

## INTRODUCCIÓN

### 1. ANTECEDENTES

El tramo en estudio comprende entre Bermejo y Los Ingenios que en la actualidad está muy deteriorado por todos los vehículos livianos, medianos y cañeros que circulan sobre este tramo a su vez sirve de acceso a la ciudad de Bermejo con la Industria Agrícola de Bermejo, el estudio corresponde desde la progresiva Km. 00+000 Ubicada en la intersección de las Avenidas Barrientos y Bolívar, hasta la progresiva Km. 06+700 a pocos metros de Los Ingenios Azucareros de Bermejo, fin del tramo.

Bajo el auspicio del Gobierno Nacional, el Ministerio de Transporte, Comunicaciones y Aeronáutica Civil, por intermedio del Servicio Nacional de Caminos y de la Corporación de Desarrollo de Tarija se emitió una convocatoria pública para la construcción del tramo asfaltado Bermejo-Los Ingenios en fecha Abril de 1987.

El tramo “Original” tuvo su origen en el denominado “Puente Cañero”, ubicado sobre la carretera de ingreso que bordea el curso del río Bermejo, dicho tramo atraviesa la población con 2.3 Km. de largo aproximadamente (tramo urbano), para luego ubicarse en un área de cultivo suavemente ondulado (tramo rural), hasta acceder al Ingenio IABSA, luego de recorrer alrededor de 6.7 Km., con un total de 9 Km. Bermejo-Los Ingenios. (Ver fig. N°1).

**Figura N° 1**

#### Ubicación del Tramo en Estudio



## **2. JUSTIFICACIÓN**

El presente estudio de investigación buscará dar una solución satisfactoria al problema provocado por el transporte rutinario de gran tonelaje, que reduce la capacidad de la carretera al mismo tiempo transportan excesivas cargas, provocando el deterioro superficial y estructural de la carretera.

El tramo Bermejo-Los Ingenios es primordial para el desarrollo de la industria, siendo un acceso directo a I.A.B.S.A. (Ingenio Azucarero de Bermejo S.A.) sirviendo a su vez, como eje integrador para el área rural, generando movimiento económico y social para la región, como así también para las comunidades aledañas; este tramo es utilizado para el transporte de materia prima como para el producto final elaborado por el Ingenio.

Siendo esta carretera una prueba real de la gran incidencia que tiene el peso de los vehículos cañeros en el deterioro de la carretera, no siendo éste el único factor destructivo. Actualmente este tramo se encuentra en pésimas condiciones de transitabilidad por la falta de mantenimiento.

En la carretera Bermejo-Los Ingenios la circulación de los vehículos cañeros de alto tonelaje a bajas velocidades y el actual sistema que se emplea en el transporte de carga (caña de azúcar), es deficiente porque dicha carga es transportada en forma transversal a los vehículos, siendo estos dos factores los que reducen más la capacidad de la carretera y no así como en otros lugares Ej. Santa Cruz, el transporte de la caña de azúcar se lo realiza en forma longitudinal a los vehículos.

Al mismo tiempo esta carretera ocasiona enormes gastos a los usuarios porque gastan mucho dinero en refaccionar sus vehículos, además dificulta su circulación al recorrerlo, no gozando de la comodidad, confort y seguridad que debe poseer una carretera.

Considerando lo expuesto anteriormente se justifica el estudio sobre esta problemática, por que el actual sistema de transporte afecta en gran manera a la

capacidad y ha llevado al deterioro completo de este tramo, ocasionando considerables daños a la economía de los transportistas.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar los efectos de las cargas de los vehículos cañeros sobre el pavimento, y su influencia en la capacidad del tramo Bermejo-Los Ingenios.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudiar los parámetros de evaluación del estado de una carretera.
- Estudiar las características de los vehículos transportadores de caña y las características de la circulación de estos vehículos en su trayectoria.
- Realizar el dimensionamiento del pavimento a partir de los factores de equivalencia de carga de vehículos cañeros.
- Realizar un análisis de toda la información obtenida y procesada donde se establezcan las conclusiones finales de las acciones de los vehículos cañeros.
- Realizar un inventario de la carretera Bermejo- Los Ingenios, de las obras de arte, las vías que tienen pavimento, las vías que tienen sólo ripio y su kilometraje.
- Determinar el nivel de servicio del tramo Bermejo-Los Ingenios.

### **4. ALCANCE**

El creciente aumento de los deterioros de nuestras vías en todo el departamento y en particular en Bermejo es producto de distintos factores, tráfico, sobrecarga, etc. es por eso que se plantea realizar un estudio particular de la acción de las cargas de los camiones cañeros, sobre las estructuras del pavimento, en las vías de dos carriles, localizados en las zonas de influencia del cultivo, explotación de la caña de azúcar.

En el trabajo se presentarán inicialmente los aspectos teórico básicos considerados en el estudio, posteriormente se consignarán las características de los vehículos

transportadores de caña, las características de las estructuras del pavimento, el cálculo de los factores de equivalencia de carga por cada tipo de vehículo cañero y un análisis de toda la información procesada donde se establecen las conclusiones finales de la acción de estos vehículos.

Estudiaremos también la influencia de los vehículos cañeros en la capacidad de una carretera, el efecto directo que éstos causan a la circulación de otros vehículos más pequeños y peatones; se determinará la capacidad y el nivel de servicio en los tramos más críticos, se planteará dar solución al problema con los datos obtenidos en el estudio de capacidad y deterioro de pavimentos.

Determinar el efecto destructivo de los vehículos cañeros y no cañeros, que transitan por las vías de dos carriles y caminos vecinales de toda la zona de Bermejo, mediante la determinación de los factores de equivalencia de carga y de los factores de daño por vehículo (cañero) utilizando la metodología, basada en los estudios a nivel de campo de la metodología de ASSHTO-93.

## DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS

### 2.1 EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL

El presente trabajo es realizado en el tramo carretero Bermejo Los Ingenios, que es materia del presente estudio, forma parte del futuro tramo carretero Bermejo – Caraparí y tiene como inicio la intersección la Av. Bolívar y Av. Víctor Paz en la ciudad de Bermejo (Prog.0 + 000), y como punto culminante Los Ingenios (Prog. 6 + 700), lo cual se puede observar en las siguientes fotografías.

#### Fotografías N° 1

##### De inicio y final del tramo en estudio

##### Inicio (Prog. 0 + 000)



##### Final (Prog. 6 + 700)



Durante todo el recorrido se pudo constatar que el pavimento, la carpeta asfáltica, bermas y cunetas se encuentran totalmente deterioradas, así tenemos las siguientes características técnicas:

Superficie de Rodadura	→	Totalmente deteriorada
Bermas	→	Deterioradas
Cunetas (de tierra)	→	(Deterioradas).

La evaluación superficial del tramo en estudio nos permitirá cuantificar los deterioros ocurridos para establecer las causas que llevaron al colapso de la carretera y así permitan cuantificar las responsabilidades del buen o mal uso de la misma.

### **Fotografía N° 2**

#### **Estado físico de la carpeta Asfáltica deteriorada**



Evaluación Superficial del Pavimento; consistió en la recopilación de toda la información que permita establecer los parámetros que reflejen el comportamiento funcional – estructural del Pavimento en servicio; en tal sentido los principales deterioros levantados en campo son los siguientes:

## 2.2 INVENTARIACIÓN

El inventario vial de la carretera Bermejo-Los Ingenios se realizó con el objetivo de identificar, cuantificar y evaluar la condición de todos los elementos de la carretera para un aprovechamiento al máximo del trazo actual.

Los elementos de la carretera identificados en este inventario fueron:

- Superficie de rodadura
- Bermas
- Cunetas
- Alcantarillas
- Puentes
- Señalización.

En los siguientes puntos se describe la metodología de este trabajo de diagnóstico de la situación actual de la carretera en estudio.

La metodología utilizada para el inventario vial se resume en la preparación de las tareas de campo, su ejecución, el análisis y procesamiento de información, hasta generar los resultados específicos relativos a los elementos básicos del inventario, es decir puentes, alcantarillas, cunetas, señalización.

Los inventarios de carreteras consisten en una recopilación ordenada de datos acerca de la carretera, sus elementos y sus características, que permite a sus gestores consultar en el gabinete una base de datos cada vez que necesiten conocer alguno de ellos como una ayuda para tomar una decisión, planificar una actuación o resolver un problema, por lo tanto, un inventario vial debe ser fiable, financiera y técnicamente estable, y estar actualizado. Hay que asignar unas competencias y unas tareas (claras y bien programadas), en relación con la recogida, el almacenamiento, la comprobación, etc., de los datos.

En un sentido amplio, se pueden incluir bajo el concepto de inventario las actividades siguientes:

- Los **aforos** del tráfico, que permite conocer su intensidad, velocidad, composición, origen y destino, etc.
- Los **inventarios** propiamente dichos, es un objeto fundamental.
- Las **inspecciones visuales** y explorando los elementos de la carretera (en especial de los firmes y de su superficie de rodadura), que permiten evaluar su estado.

En la gestión de la red viaria pueden formar parte de un inventario (en el sentido estricto) los siguientes elementos físicos:

a).- La **identificación** del elemento o característica inventariada: (Tabla N° 1)

- Tipo de carretera, y su número o designación oficial.
- Principio y final de tramo, el ramal.
- Topografía.

**Tabla N° 1**

**Identificación de los Elementos Característicos**

Descripción	Tipo de Carretera según		Progresivas		Ramal	Topografía
	ASSTHO	ABC	Principio	Final		
Tramo Urbano	C	III	0+000	1+120	Principal	plana
Tramo Rural	A	I a	1+120	6+700	Principal	Con lomerío

Fuente: Elaboración Propia.

b).- El **trazado**, resumido en las siguientes características:

- Número de curvas en planta, el radio.
- La inclinación transversal de la calzada.
- La inclinación de la rasante y su velocidad de variación.
- Calzada: única, separadas, sistemas de calzadas centrales y laterales.
- El número de los carriles (por sentido).



- La presencia de cunetas, drenajes y bermas.

**Tabla N° 2**

**Características de Trazado**

Descripción	N° de Curvas	Inclinación transversal (%)	Pendiente Máxima (%)	Velocidad Directriz (Km./hr.)	Derecho de vía
Tramo Urbano	0	2	5	30	----
Tramo Rural	2	2,5	7	70	No tiene

Fuente: Elaboración Propia.

Descripción	Ancho de Plataforma (m.)	Ancho de Base (m.)	N° Carriles	Cuneta	Ancho de Bermas (m.)
Tramo Urbano	7,5	7,5	2	sin cunetas	----
Tramo Rural	12,1	7,5	1	de tierra	1,0

Fuente: Elaboración Propia.

- c).- Los puentes, muros, con sus dimensiones.

**Tabla N° 3**

**Características de Obras de Arte**

Progresiva	Puente	Muro	Dimensiones (m)		Observaciones
			a (ancho)	b (largo)	
0+850	1		8,5	8,5	Conservado, nivel de quebrada 2m.
1+250	1		8.5	6.5	Deteriorado, nivel de quebrada 2,15m.
3+480	1		13	6.5	Socavado, nivel de quebrada 6,5m
4+820		1	0,3	12	Conservado.

Fuente: Elaboración Propia.

- d).- Las dotaciones viarias:

- Señalización horizontal y vertical.
- Dispositivos para la contención de vehículos.
- Alumbrado.

Tabla N° 4

## Dotaciones Viarias

Descripción	Tramo Urbano	Tramo Rural	Observaciones Tramo Urbano	Observaciones Tramo Rural
Señales Verticales	5	3	En buen estado	Deteriorada
Señales Horizontales	----	----	No existen	No existen
Dispositivos de contención	----	----	No existen	No existen
Alumbrado	6	----	solo 4 cuadras	No existen.

Fuente: Elaboración Propia.

e).- Los usos del suelo colindante, con sus linderos. (ver. fotografía N° 3 satelital)

Tabla N° 5

## Usos de Suelos Colindantes

Área Urbana	Área Rural
Viviendas Familiares	Cultivos Caña de Azúcar

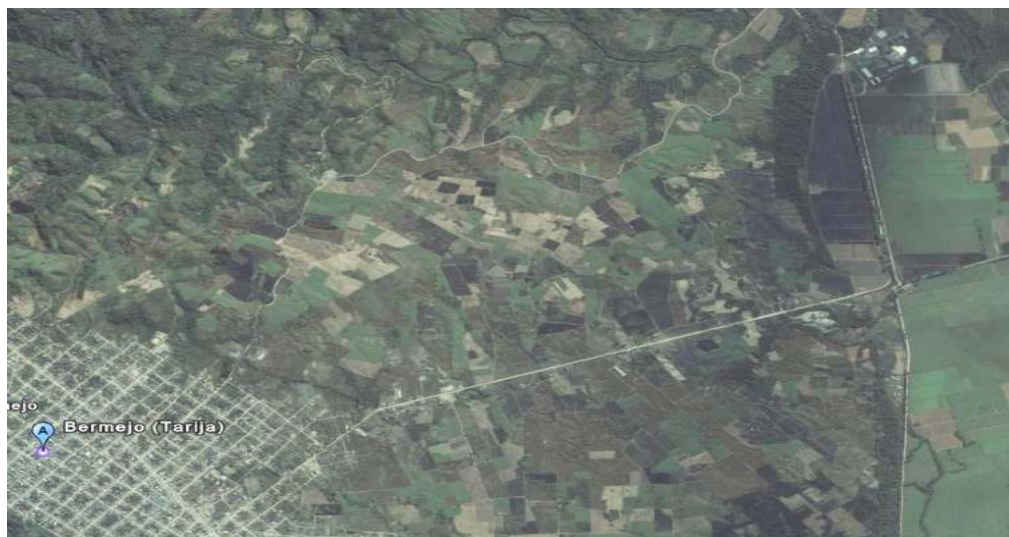
Fuente: Elaboración Propia.

## 2.2.1 TRABAJO DE CAMPO

El trabajo de campo se realizó haciendo una inspección a detalle de toda el área que comprende el tramo Bermejo-Los Ingenios, dicho tramo se puede observar en la siguiente fotografía:

Fotografía N° 3

## Vista Satelital, Uso de Suelos



A continuación se presenta una descripción general de cada número de nivel, tal como califica la condición de campo:

- 5** Condición excelente: Prácticamente nuevo.
- 4** Buen estado: Requiere únicamente de mantenimiento rutinario.
- 3** Condición aceptable: Necesita algunas, reparaciones.
- 2** Condición pobre: Requiere de reparaciones grandes. Algunas partes del elemento ya han fallado y requieren ser reemplazadas.
- 1** Condición pésima: Totalmente fuera de servicio. Requiere de reemplazo total e inmediato.

### **Alcantarillas**

El procesamiento de la planilla de alcantarillas en el tramo urbano y rural nos muestra los siguientes resultados:

**Tabla N° 6**  
**Condición de Alcantarillas**

<b>TIPO</b>	<b>CONDICIÓN URBANA</b>					<b>CONDICIÓN RURAL</b>					<b>TOTAL (N°)</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	
T (TUBO)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C (CAJON)	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	1
<b>TOTAL</b>	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Fotografía N° 4****Estado de la salida de la alcantarilla****Fotografía N° 5****Estado de la entrada de la alcantarilla**

Como se puede observar en las fotografías necesita de limpieza y rehabilitación de ingreso de la alcantarilla.

Existe socavación seria, que pone en peligro la estabilidad y funcionamiento de la estructura.

Existen fisuras o deterioros de consideración en la alcantarilla y sus elementos, que deben ser reparados para asegurar su debido funcionamiento.

## Cunetas

La inventariación de las cunetas se las realizó solamente por la condición en que se encuentran, las cunetas actualmente son de tierra; en la siguiente Tabla resumen no se especifica la ubicación, en la sección transversal, es decir a la derecha o izquierda, solamente la condición de deterioro de la cuneta.

**Tabla N° 7**

### Condición de Cunetas

TIPO	CONDICIÓN URBANA					CONDICIÓN RURAL					TOTAL (N°)	
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
CR (CUNETA REVESTIDA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CT (CUNETA DE TIERRA)	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	2
TOTAL	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2

Fuente: Elaboración Propia.

### Fotografía N° 6

**Se observa la falta de cunetas en el tramo urbano**





### Fotografía N° 7

**Se observa la falta de cunetas en el tramo rural**



Después de hacer una inspección a las cunetas tramo urbano y rural y comprobando con las fotografías se encuentran totalmente llenas de material por sedimentos, ripio, derrumbes y basura requiriendo limpieza mecánica por completo; para mejorar su funcionamiento.

La gradiente y la sección transversal deben ser restablecidas en un corto plazo.

### **Puentes**

La ubicación de los puentes 1 y 2 se encuentran dentro del área urbana, se indica en la Tabla siguiente, sus características geométricas básicas, así como la clasificación general para cada estructura tal como se explica en la siguiente sección.

El código para clasificar puentes se compone de dos letras: la primera se refiere a la superficie de hormigón HH y la segunda a la superficie de asfalto HA de rodadura:

**Tabla N° 8**  
**Condición de Puentes**

TIPO	CONDICIÓN URBANA					CONDICIÓN RURAL					TOTAL
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
H H	-	X	X	-	-	-	-	X	-	-	3
H A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	-	1	1	-	-	-	-	1	-	-	3

Fuente: Elaboración Propia.

