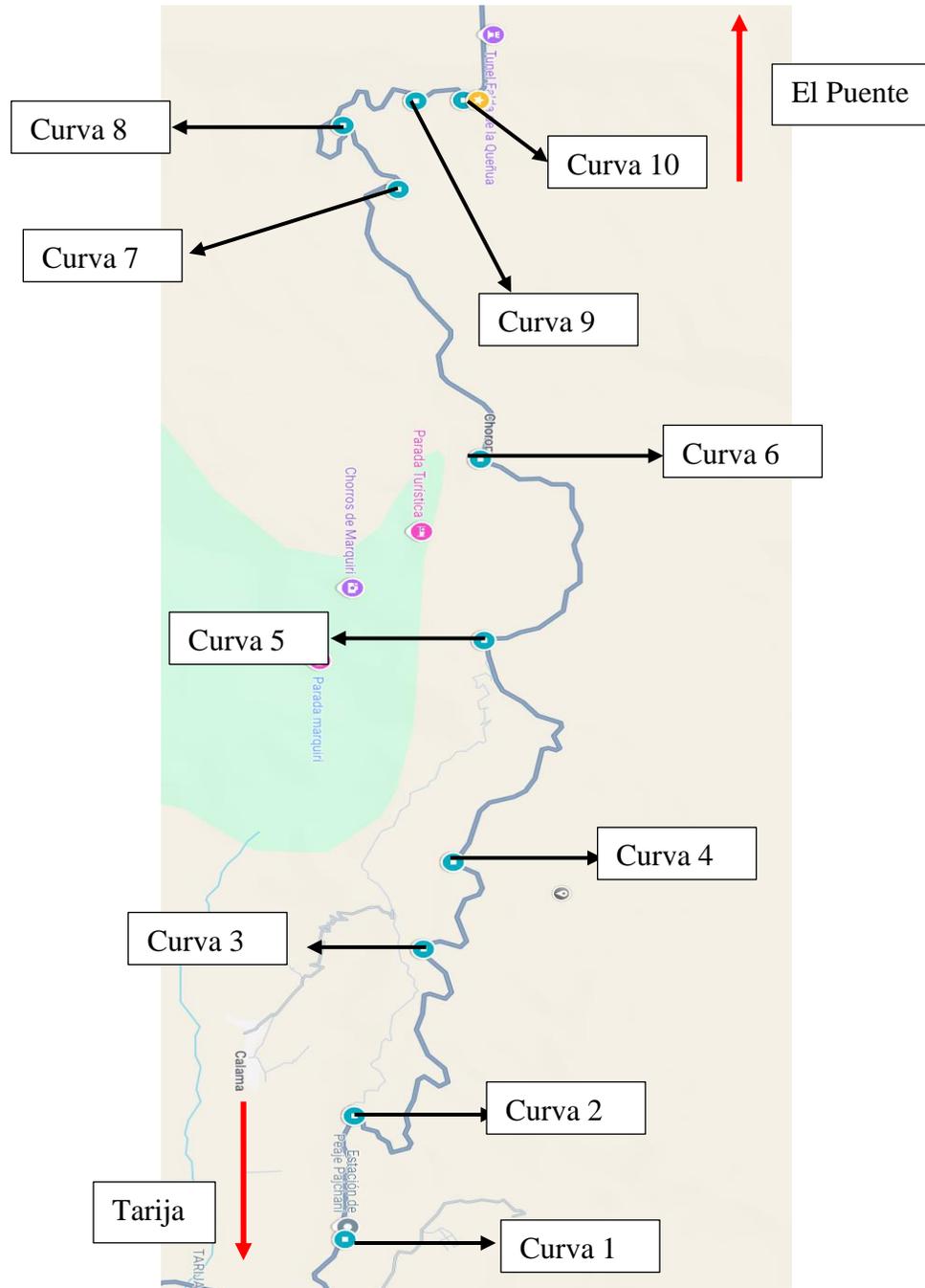
**Imagen N°12:** Recopilación de datos Tarija-Bermejo



**Fuente:** Fotografía tomada en el tramo Tarija-Bermejo.

- Tramo
- 1 Tarija-El Puente

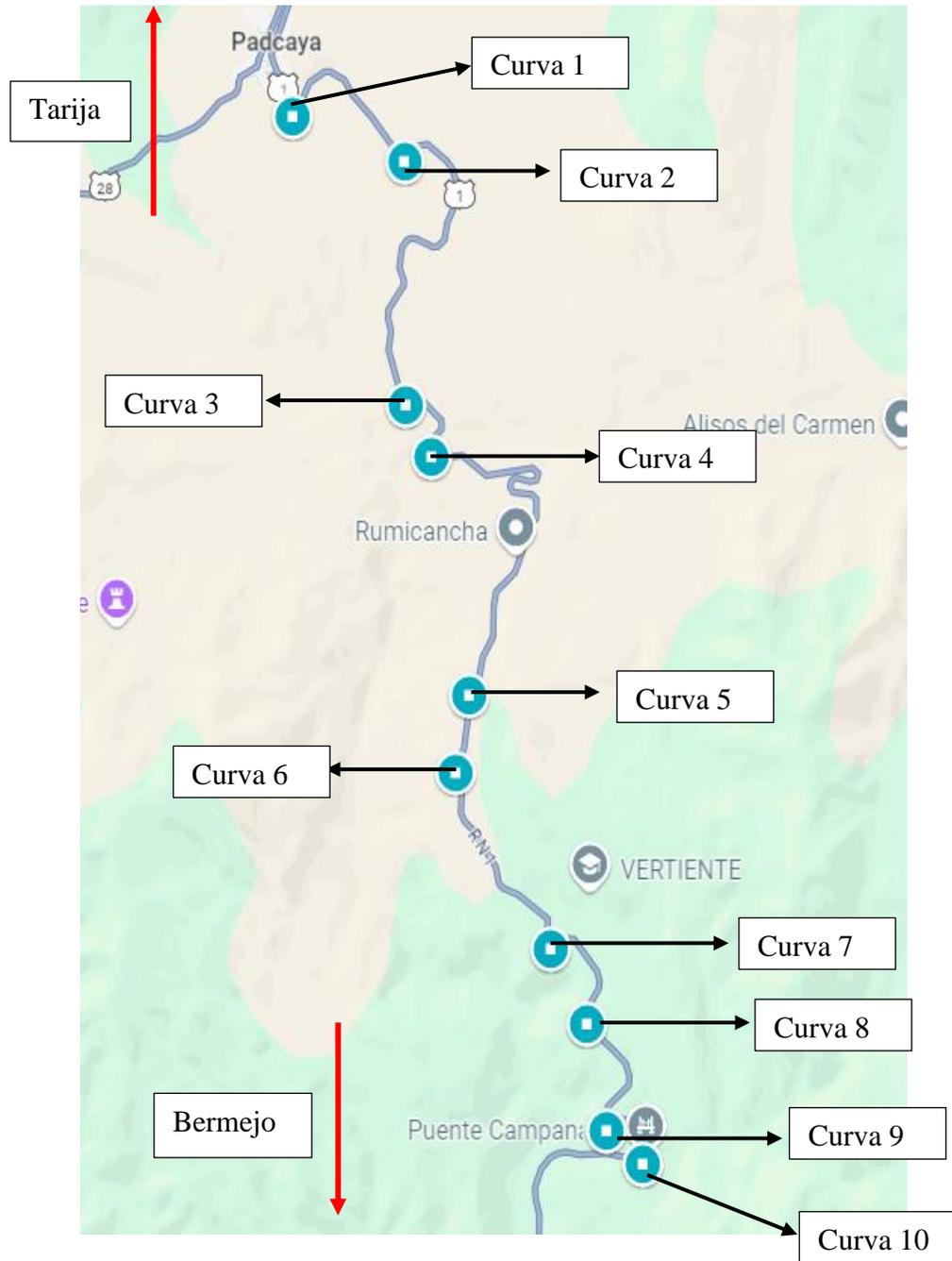
**Imagen N°13:** Fotografía aérea del subtramo San Lorenzo-Túnel falda de la Queñua



**Fuente:** Google Earth Pro.

➤ Tramo 2 Tarija-Bermejo

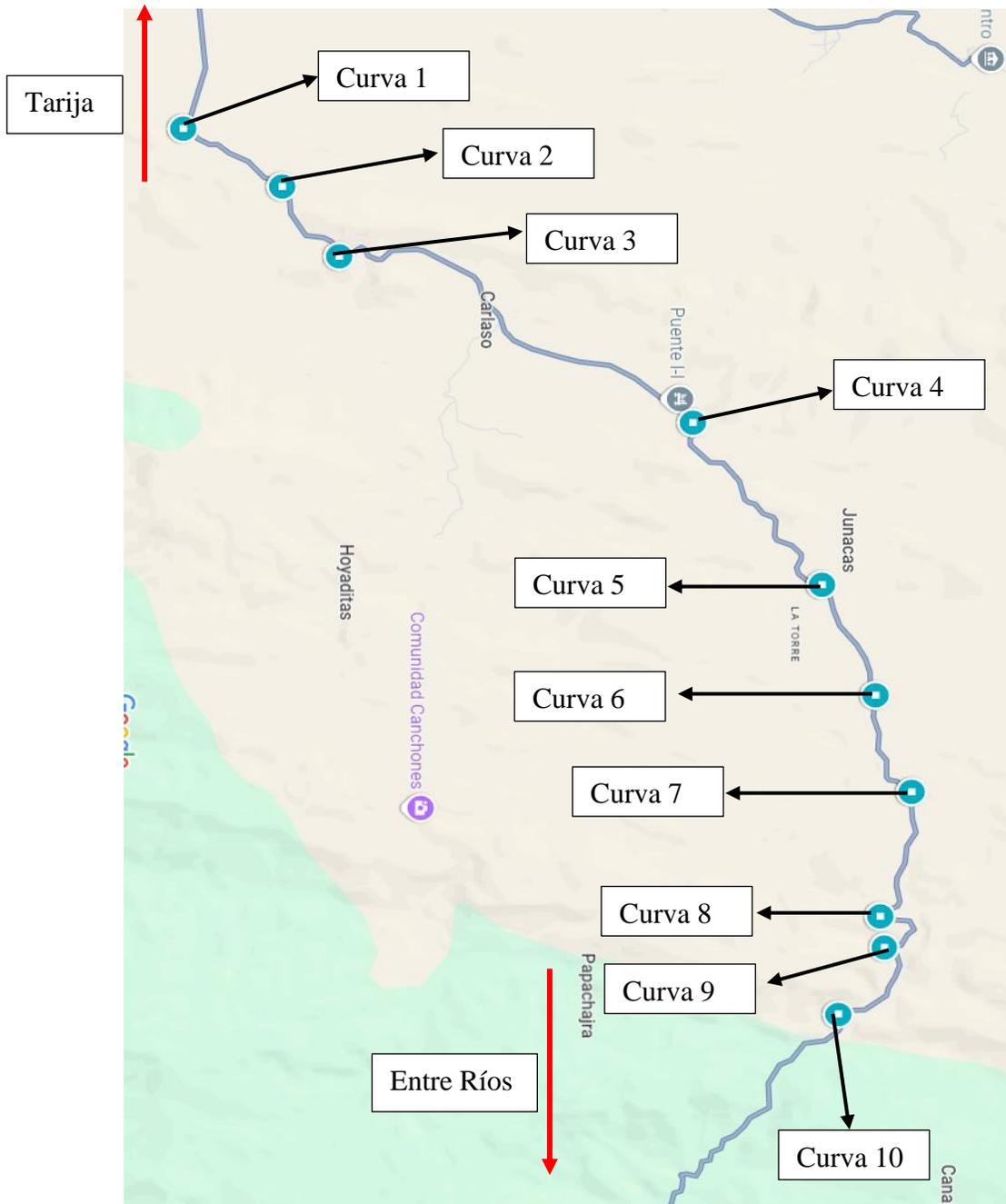
**Imagen N°14:** Fotografía aérea del subtramo de Padcaya-Puente campanario.



**Fuente:** Google Earth Pro.

➤ Tramo 3 Tarija-Entre Ríos

**Imagen N°15:** Fotografía aérea del subtramo Santa Ana-Canaletas



**Fuente:** Google Earth Pro.

### **3.3. Descripción del área de estudio**

#### **3.3.1 Características generales**

La investigación está ubicada en los tramos Tarija-Bermejo, Tarija-El Puente y Tarija-Entre Ríos las coordenadas de los puntos:

##### **Tarija-El Puente (San Lorenzo-Túnel falda de la Queñua):**

Punto 1: Latitud: 21°16'39.49"; Longitud: 65° 9'22.75"

Punto 2: Latitud: 21°16'47.59"; Longitud: 65° 8'49.33"

Punto 3: Latitud: 21°19'1.53"; Longitud: 65° 6'6.96"

Punto 4: Latitud: 21°22'13.46"; Longitud: 65° 4'23.56"

Punto 5: Latitud: 21°21'43.02"; Longitud: 65° 3'21.18"

Punto 6: Latitud: 21°21'44.79"; Longitud: 65° 2'23.69"

Punto 7: Latitud: 21°23'57.71"; Longitud: 64°54'50.92"

Punto 8: Latitud: 21°23'21.79"; Longitud: 64°49'35.37"

Punto 9: Latitud: 21°23'30.52"; Longitud: 64°48'57.60"

Punto 10: Latitud: 21°23'54.40"; Longitud: 64°47'43.97"

##### **Tarija-Entre Ríos (Santa Ana-Canaletas):**

Punto 1: Latitud: 21°27'3.67"; Longitud: 64°21'6.61"

Punto 2: Latitud: 21°27'11.79"; Longitud: 64°21'36.49"

Punto 3: Latitud: 21°27'11.42"; Longitud: 64°22'14.11"

Punto 4: Latitud: 21°27'2.53"; Longitud: 64°22'22.75"

Punto 5: Latitud: 21°25'28.88"; Longitud: 64°24'27.01"

Punto 6: Latitud: 21°25'30.87"; Longitud: 64°24'45.92"

Punto 7: Latitud: 21°25'17.55"; Longitud: 64°25'57.85"

Punto 8: Latitud: 21°27'7.82"; Longitud: 64°29'30.23"

Punto 9: Latitud: 21°29'53.21"; Longitud: 64°31'10.74"

Punto 10: Latitud: 21°31'9.04"; Longitud: 64°34'20.78"

**Tarija-Bermejo (Padcaya-Puente campanario):**

Punto 1: Latitud: 22°12'26.14"; Longitud: 64°37'22.66"

Punto 2: Latitud: 22°10'57.90"; Longitud: 64°39'41.40"

Punto 3: Latitud: 22° 9'5.21"; Longitud: 64°40'12.99"

Punto 4: Latitud: 22° 0'59.92"; Longitud: 64°39'52.39"

Punto 5: Latitud: 22° 0'16.12"; Longitud: 64°40'2.41"

Punto 6: Latitud: 21°59'41.88"; Longitud: 64°40'21.67"

Punto 7: Latitud: 21°56'29.36"; Longitud: 64°40'40.99"

Punto 8: Latitud: 21°56'24.76"; Longitud: 64°40'29.92"

Punto 9: Latitud: 21°54'7.44"; Longitud: 64°41'37.41"

Punto 10: Latitud: 21°53'45.62"; Longitud: 64°42'33.87"

### 3.4. Características de los tramos

#### 3.4.1. Velocidades de diseño con parámetros medidos en campo

**Tabla N°29:** Velocidades de diseño de las curvas horizontales de tramos de estudio

Tarija-Bermejo		Tarija-Entre Ríos		Tarija-El Punte	
Curva	Vel. (km/h)	Curva	Vel. (km/h)	Curva	Vel. (km/h)
1	57.9	1	54.9	1	45.25
2	62.45	2	57.9	2	40.65
3	58.85	3	51.6	3	59.8
4	47.95	4	66.1	4	52.75
5	57	5	57.9	5	46.65
6	58.95	6	61.85	6	51.75
7	52.7	7	49.15	7	39.8
8	62.45	8	39.8	8	40.45
9	51.4	9	61.15	9	41.45
10	61.6	10	47.9	10	39.8

**Fuente:** Elaboración propia.

La velocidades de diseño que se muestra en la tabla N° 24 donde fueron calculados con los parámetros medidos en campo con la ecuación de equilibrio:

$$f + e = \frac{V^2}{127 * R}$$

El factor de fricción es un valor calculado que depende de la velocidad del vehículo mientras que el peralte es una variable medida en campo, al igual que el radio de la curva horizontal. En este contexto, el equilibrio dinámico establece que ambos parámetros deben cumplir con las condiciones de igualdad en el cálculo, lo que permite determinar la velocidad de diseño. Este proceso se basa en los valores obtenidos en campo para

asegurar que las fuerzas centrífugas y de fricción se compensen adecuadamente, garantizando la seguridad y eficiencia en el trazado vial.

### 3.4.2. Velocidades de operación promedio medidos en campo

**Tabla N°30:** Velocidades promedio de operación de las curvas horizontales de tramos de estudio

Tarija-Bermejo		Tarija-Entre Ríos		Tarija-El Puente	
Curva	Vel. (km/h)	Curva	Vel. (km/h)	Curva	Vel. (km/h)
1	62.27	1	60.65	1	47.16
2	70.14	2	62.36	2	44.86
3	55.71	3	69.26	3	55.71
4	65.82	4	63.74	4	46.22
5	66.14	5	64.75	5	62.97
6	61.94	6	65.14	6	53.17
7	59.84	7	62.52	7	46.38
8	48.31	8	62.16	8	41.73
9	41.88	9	56.14	9	39.87
10	62.69	10	61.57	10	41.44

**Fuente:** Elaboración propia.

En la Tabla N°24 se presentan las velocidades de operación promedio para cada punto de análisis en la curva horizontal, donde se procederá a una variación de las velocidades, representada gráficamente, permitiendo observar su comportamiento a lo largo del trazo.

Para el tramo Tarija-Bermejo, se registra una velocidad máxima de 70.14 km/h en la curva 2, mientras que la velocidad mínima es de 41.88 km/h en la curva 9. En el tramo Tarija-Entre Ríos, la velocidad máxima alcanza los 69.26 km/h y la mínima es de 56.14 km/h.

Finalmente, en el tramo Tarija-El Puente, se observa una velocidad máxima de 62.97 km/h en la curva 5 y una mínima de 41.44 km/h en la curva 10.

### 3.4.2. Rádios

Cálculo de Rádios:

El relevamiento de las curvas horizontales se realizó utilizando una cinta métrica wincha en un segmento de 10 metros. Asimismo, se determinó la flecha de la curva, que corresponde a la distancia entre el borde de la curva y la longitud de la cuerda. Con estos dos parámetros, la longitud de cuerda (Lc) y la flecha (F), se procede a calcular el radio de la curva horizontal simple.

La relación entre estos valores permite determinar el radio  $R$ , el cual es fundamental para obtener la deflexión angular de la curva. Este cálculo es esencial para el diseño geométrico y la evaluación de la seguridad en tramos curvos, dado que el radio influye directamente en la velocidad de operación y la estabilidad vehicular.

$$LC = 2 * R * \sin\left(\frac{\Delta}{2}\right) \dots \dots \dots (1)$$

$$F = R * \left(1 - \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)\right) \dots \dots \dots (2)$$

Donde se relaciona el Radio de las dos ecuaciones:

$$\frac{Lc}{2 * \sin\left(\frac{\Delta}{2}\right)} = \frac{F}{\left(1 - \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)\right)} \dots \dots (3)$$

A partir de la relación mencionada, la única variable desconocida es la deflexión. Mediante un proceso iterativo, se procede al cálculo de este valor, el cual es esencial para determinar la longitud del arco. La deflexión obtenida se utiliza en la siguiente fórmula:

$$L_s = \frac{\pi * R * \Delta}{180}$$

Se obtiene el valor de la longitud de la cuerda parcial ( $L_s$ ) para cada sección de 10 metros. Este procedimiento se repite a lo largo del desarrollo de la curva, permitiendo obtener finalmente la longitud de arco total ( $L_a$ ) de la curva. Una vez determinada la longitud total del arco, utilizamos un compás para medir y calcular el radio de la curva horizontal.

Este mismo proceso se aplica en cada uno de los puntos de estudio, permitiendo calcular el radio de las distintas curvas a lo largo del trazado. Estos valores de radio son fundamentales para validar la geometría del diseño y garantizar que las condiciones de seguridad y confort para los usuarios sean las adecuadas.

➤ Tramo 1 Tarija-El Puente

**Tabla N°31:** Radios de los 10 puntos ruta Tarija-El Puente

<b>Tramo Tarija-El Puente</b>		
<b>Punto</b>	<b>Ruta</b>	<b>Radio (m)</b>
1	RUTA 1	70
2	RUTA 1	55
3	RUTA 1	135
4	RUTA 1	100
5	RUTA 1	75
6	RUTA 1	100
7	RUTA 1	50
8	RUTA 1	50
9	RUTA 1	55
10	RUTA 1	50

**Fuente:** Elaboración propia.

➤ Tramo 2 Tarija-Bermejo

**Tabla N°32:** Radios de los 10 puntos ruta Tarija-Bermejo

<b>Tramo Tarija-Bermejo</b>		
<b>Punto</b>	<b>Ruta</b>	<b>Radio (m)</b>
1	RUTA 1	125
2	RUTA 1	150
3	RUTA 1	130
4	RUTA 1	80
5	RUTA 1	120
6	RUTA 1	130
7	RUTA 1	100
8	RUTA 1	150
9	RUTA 1	90
10	RUTA 1	145

**Fuente:** Elaboración propia.

➤ Tramo 3 Tarija-Entre Ríos

**Tabla N°33:** Radios de los 10 puntos ruta Tarija-Entre Ríos

<b>Tramo Tarija-Entre Ríos</b>		
<b>Punto</b>	<b>Ruta</b>	<b>Radio (m)</b>
1	RUTA 11	110
2	RUTA 11	125
3	RUTA 11	95
4	RUTA 11	165
5	RUTA 11	125
6	RUTA 11	140
7	RUTA 11	85
8	RUTA 11	50
9	RUTA 11	130
10	RUTA 11	80

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.4.3. Peraltes para Tarija-Entre Ríos; Tarija-El Puente; Tarija-Bermejo

Tabla N°34: Resultados de peraltes medidos

Curvas	Peraltes		
	Tarija-Entre Ríos	Tarija-El Puente	Tarija-Bermejo
Curvas 1	6%	6%	6%
Curvas 2	6%	6%	6%
Curvas 3	6%	6%	6%
Curvas 4	7%	6%	6%
Curvas 5	6%	6%	6%
Curvas 6	7%	6%	6%
Curvas 7	6%	7%	6%
Curvas 8	7%	8%	6%
Curvas 9	6%	7%	7%
Curvas 10	6%	7%	6%

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.4.4. Clasificación Vehicular

**Tabla N°35:** Clasificación de vehículos de aforo de velocidades

Clasificación Vehicular										
Tramo de la carretera:		Tarija-Bermejo, Tarija-Entre Ríos y Tarija-El Puente								
Día	Motos	Auto	Bagoneta	Camionetas		Micro	2E	3E	4E	Icono
				Camionetas	Rural Combi					
Día 1	15	60	55	54	70	5	4	3	4	
Día 2	2	75	60	45	79	2	1	2	4	
Día 3	4	80	60	55	61	5	4	1	0	
Día 4	2	75	63	54	72	2	1	0	1	
Día 5	3	65	75	59	65	0	2	0	1	
Día 6	4	81	64	50	68	1	2	0	0	
Día 7	5	75	54	65	68	1	2	0	0	
Total	35	511	431	382	483	16	16	6	10	

**Fuente:** Elaboración propia.

**CAPÍTULO IV**  
**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

## 4.1 Cálculo de peralte de los tramos

### 4.1.1 Cálculo de peralte de tramo Tarija-El Puente

Punto 10

-Ancho de carretera = 10m

-Progresiva 0+245

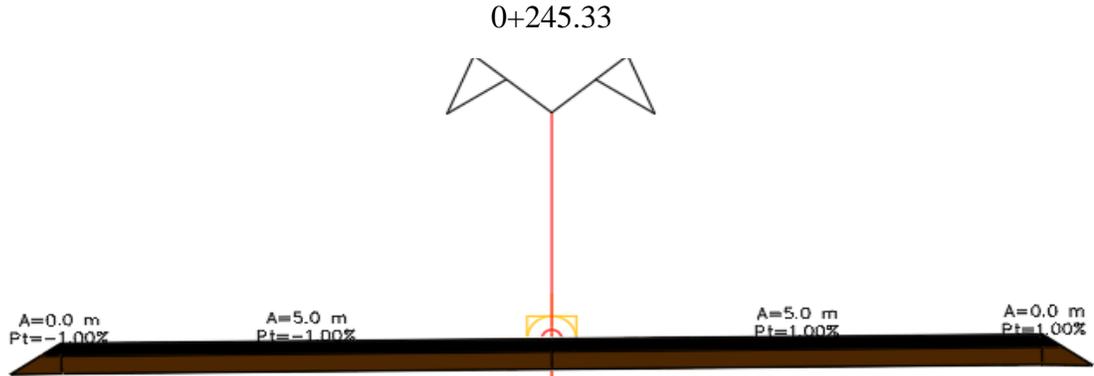
$$e (\%) = \frac{3.661\text{m} - 3.015\text{m}}{10\text{m}} * 100\%$$

-Punto 1 = 3.661 m

$$e (\%) = 7\%$$

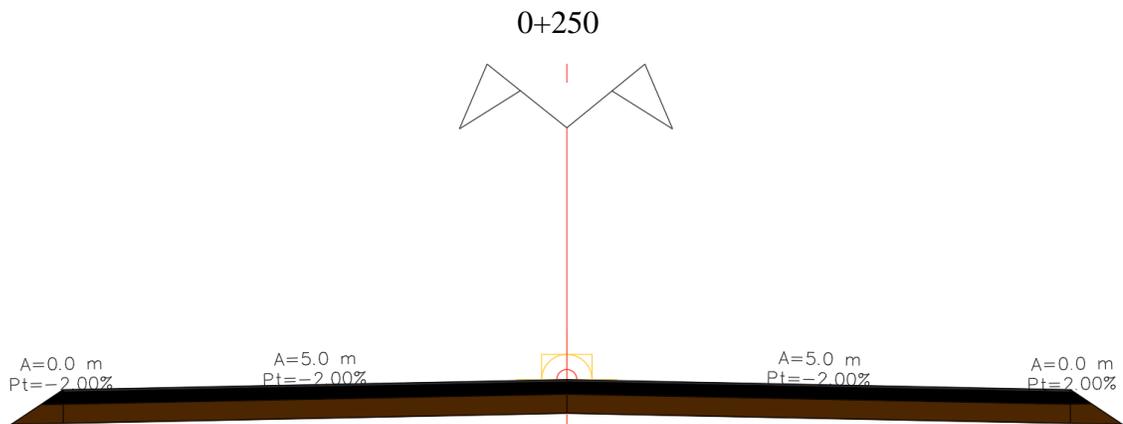
-Punto 2 = 3.015 m

**Graficas N°6:** Inclinación del peralte progresiva 0+245.33



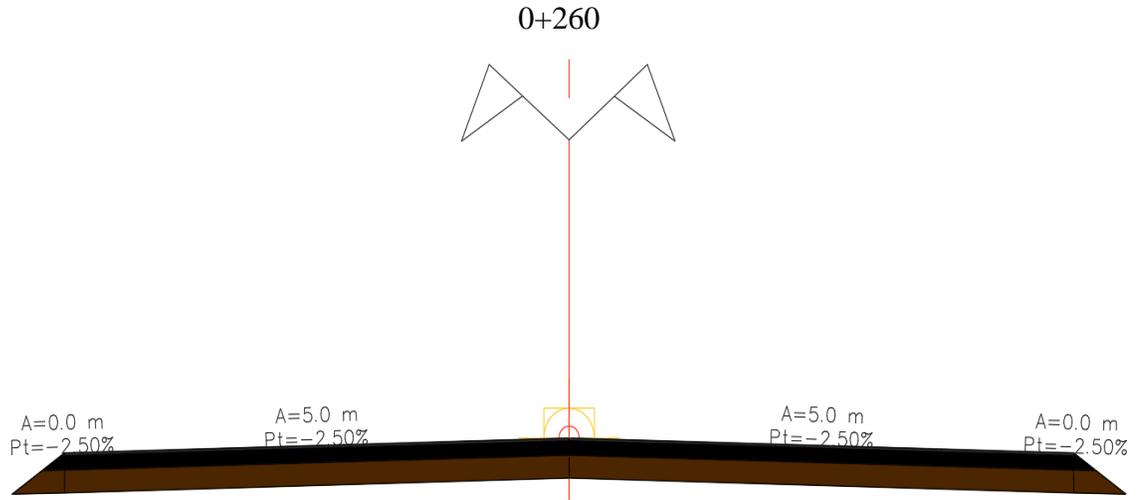
**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°7:** Inclinación del peralte progresiva 0+250



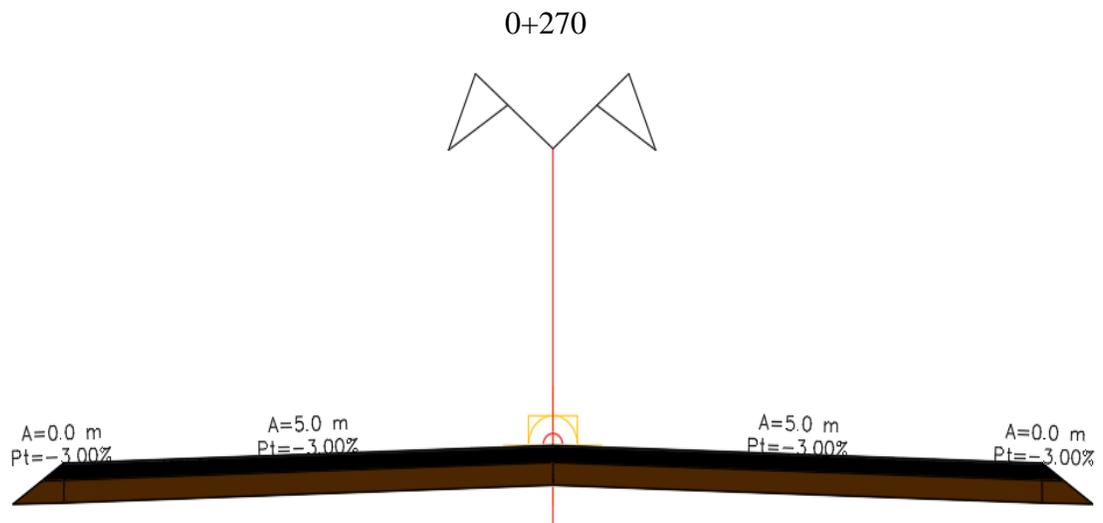
**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°8: Inclinación del peralte progresiva 0+260**



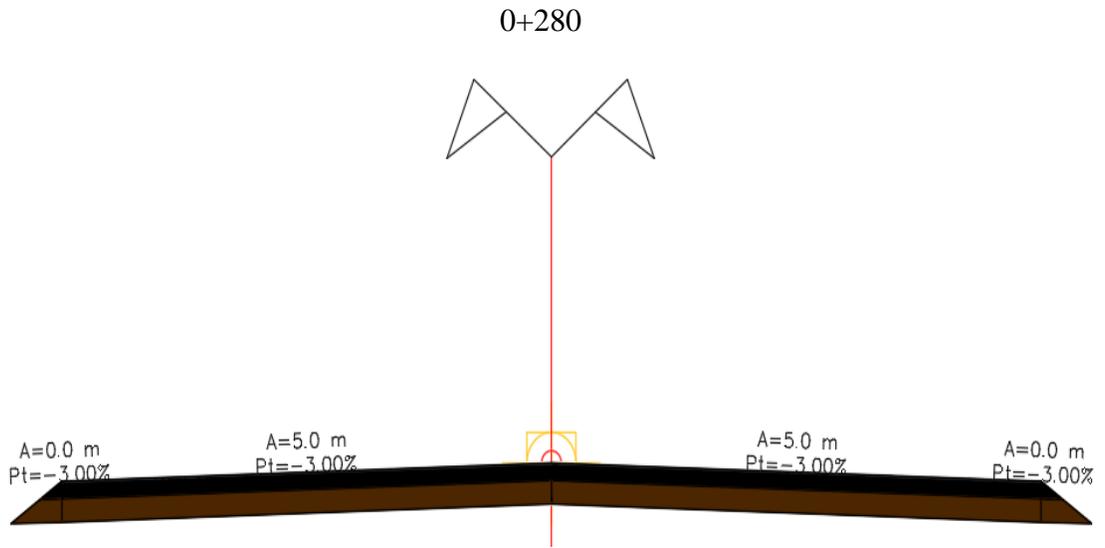
**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°9: Inclinación del peralte progresiva 0+270**



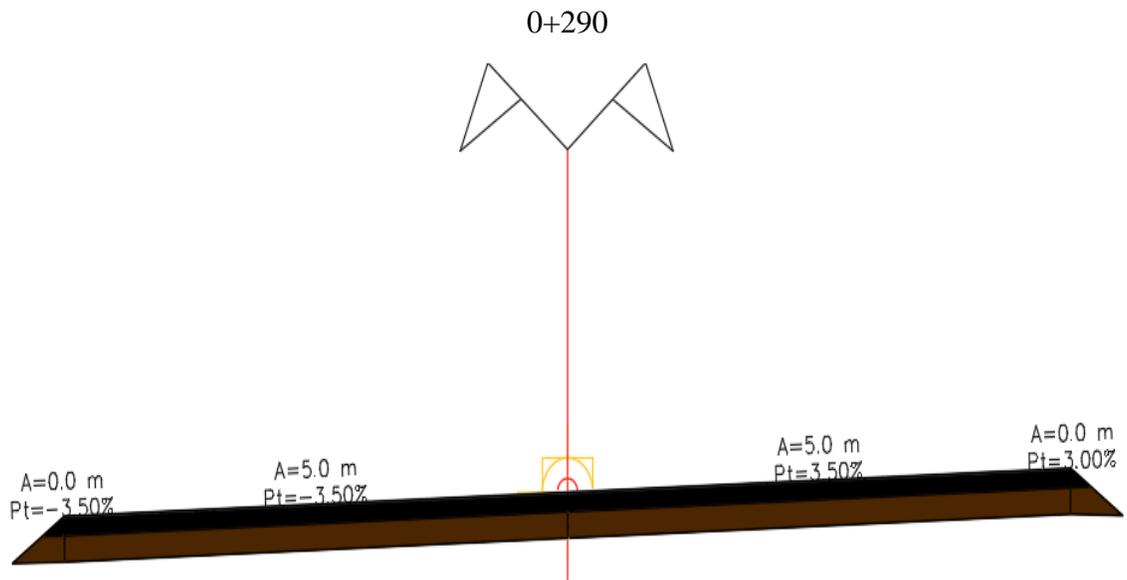
**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°10: Inclinación del peralte progresiva 0+280**



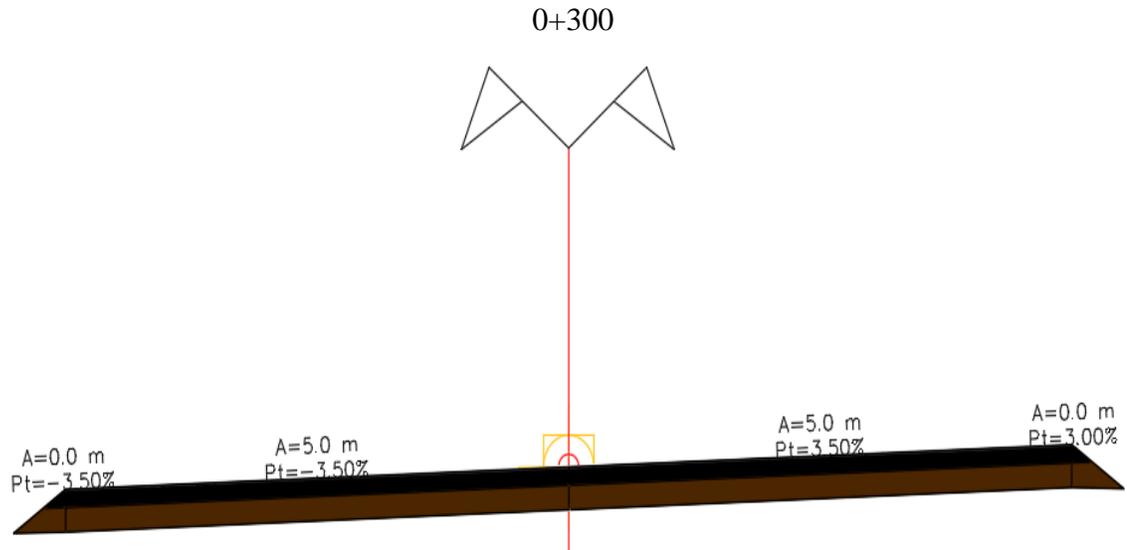
**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°11: Inclinación del peralte progresiva 0+290**



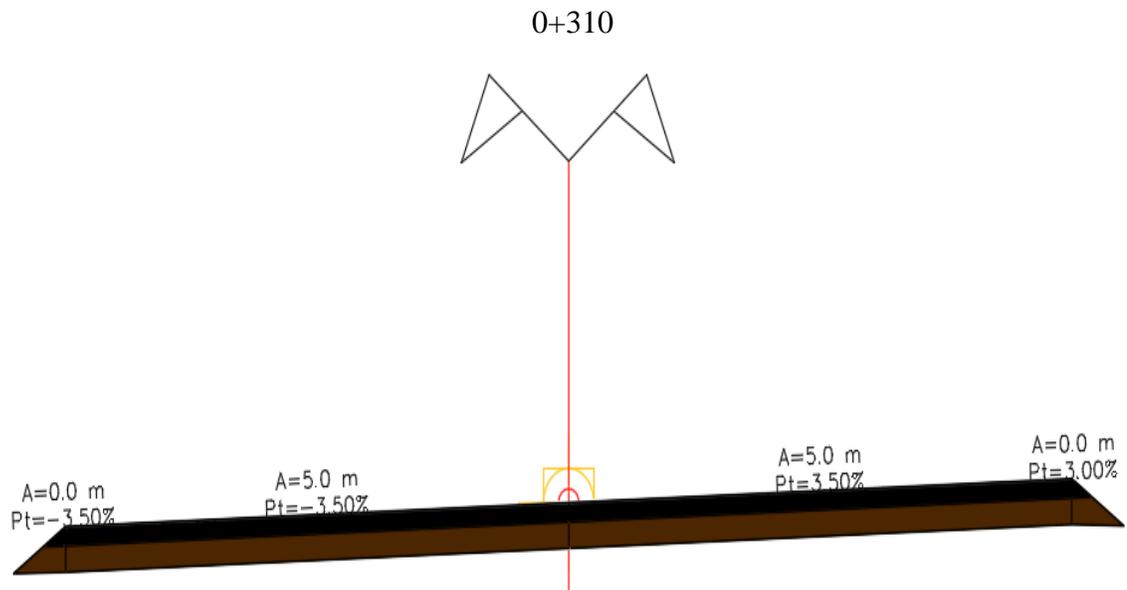
**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°12: Inclinación del peralte progresiva 0+300**



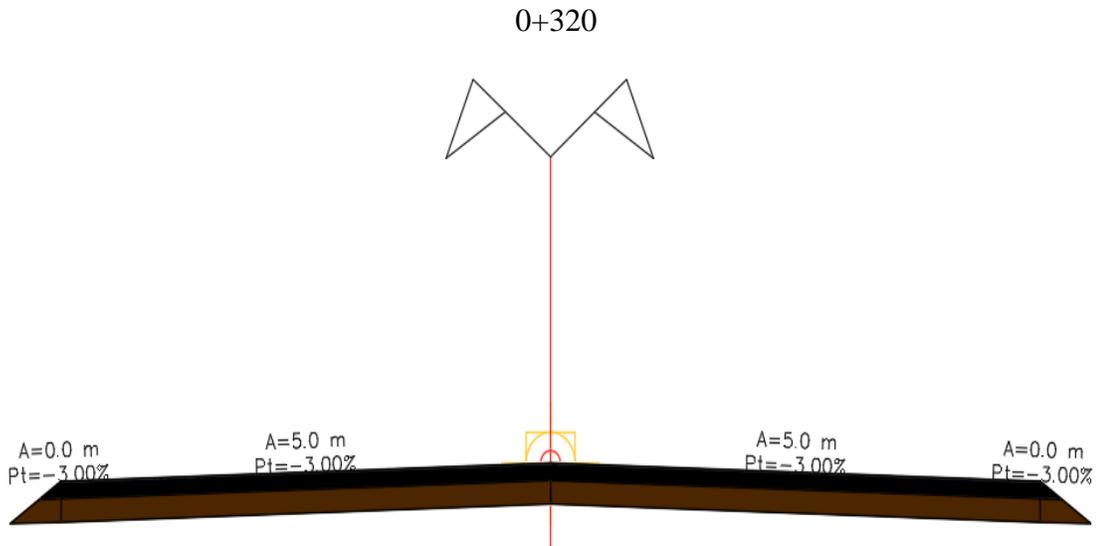
**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°13: Inclinación del peralte progresiva 0+310**



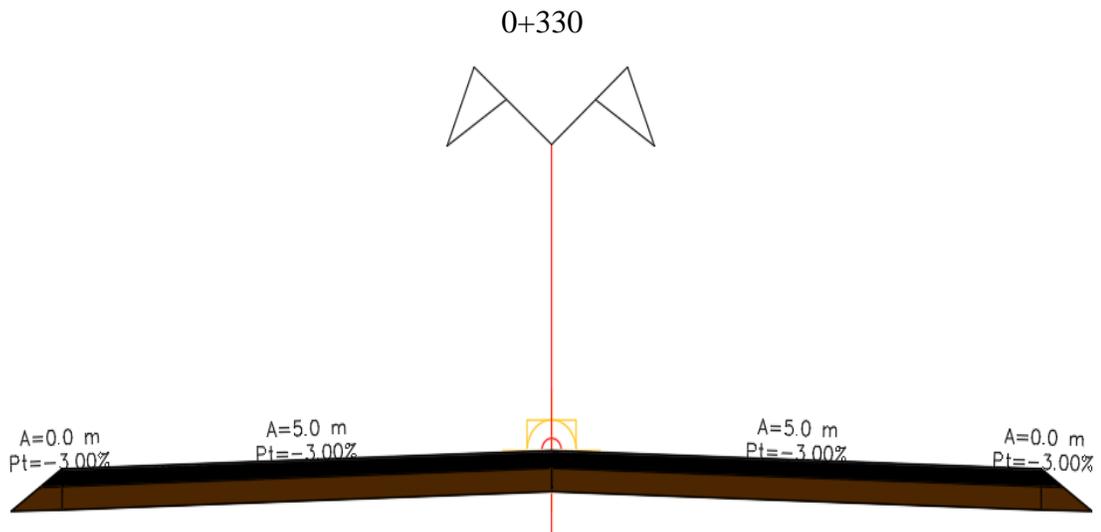
**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°14: Inclinación del peralte progresiva 0+320**



