

Estudio de ubicación y necesidad de nuevos Lechos de Frenado en caminos de la provincia de San Juan

Autores:

Ing. Mariana Espinoza

Ing. Aníbal Altamira

Ing. Juan E. Marcet

Domicilio: Av. Lib. San Martín (Oeste) 1109

CPA: J5400ARL - San Juan - Argentina

Teléfono: +54 264 4228666

+54 264 4272439

mespinoza@eicam.unsj.edu.ar

altamira@eicam.unsj.edu.ar

jmarcet@eicam.unsj.edu.ar

1 INTRODUCCIÓN

La provincia de San Juan, ubicada al oeste de la República Argentina, presenta en su relieve una serie de cordones montañosos importantes: la Cordillera de los Andes que constituye frontera internacional con Chile, la Cordillera Frontal, la Precordillera y los cordones serranos de las Sierras Pampeanas.

Los caminos que se ubican o atraviesan esta topografía presentan muchas veces tramos con pendiente fuerte y sostenida.

Durante los últimos años, debido al impulso de la actividad económica en la provincia, entre otras la minera, ha habido un crecimiento sustancial en el flujo de vehículos, particularmente de pesados: ómnibus y camiones de gran porte.

En este contexto, es posible observar para el caso de pendientes ascendentes, que los camiones ven afectado su funcionamiento y rendimiento a partir de la pérdida de velocidad y elevado consumo de combustible. Para el caso de pendientes descendentes, el continuo frenado para evitar incrementos excesivos en la velocidad, puede afectar el funcionamiento mecánico de los frenos produciendo rotura o recalentamiento, lo que puede derivar en graves accidentes. En este sentido han habido ya varios accidentes debidos a esta situación.

Para enfrentar este último problema, se ha desarrollado este trabajo que tiene como objetivo el análisis del funcionamiento de los lechos de frenado que actualmente están construidos en la Provincia de San Juan, evaluar la necesidad y proponer la ubicación de nuevos lechos de frenado, como elemento para contener vehículos pesados que en situación de emergencia no pudieran detener su marcha en una pendiente descendente.

Este estudio se realizó sobre las rutas nacionales N°40, N°141, N°149 y provinciales N°510, N°60 de la provincia de San Juan aplicando una metodología que considera la temperatura alcanzada por los frenos de camiones en caminos en pendientes descendentes.

2 ANTECEDENTES

Cuando un vehículo desciende sobre una pendiente mayor a la de equilibrio, el conductor necesita hacer uso de los frenos para que el vehículo no supere la velocidad de diseño, bajo esta situación la fuerza tractiva del motor es nula y solo actúan las fuerzas de inercia, aerodinámica (aire), resistencia a la rodadura y pendiente. La pendiente colabora en el movimiento y solo resisten al mismo las fuerzas de resistencia a la rodadura y la aerodinámica.

A los efectos del cálculo de la longitud de la rampa de escape se desprecia la fuerza aerodinámica y solo se considera la resistencia a la rodadura y la pendiente (positiva en el caso de pendiente ascendente y negativa en el caso de pendiente descendente).

2.1 Tipos de Rampas de Escape

Existen tres tipos de rampas:

Gravitacionales

Montículos de Arena

Lechos de Frenado (también llamados “Cama de Frenado”)

Las rampas gravitacionales tienen un pavimento o material granular densamente compactado en la superficie, confiando fundamentalmente en la fuerza de gravedad para disminuir y detener la velocidad de los vehículos. Este tipo de rampa por lo general es de una gran longitud y debe tener una importante pendiente ascendente.

Las rampas de montículos de arena están compuestas de arena suelta y seca, y su longitud normalmente no sobrepasa los 120 m. El incremento de la resistencia al rodado es suministrado por la arena suelta. Las desaceleraciones en los montículos de arena usualmente son muy severas y la arena puede ser afectada por el clima

Los lechos de frenado son construidos normalmente paralelos y adyacentes a las rutas. Este tipo de rampa utiliza material granular suelto, de manera tal que aumente la resistencia al rodado para la detención de los vehículos. Existen tres tipos de lechos de frenado: Lecho de frenado descendente, horizontal y ascendente según el valor de la pendiente.

El lecho ascendente es el más común de los lechos de frenado ya que tiene la gran ventaja de utilizar la inclinación del terreno como complemento de los materiales granulares utilizados en su construcción, reduciendo así su longitud.

Los lechos de frenado son el tipo de rampa de escape más común.

2.2 Metodologías de diseño

El documento de referencia más utilizado a nivel internacional lo constituye la norma AASHTO (2001), en esta se basan la mayoría de las demás normas. Otro documento de consulta importante lo constituye las Recomendaciones sobre sistemas de contención de vehículos, Orden Circular 321/95, Ministerio de Fomento de España (Ministerio, 1999). También el informe técnico del Departamento de Transporte del Reino Unido Roadside Features (TA57, 1987). El Manual de Carreteras de Chile (MOP, 2014) y otra menos conocida, pero de gran valor es la CSIR de Sudáfrica (CSIR, 2002).

La **Tabla 1** resumen los criterios de necesidad y ubicación de la bibliografía indicada más arriba, según Echaveguren et al. (2007)

Tabla 1: Criterios de necesidad y ubicación de una Rampa de Escape propuestos en diversas normativas. Adaptada de Echaveguren et al. (2007)

Instrucción	Criterio de Necesidad	Criterios de Ubicación
Manual de Carreteras (Chile)	<ul style="list-style-type: none"> • En carreteras o caminos donde se identifique la recurrencia de accidentes por falla de frenos. • En pendientes mayores al 5% si $i^2L > 60$ (i= pendiente en %, L= longitud (km).) 	<ul style="list-style-type: none"> • Establece criterios de ubicación de una Rampa de Escape similares a AASHTO. No emplea procedimientos analíticos.
AASHTO (Estados Unidos)	<ul style="list-style-type: none"> • En caminos existentes en donde vehículos pesados tengan problemas operacionales. • Evaluar la experiencia que se ha tenido con accidentes. • En caminos nuevos donde sea necesario utilizar pendientes largas y pronunciadas. • En caminos con pendientes pronunciadas que se encuentran en zonas urbanas. 	<ul style="list-style-type: none"> • A partir de la mitad de la pendiente. • Antes de una curva horizontal. • Evaluar si la Rampa de Escape puede ser localizado a la izquierda o derecha del camino.
3.1 -IC (España) CSIR (SudAfrica) TA 57/87 (Reino Unido)	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando hayan ocurrido accidentes causados por vehículos que sufren la falla de sus sistemas de frenos. • En caminos nuevos con rasante descendente de gran longitud. • En pendientes mayores al 5% si $i^2L > 60$ (i %, L (km). 	<ul style="list-style-type: none"> • En el lugar de la pendiente en que ocurre la mayor cantidad de accidentes de vehículos pesados por falla del sistema de frenos. Antes de una curva horizontal. • A una distancia cercana del punto en donde ocurren accidentes por corte de frenos.

A partir de la **Tabla 1** pueden identificarse las siguientes situaciones que determinan la necesidad de una rampa de escape:

(a) En caminos existentes, en base a la presencia de pendientes descendentes prolongadas y ocurrencia de accidentes

(b) En caminos nuevos, cuando las restricciones de diseño obliguen a emplear pendientes prolongadas y con pendientes superiores a cierto valor sobre cierta longitud.

Existe un método que proporciona criterios analíticos para evaluar la necesidad y la localización de un lecho de frenado. Este método permite estimar la necesidad y ubicación de las rampas en base al perfil de temperatura del sistema de frenos de camiones. Proporciona al diseñador herramientas para determinar cuándo y dónde localizar lechos de frenado además de calcular la velocidad de diseño del mismo. La metodología permite además determinar si es necesario o no un atenuador de impacto en conjunto con el lecho de frenado.

El método es la "Metodología de análisis y diseño de lechos de frenado", Echaveguren, et al (2007), De este modo, el procedimiento de análisis se estructura en cuatro módulos:

Módulo 1: Determinación de Necesidad de un lecho de frenado.

Módulo 2: Determinación de Localización de un lecho de frenado.

Módulos 3 y 4: Determinación de Velocidad de Diseño y Diseño Geométrico del lecho de frenado.

Los primeros dos módulos utilizan el método de calificación de riesgo de pendientes descendentes basado en el Perfil de Temperatura del Sistema de Frenos propuesto originalmente por Bowman (1989). En el tercer y cuarto módulo se aplican principios energéticos para la estimación de velocidad de diseño, y el cálculo de la pendiente y longitud del lecho de frenado.