**Fotografía N° 8**  
**Condición del puente N° 1.**





**Fotografía N° 9**  
**Condición del puente N° 2.**



**Fotografía N° 10**  
**Condición del puente 3.**





Las fotografías mostradas de los tres puentes nos refleja el estado de deterioro tal es el caso del puente N° 2 que le falta una baranda, la cual necesita ser reparada urgentemente, ya que constituye un peligro para el tráfico y peatones al no tener la baranda de contención.

Las juntas de expansión deben ser limpiadas y reparadas. Algunas secciones de las defensas deben ser reparadas o reemplazadas. La superficie de rodadura de los puentes está completamente recubierto de ripio. El puente N° 3 presenta una excesiva socavación, y corre peligro de fallar.

### **Superficie de rodadura**

Se consideran los siguientes tipos de superficie:

- a) Caminos de Grava.
- b) Caminos de Tierra.

La condición de los caminos de grava y de tierra, requiere consideraciones diferentes que en una evaluación de pavimentación asfáltica o de concreto.

El estado superficial de un camino puede variar de un día a otro, ya sea a consecuencia de lluvias intensas o de un tráfico vial pesado.

La evaluación de un camino de grava o de tierra es el factor principal en la determinación de la condición del camino, es por ésto que para efecto de asignar una determinada condición de estado a una superficie no pavimentada que es inventariada, se ha adoptado una metodología basada en criterios para su calificación que será siempre contrastada con la clasificación de fallas que aparece en:

**Tabla N° 9.**

#### **Condición de superficie de rodadura**

TIPO	CONDICIÓN URBANA					CONDICIÓN RURAL					TOTAL
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
C G	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-	2
C T	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	2

Fuente: Elaboración Propia.

Regular recubrimiento de grava. Pérdida de agregados y espesor de aproximadamente 5 cm. en todo el tramo de ripio.

### Fotografía N° 11

#### Pérdida de Agregados y espesor superficial



La superficie de rodadura del tramo tiene 6.7 Km. de tierra con un ancho promedio de 7.30 m., por la condición de la superficie de la carretera se puede decir que está en mal estado debido a que la superficie de rodadura del pavimento está totalmente deteriorado.

#### Señales verticales

La existencia de cada señal vertical se indica en la Tabla N°10 . Los códigos para clasificar las señales verticales se refieren al tipo de señal y al material de soporte y de la señal misma, respectivamente:

**Tabla N°10**

#### Condición de señales verticales

TIPO	CONDICIÓN URBANA					CONDICIÓN RURAL					TOTAL (m)
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
AA	X	X	X	-	-	-	X	X	-	-	5

HA	-	X	X	-	-	-	X	-	-	-	3
TOTAL	1	2	2	-	-	-	1	2	-	-	8

Fuente: Elaboración Propia.

Referente al tipo de señal se utilizaron los siguientes códigos:

- P: Preventiva: Señalan en rombo (cuadrilátero) color amarillo y negro.
- R: Restrictiva: Señal de Pare (Octogonal), ceda el paso (triangular), señal limitativa o prohibitiva (rectangular).
- I: Informativa: Señal de forma rectangular, proporciona información sobre direcciones y destinos de los caminos, poblaciones, distancias y lugares de interés.

En relación al material de soporte y de la señal, se utilizaron los siguientes códigos:

- AA: Poste de acero, señal de acero.
- HA: Poste de concreto con señal de acero.

### Fotografías N° 12

#### Señalización condición urbana.



## Fotografías N° 13

### Señalización condición rural



### 2.2.2 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA INVENTARIACIÓN

Los principales factores que se deben tomar en cuenta, una vez fijada la naturaleza de los datos requeridos en un inventario, así como su rango de variación, hay que examinar las posibles fuentes de cada uno de ellos: Clima, tráfico y geometría.

### 2.2.3 CLIMA, TRÁFICO Y GEOMETRÍA

#### 2.2.3.1 CLIMA

El clima influye en varios aspectos en el comportamiento de los pavimentos en una carretera:

- La respuesta mecánica y la fatiga de los materiales bituminosos está íntimamente relacionada con la temperatura, siendo un factor a considerar en el deterioro de una carretera.

- La seguridad de los vehículos ante el deslizamiento está íntimamente ligada a la textura de la superficie del pavimento y a la presencia de agua. Parece imprescindible ligar ambas teniendo en cuenta la pluviometría.
- Las precipitaciones elevadas ocasionan problemas de drenaje insuficiente, consiguiente saturación de suelos con disminución de capacidad portante, arrastres e inundaciones.

Los valores de precipitación están directamente relacionados con el diseño de las obras de drenaje, entonces debemos contar con estos valores, especialmente los realizados en el área de estudio y en un tiempo aceptable de medición.

### **2.2.3.2 TRÁFICO**

El tráfico es un parámetro fundamental a tener en cuenta dentro de un sistema de gestión por dos razones: una es que la vida de los pavimentos (adecuadamente construidos) viene determinada principalmente por el tráfico pesado, y la otra es que la repercusión que el estado de los pavimentos tiene en el usuario, es mayor a medida que la intensidad de tráfico se incrementa.

Para el sistema de gestión es necesario distinguir entre vehículos pesados y ligeros. El peso de los vehículos pesados es también un factor determinante. Sin embargo, realizar un estudio mediante básculas fijas de los pesos de los vehículos no es tarea fácil. Los sistemas de pesaje en movimiento pueden facilitar esa labor. Gracias a ellos, se pueden pesar todos los vehículos que pasen por una sección de la carretera de forma automática. Aunque sería deseable establecer esos sistemas de forma permanente, la realización de campañas en distintos puntos del tramo puede servir para conocer con mayor aproximación las cargas reales que soportan los pavimentos. Si no se dispone de sistemas de pesaje, se puede asignar las cargas de modo teórico, teniendo en cuenta la flota de vehículos que utilizan el tramo y suponiendo un cierto grado de aprovechamiento de las posibilidades de carga de cada vehículo.

Como sabemos una carretera está diseñada y gestionada para dar un servicio y soportar un tráfico de vehículos. Esta afirmación se refiere a todos los aspectos de:

- Capacidad.
- Seguridad.
- Condiciones del pavimento.
- Otros elementos.

Desde el punto de vista del pavimento existe una correspondencia biunívoca entre, el tipo de pavimento y el deterioro causado por el eje de un vehículo.

La evolución de un pavimento es la acumulación de deterioros.

En el marco de un sistema de gestión de pavimentos, el tráfico se analiza de acuerdo a diferentes indicadores.

- Número de vehículos por categorías, por unidad de tiempo, hora, día, año.
- Velocidad de los vehículos en las diferentes partes del tramo. Se puede llegar hasta niveles de congestión.
- Clasificación de los ejes según sus cargas.
- Datos sobre la utilización de los vehículos, tales como los kilómetros anuales, número de pasajeros y costos unitarios de funcionamiento.
- Frecuencia, tipo y causas de los accidentes y costos de los mismos en los aspectos básicos de mortandad, gastos hospitalarios de discapacidad, y daños materiales.

### **2.2.3.3 GEOMETRÍA**

En cuanto a la geometría es importante conocer algunos parámetros que posteriormente nos servirán para estudiar elementos que afectan especialmente a la seguridad vial, los más importantes a tomar en cuenta son:

- Radio de curvatura.
- Pendiente longitudinal.
- Ancho.

- Inclinación de taludes (cuando existan).

Estos parámetros vienen a ser un elemento clave a tomar en cuenta, en la seguridad del usuario.

De esta forma ver la variación que pudo haber ocurrido en todos los años que estuvo en servicio, los posibles efectos y deformaciones que pudieran haber suscitado, y las consecuencias que en este caso podrían ser muy malas si nos referimos al drenaje y la influencia de éste en la vida útil de la carretera.

### **2.3 PARÁMETROS QUE SE EVALÚAN**

Para evaluar una carretera, necesitamos muchos datos o parámetros los cuales servirán para que a partir de estos podamos analizarlos y sacar posibles conclusiones las cuales permitan obtener la mejor solución al problema.

Los técnicos de carreteras han mostrado una gran preocupación por construir unas vías cómodas y seguras para la circulación y unos pavimentos capaces de resistir la acción de las cargas que transitan por ellos durante un periodo de tiempo.

Para que éstos cumplan adecuadamente su misión, tienen que tener una serie de características que conviene resaltar, y que se suelen dividir en estructurales y superficiales, según que correspondan a las del conjunto estructural de la carretera.

Las características estructurales principalmente afectan a la comodidad y seguridad del conductor, obviamente éstas también inciden en el entorno de la red y en la economía, se pueden distinguir: las características funcionales, que el pavimento proporciona al funcionamiento de los vehículos, y las de protección superficial a la estructura del pavimento.

Las características estructurales están relacionadas a la estructura del pavimento, es decir tiene que ver con la formación de sus capas, el material y la capacidad portante de las mismas, estas características afectan principalmente a la vida útil del pavimento.



## **2.4 ESTUDIOS DE RUGOSIDAD**

La rugosidad de una superficie de una carretera tiene su influencia directa sobre sus costes de mantenimiento y de los vehículos que la transitan. Las medidas de rugosidad servirán para la formación de un programa que tienda a minimizar los costes, obtener la mejor combinación posible de las operaciones de mantenimiento y disminuir los costes de operación de los vehículos.

La regularidad superficial es una propiedad funcional que suele apreciar el usuario por su incidencia en la comodidad de la circulación, aunque en casos extremos, puede afectar incluso a la seguridad: retenciones de agua que afecten el hidropneumático, pérdida del dominio de volante, inestabilidades en la circulación de dimensiones.

Las irregularidades superficiales se deben a las diferencias verticales que existen entre la superficie teórica del pavimento (definida, por ejemplo en el proyecto), y su superficie real, dentro de un determinado campo de dimensiones.

El estudio de estas diferencias constituye un problema tridimensional, pero lo usual es simplificarlo considerando por separado el sentido longitudinal y el sentido transversal. Con esto se reduce a un caso bidimensional que puede analizarse levantando los perfiles en uno y otro sentido.

La medición de la rugosidad de un camino se la realiza por varios métodos empleando amplios y diferentes sistemas, pero ninguno de ellos llega a ser completamente aceptado.

### **2.4.1 ÍNDICE DE REGULARIDAD SUPERFICIAL**

La regularidad incide en la comodidad de los usuarios y en los costes de operación de los vehículos. La regularidad puede proporcionar información sobre el estado en que se encuentran los pavimentos. Para ello es necesario conocer como ha evolucionado a lo largo del tiempo. Así la aparición de baches en un pavimento modifica su regularidad. No debe tomarse como un valor absoluto a la hora de considerar la vida útil de los pavimentos. Es necesario conocer su evolución para poder relacionar, estado estructural con la regularidad, pues puede darse el caso de pavimentos,



deficientemente contruidos que tengan una mala regularidad antes de ponerse en servicio. Además, la evolución de la regularidad es apreciable en los pavimentos muy flexibles, mientras que en los firmes más rígidos se llega antes al agrietamiento generalizada que en un descenso considerable de la regularidad.

El índice IRI (Índice de Regularidad Internacional), desarrollado por el Banco Mundial es el más utilizado en el mundo para la medida de la regularidad, aunque hay administraciones que emplean, otros.

La regularidad se puede medir de manera longitudinal y también transversal, es de ahí que contamos con dos tipos de mediciones (Regularidad Longitudinal y Regularidad Transversal).

Para la medición de la regularidad se utilizan diferentes equipos desde lo más convencional hasta los más modernos de alto rendimiento dotados con láser. Sin embargo, siguen utilizándose equipos mecánicos como: Merlín, APL Francés, Bump Integrator, los Perfilómetros y otros.

#### **2.4.2 REGULARIDAD LONGITUDINAL**

En el estudio longitudinal se define como falta de regularidad la provocada por los defectos con una longitud de onda comprendida entre 0,5 m. y 50 m. (con amplitudes que suelen variar de unos pocos milímetros a unos 20 cm.).

Las irregularidades longitudinales son siempre indeseables, por su repercusión negativa en la comodidad y de seguridad de los usuarios, en el coste del funcionamiento de los vehículos e incluso en la vida de los pavimentos, por efecto de las cargas dinámicas de los vehículos pesados.

#### **2.4.3 REGULARIDAD TRANSVERSAL**

Las regularidades transversales tienen menor repercusión que las longitudinales pero también ocasionan ciertas deficiencias como ser:

- Conducción forzada en las bermas, que perjudica la comodidad e incluso la seguridad (sobre todo en caso de motocicletas).

- Acumulación de aguas, con el consiguiente peligro para todos los vehículos.
- Diferencias de la deformación de las rodadas, que pueden causar balanceo en los vehículos (incomodidad), o transformación de carga de unas ruedas a otras (riesgo de pérdida de control).

## **2.5 FALLAS**

Existen numerosas clases de fallas que afectan la seguridad y comodidad del usuario, y éstas son las alteraciones que sufre un pavimento debido a distintas causas como ser insuficiencia de paquete estructural, que ésta directamente relacionado a las cargas de los vehículos y la frecuencia con que estos vehículos circulan sobre la carretera, deficiencias en el drenaje o en los dispositivos de drenaje, mala adherencia al asfalto con el suelo, y un sin número de motivos los cuales podrían causar cualquier tipo de falla sobre el pavimento.

- Deformaciones permanentes.
- Longitudinales.
- Transversales.
- Fisuración.
- Agrietamientos.
- Desprendimientos.

La falta de atención a estos indicadores, lleva a pagar costos de reparación excesivos a los usuarios de las carreteras.

### **2.5.1 DEFORMACIONES**

Variación que experimentan las dimensiones de la carretera bajo la acción de una fuerza exterior perpendicular debida a las cargas transmitidas hacia ésta, cuyas deformaciones pueden ser elásticas o permanentes.

La falta de atención a estos indicadores, lleva a pagar costos de reparación excesivos. En general la responsabilidad recae no sólo en los equipos técnicos, sino también en

las esferas de la “planificación estratégica de mantenimiento”, que implica la toma de decisiones políticas.

### **2.5.2 AHUELLAMIENTO**

Son las depresiones longitudinales continuas a lo largo de las huellas de canalización del tránsito de longitud mayor de 6 m. se produce cuando la capacidad de soporte del paquete estructural es excedido, de modo que se manifiestan deformaciones permanentes en la superficie, las que van en aumento en cada aplicación de carga modificando los perfiles de calzada.

Cuando la flecha de huella externa es del orden de 2 o 2.5 cm. es necesario efectuar una corrección en el pavimento, puesto que estos valores ya resultan intolerables para la comunidad y para la seguridad del usuario. Pueden subdividirse en:

- Pequeño radio de influencia (responsabilidad principal: pavimento).
- Gran radio de influencia (responsabilidad principal: suelo y fundación).

Las causas principales que los pudieran haber provocado son:

- Espesor insuficiente para el tránsito.
- Falta de estabilidad de la fundación y del pavimento.

### **2.5.3 HUNDIMIENTOS.**

Son las pérdidas del perfil original; depresiones localizadas; fallas por corte o punzonamiento. Pueden subdividirse en:

- Hundimientos localizados internos.
- Hundimientos localizados en el borde.
- Hundimientos de gran longitud debidos a deficiencias profundas de la fundación.

Las causas principales son:

- Heterogeneidades y deficiencias constructivas (principalmente bases y sub-bases con pesadas cargas de tránsito y asociados a un debilitamiento estructural).
- Falta de sobre ancho.
- Falla por corte debida a profundos movimientos de asentamiento de la sub-rasante.

## **2.5.4 FISURAS**

### **2.5.4.1 LONGITUDINALES**

Son fisuras o grietas longitudinales paralelas al eje. En general su ubicación refleja la causa más probable, pueden estar ubicadas en:

- Huellas de canalización de tránsito.
- En centro o cercano a los bordes de la calzada.
- Cercano a bordes de la calzada.

Las causas que las pueden provocar son:

- Cargas pesadas frecuentes.
- Asociadas a deficiencias de construcción.
- Asociadas a suelo de fundación y obra básica (a veces infra-diseño).
- Contracción de mezclas asfálticas (materiales o clima)

### **2.5.4.2 TRANSVERSALES**

Son las fisuras o grietas rectilíneas perpendiculares al eje, de longitud variable. De repetirse a intervalos equidistantes por reflexión.

Las causas que pueden provocar son:

- Contracción de mezclas asfálticas (materiales o clima).
- Infra-diseño frente a tránsito circulante.

- Deficiencias constructivas.

#### **2.5.4.3 EN BLOQUE**

Son fisuras o grietas interconectadas formando grandes (o pequeños) polígonos, bordes regulares, ángulos vivos y netos, muchos a 90°. Las causas que lo producen son:

- Fatiga.
- Contracción de mezcla asfáltica.
- Falta de estabilidad de capas del pavimento.