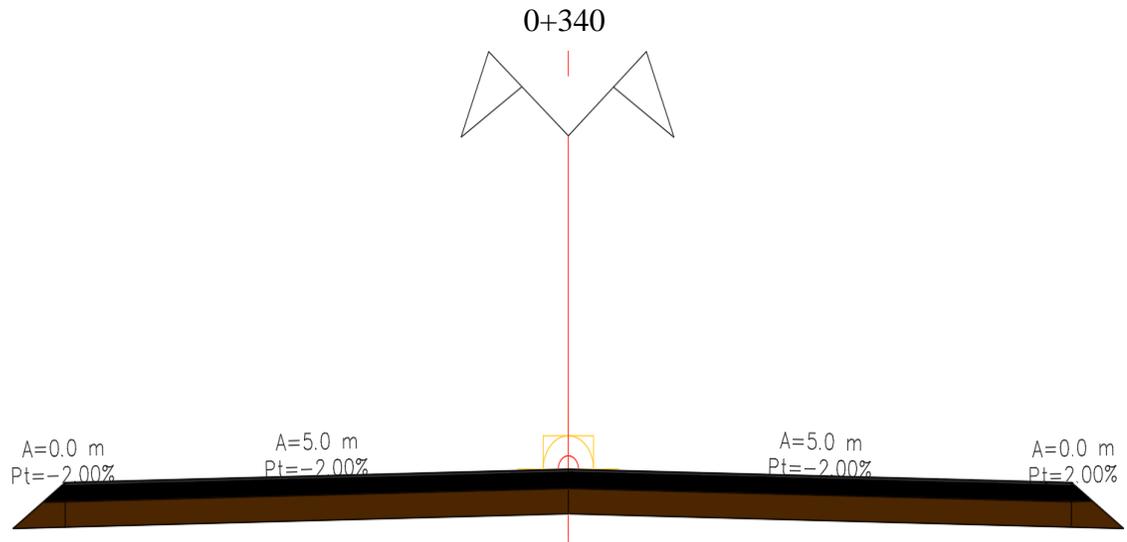
**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°15: Inclinación del peralte progresiva 0+330**



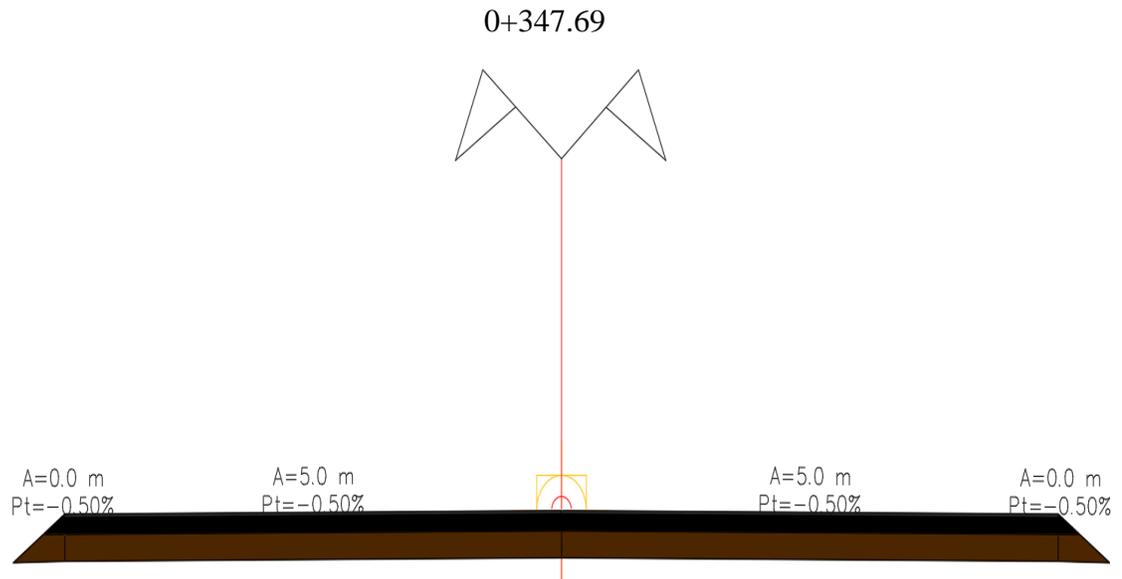
**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°16: Inclinación del peralte progresiva 0+340**



**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°17: Inclinación del peralte progresiva 0+347.69**



**Fuente:** Elaboración propia.

## 4.2. Cálculo de velocidad de diseño

### 4.2.1. Velocidades de diseño del tramo Tarija-Bermejo

Imagen N°16: Curva del primer punto Tarija-Bermejo



Datos:

$$e=6\%; \quad R=125 \text{ m}$$

Calculando la Velocidad de proyecto

$$V=57.90 \text{ km/h}$$

$$f = 0.2392 - \frac{3 * 57.9}{2000}$$

$$f=0.151$$

Verificando el equilibrio dinámico de la curva horizontal con la velocidad de proyecto.

$$e + f = \frac{V^2}{127 * R}$$

$$0.06 + 0.151 = \frac{57.9^2}{127 * 125}$$

$$0.211=0.211 \text{ hay equilibrio}$$

#### 4.2.2 Tabla de resultados de velocidades de diseño de los tramos de investigación

**Tabla N°36:** Resultados de velocidades de proyecto

<b>Tarija-Bermejo</b>							
N°	Radios	Velocidad	e %	f	e+f	=	$V^2/127*R$
1	125	57.9	6	0.151	0.211	=	0.211
2	150	62.45	6	0.145	0.205	=	0.205
3	130	58.85	6	0.15	0.21	=	0.21
4	80	47.95	6	0.166	0.226	=	0.226
5	120	57	6	0.153	0.213	=	0.213
6	130	58.95	6	0.15	0.21	=	0.21
7	100	52.7	6	0.159	0.219	=	0.219
8	150	62.45	6	0.145	0.205	=	0.205
9	90	51.4	7	0.161	0.231	=	0.231
10	145	61.6	6	0.146	0.206	=	0.206

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla N°37: Resultados de velocidades de proyecto**

<b>Tarija-Entre Ríos</b>							
N°	Radios	Velocidad	e %	f	e+f	=	$V^2/127*R$
1	110	54.9	6	0.156	0.216	=	0.216
2	125	57.9	6	0.151	0.211	=	0.211
3	95	51.6	6	0.161	0.221	=	0.221
4	165	66.1	7	0.139	0.209	=	0.209
5	125	57.9	6	0.151	0.211	=	0.211
6	140	61.85	7	0.145	0.215	=	0.215
7	85	49.15	6	0.164	0.224	=	0.224
8	50	39.8	7	0.179	0.249	=	0.249
9	130	61.15	8	0.146	0.226	=	0.226
10	80	47.9	6	0.166	0.226	=	0.226

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla N°38: Resultados de velocidades de proyecto**

<b>Tarija-El Puente</b>							
N°	Radios	Velocidad	e %	f	e+f	=	$V^2/127*R$
1	70	45.25	6	0.17	0.23	=	0.23
2	55	40.65	6	0.177	0.237	=	0.237
3	135	59.8	6	0.149	0.209	=	0.209
4	100	52.75	6	0.159	0.219	=	0.219
5	75	46.65	6	0.168	0.228	=	0.228
6	100	51.75	6	0.161	0.221	=	0.211
7	50	39.8	7	0.179	0.249	=	0.249
8	50	40.45	8	0.178	0.258	=	0.258
9	55	41.45	7	0.176	0.246	=	0.246
10	50	39.8	7	0.179	0.249	=	0.249

**Fuente:** Elaboración propia.

### 4.3. Depuración de datos de velocidad medidas

**Tabla N°39:** Depuración primer día Tarija-Bermejo

Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>
40	506.25	65	6.25	73	110.25
65	6.25	64	2.25	60	6.25
79	272.25	65	6.25	65	6.25
57	30.25	46	272.25	54	72.25
72	90.25	63	0.25	49	182.25
70	56.25	70	56.25	52	110.25
64	2.25	58	20.25	66	12.25
71	72.25	70	56.25	41	462.25
60	6.25	64	2.25	84	462.25
63	0.25	66	12.25	68	30.25
67	20.25	65	6.25	76	182.25
53	90.25	64	2.25	65	6.25
75	156.25	60	6.25	73	110.25
65	6.25	59	12.25	55	56.25
58	20.25	65	6.25	40	506.25
63	0.25	73	110.25	55	56.25
67	20.25	63	0.25	67	20.25
60	6.25	61	2.25	45	306.25
58	20.25	66	12.25	65	6.25
61	2.25	52	110.25	60	6.25
63	0.25	63	0.25	77	210.25
70	56.25	59	12.25	69	42.25
69	42.25	68	30.25	63	0.25
58	20.25	55	56.25	53	90.25
64	2.25	50	156.25	52	110.25
70	56.25	74	132.25	50	156.25
63	0.25	72	90.25	67	20.25
63	0.25	58	20.25	45	306.25
61	2.25	53	90.25	65	6.25
72	90.25	80	306.25	60	6.25
62	0.25	57	30.25	77	210.25
70	56.25	50	156.25	69	42.25
64	2.25	58	20.25	63	0.25
60	6.25	66	12.25	53	90.25
73	110.25	49	182.25	52	110.25
65	6.25	76	182.25	55	56.25
54	72.25	76	182.25	<b>Suma</b>	
<b>Media</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Desviación</b>	<b>Rango (-)</b>	<b>6875</b>	<b>8441.5</b>
62.5	110	8.8	44.9-80.1		

**Fuente:** Elaboración propia.

Depuración de datos para la limpieza de datos Tarija-Bermejo:

**Desviación:**

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$x_i$  = Observación número i

N = Número de observaciones

$\bar{x}$  = Es la media de la variable X

**Rango:**

$$\text{Rango} = \bar{x} \pm 2 * \sigma$$

$\sigma$  = Desviación

$\bar{x}$  = Es la media

**Tramo 1:** Primer día

$$\sum X = 6875 \frac{km}{h} \quad \bar{x} = 62.5 \frac{km}{h}$$

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 8441.5 \quad n = 110$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{8441.5}{110 - 1}} = 8.8$$

$$\text{Rango} = \bar{x} - 2 * \sigma = 44.9 \frac{km}{h}$$

$$\text{Rango} = \bar{x} + 2 * \sigma = 80.1 \frac{km}{h}$$

**Tabla N°40:** Depuración segundo día Tarija-Bermejo.

Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>
52	141.6	77	171.6	65	1.2
50	193.2	58	34.8	62	3.6
70	37.2	60	15.2	60	15.2
64	0	48	252.8	50	193.2
53	118.8	75	123.2	40	571.2
71	50.4	69	26	61	8.4
63	0.8	56	62.4	61	8.4
66	4.4	59	24	60	15.2
59	24	59	24	70	37.2
68	16.8	60	15.2	52	141.6
47	285.6	83	364.8	60	15.2
61	8.4	67	9.6	75	123.2
69	26	66	4.4	58	34.8
69	26	52	141.6	76	146.4
60	15.2	65	1.2	50	193.2
67	9.6	65	1.2	66	4.4
68	16.8	60	15.2	66	4.4
78	198.8	64	0	55	79.2
60	15.2	61	8.4	74	102
74	102	62	3.6	84	404
74	102	67	9.6	75	123.2
66	4.4	53	118.8	74	102
70	37.2	64	0	67	9.6
55	79.2	70	37.2	62	3.6
74	102	74	102	50	193.2
63	0.8	69	26	55	79.2
63	0.8	74	102	66	4.4
74	102	72	65.6	55	79.2
55	79.2	66	4.4	74	102
67	9.6	59	24	84	404
67	9.6	50	193.2	75	123.2
60	15.2	50	193.2	74	102
73	82.8	56	62.4	67	9.6
62	3.6	58	34.8	62	3.6
70	37.2	63	0.8	50	193.2
69	26	64	0	66	4.4
59	24	63	0.8	<b>Suma</b>	
<b>Media</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Desviación</b>	<b>Rango</b>	<b>7029</b>	<b>7919.9</b>
63.9	110	8.5	46.9-80.9		

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tramo 1: Segundo día**

$$\sum X = 7029 \frac{km}{h} \qquad \bar{x} = 63.9 \frac{km}{h} \qquad n = 110$$

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 7919.9$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{7919.9}{110 - 1}} = 8.5$$

$$\text{Rango} = \bar{x} - 2 * \sigma = 46.9 \frac{km}{h}$$

$$\text{Rango} = \bar{x} + 2 * \sigma = 80.9 \frac{km}{h}$$

**Tramo 1: Tercer día**

$$\sum X = 6864 \frac{km}{h} \qquad \bar{x} = 62.4 \frac{km}{h} \qquad n = 110$$

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 5866.40$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{5866.4}{110 - 1}} = 7.3$$

$$\text{Rango} = \bar{x} - 2 * \sigma = 47.7 \frac{km}{h}$$

$$\text{Rango} = \bar{x} + 2 * \sigma = 77.1 \frac{km}{h}$$

**Tabla N°41:** Depuración tercer día Tarija-Bermejo.

Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>
61	1.96	63	0.36	60	5.76
55	54.76	59	11.56	60	5.76
69	43.56	67	21.16	70	57.76
58	19.36	66	12.96	53	88.36
60	5.76	70	57.76	43	376.36
63	0.36	63	0.36	52	108.16
57	29.16	59	11.56	76	184.96
70	57.76	72	92.16	64	2.56
58	19.36	70	57.76	70	57.76
66	12.96	54	70.56	63	0.36
55	54.76	71	73.96	75	158.76
70	57.76	60	5.76	65	6.76
65	6.76	74	134.56	54	70.56
60	5.76	62	0.16	75	158.76
64	2.56	55	54.76	59	11.56
65	6.76	67	21.16	55	54.76
65	6.76	65	6.76	55	54.76
63	0.36	69	43.56	60	5.76
68	31.36	65	6.76	74	134.56
64	2.56	59	11.56	52	108.16
50	153.76	66	12.96	70	57.76
65	6.76	56	40.96	63	0.36
70	57.76	61	1.96	65	6.76
63	0.36	62	0.16	50	153.76
59	11.56	50	153.76	50	153.76
70	57.76	69	43.56	61	1.96
69	43.56	68	31.36	55	54.76
66	12.96	65	6.76	60	5.76
64	2.56	76	184.96	74	134.56
65	6.76	60	5.76	52	108.16
44	338.56	54	70.56	70	57.76
55	54.76	50	153.76	63	0.36
73	112.36	50	153.76	65	6.76
64	2.56	65	6.76	50	153.76
71	73.96	64	2.56	50	153.76
63	0.36	64	2.56	55	54.76
63	0.36	76	184.96	<b>Suma</b>	
<b>Media</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Desviación</b>	<b>Rango</b>	<b>6864</b>	<b>5866.4</b>
62.4	110	7.3	47.7-77.1		

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla N°42:** Depuración cuarto día Tarija-Bermejo.

Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>
56	40.96	66	12.96	77	213.16
60	5.76	59	11.56	66	12.96
70	57.76	61	1.96	60	5.76
60	5.76	50	153.76	55	54.76
58	19.36	65	6.76	55	54.76
66	12.96	70	57.76	53	88.36
59	11.56	55	54.76	67	21.16
60	5.76	65	6.76	60	5.76
65	6.76	60	5.76	68	31.36
64	2.56	63	0.36	70	57.76
48	207.36	78	243.36	72	92.16
64	2.56	60	5.76	63	0.36
73	112.36	63	0.36	58	19.36
58	19.36	69	43.56	53	88.36
64	2.56	63	0.36	50	153.76
70	57.76	69	43.56	54	70.56
60	5.76	62	0.16	61	1.96
63	0.36	69	43.56	60	5.76
61	1.96	64	2.56	70	57.76
66	12.96	62	0.16	72	92.16
59	11.56	74	134.56	65	6.76
69	43.56	63	0.36	60	5.76
65	6.76	60	5.76	67	21.16
64	2.56	68	31.36	51	129.96
61	1.96	70	57.76	49	179.56
63	0.36	74	134.56	52	108.16
62	0.16	68	31.36	61	1.96
65	6.76	74	134.56	60	5.76
56	40.96	62	0.16	70	57.76
72	92.16	59	11.56	72	92.16
79	275.56	54	70.56	65	6.76
70	57.76	53	88.36	60	5.76
69	43.56	55	54.76	67	21.16
63	0.36	70	57.76	51	129.96
60	5.76	74	134.56	49	179.56
65	6.76	65	6.76	54	70.56
58	19.36	76	184.96	<b>Suma</b>	
<b>Media</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Desviación</b>	<b>Rango</b>	<b>6934</b>	<b>5194.4</b>
63.04	110	6.9	49.2-76.8		

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla N°43:** Depuración quinto día Tarija-Bermejo

Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>
53	88.36	76	184.96	75	158.76
63	0.36	55	54.76	66	12.96
65	6.76	69	43.56	58	19.36
63	0.36	59	11.56	60	5.76
64	2.56	69	43.56	49	179.56
70	57.76	75	158.76	53	88.36
63	0.36	55	54.76	59	11.56
65	6.76	75	158.76	54	70.56
64	2.56	70	57.76	65	6.76
74	134.56	58	19.36	73	112.36
65	6.76	67	21.16	60	5.76
70	57.76	67	21.16	69	43.56
68	31.36	59	11.56	66	12.96
65	6.76	67	21.16	56	40.96
73	112.36	65	6.76	52	108.16
66	12.96	69	43.56	66	12.96
59	11.56	52	108.16	58	19.36
62	0.16	58	19.36	65	6.76
59	11.56	61	1.96	63	0.36
72	92.16	60	5.76	63	0.36
50	153.76	63	0.36	58	19.36
69	43.56	65	6.76	60	5.76
63	0.36	65	6.76	70	57.76
69	43.56	62	0.16	59	11.56
61	1.96	54	70.56	53	88.36
63	0.36	74	134.56	61	1.96
64	2.56	68	31.36	58	19.36
73	112.36	72	92.16	65	6.76
60	5.76	63	0.36	63	0.36
70	57.76	60	5.76	63	0.36
52	108.16	53	88.36	58	19.36
70	57.76	45	302.76	60	5.76
70	57.76	56	40.96	70	57.76
70	57.76	68	31.36	59	11.56
53	88.36	68	31.36	53	88.36
59	11.56	70	57.76	66	12.96
54	70.56	63	0.36	<b>Suma</b>	
<b>Media</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Desviación</b>	<b>Rango</b>	<b>6934</b>	<b>4792.4</b>
63.04	110	6.6	49.8-76.3		

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tramo 1: Cuarto día**

$$\sum X = 6934 \frac{km}{h} \quad \bar{x} = 63.04 \frac{km}{h} \quad n = 110$$

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 5194.4$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{4792.4}{110 - 1}} = 6.9$$

$$\text{Rango} = \bar{x} - 2 * \sigma = 49.2 \frac{km}{h}$$

$$\text{Rango} = \bar{x} + 2 * \sigma = 76.8 \frac{km}{h}$$

**Tramo 1: Quinto día**

$$\sum X = 6934 \frac{km}{h} \quad \bar{x} = 63.04 \frac{km}{h} \quad n = 110$$

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 4792.4$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{8441.5}{110 - 1}} = 6.6$$

$$\text{Rango} = \bar{x} - 2 * \sigma = 49.8 \frac{km}{h}$$

$$\text{Rango} = \bar{x} + 2 * \sigma = 76.3 \frac{km}{h}$$

**Tabla N°44:** Depuración sexto día Tarija-Bermejo.

Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>
51	129.96	65	6.76	64	2.56
59	11.56	67	21.16	69	43.56
79	275.56	65	6.76	80	309.76
58	19.36	63	0.36	55	54.76
70	57.76	70	57.76	50	153.76
65	6.76	69	43.56	66	12.96
59	11.56	69	43.56	80	309.76
70	57.76	72	92.16	65	6.76
64	2.56	67	21.16	69	43.56
68	31.36	62	0.16	63	0.36
52	108.16	66	12.96	62	0.16
55	54.76	53	88.36	65	6.76
63	0.36	72	92.16	65	6.76
60	5.76	65	6.76	59	11.56
73	112.36	69	43.56	52	108.16
63	0.36	72	92.16	56	40.96
60	5.76	55	54.76	46	268.96
67	21.16	58	19.36	70	57.76
59	11.56	62	0.16	64	2.56
60	5.76	65	6.76	52	108.16
59	11.56	74	134.56	61	1.96
65	6.76	65	6.76	75	158.76
65	6.76	61	1.96	59	11.56
63	0.36	65	6.76	52	108.16
61	1.96	67	21.16	53	88.36
61	1.96	65	6.76	55	54.76
63	0.36	60	5.76	46	268.96
63	0.36	77	213.16	70	57.76
58	19.36	63	0.36	64	2.56
62	0.16	72	92.16	52	108.16
57	29.16	54	70.56	61	1.96
69	43.56	49	179.56	75	158.76
70	57.76	61	1.96	59	11.56
64	2.56	48	207.36	52	108.16
53	88.36	55	54.76	53	88.36
69	43.56	68	31.36	56	40.96
57	29.16	76	184.96	<b>Suma</b>	
<b>Media</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Desviación</b>	<b>Rango</b>	<b>6895</b>	<b>6024.6</b>
62.68	110	7.4	47.8-77.6		

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla N°45:** Depuración séptimo día Tarija-Bermejo.

Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>
65	6.76	66	12.96	71	73.96
60	5.76	63	0.36	60	5.76
65	6.76	60	5.76	60	5.76
60	5.76	59	11.56	53	88.36
63	0.36	63	0.36	53	88.36
65	6.76	75	158.76	50	153.76
65	6.76	55	54.76	67	21.16
63	0.36	71	73.96	64	2.56
59	11.56	63	0.36	68	31.36
63	0.36	61	1.96	74	134.56
70	57.76	71	73.96	73	112.36
65	6.76	64	2.56	65	6.76
71	73.96	68	31.36	58	19.36
58	19.36	71	73.96	55	54.76
60	5.76	60	5.76	52	108.16
63	0.36	69	43.56	55	54.76
63	0.36	62	0.16	70	57.76
65	6.76	65	6.76	63	0.36
67	21.16	70	57.76	64	2.56
61	1.96	58	19.36	63	0.36
69	43.56	67	21.16	63	0.36
70	57.76	55	54.76	69	43.56
69	43.56	67	21.16	66	12.96
64	2.56	62	0.16	54	70.56
67	21.16	70	57.76	58	19.36
61	1.96	65	6.76	66	12.96
57	29.16	68	31.36	70	57.76
63	0.36	58	19.36	63	0.36
61	1.96	53	88.36	64	2.56
65	6.76	66	12.96	63	0.36
61	1.96	50	153.76	63	0.36
65	6.76	50	153.76	69	43.56
72	92.16	52	108.16	66	12.96
69	43.56	65	6.76	54	70.56
67	21.16	50	153.76	58	19.36
60	5.76	76	184.96	55	54.76
59	11.56	76	184.96	<b>Suma</b>	
<b>Media</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Desviación</b>	<b>Rango</b>	<b>6953</b>	<b>3978.2</b>
63.21	110	6	51.1-75.3		

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tramo 1: Sexto día**

$$\sum X = 6895 \frac{km}{h} \quad \bar{x} = 62.68 \frac{km}{h} \quad n = 110$$

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 6024.6$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{8441.5}{110 - 1}} = 7.4$$

$$\text{Rango} = \bar{x} - 2 * \sigma = 47.8 \frac{km}{h}$$

$$\text{Rango} = \bar{x} + 2 * \sigma = 77.6 \frac{km}{h}$$

**Tramo 1: Séptimo día**

$$\sum X = 6953 \frac{km}{h} \quad \bar{x} = 63.21 \frac{km}{h} \quad n = 110$$

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 3978.2$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{8441.5}{110 - 1}} = 6$$

$$\text{Rango} = \bar{x} - 2 * \sigma = 51.1 \frac{km}{h}$$

$$\text{Rango} = \bar{x} + 2 * \sigma = 75.3 \frac{km}{h}$$

**Tabla N°46:** Depuración primer día Tarija-Entre Ríos.

Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>
43	253.72	60	1.15	41	321.43
81	487.15	56	8.58	44	222.86
48	119.43	51	62.86	81	487.15
56	8.58	54	24.29	51	62.86
70	122.58	37	480.86	50	79.72
47	142.29	42	286.58	65	36.86
49	98.58	40	358.29	82	532.29
50	79.72	79	402.86	69	101.43
39	397.15	66	50.01	65	36.86
72	170.86	66	50.01	56	8.58
30	836.86	53	35.15	32	725.15
74	227.15	57	3.72	44	222.86
42	286.58	54	24.29	70	122.58
66	50.01	46	167.15	95	1301.15
70	122.58	38	438.01	71	145.72
77	326.58	75	258.29	60	1.15
62	9.43	48	119.43	86	732.86
52	48.01	58	0.86	69	101.43
46	167.15	65	36.86	67	65.15
68	82.29	65	36.86	44	222.86
60	1.15	87	788.01	45	194.01
82	532.29	59	0.01	63	16.58
65	36.86	65	36.86	<b>Suma</b>	
56	8.58	49	98.58	<b>4125</b>	<b>14126.64</b>
<b>Media</b>	<b>Cantidad</b>	<b>desviación</b>	<b>Rango (-)</b>		
58.93	70	14.3	30.3-87.5		

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tramo 2:** Primer día

$$\sum X = 6953 \frac{km}{h}$$

$$\bar{x} = 63.21 \frac{km}{h}$$

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 3978.2 \quad n = 110$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{8441.5}{110 - 1}} = 6$$

$$\text{Rango} = \bar{x} - 2 * \sigma = 51.1 \frac{km}{h}$$

$$\text{Rango} = \bar{x} + 2 * \sigma = 75.3 \frac{km}{h}$$

**Tabla N°47:** Depuración segundo día Tarija-Entre Ríos.

Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>
51	51.4	70	139.9	47	124.8
64	34	48	103.5	54	17.4
43	230.2	60	3.3	61	8
70	139.9	55	10.1	53	26.7
75	283.2	44	200.8	72	191.2
76	317.9	61	8	75	283.2
51	51.4	60	3.3	55	10.1
54	17.4	71	164.6	60	3.3
39	367.5	60	3.3	61	8
72	191.2	67	77.9	40	330.2
50	66.8	61	8	41	294.9
83	616.5	59	0.7	70	139.9
25	1100.3	65	46.6	67	77.9
57	1.4	50	66.8	54	17.4
70	139.9	45	173.5	65	46.6
48	103.5	70	139.9	74	250.5
59	0.7	63	23.3	60	3.3
54	17.4	54	17.4	64	34
47	124.8	62	14.7	60	3.3
72	191.2	69	117.3	52	38.1
55	10.1	55	10.1	30	793.6
60	3.3	60	3.3	53	26.7
31	738.3	70	139.9	<b>Suma</b>	
79	433.8	40	330.2	<b>4072</b>	<b>9767.94</b>
<b>Media</b>	<b>Cantidad</b>	<b>desviación</b>	<b>Rango (-)</b>		
58.17	70	11.9	34.4-82		

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tramo 2:** Segundo día

$$\sigma = \sqrt{\frac{8441.5}{110 - 1}} = 6$$

$$\sum X = 6953 \frac{\text{km}}{\text{h}} \quad \bar{x} = 63.21 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$\text{Rango} = \bar{x} - 2 * \sigma = 51.1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 3978.2 \quad n = 110$$

$$\text{Rango} = \bar{x} + 2 * \sigma = 75.3 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

**Tabla N°48:** Depuración tercer día Tarija-Entre Ríos.

Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>
56	3.72	60	4.29	38	397.15
65	50.01	50	62.86	61	9.43
45	167.15	55	8.58	60	4.29
75	291.43	40	321.43	99	1686.86
60	4.29	40	321.43	67	82.29
60	4.29	80	487.15	66	65.15
44	194.01	60	4.29	67	82.29
48	98.58	69	122.58	73	227.15
25	1084.29	47	119.43	60	4.29
73	227.15	67	82.29	49	79.72
66	65.15	65	50.01	36	480.86
82	579.43	49	79.72	70	145.72
33	621.43	60	4.29	70	145.72
40	321.43	45	167.15	76	326.58
46	142.29	49	79.72	70	145.72
50	62.86	55	8.58	62	16.58
42	253.72	55	8.58	67	82.29
48	98.58	69	122.58	67	82.29
45	167.15	52	35.15	65	50.01
54	15.43	66	65.15	43	222.86
57	0.86	68	101.43	47	119.43
53	24.29	73	227.15	64	36.86
56	3.72	75	291.43	<b>Suma</b>	
75	291.43	31	725.15	<b>4055</b>	<b>12766.64</b>
<b>Media</b>	<b>Cantidad</b>	<b>desviación</b>	<b>Rango (-)</b>		
57.93	70	13.6	30.7-85.1		

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tramo 2:** Tercer día

$$\sum X = 6953 \frac{km}{h}$$

$$\bar{x} = 63.21 \frac{km}{h}$$

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 3978.2 \quad n = 110$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{8441.5}{110 - 1}} = 6$$

$$\text{Rango} = \bar{x} - 2 * \sigma = 51.1 \frac{km}{h}$$

$$\text{Rango} = \bar{x} + 2 * \sigma = 75.3 \frac{km}{h}$$

**Tabla N°49:** Depuración cuarto día Tarija-Entre Ríos.

Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>
62	16.58	59	1.15	39	358.29
75	291.43	55	8.58	67	82.29
48	98.58	58	0.01	50	62.86
60	4.29	55	8.58	53	24.29
53	24.29	47	119.43	60	4.29
42	253.72	45	167.15	47	119.43
61	9.43	77	363.72	66	65.15
55	8.58	59	1.15	76	326.58
47	119.43	58	0.01	70	145.72
43	222.86	57	0.86	45	167.15
65	50.01	69	122.58	37	438.01
79	444.01	43	222.86	76	326.58
37	438.01	54	15.43	72	198.01
68	101.43	47	119.43	61	9.43
64	36.86	43	222.86	60	4.29
63	25.72	67	82.29	58	0.01
57	0.86	68	101.43	79	444.01
53	24.29	70	145.72	65	50.01
45	167.15	62	16.58	65	50.01
50	62.86	63	25.72	43	222.86
50	62.86	58	0.01	35	525.72
70	145.72	69	122.58	60	4.29
58	0.01	62	16.58	<b>Suma</b>	
44	194.01	50	62.86	<b>4028</b>	<b>8379.79</b>
<b>Media</b>	<b>Cantidad</b>	<b>desviación</b>	<b>Rango (-)</b>		
57.54	70	11	35.5-79.6		

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tramo 2:** Cuarto día

$$\sum X = 6953 \frac{km}{h}$$

$$\bar{x} = 63.21 \frac{km}{h}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{8441.5}{110 - 1}} = 6$$

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 3978.2 \quad n = 110$$

$$\text{Rango} = \bar{x} - 2 * \sigma = 51.1 \frac{km}{h}$$

$$\text{Rango} = \bar{x} + 2 * \sigma = 75.3 \frac{km}{h}$$

**Tabla N°50:** Depuración quinto día Tarija-Entre Ríos.

Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>
67	82.29	65	50.01	40	321.43
73	227.15	58	0.01	65	50.01
55	8.58	55	8.58	59	1.15
72	198.01	55	8.58	78	402.86
50	62.86	41	286.58	84	679.72
48	98.58	48	98.58	67	82.29
53	24.29	65	50.01	62	16.58
49	79.72	71	170.86	60	4.29
45	167.15	53	24.29	68	101.43
55	8.58	50	62.86	47	119.43
62	16.58	65	50.01	45	167.15
64	36.86	55	8.58	62	16.58
50	62.86	51	48.01	70	145.72
62	16.58	48	98.58	72	198.01
61	9.43	39	358.29	52	35.15
62	16.58	74	258.29	79	444.01
60	4.29	83	628.58	61	9.43
50	62.86	61	9.43	65	50.01
40	321.43	64	36.86	59	1.15
72	198.01	90	1028.58	51	48.01
64	36.86	67	82.29	39	358.29
65	50.01	63	25.72	66	65.15
50	62.86	53	24.29	<b>Suma</b>	
65	50.01	40	321.43	<b>4159</b>	<b>8959.5</b>
<b>Media</b>	<b>Cantidad</b>	<b>desviación</b>	<b>Rango (-)</b>		
59.41	70	11.4	36.6-82.2		

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tramo 2:** Quinto día

$$\sum X = 6953 \frac{km}{h} \quad \bar{x} = 63.21 \frac{km}{h} \quad \sigma = \sqrt{\frac{8441.5}{110 - 1}} = 6$$

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 3978.2 \quad n = 110 \quad \text{Rango} = \bar{x} - 2 * \sigma = 51.1 \frac{km}{h}$$

$$\text{Rango} = \bar{x} + 2 * \sigma = 75.3 \frac{km}{h}$$

**Tabla N°51:** Depuración sexto día Tarija-Entre Ríos.

Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>
85	732.86	50	62.86	40	321.43
60	4.29	79	444.01	71	170.86
65	50.01	60	4.29	70	145.72
61	9.43	48	98.58	62	16.58
70	145.72	46	142.29	55	8.58
67	82.29	65	50.01	75	291.43
65	50.01	76	326.58	70	145.72
51	48.01	68	101.43	60	4.29
43	222.86	41	286.58	60	4.29
70	145.72	67	82.29	49	79.72
64	36.86	65	50.01	39	358.29
78	402.86	96	1449.43	69	122.58
55	8.58	49	79.72	68	101.43
61	9.43	50	62.86	55	8.58
70	145.72	41	286.58	53	24.29
57	0.86	57	0.86	72	198.01
54	15.43	63	25.72	69	122.58
53	24.29	91	1093.72	62	16.58
44	194.01	49	79.72	70	145.72
75	291.43	61	9.43	50	62.86
58	0.01	85	732.86	45	167.15
87	845.15	77	363.72	54	15.43
66	65.15	53	24.29	<b>Suma</b>	
52	35.15	41	286.58	<b>4307</b>	<b>12242.64</b>
<b>Media</b>	<b>Cantidad</b>	<b>desviación</b>	<b>Rango (-)</b>		
61.53	70	13.3	34.9-88.2		

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tramo 2:** Sexto día

$$\sum X = 6953 \frac{km}{h}$$

$$\bar{x} = 63.21 \frac{km}{h}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{8441.5}{110 - 1}} = 6$$

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 3978.2 \quad n = 110$$

$$\text{Rango} = \bar{x} - 2 * \sigma = 51.1 \frac{km}{h}$$

$$\text{Rango} = \bar{x} + 2 * \sigma = 75.3 \frac{km}{h}$$

**Tabla N°52:** Depuración séptimo día Tarija-Entre Ríos.

Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>
67	82.29	64	36.86	49	79.72
56	3.72	45	167.15	67	82.29
65	50.01	60	4.29	70	145.72
65	50.01	50	62.86	80	487.15
67	82.29	44	194.01	70	145.72
99	1686.86	71	170.86	76	326.58
55	8.58	55	8.58	74	258.29
54	15.43	71	170.86	55	8.58
43	222.86	41	286.58	73	227.15
55	8.58	83	628.58	43	222.86
67	82.29	63	25.72	50	62.86
71	170.86	67	82.29	62	16.58
55	8.58	65	50.01	73	227.15
69	122.58	54	15.43	77	363.72
84	679.72	40	321.43	70	145.72
66	65.15	60	4.29	70	145.72
60	4.29	63	25.72	74	258.29
47	119.43	80	487.15	60	4.29
48	98.58	53	24.29	70	145.72
69	122.58	76	326.58	44	194.01
55	8.58	70	145.72	47	119.43
78	402.86	50	62.86	60	4.29
66	65.15	72	198.01	<b>Suma</b>	
79	444.01	45	167.15	<b>4396</b>	<b>11944.36</b>
<b>Media</b>	<b>Cantidad</b>	<b>desviación</b>	<b>Rango (-)</b>		
62.8	70	13.2	36.5-89.1		

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tramo 2:** Séptimo día

$$\sigma = \sqrt{\frac{8441.5}{110 - 1}} = 6$$

$$\sum X = 6953 \frac{km}{h} \quad \bar{x} = 63.21 \frac{km}{h}$$

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 3978.2 \quad n = 110$$

$$\text{Rango} = \bar{x} - 2 * \sigma = 51.1 \frac{km}{h}$$

$$\text{Rango} = \bar{x} + 2 * \sigma = 75.3 \frac{km}{h}$$

**Tabla N°53:** Depuración primer día Tarija-El Puente.

Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>
34	207.04	41	54.6	45	11.48
40	70.37	40	70.37	42	40.82
56	57.93	56	57.93	45	11.48
50	2.6	53	21.26	50	2.6
40	70.37	52	13.04	60	134.82
62	185.26	43	29.04	49	0.37
40	70.37	65	275.93	64	243.71
45	11.48	47	1.93	53	21.26
27	457.48	40	70.37	45	11.48
31	302.37	47	1.93	53	21.26
40	70.37	45	11.48	52	13.04
39	88.15	41	54.6	40	70.37
55	43.71	57	74.15	40	70.37
60	134.82	65	275.93	53	21.26
60	134.82	72	557.48	53	21.26
60	134.82	55	43.71	50	2.6
78	876.82	45	11.48	52	13.04
43	29.04	53	21.26	45	11.48
36	153.48	50	2.6	32	268.6
32	268.6	51	6.82	53	21.26
46	5.71	36	153.48	41	54.6
35	179.26	44	19.26	46	5.71
49	0.37	49	0.37	50	2.6
55	43.71	49	0.37	50	2.6
64	243.71	68	384.6	55	43.71
56	57.93	40	70.37	45	11.48
74	655.93	44	19.26	66	310.15
38	107.93	43	29.04	38	107.93
36	153.48	34	207.04	42	40.82
39	88.15	51	6.82	50	2.6
<b>Media</b>	<b>Cantidad</b>	<b>desviación</b>	<b>Rango (-)</b>	<b>Suma</b>	
48.39	90	10.1	28.2-68.6	<b>4355</b>	<b>9047.39</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tramo 3:** Primer día

$$\sum X = 6953 \frac{km}{h}$$

$$\bar{x} = 63.21 \frac{km}{h}$$

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 3978.2 \quad n = 110$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{8441.5}{110 - 1}} = 6$$

$$\text{Rango} = \bar{x} - 2 * \sigma = 51.1 \frac{km}{h}$$

$$\text{Rango} = \bar{x} + 2 * \sigma = 75.3 \frac{km}{h}$$

**Tabla N°54:** Depuración segundo día Tarija-El Puente.

Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>
49	3.2	55	17.6	50	0.6
43	60.8	41	96	45	33.6
60	84.6	52	1.4	71	408
60	84.6	53	4.8	50	0.6
67	262.4	73	492.8	56	27
50	0.6	59	67.2	40	116.6
55	17.6	55	17.6	71	408
30	432.6	39	139.2	49	3.2
41	96	38	163.8	56	27
40	116.6	40	116.6	50	0.6
54	10.2	45	33.6	49	3.2
43	60.8	55	17.6	43	60.8
50	0.6	54	10.2	62	125.4
58	51.8	60	84.6	46	23
69	331.2	75	585.6	59	67.2
63	148.8	57	38.4	49	3.2
60	84.6	60	84.6	70	368.6
45	33.6	30	432.6	45	33.6
45	33.6	34	282.2	44	46.2
32	353.4	33	316.8	55	17.6
49	3.2	42	77.4	40	116.6
40	116.6	46	23	43	60.8
60	84.6	55	17.6	49	3.2
50	0.6	46	23	46	23
72	449.4	53	4.8	55	17.6
60	84.6	40	116.6	47	14.4
60	84.6	71	408	73	492.8
48	7.8	47	14.4	41	96
32	353.4	43	60.8	32	353.4
38	163.8	50	0.6	62	125.4
<b>Media</b>	<b>Cantidad</b>	<b>desviación</b>	<b>Rango (-)</b>	<b>Suma</b>	
50.8	90	10.8	29.1-72.5	<b>4572</b>	<b>10446.4</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tramo 3:** Segundo día

$$\sum X = 6953 \frac{km}{h}$$

$$\bar{x} = 63.21 \frac{km}{h}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{8441.5}{110 - 1}} = 6$$

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 3978.2 \quad n = 110$$

$$\text{Rango} = \bar{x} - 2 * \sigma = 51.1 \frac{km}{h}$$

$$\text{Rango} = \bar{x} + 2 * \sigma = 75.3 \frac{km}{h}$$

**Tabla N°55:** Depuración tercer día Tarija-El Puente.

Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>
64	154.59	51	0.32	49	6.59
42	91.52	46	30.99	54	5.92
57	29.52	57	29.52	57	29.52
53	2.05	49	6.59	51	0.32
75	549.12	66	208.32	59	55.25
56	19.65	60	71.12	55	11.79
73	459.39	62	108.85	60	71.12
45	43.12	38	184.05	44	57.25
24	759.92	50	2.45	43	73.39
33	344.72	35	274.45	49	6.59
46	30.99	55	11.79	53	2.05
40	133.79	44	57.25	46	30.99
50	2.45	62	108.85	60	71.12
50	2.45	65	180.45	53	2.05
75	549.12	86	1185.65	50	2.45
55	11.79	50	2.45	47	20.85
75	549.12	67	238.19	60	71.12
49	6.59	48	12.72	37	212.19
30	465.12	40	133.79	21	934.32
40	133.79	36	242.32	45	43.12
49	6.59	51	0.32	44	57.25
44	57.25	51	0.32	48	12.72
60	71.12	58	41.39	59	55.25
54	5.92	49	6.59	49	6.59
75	549.12	60	71.12	54	5.92
58	41.39	61	88.99	46	30.99
68	270.05	70	339.79	78	698.72
40	133.79	38	184.05	50	2.45
50	2.45	46	30.99	32	382.85
30	465.12	29	509.25	48	12.72
<b>Media</b>	<b>Cantidad</b>	<b>desviación</b>	<b>Rango (-)</b>	<b>Suma</b>	
51.57	90	12.2	27.1-76	<b>4641</b>	<b>13278.1</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tramo 3:** Tercer día

$$\sum X = 6953 \frac{km}{h}$$

$$\bar{x} = 63.21 \frac{km}{h}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{8441.5}{110 - 1}} = 6$$

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 3978.2 \quad n = 110$$

$$\text{Rango} = \bar{x} - 2 * \sigma = 51.1 \frac{km}{h}$$

$$\text{Rango} = \bar{x} + 2 * \sigma = 75.3 \frac{km}{h}$$

**Tabla N°56:** Depuración cuarto día Tarija-El Punte.

Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>
46	30.99	44	57.25	49	6.59
43	73.39	48	12.72	50	2.45
57	29.52	66	208.32	65	180.45
59	55.25	65	180.45	53	2.05
74	503.25	71	377.65	60	71.12
50	2.45	51	0.32	40	133.79
48	12.72	48	12.72	60	71.12
46	30.99	36	242.32	45	43.12
31	422.99	48	12.72	50	2.45
33	344.72	50	2.45	45	43.12
41	111.65	46	30.99	43	73.39
40	133.79	42	91.52	49	6.59
51	0.32	59	55.25	57	29.52
53	2.05	65	180.45	55	11.79
60	71.12	67	238.19	50	2.45
55	11.79	53	2.05	41	111.65
78	698.72	71	377.65	58	41.39
26	653.65	31	422.99	30	465.12
30	465.12	37	212.19	42	91.52
33	344.72	46	30.99	47	20.85
43	73.39	51	0.32	44	57.25
46	30.99	43	73.39	53	2.05
58	41.39	50	2.45	65	180.45
59	55.25	50	2.45	51	0.32
70	339.79	55	11.79	55	11.79
57	29.52	51	0.32	54	5.92
48	12.72	65	180.45	55	11.79
32	382.85	43	73.39	49	6.59
35	274.45	51	0.32	41	111.65
46	30.99	40	133.79	47	20.85
<b>Media</b>	<b>Cantidad</b>	<b>desviación</b>	<b>Rango (-)</b>	<b>Suma</b>	
49.93	90	10.8	28.4-71.5	<b>4494</b>	<b>10317.7</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tramo 3:** Cuarto día

$$\sum X = 6953 \frac{km}{h}$$

$$\bar{x} = 63.21 \frac{km}{h}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{8441.5}{110 - 1}} = 6$$