- Módulo 1: Determinación de Necesidad de un lecho de frenado.

En este módulo se determina la necesidad de disponer de un lecho de frenado en un sector de trazado con pendientes prolongadas. Para ello es necesario determinar la Velocidad Máxima de Descenso Seguro (V_{MDS}) y la Velocidad de Circulación (V_c).

V_{MDS} corresponde a la máxima velocidad a la cual puede descender en condición de control un camión sin que se le produzca un corte de frenos. V_c , corresponde a la velocidad de operación de los vehículos pesados la cual puede ser obtenida como un percentil 85 o 99 de un registro de mediciones de velocidad instantánea, estimada en base a modelos de velocidad de operación en pendientes descendentes.

El criterio de decisión es: si $V_c > V_{MDS}$ será necesario disponer de un lecho de frenado, dado que existe la probabilidad que se produzca un corte de frenos, debido a que la temperatura del sistema de frenos del vehículo se elevaría hasta el valor límite antes que el vehículo alcance el final de la pendiente.

El cálculo analítico de V_{MDS} es complejo, por lo cual en esta metodología se desarrollaron ábacos de cálculo de V_{MDS} como el de la **Ilustración 1**. Estos gráficos consideran un rango de pendiente longitudinal entre 4 y 10 % cada 0,5 %, longitudes de la pendiente entre 0 y 16 Km y dos rangos de peso del vehículo (30 a 40 T; 40 a 45 T).

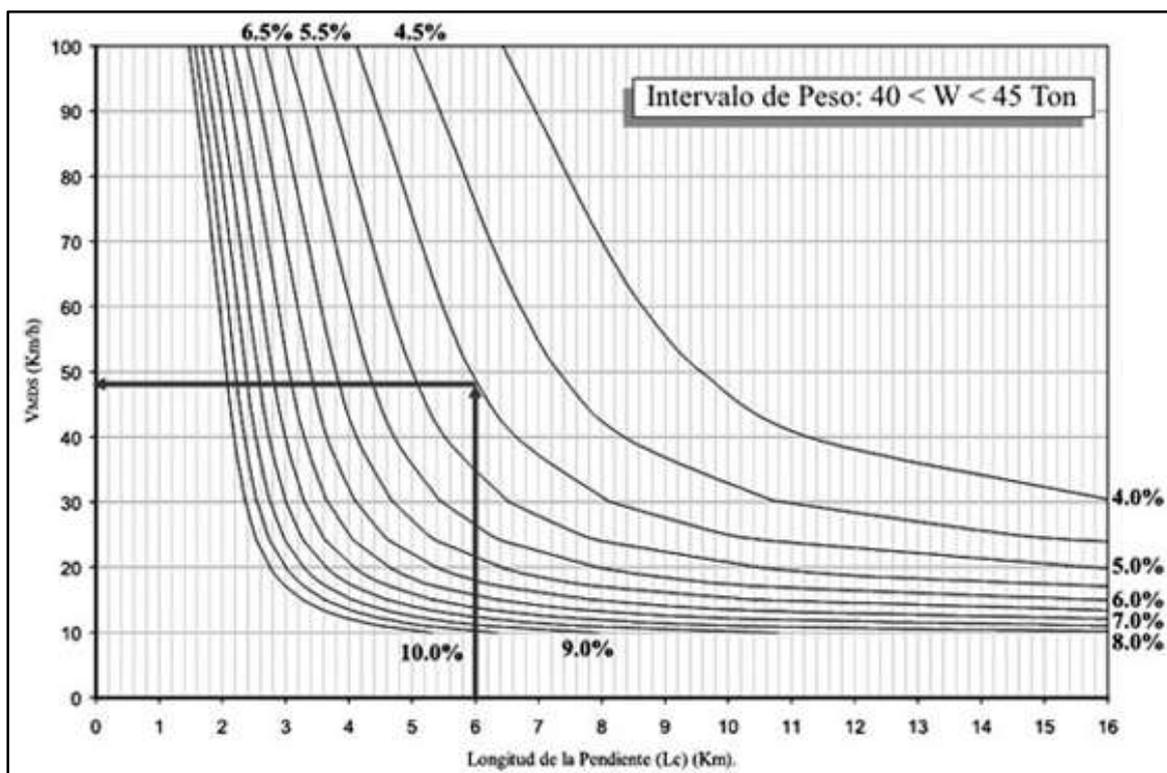


Ilustración 1: Ábaco de estimación de velocidad máxima de descenso seguro (Nancuñil, 2002)

- Módulo 2: Determinación de Localización de un lecho de frenado

En este módulo el objetivo es determinar el lugar en donde se alcanza T_{LIM} a la velocidad de circulación (V_c). Corresponde a la longitud (L_x), respecto del inicio de la pendiente, donde $V_{MDS} = V_c$. Al igual que en el caso anterior, se desarrollaron ábacos para determinar el valor de L_x , para rangos de pendientes de 4 a 10 %, y longitudes de 0 a 16 Km y dos rangos de peso (30 a 40 T; 40 a 45 T). En la **Ilustración 2** se presenta el gráfico con un ejemplo de cálculo.

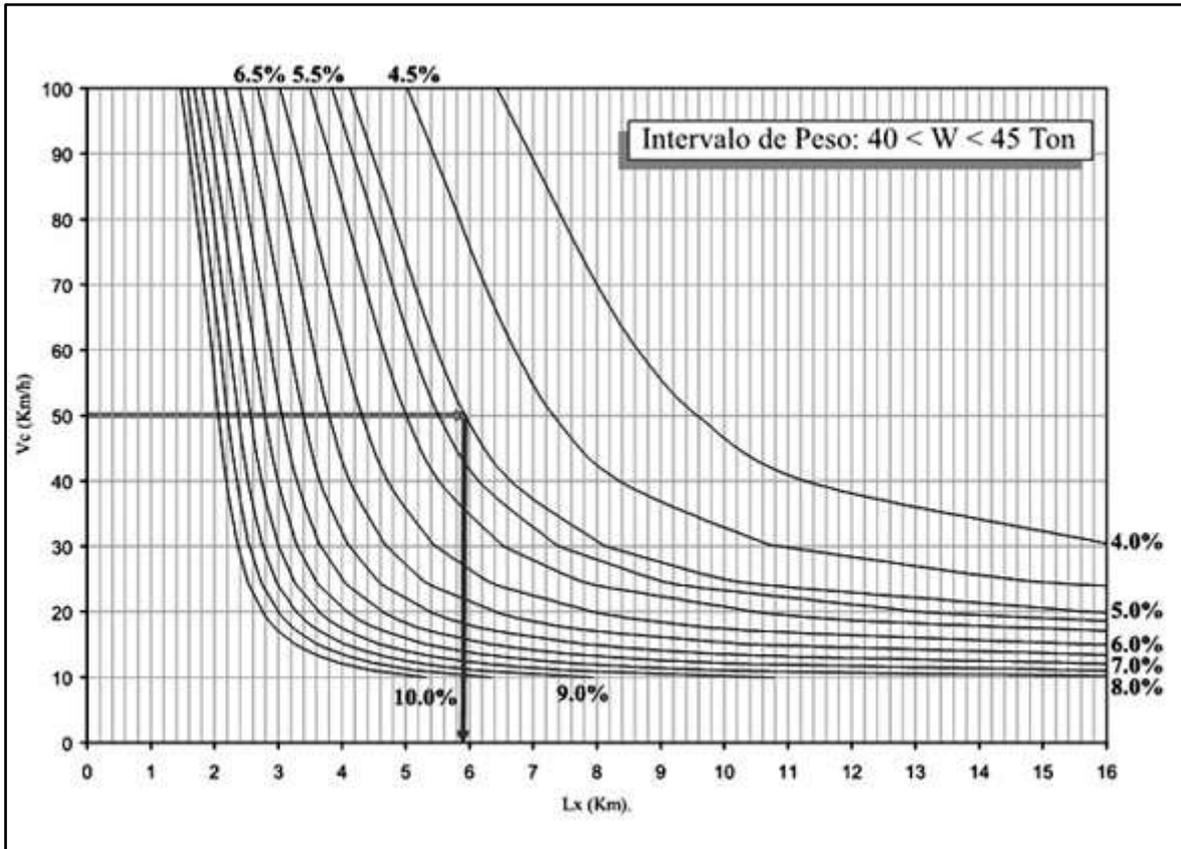


Ilustración 2: Ábaco para determinar la localización de L_x para una velocidad de circulación, pendiente longitudinal y rango de pesos determinado (Nancuñil, 2002)

- Módulos 3 y 4: Determinación de Velocidad de Diseño y Diseño Geométrico del lecho de frenado

2.3 Consideraciones de diseño

En la **Tabla 2** se resumen las consideraciones de diseño según diferentes normas.