#### **2.5.4.4 PIEL DE COCODRILO**

Son fisuras interconectadas formando pequeños polígonos irregulares; bordes irregulares y ángulos agudos. Las causas que los provocan son:

- Fatiga (altas deflexiones y bajos radios de curvatura).
- Pavimento muy rígido sobre fundación muy re-silente, sometido a cargas pesadas y frecuentes. Evolución de las fisuras en bloque.

#### **2.5.4.5 BACHES**

Desintegración total de la superficie de rodadura que puede extenderse a otras capas del pavimento, formando una cavidad de bordes y profundidades irregulares.

Los baches se ocasionan por conjunción de varias causas: fundaciones y capas inferiores inestables; espesores insuficientes; defectos constructivos; retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas. La acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento y/o fundación, o sobre áreas en las que se han desarrollado fisuras tipo piel de cocodrilo, que han alcanzado un alto nivel de severidad, provoca la desintegración y posterior remoción de parte de la superficie del pavimento, originando un bache.

Los baches son deterioros que se caracterizan por la pérdida de la carpeta asfáltica y en algunos casos hasta la base granular, y que dificultan la transitabilidad.

#### 2.5.4.6 DISGREGACIONES

Son los desprendimientos de agregados de rodamiento éstas son las peladuras y desintegraciones.

- Peladura; es la desintegración superficial de la carpeta asfáltica como consecuencia de la pérdida de ligante bituminoso y del desprendimiento del agregado pétreo, aumentando la textura del pavimento y exponiendo cada vez más los agregados a la acción del tránsito y clima.

Esta anomalía es indicativa que el ligante se ha endurecido apreciablemente, perdiendo sus propiedades ligantes, o bien que la mezcla asfáltica existente es de deficiente calidad, ya sea por un contenido de ligante insuficiente, empleo de agregados sucios o muy absorbentes, como también por deficiencias durante la construcción, especialmente en tratamientos superficiales bituminosos; frecuentemente se presenta como un desprendimiento de agregados en forma de estrías longitudinales, paralelas a la dirección del riego. El desprendimiento puede ser originado también en un proceso de descubrimiento por pérdida de adherencia entre el agregado y el asfalto, cuando actúan agentes agresivos tales como solventes y otros derivados del petróleo, e inclusive, la acción del agua (pluvial).

- Desintegraciones; consiste en la progresiva destrucción de los bordes del pavimento por la acción del tránsito. Se hace particularmente manifiesto en pistas con cuestas no pavimentadas, en las que existe una significativa porción de vehículos que accede a la cuesta del pavimento o en el sentido contrario.

La causa primaria es la acción localizada del tránsito, tanto por su efecto abrasivo como por el poder destructivo de las cargas, sobre el extremo del pavimento donde la debilidad de la estructura es mayor debido al menor confinamiento lateral, deficiente compactación del borde, etc.

#### **2.5.4.7 EXUDACIONES**

Consiste en el afloramiento de un material bituminoso de la mezcla asfáltica a la superficie del pavimento, formando una película continua de ligante, creando una superficie brillante, reflectante, resbaladiza y pegajosa durante el tiempo cálido.

Las causas que lo producen son:

- Deficiencia en la mezcla asfáltica.
- Deficiencias constructivas.

Dado que el proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, el asfalto se acumula en la superficie, son las separaciones y ascensos de morteros y descensos del material grueso, y suceden por las deficiencias en la mezcla asfáltica.

### **2.6 FALLAS EN EL TRAMO DE ESTUDIO BERMEJO – LOS INGENIOS**

#### **2.6.1 SECCIÓN TRANSVERSAL INADECUADA**

##### **2.6.1.1 DESCRIPCIÓN**

Deformaciones en la superficie de la carretera que no permiten el flujo de las aguas pluviales y dificultan el tránsito.

##### **2.6.1.2 POSIBLES CAUSAS**

Están relacionadas con el asentamiento diferencial de la carretera, el movimiento de los materiales del pavimento por acción de las aguas pluviales, ausencia de drenes y cargas del tránsito.

##### **2.6.1.3 NIVELES DE SEVERIDAD**

La sección transversal es inadecuada cuando existen altas posibilidades de quede el agua acumulada en su superficie (empozamientos). Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano y Alto) en función de dicho parámetro, de acuerdo con la siguiente guía:

**B (Bajo)** Cuando los empozamientos ocupan menos del 10% de la sección transversal de la carretera y son poco profundos.

**M (Mediano)** Cuando los empozamientos ocupan entre el 10% y el 30% de la sección transversal de la carretera y son poco profundos.

**A (Alto)** Cuando los empozamientos ocupan más del 30% de la sección transversal de la carretera y son poco profundos o cuando estos originan grandes acumulaciones de agua.

#### 2.6.1.4 MEDICIÓN

Son medidas según su severidad, como porcentaje de la longitud total de la sección que presenta este daño.

**Figura N° 2**

#### **Niveles de Severidad Empozamientos**



**Fotografía N° 15**

#### **Sección transversal con acumulación de agua**





## **2.6.2 CORRUGACIONES**

### **2.6.2.1 DESCRIPCIÓN**

Serie de ondulaciones constituidas por crestas y depresiones perpendiculares a la dirección del tránsito, los cuales se suceden muy próximas, unas de otras, a intervalos aproximadamente regulares, en general menores de 1 metro, a lo largo de la superficie.

### **2.6.2.2 POSIBLES CAUSAS**

Este daño es usualmente causado por la acción del tránsito y la falta de cohesión del material de superficie; desarrollándose mayormente en la época seca. Los materiales que presentan baja plasticidad, escasez de finos y agregados de tamaño mayor de 5 cm. son más susceptibles de desarrollar este daño.

### **2.6.2.3 NIVELES DE SEVERIDAD**

La severidad de la corrugación se determina en función de la profundidad de la depresión entre dos crestas. Éstas se miden con una regla de 2.0 metros de longitud colocada a lo largo de la carretera. Se promedian los valores máximos de las depresiones. Se definen tres niveles de severidad (alto, mediano, bajo) de acuerdo con la siguiente guía:

**B (Bajo)** La profundidad promedio es menor de 2 cm.

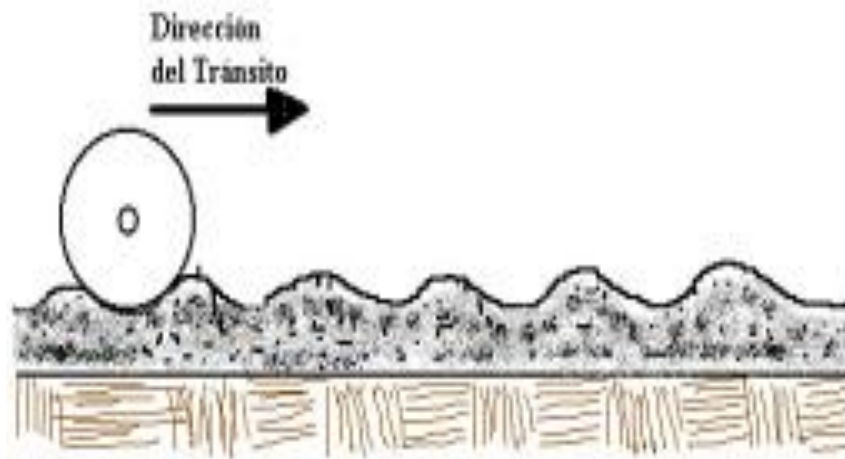
**M (Mediano)** La profundidad promedio está comprendida entre 2 y 5 cm.

**A (Alto)** La profundidad promedio es mayor de 5 cm.

### **2.6.2.4 MEDICIÓN**

Las corrugaciones son medidas según su severidad, como porcentaje de longitud total de la sección que presenta este daño.

**Figura N° 3**  
**Corrugaciones**



**Fotografía N° 16**

**Corrugaciones tramo Bermejo-Los Ingenios**



### **2.6.3 AHUELLAMIENTO**

#### **2.6.3.1 DESCRIPCIÓN**

Es una deformación longitudinal continua a lo largo de las huellas de canalización del tránsito, de longitud mínima de 6 m. En casos extremos la sección transversal de la carretera muestra un perfil en forma de W.

### 2.6.3.2 POSIBLES CAUSAS

Es la acción de las cargas transmitidas por los neumáticos de los vehículos, así como por la frecuencia de los mismos. Las características del material de superficie y las condiciones climáticas son factores que posibilitan el desarrollo de este daño. Por ejemplo, materiales arcillosos en clima húmedo o materiales sin cohesión (arenoso) en clima seco.

### 2.6.3.3 NIVELES DE SEVERIDAD

La severidad del ahuellamiento se determina en función de la profundidad de la huella, midiendo ésta con una regla de 2 m. de longitud colocada transversalmente al eje de la carretera. La medición se efectúa donde la profundidad es mayor, promediando los resultados obtenidos a intervalos de 3 m. de largo de la huella. Se definen tres niveles de severidad (alto, mediano, bajo) de acuerdo con la siguiente guía:

**B (Bajo)** La profundidad promedio es menor de 2 cm.

**M (Mediano)** La profundidad promedio está comprendida entre 2 y 5 cm.

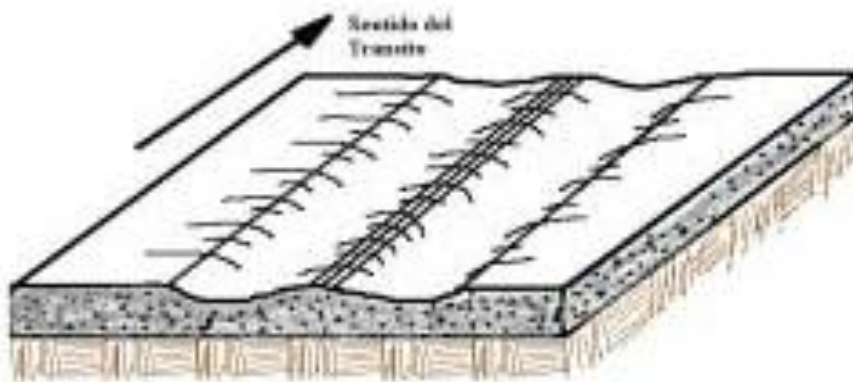
**A (Alto)** La profundidad promedio es mayor de 5 cm.

### 2.6.3.4 MEDICIÓN

Los ahuellamientos son medidos según su severidad, como porcentaje de longitud total de la sección que presenta este daño.

**Figura N° 4**

### **Ahuellamiento**



## Fotografía N° 17

### Ahuellamiento tramo Bermejo – Los Ingenios



#### 2.6.4 PÉRDIDA DE AGREGADOS

##### 2.6.4.1 DESCRIPCIÓN

Se refiere a la separación de los agregados de la capa de superficie, quedando dichos agregados en estado suelto y formando cordones a lo largo de la carretera.

##### 2.6.4.2 POSIBLES CAUSAS

Principalmente se origina por acción del tránsito sobre capas de superficie carente de finos plásticos y con presencia de agregados cuyas partículas son mayores a 5 cm. El daño se desarrolla con mayor rapidez cuando las partículas carecen de angulosidad. El tránsito desplaza longitudinalmente los agregados gruesos a las orillas de las huellas de canalización o ahuellamiento.

##### 2.6.4.3 NIVELES DE SEVERIDAD

Según la altura de los cordones longitudinales sueltos que se forman, se definen tres niveles de severidad (alto, mediano, bajo) de acuerdo con la siguiente guía:

**B (Bajo)** Altura promedio del cordón menor de 5 cm.

**M (Mediano)** Altura promedio del cordón entre 5 y 10 cm.

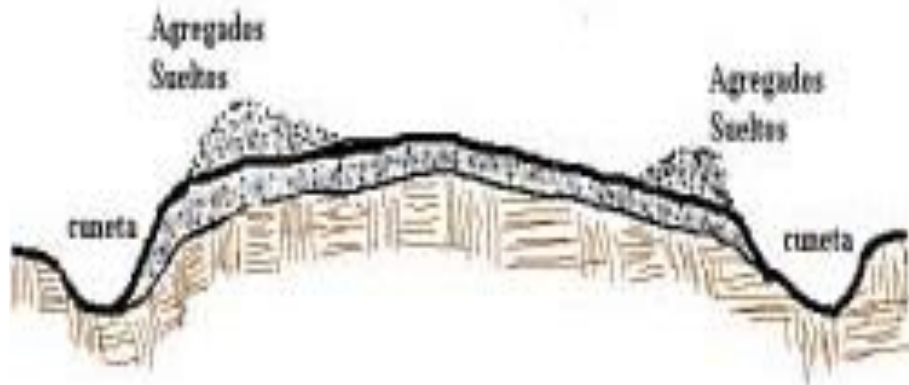
**A (Alto)** Altura promedio del cordón mayor de 10 cm.

#### 2.6.4.4 MEDICIÓN

La pérdida de agregados es medida según su severidad, como porcentaje de la longitud total de la sección que presenta este daño.

**Figura N° 5**

#### **Pérdida de Agregados**



**Fotografía N° 18**

#### **Pérdidas de agregados Tramo Bermejo – Los Ingenios**





## Fotografía N° 19

### Pérdidas de agregados Tramo Bermejo – Los Ingenios



#### 2.6.5 BACHES

##### 2.6.5.1 DESCRIPCIÓN

Cavidades en la superficie de la carretera en forma de tazón, cuyo diámetro promedio usualmente es menor de 1 m.

##### 2.6.5.2 POSIBLES CAUSAS

Son muy variadas las causas que originan este daño. Se producen debido a un estado muy avanzado de otros daños, por ejemplo las corrugaciones, ahuellamientos,

etc. y también por la combinación del tránsito, clima y características de los materiales de la rodadura, son factores que influyen en la formación de este daño. Este daño tiende a desarrollarse durante la época húmeda, durante la cual cualquier deformación en la superficie, posibilita la concentración de agua y por tanto el debilitamiento de dichas áreas.

### 2.6.5.3 NIVELES DE SEVERIDAD

Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano, Alto) en función del diámetro promedio y profundidad del bache, condición y estado de los bordes, de acuerdo a la siguiente tabla:

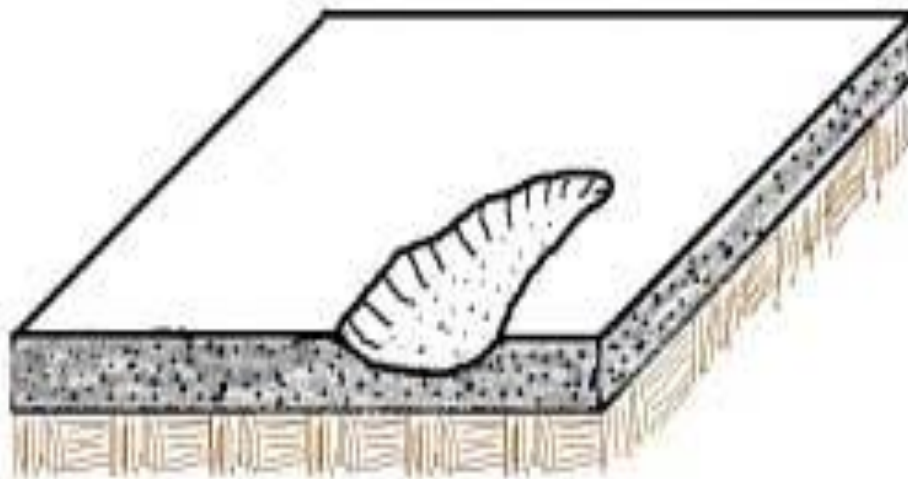
Profundidad	Diámetro Promedio del Bache (cm)			
	Máxima (cm)	Menor a 30	30 - 70	Mayor a 70
Menor de 2.5		B	B	M
De 2.5 – 5		B	M	A
Mayor de 5		M	M	A

### 2.6.5.4 MEDICIÓN

Los baches pueden medirse contando el número de baches con nivel bajo, mediano y alto de severidad por cada 100 metros de longitud de la carretera.

**Figura N° 6**

**Baches en el tramo**



## Fotografía N° 20

### Baches con acumulación de agua Tramo Bermejo – Los Ingenios



## 2.7 CONDICIONES DE DRENAJE

Uno de los aspectos más importantes en la ubicación y proyecto de carreteras rurales y calles en las ciudades, es la necesidad de proporcionar un drenaje adecuado. Es absolutamente esencial un drenaje conveniente y económico para proteger la inversión hecha en la estructura de las carreteras y la vida de las personas que la usen.

El flujo de agua que tiene importancia para los ingenieros de carreteras es el que resulta por lo general de la precipitación en forma de lluvia, nieve o hielo fundido. Una parte del agua superficial se infiltra en el suelo, en tanto el resto permanece sobre la superficie de la tierra y debe eliminarse de alguna manera lejos del camino.

En ciertas instancias es importante el control de aguas subterráneas (aguas freáticas), como es caso de flujo subterráneo encontrados en el corte de carretera o en el lugar donde el nivel freático se encuentra cerca de la superficie.