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 3978.2 \quad n = 110$$

$$\text{Rango} = \bar{x} - 2 * \sigma = 51.1 \frac{km}{h}$$

$$\text{Rango} = \bar{x} + 2 * \sigma = 75.3 \frac{km}{h}$$

**Tabla N°57:** Depuración quinto día Tarija-El Puente.

Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>
49	6.59	49	6.59	46	30.99
44	57.25	44	57.25	46	30.99
59	55.25	60	71.12	63	130.72
59	55.25	57	29.52	52	0.19
70	339.79	67	238.19	58	41.39
54	5.92	55	11.79	49	6.59
50	2.45	63	130.72	60	71.12
30	465.12	32	382.85	46	30.99
42	91.52	42	91.52	45	43.12
45	43.12	35	274.45	50	2.45
51	0.32	52	0.19	49	6.59
49	6.59	41	111.65	49	6.59
55	11.79	51	0.32	51	0.32
55	11.79	50	2.45	55	11.79
73	459.39	64	154.59	53	2.05
60	71.12	54	5.92	51	0.32
67	238.19	81	866.32	58	41.39
30	465.12	39	157.92	48	12.72
33	344.72	32	382.85	45	43.12
39	157.92	20	996.45	34	308.59
53	2.05	41	111.65	51	0.32
41	111.65	47	20.85	43	73.39
50	2.45	58	41.39	54	5.92
53	2.05	53	2.05	50	2.45
60	71.12	51	0.32	50	2.45
60	71.12	60	71.12	60	71.12
80	808.45	65	180.45	55	11.79
39	157.92	44	57.25	56	19.65
32	382.85	43	73.39	48	12.72
30	465.12	40	133.79	36	242.32
<b>Media</b>	<b>Cantidad</b>	<b>desviación</b>	<b>Rango (-)</b>	<b>Suma</b>	
50.14	90	11.1	28-72.3	<b>4513</b>	<b>10893.17</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tramo 3:** Quinto día

$$\sigma = \sqrt{\frac{8441.5}{110 - 1}} = 6$$

$$\sum X = 6953 \frac{km}{h} \quad \bar{x} = 63.21 \frac{km}{h} \quad \text{Rango} = \bar{x} - 2 * \sigma = 51.1 \frac{km}{h}$$

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 3978.2 \quad n = 110 \quad \text{Rango} = \bar{x} + 2 * \sigma = 75.3 \frac{km}{h}$$

**Tabla N°58:** Depuración sexto día Tarija-El Puente.

Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>
52	0.19	51	0.32	46	30.99
46	30.99	41	111.65	42	91.52
54	5.92	54	5.92	60	71.12
58	41.39	60	71.12	55	11.79
70	339.79	69	303.92	57	29.52
61	88.99	60	71.12	53	2.05
76	596.99	61	88.99	58	41.39
36	242.32	35	274.45	45	43.12
50	2.45	39	157.92	37	212.19
20	996.45	30	465.12	44	57.25
44	57.25	48	12.72	41	111.65
47	20.85	42	91.52	47	20.85
50	2.45	60	71.12	56	19.65
63	130.72	49	6.59	49	6.59
69	303.92	75	549.12	67	238.19
57	29.52	54	5.92	47	20.85
63	130.72	60	71.12	65	180.45
37	212.19	35	274.45	50	2.45
37	212.19	47	20.85	46	30.99
42	91.52	45	43.12	41	111.65
49	6.59	42	91.52	48	12.72
44	57.25	46	30.99	51	0.32
59	55.25	56	19.65	63	130.72
61	88.99	51	0.32	45	43.12
61	88.99	71	377.65	58	41.39
53	2.05	43	73.39	49	6.59
70	339.79	70	339.79	73	459.39
41	111.65	56	19.65	47	20.85
43	73.39	50	2.45	38	184.05
28	555.39	45	43.12	50	2.45
<b>Media</b>	<b>Cantidad</b>	<b>desviación</b>	<b>Rango (-)</b>	<b>Suma</b>	
51.27	90	11	29.2-73.3	<b>4614</b>	<b>10847.7</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tramo 3:** Sexto día

$$\sum X = 6953 \frac{km}{h}$$

$$\bar{x} = 63.21 \frac{km}{h}$$

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 3978.2 \quad n = 110$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{8441.5}{110 - 1}} = 6$$

$$\text{Rango} = \bar{x} - 2 * \sigma = 51.1 \frac{km}{h}$$

$$\text{Rango} = \bar{x} + 2 * \sigma = 75.3 \frac{km}{h}$$

**Tabla N°59:** Depuración séptimo día Tarija-El Puente.

Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>	Vel.	(X-x) <sup>2</sup>
46	30.99	53	2.05	49	6.59
48	12.72	41	111.65	49	6.59
49	6.59	57	29.52	51	0.32
57	29.52	60	71.12	46	30.99
63	130.72	61	88.99	60	71.12
59	55.25	59	55.25	49	6.59
71	377.65	67	238.19	67	238.19
33	344.72	43	73.39	34	308.59
37	212.19	40	133.79	47	20.85
37	212.19	51	0.32	35	274.45
41	111.65	47	20.85	44	57.25
41	111.65	46	30.99	51	0.32
51	0.32	60	71.12	56	19.65
59	55.25	59	55.25	50	2.45
67	238.19	61	88.99	56	19.65
63	130.72	55	11.79	60	71.12
66	208.32	64	154.59	70	339.79
43	73.39	47	20.85	48	12.72
48	12.72	45	43.12	38	184.05
43	73.39	49	6.59	50	2.45
51	0.32	50	2.45	43	73.39
44	57.25	51	0.32	50	2.45
53	2.05	43	73.39	59	55.25
63	130.72	47	20.85	44	57.25
66	208.32	60	71.12	65	180.45
57	29.52	55	11.79	48	12.72
70	339.79	63	130.72	65	180.45
47	20.85	48	12.72	34	308.59
39	157.92	51	0.32	45	43.12
40	133.79	46	30.99	47	20.85
<b>Media</b>	<b>Cantidad</b>	<b>desviación</b>	<b>Rango (-)</b>	<b>Suma</b>	
51.57	90	9.3	32.9-70.3	<b>4641</b>	<b>7780.1</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tramo 3:** Séptimo día

$$\sum X = 6953 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$\bar{x} = 63.21 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{8441.5}{110 - 1}} = 6$$

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 3978.2 \quad n = 110$$

$$\text{Rango} = \bar{x} - 2 * \sigma = 51.1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$\text{Rango} = \bar{x} + 2 * \sigma = 75.3 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

#### 4.4. Velocidades depuradas

##### 4.4.1. Velocidad media de tramo Tarija-Bermejo

**Tabla N°60:** Velocidad media de tramo Tarija-Bermejo

Días	Velocidades km/h
Dia 1	62.92
Dia 2	63.57
Dia 3	62.75
Dia 4	63.02
Dia 5	63.33
Dia 6	62.51
Dia 7	63.47
<b>Promedio</b>	<b>63.08</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

##### 4.4.2 Velocidad media de tramo Tarija-El Puente

**Tabla N°61:** Velocidad media de tramo Tarija-El Puente

Días	Velocidades km/h
Dia 1	47.72
Dia 2	50.01
Dia 3	51.55
Dia 4	49.88
Dia 5	49.52
Dia 6	51.34
Dia 7	51.35
<b>Promedio</b>	<b>50.2</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.4.3 Velocidad media de tramo Tarija-Entre Ríos

**Tabla N°62:** Velocidad media de tramo Tarija-Entre Ríos

Días	Velocidades km/h
Dia 1	58.82
Dia 2	59.14
Dia 3	57.81
Dia 4	57.87
Dia 5	58.24
Dia 6	60.59
Dia 7	62.28
<b>Promedio</b>	<b>59.25</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.4.4. Resultados de velocidades medias

**Tabla N°63:** Velocidad promedio de los tramos

Tramo	Vel. (km/h)
Tarija-Bermejo	63.08
Tarija-El Puente	50.2
Tarija-Entre Ríos	59.25

**Fuente:** Elaboración propia.

Evaluación de radios con las velocidades de proyecto de cada tramo:

**Punto 1 Tarija-Bermejo con el radio 125 m**

Datos:

e=6%, R=125 m, V=63.08 km/h

$$f = 0.2392 - \frac{3 * 63.08}{2000}$$

Vel. Km/h	$f = 0.2392 - \frac{3 * 48.08}{2000}$	f=0.145
48.08	f=0.167	$f = 0.2392 - \frac{3 * 68.08}{2000}$
53.08	$f = 0.2392 - \frac{3 * 53.08}{2000}$	f=0.137
58.08	f=0.160	$f = 0.2392 - \frac{3 * 73.08}{2000}$
63.08	$f = 0.2392 - \frac{3 * 58.08}{2000}$	f=0.130
68.08	f=0.152	$f = 0.2392 - \frac{3 * 78.08}{2000}$
73.08		f=0.122
78.08		

**Con velocidad de 48.08 km/h**

$$0.06 + 0.167 = \frac{48.08^2}{127 * 125}$$

0.227=0.146 No hay equilibrio

**Con velocidad de 58.08 km/h**

$$0.06 + 0.152 = \frac{58.08^2}{127 * 125}$$

0.212=0.212 No hay equilibrio

**Con velocidad de 68.08 km/h**

$$0.06 + 0.137 = \frac{68.08^2}{127 * 125}$$

0.197=0.292 No hay equilibrio

**Con velocidad de 53.08 km/h**

$$0.06 + 0.160 = \frac{53.08^2}{127 * 125}$$

0.220=0.177 No hay equilibrio

**Con velocidad de 63.08 km/h**

$$0.06 + 0.145 = \frac{63.08^2}{127 * 125}$$

0.205=0.251 No hay equilibrio

**Con velocidad de 73.08 km/h**

$$0.06 + 0.130 = \frac{73.08^2}{127 * 125}$$

0.190=0.336 No hay

Con velocidad de 78.08 km/h

$$0.06 + 0.122 = \frac{78.08^2}{127 * 125}$$

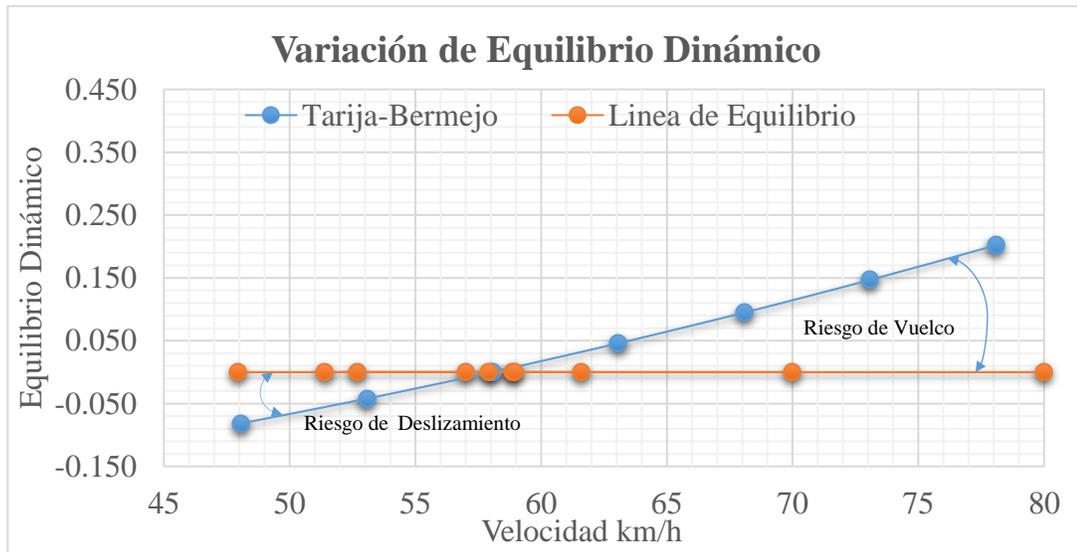
0.182=0.384 No hay equilibrio

**Tabla N°64:** Variación del equilibrio dinámico Tarija-Bermejo

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V <sup>2</sup> /127*R	Delta
1	48.08	125	0.06	0.167	0.227	=	0.146	-0.081
2	53.08	125	0.06	0.16	0.22	=	0.177	-0.042
3	58.08	125	0.06	0.152	0.212	=	0.212	0
4	63.08	125	0.06	0.145	0.205	=	0.251	0.046
5	68.08	125	0.06	0.137	0.197	=	0.292	0.095
6	73.08	125	0.06	0.13	0.19	=	0.336	0.147
7	78.08	125	0.06	0.122	0.182	=	0.384	0.202

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°18:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

## Punto 2 Tarija-Bermejo con el radio 145 m

Datos:

e=6%, R=145 m, V=63.08 km/h

Vel. Km/h	f
48.08	0.167
53.08	0.160
58.08	0.152
63.08	0.145
68.08	0.137
73.08	0.130
78.08	0.122

**Con velocidad de 48.08 km/h**

$$0.06 + 0.167 = \frac{48.08^2}{127 * 145}$$

0.227=0.126 No hay equilibrio

**Con velocidad de 58.08 km/h**

$$0.06 + 0.152 = \frac{58.08^2}{127 * 145}$$

0.212=0.183 No hay equilibrio

**Con velocidad de 68.08 km/h**

$$0.06 + 0.137 = \frac{68.08^2}{127 * 145}$$

0.197=0.252 No hay equilibrio

**Con velocidad de 53.08 km/h**

$$0.06 + 0.160 = \frac{53.08^2}{127 * 145}$$

0.220=0.153 No hay equilibrio

**Con velocidad de 63.08 km/h**

$$0.06 + 0.145 = \frac{63.08^2}{127 * 145}$$

0.205=0.216 No hay equilibrio

**Con velocidad de 73.08 km/h**

$$0.06 + 0.130 = \frac{73.08^2}{127 * 145}$$

0.190=0.290 No hay

Con velocidad de 78.08 km/h

$$0.06 + 0.122 = \frac{78.08^2}{127 * 145}$$

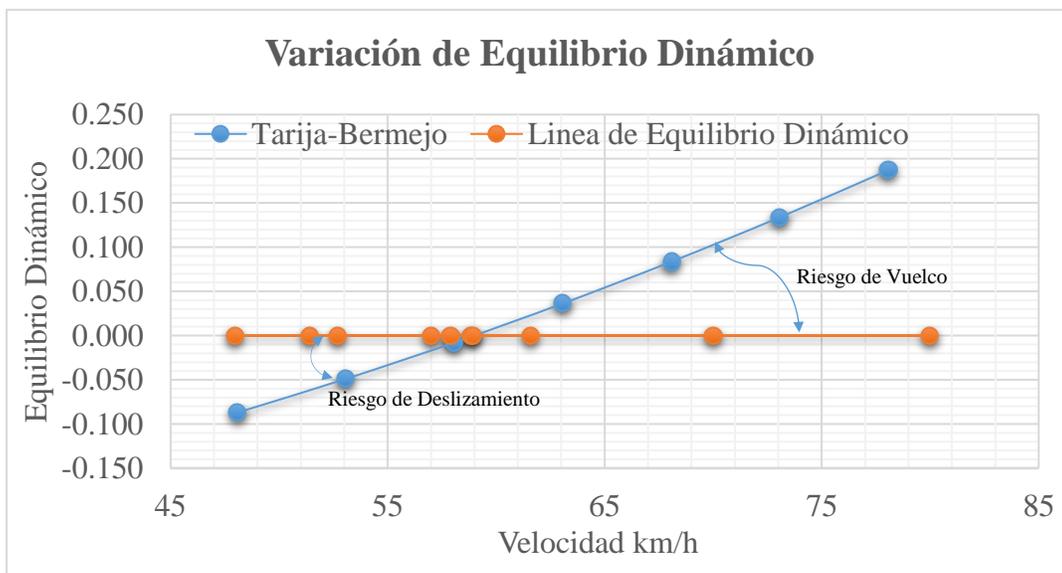
0.182=0.331 No hay equilibrio

**Tabla N°65:** Variación del equilibrio dinámico Tarija-Bermejo

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V <sup>2</sup> /127*R	Delta
1	48.08	145	0.05	0.167	0.217	=	0.126	-0.092
2	53.08	145	0.05	0.16	0.21	=	0.153	-0.057
3	58.08	145	0.05	0.152	0.202	=	0.183	-0.019
4	63.08	145	0.05	0.145	0.195	=	0.216	0.021
5	68.08	145	0.05	0.137	0.187	=	0.252	0.065
6	73.08	145	0.05	0.13	0.18	=	0.29	0.11
7	78.08	145	0.05	0.122	0.172	=	0.331	0.159

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°19:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

### Punto 3 Tarija-Bermejo con el radio 130 m

Datos:

e=6%, R=130 m, V=63.08 km/h

Vel. Km/h	f
48.08	0.167
53.08	0.160
58.08	0.152
63.08	0.145
68.08	0.137
73.08	0.130
78.08	0.122

**Con velocidad de 48.08 km/h**

$$0.06 + 0.167 = \frac{48.08^2}{127 * 130}$$

0.227=0.140 No hay equilibrio

**Con velocidad de 58.08 km/h**

$$0.06 + 0.152 = \frac{58.08^2}{127 * 130}$$

0.212=0.204 No hay equilibrio

**Con velocidad de 68.08 km/h**

$$0.06 + 0.137 = \frac{68.08^2}{127 * 130}$$

0.197=0.281 No hay equilibrio

**Con velocidad de 53.08 km/h**

$$0.06 + 0.160 = \frac{53.08^2}{127 * 130}$$

0.220=0.171 No hay equilibrio

**Con velocidad de 63.08 km/h**

$$0.06 + 0.145 = \frac{63.08^2}{127 * 130}$$

0.205=0.241 No hay equilibrio

**Con velocidad de 73.08 km/h**

$$0.06 + 0.130 = \frac{73.08^2}{127 * 130}$$

0.190=0.323 No hay

Con velocidad de 78.08 km/h

$$0.06 + 0.122 = \frac{78.08^2}{127 * 130}$$

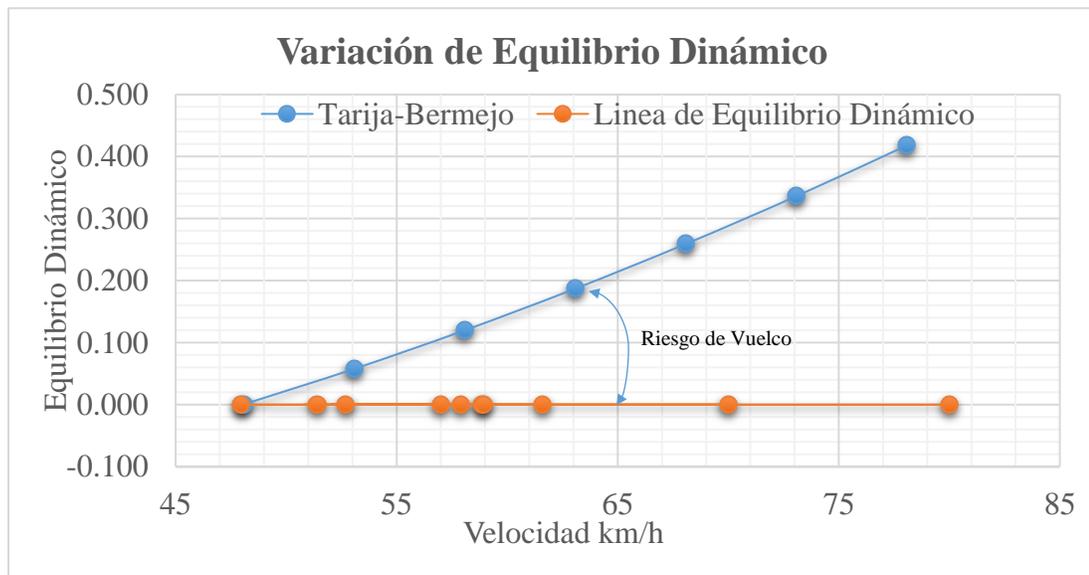
0.182=0.369 No hay equilibrio

**Tabla N°66:** Variación del equilibrio dinámico Tarija-Bermejo

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V2/127*R	Delta
1	48.08	130	0.06	0.167	0.227	=	0.14	-0.087
2	53.08	130	0.06	0.16	0.22	=	0.171	-0.049
3	58.08	130	0.06	0.152	0.212	=	0.204	-0.008
4	63.08	130	0.06	0.145	0.205	=	0.241	0.036
5	68.08	130	0.06	0.137	0.197	=	0.281	0.084
6	73.08	130	0.06	0.13	0.19	=	0.323	0.134
7	78.08	130	0.06	0.122	0.182	=	0.369	0.187

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°20:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia

#### Punto 4 Tarija-Bermejo con el radio 80 m

Datos:

e=6%, R=80 m, V=63.08 km/h

Vel. Km/h	f
48.08	0.167
53.08	0.160
58.08	0.152
63.08	0.145
68.08	0.137
73.08	0.130
78.08	0.122

**Con velocidad de 48.08 km/h**

$$0.06 + 0.167 = \frac{48.08^2}{127 * 80}$$

0.227=0.228 No hay equilibrio

**Con velocidad de 53.08 km/h**

$$0.06 + 0.160 = \frac{53.08^2}{127 * 80}$$

0.220=0.277 No hay equilibrio

**Con velocidad de 58.08 km/h**

$$0.06 + 0.152 = \frac{58.08^2}{127 * 80}$$

0.212=0.332 No hay equilibrio

**Con velocidad de 63.08 km/h**

$$0.06 + 0.145 = \frac{63.08^2}{127 * 80}$$

0.205=0.392 No hay equilibrio

**Con velocidad de 68.08 km/h**

$$0.06 + 0.137 = \frac{68.08^2}{127 * 80}$$

0.197=0.456 No hay equilibrio

**Con velocidad de 73.08 km/h**

$$0.06 + 0.130 = \frac{73.08^2}{127 * 80}$$

0.190=0.526 No hay

Con velocidad de 78.08 km/h

$$0.06 + 0.122 = \frac{78.08^2}{127 * 80}$$

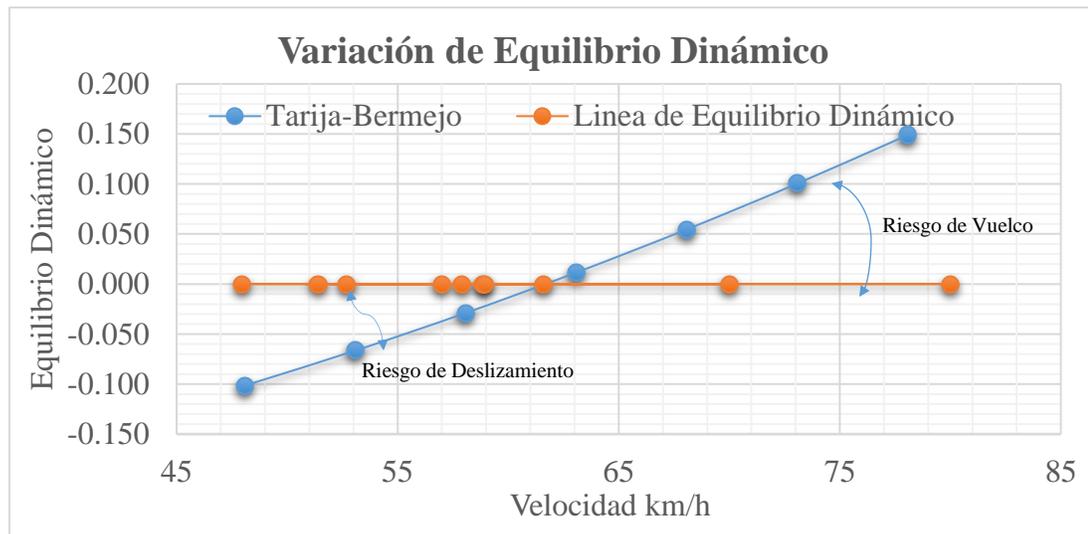
0.182=0.6 No hay equilibrio

**Tabla N°67:** Variación del equilibrio dinámico Tarija-Bermejo

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V <sup>2</sup> /127*R	Delta
1	48.08	80	0.06	0.167	0.227	=	0.228	0
2	53.08	80	0.06	0.16	0.22	=	0.277	0.058
3	58.08	80	0.06	0.152	0.212	=	0.332	0.12
4	63.08	80	0.06	0.145	0.205	=	0.392	0.187
5	68.08	80	0.06	0.137	0.197	=	0.456	0.259
6	73.08	80	0.06	0.13	0.19	=	0.526	0.336
7	78.08	80	0.06	0.122	0.182	=	0.6	0.418

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°21:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia

### Punto 5 Tarijz-Bermejo con el radio 120 m

Datos:

e=6%, R=120 m, V=63.08 km/h

Vel. Km/h	f
48.08	0.167
53.08	0.160
58.08	0.152
63.08	0.145
68.08	0.137
73.08	0.130
78.08	0.122

**Con velocidad de 48.08 km/h**

$$0.06 + 0.167 = \frac{48.08^2}{127 * 120}$$

0.227=0.152 No hay equilibrio

**Con velocidad de 58.08 km/h**

$$0.06 + 0.152 = \frac{58.08^2}{127 * 120}$$

0.212=0.221 No hay equilibrio

**Con velocidad de 68.08 km/h**

$$0.06 + 0.137 = \frac{68.08^2}{127 * 120}$$

0.197=0.304 No hay equilibrio

**Con velocidad de 53.08 km/h**

$$0.06 + 0.160 = \frac{53.08^2}{127 * 120}$$

0.220=0.185 No hay equilibrio

**Con velocidad de 63.08 km/h**

$$0.06 + 0.145 = \frac{63.08^2}{127 * 120}$$

0.205=0.261 No hay equilibrio

**Con velocidad de 73.08 km/h**

$$0.06 + 0.130 = \frac{73.08^2}{127 * 120}$$

0.190=0.350 No hay

Con velocidad de 78.08 km/h

$$0.06 + 0.122 = \frac{78.08^2}{127 * 120}$$

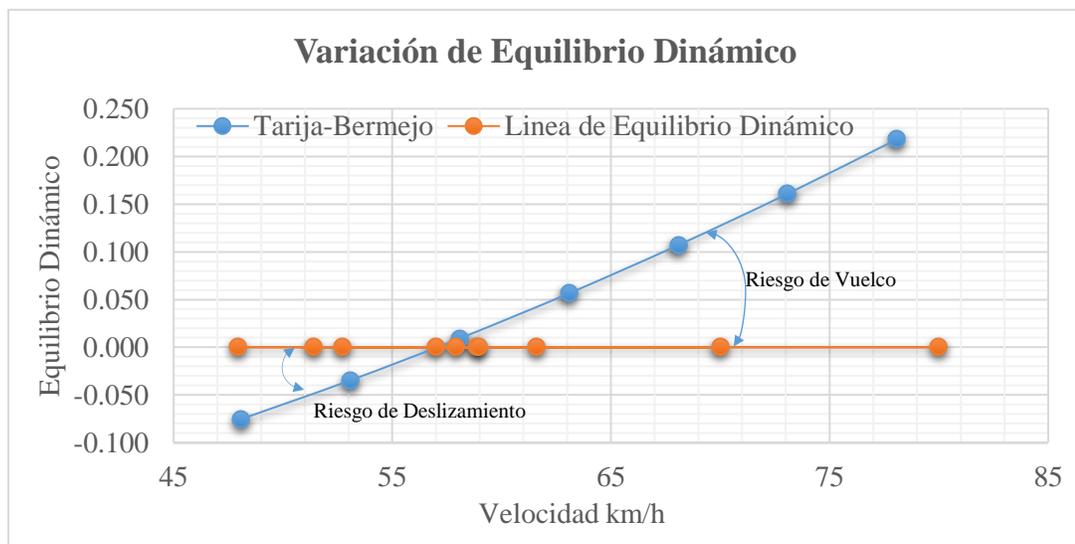
0.182=0.4 No hay equilibrio

**Tabla N°68:** Variación del equilibrio dinámico Tarija-Bermejo

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V2/127*R	Delta
1	48.08	120	0.06	0.167	0.227	=	0.152	-0.075
2	53.08	120	0.06	0.16	0.22	=	0.185	-0.035
3	58.08	120	0.06	0.152	0.212	=	0.221	0.009
4	63.08	120	0.06	0.145	0.205	=	0.261	0.057
5	68.08	120	0.06	0.137	0.197	=	0.304	0.107
6	73.08	120	0.06	0.13	0.19	=	0.35	0.161
7	78.08	120	0.06	0.122	0.182	=	0.4	0.218

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°22:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

### Punto 6 Tarija-Bermejo con el radio 127 m

Datos:

e=6%, R=127 m, V=63.08 km/h

Vel. Km/h	f
48.08	0.167
53.08	0.160
58.08	0.152
63.08	0.145
68.08	0.137
73.08	0.130
78.08	0.122

**Con velocidad de 48.08 km/h**

$$0.06 + 0.167 = \frac{48.08^2}{127 * 127}$$

0.227=0.143 No hay equilibrio

**Con velocidad de 58.08 km/h**

$$0.06 + 0.152 = \frac{58.08^2}{127 * 127}$$

0.212=0.209 No hay equilibrio

**Con velocidad de 68.08 km/h**

$$0.06 + 0.137 = \frac{68.08^2}{127 * 127}$$

0.197=0.287 No hay equilibrio

**Con velocidad de 53.08 km/h**

$$0.06 + 0.160 = \frac{53.08^2}{127 * 127}$$

0.220=0.175 No hay equilibrio

**Con velocidad de 63.08 km/h**

$$0.06 + 0.145 = \frac{63.08^2}{127 * 127}$$

0.205=0.247 No hay equilibrio

**Con velocidad de 73.08 km/h**

$$0.06 + 0.130 = \frac{73.08^2}{127 * 127}$$

0.190=0.331 No hay

Con velocidad de 78.08 km/h

$$0.06 + 0.122 = \frac{78.08^2}{127 * 127}$$

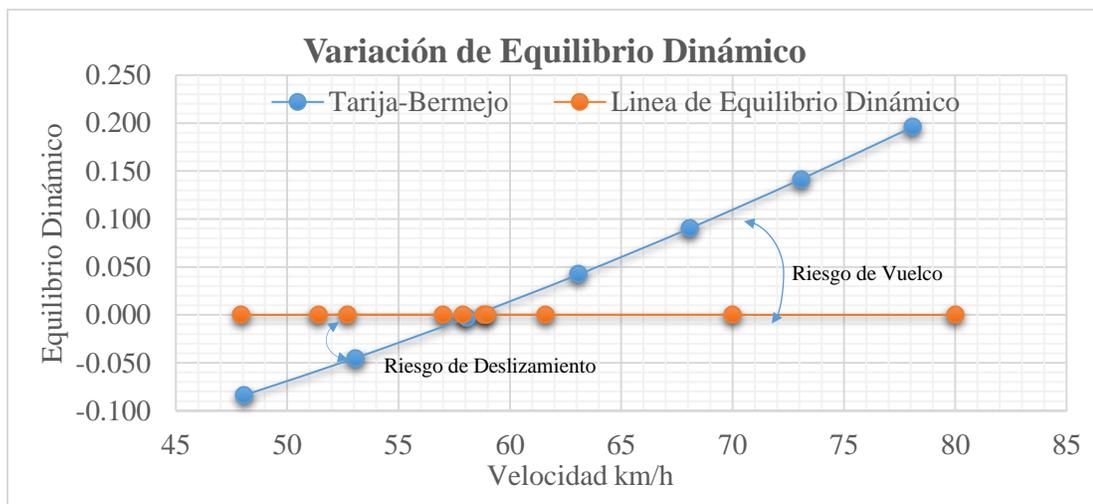
0.182=0.378 No hay equilibrio

**Tabla N°69:** Variación del equilibrio dinámico Tarija-Bermejo

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V2/127*R	Delta
1	48.08	127	0.06	0.167	0.227	=	0.143	-0.084
2	53.08	127	0.06	0.16	0.22	=	0.175	-0.045
3	58.08	127	0.06	0.152	0.212	=	0.209	-0.003
4	63.08	127	0.06	0.145	0.205	=	0.247	0.042
5	68.08	127	0.06	0.137	0.197	=	0.287	0.09
6	73.08	127	0.06	0.13	0.19	=	0.331	0.142
7	78.08	127	0.06	0.122	0.182	=	0.378	0.196

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°23:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

### Punto 7 Tarija-Bermejo con el radio 100 m

Datos:

e=6%, R=100 m, V=63.08 km/h

Vel. Km/h	f
48.08	0.167
53.08	0.160
58.08	0.152
63.08	0.145
68.08	0.137
73.08	0.130
78.08	0.122

**Con velocidad de 48.08 km/h**

$$0.06 + 0.167 = \frac{48.08^2}{127 * 100}$$

0.227=0.182 No hay equilibrio

**Con velocidad de 53.08 km/h**

$$0.06 + 0.160 = \frac{53.08^2}{127 * 100}$$

0.220=0.222 No hay equilibrio

**Con velocidad de 58.08 km/h**

$$0.06 + 0.152 = \frac{58.08^2}{127 * 100}$$

0.212=0.266 No hay equilibrio

**Con velocidad de 63.08 km/h**

$$0.06 + 0.145 = \frac{63.08^2}{127 * 100}$$

0.205=0.313 No hay equilibrio

**Con velocidad de 68.08 km/h**

$$0.06 + 0.137 = \frac{68.08^2}{127 * 100}$$

0.197=0.365 No hay equilibrio

**Con velocidad de 73.08 km/h**

$$0.06 + 0.130 = \frac{73.08^2}{127 * 100}$$

0.190=0.421 No hay

Con velocidad de 78.08 km/h

$$0.06 + 0.122 = \frac{78.08^2}{127 * 100}$$

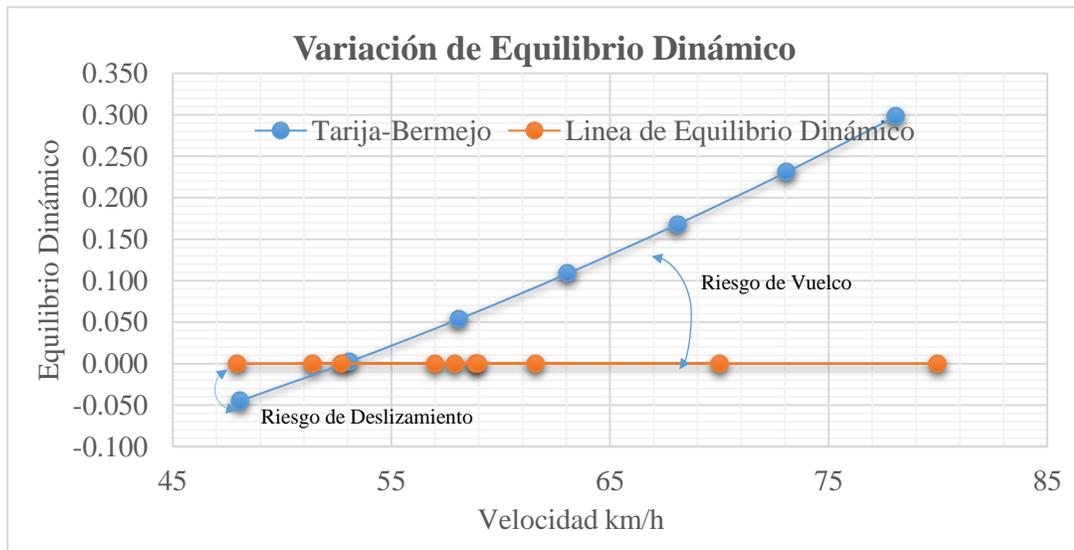
0.182=0.480 No hay equilibrio

**Tabla N°70:** Variación del equilibrio dinámico Tarija-Bermejo

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V <sup>2</sup> /127*R	Delta
1	48.08	100	0.06	0.167	0.227	=	0.182	-0.045
2	53.08	100	0.06	0.16	0.22	=	0.222	0.002
3	58.08	100	0.06	0.152	0.212	=	0.266	0.054
4	63.08	100	0.06	0.145	0.205	=	0.313	0.109
5	68.08	100	0.06	0.137	0.197	=	0.365	0.168
6	73.08	100	0.06	0.13	0.19	=	0.421	0.231
7	78.08	100	0.06	0.122	0.182	=	0.48	0.298

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°24:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

### Punto 8 Tarija-Bermejo con el radio 150 m

Datos:

e=6%, R=150 m, V=63.08 km/h

Vel. Km/h	f
48.08	0.167
53.08	0.160
58.08	0.152
63.08	0.145
68.08	0.137
73.08	0.130
78.08	0.122

**Con velocidad de 48.08 km/h**

$$0.06 + 0.167 = \frac{48.08^2}{127 * 150}$$

0.227=0.121 No hay equilibrio

**Con velocidad de 53.08 km/h**

$$0.06 + 0.160 = \frac{53.08^2}{127 * 150}$$

0.220=0.148 No hay equilibrio

**Con velocidad de 58.08 km/h**

$$0.06 + 0.152 = \frac{58.08^2}{127 * 150}$$

0.212=0.177 No hay equilibrio

**Con velocidad de 63.08 km/h**

$$0.06 + 0.145 = \frac{63.08^2}{127 * 150}$$

0.205=0.209 No hay equilibrio

**Con velocidad de 68.08 km/h**

$$0.06 + 0.137 = \frac{68.08^2}{127 * 150}$$

0.197=0.243 No hay equilibrio

**Con velocidad de 73.08 km/h**

$$0.06 + 0.130 = \frac{73.08^2}{127 * 150}$$

0.190=0.280 No hay

Con velocidad de 78.08 km/h

$$0.06 + 0.122 = \frac{78.08^2}{127 * 150}$$

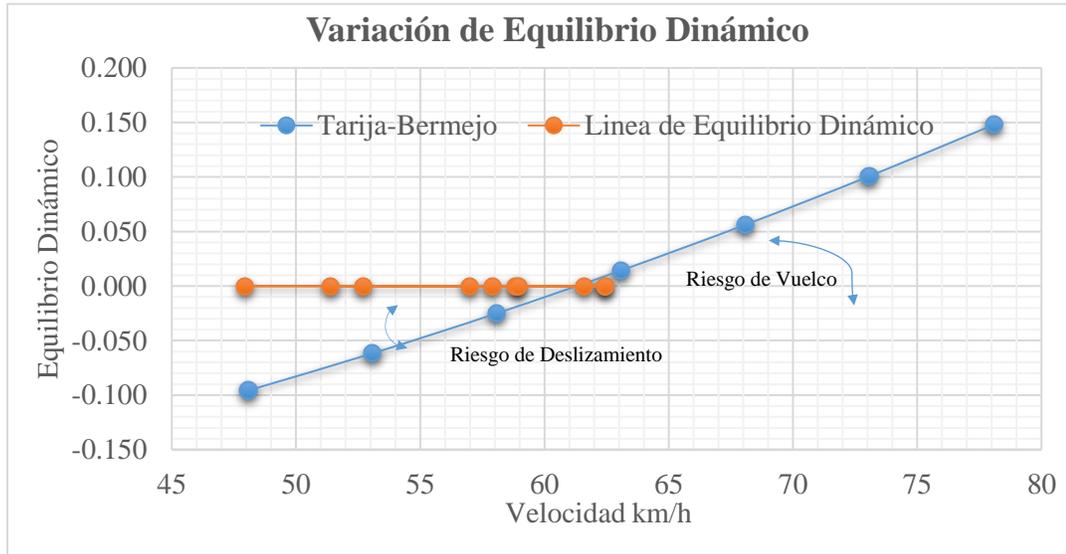
0.182=0.320 No hay equilibrio

**Tabla N°71:** Variación del equilibrio dinámico Tarija-Bermejo

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V <sup>2</sup> /127*R	Delta
1	48.08	150	0.05	0.167	0.217	=	0.121	-0.096
2	53.08	150	0.05	0.16	0.21	=	0.148	-0.062
3	58.08	150	0.05	0.152	0.202	=	0.177	-0.025
4	63.08	150	0.05	0.145	0.195	=	0.209	0.014
5	68.08	150	0.05	0.137	0.187	=	0.243	0.056
6	73.08	150	0.05	0.13	0.18	=	0.28	0.101
7	78.08	150	0.05	0.122	0.172	=	0.32	0.148

**Fuente:** Elaboración propia.

**Gráficas N°25:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

**Punto 9 Tarija-Bermejo con el radio 90 m**

Datos:

e=7%, R=90 m, V=63.08 km/h

Vel. Km/h	f
48.08	0.167
53.08	0.160
58.08	0.152
63.08	0.145
68.08	0.137
73.08	0.130
78.08	0.122

**Con velocidad de 48.08 km/h**

$$0.07 + 0.167 = \frac{48.08^2}{127 * 90}$$

0.237=0.202 No hay equilibrio

**Con velocidad de 58.08 km/h**

$$0.07 + 0.152 = \frac{58.08^2}{127 * 90}$$

0.222=0.295 No hay equilibrio

**Con velocidad de 68.08 km/h**

$$0.07 + 0.137 = \frac{68.08^2}{127 * 90}$$

0.207=0.406 No hay equilibrio

**Con velocidad de 53.08 km/h**

$$0.07 + 0.160 = \frac{53.08^2}{127 * 90}$$

0.230=0.246 No hay equilibrio

**Con velocidad de 63.08 km/h**

$$0.07 + 0.145 = \frac{63.08^2}{127 * 90}$$

0.215=0.348 No hay equilibrio

**Con velocidad de 73.08 km/h**

$$0.07 + 0.130 = \frac{73.08^2}{127 * 90}$$

0.2=0.467 No hay equilibrio

Con velocidad de 78.08 km/h

$$0.07 + 0.122 = \frac{78.08^2}{127 * 90}$$

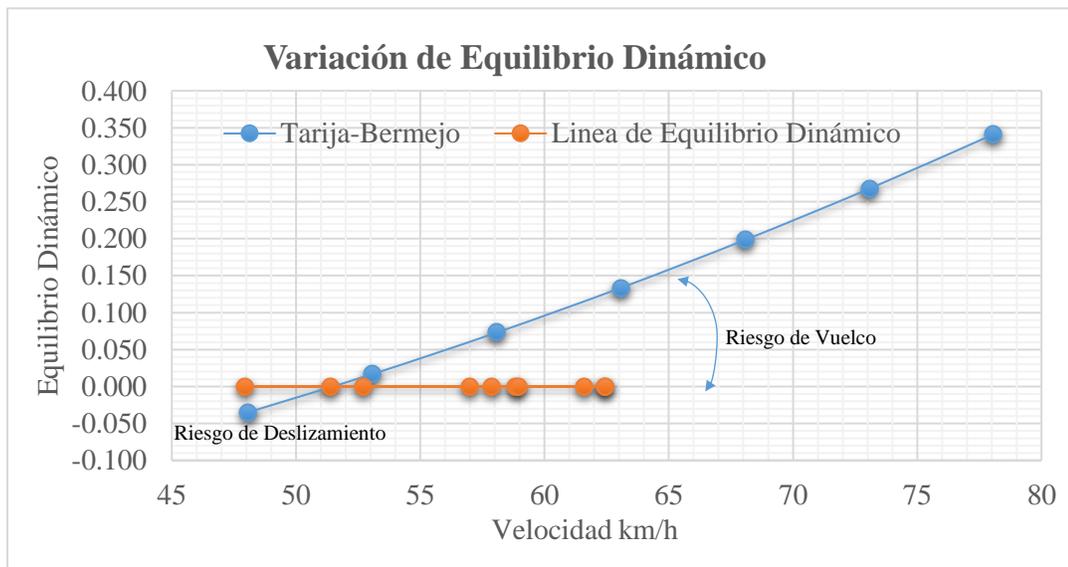
0.192=0.533 No hay equilibrio

**Tabla N°72:** Variación del equilibrio dinámico Tarija-Bermejo

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V <sup>2</sup> /127*R	Delta
1	48.08	90	0.07	0.167	0.237	=	0.202	-0.035
2	53.08	90	0.07	0.16	0.23	=	0.246	0.017
3	58.08	90	0.07	0.152	0.222	=	0.295	0.073
4	63.08	90	0.07	0.145	0.215	=	0.348	0.134
5	68.08	90	0.07	0.137	0.207	=	0.406	0.198
6	73.08	90	0.07	0.13	0.2	=	0.467	0.268
7	78.08	90	0.07	0.122	0.192	=	0.533	0.341