Tabla 2: Tabla Resumen de Consideraciones de diseño

	Velocidad de ingreso	Ángulo de deflexión	Profundidad	Ancho	Longitud
AASHTO (Estados Unidos)	130km/h preferible 145km/h	≤5°	0,6m a 1m Inicio: 0,08m	Mínimo 8m Deseable 9 a 12m	$L = \frac{Ve^2}{254 * (R + i)}$ L = Longitud lecho (m) Ve = Velocidad de entrada (km /h) R = Resistencia a la rodadura del material, (adimensional) i = Pendiente , + si es ascendente o (-) si es descendente, (adimensional)
Manual de Carreteras (Chile)	Vp + 20 km/h (Vp: velocidad de proyecto del camino)	≤15°	0,50m Inicio: 0,15m	5m	Idem AASHTO
3.1 -IC (España) CSIR (SudAfrica) TA 57/87 (Reino Unido)	50, 60, 70, 85, 100, 120 km/h	-	0,35m a 0,45m Inicio: 0,10m	4m – 5m	23, 32, 44, 66, 90, 130m
Norma Oficial Mexicana	$Ve = \left(Vp^2 - 254 \sum_{i=1}^n Lp_i (R + P_i) \right)^{1/2}$ Ve=Velocidad de entrada (km /h) Vp=Velocidad de operación (km /h) n = Número de subtramos con pendientes descendentes diferentes Lpi = Longitud del subtramo i (límite máximo de 140 km/h)	≤5°	0,6m a 1m Inicio: 0,10m	10m a 12m	Idem AASHTO
Departamento de Transporte de Pennsylvania (PENNDOT)	-	-	-	-	$L = A + BV + CV^2 + DV^3$ L = Longitud requerida (m) V = Velocidad de entrada (km/h) A, B, C, D = Constantes

2.3.1 Material del lecho

El tipo de material del lecho influye directamente en el factor de resistencia a la rodadura requerido para disminuir y detener en forma segura a los vehículos. La **Tabla 3** muestra sus valores.

Tabla 3: Resistencia a la rodadura

Material Superficial de la rampa	Resistencia a la rodadura (Kg/1000 Kg)	Grado Equivalente (%)
Concreto con Cemento Portland	10	1,0
Concreto Asfáltico	12	1,2
Grava compactada	15	1,5
Tierra arenosa suelta	37	3,7
Agregado molido suelto	50	5,0
Grava suelta	100	10,0
Arena	150	15,0
Gravilla de tamaño uniforme	250	25,0

Fuente: A Policy on Geometric Design of Higways and Streets (AASTHO, 2001)

Los materiales deben ser limpios, no fáciles de compactar y deben tener alto coeficiente de resistencia al rodado. El cumplimiento de esas condiciones minimizará el mantenimiento durante la vida útil.

Puede ser grava, gravilla o arena, que cumpla con ciertos requisitos de calidad. En la **Tabla 4: Requisitos de los materiales que forman el lecho de frenado**. se muestran los requisitos que deben cumplir los materiales que formen un lecho de frenado, según la norma mexicana.

Tabla 4: Requisitos de los materiales que forman el lecho de frenado.

Granulometría				
Malla		Porcentaje que pasa		
Abertura (mm)	Designación	Garva	Gravilla	Arena
37.5	1 ¹ / ₂ "	100	—	—
25	1"	95 mín	—	—
12.5	1/2"	35 máx	100	—
9.5	3/8"	—	95 mín	100
6.3	1/4"	—	—	95 mín
4.75	N° 4	5 máx	5 máx	—
2	N° 10	—	—	5 máx
0.075	N° 200	2 máx	2 máx	2 máx
Características		Valor		
Porcentaje máximo de desgaste por abrasión, usando la máquina de Los Ángeles		30	30	30
Porcentaje máximo de partículas alargadas y lajeadas		25	25	25

Fuente: Norma Oficial Mexicana. (2009)

2.4 Otras consideraciones de diseño

Para facilitar el rescate de los vehículos detenidos se diseña un camino de servicio del lecho de frenado y, los macizos de anclaje que permitan el apoyo adecuado de las grúas de rescate.

El *camino de servicio* debe ser adyacente al lecho de frenado, preferentemente en el lado más próximo al camino, con un ancho mínimo de 3m y pavimentado igual que la banquina del camino para proveer una superficie firme para los equipos de rescate, alejada de la ruta principal y hacia la cual se puedan arrastrar los vehículos atrapados.

Los *macizos de anclaje* deben ser de hormigón, con las dimensiones y la resistencia que permitan el anclaje o apoyo firme de los equipos de rescate y deben estar alojados en el lado del camino de servicio opuesto a la cama de frenado.

El *sistema de drenaje y subdrenaje* de los lechos de frenado debe diseñarse con el propósito de captar el agua de lluvia, los escurrimientos superficiales y, principalmente, el agua que se infiltre en la cama de frenado, para desalojarla oportunamente, a fin de evitar la acumulación de partículas en suspensión que llenen los huecos del material de la cama y su posible densificación o compactación, así como el eventual congelamiento del agua, que anule la eficacia de la cama.

Los lechos de frenado deben diseñarse con una pendiente transversal de 2% como mínimo, en el fondo de la caja que alojará la cama de frenado, para interceptar y recolectar el agua que se infiltre.

La actividad de mantenimiento considera dos factores importantes:

- La superficie del lecho debe nivelarse nuevamente después de la extracción del vehículo detenido. El material debe ser removido en toda su profundidad para evitar la compactación.
- Prevenir la contaminación del material del lecho con material fino.

Si por la topografía del terreno o por limitaciones físicas que restrinjan la construcción del lecho, no es posible proveerlo con la longitud necesaria, el lecho de frenado debe complementarse con un dispositivo que permita detener el vehículo en forma segura, como pueden ser tambores de plástico rellenos o montículos del mismo material utilizado en el lecho de frenado,

El diseño del *señalamiento* de un lecho de frenado, debe comprender tanto el señalamiento horizontal como el señalamiento vertical, previo al lecho y en él, adicional a los señalamientos normales del camino.

Deberá preverse la señalización necesaria para que el conductor de un vehículo fuera de control conozca de la existencia del lecho, entienda las maniobras que debe realizar y sienta la confianza suficiente de ingresar en forma segura al mismo y no continuar por el camino. Debe asegurarse su visibilidad sobre todo de noche. Deben aplicarse restricciones para que la entrada se mantenga libremente accesible.

Por eso es que deben señalizarse con suficiente antelación anunciando su progresiva de emplazamiento y pidiendo al conductor que pruebe los frenos, pues en una progresiva posterior encontrará el lecho.

El señalamiento horizontal debe realizarse en la entrada al lecho de frenado y diferenciando claramente su camino de servicio para evitar que los vehículos fuera de control entren en él.

Las *transiciones* deben realizarse en el caso de lechos de frenado adyacentes al camino principal. El ancho total del lecho de frenado debe ser precedido por una sección de transición con un abocinamiento de 1:25 a 1:50 y la finalización del lecho por un abocinamiento de 1:12.

3 RELEVAMIENTO DE LECHOS EXISTENTES Y PROYECTADOS

La Provincia de San Juan cuenta con una red de caminos que tienen lechos de frenado construidos, proyectados, y también otras que, según sus características topográficas y de operación ameritan la evaluación de la necesidad de nuevos lechos de frenado. La **Ilustración 3** muestra la ubicación de los lechos de frenado existentes y proyectados. Además se indican los propuestos en este trabajo sobre la RN 149.