### 2.7.1 DRENAJE SUPERFICIAL

La eliminación del agua es un aspecto vital en el éxito o en el fracaso de una infraestructura viaria. El agua precipitada sobre la plataforma y las márgenes de la vía discurre, en primer lugar sobre la superficie en un flujo difuso que se caracteriza por tener una gran extensión, una velocidad moderada y un calado reducido y creciente a medida que aumenta la cuenca que aporta el agua. Se dice porque lo que se quiere es reducir el agua que fluye superficialmente al camino, mediante la captación de la misma, y en segundo lugar la forma de dar rápida salida al agua que entra inevitablemente al mismo. Las principales obras de drenaje superficial son:

- Cunetas
- Contra-cunetas
- Bombeo del camino
- Alcantarillas.

El desagüe superficial, en particular, es básico en toda infraestructura lineal, ya que de alguna manera establece el nivel de seguridad que tiene para:

- Funcionar correctamente durante una precipitación pluvial.
- Asegurar un buen funcionamiento en un eventual drenaje subterráneo
- Permitir un acceso adecuado al territorio cuando la precipitación ya ha terminado.

Los elementos de desagüe superficial y del drenaje subterráneo deben ser diseñados teniendo en cuenta la necesidad de su mantenimiento y conservación. Su limpieza a de resultar fácil y conviene que dispongan de areneros, de considerarse necesario, de unos elementos de recogida de basura y otros materiales (incluso árboles), arrastrados por el flujo del agua.

### **2.7.2 DRENAJE LONGITUDINAL**

Las cunetas son los elementos principales del sistema longitudinal de desagüe, así denominado por que el flujo de agua en el sistema es paralelo al eje de trazado. Los objetivos principales del desagüe longitudinal son recoger la escorrentía procedente de la plataforma así como la procedente de los márgenes de la carretera, que desagüen así en los desmontes.

El diseño del desagüe longitudinal debe estar en coordinación con el trazado y con las labores de la ingeniería geotécnica.

El trazado determina que algunas zonas de la plataforma tengan poca pendiente longitudinal o transversal y dicta la altura de los cortes y de los rellenos, mientras que las labores de la ingeniería geotécnica define la inclinación de los taludes de los cortes, la naturaleza final de su superficie y la eventual necesidad de disponer de unas cunetas para recoger las piedras que de ellos se desprendan.

### **2.7.3 DRENAJE TRANSVERSAL**

El diseño de las obras transversales de desagüe tiene evidentemente muchos aspectos relacionados con la hidráulica de canales o ríos. En las obras transversales de desagüe se denominan sección de control a aquellas donde hay una relación unívoca entre el caudal y el calado, que condicionan los calados aguas arriba o aguas abajo de ella.

Según sea la forma de las secciones, los materiales y las pendientes se pueden establecer el control a la entrada o a la salida. Dadas las necesidades de delimitar los daños por inundaciones en las zonas colindantes e impedir, en su caso, que sea rebasada la plataforma, es fundamental relacionar el calado a la entrada de cada obra transversal de desagüe con el caudal desaguado por ella.

## **CAPACIDAD VEHICULAR EN CARRETERAS**

### **3.1 DEFINICIONES**

A efectos del presente estudio, se considera de importancia analizar varios conceptos y parámetros que serán expuestos a continuación.

La necesidad de establecer medidas de regulación en la circulación de los vehículos, fue una de las causas que dieron origen en los años treinta a establecer un conjunto de técnicas, lo que se denominaría INGENIERÍA DE TRÁFICO, cuyo objetivo inmediato fue la mejora de la explotación de las redes viarias existentes, pero en pocos años, la ingeniería de tráfico también intervino en la proyección de nuevas carreteras.

Para conocer el funcionamiento del tráfico, se hace necesario realizar medidas y estudios en las carreteras existentes, cuyos datos que se obtengan se utilizarán como una base en el planeamiento y explotación de las redes viales, la regulación del tráfico y para realizar investigaciones sobre el efecto de los diferentes elementos de la carretera en la circulación de los vehículos.

Las principales características que suelen estudiarse son: intensidades de circulación, velocidades y tiempos de recorrido de los vehículos, origen-destino y objeto de los viajes, accidentes, transporte público, etc. Asimismo será necesario establecer la correlación entre las características de tráfico y las condiciones físicas y de movimiento donde circula el tráfico, tanto en el momento actual como sus proyecciones en el futuro.

Es importante también, establecer que las infraestructuras viarias se han clasificado en dos categorías de acuerdo a la circulación: Circulación continua y circulación discontinua o interrumpida.

La circulación continua es aquella en la que no se tienen elementos fijos externos que produzcan interrupciones en el mismo. Entran en esta categoría las autopistas, carreteras multicarril y las carreteras de dos carriles.

La circulación discontinua se refiere cuando en la estructura se tienen elementos fijos que produzcan interrupciones periódicas en la circulación vial. En esta categoría entran las intersecciones sin semaforisar, arterias, transporte colectivo, peatones y bicicletas.

Los términos de circulación continua y discontinua están referidos a un tipo de estructura y no así a la calidad de circulación en un momento dado.

Para nuestro estudio nos concentraremos en realizar un análisis detallado de las características básicas de circulación en un tipo de vía continua, específicamente en las carreteras de dos carriles.

### **3.1.1 CARRETERA DE DOS CARRILES**

Una carretera de dos carriles puede definirse como la que tiene una calzada con un carril para cada sentido de circulación.

Estas carreteras representan el mayor kilometraje de la infraestructura vial del país. Se utilizan para cumplir con una gran variedad de funciones en todas las regiones geográficas y satisfacen gran parte de las necesidades de acceso a fuentes de recursos económicos, culturales, recreativos, etc. Comunican núcleos generadores de tránsito proporcionando movilidad que es, en general, aceptable. Un factor que influye poderosamente en las características, costo y servicio que proporcionan las carreteras de dos carriles es el tipo de terreno que atraviesan éstas.

#### **3.1.1.1 TIPOS DE TERRENO**

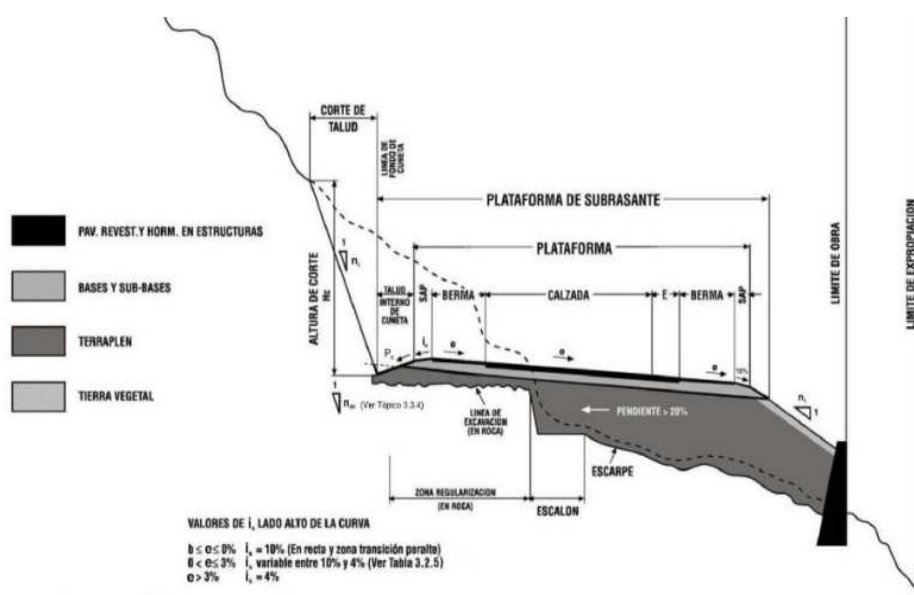
Teniendo en cuenta las condiciones de relieve se consideran cuatro categorías de terreno. Se han tomado en mayor parte las definiciones propuestas por el ingeniero Rubén Darío Olarte, para diferenciar los tipos de terreno existentes.

- **Terreno Plano.-** Se caracteriza por tener pendientes transversales a la vía menor a 5 grados. Exige mínimo movimiento de tierras en la construcción de carreteras, y no presenta dificultad ni en su trazado ni en su explanación, por lo que las pendientes longitudinales de las vías son normalmente menores del 3 %.

- **Terreno Ondulado.-** Se caracteriza por tener pendientes transversales a la vía de 6 a 9 grados. Requiere moderado movimiento de tierras, lo que permite alineamientos más o menos rectos, sin mayores dificultades en el trazado y en la explanación, así como pendientes longitudinales típicamente del 3 al 6 %.
- **Terreno Montañoso.-** Las pendientes transversales a la vía suelen ser de 13 a 40 grados. La construcción de carreteras en este terreno supone grandes movimientos de tierra, por lo que presenta dificultades en el trazado como en la explanación. Pendientes longitudinales de las vías del 6 al 8 % son comunes.
- **Terreno Escarpado.-** Aquí las pendientes del terreno transversales a la vía pasan con frecuencia de 40 grados. Para construir carreteras se necesita máximo movimiento de tierras y existen muchas dificultades para el trazado y la explanación, pues los alineamientos están prácticamente definidos por divisorias de aguas, en el recorrido de la vía. Por lo tanto, abundan las pendientes longitudinales mayores al 8 %.

Figura N° 7

## Sección transversal de una carretera



### 3.1.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA

Las características de la vía son todos aquellos elementos físicos propios del diseño geométrico, que tienen influencia directa o indirecta en la capacidad y el nivel de servicio como los que se mencionan a continuación:

- **Alineamiento Horizontal y Vertical.-** En el diseño en planta o alineamiento horizontal, la velocidad de diseño es norma de control para los radios de curvatura, los peraltes y las distancias de visibilidad que determinan la seguridad en el tránsito. Esa velocidad por razones de economía en la explotación, debe ser lo más uniforme y alta que permitan las condiciones topográficas de la zona escogida y los recursos con que se cuenta para la construcción.

En el diseño en perfil o alineamiento vertical, la influencia de las pendientes es notable en la restricción de las velocidades que puedan desarrollar los vehículos, particularmente los de mayor peso.

El criterio general básico es el de buscar la mayor armonía posible entre ellos para lograr un proyecto debidamente equilibrado de características tales que el conductor normal pueda sin ninguna dificultad mantener una velocidad de operación que siendo próxima a la de diseño, le ofrezca ciertas condiciones mínimas de seguridad y de comodidad.

- **Calzada.-** Es la zona de la carretera destinada a la circulación normal de los vehículos. En carreteras de dos carriles con circulación en ambos sentidos, el ancho de la calzada está dado por la suma de los dos anchos de esos dos carriles

En el país existen especificaciones sobre el ancho de carril dependiendo del tipo de carretera, los anchos más usuales son: 3,65 m, 3,50 m, 3,30 m, 3,00 m y 2,70 m

- **Berma.-** Es la parte exterior del camino, destinada a la parada eventual de vehículos, tránsito de peatones, bicicletas, etc., de manera que éstos no

interfieran con la circulación normal de los demás vehículos. También proporcionan soporte lateral al pavimento y a veces pueden incrementar el ancho efectivo de la calzada.

Los anchos de berma más utilizados en el país son: 1,80 m, 1,50 m, 1,20 m, 1,00 m y 0,50 m.

- **Obstáculos Laterales.-** Todo obstáculo lateral tal como muros, árboles, postes, señales, etc., debe situarse a una distancia superior a 1,80 m del borde de la calzada para disminuir el riesgo de choques contra ellos y para que no constituyan una obstrucción psicológica a la circulación normal de los vehículos, lo cual puede reducir el nivel de servicio y la capacidad de la vía.

### 3.1.1.3 DEFINICIONES DE TRAMO Y SECTOR

- **Ruta.-** Es aquella carretera cuya función primordial es la integración de índole nacional o regional siendo en este caso regional Bermejo – Los Ingenios.
- **Tramo (o segmento).-** Subdivisión de una ruta con longitud no mayor a 150 Km. Los puntos de iniciación y terminación de cada tramo deben corresponder en lo posible a sitios o poblaciones de importancia, en este caso el tramo en estudio es de 6.7 Km.
- **Sector.-** Es la parte de un tramo definido para realizar un estudio de capacidad y niveles de servicio que está dentro del tramo Bermejo – Los Ingenios.
- **Sectores Críticos.-** Son aquellos que presentan factores, tales como características geométricas deficientes (altas pendientes, radios de curvatura pequeños, carriles y bermas angostas) y mal estado de la superficie de rodadura, que influyen adversamente en la velocidad de los vehículos y por ende en la capacidad de la vía. Cuando se presente gran demanda en el tramo, este sería el primer sector en congestionarse.

- **Sectores Típicos.-** Son los que presentan un conjunto medio de condiciones que generalmente se repiten a lo largo de un tramo (o segmento) de una vía. Sus características se encuentran dentro de ciertos límites preestablecidos por el usuario; por ejemplo: pendientes del 3,50 al 4,40%, carriles de 3,20 a 3,40 m, ancho de berma entre 1,60 y 1,80 m, etc. En los sectores típicos se estudia como parámetro fundamental el nivel de servicio.

### **3.2 CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO**

Al estudiar las relaciones entre distintas magnitudes de tráfico se llega a la conclusión de que existe un máximo para la intensidad de tráfico que puede circular por una carretera. Este límite máximo o capacidad de la carretera, aunque define un estado de la circulación inaceptable, como referencia y base de cálculo tiene una importancia práctica fundamental en el proyecto de nuevas carreteras y la explotación de las existentes.

#### **3.2.1 IMPORTANCIA DE LA CAPACIDAD**

La capacidad de una infraestructura de transporte refleja su facultad para acomodar un flujo móvil de personas o vehículos. Es una medida desde el punto de vista de la oferta de una infraestructura de transporte. El nivel de servicio es una medida de la calidad del flujo.

La capacidad de una carretera depende de las condiciones existentes, estas condiciones se refieren fundamentalmente a las características de la sección (características geométricas, condición de pavimento, etc.) y las de tráfico (especialmente su composición)

Además habrá que tener en cuenta las regulaciones de la circulación que existan (limitaciones de velocidad, prohibiciones de adelantamientos, etc.) que influirán sobre el tráfico. También es importante tomar en cuenta las condiciones ambientales y meteorológicas.



Por lo tanto la capacidad de la carretera podrá alcanzar un valor máximo cuando sus propias condiciones y las del tráfico sean óptimas, lo que le corresponde a una capacidad en condiciones ideales.

Es por eso, que un ingeniero necesita saber cual va a ser la capacidad práctica de trabajo de una carretera, tanto para las nuevas que va a construir y en las cuales puede prever las intensidades de tráfico que va alojar, como para las carreteras viejas, las cuales pueden llegar a saturación y requerir la construcción de otra paralela o el mejoramiento de la existente. La capacidad práctica de trabajo, es la intensidad de tráfico máxima que alcanza antes de congestionarse o antes de perder la velocidad estipulada.

El análisis de capacidad responde a una serie de interrogantes que se plantean a continuación:

- Cual es la calidad de servicio que proporciona una infraestructura existente durante los periodos de punta y cual es el incremento de tráfico que puede ser soportado.
- Que tipos de carretera y de instalaciones de transporte colectivo, son necesarios para acomodar un flujo dado de vehículos.
- Que configuración de carriles es necesaria para distintos niveles de intensidad media diaria en autopistas o carreteras arteriales y cual es el tipo de carreteras y calles (y por lo tanto capacidades), necesarias para dar servicio a un desarrollo territorial concreto a planificar.

### **3.2.2 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD**

**Capacidad.** Se define como capacidad de una instalación al máximo flujo horario al que se puede razonablemente esperar que las personas o vehículos atraviesen un punto o sección uniforme de un carril o carretera durante un periodo de tiempo dado sometido a las condiciones prevalecientes de la carretera, la circulación y los sistemas de control.

La capacidad de una carretera de dos carriles se define como el máximo número de vehículos que puede circular, por un punto o tramo uniforme de la vía en los dos sentidos, durante cierto período de tiempo, en las condiciones imperantes de la vía y de tránsito. La capacidad se expresa en vehículos por hora, aunque puede medirse en períodos menores a una hora. El valor de la capacidad depende de la duración del período en que se mida.

Este valor de capacidad definido para “condiciones imperantes” difiere del volumen máximo que puede circular por la vía en un momento dado. El volumen máximo posible depende de factores tales como la composición vehicular, la velocidad de circulación y las condiciones atmosféricas, que pueden cambiar en cualquier momento. Si el volumen máximo posible disminuye y resulta momentáneamente menor que la demanda del tránsito, ocurrirá congestión, al no poder pasar por un punto de la vía todos los vehículos que llegan a ese punto. En este caso muchos vehículos deberán detenerse, formar una cola y ponerse en movimiento nuevamente, circulando con un volumen menor que el volumen que llegaba antes de la detención, lo que disminuye la velocidad de la corriente vehicular y por ende el volumen máximo posible. Estas circunstancias suelen originar una onda perturbadora de detenciones vehiculares que se propaga corriente arriba hasta que la demanda se disipe. Por consiguiente, es muy peligroso que la demanda de tránsito se aproxime a la capacidad de una vía. La proximidad a este límite se mide por la relación entre el volumen de demanda y la capacidad, relación que muchos llaman factor de utilización de la capacidad.