**Fuente:** Elaboración propia.

**Gráficas N°26:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

### Punto 10 Tarija-Bermejo con el radio 145 m

Datos:

e=6%, R=145 m, V=63.08 km/h

Vel. Km/h	f
48.08	0.167
53.08	0.160
58.08	0.152
63.08	0.145
68.08	0.137
73.08	0.130
78.08	0.122

**Con velocidad de 48.08 km/h**

$$0.07 + 0.167 = \frac{48.08^2}{127 * 145}$$

0.227=0.126 No hay equilibrio

**Con velocidad de 58.08 km/h**

$$0.07 + 0.152 = \frac{58.08^2}{127 * 145}$$

0.212=0.183 No hay equilibrio

**Con velocidad de 68.08 km/h**

$$0.07 + 0.137 = \frac{68.08^2}{127 * 145}$$

0.197=0.252 No hay equilibrio

**Con velocidad de 53.08 km/h**

$$0.07 + 0.160 = \frac{53.08^2}{127 * 145}$$

0.220=0.153 No hay equilibrio

**Con velocidad de 63.08 km/h**

$$0.07 + 0.145 = \frac{63.08^2}{127 * 145}$$

0.205=0.216 No hay equilibrio

**Con velocidad de 73.08 km/h**

$$0.07 + 0.130 = \frac{73.08^2}{127 * 145}$$

0.190=0.290 No hay

Con velocidad de 78.08 km/h

$$0.07 + 0.122 = \frac{78.08^2}{127 * 145}$$

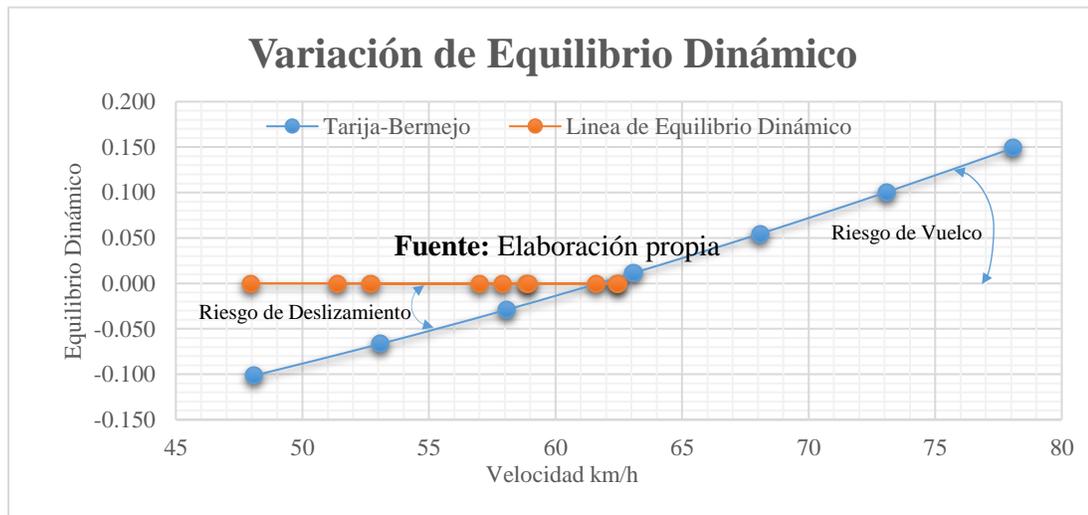
0.182=0.331 No hay equilibrio

**Tabla N°73:** Variación del equilibrio dinámico Tarija-Bermejo

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V2/127*R	Delta
1	48.08	145	0.06	0.167	0.227	=	0.126	-0.102
2	53.08	145	0.06	0.16	0.22	=	0.153	-0.067
3	58.08	145	0.06	0.152	0.212	=	0.183	-0.029
4	63.08	145	0.06	0.145	0.205	=	0.216	0.011
5	68.08	145	0.06	0.137	0.197	=	0.252	0.055
6	73.08	145	0.06	0.13	0.19	=	0.29	0.1
7	78.08	145	0.06	0.122	0.182	=	0.331	0.149

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°27:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

**Punto 1 Tarija-Entre Ríos con el radio 110 m**

Datos:

e=6%, R=110 m, V=50.2 km/h

N.º	Vel. Km/h	$f = 0.2392 - \frac{3 * 35.2}{2000}$	$f = 0.2392 - \frac{3 * 50.2}{2000}$
1	35.2	f=0.186	f=0.164
2	40.2		$f = 0.2392 - \frac{3 * 55.2}{2000}$
3	45.2	$f = 0.2392 - \frac{3 * 40.2}{2000}$	f=0.156
4	50.2		$f = 0.2392 - \frac{3 * 60.2}{2000}$
5	55.2	f=0.179	
6	60.2		f=0.149
7	65.2	$f = 0.2392 - \frac{3 * 45.2}{2000}$	$f = 0.2392 - \frac{3 * 65.2}{2000}$
		f=0.171	f=0.141

**Con velocidad de 35.2 km/h**

$$0.06 + 0.186 = \frac{35.2^2}{127 * 110}$$

0.246=0.089 No hay equilibrio

**Con velocidad de 45.2 km/h**

$$0.06 + 0.171 = \frac{45.2^2}{127 * 110}$$

0.231=0.146 No hay equilibrio

**Con velocidad de 55.2 km/h**

$$0.06 + 0.156 = \frac{55.2^2}{127 * 110}$$

0.216=0.218 No hay equilibrio

**Con velocidad de 40.2 km/h**

$$0.06 + 0.179 = \frac{40.2^2}{127 * 110}$$

0.239=0.116 No hay equilibrio

**Con velocidad de 50.2 km/h**

$$0.06 + 0.164 = \frac{50.2^2}{127 * 110}$$

0.224=0.180 No hay equilibrio

**Con velocidad de 60.2 km/h**

$$0.06 + 0.149 = \frac{60.2^2}{127 * 110}$$

0.209=0.259 No hay equilibrio

Con velocidad de 65.2 km/h

$$0.06 + 0.141 = \frac{65.2^2}{127 * 110}$$

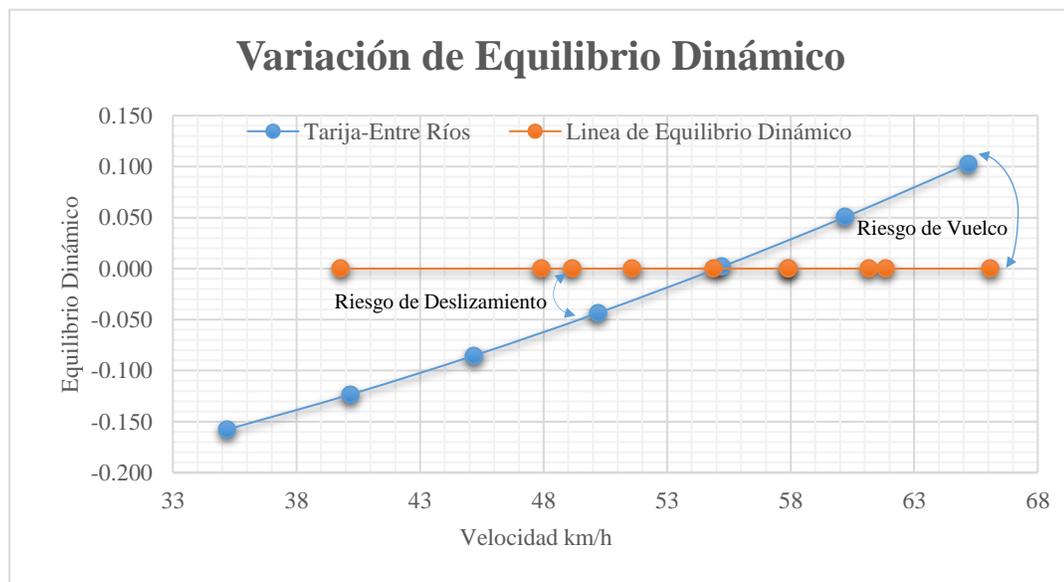
0.201=0.304 No hay equilibrio

**Tabla N°74:** Variación del equilibrio dinámico Tarija-Entre Ríos

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V <sup>2</sup> /127*R	Delta
1	35.2	110	0.06	0.186	0.246	=	0.089	-0.158
2	40.2	110	0.06	0.179	0.239	=	0.116	-0.123
3	45.2	110	0.06	0.171	0.231	=	0.146	-0.085
4	50.2	110	0.06	0.164	0.224	=	0.18	-0.044
5	55.2	110	0.06	0.156	0.216	=	0.218	0.002
6	60.2	110	0.06	0.149	0.209	=	0.259	0.051
7	65.2	110	0.06	0.141	0.201	=	0.304	0.103

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°28:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

## Punto 2 Tarija-Entre Ríos con el radio 125 m

Datos:

e=6%, R=125 m, V=50.2 km/h

N.º	Vel. Km/h	f
1	35.2	0.186
2	40.2	0.179
3	45.2	0.171
4	50.2	0.164
5	55.2	0.156
6	60.2	0.149
7	65.2	0.141

**Con velocidad de 35.2 km/h**

$$0.06 + 0.186 = \frac{35.2^2}{127 * 125}$$

0.246=0.078 No hay equilibrio

**Con velocidad de 40.2 km/h**

$$0.06 + 0.179 = \frac{40.2^2}{127 * 125}$$

0.239=0.102 No hay equilibrio

**Con velocidad de 45.2 km/h**

$$0.06 + 0.171 = \frac{45.2^2}{127 * 125}$$

0.231=0.129 No hay equilibrio

**Con velocidad de 50.2 km/h**

$$0.06 + 0.164 = \frac{50.2^2}{127 * 125}$$

0.224=0.159 No hay equilibrio

**Con velocidad de 55.2 km/h**

$$0.06 + 0.156 = \frac{55.2^2}{127 * 125}$$

0.216=0.192 No hay equilibrio

**Con velocidad de 60.2 km/h**

$$0.06 + 0.149 = \frac{60.2^2}{127 * 125}$$

0.199=0.228 No hay

Con velocidad de 65.2 km/h

$$0.06 + 0.141 = \frac{65.2^2}{127 * 125}$$

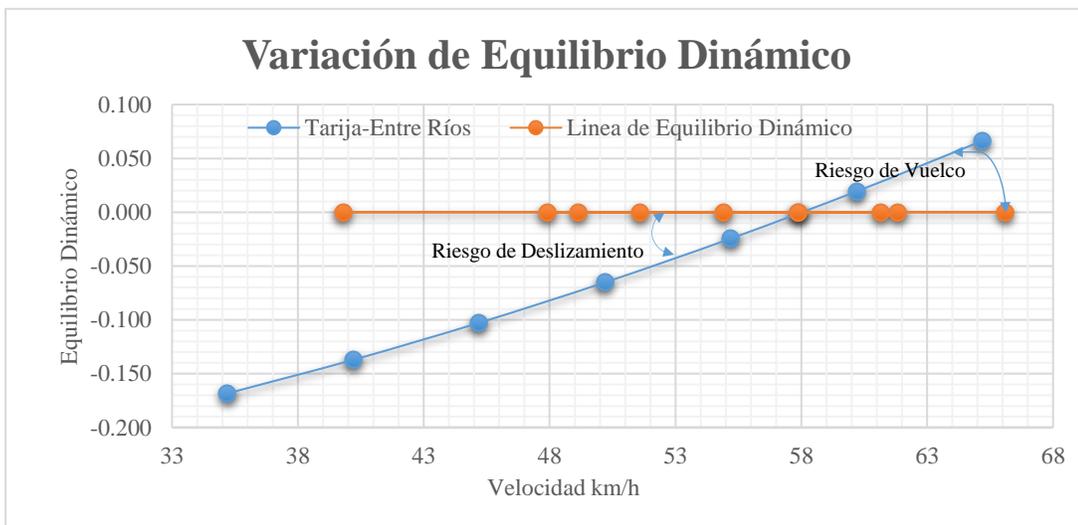
0.191=0.268 No hay equilibrio

**Tabla N°75:** Velocidad promedio de los tramos

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V <sup>2</sup> /127*R	Delta
1	35.2	95	0.06	0.186	0.246	=	0.103	-0.144
2	40.2	95	0.06	0.179	0.239	=	0.134	-0.105
3	45.2	95	0.06	0.171	0.231	=	0.169	-0.062
4	50.2	95	0.06	0.164	0.224	=	0.209	-0.015
5	55.2	95	0.06	0.156	0.216	=	0.253	0.036
6	60.2	95	0.06	0.149	0.209	=	0.3	0.091
7	65.2	95	0.06	0.141	0.201	=	0.352	0.151

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°29:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

### Punto 3 Tarija-Entre Ríos con el radio 95 m

Datos:

e=6%, R=95 m, V=50.2 km/h

N.º	Vel. Km/h	f
1	35.2	0.186
2	40.2	0.179
3	45.2	0.171
4	50.2	0.164
5	55.2	0.156
6	60.2	0.149
7	65.2	0.141

**Con velocidad de 35.2 km/h**

$$0.06 + 0.186 = \frac{35.2^2}{127 * 95}$$

0.246=0.103 No hay equilibrio

**Con velocidad de 45.2 km/h**

$$0.06 + 0.171 = \frac{45.2^2}{127 * 95}$$

0.231=0.169 No hay equilibrio

**Con velocidad de 55.2 km/h**

$$0.06 + 0.156 = \frac{55.2^2}{127 * 95}$$

0.216=0.253 No hay equilibrio

**Con velocidad de 40.2 km/h**

$$0.06 + 0.179 = \frac{40.2^2}{127 * 95}$$

0.239=0.134 No hay equilibrio

**Con velocidad de 50.2 km/h**

$$0.06 + 0.164 = \frac{50.2^2}{127 * 95}$$

0.224=0.209 No hay equilibrio

**Con velocidad de 60.2 km/h**

$$0.06 + 0.149 = \frac{60.2^2}{127 * 95}$$

0.209=0.300 No hay

Con velocidad de 65.2 km/h

$$0.06 + 0.141 = \frac{65.2^2}{127 * 95}$$

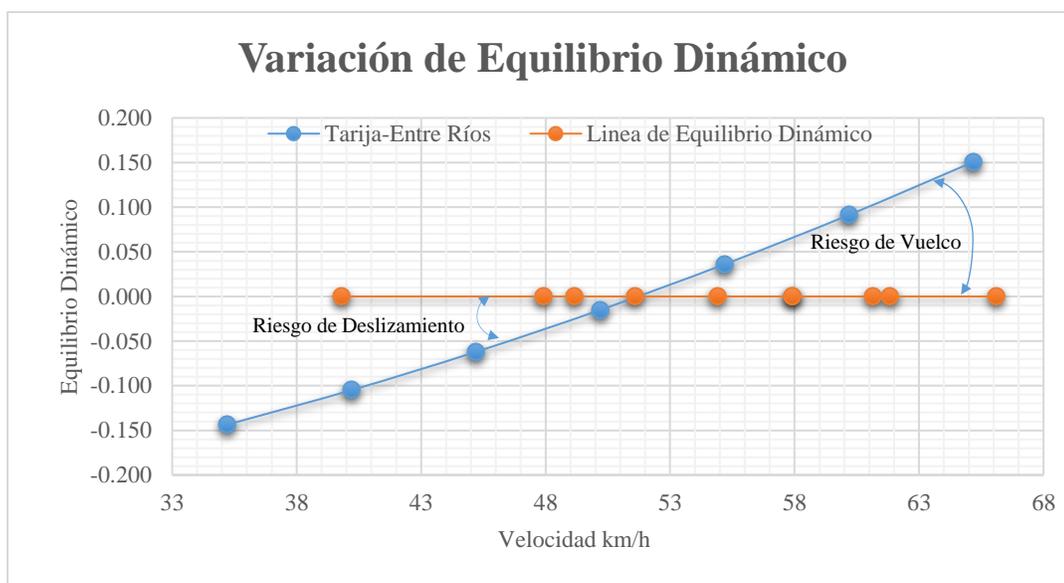
0.201=0.352 No hay equilibrio

**Tabla N°76:** Velocidad promedio de los tramos

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V <sup>2</sup> /127*R	Delta
1	35.2	95	0.06	0.186	0.246	=	0.103	-0.144
2	40.2	95	0.06	0.179	0.239	=	0.134	-0.105
3	45.2	95	0.06	0.171	0.231	=	0.169	-0.062
4	50.2	95	0.06	0.164	0.224	=	0.209	-0.015
5	55.2	95	0.06	0.156	0.216	=	0.253	0.036
6	60.2	95	0.06	0.149	0.209	=	0.3	0.091
7	65.2	95	0.06	0.141	0.201	=	0.352	0.151

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°30:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

#### Punto 4 Tarija-Entre Ríos con el radio 165 m

Datos:

e=7%, R=165 m, V=50.2 km/h

N.º	Vel. Km/h	f
1	35.2	0.186
2	40.2	0.179
3	45.2	0.171
4	50.2	0.164
5	55.2	0.156
6	60.2	0.149
7	65.2	0.141

**Con velocidad de 35.2 km/h**

$$0.07 + 0.186 = \frac{35.2^2}{127 * 165}$$

0.256=0.059 No hay equilibrio

**Con velocidad de 45.2 km/h**

$$0.07 + 0.171 = \frac{45.2^2}{127 * 165}$$

0.241=0.097 No hay equilibrio

**Con velocidad de 55.2 km/h**

$$0.07 + 0.156 = \frac{55.2^2}{127 * 165}$$

0.226=0.145 No hay equilibrio

**Con velocidad de 40.2 km/h**

$$0.07 + 0.179 = \frac{40.2^2}{127 * 165}$$

0.249=0.077 No hay equilibrio

**Con velocidad de 50.2 km/h**

$$0.07 + 0.164 = \frac{50.2^2}{127 * 165}$$

0.234=0.120 No hay equilibrio

**Con velocidad de 60.2 km/h**

$$0.07 + 0.149 = \frac{60.2^2}{127 * 165}$$

0.219=0.173 No hay

Con velocidad de 65.2 km/h

$$0.07 + 0.141 = \frac{65.2^2}{127 * 165}$$

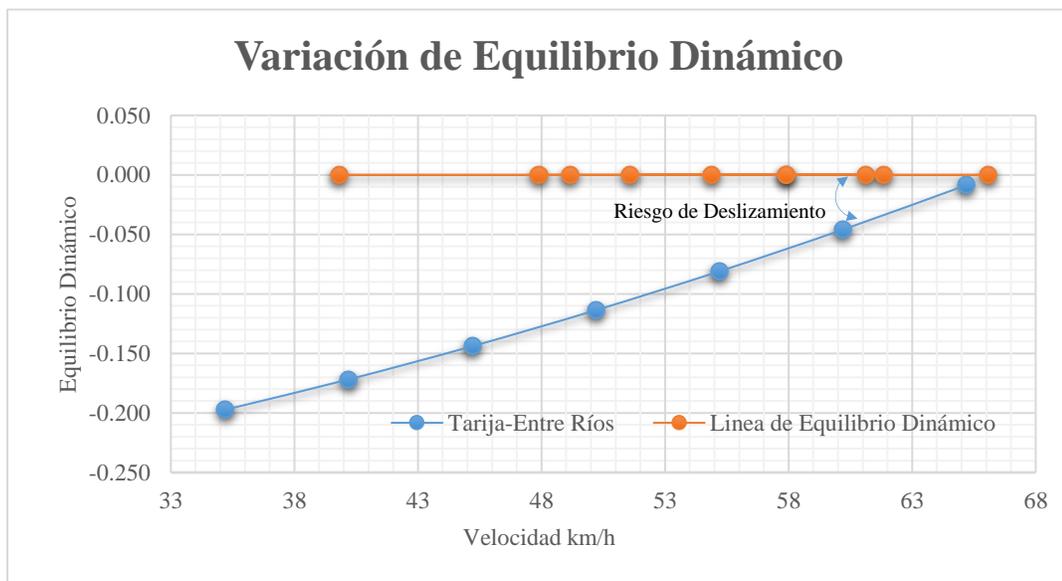
0.211=0.203 No hay equilibrio

**Tabla N°77:** Velocidad promedio de los tramos

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V2/127*R	Delta
1	35.2	165	0.07	0.186	0.256	=	0.059	-0.197
2	40.2	165	0.07	0.179	0.249	=	0.077	-0.172
3	45.2	165	0.07	0.171	0.241	=	0.097	-0.144
4	50.2	165	0.07	0.164	0.234	=	0.12	-0.114
5	55.2	165	0.07	0.156	0.226	=	0.145	-0.081
6	60.2	165	0.07	0.149	0.219	=	0.173	-0.046
7	65.2	165	0.07	0.141	0.211	=	0.203	-0.009

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°31:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

### Punto 5 Tarija-Entre Ríos con el radio 125 m

Datos:

e=6%, R=125 m, V=50.2 km/h

N.º	Vel. Km/h	f
1	35.2	0.186
2	40.2	0.179
3	45.2	0.171
4	50.2	0.164
5	55.2	0.156
6	60.2	0.149
7	65.2	0.141

**Con velocidad de 35.2 km/h**

$$0.06 + 0.186 = \frac{35.2^2}{127 * 125}$$

0.246=0.078 No hay equilibrio

**Con velocidad de 45.2 km/h**

$$0.06 + 0.171 = \frac{45.2^2}{127 * 125}$$

0.231=0.129 No hay equilibrio

**Con velocidad de 55.2 km/h**

$$0.06 + 0.156 = \frac{55.2^2}{127 * 125}$$

0.216=0.192 No hay equilibrio

**Con velocidad de 40.2 km/h**

$$0.06 + 0.179 = \frac{40.2^2}{127 * 125}$$

0.239=0.102 No hay equilibrio

**Con velocidad de 50.2 km/h**

$$0.06 + 0.164 = \frac{50.2^2}{127 * 125}$$

0.224=0.159 No hay equilibrio

**Con velocidad de 60.2 km/h**

$$0.06 + 0.149 = \frac{60.2^2}{127 * 125}$$

0.209=0.228 No hay equilibrio

Con velocidad de 65.2 km/h

$$0.06 + 0.141 = \frac{65.2^2}{127 * 125}$$

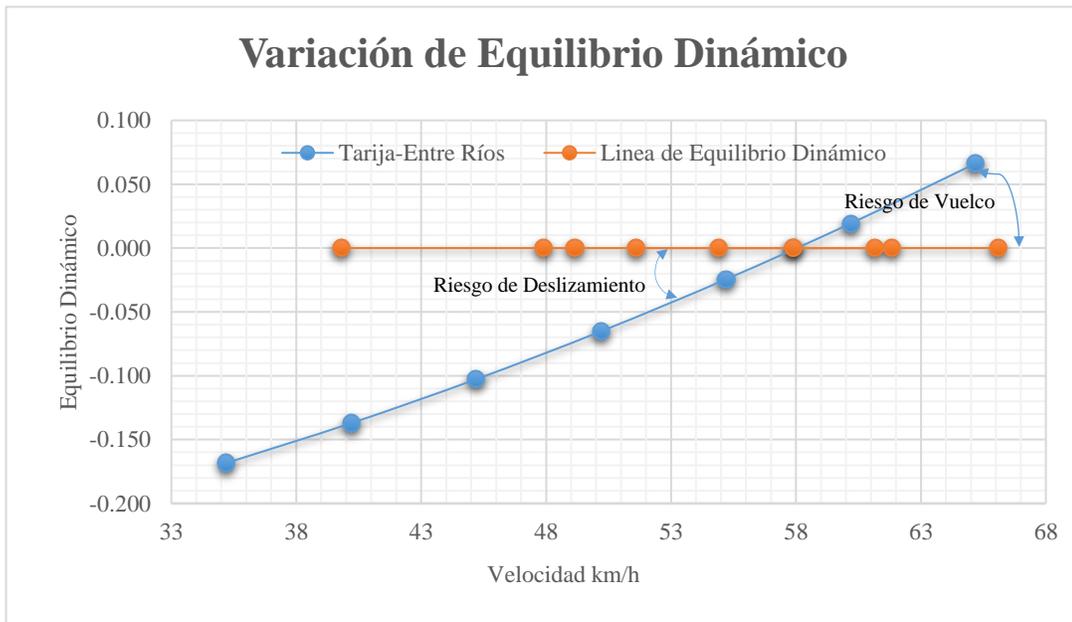
0.201=0.268 No hay equilibrio

**Tabla N°78:** Velocidad promedio de los tramos

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V2/127*R	Delta
1	35.2	125	0.06	0.186	0.246	=	0.078	-0.168
2	40.2	125	0.06	0.179	0.239	=	0.102	-0.137
3	45.2	125	0.06	0.171	0.231	=	0.129	-0.103
4	50.2	125	0.06	0.164	0.224	=	0.159	-0.065
5	55.2	125	0.06	0.156	0.216	=	0.192	-0.024
6	60.2	125	0.06	0.149	0.209	=	0.228	0.019
7	65.2	125	0.06	0.141	0.201	=	0.268	0.066

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°32:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

### Punto 6 Tarija-Entre Ríos con el radio 140 m

Datos:

e=7%, R=140 m, V=50.2 km/h

N.º	Vel. Km/h	f
1	35.2	0.186
2	40.2	0.179
3	45.2	0.171
4	50.2	0.164
5	55.2	0.156
6	60.2	0.149
7	65.2	0.141

**Con velocidad de 35.2 km/h**

$$0.07 + 0.186 = \frac{35.2^2}{127 * 140}$$

0.256=0.07 No hay equilibrio

**Con velocidad de 45.2 km/h**

$$0.07 + 0.171 = \frac{45.2^2}{127 * 140}$$

0.241=0.115 No hay equilibrio

**Con velocidad de 55.2 km/h**

$$0.07 + 0.156 = \frac{55.2^2}{127 * 140}$$

0.226=0.171 No hay equilibrio

**Con velocidad de 40.2 km/h**

$$0.07 + 0.179 = \frac{40.2^2}{127 * 140}$$

0.249=0.091 No hay equilibrio

**Con velocidad de 50.2 km/h**

$$0.07 + 0.164 = \frac{50.2^2}{127 * 140}$$

0.234=0.142 No hay equilibrio

**Con velocidad de 60.2 km/h**

$$0.07 + 0.149 = \frac{60.2^2}{127 * 140}$$

0.219=0.204 No hay equilibrio

Con velocidad de 65.2 km/h

$$0.07 + 0.141 = \frac{65.2^2}{127 * 140}$$

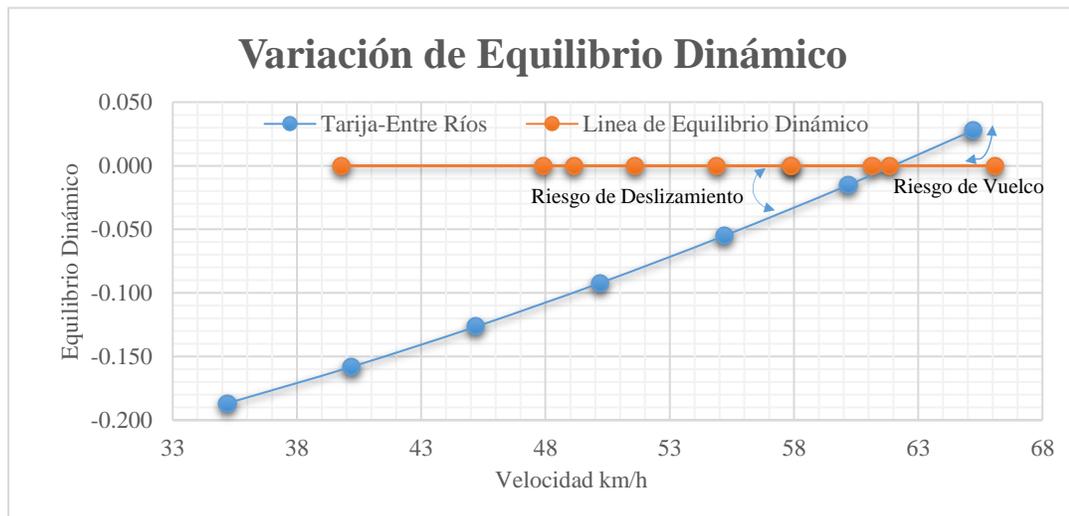
0.211=0.239 No hay equilibrio

**Tabla N°79:** Velocidad promedio de los tramos

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V <sup>2</sup> /127*R	Delta
1	35.2	140	0.07	0.186	0.256	=	0.07	-0.187
2	40.2	140	0.07	0.179	0.249	=	0.091	-0.158
3	45.2	140	0.07	0.171	0.241	=	0.115	-0.126
4	50.2	140	0.07	0.164	0.234	=	0.142	-0.092
5	55.2	140	0.07	0.156	0.226	=	0.171	-0.055
6	60.2	140	0.07	0.149	0.219	=	0.204	-0.015
7	65.2	140	0.07	0.141	0.211	=	0.239	0.028

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°33:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

### Punto 7 Tarija-Entre Ríos con el radio 85 m

Datos:

e=6%, R=85 m, V=50.2 km/h

N.º	Vel. Km/h	f
1	35.2	0.186
2	40.2	0.179
3	45.2	0.171
4	50.2	0.164
5	55.2	0.156
6	60.2	0.149
7	65.2	0.141

**Con velocidad de 35.2 km/h**

$$0.06 + 0.186 = \frac{35.2^2}{127 * 85}$$

0.246=0.115 No hay equilibrio

**Con velocidad de 45.2 km/h**

$$0.06 + 0.171 = \frac{45.2^2}{127 * 85}$$

0.231=0.189 No hay equilibrio

**Con velocidad de 55.2 km/h**

$$0.06 + 0.156 = \frac{55.2^2}{127 * 85}$$

0.216=0.282 No hay equilibrio

**Con velocidad de 40.2 km/h**

$$0.06 + 0.179 = \frac{40.2^2}{127 * 85}$$

0.239=0.150 No hay equilibrio

**Con velocidad de 50.2 km/h**

$$0.06 + 0.164 = \frac{50.2^2}{127 * 85}$$

0.224=0.233 No hay equilibrio

**Con velocidad de 60.2 km/h**

$$0.06 + 0.149 = \frac{60.2^2}{127 * 85}$$

0.209=0.336 No hay equilibrio

Con velocidad de 65.2 km/h

$$0.07 + 0.141 = \frac{65.2^2}{127 * 85}$$

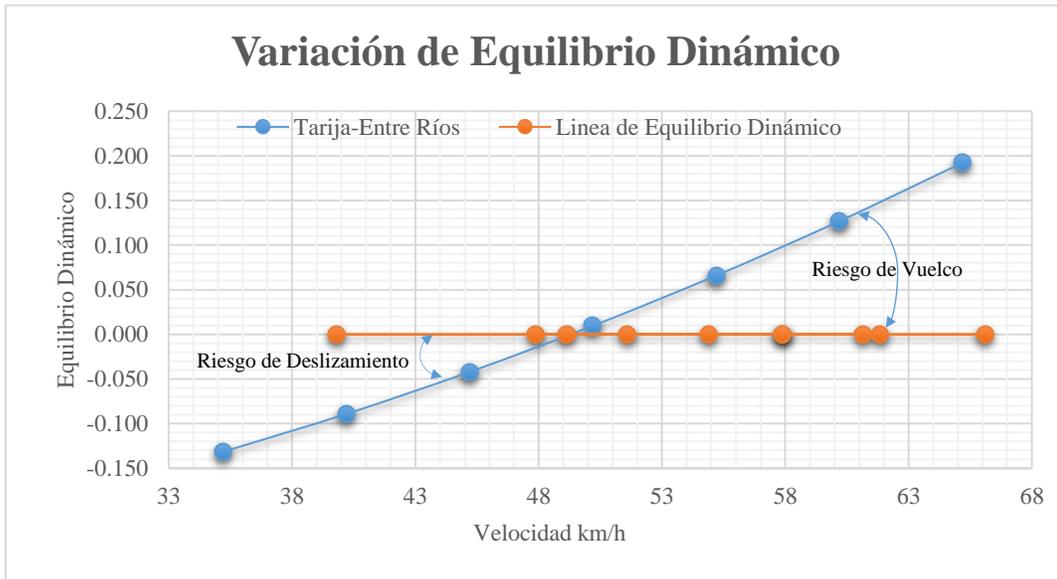
0.201=0.394 No hay equilibrio

**Tabla N°80:** Velocidad promedio de los tramos

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V <sup>2</sup> /127*R	Delta
1	35.2	85	0.06	0.186	0.246	=	0.115	-0.132
2	40.2	85	0.06	0.179	0.239	=	0.15	-0.089
3	45.2	85	0.06	0.171	0.231	=	0.189	-0.042
4	50.2	85	0.06	0.164	0.224	=	0.233	0.01
5	55.2	85	0.06	0.156	0.216	=	0.282	0.066
6	60.2	85	0.06	0.149	0.209	=	0.336	0.127
7	65.2	85	0.06	0.141	0.201	=	0.394	0.192

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°34:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

### Punto 8 Tarija-Entre Ríos con el radio 50 m

Datos:

$e=7\%$ ,  $R=50$  m,  $V=50.2$  km/h

N.º	Vel. Km/h	f
1	35.2	0.186
2	40.2	0.179
3	45.2	0.171
4	50.2	0.164
5	55.2	0.156
6	60.2	0.149
7	65.2	0.141

**Con velocidad de 35.2 km/h**

$$0.07 + 0.186 = \frac{35.2^2}{127 * 50}$$

0.256=0.195 No hay equilibrio

**Con velocidad de 40.2 km/h**

$$0.07 + 0.179 = \frac{40.2^2}{127 * 50}$$

0.249=0.254 No hay equilibrio

**Con velocidad de 45.2 km/h**

$$0.07 + 0.171 = \frac{45.2^2}{127 * 50}$$

0.241=0.322 No hay equilibrio

**Con velocidad de 50.2 km/h**

$$0.07 + 0.164 = \frac{50.2^2}{127 * 50}$$

0.234=0.397 No hay equilibrio

**Con velocidad de 55.2 km/h**

$$0.07 + 0.156 = \frac{55.2^2}{127 * 50}$$

0.226=0.480 No hay equilibrio

**Con velocidad de 60.2 km/h**

$$0.07 + 0.149 = \frac{60.2^2}{127 * 50}$$

0.219=0.571 No hay equilibrio

Con velocidad de 65.2 km/h

$$0.07 + 0.141 = \frac{65.2^2}{127 * 50}$$

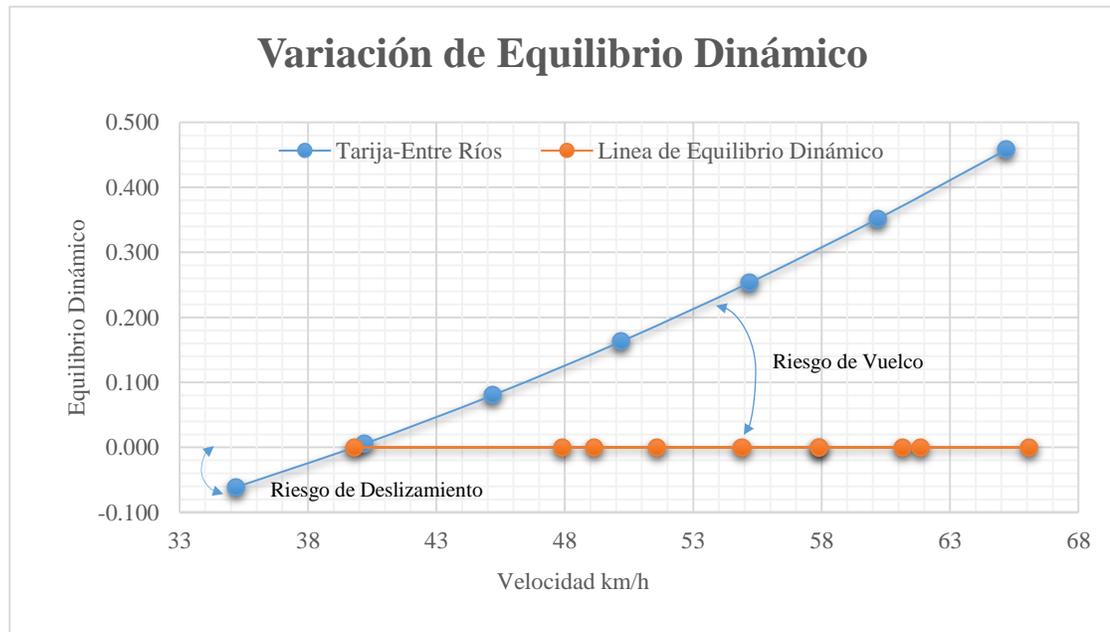
0.211=0.669 No hay equilibrio

**Tabla N°81:** Velocidad promedio de los tramos

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V <sup>2</sup> /127*R	Delta
1	35.2	50	0.07	0.186	0.256	=	0.195	-0.061
2	40.2	50	0.07	0.179	0.249	=	0.254	0.006
3	45.2	50	0.07	0.171	0.241	=	0.322	0.08
4	50.2	50	0.07	0.164	0.234	=	0.397	0.163
5	55.2	50	0.07	0.156	0.226	=	0.48	0.253
6	60.2	50	0.07	0.149	0.219	=	0.571	0.352
7	65.2	50	0.07	0.141	0.211	=	0.669	0.458

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°35:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

### Punto 9 Tarija-Entre Ríos con el radio 130 m

Datos:

e=8%, R=130 m, V=50.2 km/h

N.º	Vel. Km/h	f
1	35.2	0.186
2	40.2	0.179
3	45.2	0.171
4	50.2	0.164
5	55.2	0.156
6	60.2	0.149
7	65.2	0.141

**Con velocidad de 35.2 km/h**

$$0.08 + 0.186 = \frac{35.2^2}{127 * 130}$$

0.266=0.075 No hay equilibrio

**Con velocidad de 45.2 km/h**

$$0.08 + 0.171 = \frac{45.2^2}{127 * 130}$$

0.251=0.124 No hay equilibrio

**Con velocidad de 55.2 km/h**

$$0.08 + 0.156 = \frac{55.2^2}{127 * 130}$$

0.236=0.185 No hay equilibrio

**Con velocidad de 40.2 km/h**

$$0.08 + 0.179 = \frac{40.2^2}{127 * 130}$$

0.259=0.098 No hay equilibrio

**Con velocidad de 50.2 km/h**

$$0.08 + 0.164 = \frac{50.2^2}{127 * 130}$$

0.244=0.153 No hay equilibrio

**Con velocidad de 60.2 km/h**

$$0.08 + 0.149 = \frac{60.2^2}{127 * 130}$$

0.229=0.220 No hay equilibrio

Con velocidad de 65.2 km/h

$$0.08 + 0.141 = \frac{65.2^2}{127 * 130}$$

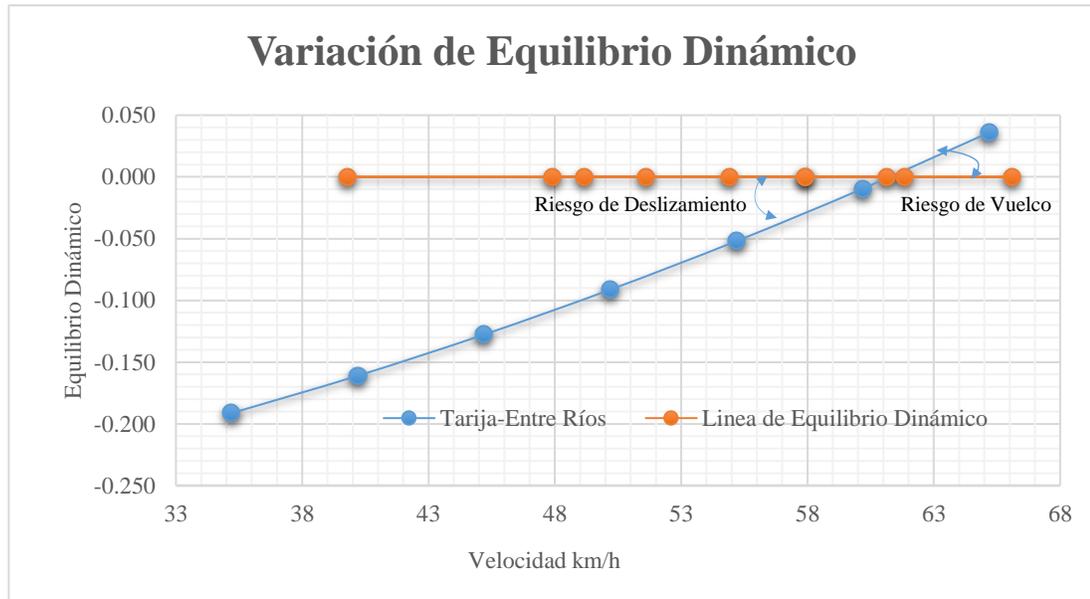
0.221=0.257 No hay equilibrio

**Tabla N°82:** Velocidad promedio de los tramos

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V <sup>2</sup> /127*R	Delta
1	35.2	130	0.08	0.186	0.266	=	0.075	-0.191
2	40.2	130	0.08	0.179	0.259	=	0.098	-0.161
3	45.2	130	0.08	0.171	0.251	=	0.124	-0.128
4	50.2	130	0.08	0.164	0.244	=	0.153	-0.091
5	55.2	130	0.08	0.156	0.236	=	0.185	-0.052
6	60.2	130	0.08	0.149	0.229	=	0.22	-0.009
7	65.2	130	0.08	0.141	0.221	=	0.257	0.036

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°36:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

### Punto 10 Tarija-Entre Ríos con el radio 80 m

Datos:

e=6%, R=80 m, V=50.2 km/h

N.º	Vel. Km/h	f
1	35.2	0.186
2	40.2	0.179
3	45.2	0.171
4	50.2	0.164
5	55.2	0.156
6	60.2	0.149
7	65.2	0.141