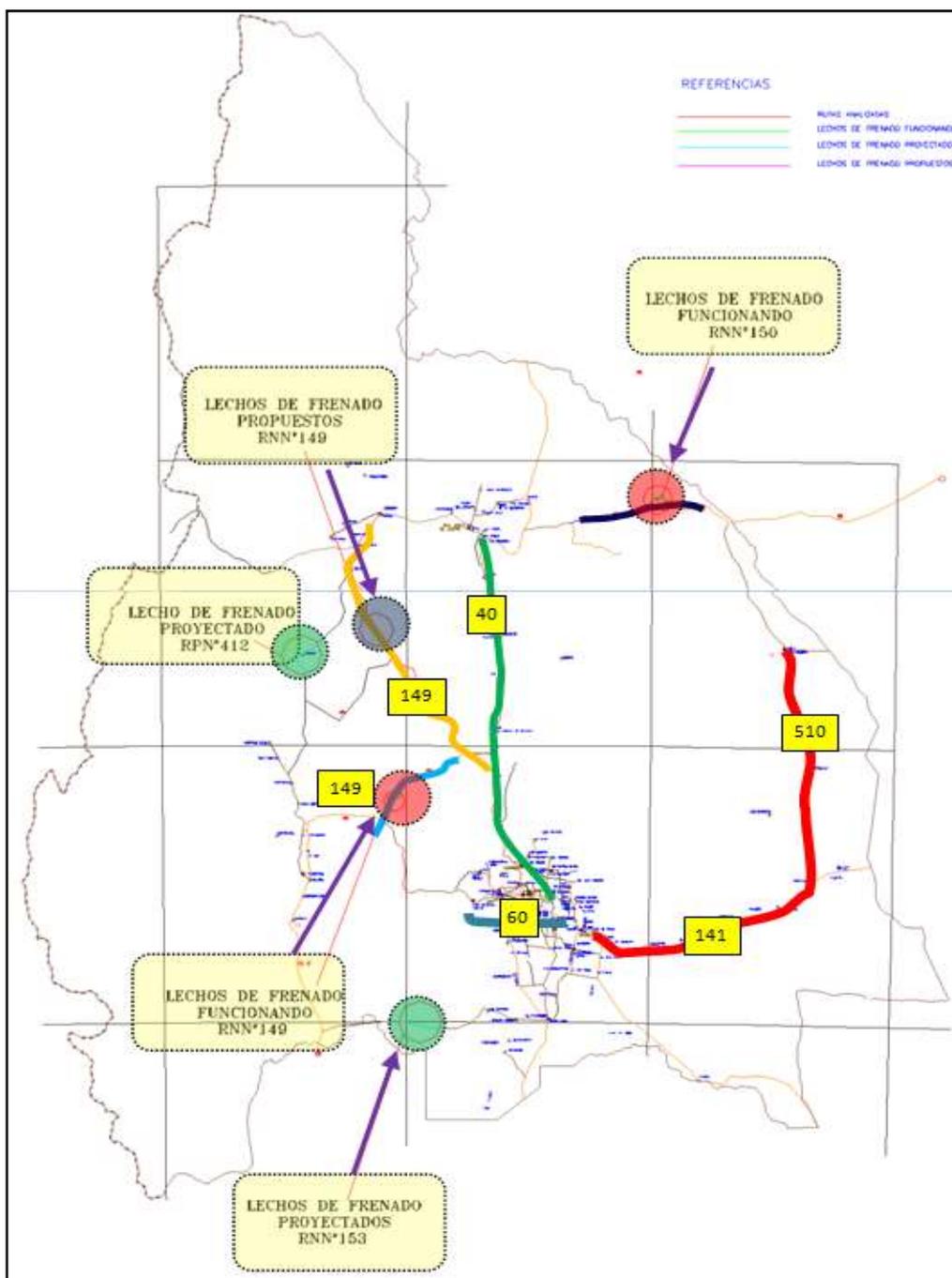


Ilustración 3: Lechos de frenado en la Provincia de San Juan

La **Tabla 5** muestra en detalle las características geométricas de los lechos existentes y los proyectados a la fecha.

Tabla 5: Características geométricas lechos de frenado existentes y proyectados de San Juan

LECHOS EN FUNCIONAMIENTO							
Ruta	Progre siva	Velocidad de ingreso (km/h)	Longitud (m)	Pen diente (%)	Espesor (m)	Amor tigua dor de Impacto	Observa ciones
RNN°150	18642	100	170	4,77	0,50	NO	Divergente
	22126	100	270	1,2	0,50	SI	Paralelo
	24636	102	240	4,0	0,50	SI	Paralelo
	28610	100	220	-0,103	0,50	NO	Divergente
	32570	100	155	12,5	0,50	NO	Divergente
RNN°149	Lecho 1	No disponible	226	7,36	0,8	NO	Divergente
	Lecho 2	No disponible	235	0	0,8	NO	Divergente
	Lecho 3	No disponible	240	1	0,8	NO	Divergente
LECHOS PROYECTADOS							
RNN°153	2097	90	190	5,33	0,50	NO	Divergente
	9310	110	282	7,51	0,50	NO	Divergente
RPN°412	2420	100	400	-1,87	0,50	NO	Divergente

4 METODOLOGÍA APLICADA

Para evaluar la necesidad y ubicación de posibles nuevas lechos de frenado en los caminos de la provincia de San Juan, se trazó la siguiente metodología:

1. Relevamiento planialtimétrico de las rutas de la provincia
2. Elección de tramos de interés

4.1 Relevamiento de las rutas seleccionadas de la provincia

Las rutas seleccionadas con probable necesidad de lechos de frenado fueron:

- Ruta Nacional N°40. Tramo San Juan- Jáchal
- Ruta Nacional N°149. Tramo Talacasto- Rodeo
- Ruta Provincial N°60. Tramo San Juan - Ullum
- Ruta Nacional N°141. Tramo Empalme RNN°20- RNN°141 - Empalme RNN°141- RPN°510
- Ruta Provincial N°510. Tramo: Empalme RNN°141- RPN°510- Valle Fértil

Todas las rutas se relevaron utilizando un instrumento denominado Video VBOX.

Este instrumento permitió captar la geometría de las rutas, especialmente la altimetría.

Luego de la toma y procesamiento analítico de los datos, se realizó el análisis de los videos tomados por el instrumento. Posteriormente, se efectuó una visita a la zona y reconocimiento de los tramos de interés en la investigación.

4.2 Elección de los tramos de interés

Con los datos tomados por el instrumento y los datos relevados en la visita realizada a la zona, se definieron los tramos con pendientes críticas para evaluar la necesidad de instalar lechos de frenado. La pendiente crítica, según las normas internacionales, es de al menos 5%. En esta investigación se adoptó el criterio de evaluar la necesidad de instalación de lechos de frenado en aquellos lugares que tuviesen pendientes de al menos 4%. En la **Tabla 6** se muestra un resumen de las longitudes y pendientes de los tramos de interés seleccionados para cada una de las rutas estudiadas.

Tabla 6: Longitudes y pendientes de tramos de interés

Ruta	Tramo	Longitud (km)	Pendiente (%)
NN°40	1	2,48	4,2
NN°149	1	1,70	4,4
	2	12,83	4,64
PN°60	1	0,80	5,94
	2	0,57	4,32
NN°141	1	0,59	4,51
PN°510	1	3,58	4,17

En la **Ilustración4**, se observa la altimetría, de la zona en estudio, de la Ruta Nacional N°149. Como puede observarse existen dos tramos con pendientes de interés (superiores al 4%).