Para el cálculo de la capacidad se parte de una capacidad máxima en condiciones ideales, la que disminuye a medida que las condiciones particulares de la vía en estudio se apartan de estas. Las condiciones ideales son aquellas en las que no existen restricciones geométricas, de tránsito ni ambientales.

### **3.2.3 CONSIDERACIONES BÁSICAS**

Varios puntos importantes de la definición de capacidad merecen una mayor atención en su definición.

1. La capacidad se define para las condiciones prevalecientes de la carretera, la circulación, y los sistemas de control, que deben ser razonablemente uniformes para un tramo o instalación completa a analizar. Cualquier cambio en las condiciones prevalecientes supondrá un cambio en la capacidad de la instalación. La definición asume la persistencia de buen clima, unas buenas condiciones del firme, y la inexistencia de incidentes.
2. La capacidad normalmente se refiere a “una sección o segmento uniforme” de la infraestructura. El análisis de capacidad se lleva a cabo en segmentos de una instalación que tienen condiciones uniformes de la circulación, la vía y los sistemas de control. Dado que la capacidad depende de estos factores, los segmentos que tienen distintas condiciones prevalecientes tendrán, a su vez capacidades diferentes. La capacidad de una vía o de un sistema puede inferirse de los procedimientos de análisis presentados más adelante pero no se comenta explícitamente. A menudo la sección o segmento con las peores condiciones de explotación, determina los niveles de servicio generales de la misma.
3. La capacidad se refiere a una tasa de flujo vehicular o de personas durante un período específico de tiempo que, muy a menudo es el período de 15 min. punta. La capacidad no se refiere al máximo volumen al que puede darse servicio durante una hora. Esta definición contempla la posibilidad de variaciones sustanciales en el flujo dentro de una hora y concentra el análisis en los períodos de máximo flujo.
4. La capacidad se define sobre la base de una “esperanza razonable”. Es decir, una capacidad dada para una instalación es una tasa de flujo que puede ser repetidamente alcanzada durante períodos punta en los que exista suficiente demanda y que pueda conseguirse en instalaciones con características similares. No es la tasa de flujo máxima absoluta jamás observada en este tipo de instalación. Las características de los conductores varían de región a región y la tasa de flujo máxima absoluta

puede variar día a día y de lugar a lugar. Ocasionalmente, las tasas de flujo medidas en algunos lugares pueden exceder las capacidades definidas para este tipo de instalación. Estas tasas, sin embargo, no son normalmente sostenibles o pueden no ser alcanzadas de forma repetitiva.

5. La capacidad puede definirse en términos de personas a la hora o de vehículos a la hora, dependiendo del tipo de instalación estudiada. El concepto de flujos de personas es importante al tomar decisiones estratégicas sobre modos de transporte en corredores con altas demandas de transporte y al definir el papel de los tratamientos prioritarios a los vehículos de transporte colectivo y de alta ocupación. El concepto de capacidad de personas y de flujo de personas pondera cada tipo de vehículo de la corriente circulatoria en función del número de ocupantes que transporta. Por ejemplo, una calle arterial que soporte 600 vehículos a la hora con 1,5 personas por vehículo, tendrá una capacidad de movimiento de 900 personas a la hora, 50 autobuses a la hora, cada uno con una media de 40 personas por autobús, transportaría 2.000 personas a la hora con un flujo de personas total de 2.900 personas a la hora. Al aumentar el número de vehículos de transporte colectivo en la circulación, el número de vehículos que pueden pasar por un punto dado disminuye, pero el flujo de personas puede incrementarse, aunque posiblemente con una calidad de servicio inferior.

#### **3.2.4 NIVELES DE SERVICIO**

El conocimiento de la capacidad de una sección de carretera es absolutamente necesario para proyectarla de forma que permita hacer frente a la demanda prevista. Sin embargo no es suficiente en la práctica, porque las condiciones de circulación cuando se alcanza la capacidad son muy deficientes. La velocidad media es normalmente del orden de 40-50 km./hr; las separaciones entre vehículos son muy pequeñas y prácticamente nula libertad de maniobra. Por todo ello será conveniente que la carretera funcione con intensidades de tráfico inferiores a la

capacidad. Ahora bien, una carretera que se construye con una capacidad mucho mayor que la demanda de tráfico prevista, representa un despilfarro que interesará evitar. Por consiguiente para escoger la relación entre la intensidad de tráfico y la capacidad de la carretera habrá que ponderar por un lado los gastos e incomodidades aceptables que lleguen a experimentar los usuarios y por otro lado el coste de la carretera. Para ello sería necesario conocer la relación existente entre la intensidad de tráfico que circula y diversos factores como la velocidad media, el número de accidentes, la sensación de comodidad de los conductores, etc., y esto para cada tipo de carretera y para diferentes elementos de las mismas. Además haría falta poder valorar en términos monetarios todos estos factores. Con ello podría calcularse la relación entre intensidades y capacidad que hace mínima la suma total de costes. Aunque este procedimiento pueda ser aplicable a algunos casos particulares, no puede utilizarse en forma general, por falta de los datos necesarios.

En la práctica, es necesario proceder de una forma más sencilla. Para ello habrá que establecer unas condiciones de la circulación (teniendo en cuenta los factores que intervienen en ella: velocidad, seguridad, comodidad, etc.) que se consideren aceptables. Las condiciones que pueden parecer aceptables en una cierta situación (por ejemplo, en las calles céntricas de una ciudad) resultarán inaceptables en otras (por ejemplo, en una autopista interurbana). Por ello, hace falta establecer una escala de condiciones de circulación de mejores a peores, desde el punto de vista del usuario de la vía, y elegir a aquellas que parezcan más adecuadas a la situación en estudio. Para permitir esta relación, el manual de capacidad introdujo el concepto de nivel de servicio.

El nivel de servicio es una medida puramente cualitativa de las condiciones de circulación, que tiene en cuenta el efecto de varios factores tales como la velocidad y tiempo de recorrido, la seguridad, la comodidad de conducción y los costes de funcionamiento. La manera de combinar estos factores dependerá del tipo o elemento de carretera que se esté considerando, por lo que la definición de cada

nivel de servicio particular será distinta, por ejemplo, en intersecciones, en tramos de carreteras de dos carriles, en autopistas, etc.

En la práctica resulta muy difícil tener en cuenta todos los factores mencionados y por ello el manual de capacidad define los niveles de servicio mediante uno o dos factores instrumentales que puedan medirse y que son los más representativos del estado de la circulación para el tipo de elemento de carretera que se esté estudiando, incorporando en lo posible en sus límites de variación la influencia de los demás atributos definitivos.

Dado un determinado nivel de servicio se llama intensidad de servicio correspondiente a dicho nivel, al máximo número de vehículos que puede atravesar por una unidad de tiempo (generalmente quince minutos) una sección de carretera de forma que se mantenga dicho nivel de servicio, expresado en vehículos / hora. Es decir, que si la intensidad de tráfico que circula por la carretera sobrepasa a esta intensidad de servicio, las condiciones de circulación no corresponderían al nivel de servicio considerado, sino a otro peor, como en el caso de la capacidad, estas intensidades de servicio dependerán de las condiciones de la carretera, del tráfico, de los sistemas de control y de las condiciones ambientales.

Ahora bien, se define el nivel de servicio de un sector de una carretera de dos carriles como la calidad del servicio que ofrece esta vía a sus usuarios, que se refleja en grado de satisfacción o contrariedad que experimentan estos al usar la vía.

Se establecieron dos medidas de efectividad que reflejan esa calidad de servicio, siendo la principal la velocidad media de los vehículos que circulan por la carretera y como medida auxiliar la relación entre el volumen que circula y la capacidad. La velocidad media describe el grado de movilidad, mientras que la relación volumen/capacidad permite vigilar la proximidad.

### 3.2.4.1 DETERMINACION DEL NIVEL DE SERVICIO

Para determinar el nivel de servicio en carreteras de la clase I se debe tener en cuenta tanto el porcentaje de tiempo siguiendo a otro vehículo como la velocidad media de los coches. Por tanto, tienen que cumplirse las dos condiciones que figuran en la tabla N° 11.

**Tabla N° 11.**

**Niveles de servicio en carreteras convencionales de calzada única con dos carriles de clase I.**

Nivel de servicio	% tiempo siguiendo	Velocidad media (km/h)
A	$\leq 35$	$> 90$
B	$> 35 \leq 50$	$> 80 \leq 90$
C	$> 50 \leq 65$	$> 70 \leq 80$
D	$> 65 \leq 80$	$< 60 \leq 70$
E	$> 80$	$\leq 60$

Fuente: Ingeniería de Carreteras.

En cambio en las carreteras de clase II solo es necesario tener en cuenta el porcentaje de tiempo siguiendo a otro vehículo, de acuerdo con los límites establecidos en la tabla N° 12. Se alcanzara el nivel F si la intensidad a la entrada del tramo sobrepasa su capacidad. Para determinar si se sobrepasa la capacidad, se comparara la intensidad equivalente que se obtuvo al calcular el porcentaje de tiempo siguiendo a un vehículo, con la máxima capacidad. Esta capacidad depende de la distribución de tráfico total entre los dos sentidos sea X por 100 el porcentaje de tráfico en el sentido más cargado. La capacidad de la suma de los dos sentidos, en coches por hora, será:

$$C = 3200 \text{ (coches/hora), si } X < 53 \%$$

$$C = 170000/X \text{ (coches/hora), si } X > 53\%$$

Tabla N° 12.

**Niveles de servicio en carreteras convencionales de calzada única con dos carriles de clase II.**

<b>Niveles de servicio</b>	<b>% tiempo siguiendo</b>
A	<= 40
B	> 40 <= 55
C	> 55 <= 70
D	> 70 <= 85
E	> 85

Fuente: Ingeniería de Carreteras.

Para cada tipo de infraestructura se han definido 6 niveles de servicio para los cuales se dispone de procedimientos de análisis. Se les otorga una letra dada como designación, de la A a la F, siendo el nivel de servicio (NS-A), al representante de las mejores condiciones operativas y el (NS-F) las peores. Cada nivel de servicio representa una gama de condiciones de explotación.

Normalmente se acepta que el volumen de tráfico al que se puede dar servicio en las condiciones de parada y arranque del NS-F es inferior que el posible al NS-E; en consecuencia, la intensidad de servicio E es el valor que corresponde a la máxima intensidad o capacidad de la instalación. Normalmente para la mayoría de los objetivos de dimensionamiento o de planificación se utilizan las intensidades D o C por que aseguren una calidad de servicio más aceptable a los usuarios de la instalación.

Para tener en cuenta las condiciones en que se desarrolla la circulación en tramos, se da a conocer a continuación las definiciones de los distintos niveles de servicio:

- 1. Nivel de servicio A.-** La velocidad de los vehículos es prácticamente igual a la que libremente eligen sus conductores, sin que se vean obligados a modificarla a causa de otros vehículos. Las características geométricas son tales que pueden desarrollarse con seguridad velocidades de mas de 110 km./hr, y las condiciones de tráfico permiten que un conductor que circule



a altas velocidades pueda conseguir una velocidad media de mas de 95 km./hr. Cuando un vehículo alcanza a otro más lento puede adelantarlo sin sufrir ninguna demora, por lo que los conductores no se sienten estorbados por otros vehículos. El espaciamiento medio entre vehículos es de 135 m, equivalente a la longitud de 22 vehículos, con una densidad máxima de 7 veh./km/c. Este nivel de servicio corresponde a unas condiciones de **circulación libre** con gran comodidad física y psicológica para los conductores. Los incidentes menores que se pueden producir son amortiguados rápidamente sin que tengan influencia en la circulación general.

2. **Nivel de servicio B.-** Representa unas condiciones razonablemente buenas dentro del régimen de circulación libre. La velocidad de los vehículos, especialmente los más rápidos, se ve influida por otros vehículos, pero las condiciones de la circulación son tales que los vehículos más rápidos pueden conseguir velocidades medias superiores a 90 km./hr en autopistas, sin necesidad de utilizar velocidades peligrosas en ningún caso. El espaciamiento medio entre vehículos ligeros es de unos 80 m, con una densidad máxima de 12 veh/km/c. Los vehículos más rápidos pueden verse demorados durante ciertos intervalos por otros más lentos, pero no llegan a formarse colas por que hay oportunidades de adelantamiento, siendo fácilmente absorbibles los incidentes menores, aunque los deterioros locales del servicio pueden ser mayores que en el nivel anterior. Este nivel de servicio corresponde a unas condiciones de **circulación estable**.
3. **Nivel de servicio C.-** La mayor parte de los conductores deberán ajustar su velocidad teniendo en cuenta la de los vehículos que les preceden, aunque las condiciones son tales que la velocidad media de los vehículos mas rápidos puede ser superior a 85 km./hr. en autopistas. Las posibilidades de adelantamiento son reducidas y se forman grupos de vehículos que circulan a la misma velocidad. El espaciamiento medio es de

53 m aproximadamente con una densidad máxima de 19 veh/km/c. La circulación sigue siendo estable, por que las perturbaciones debidas a los cambios de velocidad se suelen disipar sin llegar a producir una detención total. Sin embargo, en algunos casos se puede presentar puntas de tráfico durante cortos intervalos de tiempo que produzcan situaciones inestables. El conductor se ve obligado, ya, a un incremento notorio de tensión para mantener el nivel necesario de atención para circular con seguridad.

4. **Nivel de servicio D.-** Todos los vehículos deben regular su velocidad teniendo en cuenta la marcha de los vehículos precedentes. Las velocidades son reducidas y los vehículos alcanzan velocidades medias de unos 65 km./h en autopistas. Se forman largas colas, ya que resulta casi imposible adelantar a otros vehículos. La circulación se aproxima a la inestabilidad y cualquier incremento en la intensidad de tráfico puede dar lugar a la detención de la circulación. Estas condiciones de circulación sólo resultan tolerables durante períodos cortos de tiempo.
5. **Nivel de servicio E.-** Corresponde a condiciones de circulación en las que la intensidad de tráfico llega a alcanzar a la **capacidad de la carretera**. La velocidad media de todos los vehículos es prácticamente igual, del orden de 40-50 km./hr en cualquier tipo de carretera. Los vehículos forman largas colas con separaciones muy pequeñas entre ellos y resulta imposible cualquier maniobra de adelantamiento o cambio de carril. Son frecuentes las detenciones bruscas debidas a cualquier tipo de incidente. Es una situación límite, que solo puede mantenerse durante períodos cortos ya que a la larga se producirá alguna detención, y se circulará con detenciones y arranques sucesivos.
6. **Nivel de servicio F.-** Corresponde a la situación de **congestión** producida cuando la intensidad de tráfico que entra en un tramo de carretera sobrepasa la capacidad en la salida del mismo. Mientras se mantenga esta situación en dicho tramo se irá formando una cola de vehículos que

avanzará muy lentamente y con frecuentes paradas hasta conseguir atravesar la zona congestionada. En estas condiciones la velocidad media es muy baja y dependerá del tiempo transcurrido desde que empezó la congestión, ya que al ir aumentando la longitud de la cola de vehículos, se tendrá, más tiempo en recorrer la zona congestionada. La situación resulta completamente inaceptable y denota la existencia de una sección cuya capacidad es insuficiente para la demanda.

Para determinar de forma precisa del nivel de servicio correspondiente a unas condiciones dadas de circulación, habría que considerar la velocidad de los vehículos, los cambios de velocidad y otras restricciones de adelantamiento y cambio de carril, la seguridad vial, la comodidad de la conducción y los costes del viaje. Como resulta muy complicado considerar y cuantificar todos estos factores, el manual de capacidad emplea un parámetro para caracterizar el nivel de servicio.

En la práctica, resulta muy difícil tener en cuenta todos los factores que intervienen en la descripción del nivel de servicio; por ello el Manual de Capacidad relaciona los niveles de servicio con uno o dos parámetros que pueden medirse, y que son los más representativos del estado de la circulación para el tipo de elemento de carretera que se esté estudiando.

Para un determinado nivel de servicio, se llama **intensidad de servicio** correspondiente a dicho nivel al máximo número de vehículos que pueden atravesar por unidad de tiempo (generalmente quince minutos) una sección de carretera, de forma que no se sobrepase dicho nivel de servicio, expresado en vehículos/hora. Es decir que si la intensidad del tráfico que circula por la carretera es mayor que esta intensidad de servicio, las condiciones de circulación no corresponderán al nivel de servicio considerado, sino a otro peor. Como en el caso de la capacidad, estas intensidades de servicio dependerán de las condiciones de la carretera, del tráfico, de los sistemas de control de la circulación y de las condiciones ambientales.

### **3.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CAPACIDAD**

Existe una relación entre la intensidad de tráfico y otros parámetros que definen el nivel de servicio, como la velocidad media de los vehículos o la densidad. Conocidas estas relaciones y los valores de los parámetros que limitan los diferentes niveles de servicio, se pueden obtener fácilmente la intensidad de servicio que corresponde a cada uno de los distintos niveles. Estas relaciones varían con el tipo y las características de la carretera, y en consecuencia la capacidad y las intensidades de servicio dependen de una serie de factores, unos relacionados con las características de la carretera y otros con las del tráfico.