**Con velocidad de 35.2 km/h**

$$0.06 + 0.186 = \frac{35.2^2}{127 * 80}$$

0.246=0.122 No hay equilibrio

**Con velocidad de 40.2 km/h**

$$0.06 + 0.179 = \frac{40.2^2}{127 * 80}$$

0.239=0.159 No hay equilibrio

**Con velocidad de 45.2 km/h**

$$0.06 + 0.171 = \frac{45.2^2}{127 * 80}$$

0.231=0.201 No hay equilibrio

**Con velocidad de 50.2 km/h**

$$0.06 + 0.164 = \frac{50.2^2}{127 * 80}$$

0.224=0.248 No hay equilibrio

**Con velocidad de 55.2 km/h**

$$0.06 + 0.156 = \frac{55.2^2}{127 * 80}$$

0.216=0.300 No hay equilibrio

**Con velocidad de 60.2 km/h**

$$0.06 + 0.149 = \frac{60.2^2}{127 * 80}$$

0.209=0.357 No hay equilibrio

Con velocidad de 65.2 km/h

$$0.06 + 0.141 = \frac{65.2^2}{127 * 80}$$

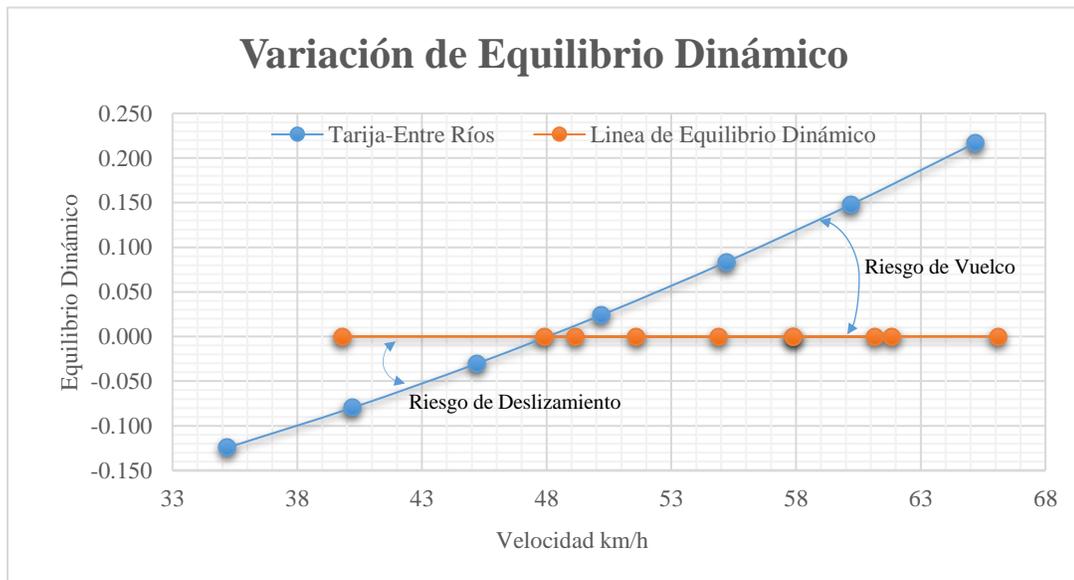
0.201=0.418 No hay equilibrio

**Tabla N°83:** Velocidad promedio de los tramos

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V <sup>2</sup> /127*R	Delta
1	35.2	80	0.06	0.186	0.246	=	0.122	-0.124
2	40.2	80	0.06	0.179	0.239	=	0.159	-0.08
3	45.2	80	0.06	0.171	0.231	=	0.201	-0.03
4	50.2	80	0.06	0.164	0.224	=	0.248	0.024
5	55.2	80	0.06	0.156	0.216	=	0.3	0.084
6	60.2	80	0.06	0.149	0.209	=	0.357	0.148
7	65.2	80	0.06	0.141	0.201	=	0.418	0.217

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°37:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

**Punto 1 Tarija-El Puente con el radio 75 m**

Datos:

e=6%, R=75 m, V=59.25 km/h

N.º	Vel. Km/h	$f = 0.2392 - \frac{3 * \text{Vel.}}{2000}$	$f = 0.2392 - \frac{3 * 59.25}{2000}$
1	44.25	$f=0.173$	f=0.150
2	49.25		$f = 0.2392 - \frac{3 * 64.25}{2000}$
3	54.25	$f = 0.2392 - \frac{3 * 49.25}{2000}$	f=0.143
4	59.25		$f = 0.2392 - \frac{3 * 69.25}{2000}$
5	64.25	f=0.165	
6	69.25		$f = 0.2392 - \frac{3 * 74.25}{2000}$
7	74.25	$f = 0.2392 - \frac{3 * 54.25}{2000}$	f=0.135
		f=0.158	f = 0.2392 - $\frac{3 * 74.25}{2000}$
			f=0.128

**Con velocidad de 44.25 km/h**

$$0.06 + 0.173 = \frac{44.25^2}{127 * 75}$$

0.233=0.206 No hay equilibrio

**Con velocidad de 49.25 km/h**

$$0.06 + 0.165 = \frac{49.25^2}{127 * 75}$$

0.225=0.255 No hay equilibrio

**Con velocidad de 54.25 km/h**

$$0.06 + 0.158 = \frac{54.25^2}{127 * 75}$$

0.218=0.309 No hay equilibrio

**Con velocidad de 59.25 km/h**

$$0.06 + 0.150 = \frac{59.25^2}{127 * 75}$$

0.210=0.369 No hay equilibrio

**Con velocidad de 64.25 km/h**

$$0.06 + 0.143 = \frac{64.25^2}{127 * 75}$$

0.203=0.433 No hay equilibrio

**Con velocidad de 69.25 km/h**

$$0.06 + 0.135 = \frac{69.25^2}{127 * 75}$$

0.195=0.503 No hay equilibrio

Con velocidad de 74.25 km/h

$$0.06 + 0.128 = \frac{74.25^2}{127 * 75}$$

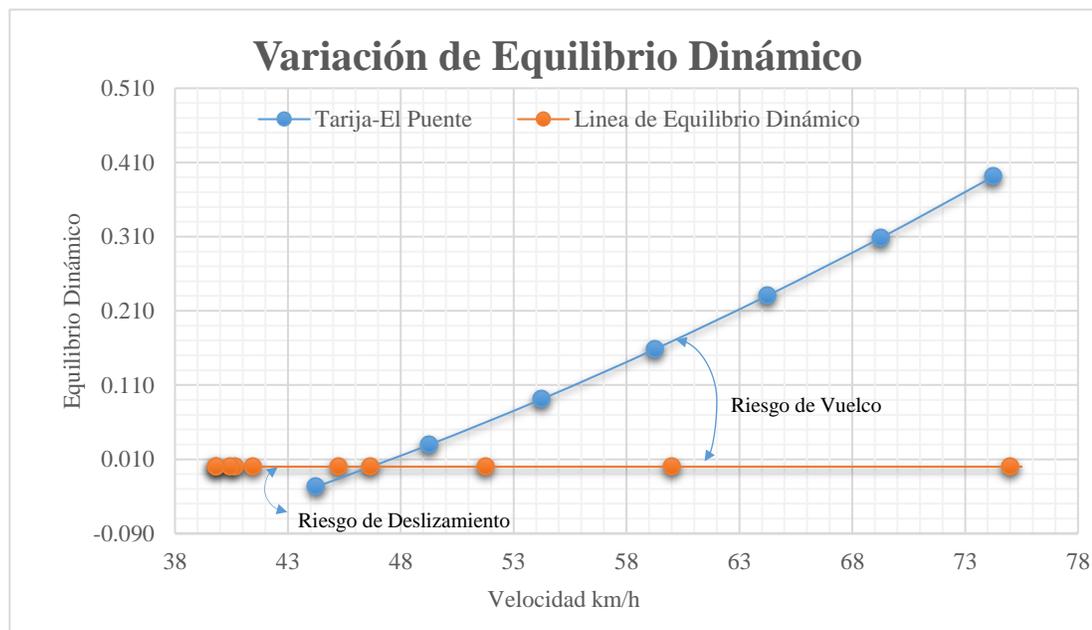
0.188=0.579 No hay equilibrio

**Tabla N°84:** Velocidad promedio de los tramos

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V <sup>2</sup> /127*R	Delta
1	44.3	75	0.06	0.173	0.233	=	0.206	-0.027
2	49.3	75	0.06	0.165	0.225	=	0.255	0.029
3	54.3	75	0.06	0.158	0.218	=	0.309	0.091
4	59.3	75	0.06	0.15	0.21	=	0.369	0.158
5	64.3	75	0.06	0.143	0.203	=	0.433	0.231
6	69.3	75	0.06	0.135	0.195	=	0.503	0.308
7	74.3	75	0.06	0.128	0.188	=	0.579	0.391

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°38:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

## Punto 2 Tarija-El Puente con el radio 55 m

Datos:

e=6%, R=55 m, V=59.25 km/h

N.º	Vel. Km/h	f
1	44.25	0.173
2	49.25	0.165
3	54.25	0.158
4	59.25	0.150
5	64.25	0.143
6	69.25	0.135
7	74.25	0.128

**Con velocidad de 44.25 km/h**

$$0.06 + 0.173 = \frac{44.25^2}{127 * 55}$$

0.233=0.280 No hay equilibrio

**Con velocidad de 49.25 km/h**

$$0.06 + 0.165 = \frac{49.25^2}{127 * 55}$$

0.225=0.347 No hay equilibrio

**Con velocidad de 54.25 km/h**

$$0.06 + 0.158 = \frac{54.25^2}{127 * 55}$$

0.218=0.421 No hay equilibrio

**Con velocidad de 59.25 km/h**

$$0.06 + 0.150 = \frac{59.25^2}{127 * 55}$$

0.210=0.503 No hay equilibrio

**Con velocidad de 64.25 km/h**

$$0.06 + 0.143 = \frac{64.25^2}{127 * 55}$$

0.203=0.591 No hay equilibrio

**Con velocidad de 69.25 km/h**

$$0.06 + 0.135 = \frac{69.25^2}{127 * 55}$$

0.195=0.687 No hay equilibrio

Con velocidad de 74.25 km/h

$$0.06 + 0.128 = \frac{74.25^2}{127 * 55}$$

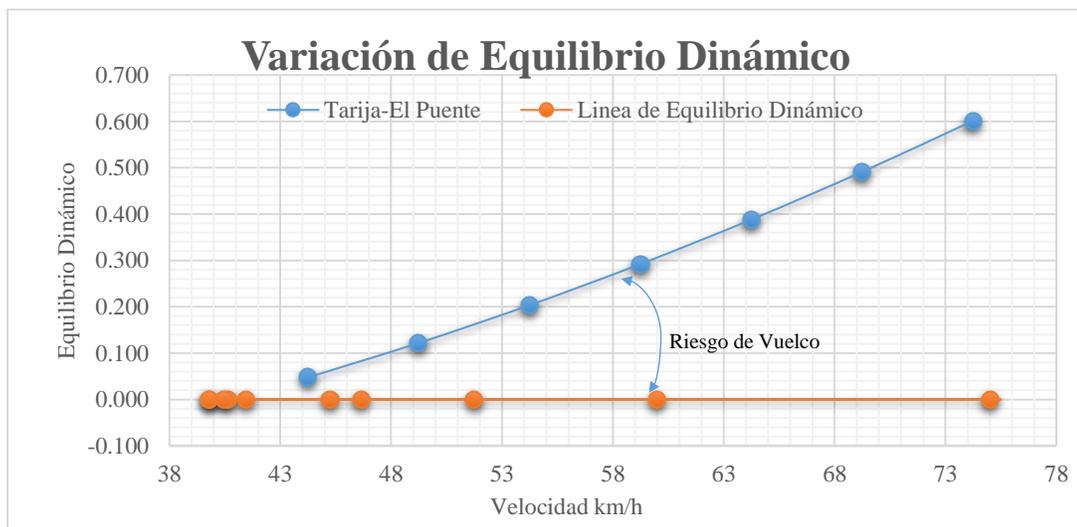
0.188=0.789 No hay equilibrio

**Tabla N°85:** Velocidad promedio de los tramos

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V2/127*R	Delta
1	44.3	55	0.06	0.173	0.233	=	0.28	0.047
2	49.3	55	0.06	0.165	0.225	=	0.347	0.122
3	54.3	55	0.06	0.158	0.218	=	0.421	0.204
4	59.3	55	0.06	0.15	0.21	=	0.503	0.292
5	64.3	55	0.06	0.143	0.203	=	0.591	0.388
6	69.3	55	0.06	0.135	0.195	=	0.687	0.491
7	74.3	55	0.06	0.128	0.188	=	0.789	0.601

**Fuente:** Elaboración propia.

**Gráficas N°39:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

### Punto 3 Tarija-El Puente con el radio 135 m

Datos:

e=6%, R=135 m, V=59.25 km/h

N.º	Vel. Km/h	f
1	44.25	0.173
2	49.25	0.165
3	54.25	0.158
4	59.25	0.150
5	64.25	0.143
6	69.25	0.135
7	74.25	0.128

**Con velocidad de 44.25 km/h**

$$0.06 + 0.173 = \frac{44.25^2}{127 * 135}$$

0.233=0.114 No hay equilibrio

**Con velocidad de 49.25 km/h**

$$0.06 + 0.165 = \frac{49.25^2}{127 * 135}$$

0.225=0.141 No hay equilibrio

**Con velocidad de 54.25 km/h**

$$0.06 + 0.158 = \frac{54.25^2}{127 * 135}$$

0.218=0.172 No hay equilibrio

**Con velocidad de 59.25 km/h**

$$0.06 + 0.150 = \frac{59.25^2}{127 * 135}$$

0.210=0.205 No hay equilibrio

**Con velocidad de 64.25 km/h**

$$0.06 + 0.143 = \frac{64.25^2}{127 * 135}$$

0.203=0.241 No hay equilibrio

**Con velocidad de 69.25 km/h**

$$0.06 + 0.135 = \frac{69.25^2}{127 * 135}$$

0.195=0.280 No hay equilibrio

Con velocidad de 74.25 km/h

$$0.06 + 0.128 = \frac{74.25^2}{127 * 135}$$

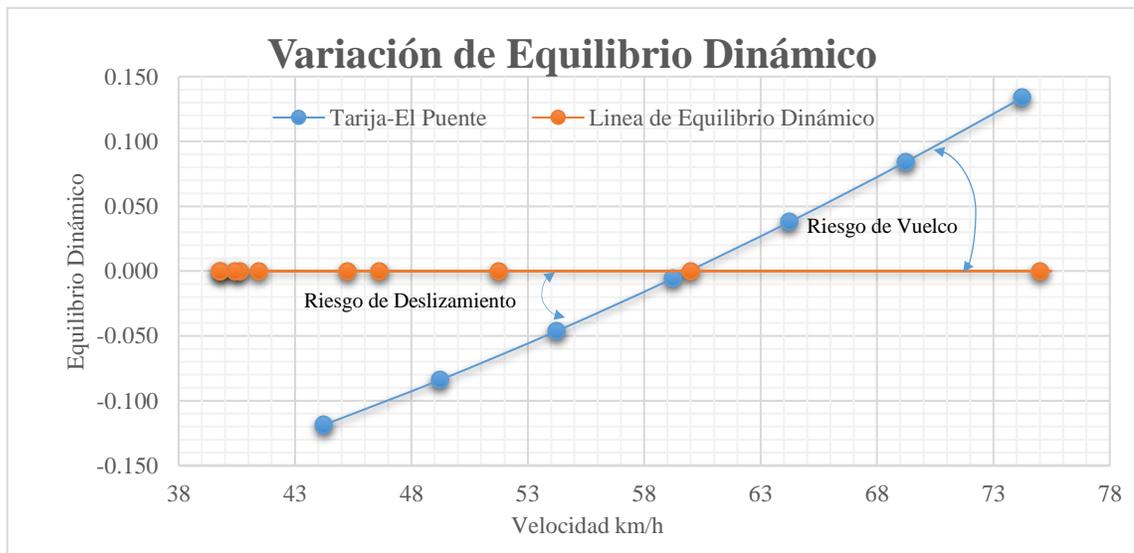
0.188=0.322 No hay equilibrio

**Tabla N°86:** Velocidad promedio de los tramos

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V <sup>2</sup> /127*R	Delta
1	44.3	135	0.06	0.173	0.233	=	0.114	-0.119
2	49.3	135	0.06	0.165	0.225	=	0.141	-0.084
3	54.3	135	0.06	0.158	0.218	=	0.172	-0.046
4	59.3	135	0.06	0.15	0.21	=	0.205	-0.006
5	64.3	135	0.06	0.143	0.203	=	0.241	0.038
6	69.3	135	0.06	0.135	0.195	=	0.28	0.084
7	74.3	135	0.06	0.128	0.188	=	0.322	0.134

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°40:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

#### Punto 4 Tarija-El Puente con el radio 110 m

Datos:

e=6%, R=110 m, V=59.25 km/h

N.º	Vel. Km/h	f
1	44.25	0.173
2	49.25	0.165
3	54.25	0.158
4	59.25	0.150
5	64.25	0.143
6	69.25	0.135
7	74.25	0.128

**Con velocidad de 44.25 km/h**

$$0.06 + 0.173 = \frac{44.25^2}{127 * 110}$$

0.233=0.140 No hay equilibrio

**Con velocidad de 54.25 km/h**

$$0.06 + 0.158 = \frac{54.25^2}{127 * 110}$$

0.218=0.211 No hay equilibrio

**Con velocidad de 64.25 km/h**

$$0.06 + 0.143 = \frac{64.25^2}{127 * 110}$$

0.203=0.295 No hay equilibrio

**Con velocidad de 49.25 km/h**

$$0.06 + 0.165 = \frac{49.25^2}{127 * 110}$$

0.225=0.174 No hay equilibrio

**Con velocidad de 59.25 km/h**

$$0.06 + 0.150 = \frac{59.25^2}{127 * 110}$$

0.210=0.251 No hay equilibrio

**Con velocidad de 69.25 km/h**

$$0.06 + 0.135 = \frac{69.25^2}{127 * 110}$$

0.195=0.343 No hay equilibrio

Con velocidad de 74.25 km/h

$$0.06 + 0.128 = \frac{74.25^2}{127 * 110}$$

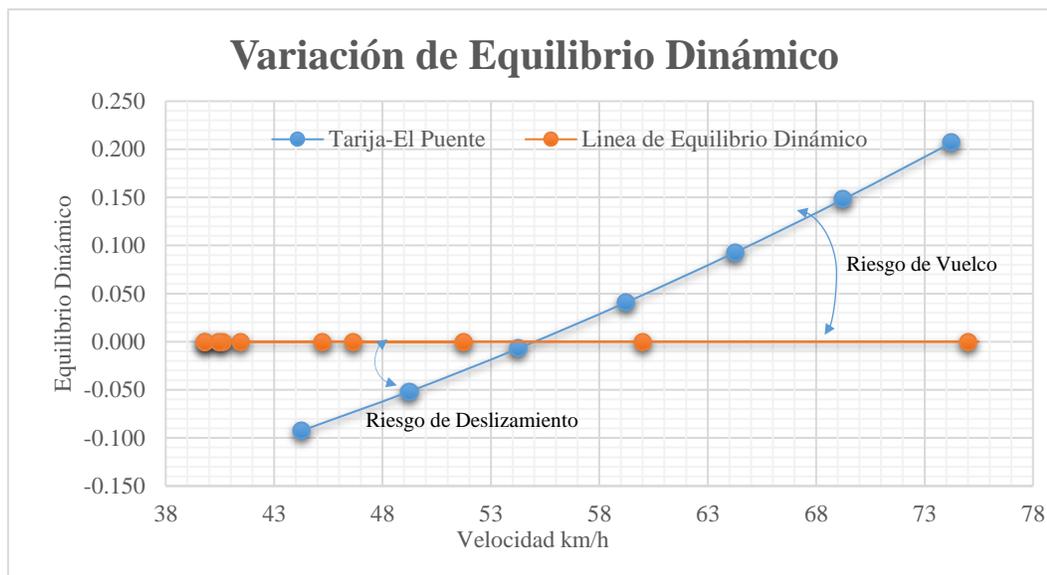
0.188=0.395 No hay equilibrio

**Tabla N°87:** Velocidad promedio de los tramos

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V2/127*R	Delta
1	44.3	110	0.06	0.173	0.233	=	0.14	-0.093
2	49.3	110	0.06	0.165	0.225	=	0.174	-0.052
3	54.3	110	0.06	0.158	0.218	=	0.211	-0.007
4	59.3	110	0.06	0.15	0.21	=	0.251	0.041
5	64.3	110	0.06	0.143	0.203	=	0.295	0.093
6	69.3	110	0.06	0.135	0.195	=	0.343	0.148
7	74.3	110	0.06	0.128	0.188	=	0.395	0.207

**Fuente:** Elaboración propia.

**Gráficas N°41:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

### Punto 5 Tarija-El Puente con el radio 75 m

Datos:

e=6%, R=75 m, V=59.25 km/h

N.º	Vel. Km/h	f
1	44.25	0.173
2	49.25	0.165
3	54.25	0.158
4	59.25	0.150
5	64.25	0.143
6	69.25	0.135
7	74.25	0.128

**Con velocidad de 44.25 km/h**

$$0.06 + 0.173 = \frac{44.25^2}{127 * 75}$$

0.233=0.206 No hay equilibrio

**Con velocidad de 54.25 km/h**

$$0.06 + 0.158 = \frac{54.25^2}{127 * 75}$$

0.218=0.309 No hay equilibrio

**Con velocidad de 64.25 km/h**

$$0.06 + 0.143 = \frac{64.25^2}{127 * 75}$$

0.203=0.433 No hay equilibrio

**Con velocidad de 49.25 km/h**

$$0.06 + 0.165 = \frac{49.25^2}{127 * 75}$$

0.225=0.255 No hay equilibrio

**Con velocidad de 59.25 km/h**

$$0.06 + 0.150 = \frac{59.25^2}{127 * 75}$$

0.210=0.369 No hay equilibrio

**Con velocidad de 69.25 km/h**

$$0.06 + 0.135 = \frac{69.25^2}{127 * 75}$$

0.195=0.503 No hay equilibrio

Con velocidad de 74.25 km/h

$$0.06 + 0.128 = \frac{74.25^2}{127 * 75}$$

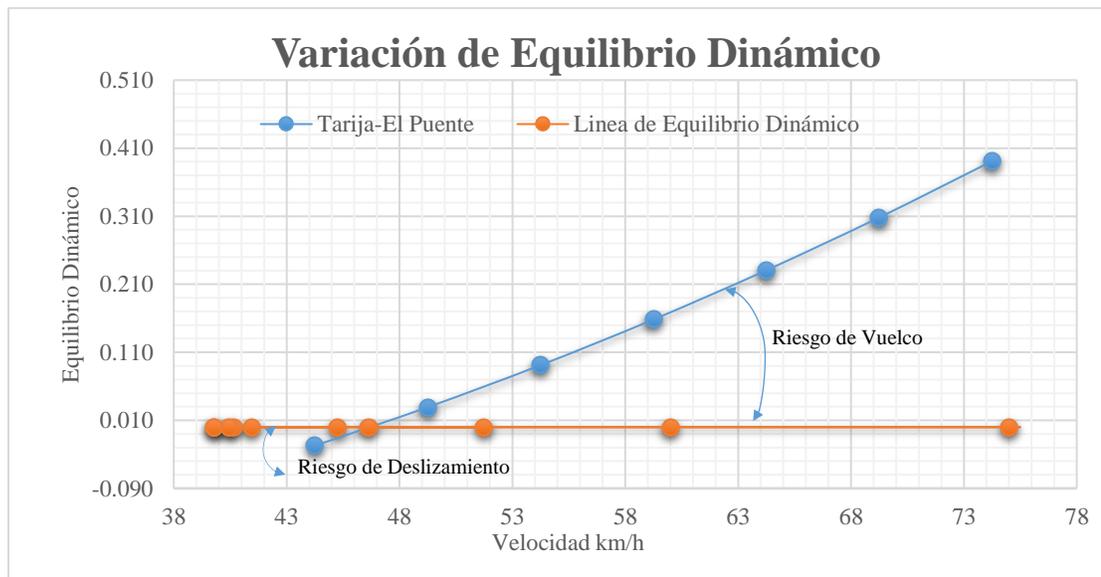
0.188=0.579 No hay equilibrio

**Tabla N°88:** Velocidad promedio de los tramos

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V2/127*R	Delta
1	44.3	75	0.06	0.173	0.233	=	0.206	-0.027
2	49.3	75	0.06	0.165	0.225	=	0.255	0.029
3	54.3	75	0.06	0.158	0.218	=	0.309	0.091
4	59.3	75	0.06	0.15	0.21	=	0.369	0.158
5	64.3	75	0.06	0.143	0.203	=	0.433	0.231
6	69.3	75	0.06	0.135	0.195	=	0.503	0.308
7	74.3	75	0.06	0.128	0.188	=	0.579	0.391

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°42:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

### Punto 6 Tarija-El Puente con el radio 115 m

Datos:

e=6%, R=115 m, V=59.25 km/h

N.º	Vel. Km/h	f
1	44.25	0.173
2	49.25	0.165
3	54.25	0.158
4	59.25	0.150
5	64.25	0.143
6	69.25	0.135
7	74.25	0.128

**Con velocidad de 44.25 km/h**

$$0.06 + 0.173 = \frac{44.25^2}{127 * 115}$$

0.233=0.134 No hay equilibrio

**Con velocidad de 49.25 km/h**

$$0.06 + 0.165 = \frac{49.25^2}{127 * 115}$$

0.225=0.166 No hay equilibrio

**Con velocidad de 54.25 km/h**

$$0.06 + 0.158 = \frac{54.25^2}{127 * 115}$$

0.218=0.202 No hay equilibrio

**Con velocidad de 59.25 km/h**

$$0.06 + 0.150 = \frac{59.25^2}{127 * 115}$$

0.210=0.240 No hay equilibrio

**Con velocidad de 64.25 km/h**

$$0.06 + 0.143 = \frac{64.25^2}{127 * 115}$$

0.203=0.283 No hay equilibrio

**Con velocidad de 69.25 km/h**

$$0.06 + 0.135 = \frac{69.25^2}{127 * 115}$$

0.195=0.328 No hay equilibrio

Con velocidad de 74.25 km/h

$$0.06 + 0.128 = \frac{74.25^2}{127 * 115}$$

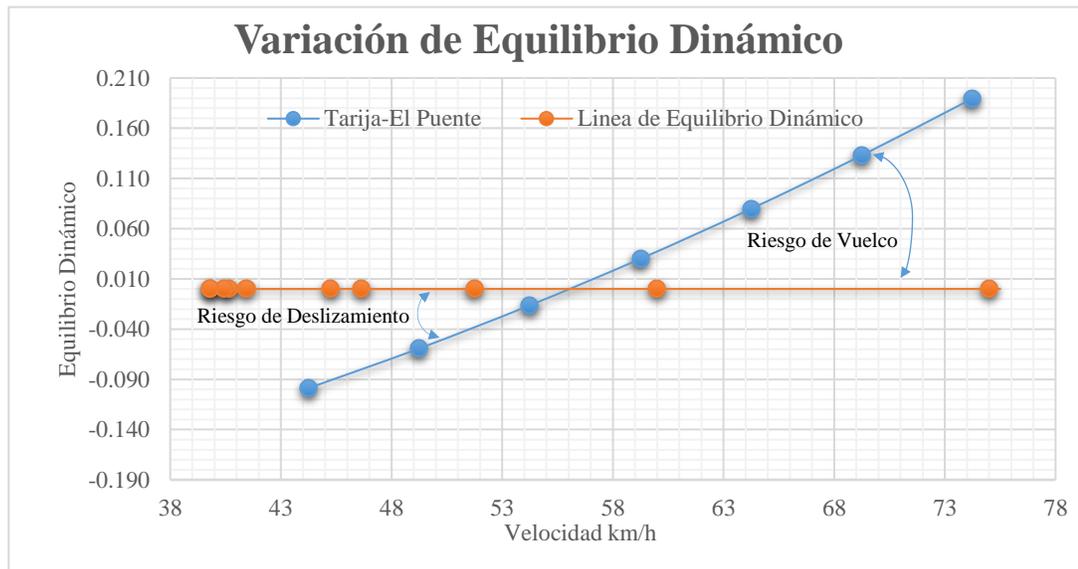
0.188=0.377 No hay equilibrio

**Tabla N°89:** Velocidad promedio de los tramos

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V2/127*R	Delta
1	44.3	115	0.06	0.173	0.233	=	0.134	-0.099
2	49.3	115	0.06	0.165	0.225	=	0.166	-0.059
3	54.3	115	0.06	0.158	0.218	=	0.202	-0.016
4	59.3	115	0.06	0.15	0.21	=	0.24	0.03
5	64.3	115	0.06	0.143	0.203	=	0.283	0.08
6	69.3	115	0.06	0.135	0.195	=	0.328	0.133
7	74.3	115	0.06	0.128	0.188	=	0.377	0.19

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°43:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

### Punto 7 Tarija-El Puente con el radio 115 m

Datos:

e=7%, R=115 m, V=59.25 km/h

N.º	Vel. Km/h	f
1	44.25	0.173
2	49.25	0.165
3	54.25	0.158
4	59.25	0.150
5	64.25	0.143
6	69.25	0.135
7	74.25	0.128

**Con velocidad de 44.25 km/h**

$$0.07 + 0.173 = \frac{44.25^2}{127 * 115}$$

0.243=0.134 No hay equilibrio

**Con velocidad de 54.25 km/h**

$$0.07 + 0.158 = \frac{54.25^2}{127 * 115}$$

0.228=0.202 No hay equilibrio

**Con velocidad de 64.25 km/h**

$$0.07 + 0.143 = \frac{64.25^2}{127 * 115}$$

0.213=0.283 No hay equilibrio

**Con velocidad de 49.25 km/h**

$$0.07 + 0.165 = \frac{49.25^2}{127 * 115}$$

0.235=0.166 No hay equilibrio

**Con velocidad de 59.25 km/h**

$$0.07 + 0.150 = \frac{59.25^2}{127 * 115}$$

0.220=0.240 No hay equilibrio

**Con velocidad de 69.25 km/h**

$$0.07 + 0.135 = \frac{69.25^2}{127 * 115}$$

0.205=0.328 No hay equilibrio

Con velocidad de 74.25 km/h

$$0.07 + 0.128 = \frac{74.25^2}{127 * 115}$$

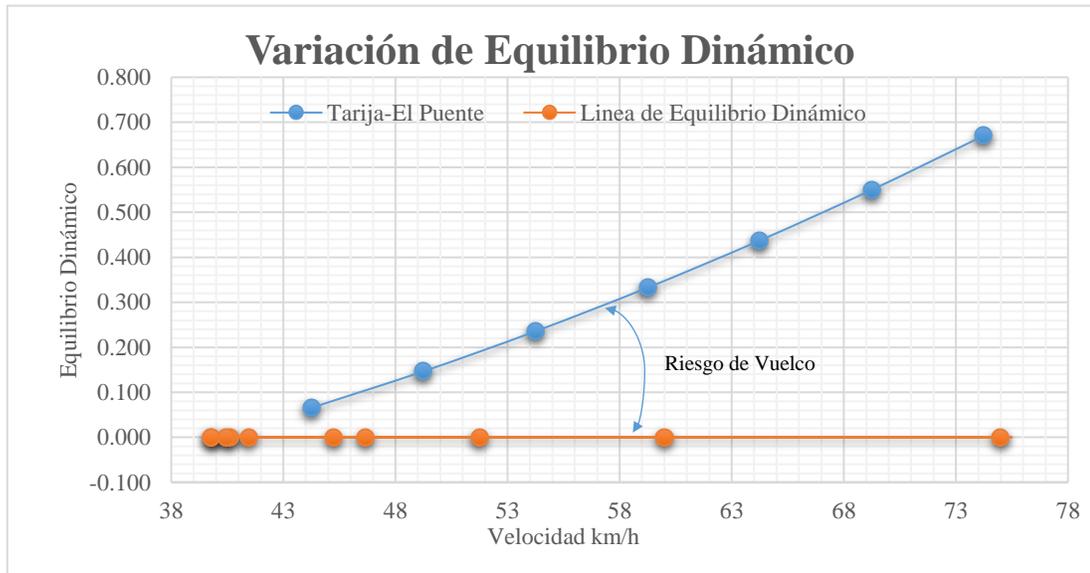
0.198=0.377 No hay equilibrio

**Tabla N°90:** Velocidad promedio de los tramos

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V <sup>2</sup> /127*R	Delta
1	44.3	50	0.07	0.173	0.243	=	0.308	0.066
2	49.3	50	0.07	0.165	0.235	=	0.382	0.147
3	54.3	50	0.07	0.158	0.228	=	0.463	0.236
4	59.3	50	0.07	0.15	0.22	=	0.553	0.333
5	64.3	50	0.07	0.143	0.213	=	0.65	0.437
6	69.3	50	0.07	0.135	0.205	=	0.755	0.55
7	74.3	50	0.07	0.128	0.198	=	0.868	0.67

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°44:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

### Punto 8 Tarija-El Puente con el radio 50 m

Datos:

e=8%, R=50 m, V=59.25 km/h

N.º	Vel. Km/h	f
1	44.25	0.173
2	49.25	0.165
3	54.25	0.158
4	59.25	0.150
5	64.25	0.143
6	69.25	0.135
7	74.25	0.128

**Con velocidad de 44.25 km/h**

$$0.08 + 0.173 = \frac{44.25^2}{127 * 50}$$

0.253=0.308 No hay equilibrio

**Con velocidad de 49.25 km/h**

$$0.08 + 0.165 = \frac{49.25^2}{127 * 50}$$

0.245=0.382 No hay equilibrio

**Con velocidad de 54.25 km/h**

$$0.08 + 0.158 = \frac{54.25^2}{127 * 50}$$

0.238=0.463 No hay equilibrio

**Con velocidad de 59.25 km/h**

$$0.08 + 0.150 = \frac{59.25^2}{127 * 50}$$

0.230=0.553 No hay equilibrio

**Con velocidad de 64.25 km/h**

$$0.08 + 0.143 = \frac{64.25^2}{127 * 50}$$

0.223=0.650 No hay equilibrio

**Con velocidad de 69.25 km/h**

$$0.08 + 0.135 = \frac{69.25^2}{127 * 50}$$

0.215=0.755 No hay equilibrio

Con velocidad de 74.25 km/h

$$0.08 + 0.128 = \frac{74.25^2}{127 * 50}$$

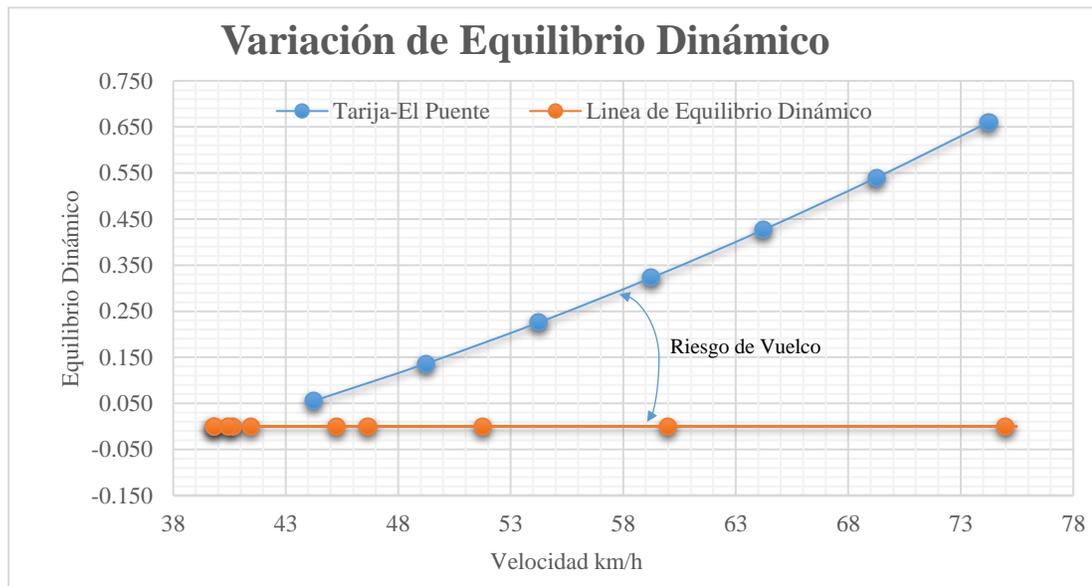
0.208=0.868 No hay equilibrio

**Tabla N°91:** Velocidad promedio de los tramos

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V <sup>2</sup> /127*R	Delta
1	44.3	50	0.08	0.173	0.253	=	0.308	0.056
2	49.3	50	0.08	0.165	0.245	=	0.382	0.137
3	54.3	50	0.08	0.158	0.238	=	0.463	0.226
4	59.3	50	0.08	0.15	0.23	=	0.553	0.323
5	64.3	50	0.08	0.143	0.223	=	0.65	0.427
6	69.3	50	0.08	0.135	0.215	=	0.755	0.54
7	74.3	50	0.08	0.128	0.208	=	0.868	0.66

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°45:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

### Punto 9 Tarija-El Puente con el radio 55 m

Datos:

e=7%, R=55 m, V=59.25 km/h

N.º	Vel. Km/h	f
1	44.25	0.173
2	49.25	0.165
3	54.25	0.158
4	59.25	0.150
5	64.25	0.143
6	69.25	0.135
7	74.25	0.128

**Con velocidad de 44.25 km/h**

$$0.07 + 0.173 = \frac{44.25^2}{127 * 55}$$

0.243=0.280 No hay equilibrio

**Con velocidad de 54.25 km/h**

$$0.07 + 0.158 = \frac{54.25^2}{127 * 55}$$

0.228=0.421 No hay equilibrio

**Con velocidad de 64.25 km/h**

$$0.07 + 0.143 = \frac{64.25^2}{127 * 55}$$

0.213=0.591 No hay equilibrio

**Con velocidad de 49.25 km/h**

$$0.07 + 0.165 = \frac{49.25^2}{127 * 55}$$

0.235=0.347 No hay equilibrio

**Con velocidad de 59.25 km/h**

$$0.07 + 0.150 = \frac{59.25^2}{127 * 55}$$

0.220=0.503 No hay equilibrio

**Con velocidad de 69.25 km/h**

$$0.07 + 0.135 = \frac{69.25^2}{127 * 55}$$

0.205=0.687 No hay equilibrio

Con velocidad de 74.25 km/h

$$0.07 + 0.128 = \frac{74.25^2}{127 * 55}$$

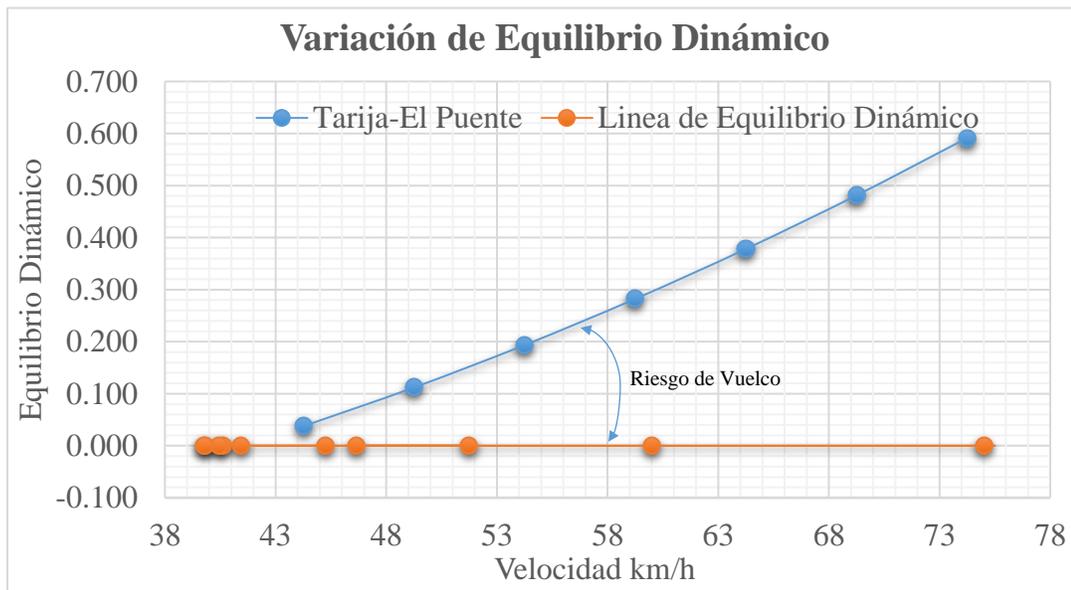
0.198=0.789 No hay equilibrio

**Tabla N°92:** Velocidad promedio de los tramos

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V2/127*R	Delta
1	44.3	55	0.07	0.173	0.243	=	0.28	0.037
2	49.3	55	0.07	0.165	0.235	=	0.347	0.112
3	54.3	55	0.07	0.158	0.228	=	0.421	0.194
4	59.3	55	0.07	0.15	0.22	=	0.503	0.282
5	64.3	55	0.07	0.143	0.213	=	0.591	0.378
6	69.3	55	0.07	0.135	0.205	=	0.687	0.481
7	74.3	55	0.07	0.128	0.198	=	0.789	0.591

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°46:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

### Punto 10 Tarija-El Puente con el radio 50 m

Datos:

e=7%, R=50 m, V=59.25 km/h

N.º	Vel. Km/h	f
1	44.25	0.173
2	49.25	0.165
3	54.25	0.158
4	59.25	0.150
5	64.25	0.143
6	69.25	0.135
7	74.25	0.128

**Con velocidad de 44.25 km/h**

$$0.07 + 0.173 = \frac{44.25^2}{127 * 50}$$

0.243=0.308 No hay equilibrio

**Con velocidad de 54.25 km/h**

$$0.07 + 0.158 = \frac{54.25^2}{127 * 50}$$

0.228=0.463 No hay equilibrio

**Con velocidad de 64.25 km/h**

$$0.07 + 0.143 = \frac{64.25^2}{127 * 50}$$

0.213=0.650 No hay equilibrio

**Con velocidad de 49.25 km/h**

$$0.07 + 0.165 = \frac{49.25^2}{127 * 50}$$

0.235=0.382 No hay equilibrio

**Con velocidad de 59.25 km/h**

$$0.07 + 0.150 = \frac{59.25^2}{127 * 50}$$

0.220=0.553 No hay equilibrio

**Con velocidad de 69.25 km/h**

$$0.07 + 0.135 = \frac{69.25^2}{127 * 50}$$

0.205=0.755 No hay equilibrio

Con velocidad de 74.25 km/h

$$0.07 + 0.128 = \frac{74.25^2}{127 * 50}$$

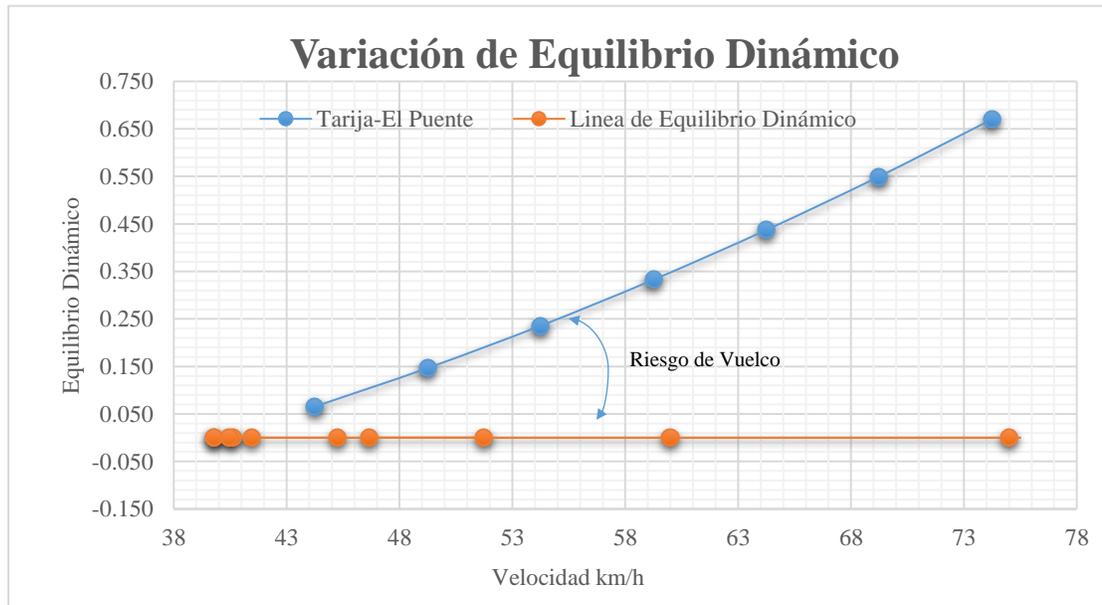
0.198=0.868 No hay equilibrio

**Tabla N°93:** Velocidad promedio de los tramos

N.º	Vel. Km/h	R	e	f	e+f	=	V <sup>2</sup> /127*R	Delta
1	44.3	50	0.07	0.173	0.243	=	0.308	0.066
2	49.3	50	0.07	0.165	0.235	=	0.382	0.147
3	54.3	50	0.07	0.158	0.228	=	0.463	0.236
4	59.3	50	0.07	0.15	0.22	=	0.553	0.333
5	64.3	50	0.07	0.143	0.213	=	0.65	0.437
6	69.3	50	0.07	0.135	0.205	=	0.755	0.55
7	74.3	50	0.07	0.128	0.198	=	0.868	0.67