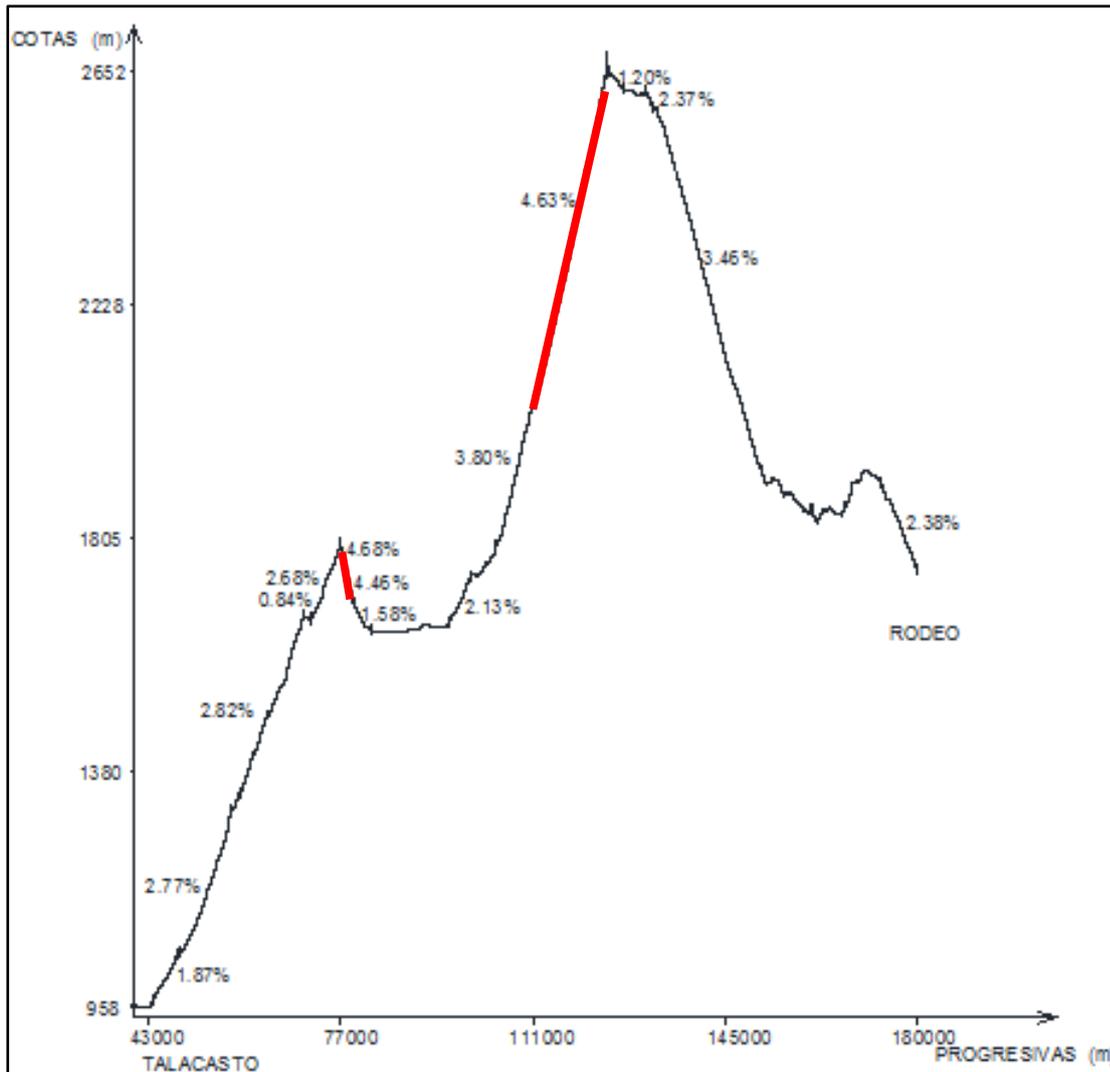


Ilustración4: Altimetría Ruta NN°149 Tramo Talacasto - Rodeo

5 CÁLCULO

La metodología usada establece un procedimiento analítico para determinar la necesidad de emplazar un lecho de frenado basado en la velocidad máxima de descenso seguro, esta es, la velocidad máxima de circulación bajo la cual no existe riesgo de corte de frenos. Para poder aplicar esta metodología debe definirse el vehículo de diseño. Se utilizó un vehículo de 45T que es el máximo permitido por la Ley de Tránsito Argentina.

Lo primero a evaluar en cada tramo fue la necesidad del lecho de frenado. Se utilizó el ábaco para un rango de peso entre 40 a 45 toneladas. Para la Ruta Nacional N° 40 se calculó una velocidad de circulación de 100 Km/h. Se ingresó al ábaco con la longitud en pendiente hasta interceptar la curva correspondiente a la pendiente en análisis, y posteriormente se determinó el valor de V_{MDS} . Para una pendiente longitudinal de 4,2% y una longitud en pendiente de 2,48Km, el valor de V_{MDS} , obtenido de la **Ilustración 5** (muestra el caso de la RNN°40) es mayor a 100Km/h (V_c), por lo tanto, aplicando el criterio de necesidad, **no es necesario contar con un lecho de frenado**.

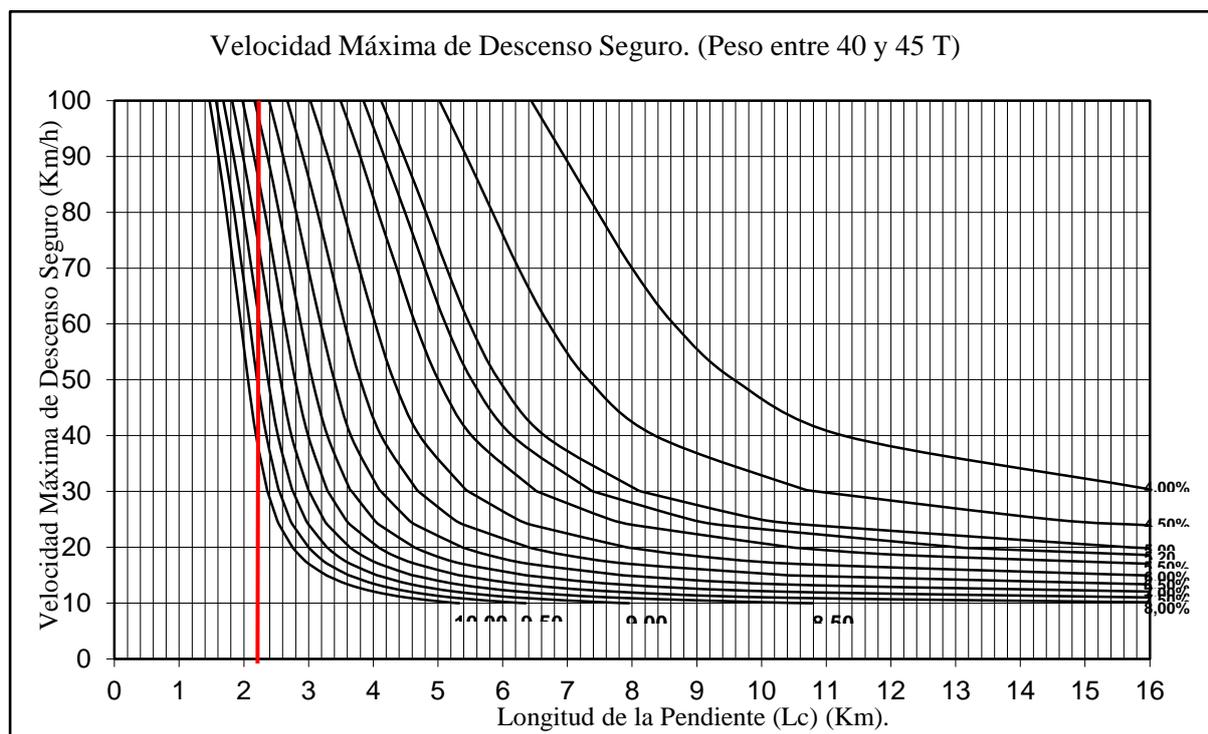


Ilustración 5: Cálculo de necesidad de lecho de frenado. Ruta Nacional N°40. Tramo San Juan- Jáchal

En la Ruta Nacional N°149 existen 2 sectores con pendientes de interés, en el primero se calculó una velocidad de circulación de 42 Km/h. Para una pendiente longitudinal de 4.4% y una longitud en pendiente de 1.7Km, el valor de V_{MDS} , obtenido de la **Ilustración 6** es mayor a V_c , por lo tanto, aplicando el criterio de necesidad, **no es necesario contar con un lecho de frenado**.