#### **3.3.1 FACTORES QUE DEPENDEN DE LA CARRETERA**

##### **3.3.1.1 SECCIÓN TRANSVERSAL**

La capacidad y las intensidades de servicio son directamente proporcionales al número de carriles existentes para cada sentido. Por ello en autopistas y otras carreteras con calzadas separadas en las que haya dos o más carriles para cada sentido se puede hablar de capacidad (e intensidad de servicio) por carril, y la capacidad total será igual al producto del número de carriles por la capacidad de cada carril. La capacidad por carril aumenta con su anchura, pero a partir de unos 3.60 m. no se consiguen aumentos sensibles de capacidad.

##### **3.3.1.2 OBSTÁCULOS LATERALES**

Si junto a los carriles exteriores de la calzada existen obstáculos como postes de señales, bordillos elevados, barreras, cunetas profundas, etc., se ha comprobado que los conductores tienden a desplazarse hacia el centro de la calzada. Por consiguiente, el efecto que producen es semejante a un estrechamiento. Experimentalmente se ha comprobado que si el obstáculo está a más de 1.80 m. el efecto es prácticamente inapreciable. Por ello los arcenes, tanto a la derecha como junto a la mediana, permiten mejorar la capacidad de la carretera, ya que si no existen, un vehículo averiado bloqueara un carril y producirá perturbaciones, con una sensible reducción de la capacidad. Algunos elementos colocados al borde de

la carretera no producen efecto sobre los conductores; por ejemplo, se ha constatado que en algunas carreteras ciertos tipos de barreras de seguridad no parecen influir sobre la posición de los conductores en los carriles. En estos casos tales elementos no deberían considerarse como obstáculos.

### **3.3.1.3 TRAZADO**

La velocidad a la que se circula, y por consiguiente el nivel de servicio que se puede conseguir en un tramo de carretera, depende de la velocidad de proyecto de la carretera. Sin embargo, si la intensidad de tráfico se acerca a la capacidad, la velocidad de cualquier vehículo está condicionada por los vehículos que lo rodean y resulta independiente de la velocidad de proyecto de la carretera. Por ello para calcular la capacidad de una sección no es preciso tener en cuenta las características de su trazado, con la excepción del efecto de las rampas si circulan vehículos pesados. La velocidad de los vehículos al subir una rampa tiende a estabilizarse en una velocidad que depende de la inclinación de la rampa y de la relación masa/potencia del vehículo. Los coches pueden subir rampas hasta de un 5 por 100 con velocidades poco diferentes de las que desarrollan en llano. Por ello, si solo circularan coches, únicamente las rampas de inclinación muy fuerte podrían influir sobre los niveles de servicio al reducir la velocidad. El efecto de las rampas sobre los camiones, que tienen relaciones (potencia/masa) bajas, es en cambio muy importante. Incluso en rampas del 5 por 100 la velocidad de algunos camiones puede bajar de los 40 km./hr., que es muy inferior a la velocidad en que circulan en tramos llanos cuando se alcanza la capacidad. Por consiguiente, el tráfico de vehículos pesados en las rampas tendrá una influencia muy grande sobre la capacidad y niveles de servicio de la carretera.

## **3.4 FACTORES QUE DEPENDEN DE LA GEOMETRÍA**

Los factores que afectan la capacidad de una carretera desde el punto de vista de la geometría en forma específica son:

### **3.4.1 ANCHURA DE CARRIL**

La capacidad por carril, aumenta con la anchura del mismo y tiene un impacto significativo en la circulación. Los carriles estrechos obligan a los vehículos a circular a menores distancias laterales que los conductores desearían. Los usuarios compensan esta circunstancia reduciendo su velocidad, pero a partir de una anchura del orden de 3.60 m. no se consiguen aumentos sensibles de capacidad.

### **3.4.2 ANCHURA DE ARCENES Y OBSTRUCCIONES LATERALES**

La estrechez de los arcenes y las obstrucciones laterales producen dos efectos importantes, muchos conductores se atemorizan y se separan de los objetos colaterales o de la mediana que consideran como peligrosos. Esto les acercara lateralmente a los vehículos de los carriles adyacentes produciendo la misma reacción que un carril estrecho. En muchos lugares, en el caso de carreteras de dos carriles se emplea el arcén para permitir el adelantamiento de los vehículos lentos, por lo que los arcenes estrechos pueden influir adversamente sobre la circulación.

Cuando junto a los carriles exteriores de la calzada existen obstáculos como postes de señales, bordillos elevados, barreras, cunetas profundas, etc. Se ha comprobado que los conductores tienden a desplazarse hacia el centro de la calzada.

### **3.4.3 VELOCIDAD DE CIRCULACIÓN**

La reducción de la velocidad de proyecto influye en las operaciones y en el nivel de servicio debido a que los conductores se ven forzados a circular a velocidades reducidas, y a estar más atentos para reaccionar frente al trazado horizontal y vertical.

La topografía sobre la cual se va a construir la vía ejerce influencia sobre la velocidad de circulación de los vehículos, que de acuerdo a una clasificación por tipos de terreno se tiene que:

Terreno llano es cuando los vehículos pesados pueden mantener la misma velocidad que los vehículos ligeros, esto supone unas pendientes menores al 2% de longitud limitada.

Terreno ondulado es aquel que obliga a los vehículos pesados a circular a una velocidad substancialmente inferior a la de los vehículos ligeros aunque sin llegar a su velocidad sostenida en rampa durante ningún período significativo de tiempo.

Terreno montañoso, cuando los vehículos pesados están obligados a circular a una velocidad sostenida en rampa durante distancias considerables o a intervalos frecuentes.

Se define como vehículos pesados a aquellos que tienen un contacto con el pavimento más de cuatro ruedas.

#### **3.4.4 ESTUDIO DE VELOCIDAD EN EL SITIO**

Los estudios de velocidad en el sitio se realizan para estimar la distribución de la velocidad de los vehículos en un lugar específico en una carretera. La velocidad de un vehículo se define como la rapidez de movimiento del vehículo; se expresa en kilómetros por hora (Km./h). Un estudio de velocidad en el sitio consiste en registrar la velocidad de una muestra de vehículos en un lugar específico. Las características de velocidad identificadas serán válidas solamente para las condiciones de tránsito y del medio ambiente que existan en el momento del estudio. Las características de velocidad que se determinen en el sitio pueden usarse para:

- Establecer parámetros para la operación y el control del tránsito, tales como zonas de velocidad (se usa la velocidad del percentil 85 como el límite de velocidad en un camino), o las restricciones de paso.
- Evaluar la efectividad de los dispositivos de control de tránsito, tales como los señalamientos de mensajes variables en las zonas de trabajo.
- Evaluar y/o determinar lo adecuado de las características geométricas de la carretera, tales como los radios horizontales de las curvas y las longitudes verticales de las mismas.
- Evaluar el efecto de la velocidad en la seguridad de las carreteras mediante el análisis de los datos de accidentes para diferentes características de velocidad.



- Determinar las tendencias de velocidad.

Siguiendo estas instrucciones se realizó el aforo de las velocidades en las que circulan todos los vehículos en el tramo en estudio Bermejo – Los Ingenios estas velocidades se pueden observar en la siguiente tabla N° 13.

**Tabla N° 13**  
**Velocidades de Circulación Tramo Bermejo – Los Ingenios**

TIPO DE VEHICULOS	VELOCIDAD DE RECORRIDO (Km/Hr)	VELOCIDAD DE PUNTO (Km/Hr)
Automóviles vagonetas jeep	41.4	45.0
Camionetas (hasta 2 Ton.)	39.0	41.9
Minibuses (7 a 15) Asientos	34.1	34.6
Microbuses (16 a 21) Asientos	29.8	30.0
Bus Mediano (22 a 35) Asientos	28.3	29.0
Bus Grande (Mas de 35) Asientos	25.4	26.9
C. Mediano eje simple (2.5 a 10 ton.)	23.4	24.0
C. Grande eje simple (10 ton.ó mas)	21.0	21.2
C. Grande eje tándem (10 ton.ó más)	16.8	17.0
Camión semi remolque	16.0	16.4
Camión con remolque	15.5	15.5
Otros vehículos	13.8	15.0

Fuente: **Elaboración Propia**

### **3.5 FACTORES QUE DEPENDEN DEL TRÁFICO.**

#### **3.5.1 VEHÍCULOS PESADOS.**

Los vehículos pesados tienen mayores dimensiones que los coches, y generalmente se mueven a menor velocidad. Por ello, si entre los vehículos que circulan por una carretera hay vehículos pesados, el número total de vehículos que pueda atravesar una sección será menor que si todos los vehículos fueran coches. Por consiguiente la capacidad de la carretera será menor si circulan vehículos pesados. Así mismo se producirá una reducción en el nivel de servicio, ya que los vehículos pesados, que son más lentos, obligaran a algunos coches a reducir su velocidad y a efectuar maniobras de adelantamiento. Para tener en cuenta el efecto producido por los vehículos pesados se utiliza el concepto de número de coches equivalentes a un vehículo pesado, o **factor de equivalencia**. Es decir, se

determina el número de coches que producirían el mismo efecto en la corriente de tráfico que un solo vehículo pesado. Conocido este factor de equivalencia, se puede sustituir la intensidad de los vehículos pesados por una intensidad equivalente de coches, y se puede operar con ella para determinar el nivel de servicio como si el tráfico estuviera formado únicamente por coches. Este factor de equivalencia no es un número fijo, si no que varia de una situación a otra dependiendo del tipo de vehiculo pesado, de las características de la carretera de la misma circulación.

Para determinarlo es necesario medir las relaciones intensidad – velocidad de coches y vehículos pesados. Sin embargo este procedimiento exige la realización de un gran número de medidas, y se complica extraordinariamente si además se pretende estudiar el efecto de otros factores (rampas, etc.). El manual de capacidad da valores de equivalencia para camiones y autobuses en función de la inclinación y longitud de las rampas. Para permitir cálculos mas simplificados se dan también unos valores medios en función del relieve del terreno atravesado por la carretera. Hay valores de coeficiente de equivalencia para camiones para autobuses y para los que se denominan vehículos de recreo en los que se incluyen principalmente coches que arrastran caravanas.

### **3.5.2 VARIACION DE TRÁFICO DURANTE PERIODOS CORTOS**

Ya se indico al estudiar las variaciones de la intensidad de tráfico que es preciso considerar las fluctuaciones del tráfico durante periodos de 15 min. Para tener en cuenta estos efectos, se aplica el factor de hora punta definido como la relación entre la intensidad durante la hora punta y a cuatro veces el numero de vehículos que pasan durante el periodo de 15 min., más cargado. Generalmente este factor varía entre 0.95 y 0.85, pero puede llegar a reducirse hasta 0.7.

Para el caso de la determinación de la capacidad de circulación discontinua, además de factores ya mencionados se debe tomar en cuenta otro factor como el de la regulación basada en el control disponible para cada movimiento de circulación. El semáforo es sin duda el elemento más crítico en las estructuras de regulación en

las carreteras, también señales como STOP o CEDA EL PASO afectan la capacidad, aunque su influencia sea menor.

Hay otros tipos de control y regulación de la circulación que también es necesario tomarlas en cuenta para determinar la capacidad de la carretera, prohibiciones de estacionamiento junto al bordillo puede aumentar el número de carriles, las restricciones de giro, los controles de utilización de carriles, son algunos de los ejemplos de tipos de control que de alguna manera tendrá una influencia en la capacidad de una carretera.

### **3.6 VEHÍCULOS TIPO.**

Dada la gran diversidad de características de los vehículos, para el proyecto de una carretera o de sus elementos auxiliares es necesario elegir unos vehículos tipo, a los que se considera representativos del conjunto de usuarios de la vía. Se eligen estos vehículos de modo que si los elementos de la vía son adecuados para ellos, lo sean también para la inmensa mayoría de los de su clase. Sus dimensiones, radios de giro, etc., son superadas únicamente por una pequeña proporción de vehículos de su grupo. Habitualmente suelen elegir como vehículos tipo un coche de tamaño grande, un camión rígido o un autobús y un vehículo articulado.

Normalmente los vehículos más grandes exigen mayor espacio y encarecen la contracción de las carreteras. En las zonas residenciales será suficiente utilizar el coche tipo, ya que el número de camiones que utilicen las calles será muy reducido. En carreteras será necesario considerar los camiones. En carreteras locales será suficiente con tener en cuenta el vehículo comercial rígido, ya que los grandes vehículos articulados utilizan poco estos caminos. Por el contrario, en los itinerarios principales y en autopistas será preciso tener en cuenta los vehículos articulados de mayores dimensiones.

En algunas situaciones, tener en cuenta únicamente los vehículos tipo puede representar un dimensionamiento excesivo, que luego no se aprovecha completamente. Un ejemplo típico son las áreas de estacionamiento, donde si se

dimensionan todas las celdas para los vehículos mayores, quedara una gran cantidad de espacio desaprovechado. En casos como estos interesara estudiar detalladamente la distribución de las características de los vehículos que utilizaran las instalaciones, para dimensionarla en forma eficiente.

Figura N° 8

VEHÍCULO TIPO D. (Vehículo Equivalente), (AASTHO 2001)

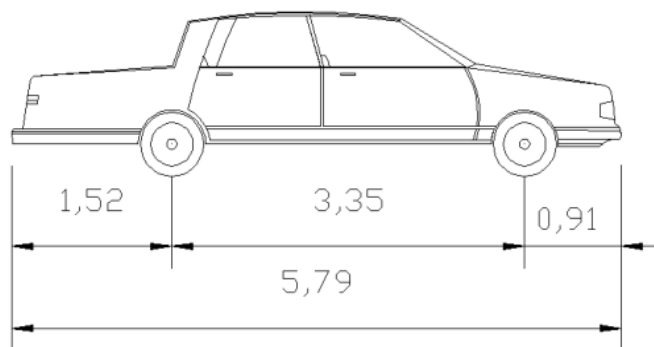
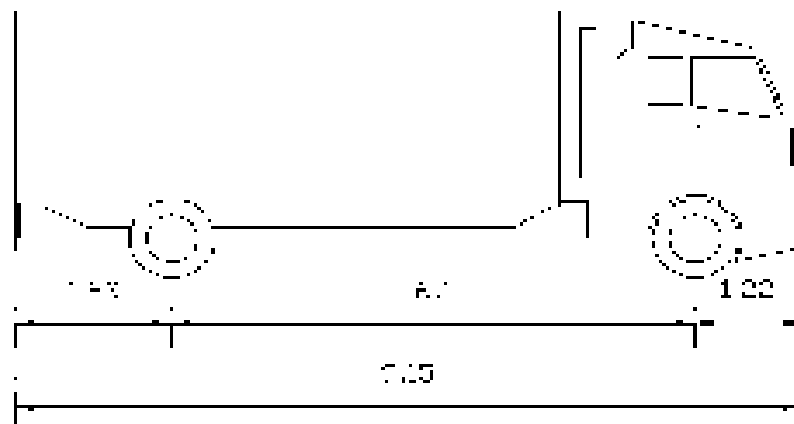


Figura N° 9

VEHÍCULO TIPO SU. (Camión de una sola Unidad)

(AASTHO 2001)





## **CARACTERÍSTICAS DE LOS VEHÍCULOS CAÑEROS**

### **4.1 GENERALIDADES**

El transporte es esencial para el desarrollo y el crecimiento de una nación. Tanto en el sector público como en el privado. La necesidad que tiene (Bermejo - Los Ingenios) es primordial, en cuanto al transporte se refiere, por que ha constituido la explotación de sus recursos renovables, que forzosamente tienen que ser transportados sus productos al mercado, y así conservar un margen competitivo sobre otras regiones y naciones que están estrechamente relacionados con la calidad del transporte .

La rapidez, el costo, la capacidad del transporte disponible tienen un impacto significativo sobre la vitalidad económica del área y en la habilidad de obtener el máximo aprovechamiento de sus recursos naturales.

Un buen transporte por si mismo no garantiza el éxito de una plaza en el mercado, sin embargo la ausencia de excelentes servicios de transporte puede contribuir al fracaso, por tanto si una sociedad desea desarrollarse y crecer debe tener un sistema de transporte óptimo y así poder transportar sus bienes de un lugar a otro satisfaciendo la demanda derivada de la necesidad.

Por lo expuesto anteriormente y para un mejor desarrollo de Bermejo se tiene que dar mayor importancia al sistema actual de transporte existente en esta región, en especial en el tramo en estudio (Bermejo Los Ingenios), por ser este un tramo integrador de la economía y el transporte de la región.

Los vehículos que generalmente transitan por el tramo en estudio (Bermejo los Ingenios) son automóviles, que circulan en torno a los 365 días de año, siendo esta la cantidad mayor de usuarios de esta ruta; sin embargo a mediados de los meses de (Junio y Noviembre), es decir en época de zafra (Cosecha de caña de azúcar) el tráfico aumenta considerablemente debido a los vehículos cañeros de alto tonelaje destinados tanto al transporte de caña como materia prima desde los cultivos de caña, como el transporte del producto final azúcar (sacarosa), de alcohol derivado de la misma materia prima.