**Fuente:** Elaboración propia.

**Graficas N°47:** Comportamiento de la curva frente a la variación de velocidad



**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.5. Interpretación de resultados

-Discretización de la velocidad de operación promedio se realizará en 3 grupos para el tramo Tarija-Entre Ríos:

$$\Delta = \frac{70.14 - 41.8}{3} = \frac{28.34}{3} = 9.45$$

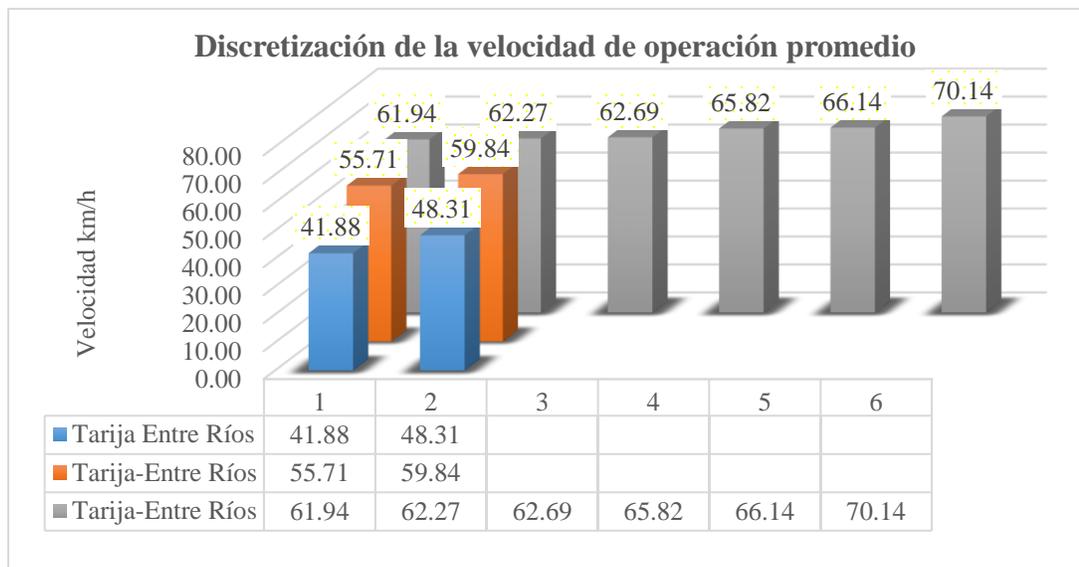
Variación de la velocidad:

Rango 1= 41.88km/h-51.88km/h

Rango 2= 51.88km/h-61.88km/h

Rango 3= 61.88km/h-71.88km/h

**Gráficas N°48:** Discretización de la velocidad en tres rangos



**Fuente:** Elaboración propia.

-Discretización de la velocidad de operación promedio se realizará en 3 grupos para el tramo Tarija-Bermejo:

$$\Delta = \frac{69.26 - 56.14}{3} = \frac{13.12}{3} = 4.37 = 4.5$$

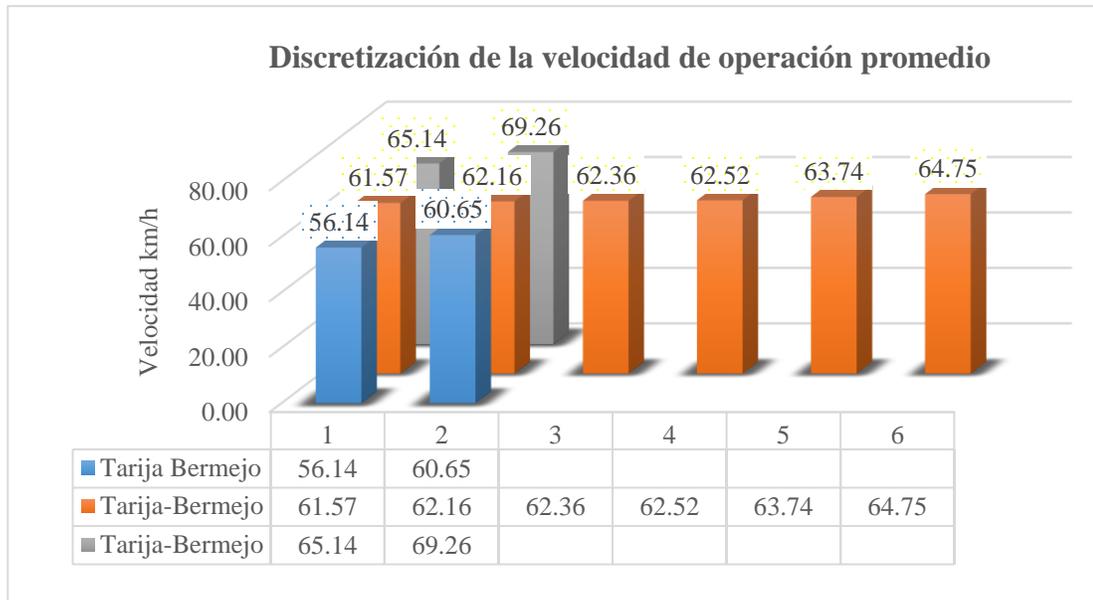
Variación de la velocidad:

Rango 1 = 56.14km/h-60.64km/h

Rango 2= 60.64km/h-65.14km/h

Rango 3= 65.14km/h-69.64km/h

**Graficas N°49:** Discretización de la velocidad en tres rangos



**Fuente:** Elaboración propia.

-Discretización de la velocidad de operación promedio se realizará en 3 grupos para el tramo Tarija-El Puente:

$$\Delta = \frac{62.97 - 39.87}{3} = \frac{23.1}{3} = 7.7$$

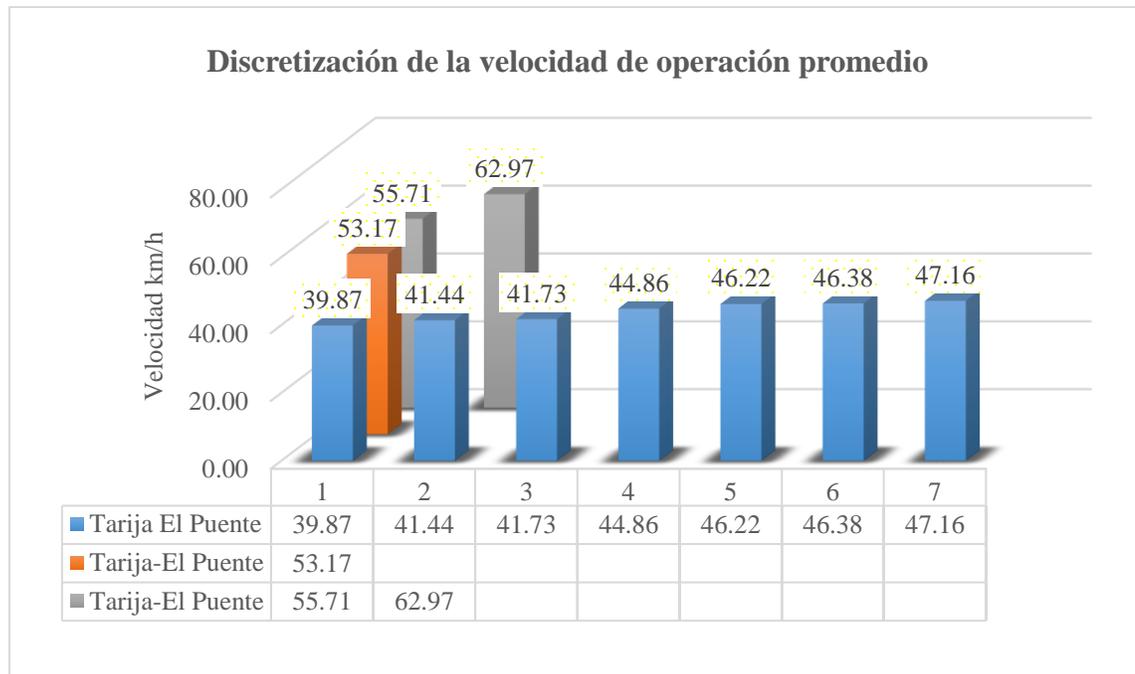
Variación de la velocidad:

Rango 1 = 39.87km/h-47.57km/h

Rango 2= 47.57km/h-55.27km/h

Rango 3= 55.27km/h-62.97km/h

**Graficas N°50:** Discretización de la velocidad en tres rangos



**Fuente:** Elaboración propia.

-Discretización de los radios de las curvas horizontales en 3 grupos para el tramo Tarija-Entre Ríos:

$$\Delta = \frac{135 - 50}{3} = \frac{85}{3} = 28.33$$

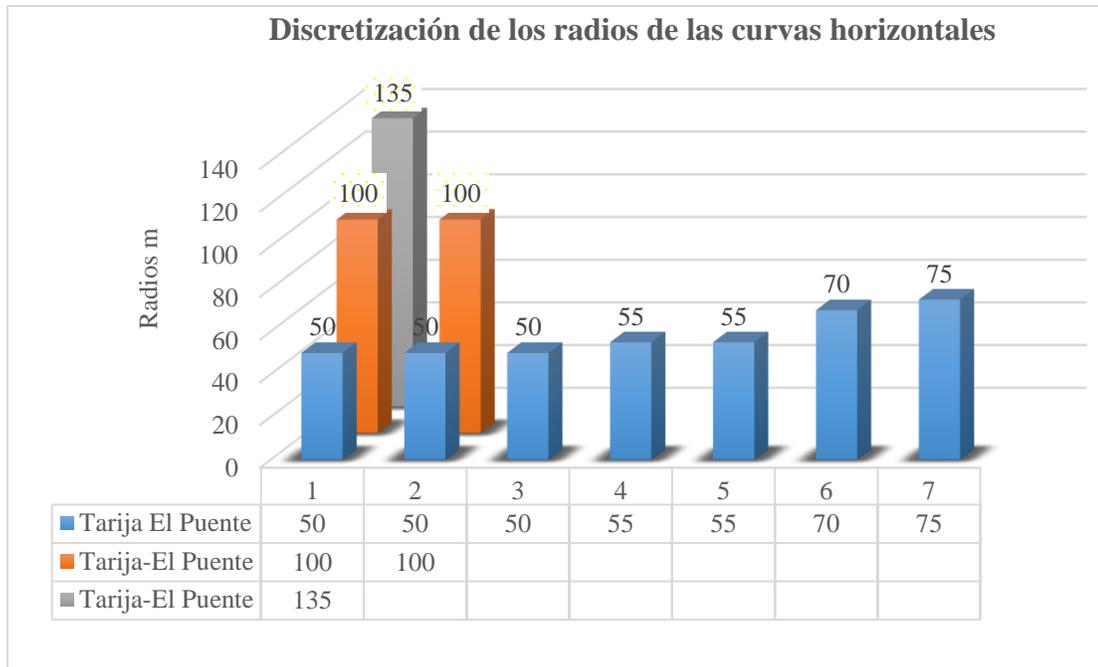
Variación de los radios:

Rango 1= 50m -78.33m

Rango 2= 78.33m-106.66m

Rango 3= 106.66m-135m

**Graficas N°51:** Discretización de los radios de curvas en tres rangos



**Fuente:** Elaboración propia.

- Discretización de los radios de las curvas horizontales en 3 grupos para el tramo Tarija-Bermejo:

$$\Delta = \frac{150 - 80}{3} = \frac{70}{3} = 23.33$$

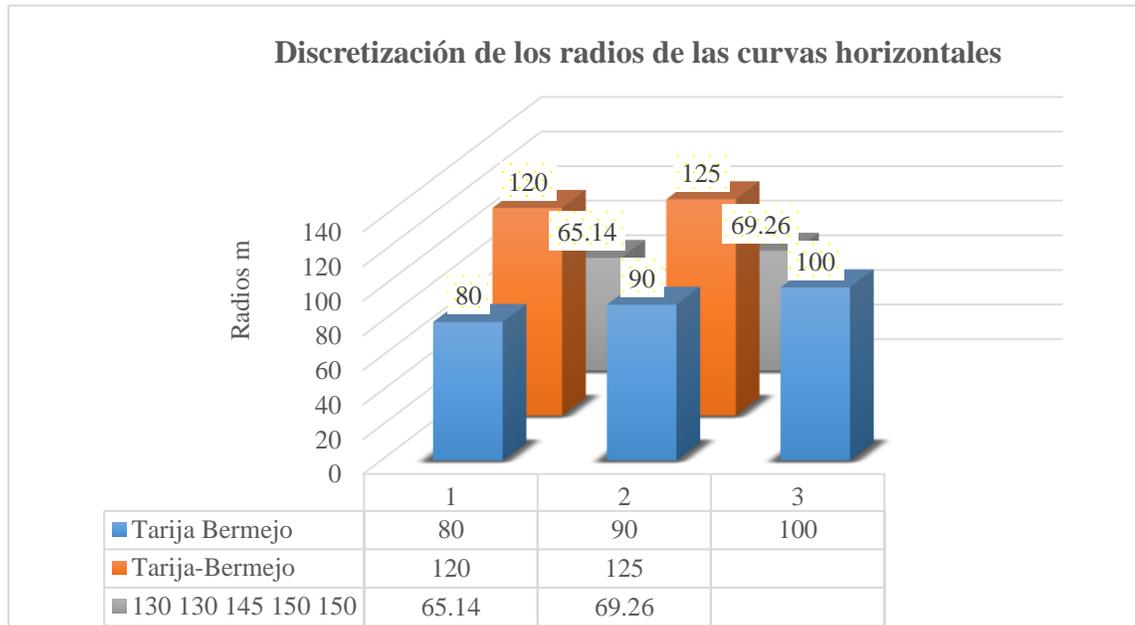
Variación de los radios:

Rango 1 = 80m-103.33m

Rango 2= 103.33m-126.66m

Rango 3= 126.66m-150m

**Graficas N°52:** Discretización de los radios de curvas en tres rangos



**Fuente:** Elaboración propia.

- Discretización de los radios de las curvas horizontales en 3 grupos para el tramo Tarija-El Puente:

$$\Delta = \frac{165 - 50}{3} = \frac{115}{3} = 38.33$$

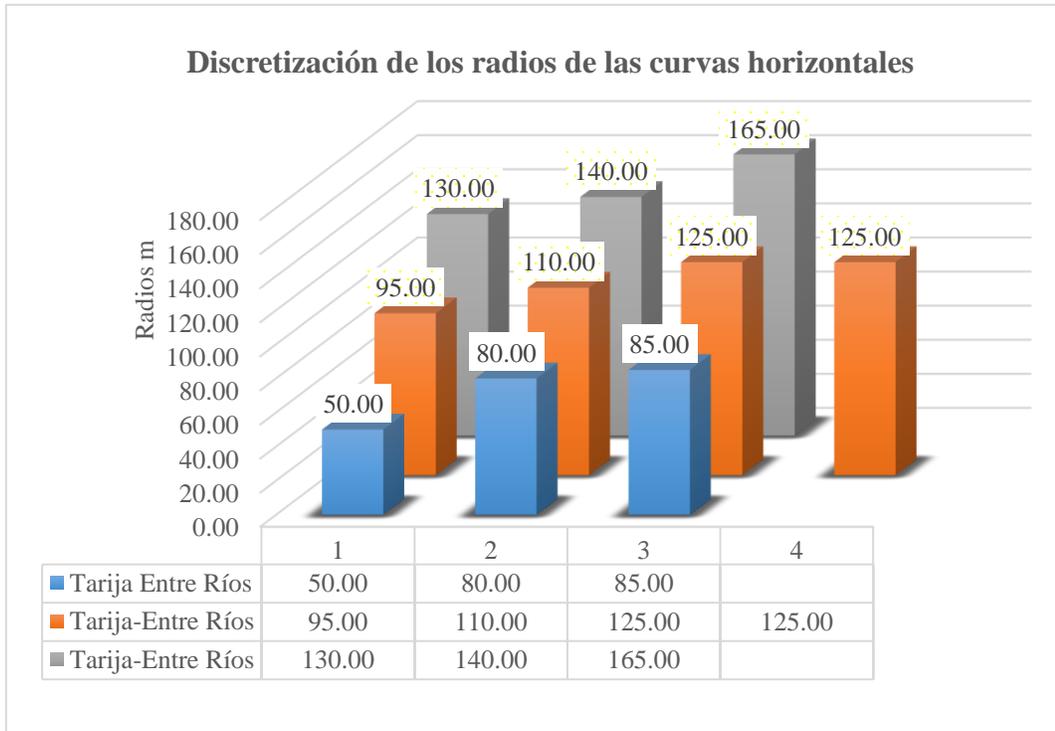
Variación de los radios:

Rango 1 = 50m-88.33m

Rango 2= 88.33m-126.66m

Rango 3= 126.66m-165m

**Graficas N°53:** Discretización de los radios de curvas en tres rangos



**Fuente:** Elaboración propia.

Los resultados obtenidos en la investigación revelan una relación directa entre la velocidad del vehículo y el equilibrio dinámico en curvas horizontales. Se identificó que, cuando los vehículos superan la velocidad de operación recomendada, la fuerza centrífuga aumenta, lo que conlleva a una pérdida de control y, en algunos casos, a deslizamientos o vuelcos. Este comportamiento es más pronunciado en curvas con radios menores, corroborando la teoría de que los radios reducidos representan mayores desafíos para la estabilidad vehicular.

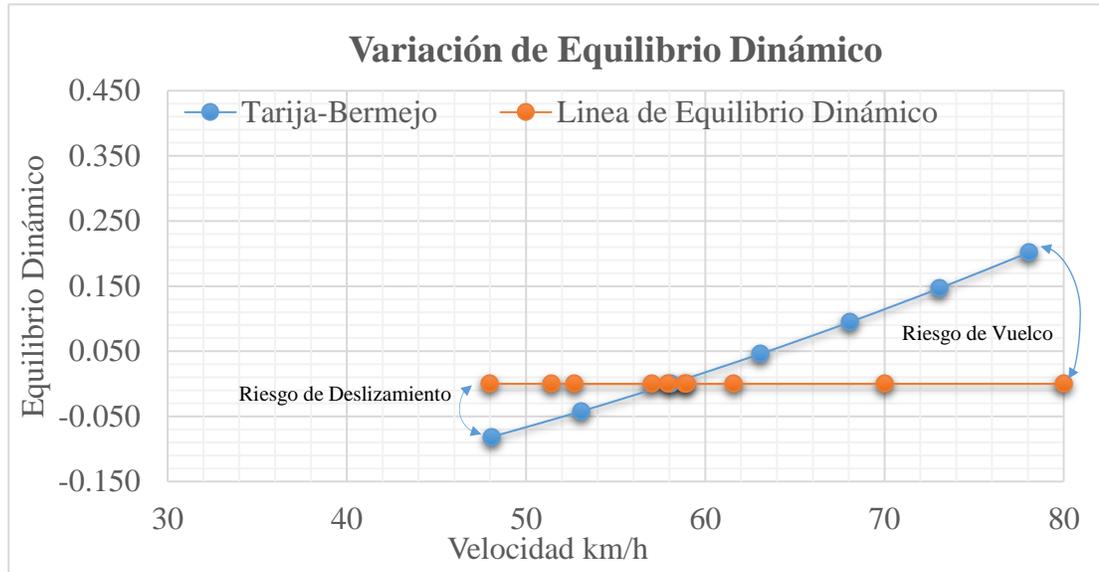
El análisis de los tramos investigados evidencia que el peralte es un factor crucial para mantener el equilibrio dinámico. Un diseño geométrico inadecuado, caracterizado por peraltes que no compensan adecuadamente las fuerzas laterales, incrementa los riesgos de accidentes.

Los datos de velocidades promedio registrados en los diferentes tramos de la red vial muestran una variabilidad considerable. En el tramo Tarija-Entre Ríos, se observó que los vehículos tienden a circular a velocidades superiores a las recomendadas en curvas con radios menores, lo que aumenta la probabilidad de incidentes. En contraste, en el tramo Tarija-El Puente, donde los radios de curvatura son más amplios, las velocidades promedio se alinean mejor con las recomendaciones normativas, lo que refleja una menor incidencia de deslizamientos o pérdida de control.

La aplicación de la ecuación de equilibrio dinámico de la norma AASHTO permitió realizar simulaciones precisas que correlacionan la velocidad, el radio de curvatura y el peralte. Los resultados muestran que, en la mayoría de los casos, los vehículos que respetan la velocidad de operación recomendada logran mantener el equilibrio dinámico. En cambio, aquellos que exceden dicha velocidad experimentan un aumento en las fuerzas laterales que superan el coeficiente de fricción lateral, provocando situaciones de riesgo.

Los tres tramos estudiados presentan características distintas que afectan la estabilidad de los vehículos. En el tramo Tarija-El Puente, el análisis reveló una mayor frecuencia de pérdida de control, atribuible a curvas con radios más pequeños y peraltes insuficientes. Por otro lado, el tramo Tarija-Bermejo presentó mejores resultados en términos de equilibrio dinámico, gracias a la existencia de curvas con radios más amplios que permiten una mayor estabilidad.

## -Análisis del punto 1 tramo Tarija-Bermejo, Tarija-Entre Ríos y Tarija-El Puente



Entre 30km/h y 50km/h:

Se observa un valor negativo en la curva azul, lo que sugiere una condición de riesgo de deslizamiento. La estabilidad del vehículo es baja, y probablemente haya dificultades para mantener el equilibrio en esa velocidad

Entre 50km/h y 70km/h:

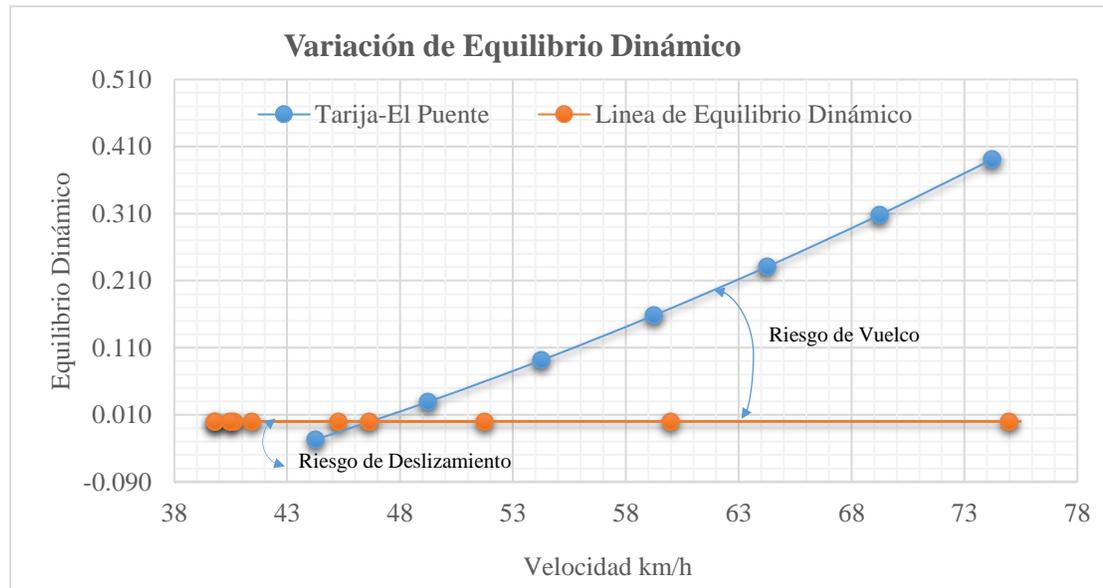
A medida que aumenta la velocidad, la línea azul comienza a cruzar hacia valores positivos, lo que indica una mejora en el equilibrio dinámico. Aquí se está alcanzando una zona de mayor estabilidad.

Entre 70km/h e 80km/h:

A partir de 70 km/h, la línea azul comienza a mostrar un aumento considerable, sobrepasando el valor de equilibrio dinámico. Este comportamiento sugiere un riesgo de vuelco.

-Riesgo a deslizamiento. -Abajas velocidades el vehículo está más propenso a deslizarse debido a falta de equilibrio dinámico, como se muestra en el gráfico con valores negativos que están cerca de la línea de equilibrio.

-Riesgo de vuelco. -A altas velocidades el gráfico sugiere que el vehículo tiene un riesgo considerable de volcar, ya que el equilibrio dinámico sobrepasa el límite seguro indicado por la línea naranja.



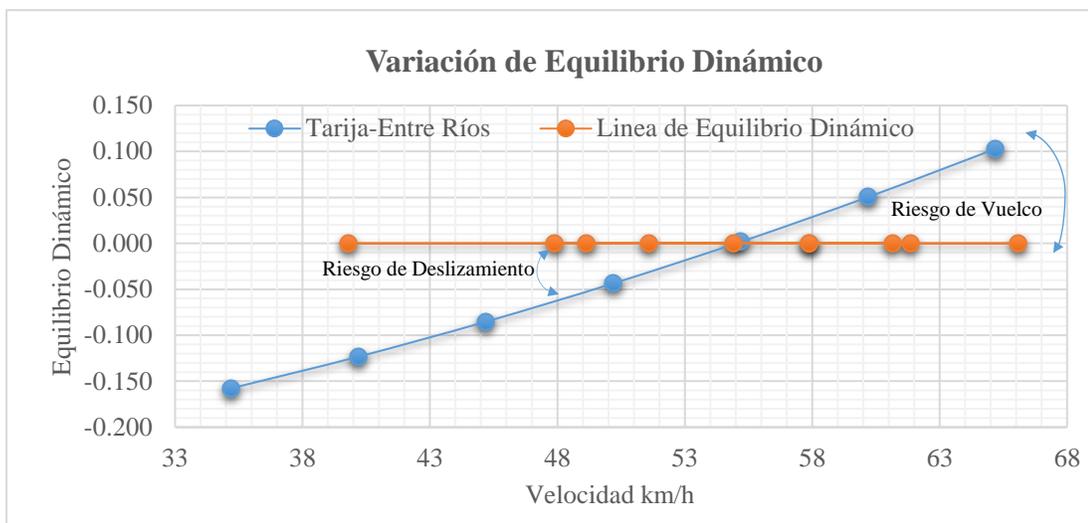
Entre 38 km/h y 43 km/h:

La curva azul comienza en valores cercanos a cero pero desciende ligeramente a valores negativos, lo que indica un riesgo de deslizamiento a bajas velocidades.

A partir de los 63 km/h, la línea azul sigue aumentando rápidamente, sobrepasando la línea de equilibrio dinámico y acercándose a valores más altos. Este incremento señala un riesgo de vuelco.

-Riesgo a deslizamiento. - A velocidades cercanas a 43 km/h, el vehículo tiene un riesgo elevado de perder estabilidad debido al equilibrio dinámico negativo. Esta es una zona peligrosa en la cual el control puede ser difícil.

-Riesgo de vuelco. - A velocidades superiores a 58 km/h, la estabilidad del vehículo puede volverse crítica, ya que el equilibrio dinámico sobrepasa el límite aceptable, lo que genera un riesgo considerable de vuelco.



Entre 33 km/h y 48 km/h:

La línea azul comienza con valores negativos, y aunque aumenta, sigue estando por debajo de la línea de equilibrio dinámico, lo que indica un riesgo de deslizamiento.

Entre 48 km/h y 58 km/h:

A partir de 48 km/h, la línea azul se aproxima y se estabiliza alrededor de 0.00, lo que indica que el vehículo comienza a entrar en una zona de mejora en su estabilidad dinámica. La probabilidad de deslizamiento disminuye y el equilibrio dinámico se vuelve más seguro.

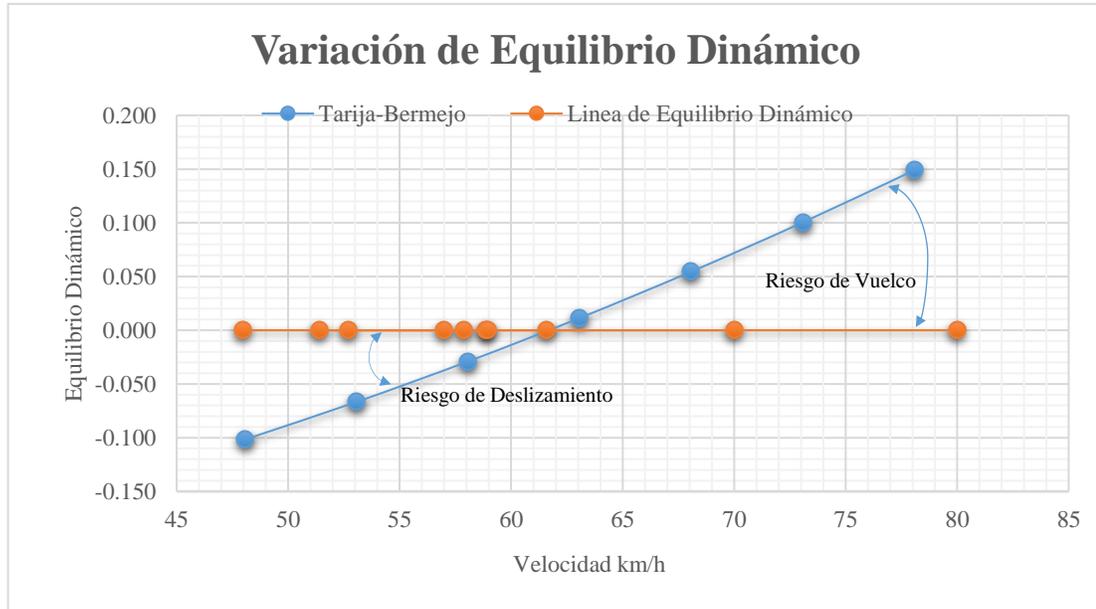
Entre 58 km/h y 68 km/h:

A partir de 58 km/h, la línea azul comienza a superar a la línea de equilibrio dinámico. Esta área, etiquetada como Riesgo de Vuelco, sugiere que el vehículo se vuelve inestable a medida que se incrementa la velocidad. Aquí el riesgo de vuelco aumenta considerablemente.

-Riesgo a deslizamiento. - En velocidades por debajo de 48 km/h, el equilibrio dinámico es negativo, lo que significa que el vehículo es propenso a deslizarse. Este es un rango peligroso en el que el control del vehículo puede ser difícil de mantener.

-Riesgo de vuelco. - A velocidades superiores a 58 km/h, la curva azul comienza a exceder la línea de equilibrio dinámico, lo que sugiere que el vehículo está en riesgo de volcar. Esto indica que el equilibrio dinámico se vuelve crítico a estas velocidades, aumentando la posibilidad de accidentes por pérdida de estabilidad.

## -Análisis del punto 2 tramo Tarija-Bermejo, Tarija-Entre Ríos y Tarija-El Puente

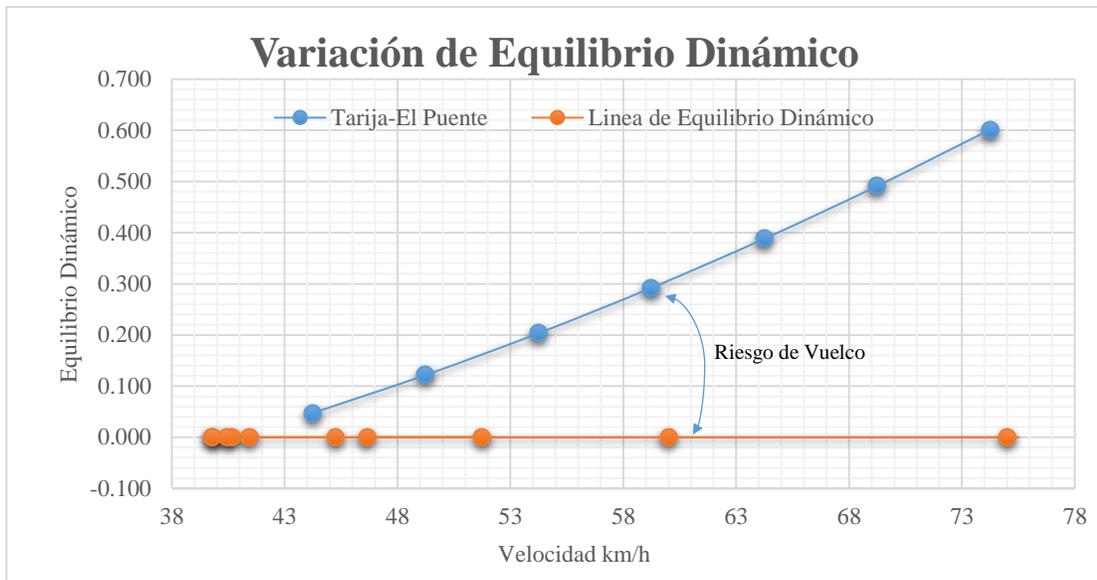


**Riesgo de Deslizamiento:** Este riesgo se indica en la parte izquierda del gráfico, a velocidades cercanas a los 50 km/h. La línea azul está por debajo de la línea naranja en esta región, con valores negativos de equilibrio dinámico, lo que sugiere una tendencia a deslizamiento.

**Riesgo de Vuelco:** Ocurre a velocidades más altas, alrededor de los 80 km/h. Aquí, la línea azul se eleva por encima de la línea de equilibrio dinámico (valores positivos), lo que sugiere que a mayor velocidad, el riesgo de vuelco incrementa debido a la pérdida de estabilidad.

A velocidades bajas, entre 50-55 km/h, el vehículo está en riesgo de deslizamiento, pues el equilibrio dinámico está por debajo del ideal.

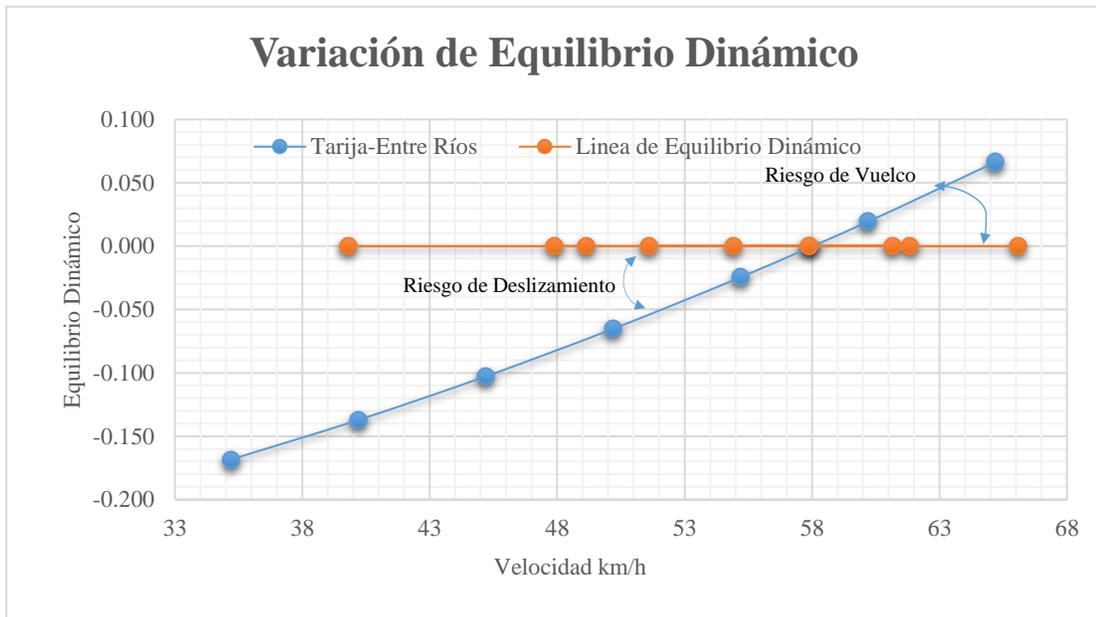
Entre 55-75 km/h, el vehículo se mantiene en un estado más cercano al equilibrio neutro, pero con una tendencia a perder estabilidad a medida que la velocidad aumenta.



El gráfico marca claramente el riesgo de vuelco a partir de los 63 km/h. Esto significa que, a partir de esta velocidad, el vehículo experimenta una fuerza que compromete su estabilidad, lo que puede provocar el vuelco si no se toman precauciones.

Velocidades intermedias (48 - 63 km/h): Conforme aumenta la velocidad, la línea azul comienza a separarse de la línea naranja, lo que indica un incremento en el equilibrio dinámico. Sin embargo, el riesgo de desestabilización aún no es crítico.

Velocidades altas (a partir de 63 km/h): A velocidades superiores a 63 km/h, se observa un aumento pronunciado en la curva azul, lo que indica una tendencia hacia el riesgo de vuelco. Este riesgo es mayor conforme la velocidad aumenta hacia los 78 km/h, con un valor de equilibrio dinámico superior a 0.600, que indica una pérdida significativa de estabilidad.



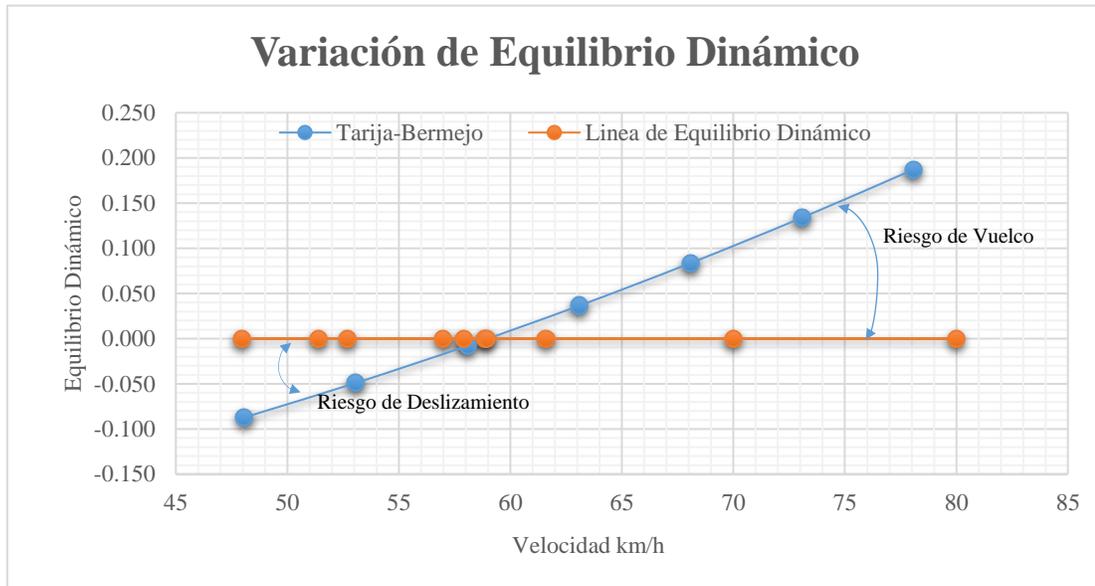
Riesgo de deslizamiento: Esto sucede cuando los puntos están por debajo de la línea naranja, es decir, a velocidades bajas, donde el vehículo tiende a perder adherencia al pavimento.

Riesgo de vuelco: Aparece a partir de 63 km/h, cuando el vehículo alcanza un equilibrio dinámico positivo y el riesgo de vuelco se incrementa.

El gráfico destaca la importancia de la velocidad en el equilibrio dinámico. A bajas velocidades hay riesgo de deslizamiento, y a altas velocidades el riesgo de vuelco aumenta significativamente.

El rango de velocidades óptimo parece estar entre los 43 y 58 km/h, donde el equilibrio dinámico está más cercano a la estabilidad, minimizando ambos riesgos.

### -Análisis del punto 3 tramo Tarija-Bermejo, Tarija-Entre Ríos y Tarija-El Puente

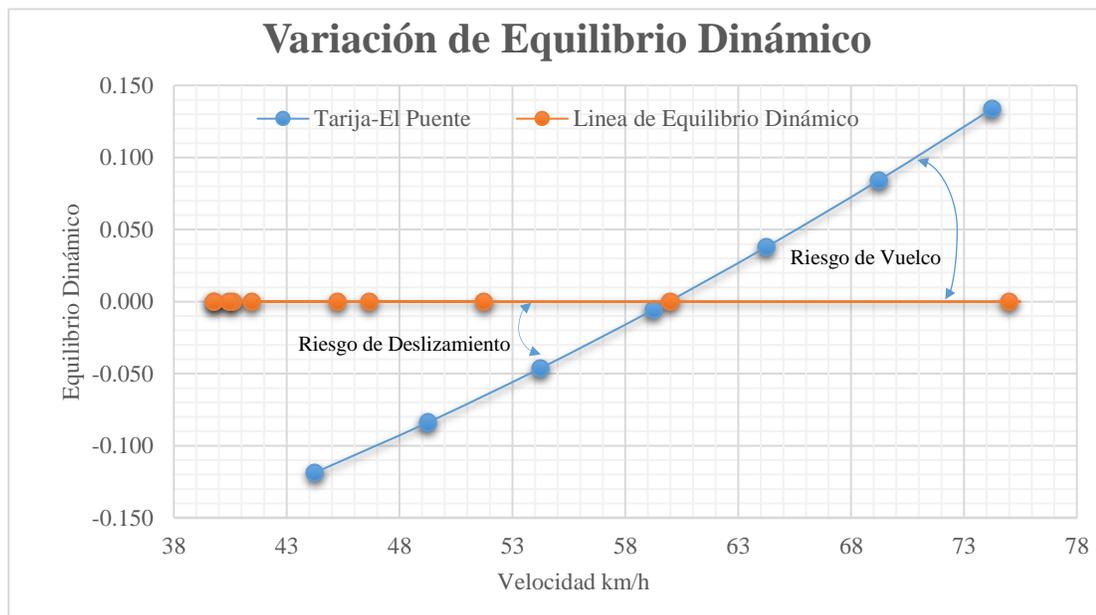


Riesgo de deslizamiento: A velocidades cercanas a los 45-55 km/h, el vehículo experimenta un equilibrio dinámico negativo, lo que sugiere que el vehículo podría perder tracción y deslizarse.

Riesgo de vuelco: A velocidades superiores a los 65 km/h, especialmente más allá de los 75 km/h, el equilibrio dinámico se vuelve positivo y creciente, lo que indica un aumento en la posibilidad de que el vehículo tienda a volcar.

El gráfico sugiere que en el tramo Tarija-Bermejo, el rango de velocidad más seguro está entre los 55 y 65 km/h, donde el vehículo presenta el equilibrio dinámico más cercano al óptimo (en la línea de equilibrio).

A velocidades menores (45-55 km/h), el riesgo de deslizamiento es notable, mientras que a velocidades más altas (más de 70 km/h), se incrementa el riesgo de vuelco de manera considerable.