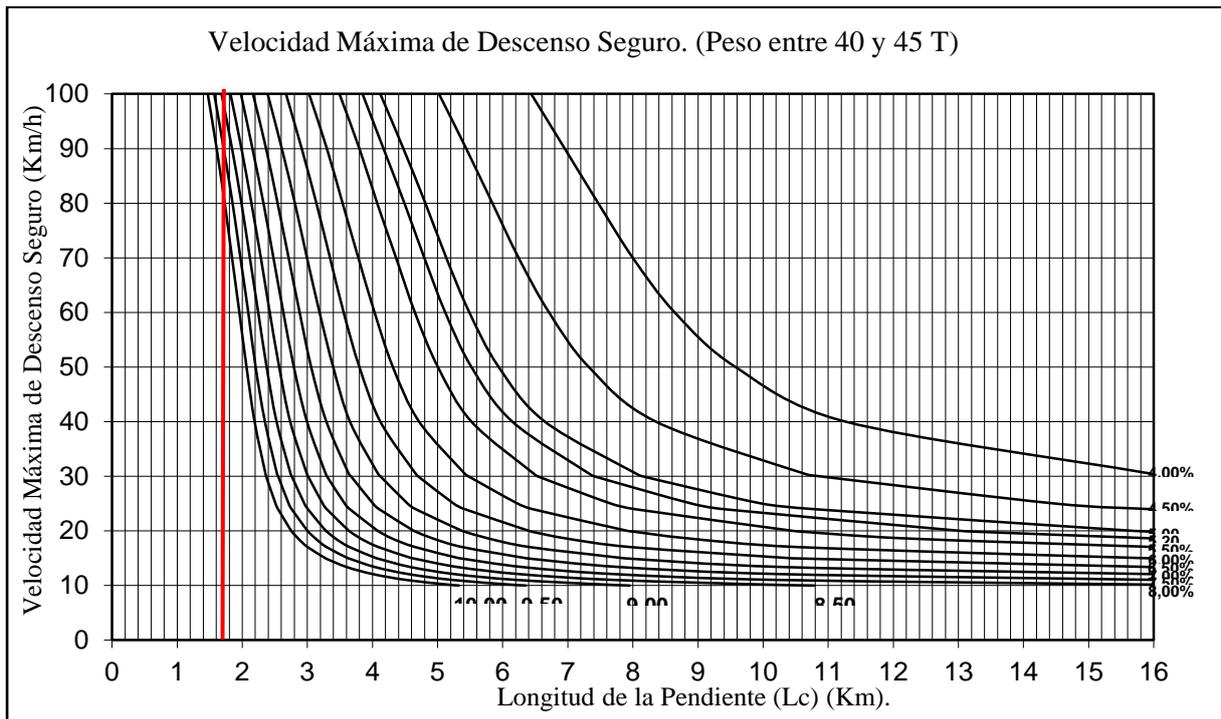


Ilustración 6: Cálculo de necesidad de lecho de frenado Ruta Nacional N°149. Tramo Talacasto- Rodeo. Primer sector

En el segundo sector se calculó una velocidad de circulación de 93 Km/h. Para una pendiente longitudinal de 4,64% y una longitud en pendiente de 12,3Km, el valor de V_{MDS} , obtenido de la **Ilustración 7** es 25Km/h, por lo tanto, aplicando el criterio de necesidad:

$$\text{Como } V_c > V_{MDS}$$

93km/h > 25km/h **Es necesario contar con un lecho de frenado**

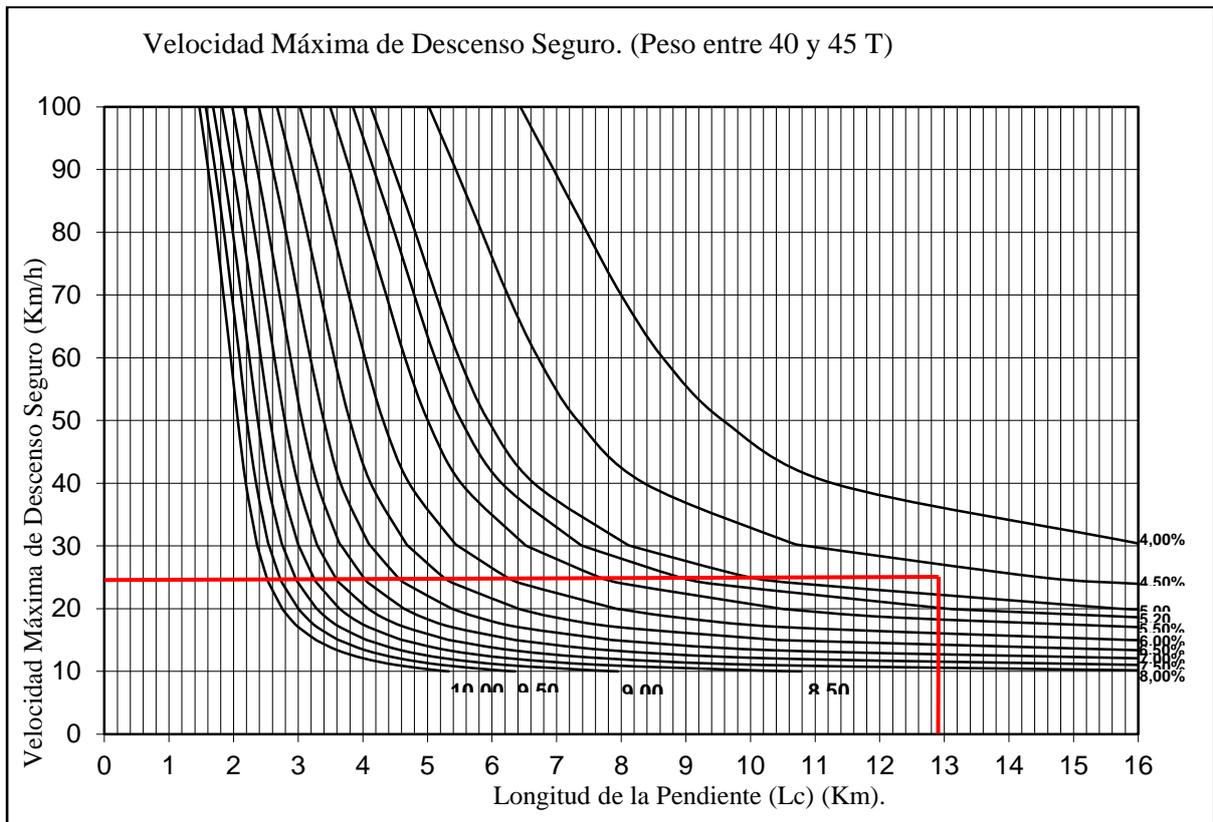


Ilustración 7: Cálculo de necesidad de lecho de frenado Ruta Nacional Nº149. Tramo Talacasto- Rodeo. Segundo sector

Posteriormente se determinó el lugar en donde se alcanza T_{LIM} a la velocidad de circulación (V_c). Corresponde a la longitud (L_x), respecto del inicio de la pendiente, donde

$$V_{MDS} = V_c$$

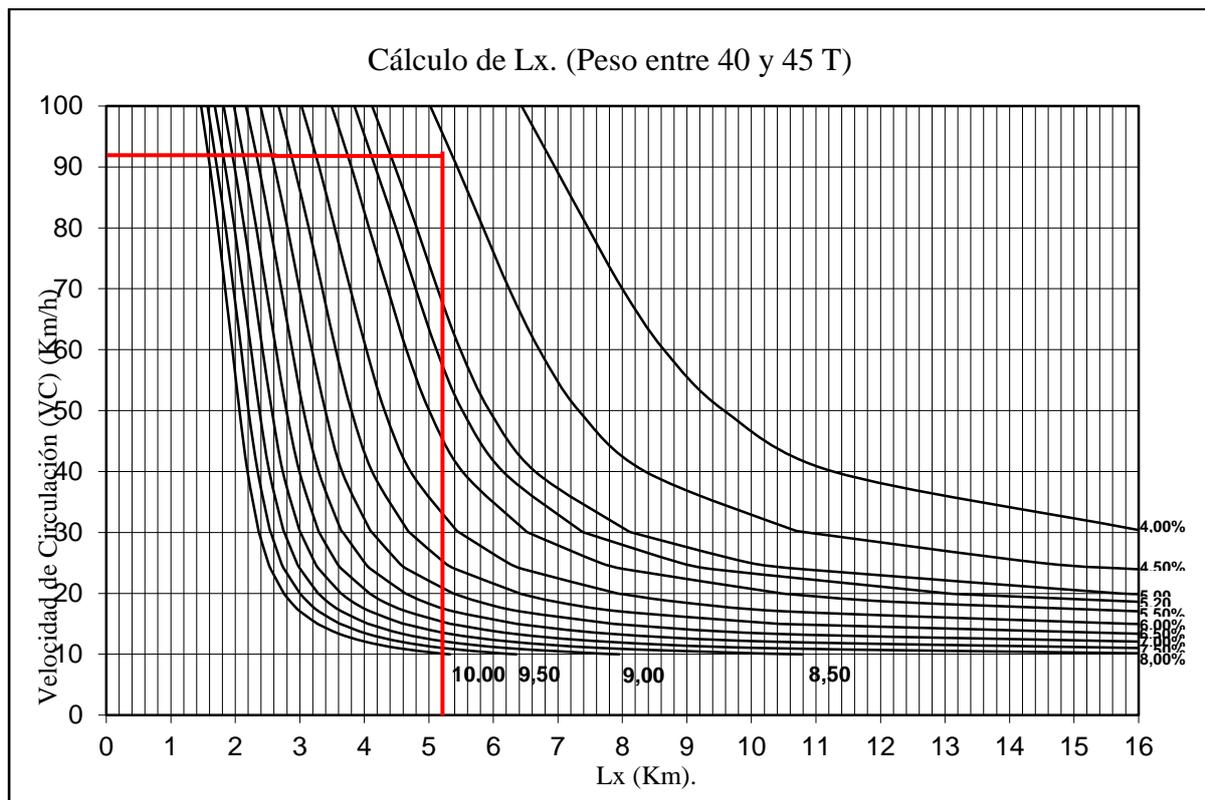


Ilustración 8: Cálculo de ubicación del lecho de frenado Ruta Nacional N°149. Tramo Talacasto- Iglesia. Segundo sector

A partir de la **Ilustración 8** se determinó que la localización del lecho de frenado corresponde a 5,2Km a partir del inicio de la pendiente.