Este incremento en el flujo vehicular siendo periódicamente incrementado en función a la demanda de la materia prima, las cuales producen alteraciones serias en la superficie de la carretera como en la capacidad vehicular de esta misma, siendo esta la razón del estudio.

#### **4.2 TIPOS DE VEHÍCULOS Y CARÁCTERÍSTICAS**

Para que la circulación sea segura, económica y cómoda para los conductores y pasajeros al proyectar la carretera es necesario tener en cuenta las características de los vehículos.

Estas características pueden ser muy diferentes de unos vehículos a otros, ya que actualmente circulan tipos muy variados. Para simplificar su estudio es conveniente agruparlos en varias categorías constituidas por vehículos de características parecidas.

Los criterios de clasificación pueden variar según la finalidad perseguida. Así, es posible diferenciarlos según el sistema de propulsión, la finalidad del transporte realizado, tamaño, peso y movilidad, etc. Para la realización de los aforos y estudios del tráfico se utiliza la siguiente clasificación ver Tabla N° 14

- A. Carros
- B. Bicicletas
- C. Vehículos de tracción mecánica
  - C.1. Vehículos de dos ruedas
    - 1. Ciclomotores
    - 2. Motocicletas
  - C.2. Vehículos ligeros
    - 1. Coches
    - 2. Camiones
    - 3. Tractores
  - C.3. Vehículos pesados









1. Camiones sin remolque
2. Camiones articulados o con remolque
3. Autocares.




La inmensa mayoría de los vehículos son de tracción mecánica ya que los de tracción animal han desaparecido prácticamente de las carreteras y calles mientras que las bicicletas sin motor solo se utilizan ocasionalmente en zonas urbanas o suburbanas.

Entre los vehículos de tracción mecánica, los de dos ruedas (ciclomotores y motocicletas) contribuyen en una proporción reducida al tráfico total. Son más frecuentes en zonas urbanas donde predominan los ciclomotores y motos de pequeña cilindrada, mientras que fuera de los poblados se emplean motocicletas de gran potencia que se mueven a velocidades similares a los coches. El principal problema que plantean estos vehículos es el de la seguridad, especialmente por la escasa protección que tienen sus ocupantes.

**Tabla N° 14**

**Clasificación de los vehículos por clase.**

Tipo	Clases		Componentes	Definición
<b>I MOTOS</b>	Carros	A		Vehículos de tracción animal
	Ciclos	B		(1) Bicicletas (2) Ciclomotores de 2, 3 o 4 ruedas (cilindrada inferior a 50 cm <sup>3</sup> y velocidad máxima inferior a 45 Km./h)
	Motos	1		Motocicletas con o sin transportin scootes, motonetas, motocarros y otros triciclos a motor
<b>II VEHICULOS LIGEROS</b>	Coches	2		Automóviles de turismo, microbuses destinados al transporte de personas (hasta 9 plazas)
	Camionetas(4 ruedas)	3		Vehículos destinados al transporte de mercancía, dotados solo de cuatro ruedas, es decir furgonetas y camionetas (C.max <= 1t), camiones ligeros (1t<max.<=2t) y tractores industriales sin remolque
	Tractores agrícolas	4		Tractores agrícolas de ruedas, con o sin remolque

<b>III VEHICULOS PESADOS</b>	Camiones sin remolque	5		Camiones rígidos (Carga máxima >2t) dedicados al transporte de mercancía, de mas de 4 ruedas y sin remolque
	Camiones con remolque y Trens de carretera	6		Camiones rígidos con uno o varios remolques, camiones articulados y trenes de carretera
	Autocares	7		Vehículos dedicados al transporte de personas con mas de 9 plazas

Fuente: Ingeniería de Carreteras Norma de la Unión Europea.

Los vehículos más numerosos son los coches, destinados al transporte de viajeros (normalmente con capacidad para cuatro o cinco pasajeros). Suelen ser los que definen el trazado de carreteras por su mayor velocidad.

### Fotografías N° 21

#### Vehículos livianos de Transporte de pasajeros



Les siguen en importancia los vehículos destinados al transporte de mercancías, entre los que hay tipos muy diferentes desde las pequeñas furgonetas semejantes a los coches, que realizan transportes a corta distancia en zonas urbanas o suburbanas, hasta los grandes camiones que se emplean en los transportes a larga distancia. Entre estos pueden distinguirse los **camiones rígidos** con 2, 3 o 4 ejes; los **vehículos articulados** formados por un vehículo tractor y un semirremolque (que precisa apoyarse sobre el tractor al carecer de eje delantero), y los trenes de carretera

formados por un camión rígido que arrastra uno o dos remolques. Estos vehículos grandes tienen mucha importancia al considerar los esfuerzos a los que están sometidos los firmes y las obras de arte.

Los autobuses y autocares destinados al transporte de viajero tienen dimensiones similares a las de los grandes camiones, pero su peso total suele ser menor y pueden viajar a mayores velocidades.

### Fotografía N° 22

#### Micros y Autobuses que Trasladan personal a I.A.B.S.A.



**Características;** Las características estáticas, cinemáticas y dinámicas de los vehículos son de gran importancia.

Las características estáticas consideran el peso y el tamaño del vehículo; las características cinemáticas comprenden el movimiento del vehículo, sin considerar las fuerzas que acusan el movimiento; las características dinámicas toman en cuenta las fuerzas que causan el movimiento del vehículo. Un conocimiento completo de estas características va a ayudar al ingeniero a determinar criterios en el diseño geométrico y permita la operación segura y sin contratiempos de un vehículo en movimiento.

- **Características Estáticas:** El tamaño del vehículo de diseño para una carretera es un factor importante en la determinación de los estándares de diseño de varios componentes físicos de la carretera. Estos incluyen el ancho del carril ancho de cuneta, longitud y ancho de las bahías de estacionamiento y la longitud de las curvas verticales. El peso en los ejes de los vehículos (en espera) sobre la carretera es importante para determinar el peralte del pavimento y la pendiente máxima.

**Tabla N° 15a**

**Rango de los Límites de Longitud del Vehículo por Tipo y del  
Peso Máximo del Vehículo**

<b>Tipo</b>	<b>Longitud permisible (m)</b>
Autobús	10,5 - 18,
Camión sencillo	10,5 - 18
Remolque, semi/completo	10,5 - 14,4
Semiremolque	16,5 - 25,5
Remolque de camión	16,5 - 25,5
Tractor semiremolque remolque	16,5 - 25,5
Camión remolque remolque	19,5 - 24
Tractor semiremolque, remolque, remolque	18 - 31,5

**Fuente:** Sociedad de Fabricantes de vehículos de motor de los Estados Unidos, Michigan mayo de 1982.

**Tabla N° 15b**

<b>Tipo</b>	<b>Peso Permisible (Kg.)</b>
Un eje	816,5 - 1088,6
Tándem - eje	1451,5 - 1814,5
Peso máximo bruto del vehículo (grandes)	33239,2 - 74389,2
Peso máximo bruto del vehículo (grandes) interestatales	33239,2 - 74389,2

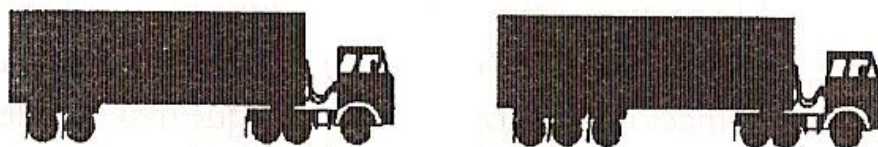
**Fuente:** Sociedad de Fabricantes de vehículos de motor de los Estados Unidos, Michigan mayo de 1982.

**Figura N° 11**  
**Tipos de Vehículos**

Camiones de una sola unidad



Vehículos combinados convencionales

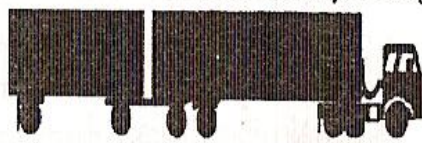


Tractor semirremolque de cinco ejes    Tractor semirremolque de seis ejes



STAA o doble del "Oeste"

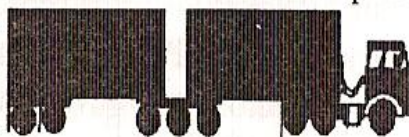
Vehículos combinados de mayor longitud (LCV) (Longer Combination Vehicles)



Doble de las montañas Rocallosas



Doble para carretera troncal



Combinación de remolque doble en tren B de 8 ejes



Combinación de remolque triple

**Fuente:** Sociedad de Fabricantes de vehículos de motor de los Estados Unidos, Michigan mayo de 1982.

- **Características Cinemáticas:** El elemento principal de las características cinemáticas es la capacidad de aceleración del vehículo. La capacidad de aceleración es importante en varias operaciones de tránsito, tales como las maniobras de rebase y la aceptación de la estrechura con frecuencia el dimensionamiento de las características de la carretera tales como las rampas en los viaductos y los carriles de rebase, se rigen por la aceleración, velocidad, distancia y tiempo.
- **Características Dinámicas:** Varias fuerzas actúan sobre un vehículo cuando este se encuentra en movimiento: la resistencia del aire, la resistencia de la pendiente, la resistencia al rodamiento, la resistencia de la curva., son fuerzas que afectan la operación del vehículo.

### **4.3 CARACTERÍSTICAS DE VEHÍCULOS CAÑEROS**

#### **4.3.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS**

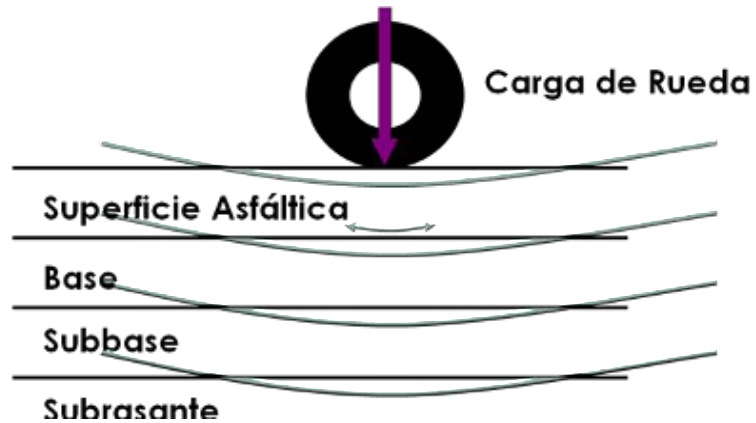
La masa y las dimensiones de los vehículos cañeros que circularan por este tramo son datos fundamentales para determinar las características geométricas de la carretera y de sus instalaciones auxiliares, como los estacionamientos que realizarían si se averiaran, lo que condicionaría a tener mayores dimensiones de la carretera que estos vehículos abarcan gran parte de la sección transversal de la carretera.

Recíprocamente, estas dimensiones hacen necesarias unas características geométricas mayores a las comunes en las carreteras. Por otro lado los pesos totales de los vehículos y el reparto entre sus ejes afectan a los firmes y estructuras de las carreteras, tal como se puede apreciar en el siguiente cuadro, su conocimiento es preciso para proyectarlos.



Figura N° 12

## Distribución de Cargas



Existen diferencias entre las dimensiones de los distintos tipos de vehículos cañeros: la longitud de los vehículos más pequeño pueden variar entre los 7.20 m y los 7.50 m. su anchura entre 2.30 y 2.40 m. y su masa es de unos 5 Ton a 7 Ton de un eje sencillo de cuatro llantas tal como se muestra en la fotografía.

Fotografía N° 23

## Vista Frontal Vehículo Cañero Pequeño





**Fotografía N° 24****Lateral Vehículo Cañero Pequeño**

Los vehículos medianos miden entre 9.5 y 10 m. de largo, y alrededor de 2,4 a 2.5 m. de anchura, y su peso es de 12.5 Ton a 13.5 Ton, los cuales se pueden observar en la siguiente fotografía.

**Fotografía N° 26****Vista Lateral vehículo Cañero Mediano**

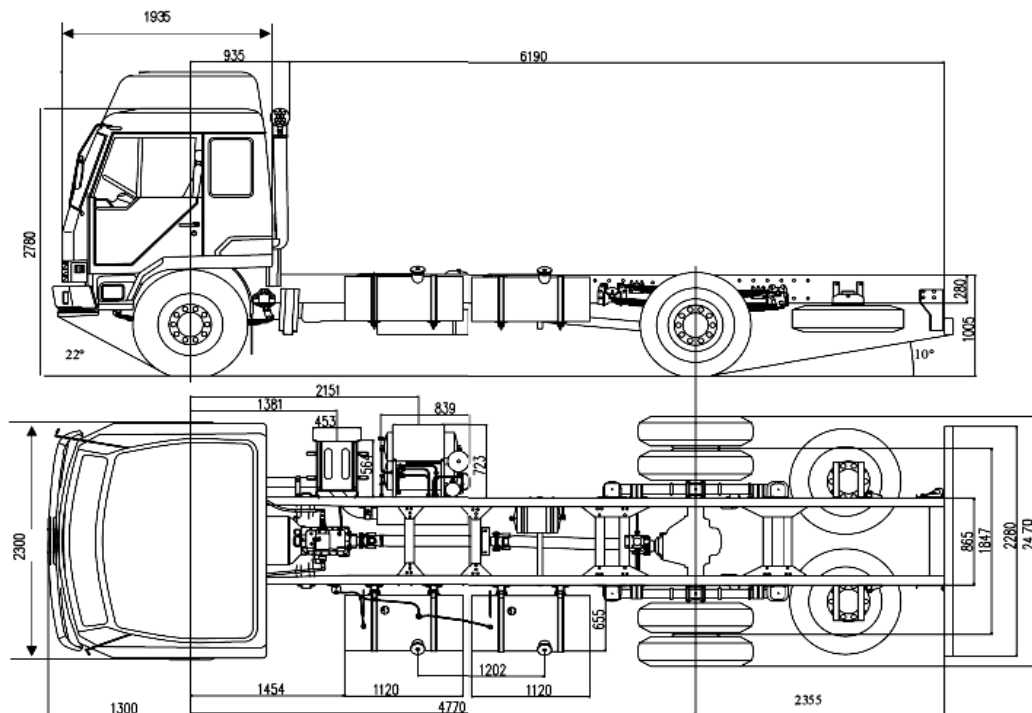
## Fotografía N° 25

### Vista Frontal vehículo Cañero Grande



Figura N° 13

### Dimensiones de Fábrica del vehículo Grande





También se tienen vehículos cañeros mas grandes que tiene una longitud de 16.5 m y 18.35 m. de longitud, su anchura esta entre 2,5 y 2.6 m. y su peso es entre 35 Ton y 40 Ton. La altura de los coches suele estar comprendida entre 3.5 m y 4 m. como se puede observar en las siguientes fotografías.

**Fotografía N° 27 Vista Frontal vehículo Cañero Grande (Articulado)**

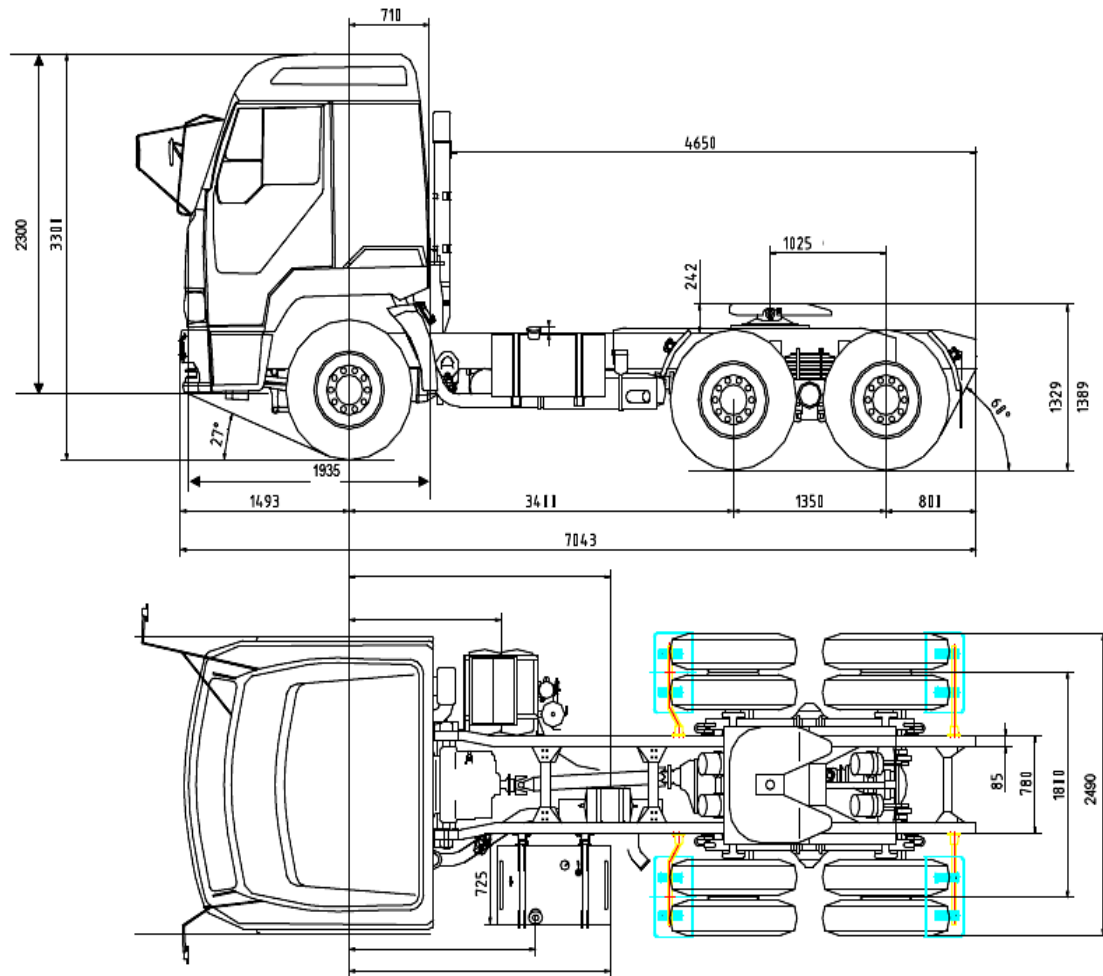


**Fotografía N° 28 Vista Lateral vehículo Cañero Grande (Articulado)**



Figura N° 14

## Dimensiones de Fábrica del vehículo Grande (Tracto)



Entre los vehículos pesados cañeros y no cañeros, autobuses y camiones dedicados a otras actividades, son de mayor capacidad tienen dimensiones y pesos muy cercanas o iguales a los límites máximos permitidos (tabla N° 16).