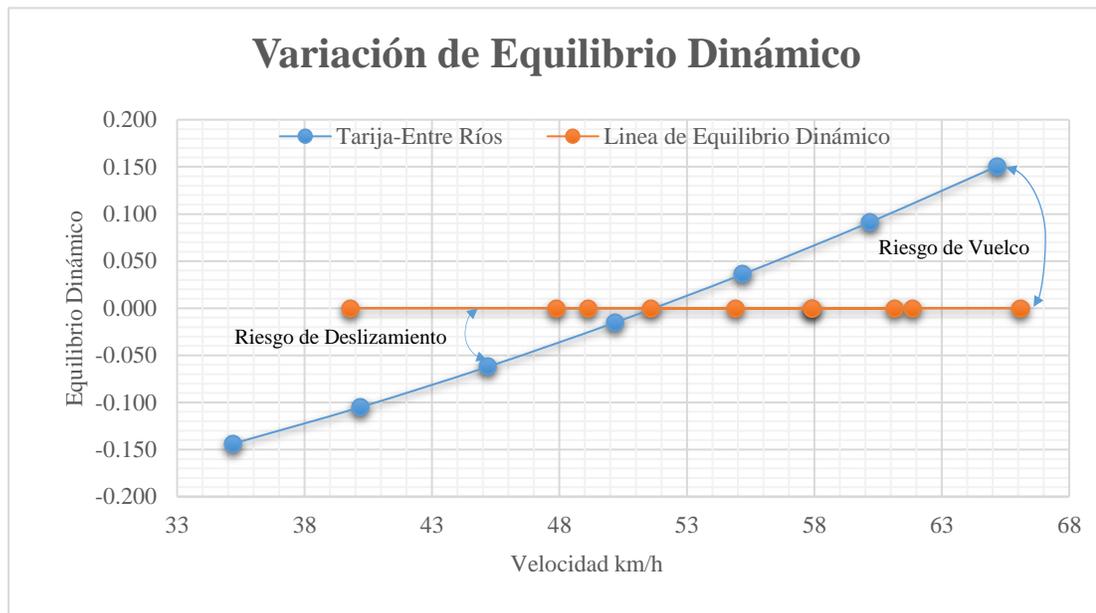


**Riesgo de deslizamiento:** Se observa entre las velocidades de 38 a 53 km/h, ya que la curva azul está por debajo de la línea de equilibrio, indicando una tendencia a perder adherencia en la curva.

**Riesgo de vuelco:** Se hace evidente a partir de los 63 km/h. A medida que la velocidad aumenta, el equilibrio dinámico se vuelve positivo, alcanzando valores altos alrededor de los 73 km/h, lo que sugiere que el vehículo puede volcar a esas velocidades.-

El tramo Tarija-El Puente tiene un rango de velocidad más seguro entre 53 y 63 km/h, donde el vehículo está más cerca de la estabilidad en términos de equilibrio dinámico.

A velocidades menores, hay mayor riesgo de deslizamiento, mientras que a velocidades mayores, principalmente por encima de los 63 km/h, el riesgo de vuelco es alto.

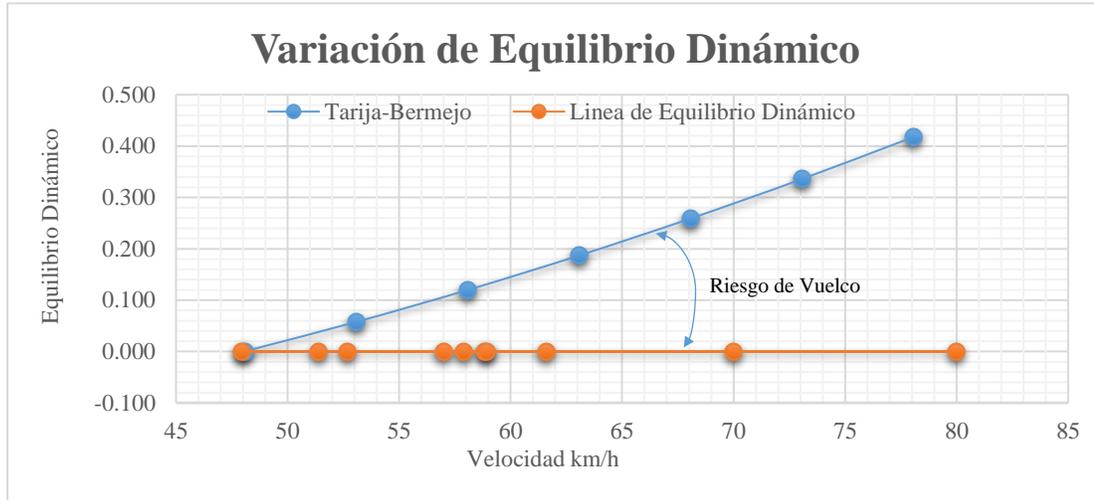


**Riesgo de deslizamiento:** En la región de velocidades entre 33 km/h y 48 km/h, la línea azul está por debajo de la línea de equilibrio dinámico (naranja), con valores negativos. Esto indica un riesgo de deslizamiento a estas velocidades, ya que el equilibrio dinámico está comprometido.

**Riesgo de vuelco:** A partir de 58 km/h, la línea azul se eleva por encima de la línea de equilibrio, alcanzando valores positivos, lo que representa un riesgo de vuelco. Este riesgo aumenta a medida que la velocidad incrementa hacia los 68 km/h. A estas velocidades, el vehículo está en mayor peligro de inestabilidad dinámica y vuelco.

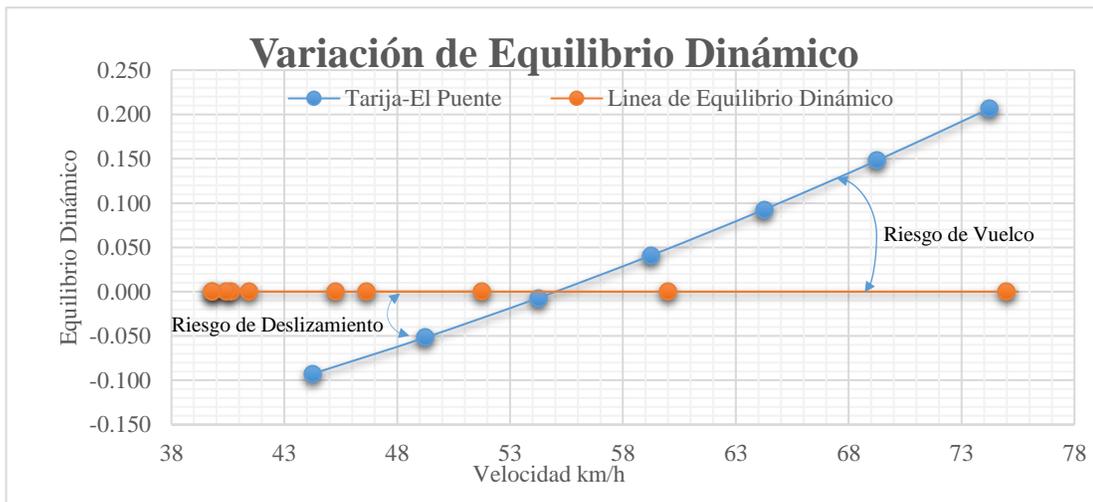
Entre 48 km/h y 58 km/h, la línea azul está más cercana a la línea de equilibrio, aunque aun ligeramente por debajo de 0. Este es un rango en el que el riesgo es relativamente bajo y la estabilidad es aceptable. Sin embargo, sigue habiendo un pequeño margen de posible deslizamiento.

## -Análisis del punto 4 tramo Tarija-Bermejo, Tarija-Entre Ríos y Tarija-El Puente



Riesgo de Vuelco: A partir de una velocidad cercana a los 70 km/h, el gráfico marca un "riesgo de vuelco". Esto ocurre cuando la curva azul (Tarija-Bermejo) supera la línea de equilibrio dinámico, lo que indica un riesgo creciente para la estabilidad del vehículo.

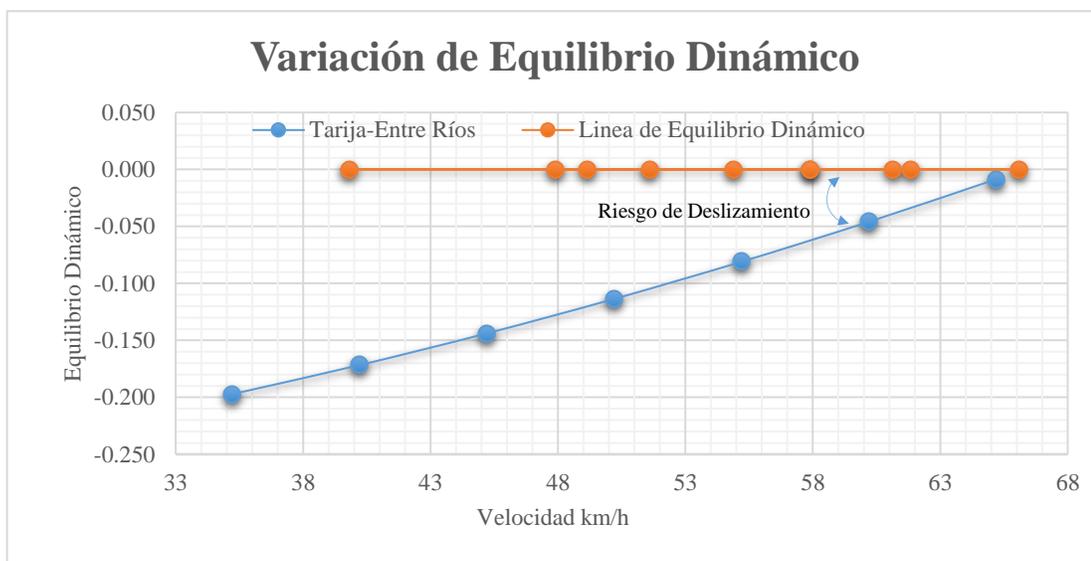
Conforme aumenta la velocidad en la ruta Tarija-Bermejo, el equilibrio dinámico se incrementa significativamente, sobrepasando el umbral de seguridad alrededor de los 62 km/h, lo que sugiere un alto riesgo de vuelco a partir de este punto.



Riesgo de Deslizamiento: A velocidades bajas, alrededor de los 45 km/h, la línea azul está por debajo de la línea de equilibrio dinámico, lo que señala un riesgo de deslizamiento.

Riesgo de Vuelco: A partir de los 68 km/h, el equilibrio dinámico (línea azul) supera nuevamente la línea de equilibrio, lo que indica un riesgo de vuelco a mayores velocidades.

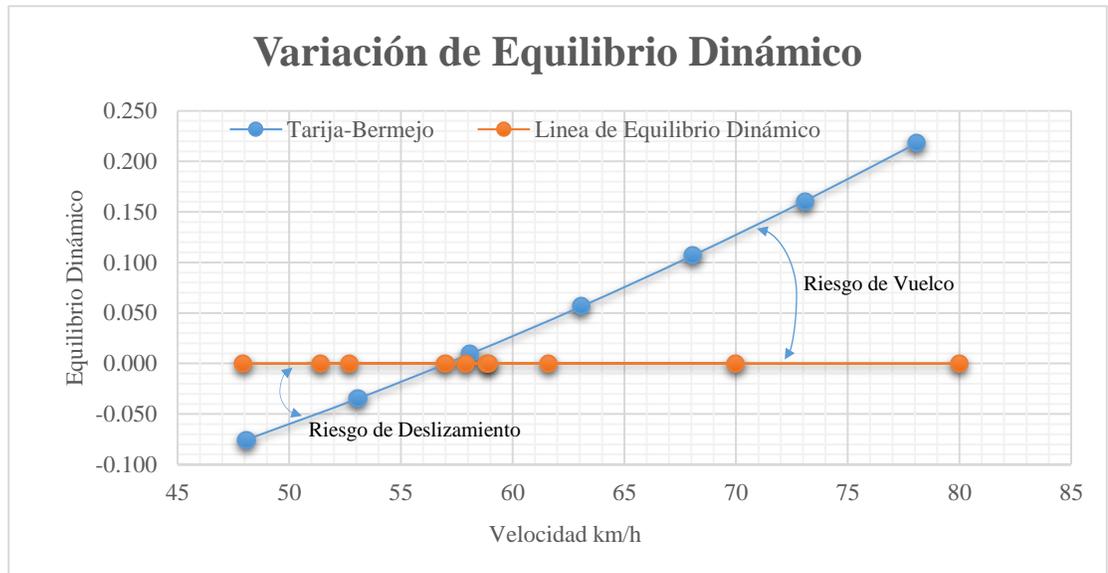
En la ruta Tarija-El Puente, existe un riesgo de deslizamiento a bajas velocidades, mientras que a partir de los 68 km/h el riesgo de vuelco se vuelve significativo, lo que resalta la necesidad de mantener velocidades seguras para evitar accidentes.



Riesgo de Deslizamiento: A velocidades alrededor de los 58 km/h, la curva azul sigue por debajo de la línea de equilibrio, indicando un riesgo considerable de deslizamiento, ya que el equilibrio dinámico nunca llega a un punto de seguridad.

En la ruta Tarija-Entre Ríos, el riesgo de deslizamiento es persistente a lo largo de todas las velocidades representadas, lo que sugiere que se debe conducir con mucha precaución, ya que la estabilidad no mejora con el aumento de la velocidad.

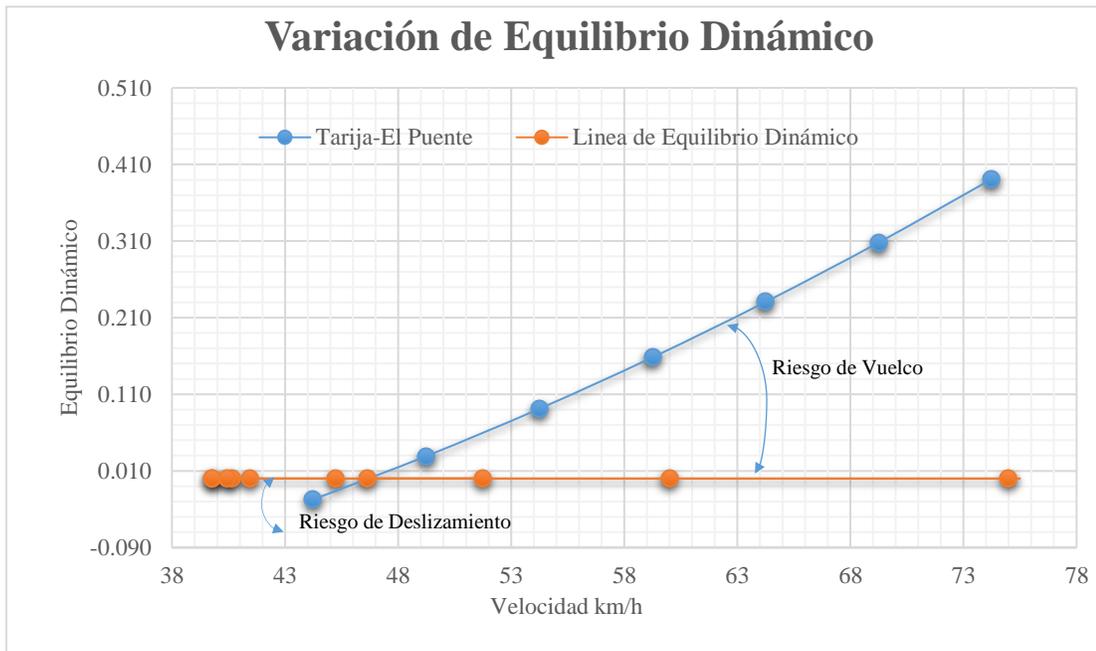
## -Análisis del punto 5 tramo Tarija-Bermejo, Tarija-Entre Ríos y Tarija-El Puente



Riesgo de Deslizamiento (Velocidad=50 km/h): A bajas velocidades (cerca de 50 km/h), el equilibrio dinámico está por debajo del valor de referencia esto indica que el vehículo podría estar en riesgo de deslizamiento.

Riesgo de Vuelco (Velocidad >70 km/h): A velocidades superiores a 70 km/h, el equilibrio dinámico está por encima del valor de referencia, lo que sugiere un mayor riesgo de vuelco debido a que la fuerza centrífuga comienza a dominar, aumentando la posibilidad de perder el control.

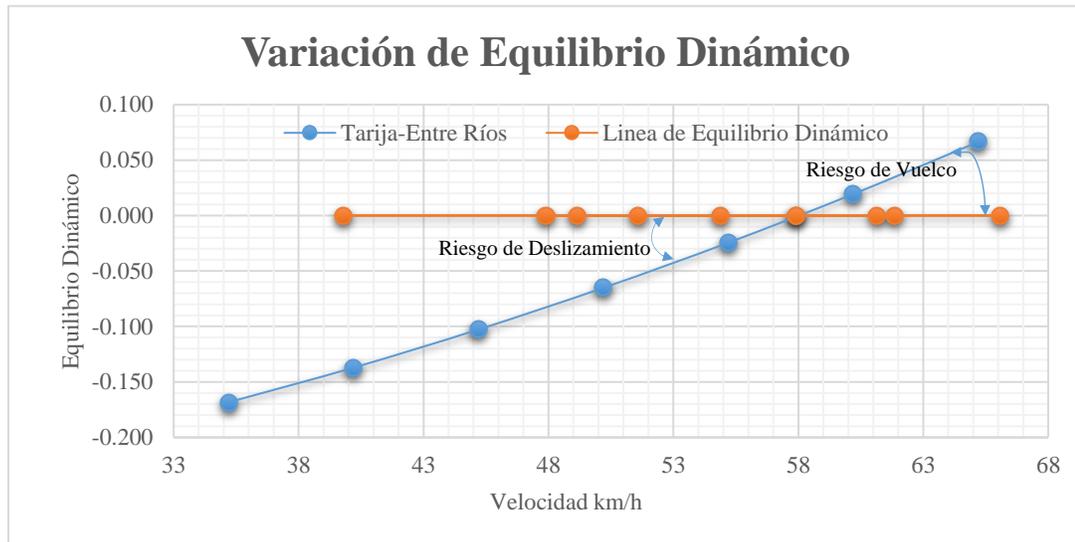
La gráfica advierte que existen velocidades seguras (cercas a 60 km/h) en las que el equilibrio dinámico se aproxima a 0, lo que se interpretaría como la zona de mayor estabilidad del vehículo en ese tramo.



Riesgo de Deslizamiento (Velocidad = 43 km/h): En esta zona, el equilibrio dinámico se encuentra por debajo de la línea de referencia. Esto indica un riesgo de deslizamiento a bajas velocidades, lo que sugiere que la tracción del vehículo podría no ser suficiente para mantener la estabilidad.

Riesgo de Vuelco (Velocidad > 63 km/h): A partir de los 63 km/h, la línea azul supera la línea de referencia, lo que indica un riesgo creciente de vuelco. El incremento en el equilibrio dinámico sugiere que, a estas velocidades, el vehículo está más propenso a perder estabilidad debido al aumento de la fuerza centrífuga.

En comparación con el tramo Tarija-Bermejo, el riesgo de deslizamiento ocurre a una velocidad ligeramente menor (43 km/h frente a 50 km/h), y el riesgo de vuelco comienza a manifestarse a una velocidad también algo inferior (63 km/h frente a 70 km/h).



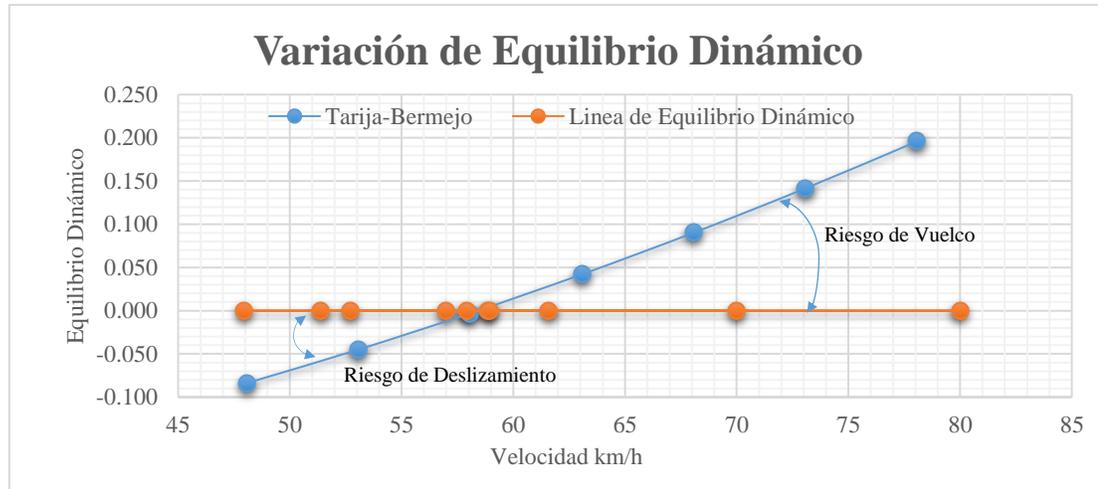
Riesgo de Deslizamiento 38 a 50 km/h: A velocidades entre 38 km/h y 50 km/h, el equilibrio dinámico es negativo, lo que indica un riesgo de deslizamiento. Esto significa que en este rango de velocidad, el vehículo tiene una tendencia a perder tracción, lo que podría dificultar su estabilidad.

Riesgo de Vuelco Velocidad > 58 km/h: A partir de los 58 km/h, el equilibrio dinámico cruza la línea de referencia y se vuelve positivo, lo que sugiere un riesgo de vuelco a partir de esa velocidad. Como en los otros tramos, el incremento en el equilibrio dinámico indica que la fuerza centrífuga podría aumentar el riesgo de perder la estabilidad del vehículo.

En el tramo Tarija-Entre Ríos, el riesgo de deslizamiento aparece en un rango de velocidades más bajo que en los tramos anteriores.

El riesgo de vuelco comienza alrededor de los 58 km/h, lo que lo convierte en el tramo con el umbral de riesgo de vuelco más bajo en comparación con Tarija-Bermejo y Tarija-El Puente.

**-Análisis del punto 6 tramo Tarija-Bermejo, Tarija-Entre Ríos y Tarija-El Puente**



Riesgo de deslizamiento (50 km/h):

En este punto, el equilibrio dinámico tiene un valor negativo (-0.100), lo que indica que el vehículo está en un estado donde puede experimentar deslizamiento. Esto sugiere que a bajas velocidades, existe un mayor riesgo de deslizamiento en la carretera.

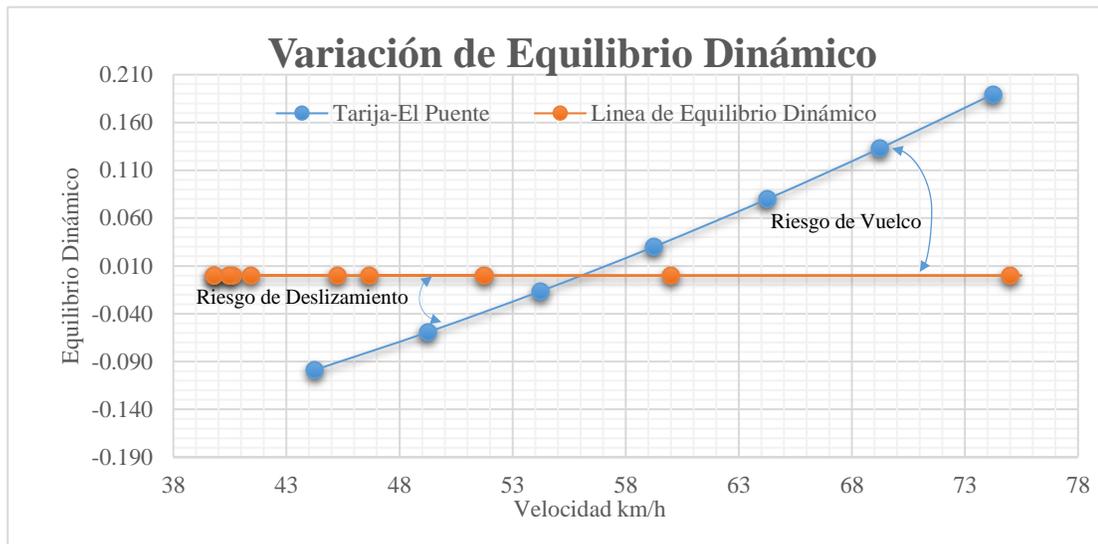
Riesgo de vuelco (70-80 km/h):

A partir de los 70 km/h, la curva azul comienza a tomar valores positivos significativos (+0.200), indicando un mayor riesgo de vuelco debido a la inestabilidad dinámica en altas velocidades. El riesgo de vuelco crece a medida que la velocidad aumenta.

A bajas velocidades (45-55 km/h), el tramo presenta mayor riesgo de deslizamiento, ya que el equilibrio dinámico es negativo.

A altas velocidades (70-80 km/h), el tramo presenta un riesgo de vuelco considerable, debido al incremento en los valores positivos del equilibrio dinámico.

Para minimizar ambos riesgos, la velocidad óptima debería acercarse al punto donde el equilibrio dinámico se mantenga lo más cercano a cero, es decir, entre 65 y 70 km/h, donde los valores son más controlados y cercanos al equilibrio ideal.



Riesgo de deslizamiento (38-53 km/h):

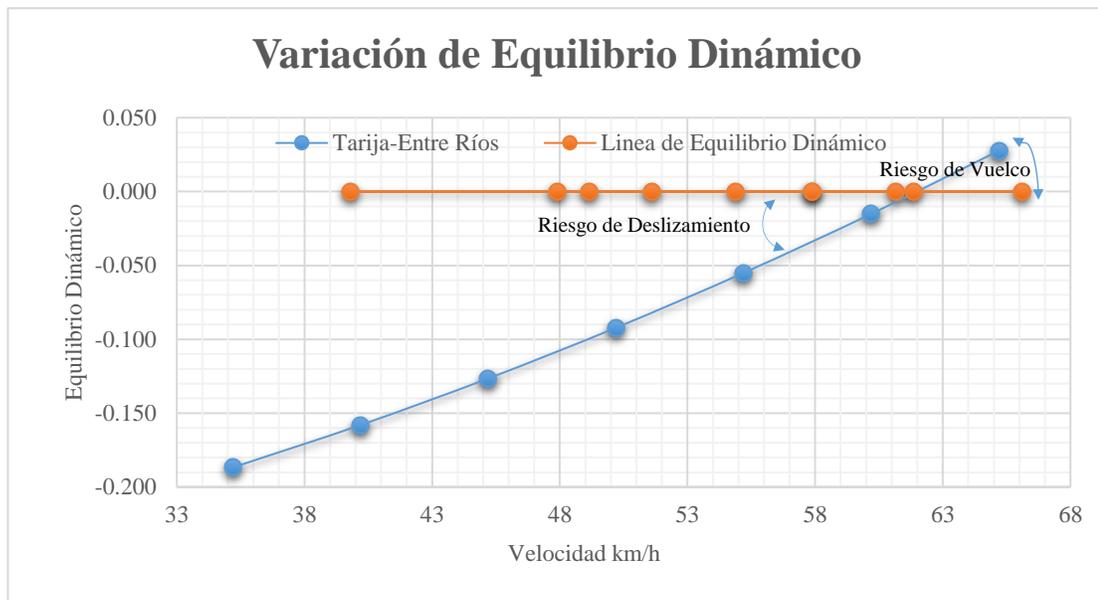
Entre estas velocidades, el equilibrio dinámico tiene valores negativos, especialmente a 43 km/h, donde llega a aproximadamente -0.170. Esto indica un alto riesgo de deslizamiento en velocidades bajas, lo cual podría estar relacionado con la curvatura de la carretera o las características de la superficie en este tramo.

Riesgo de vuelco (63-73 km/h):

A partir de los 63 km/h, los valores del equilibrio dinámico cruzan al terreno positivo. A 73 km/h, el valor es de aproximadamente 0.180, lo que sugiere un riesgo significativo de vuelco. Este aumento indica que la estabilidad del vehículo se reduce drásticamente a velocidades más altas.

A velocidades más altas (63-73 km/h), existe un riesgo creciente de vuelco, similar al comportamiento visto en el gráfico del tramo Tarija-Bermejo. Los conductores deberían reducir la velocidad para evitar situaciones peligrosas en este rango.

El equilibrio ideal se encuentra en un punto intermedio entre 53-63 km/h, donde los valores del equilibrio dinámico son relativamente más cercanos a 0.



#### Riesgo de deslizamiento (33-58 km/h):

Desde 33 km/h hasta aproximadamente 58 km/h, el equilibrio dinámico es negativo, alcanzando un valor de -0.190 en las velocidades más bajas (33 km/h). Esto indica un riesgo significativo de deslizamiento a velocidades más bajas en este tramo.

Este riesgo va disminuyendo a medida que la velocidad aumenta, acercándose al equilibrio en torno a los 58 km/h.

#### Riesgo de vuelco (58-68 km/h):

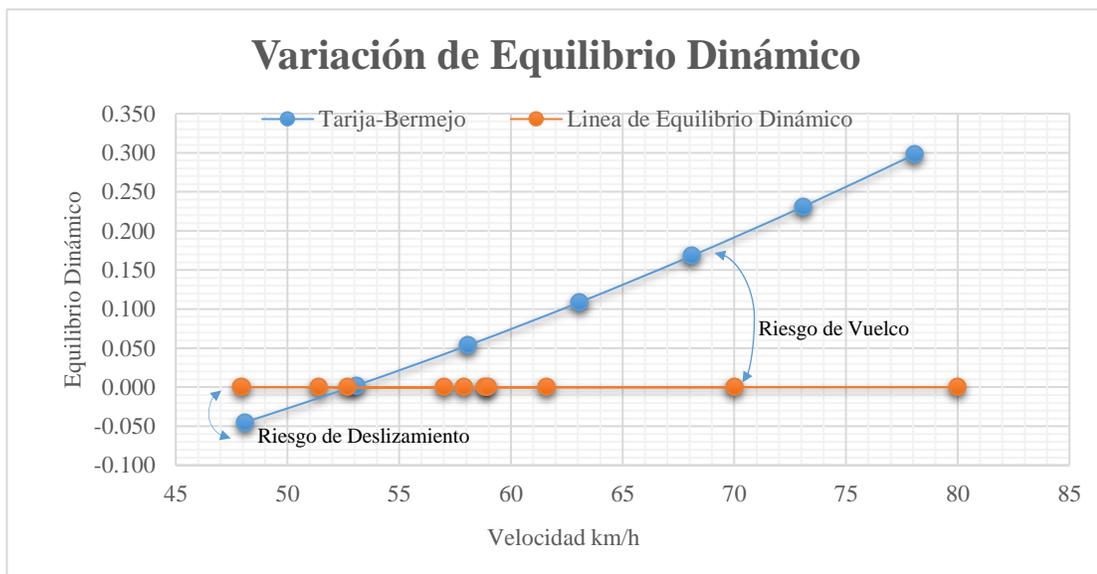
A partir de 58 km/h, los valores del equilibrio dinámico se tornan positivos, lo que sugiere un riesgo de vuelco creciente. A 68 km/h, el equilibrio dinámico es apenas positivo, aproximadamente 0.040, indicando un riesgo de vuelco leve en esta velocidad.

A bajas velocidades (33-48 km/h), el tramo tiene un alto riesgo de deslizamiento, especialmente en curvas o zonas con baja adherencia. Esto es más pronunciado que en los tramos anteriores.

A velocidades cercanas a 58-68 km/h, el riesgo de deslizamiento disminuye y se empieza a manifestar un riesgo leve de vuelco, aunque en menor medida que en los tramos anteriores.

La velocidad óptima para el equilibrio dinámico en este tramo parece estar alrededor de 58 km/h, donde el equilibrio se encuentra más cercano al valor ideal de 0.

### -Análisis del punto 7 tramo Tarija-Bermejo, Tarija-Entre Ríos y Tarija-El Puente



#### Riesgo de Vuelco:

Al alcanzar velocidades superiores a los 70 km/h, la curva azul sobrepasa la línea de equilibrio, lo que sugiere un riesgo creciente de vuelco. Esto puede interpretarse como una situación peligrosa a medida que la velocidad sigue aumentando, ya que el equilibrio dinámico del vehículo está comprometido.

#### Riesgo de Deslizamiento:

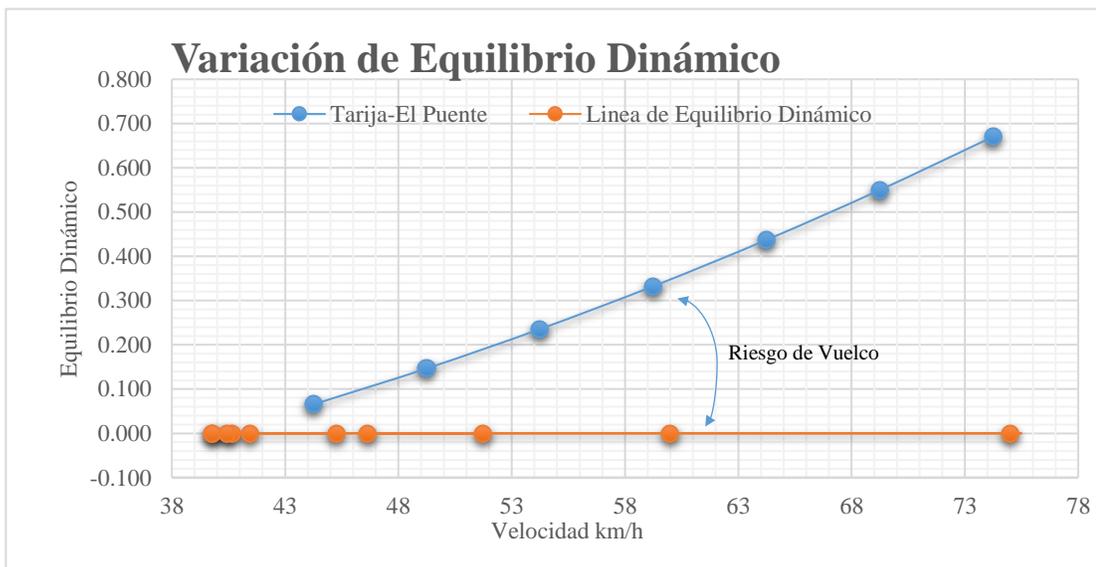
Entre los 45 km/h y los 50 km/h, el equilibrio dinámico es negativo, lo que indica un riesgo de deslizamiento. A velocidades más bajas, la capacidad del vehículo para mantenerse estable es menor, probablemente debido a condiciones desfavorables en la carretera, tales como la superficie o la inclinación.

#### Zona de Estabilidad:

A partir de los 50 km/h hasta los 65 km/h, la línea azul se mantiene cercana a la línea de equilibrio dinámico (naranja), lo que indica una zona de relativa estabilidad. En esta región, el riesgo de deslizamiento disminuye, y no parece haber riesgo de vuelco.

A velocidades bajas (menores a 50 km/h), el mayor riesgo es el deslizamiento, mientras que a velocidades más altas (por encima de los 70 km/h), el riesgo de vuelco se convierte en una preocupación predominante.

Existe un intervalo óptimo de velocidad entre los 50 km/h y los 65 km/h donde el equilibrio dinámico es más estable y los riesgos se minimizan.



#### Estabilidad en Velocidades Bajas:

A velocidades de entre 38 km/h y 48 km/h, la línea azul está ligeramente por encima de la línea de equilibrio, lo que indica una zona de estabilidad relativa en este intervalo de velocidad. En esta sección, no hay indicios claros de riesgos de deslizamiento ni vuelco.

#### Zona de Riesgo de Vuelco:

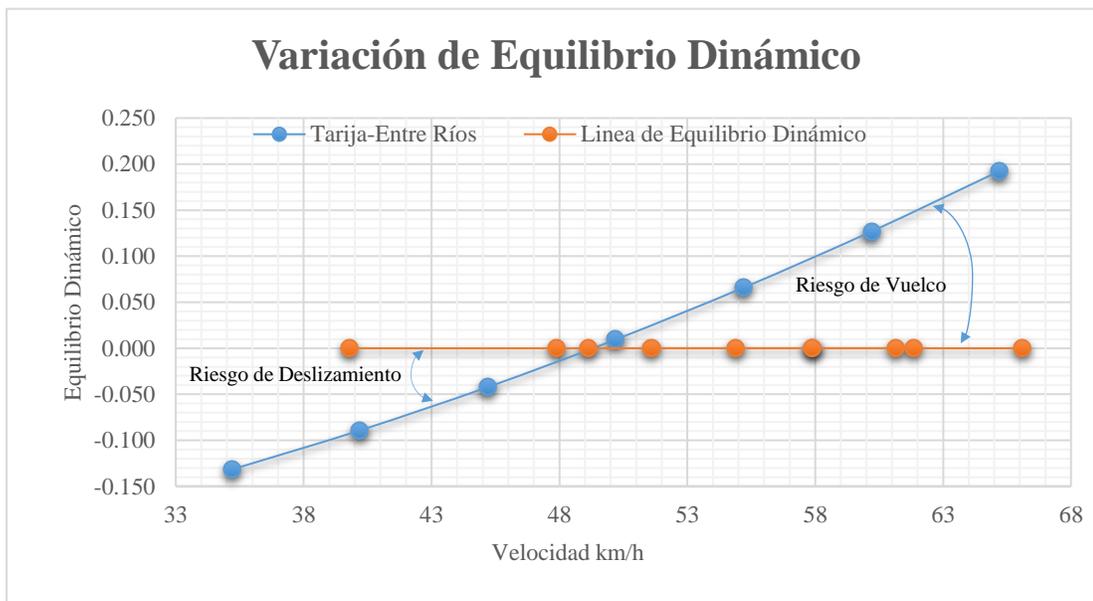
A partir de los 58 km/h, se empieza a observar un alejamiento más significativo de la línea azul respecto a la línea de equilibrio dinámico (naranja). La gráfica indica el riesgo de

vuelco alrededor de los 63 km/h y aumenta significativamente conforme la velocidad continúa incrementándose.

Al llegar a los 73 km/h, el equilibrio dinámico se vuelve considerablemente más elevado, lo que sugiere un alto riesgo de vuelco.

En velocidades bajas y moderadas (por debajo de 58 km/h), el vehículo se mantiene en una zona de estabilidad sin riesgo aparente de vuelco o deslizamiento.

A partir de 58 km/h, el riesgo de vuelco se vuelve predominante y aumenta exponencialmente con la velocidad.



**Riesgo de Deslizamiento:**

A velocidades entre 33 km/h y 43 km/h, la curva azul se encuentra por debajo de la línea de equilibrio, indicando un riesgo de deslizamiento. En esta fase, el vehículo no logra mantener un equilibrio adecuado, lo que podría causar una pérdida de tracción y deslizamiento.

### Zona de Estabilidad:

Desde los 43 km/h hasta aproximadamente 53 km/h, la línea azul se alinea con la línea naranja o permanece muy cerca de ella, sugiriendo una zona de relativa estabilidad en esta velocidad. En este intervalo, los riesgos de deslizamiento y vuelco parecen mínimos.

### Riesgo de Vuelco:

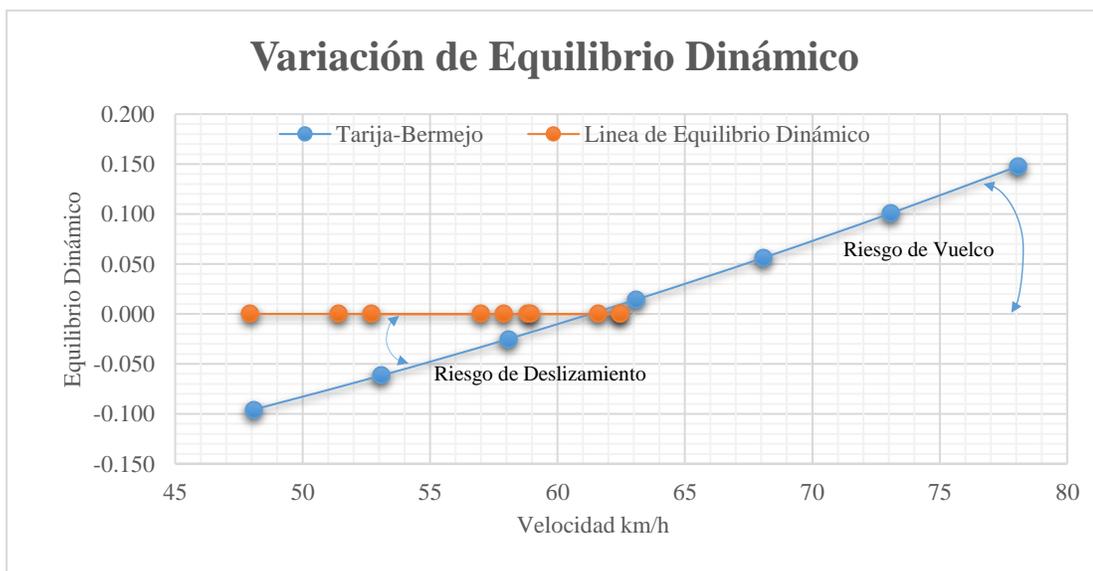
A partir de 58 km/h, la curva azul se desvía hacia arriba, indicando un incremento en el riesgo de vuelco. Este riesgo continúa creciendo a medida que la velocidad aumenta, alcanzando un punto crítico alrededor de los 63 km/h y más allá.

Velocidades menores a 43 km/h: Alto riesgo de deslizamiento, debido a la falta de equilibrio dinámico.

Entre 43 km/h y 53 km/h: Zona más estable, donde el equilibrio dinámico se mantiene cercano a la línea de equilibrio.

Velocidades superiores a 58 km/h: Creciente riesgo de vuelco, con el equilibrio dinámico alejándose rápidamente de la línea de referencia.

### -Análisis del punto 8 tramo Tarija-Bermejo, Tarija-Entre Ríos y Tarija-El Puente



Riesgo de deslizamiento: Entre los 50 y 55 km/h, el vehículo está en riesgo de perder adherencia, ya que los valores de equilibrio dinámico son negativos.

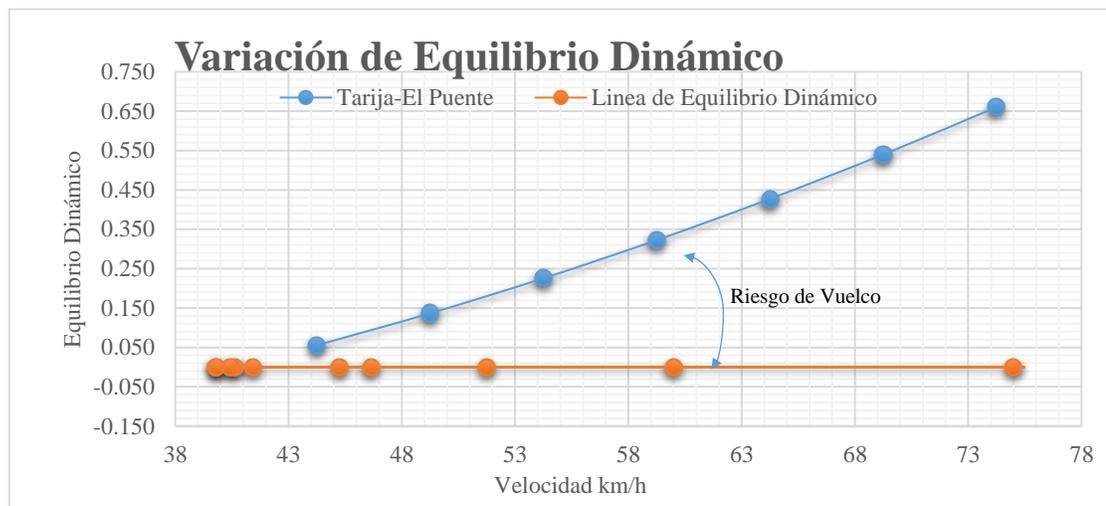
Riesgo de vuelco: A partir de 75 km/h, el riesgo de vuelco parece incrementarse de manera considerable, como se refleja en el comportamiento de la curva azul que aumenta bruscamente.

A velocidades menores de 55 km/h, los puntos azules de la carretera Tarija-Bermejo están cercanos o por debajo de la línea de equilibrio dinámico. Esto implica que en esas velocidades el riesgo principal es el deslizamiento, como lo indica el texto en la gráfica.

A medida que la velocidad aumenta, entre 60 y 70 km/h, los puntos azules se elevan más allá de la línea de equilibrio, lo que sugiere que el vehículo entra en un rango de mayor inestabilidad.

A velocidades cercanas a los 75 km/h o superiores, se marca un riesgo de vuelco, como lo indica el texto en la gráfica y el incremento en el valor del equilibrio dinámico.