Se analizaron las otras tres rutas, Ruta Provincial N°60, Ruta Nacional N°141, Ruta Provincial N°510, de la misma forma que se realizaron los análisis anteriores. Los resultados se muestran en la **Tabla 7**. Como se observa, finalmente, es en un tramo de la Ruta Nacional N°149 el único lugar, según esta metodología, donde es necesario colocar lecho de frenado.

Tabla 7: Resultados de la aplicación "Metodología de análisis y diseño de lechos de frenado"
Echaveguren et al (2007)

Ruta	Vc (km/h)	Long. analizado (km)	Pend. Tramo (%)	V_{MDS} (km/h)	Necesidad de lecho de frenado	Lx (ubicación de lecho de frenado) (km)
NN°40	100	2,48	4,2	> Vc	No	-
NN°149	42	1,70	4,4	> Vc	No	-
	93	12,83	4,64	25	Si	5,2
PN°60	60	0,80	5,94	> Vc	No	-
	78	0,57	4,32	> Vc	No	-
NN°141	86	0,59	4,51	> Vc	No	-
PN°510	79	3,58	4,17	> Vc	No	-

6 PROPUESTA DE UBICACIÓN Y DISEÑO PRELIMINAR.

La aplicación del método permitió definir el tramo con pendientes críticas que se muestra en la **Ilustración 9**. También permitió definir la ubicación de dos lechos de frenado. El primero se ubica a 5km desde el punto más alto y el segundo a 9km del punto más alto. La **Ilustración 10** muestra los dos lugares propuestos para emplazar los lechos de frenado.

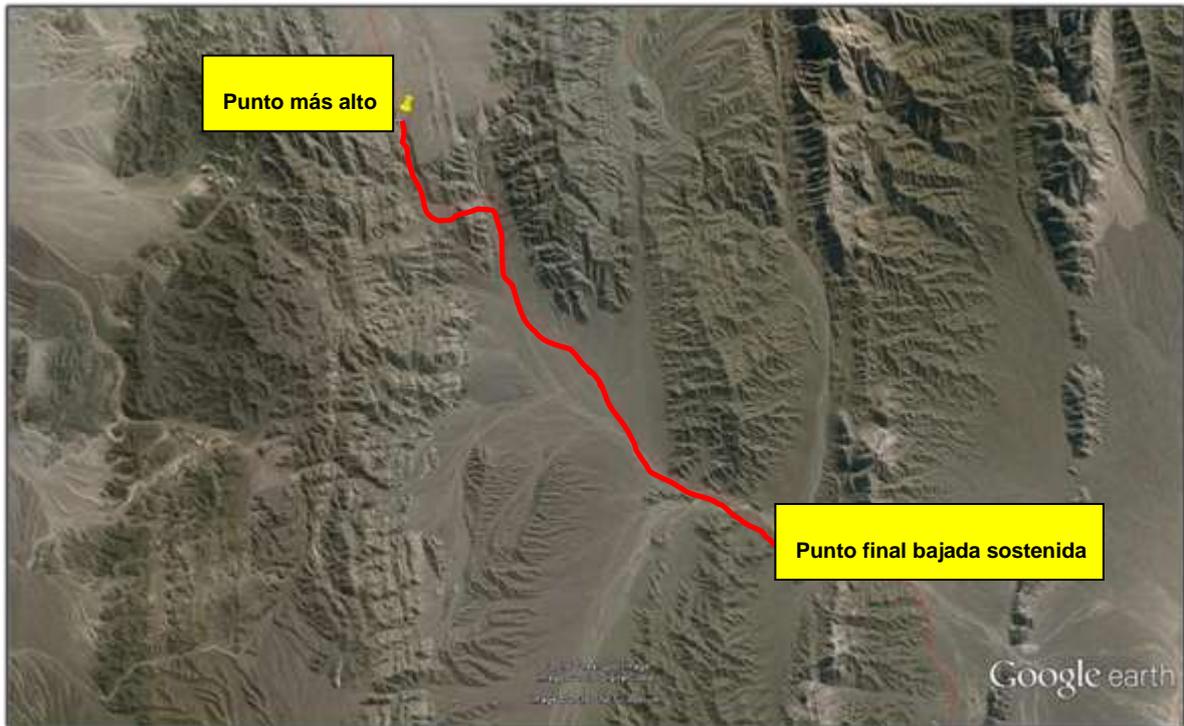


Ilustración 9: Tramo con pendientes críticas. Ruta NN°149: Talacasto – Iglesia

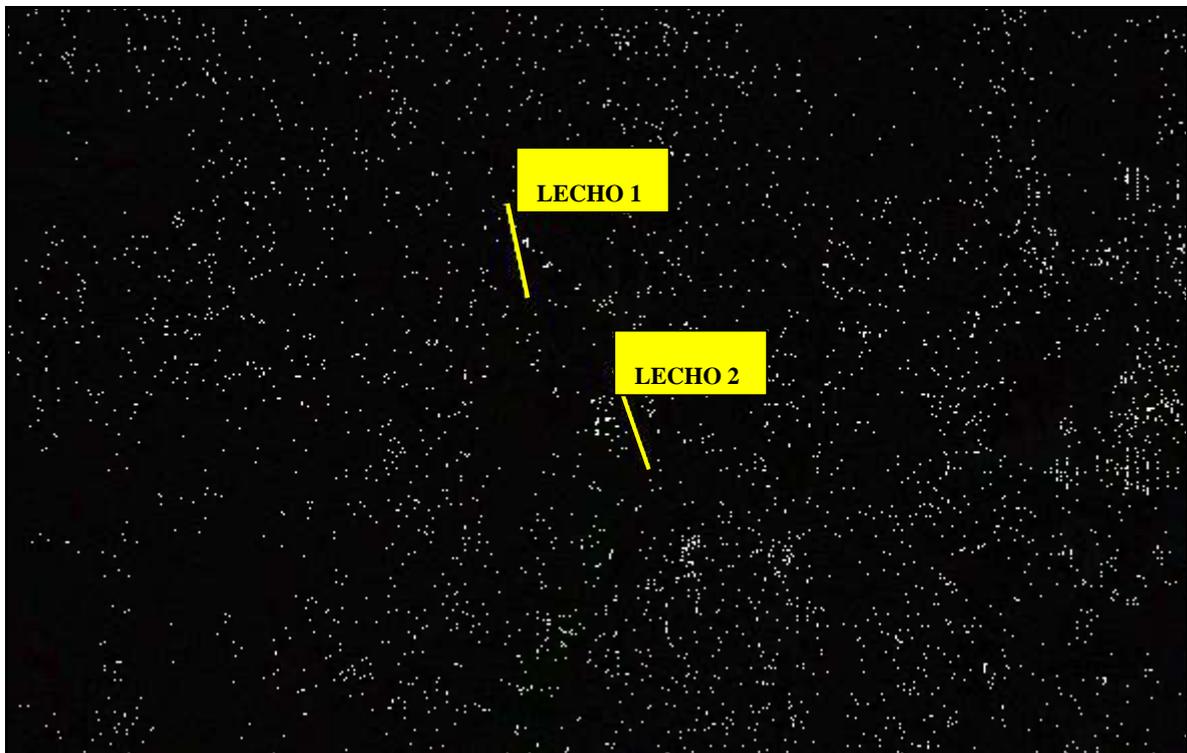


Ilustración 10: Ubicación de lechos de frenado

Por razones de topografía de terreno se dispuso que el diseño de los lechos de frenado fuese de tipo paralelo a la calzada principal, con las características que se observan en la **Ilustración 11** y la **Ilustración 12**:

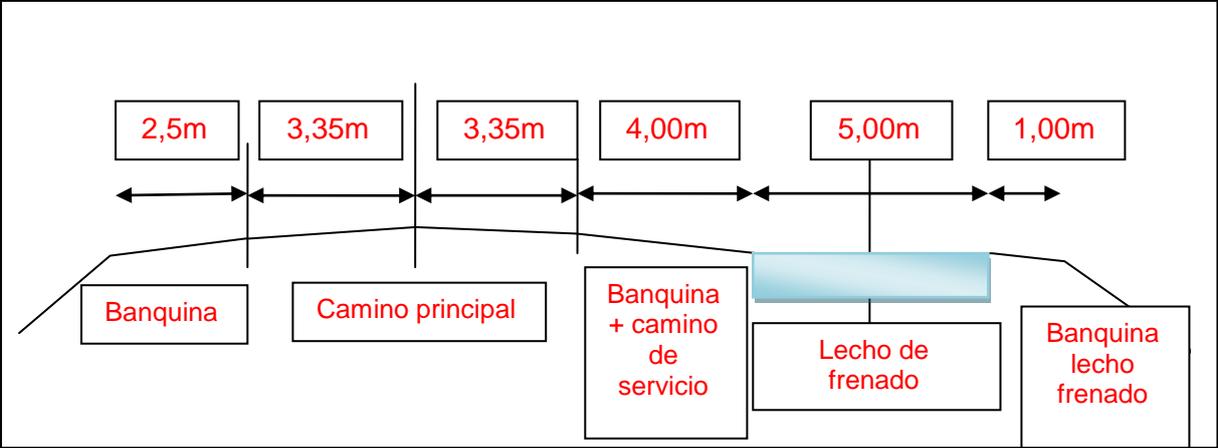


Ilustración 11: Perfil tipo lecho de frenado proyectado

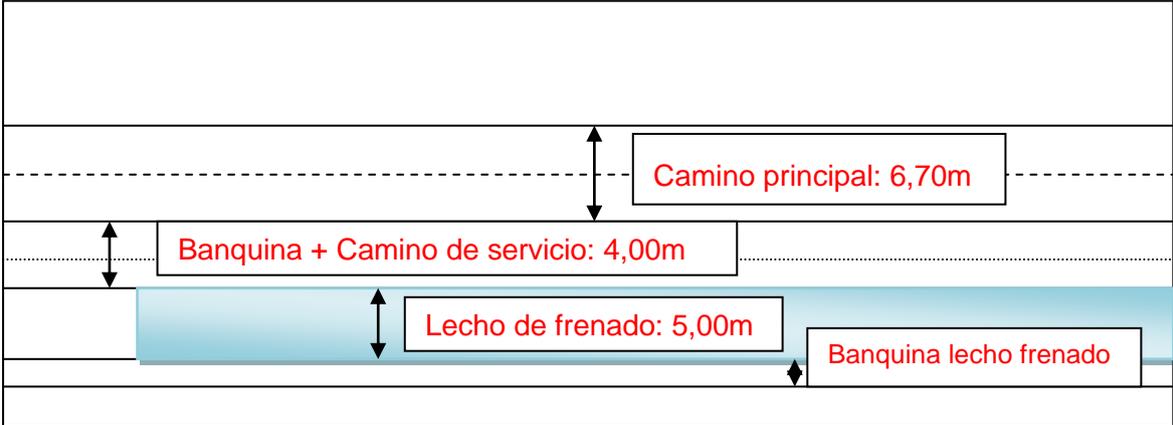


Ilustración 12: Lecho de frenado paralelo proyectado

Se proyectaron transiciones al ingreso y al final del lecho de frenado. La transición al ingreso tiene un abocinamiento de 1:25, por lo tanto para lograr el ensanche previsto se necesita una longitud de transición de 185m al ingreso. La transición al final del lecho tiene un abocinamiento de 1:12, se necesita una longitud de transición de 90m para retirar hacia adelante (sin hacer marcha atrás) el vehículo que pudiera haberse quedado enterrado en el lecho.

Las transiciones deben ser pavimentadas con las mismas características que el pavimento del camino principal.

6.1 Lecho 1

Para el cálculo de la longitud se usó la expresión de la AASHTO:

$$L = \frac{Ve^2}{254 * (R + i)}$$

$V_{\text{ingreso}} = 108\text{km/h}$

$R = 0,25$ (gravilla uniforme suelta)

$i = -5,21\%$

La longitud de cálculo es:

$$L_c = 232\text{m}$$

Según norma chilena la longitud efectiva del lecho de frenado, debe ser veinticinco (25) por ciento mayor que su longitud de cálculo, esto surge de la aplicación de un coeficiente de seguridad de 1,25:

$$L_e = 290\text{m}$$

La longitud total es la longitud efectiva más la longitud de las transiciones al ingreso y final del lecho de frenado

$$L_e = 290\text{m} + L_t = 275\text{m}$$

$$L_{\text{total}} = 565\text{m}$$

El espesor del lecho de frenado tiene una transición, siendo mínimo al ingreso, de 15cm para evitar un impacto brusco que pueda producir un “rebote” o pérdida de control por parte del conductor, y máximo de 60cm a los 72m desde el inicio del lecho de frenado hasta lograr que las ruedas se entierren hasta los ejes del vehículo.

6.2 Lecho 2

$V_{\text{ingreso}} = 119\text{km/h}$

$R = 0,25$ (gravilla uniforme suelta)

$i = -4,2\%$

La longitud de cálculo es:

$$L_c = 268\text{m}$$

Aplicando un coeficiente de seguridad de 1.25, la longitud efectiva es:

$$L_e = 335\text{m}$$

$$L_e = 335\text{m} + L_t = 275\text{m}$$

$$L_{\text{total}} = 610\text{m}$$

Espesor al ingreso: 15cm
 Espesor total del lecho: 60cm

En la **Tabla 8** se presenta un resumen de las características geométricas de los lechos diseñados.

Tabla 8: Resumen de características de los lechos diseñados

	Lecho 1	Lecho 2
Ubicación (desde cumbre)	5km	9km
Velocidad de diseño	108km/h	119km/h
Pendiente	-5,21%	-4,2%
Material lecho	gravilla uniforme suelta	gravilla uniforme suelta
Resistencia rodadura lecho	0,25	0,25
Ángulo de salida	0°	0°
Esviado o paralelo al camino	Paralelo	Paralelo
Espesor lecho	60cm	60cm
Longitud de transición de espesor de lecho	72m	84m
Transición entrada	1:25	1:25
Transición salida	1:12	1:12
Longitud transición de ingreso	185	185
Longitud transición salida	90	90
Longitud lecho	290m	335m
Longitud de lecho más transiciones	565m	610m

Se analizó la posibilidad de ubicar otros lechos de frenado en el tramo de pendiente crítica pero se concluyó que por las características geométricas del camino y topográficas del terreno no es viable el emplazamiento de otro lecho de frenado en esa zona.

7 CONCLUSIONES

Este trabajo ha permitido relevar los diferentes lechos de frenado en las rutas de la Provincia de San Juan. Hay a la fecha un total de 11, entre los proyectados y los que se encuentran en funcionamiento. El método empleado a podido determinar que sería necesario ubicar un par más sobre un tramo de la Ruta Nacional N°149 aunque no se tiene registros de accidentes en la zona.

El trabajo finaliza con una propuesta de diseño y ubicación de estos dos lechos de frenado.

REFERENCIAS

AASHTO. (2001). *A policy on geometric design of highway and street*. Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.

Bowman B. (1989). *Grade Severity Rating System (GSRS) - Users Manual*. Report FHWA-IP-88-015. U.S Department of Transportation. Federal Highway Administration. Estados Unidos.

CSIR. (2002). *Geometric Design Manual*. CSIR Transportek. South Africa.

Echaveguren T., Vargas S. y Ñancufil J. (2007). *Metodología de análisis y diseño de lechos de frenado*. Revista Ingeniería de Construcción. 22(3). 175 – 184.

Highway Agency. (1987). *Roadside Features*. TA57/87. London, U.K.

Ministerio de Fomento de España. (1999). *Instrucción de Carreteras. Norma 3.1 - I.C.: Trazado*. Dirección General de Carreteras. España.

MOP. (2014). *Instrucciones de Diseño*. Manual de Carreteras .Volumen 3. Ministerio de Obras Públicas Chile.

Ñancufil J. (2002). *Proposición de una Metodología de Diseño de Lechos de Frenado*. Memoria de Título. Supervisor: Tomás Echaveguren. Universidad de Concepción. Departamento de Ingeniería Civil. Chile.

NORMA Oficial Mexicana NOM-036-SCT2-2009. (2009). *Rampas de emergencia para frenado en carreteras*. México D.F.

PENNDOT Bureau of Design. (2001). *Design Manual, Pennsylvania*. EE.UU.