La carretera Tarija-Bermejo presenta riesgos significativos tanto de deslizamiento a velocidades moderadas como de vuelco a velocidades más altas. Por lo tanto, mantener una velocidad de aproximadamente 55-60 km/h podría representar el equilibrio óptimo entre seguridad y estabilidad en esta vía. Las velocidades por encima de 70 km/h aumentan considerablemente el riesgo de accidentes.



Estabilidad inicial (38-48 km/h): En esta zona de velocidad, el equilibrio dinámico es casi nulo, lo que indica que el vehículo mantiene una buena estabilidad en esta vía a velocidades bajas.

Riesgo de vuelco (63 km/h en adelante): El gráfico muestra un aumento continuo en el desequilibrio dinámico a partir de 63 km/h, con una clara advertencia de un riesgo de vuelco. Esto sugiere que velocidades superiores a este umbral generan una alta probabilidad de que el vehículo pierda la estabilidad y se vuelque.

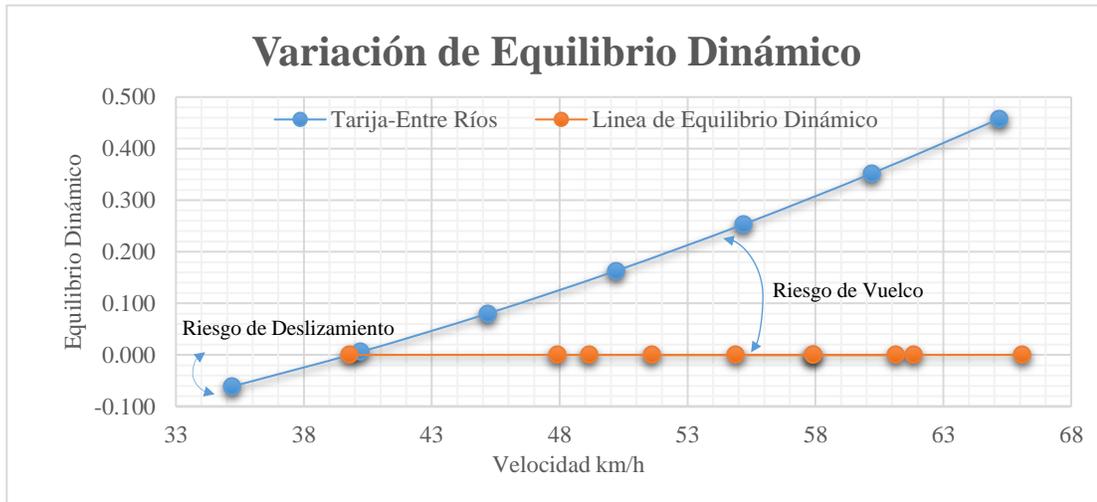
A velocidades bajas, entre 38 y 48 km/h, los puntos azules están cercanos a la línea de equilibrio dinámico (naranja), lo que sugiere un equilibrio razonable y poca inestabilidad.

A partir de los 53 km/h, los puntos de equilibrio dinámico comienzan a elevarse, alejándose progresivamente de la línea de equilibrio. Esto indica un aumento en el riesgo de desestabilización.

Al acercarse a los 63 km/h, aparece un texto indicando Riesgo de Vuelco. Este riesgo aumenta considerablemente con la velocidad, lo que se refleja en el incremento brusco de la curva azul.

A velocidades superiores a 73 km/h, el equilibrio dinámico alcanza valores significativamente altos, lo que sugiere que el vehículo podría ser muy propenso al vuelco.

En la carretera Tarija-El Puente, mantener velocidades entre 40 y 50 km/h proporciona una estabilidad óptima. Sin embargo, velocidades superiores a 63 km/h incrementan de manera crítica el riesgo de vuelco, y se recomienda evitarlas para mantener la seguridad en esta vía. Los valores altos de equilibrio dinámico a velocidades superiores a 70 km/h confirman una alta probabilidad de accidentes por inestabilidad.



A velocidades entre 33 y 43 km/h, los puntos azules están por debajo de la línea de equilibrio dinámico, lo que sugiere un riesgo de deslizamiento. Este riesgo es más elevado cuanto más bajo es el valor de equilibrio dinámico (en este caso, negativo).

A partir de los 48 km/h, los puntos de la carretera empiezan a ascender, acercándose a la línea de equilibrio y luego superándola.

Al llegar a 53 km/h, el gráfico muestra un riesgo de vuelco, marcado con un texto y una flecha. Este riesgo se incrementa rápidamente conforme la velocidad aumenta, como se puede observar en el incremento significativo de la curva azul.

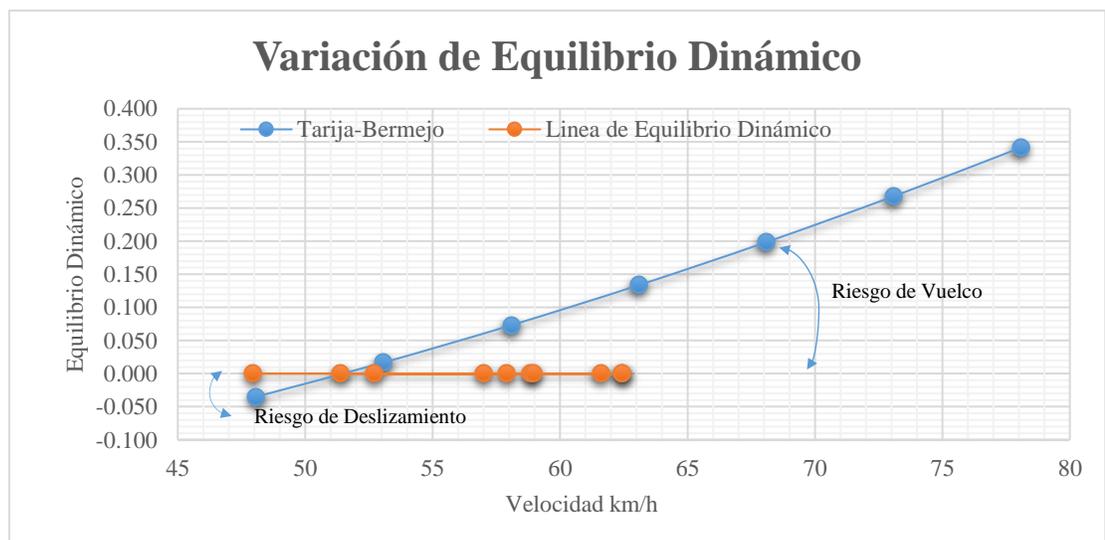
A velocidades superiores a los 58 km/h, la curva sigue elevándose de forma abrupta, lo que indica que la estabilidad del vehículo se ve comprometida y el riesgo de vuelco es considerablemente mayor.

Riesgo de deslizamiento (33-43 km/h): Los valores negativos de equilibrio dinámico en este rango indican un riesgo de pérdida de adherencia, haciendo que el vehículo sea propenso a deslizarse.

Riesgo de vuelco (53 km/h en adelante): A partir de esta velocidad, el riesgo de vuelco comienza a ser significativo. El rápido aumento del equilibrio dinámico sugiere que el vehículo pierde estabilidad con mayor facilidad a velocidades superiores, especialmente a más de 58 km/h.

En la carretera Tarija-Entre Ríos, conducir a velocidades moderadas, entre 45 y 50 km/h, proporciona la mayor estabilidad. A velocidades menores a 43 km/h, el riesgo de deslizamiento aumenta, mientras que a velocidades superiores a 53 km/h, el riesgo de vuelco crece significativamente, comprometiendo la seguridad del vehículo. Se recomienda no exceder los 58 km/h en esta vía debido a la alta probabilidad de pérdida de estabilidad y vuelco.

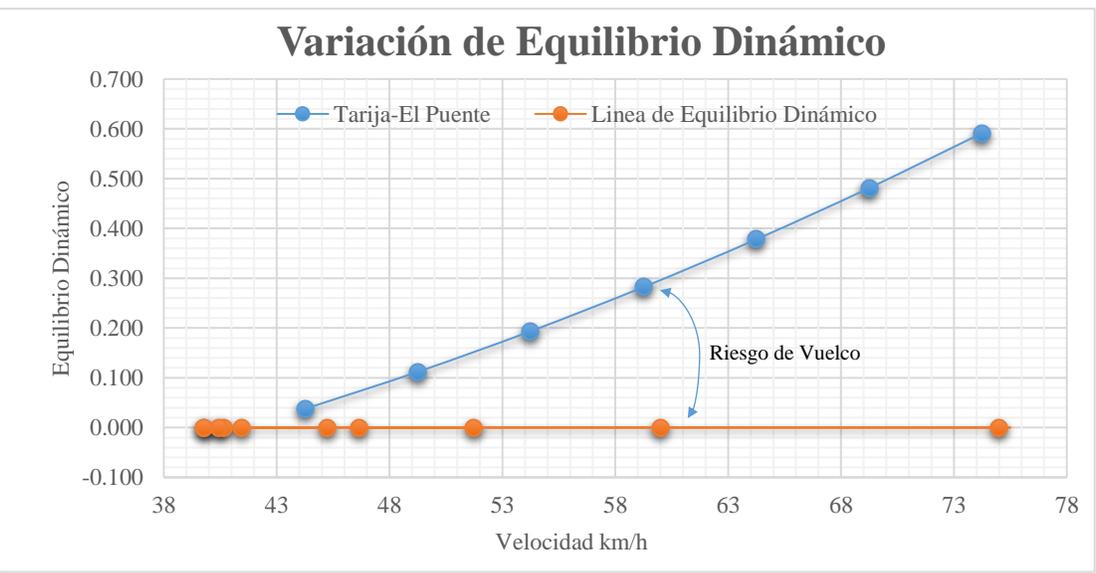
#### -Análisis del punto 9 tramo Tarija-Bermejo, Tarija-Entre Ríos y Tarija-El Puente



Riesgo de Deslizamiento: Se presenta cuando el equilibrio dinámico es negativo, es decir, a velocidades cercanas a los 50 km/h. Esto sugiere que en este rango de velocidades hay una falta de estabilidad que podría llevar a un deslizamiento del vehículo.

Riesgo de Vuelco: Se presenta cuando el equilibrio dinámico es positivo y creciente, en este caso a velocidades cercanas a los 70 km/h. A pesar de que el equilibrio mejora, el vehículo podría estar en riesgo de volcar debido a la alta velocidad.

El análisis muestra que a velocidades menores, el principal riesgo es el deslizamiento debido a una menor estabilidad. A velocidades mayores, aunque la estabilidad parece mejorar, se incrementa el riesgo de vuelco. La "Línea de Equilibrio Dinámico" proporciona un punto de referencia constante contra el cual se puede comparar la estabilidad del vehículo en el rango de velocidades.



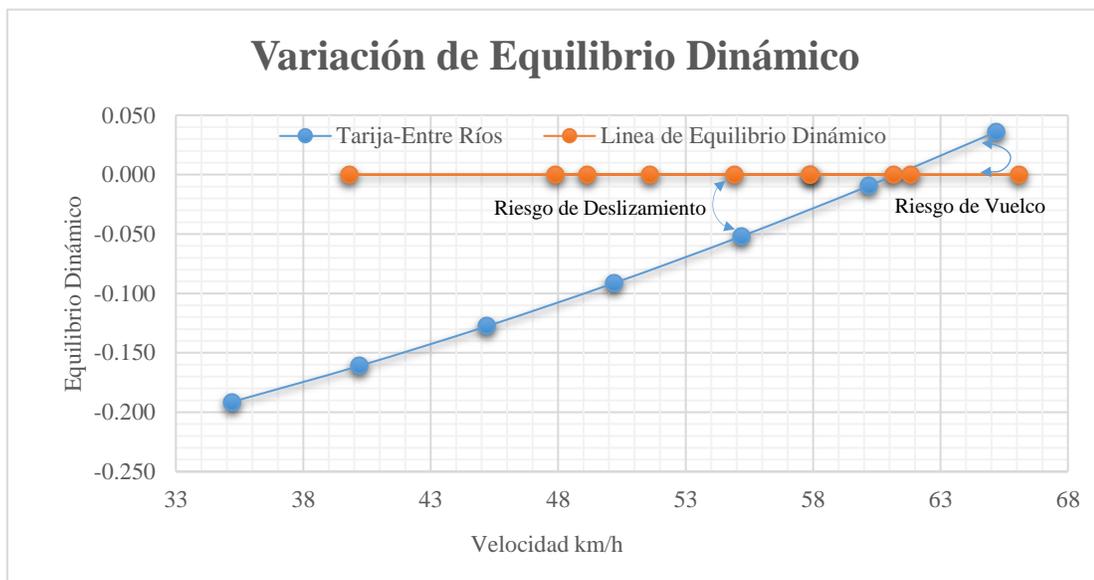
Estabilidad inicial: A velocidades más bajas (por debajo de 50 km/h), el equilibrio dinámico se encuentra cercano al valor de referencia (línea naranja), lo que indica una estabilidad aceptable sin riesgo de deslizamiento significativo.

Riesgo de Vuelco: A velocidades superiores a 60 km/h, la curva azul se eleva notablemente por encima de la línea de referencia, lo que sugiere que, aunque el equilibrio es mayor, se incrementa el riesgo de vuelco en el vehículo a estas velocidades.

A diferencia del gráfico de Tarija-Bermejo, donde el riesgo de deslizamiento era más evidente en velocidades más bajas, aquí no parece haber una indicación clara de

deslizamiento. En cambio, el foco está en el riesgo de vuelco, que se presenta a partir de los 63 km/h.

El análisis sugiere que la ruta Tarija-El Puente es relativamente estable a velocidades bajas y medias. Sin embargo, a partir de los 60 km/h, el riesgo de vuelco aumenta significativamente, lo que requiere precaución en esas velocidades. Esto podría estar relacionado con la geometría del camino, condiciones del pavimento o características del vehículo.

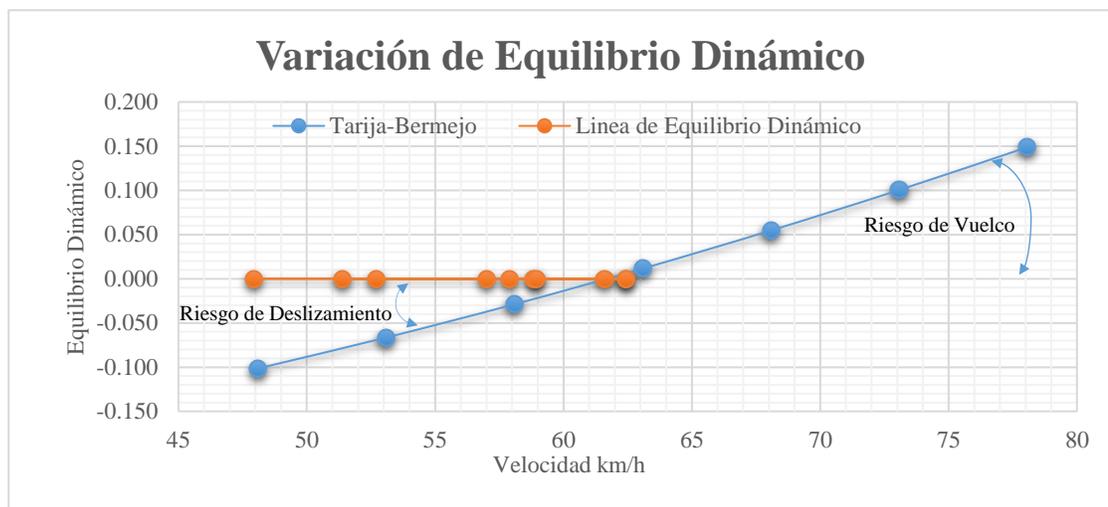


**Riesgo de Deslizamiento:** A velocidades bajas y moderadas (entre 33 km/h y 48 km/h), el equilibrio dinámico es negativo, lo que sugiere una inestabilidad importante y un riesgo de deslizamiento. Esto indica que el vehículo tiene dificultades para mantener la estabilidad en este rango de velocidades, posiblemente debido a las características del camino o del vehículo.

**Riesgo de Vuelco:** A velocidades más altas (alrededor de 63 km/h), el equilibrio dinámico empieza a ser positivo, lo que puede implicar una mayor estabilidad pero, como en los gráficos anteriores, también un riesgo de vuelco a medida que el vehículo alcanza una velocidad considerable.

La ruta Tarija-Entre Ríos presenta un mayor riesgo de deslizamiento a velocidades bajas y medias, lo que sugiere una ruta más inestable en esas condiciones. Sin embargo, a velocidades altas, aunque se reduce el riesgo de deslizamiento, aparece el riesgo de vuelco, lo que requiere precaución en ambos extremos del espectro de velocidades. Esta información es crucial para tomar decisiones sobre las velocidades seguras en esta ruta específica.

**-Análisis del punto 10 tramo Tarija-Bermejo, Tarija-Entre Ríos y Tarija-El Puente**



Riesgo de Deslizamiento (aproximadamente entre 50 y 55 km/h):

En esta zona, el equilibrio dinámico está por debajo del valor de equilibrio, indicando que el vehículo puede estar en un estado inestable o con tendencia a deslizarse.

Se interpreta que entre 50 y 55 km/h hay un riesgo de deslizamiento, donde el vehículo pierde adherencia.

Riesgo de Vuelco (entre 75 y 80 km/h):

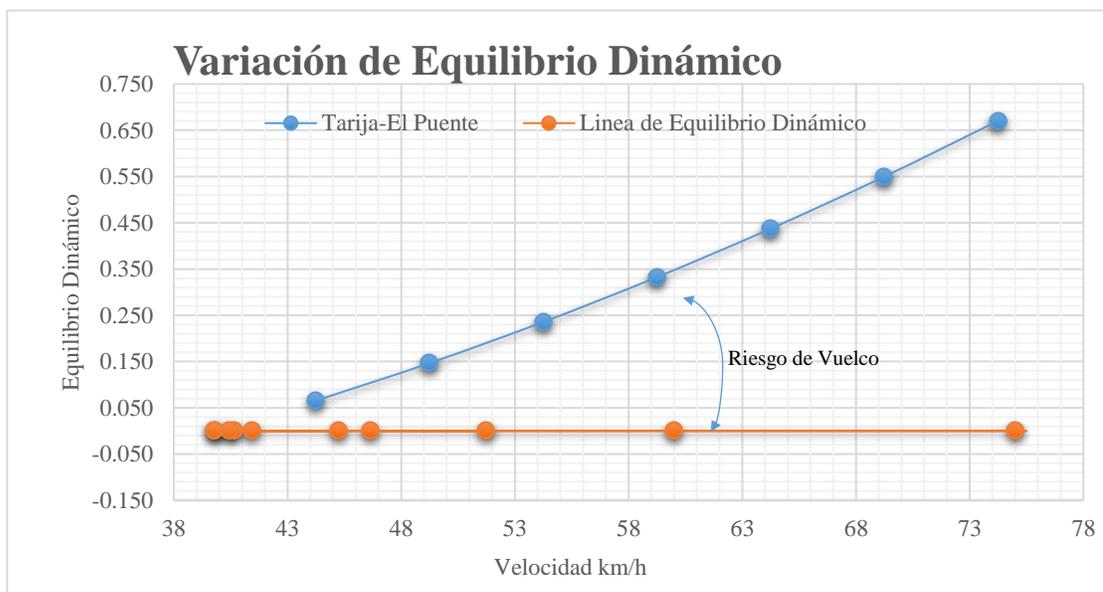
A altas velocidades (cercasas a 75-80 km/h), el equilibrio dinámico aumenta significativamente, superando el valor de referencia de 0.

Este comportamiento sugiere que en este rango existe un riesgo de vuelco, indicando que el vehículo podría perder estabilidad.

Entre los 50 y 55 km/h, hay un mayor riesgo de deslizamiento, por lo que es crucial manejar con precaución en este rango.

A velocidades mayores a 75 km/h, el riesgo de vuelco aumenta considerablemente, lo que sugiere que no es seguro superar este límite de velocidad en ese tramo.

La velocidad ideal, observando la línea de equilibrio, se encuentra entre 60 y 70 km/h, donde el equilibrio dinámico se mantiene cercano a 0, y el vehículo parece tener un comportamiento más estable.



Riesgo de Vuelco (aproximadamente desde 63 km/h en adelante):

El gráfico no presenta indicios de riesgo de deslizamiento como el anterior, ya que no se ve una caída por debajo de 0 en el equilibrio dinámico.

Sin embargo, a partir de aproximadamente 63 km/h el equilibrio dinámico se incrementa progresivamente, superando 0 con valores que siguen aumentando hasta 0.7 cuando la velocidad alcanza 73 km/h.

Esto indica un riesgo de vuelco en este tramo cuando la velocidad es alta, lo que podría llevar a que el vehículo pierda estabilidad de manera peligrosa.

Comportamiento entre 38 y 58 km/h:

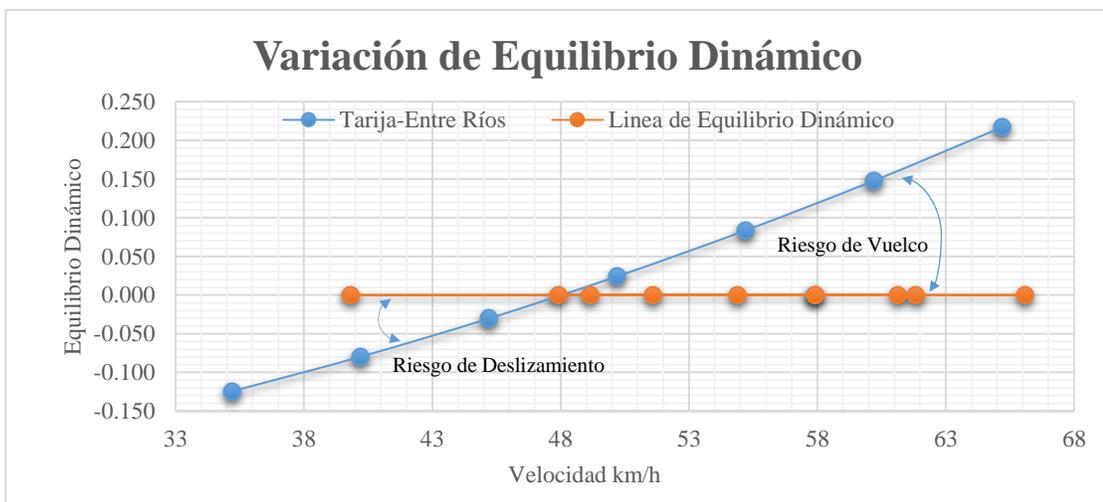
En este rango de velocidad, el equilibrio dinámico se mantiene en valores positivos bajos, lo que sugiere que el vehículo tiene un comportamiento más estable y seguro en este tramo.

La diferencia respecto al equilibrio ideal (línea naranja) es pequeña, por lo que el riesgo de pérdida de estabilidad parece bajo.

Riesgo de vuelco: Comienza a manifestarse a partir de los 63 km/h, por lo que exceder esta velocidad en el tramo Tarija-El Puente puede ser peligroso.

Velocidad segura: Se puede considerar que el tramo es más seguro a velocidades entre 38 y 58 km/h, ya que el equilibrio dinámico está cercano al ideal.

No se observa riesgo de deslizamiento como en el gráfico anterior, pero el riesgo de vuelco es evidente a altas velocidades.



Riesgo de Deslizamiento (entre 33 y 45 km/h):

En este rango de velocidades, la línea azul (Tarija-Entre Ríos) se encuentra por debajo de la línea de equilibrio ideal (naranja), lo que indica una tendencia a la inestabilidad o riesgo de deslizamiento.

Los valores de equilibrio dinámico negativos en este tramo indican una pérdida de adherencia potencial, lo que sugiere que es peligroso conducir en este rango de velocidad.

Riesgo de Vuelco (entre 60 y 68 km/h):

A partir de los 60 km/h, el equilibrio dinámico supera la línea de 0, y aumenta significativamente hasta 0.2 en el rango superior.

Este comportamiento muestra un riesgo de vuelco cuando la velocidad excede los 60 km/h, ya que el vehículo podría perder estabilidad debido al aumento en el equilibrio dinámico.

Comportamiento entre 45 y 58 km/h:

En este rango, la línea azul se aproxima a la línea de equilibrio ideal, lo que indica un comportamiento más estable del vehículo, con un equilibrio dinámico que oscila cerca de 0.

Esto sugiere que el vehículo tiene una mayor estabilidad y menor riesgo de deslizamiento o vuelco en este rango de velocidad.

Conclusiones:

Existe un riesgo de deslizamiento a velocidades bajas, entre 33 y 45 km/h, debido a que el equilibrio dinámico es negativo en este rango.

A velocidades superiores a 60 km/h, el riesgo de vuelco es notablemente más alto, por lo que exceder esta velocidad puede ser peligroso.

La velocidad más segura para este tramo parece estar entre 45 y 58 km/h, donde el equilibrio dinámico se mantiene más cercano al ideal, proporcionando mayor estabilidad y control.

#### **4.6 Alternativas de solución al problema**

Dado que los parámetros físicos que afectan al equilibrio dinámico, tales como el peralte, el radio de curvatura y el sobreebanco, son inalterables en el contexto actual, se propondrán alternativas de solución al problema:

##### **Primera alternativa**

Una alternativa eficaz para mejorar la seguridad en curvas horizontales es la instalación de tachones reductores de velocidad. Estos dispositivos, fabricados generalmente de materiales resistentes como caucho o plástico de alta densidad, se colocan en el pavimento en secuencias estratégicas antes de ingresar a una curva. Su función es forzar a los conductores a reducir la velocidad de manera gradual, debido a la incomodidad que genera pasar sobre ellos a alta velocidad, lo que facilita una transición más segura al tomar la curva.

La disposición de los tachones puede variar en número y distancia entre ellos, dependiendo de factores como el ángulo de la curva, la velocidad promedio de los vehículos en esa vía, y las condiciones del pavimento. Esta solución es especialmente efectiva en situaciones donde la infraestructura vial no permite grandes modificaciones, como la ampliación del radio de la curva o la incorporación de peraltes. Además, al ser una intervención de bajo costo y rápida implementación, los tachones reductores de velocidad no solo mejoran la estabilidad y el control de los vehículos, sino que también alertan visual y físicamente al conductor sobre la necesidad de reducir la velocidad antes de enfrentar el tramo crítico de la curva, disminuyendo así el riesgo de accidentes.

**Tabla N° 94:** Alternativa de solución tachón de cacho reductor de velocidad

Tachón de caucho reductor de velocidad				
N°	Curva	Tramo	Radio	Descripción
1	Curva 1	Tarija-El Puente	75	Exceso de velocidad
2	Curva 4	Tarija-El Puente	110	Exceso de velocidad
3	Curva 8	Tarija-El Puente	50	Exceso de velocidad
4	Curva 9	Tarija-El Puente	55	Exceso de velocidad
5	Curva 10	Tarija-El Puente	50	Exceso de velocidad
6	Curva 4	Tarija-Bermejo	80	Exceso de velocidad
7	Curva 7	Tarija-Bermejo	100	Exceso de velocidad
8	Curva 9	Tarija-Bermejo	90	Exceso de velocidad
9	Curva 8	Tarija-Entre Ríos	50	Exceso de velocidad

**Fuente:** Elaboración propia.

### **Segunda alternativa**

Para mejorar la seguridad vial en las curvas horizontales, se recomienda implementar una serie de medidas señaléticas. En primer lugar, es fundamental la instalación de señales que indiquen claramente la velocidad de diseño de la vía desde el inicio del tramo. Estas señales deben estar ubicadas a una distancia adecuada antes de la curva, permitiendo a los conductores ajustar su velocidad de manera segura. Además, es necesario indicar la velocidad recomendada mediante señales adicionales, estratégicamente ubicadas en intervalos regulares y en puntos críticos como antes, dentro y después de las curvas. Las señales deben ser de materiales reflectantes y de alta visibilidad, asegurando su efectividad tanto de día como de noche y en condiciones de baja visibilidad. Adicionalmente, se sugiere la instalación de señales de advertencia para alertar a los conductores sobre curvas peligrosas y la necesidad de reducir aún más la velocidad.

Para complementar estas medidas, se propone la creación y distribución de trípticos educativos dirigidos a los conductores. Estos trípticos deben contener información clara y concisa sobre la importancia de respetar los límites de velocidad, con un enfoque especial en las curvas peligrosas. El contenido puede incluir explicaciones sobre la velocidad de diseño y los límites de velocidad recomendados, las consecuencias de no respetarlos, estadísticas locales sobre accidentes en curvas y consejos para una conducción segura. Además, se deben resaltar los beneficios de mantener una conducción segura, no solo para el conductor y sus pasajeros, sino también para otros usuarios de la vía. Estos trípticos pueden distribuirse en estaciones de servicio, oficinas de tránsito, centros de inspección vehicular y mediante campañas educativas en comunidades locales y escuelas

**Tabla N° 95:** Alternativa de solución señalización vertical

Señalización vertical				
N°	Curva	Tramo	Radio	Descripción
1	Curva 1	Tarija-Bermejo	125	Educación vial
2	Curva 2	Tarija-Bermejo	145	Educación vial
3	Curva 3	Tarija-Bermejo	130	Educación vial
4	Curva 5	Tarija-Bermejo	120	Educación vial
5	Curva 6	Tarija-Bermejo	130	Educación vial
6	Curva 8	Tarija-Bermejo	150	Educación vial
7	Curva 10	Tarija-Bermejo	145	Educación vial
8	Curva 3	Tarija-El Puente	135	Educación vial
9	Curva 6	Tarija-El Puente	115	Educación vial
10	Curva 1	Tarija-Entre Ríos	110	Educación vial
11	Curva 2	Tarija-Entre Ríos	125	Educación vial
12	Curva 3	Tarija-Entre Ríos	95	Educación vial
13	Curva 4	Tarija-Entre Ríos	110	Educación vial
14	Curva 5	Tarija-Entre Ríos	125	Educación vial
15	Curva 6	Tarija-Entre Ríos	140	Educación vial
16	Curva 7	Tarija-Entre Ríos	85	Educación vial
17	Curva 9	Tarija-Entre Ríos	130	Educación vial
18	Curva 10	Tarija-Entre Ríos	80	Educación vial

**Fuente:** Elaboración propia.

### Tercera alternativa

Si las primeras alternativas de solución no resultan factibles o no logran reducir suficientemente el riesgo de accidentes en curvas horizontales, es crucial implementar medidas adicionales de seguridad. Una de las acciones más efectivas es la instalación de barreras de seguridad o muros de contención, que están diseñados para prevenir vuelcos y proteger a los ocupantes de los vehículos que puedan salirse de la vía. Estas barreras pueden estar hechas de materiales que absorben el impacto, como estructuras metálicas, concreto o incluso soluciones más flexibles como bolsas de arena, que pueden mitigar el daño tanto al vehículo como a los pasajeros en caso de colisiones. Estas barreras no solo evitan que los vehículos caigan en pendientes pronunciadas o se desvíen hacia zonas peligrosas, sino que también actúan como un mecanismo de contención en caso de pérdida de control en la curva.

La instalación de barreras de seguridad debe seguir un diseño y anclaje adecuado para garantizar su efectividad. Las barreras metálicas o de concreto deben ubicarse estratégicamente a lo largo de las curvas más peligrosas y en áreas donde hay un riesgo elevado de que los vehículos se salgan de la vía. Es crucial que estas barreras cumplan con las normativas de seguridad vial vigentes, lo que incluye tanto la correcta instalación como el mantenimiento periódico de las mismas. Las barreras deben estar diseñadas para absorber el impacto y redirigir el vehículo de manera controlada, minimizando la severidad del accidente. Además, es recomendable que estas barreras sean inspeccionadas y reemplazadas cuando presenten daños, asegurando su capacidad para brindar protección continua.

**Tabla N° 96:** Alternativa de solución barrera metálica tipo Flex beam

Barrera metálica tipo Flex beam				
N°	Curva	Tramo	Radio	Descripción
1	Curva 2	Tarija-El Puente	55	Críticos
2	Curva 5	Tarija-El Puente	75	Críticos
3	Curva 7	Tarija-El Puente	50	Críticos

**Fuente:** Elaboración propia.

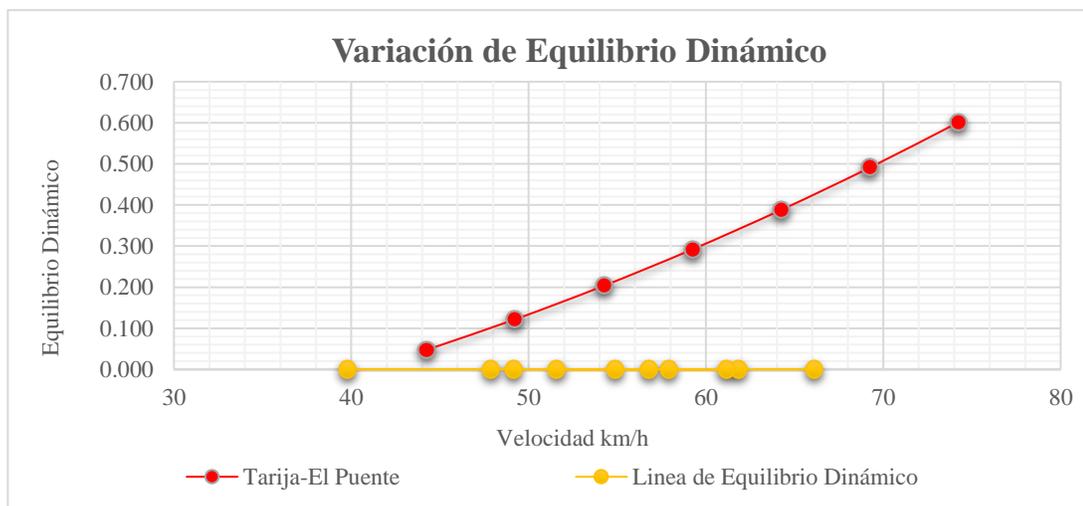
# **CAPÍTULO V**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1 Conclusiones

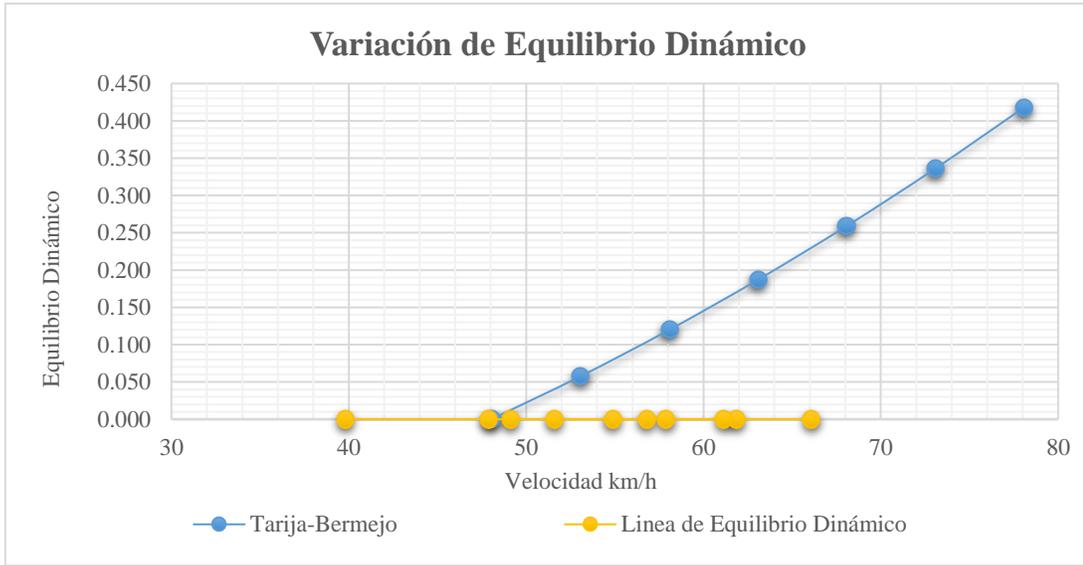
- La investigación demuestra que la velocidad de los vehículos es un factor crucial que afecta el equilibrio dinámico al circular por curvas horizontales un mal calculo o sobrepaso de la velocidad puede causar deslizamiento o vuelcos debido a la pérdida del equilibrio el peralte de la carretera juega un papel esencial en mantener la estabilidad, contrarrestando la fuerza centrífuga.
- El estudio de un inadecuada geometría en particular el diseño del peralte y el radio de curvatura puede aumentar considerablemente los riesgos de accidentes la investigación evalúa cómo las carreteras en el departamento de Tarija, en particular los tramos estudiados deben ser diseñadas teniendo en cuenta estos factores para maximizar la seguridad vial.
- La utilización de la ecuación de equilibrio de la norma AASTHO permite determinar el rango de velocidades que aseguran que los vehículos mantengan el equilibrio dinámico en las curvas. El estudio concluye que aplicar estas normas es crucial para mejorar el diseño de las carreteras y minimizar riesgos.
- Se concluye que las características del vehículo, como su peso y la velocidad a la que circula, también influyen significativamente en su estabilidad. Las curvas con radios más pequeños presentan mayores desafíos para la estabilidad del vehículo.
- Los resultados indican que el riesgo de vuelco aumenta significativamente cuando los vehículos exceden la velocidad de diseño en curvas con radios pequeños y peralte insuficientes. En particular, los tramos con radios menores a 75m y peraltes del 6% presentan mayor probabilidad de vuelco, especialmente a velocidades superiores a las recomendaciones. Este hallazgo subraya la importancia de respetar los límites de velocidad establecidos para minimizar accidentes en estos tramos.
- Los tramos con radios mas amplios superiores a 100m presentan una mejor estabilidad, lo que permite que los vehículos mantengan velocidades más altas sin comprometer el equilibrio dinámico. Sin embargo, en las curvas con radios menores a 80m, la estabilidad del vehículo se ve seriamente comprometida a velocidades mayores de 50 km/h, incrementando el riesgo tanto de deslizamiento como de vuelco.

- El análisis confirma que en varios tramos de la red vial estudiada, la velocidad de operación de los vehículos tiende a exceder los límites recomendados, lo que genera situaciones de alto riesgo. Se hace evidente la necesidad de implementar medidas de control de velocidad, tales como la instalación de señalización y elementos de reducción de velocidad, para asegurar que los vehículos se mantengan dentro de rangos seguros de velocidad.
- Se concluye que los tramos de Tarija-Bermejo, Tarija-El Puente y Tarija-Entre Ríos presentan diferentes comportamientos en cuanto a estabilidad vehicular debido a sus particularidades geométricas. Esto resalta la necesidad de adoptar soluciones específicas para cada tramo, en lugar de aplicar un enfoque genérico para toda red vial.
- El tramo Tarija-El puente presenta más problemas por radios menores donde circulan a velocidades altas donde superan la velocidad de diseño de 40.65 km/h como se ve en el gráfico.

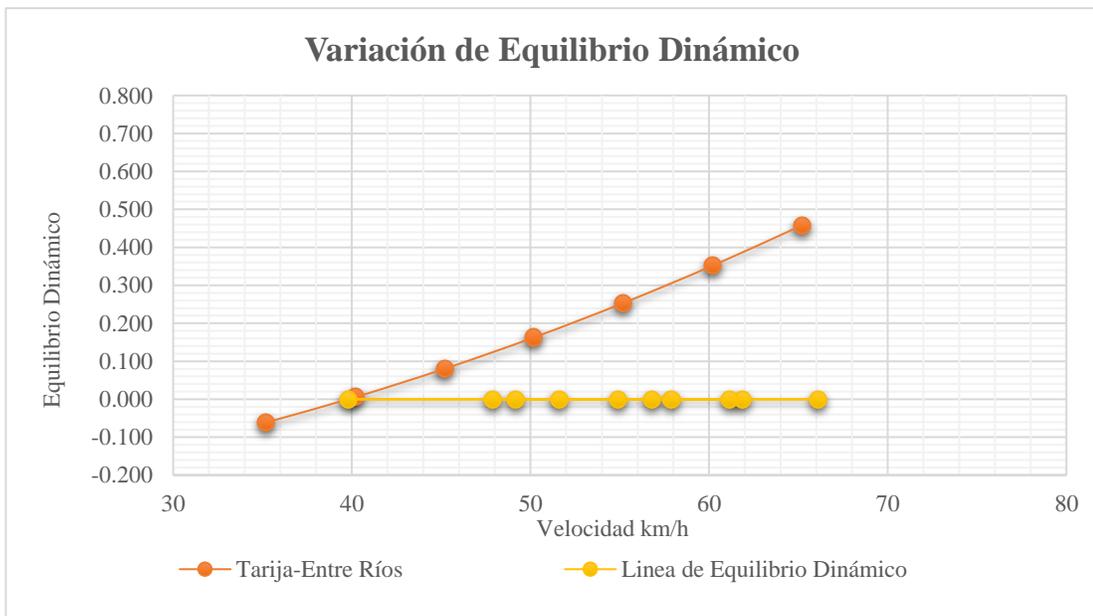


- Poner señales desde el inicio del tramo indicando cual es la velocidad de proyecto, poner señales de cuál es la velocidad y remarcando al usuario con que velocidad debería circular y hacer trípticos de educación vial para controlar su velocidad.

- Tramo Tarija-Bermejo punto con riesgo de vuelco donde la velocidad de diseño es de 47.95 km/h donde tiene un radio de 85 m.



- El tramo Tarija-Entre Ríos, presenta problemas por exceso de velocidad donde superan las velocidades de 39.8 km/h para un radio de 50 m.



## **5.2 Recomendaciones**

Se recomienda establecer límites de velocidad claros y adecuados para las curvas en las carreteras del departamento de Tarija, basados en estudios de equilibrio dinámico y las normas de la AASHTO. Estos límites deben estar señalizados de manera visible, permitiendo a los conductores ajustar su velocidad antes de ingresar a las curvas.

Para medir las velocidades, se sugiere utilizar una pistola radar, ubicando el dispositivo de medición a una distancia adecuada para capturar las velocidades de entrada. Además, es fundamental realizar un levantamiento topográfico detallado de las curvas seleccionadas para determinar el peralte en los puntos críticos, así como registrar el conteo de vehículos que transitan por estas zonas.

En cuanto a la seguridad en campo, todo el personal debe utilizar chalecos reflectantes, cascos y el equipo de protección necesario, además de colocar señales de advertencia para alertar a los conductores sobre la presencia de trabajos en la carretera. Es imprescindible contar con un plan de emergencia para hacer frente a accidentes o situaciones imprevistas.

Es crucial documentar detalladamente todos los datos recolectados, incluyendo fechas y horas, y realizar un análisis preliminar en campo para identificar posibles anomalías o la necesidad de recolección adicional de datos. Esto proporciona una base sólida para el análisis posterior de velocidad y equilibrio dinámico en curvas horizontales.

Para el análisis de datos en gabinete, es importante seguir ciertos pasos que aseguren la calidad del trabajo. Se deben transferir los datos recolectados en campo a un formato Excel y realizar una verificación exhaustiva para corregir posibles errores y limpiar los datos. Posteriormente, se deben llevar a cabo análisis estadísticos descriptivos para obtener una comprensión básica de la información, calculando medidas como medias, medianas y desviaciones estándar.

Finalmente, es recomendable preparar informes detallados que incluyan gráficos y tablas que presenten los resultados de manera clara y concisa. Las conclusiones deben extraerse

de los datos analizados y proporcionar recomendaciones prácticas para mejorar la seguridad vial en las curvas horizontales de la Red Fundamental de Tarija.

Al seguir estas recomendaciones, se contribuirá al conocimiento sobre la velocidad y el equilibrio dinámico en curvas horizontales, proponiendo mejoras concretas que incrementen la seguridad vial en Tarija.