Existen incluso vehículos no destinados a circular por carreteras, tienen que solicitar un permiso especial, todos los que superan las dimensiones y pesos máximos legales, como ocurre con los vehículos de transporte de materiales en obras y transporte de equipo pesado.

**Fotografía N° 23**

**Longitudes de Vehículos Cañeros Mayores a las establecidas**



**Fotografía N° 24**

**Longitudes de Vehículos Cañeros Mayores a las establecidas**



Las limitaciones relativas que se refieren a pesos totales de vehículos cargados y a cargas máximas por eje. Los límites de peso total se establecen según el tipo de vehículo y su número de ejes. Las cargas máximas por eje dependen del tipo de eje. Estos pueden ser:

- Simples con rueda sencilla.
- Simples con rueda gemelas.
- Ejes tándem formados por dos ejes simples acoplados.
  1. Ambos con ruedas gemelas.
  2. Uno con rueda gemela y otro con rueda sencilla.
- Ejes trídem, formados por un conjunto de 3 ejes acoplados.

**Tabla N° 16**

**Dimensiones máximas autorizadas de los vehículos.**

<b>Longitud Máxima</b>	<b>(m)</b>
Vehículos rígidos	12,0
Camión articulado	16,5
Autobús articulado	18,0
Tren de carretera	18,35
<b>Anchura Máxima</b>	<b>(m)</b>
vehículo Normal	2,5
Vehículo Frigorífico	2,6
<b>Altura Máxima</b>	<b>(m)</b>
todos lo vehículos	4,0
<b>Radios Mínimos de Giro</b>	<b>(m)</b>
Radio exterior	13,5
Radio interior	5,3

**Fuente:** Ingeniería de Carreteras Norma de la Unión Europea.

Como puede apreciarse en la (tabla N°17), la carga máxima en un eje tándem es normalmente menor que el doble de la carga admitida en un eje simple. Las cargas máximas son iguales para ejes con rueda doble o sencilla, pero los fabricantes de vehículos los proyectan de modo que los ejes con rueda sencilla no carguen más de 6 a 7 toneladas. Algunos camiones circulan con cargas superiores a las máximas permitidas. Estos excesos de carga acortan notablemente la vida de los firmes y pavimentos y es necesaria una labor de vigilancia de las autoridades competentes que los eviten.

**Tabla N° 17**

**Pesos y Cargas Máximas de los vehículos.**

Tipos	Cargas (tn.)	
	Vehículos a motor	Remolques y semirremolques
<b>Cargas por eje</b>		
Eje simple	-	-
Eje motor	11,5	-
Eje no motor	10	10
Eje tándem (separación entre ejes d)		-
d ≤ 1 m.	11,5	11
1 < d ≤ 1,3 m.	16	16
1,3 < d ≤ 1,8 m.	19	18
Eje tridem (separación entre ejes d)	-	-
d ≤ 1,3 m.	-	21
1,3 < d ≤ 1,4 m.	-	24
<b>Peso Total</b>		
Vehículo rígido de 2 ejes	18	18
Vehículo rígido de 3 ejes	26	24
Vehículo rígido de 4 ejes	32	-
Autobús articulado de 3 ejes	28	-

Vehículo articulado de 4 ejes	38	-
Vehículo articulado de 5 o mas ejes, normal	40	-
Vehículo articulado de 5 o mas ejes para transporte de contenedores	44	-
Trenes de carretera de 4 ejes	36	-
Trenes de carretera de 5 o mas ejes	40	-

**Fuente:** Ingeniería de Carreteras Norma de la Unión Europea.

### 4.3.2 CARACTERÍSTICAS DE CIRCULACIÓN

El estudio de la circulación tiene como objetivo deducir las relaciones que hay entre sus principales características (*el número y la velocidad de los vehículos que utilizan la red viaria*), las condiciones de las carreteras y la ordenación y regulación del tráfico.

Se ha realizado un gran número de estudios sobre la circulación de los vehículos, y basándose en sus resultados se han desarrollado un conjunto de datos empíricos y algunos modelos teóricos para el estudio de tráfico.

Por ello resulta interesante el desarrollo de modelos teóricos, pero dada la complejidad del fenómeno de circulación, por lo que se hace necesario complementarlos con datos basados en estudios empíricos.

Dada la gran diversidad de características de circulación de los vehículos, para el proyecto de una carretera o de sus elementos auxiliares es necesario elegir unos vehículos tipo, a los que se considera representativos del conjunto de usuarios de la vía. Se eligen estos vehículos de modo que si los elementos de la vía son adecuados para ellos, lo sean también para la inmensa mayoría de los de su clase. Sus dimensiones, radios de giro, etc., Habitualmente, suelen elegirse como vehículos tipo un coche de tamaño grande, un camión rígido o un autobús o un vehículo articulado como se puede observar en el cuadro este seria uno de los vehículos que transitan en el tramo Bermejo – Los Ingenios



Figura N° 15

## Vehículo Articulado Vista en Planta

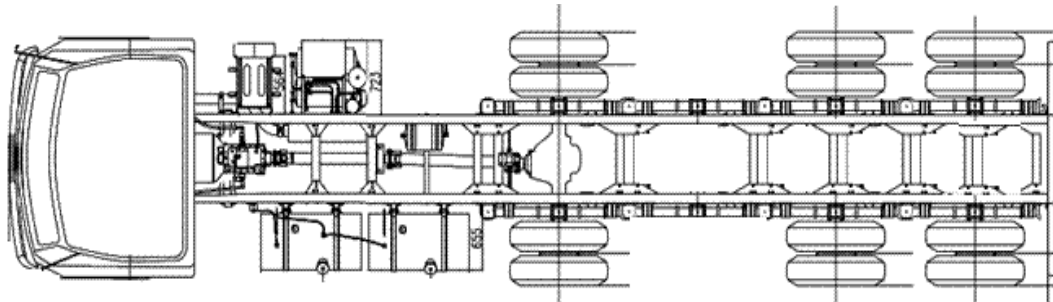
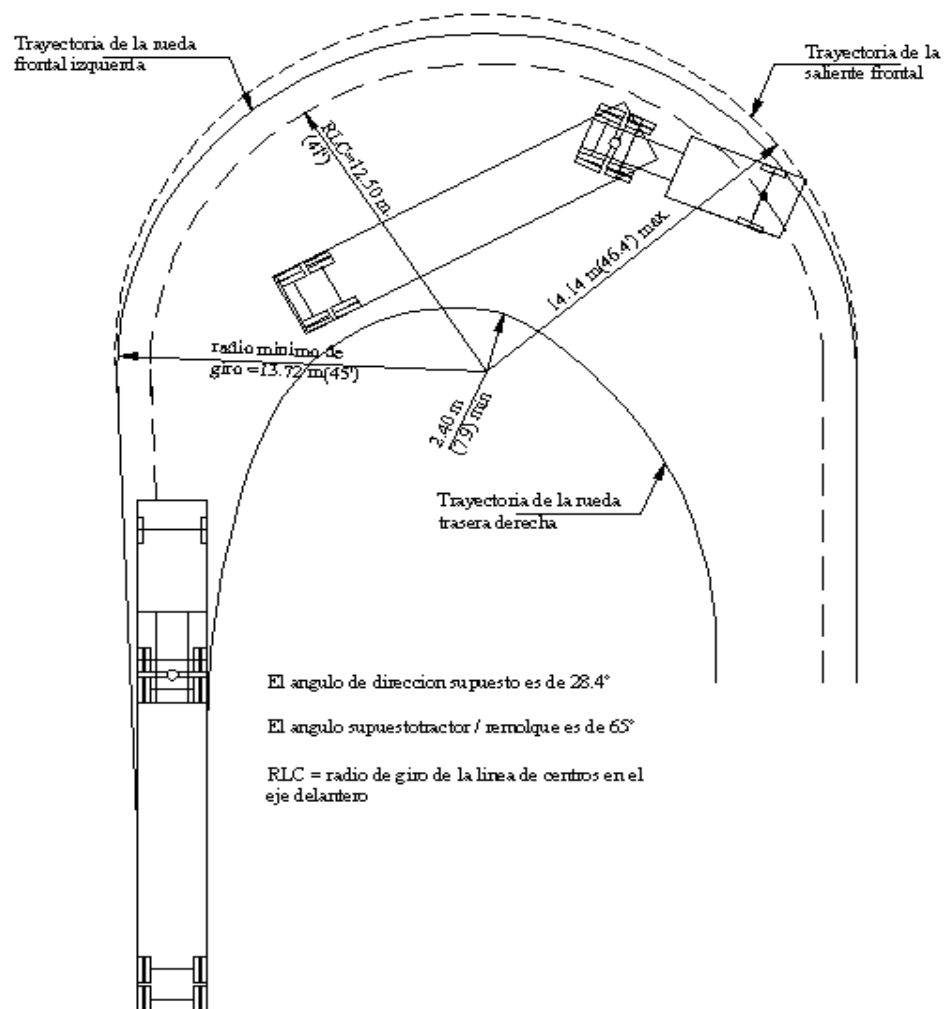


Figura N° 16

## Vehículo Articulado Vista en Planta en Trayectoria de Circulación



Para estudiar la circulación se emplean unas magnitudes que recogen los aspectos más importantes del mismo. Las empleadas más frecuentemente son la *intensidad* que define el número de vehículos que pasan por una sección de la carretera por unidad de tiempo, y la *velocidad media* de los vehículos.

En términos de ingeniería de tráfico, la *congestión* se puede definir como la situación que se produce en la circulación cuando la demanda de tráfico alcanza niveles cercanos o incluso superiores a la capacidad en una o varias secciones de la carretera. Por otra parte, las condiciones de circulación cuando hay congestión son inestables, debido al aumento de los conflictos entre los vehículos. Como consecuencia, la intensidad que discurre por las vías en situaciones de congestión resulta inferior a su capacidad.

Normalmente los vehículos más grandes exigen mayor espacio y encarecen la construcción de las carreteras. En las zonas residenciales será suficiente utilizar el coche tipo, ya que el número de camiones que utilicen las calles será muy reducido.

En carreteras será necesario considerar los camiones. En carreteras locales será suficiente con tener en cuenta el vehículo comercial rígido, ya que los grandes vehículos articulados utilizan poco estos caminos. Por el contrario, en los itinerarios principales y en autopistas será preciso tener en cuenta los vehículos de mayores dimensiones.

En algunas situaciones, tener en cuenta únicamente los vehículos tipo puede representar un dimensionamiento excesivo, que luego no se aproveche completamente.

En casos como estos interesara estudiar detalladamente la distribución de las características de los vehículos que utilizaran las instalaciones, para dimensionarlas en forma eficiente siendo factores determinantes en la circulación por donde este tipo de vehículos transiten.

#### **4.4 USOS Y APLICABILIDAD DE LOS VEHÍCULOS CAÑEROS**

En general, los propietarios de los vehículos cañeros los utilizan (usan) transportando caña de azúcar en la época de zafra ya sean vehículos pequeños, medianos y grandes, todos estos vehículos transportan la caña de azúcar desde los cañaverales hasta el Ingenio, el carguío lo hacen manual y transversalmente a su plataforma, los zafreiros y los conductores opinan que es mas cómodo cargar así y entra mas caña dicen ellos; esto dificulta la visibilidad de los vehículos pequeños, ciclistas y peatones para sobrepasar, porque sobresale la caña, de la plataforma una media de 0.8 m a ambos lados de la carrocería.

También los tractores agrícolas transportan caña de azúcar en un sistema de remolque (chatones) estos vehículos jalan de tres a cinco chatones cada uno estos vehículos y circulan a velocidades muy bajas como se muestra en la siguiente fotografía.

**Fotografía N° 25**

**Tractor Agrícola Jalando Chatones**



## Fotografía N° 26

### Medición de Tractor Agrícola que Jala Chatones



El uso que le dan los propietarios después de la época de zafra son varios, la mayoría de los vehículos pequeños se quedan con la misma carrocería hasta la próxima zafra estos sirven de medio de transporte para ir a cultivar, regar los nuevos cañaverales, etc. El resto cambia de carrocería para realizar otro tipo de trabajo por ejemplo transportar productos agrícolas o al transporte de pasajeros a lugares donde no hay servicio de buses.

El uso de los vehículos cañeros medianos y grandes en época de zafra es el traslado de caña desde los terrenos donde se cultiva hasta el Ingenio donde se procesa, una vez que acaba la zafra estos vehículos cambian de carrocería para dedicarse a otro tipo de actividad como ser transportar la materia prima (Azúcar) desde el Ingenio hasta Tarija los vehículos medianos. Los vehículos grandes se dedican a realizar viajes más largos por ejemplo desde Los Ingenios hasta la ciudad de Potosí, Oruro, La paz y para la exportación a otros países trasladando azúcar y otros vuelven a su lugar de origen para dedicarse a otro tipo de trabajo se dedican al transporte interdepartamental llevando productos agrícolas e industriales como ser papa, cebolla, maíz, harina, cemento, etc. Y los tractores se dedican a la agricultura cultivando los

terrenos. El uso de los vehículos en la zona de influencia y en general son muchos los servicios que prestan.

**Fotografía N° 27**

**Vehículo Cañero Prestando otro tipo de servicio**

**(Trasporte de Azúcar Ingenio Bermejo – La Paz)**



## EFECTO DE LOS VEHÍCULOS CAÑEROS EN LA CAPACIDAD Y DETERIORO DEL PAVIMENTO

### 5.1. EFECTO DE LOS VEHÍCULOS CAÑEROS EN LA CAPACIDAD DE LA CARRETERA

Desde el punto de vista de una red viaria, se puede considerar que los vehículos cañeros originan una reducción en la capacidad de la carretera o un incremento anormal de la demanda. Diversos estudios sobre vehículos pesados han demostrado que las demoras aumentan geométricamente con el tiempo empleado en despejar un determinado tramo. Por otra parte, la falta de visibilidad, obstrucciones laterales, originan incidentes secundarios, debido a retenciones o a reducciones bruscas e inesperadas de la velocidad de los vehículos cañeros.

Si el tráfico no está formado exclusivamente por coches será necesario obtener la intensidad de un tráfico equivalente que estuviera formado únicamente por coches.

Para ello se aplican unos factores de equivalencia que sirven para determinar a cuantos coches equivale cada vehículo de otro tipo. Estos factores de equivalencia dependen del tipo de vehículo (camiones medianos, grandes, autobuses y vehículos de recreo) y de las características del trazado que a su vez dependen del tipo de terreno atravesado (terreno llano, ondulado o accidentado).

En la tabla N° 18 se presentan los factores de equivalencia que hay que utilizar. Si se conoce la composición del tráfico (porcentajes de vehículos pesados y de recreo,  $p_p$  y  $p_r$ ), y los correspondientes factores de equivalencia,  $E_p$  y  $E_r$ , la intensidad en los vehículos equivalentes será:

$$I_{eq} = I * \frac{100 - P_p - P_r + P_p * E_p + P_r * E_r}{100}$$

Tomando en cuenta el resumen de las tablas 20, 21 se obtiene  $I_{eq}$  de la expresión

Entonces:

$$I_{eq} = 5.25 \frac{100 - 53.47 - 3.21 + 53.47 * 1.5 + 1.2 * 1}{100}$$

$$I_{eq} = 5.58 \text{ (veh./hora).}$$

$$f_{vp} = \frac{100 - p_p - p_r + p_p * E_p + p_r * E_r}{100}$$

$$f_{vp} = 1.06$$

Puede considerarse como un factor de corrección que multiplicado por la intensidad en vehículos reales, da la intensidad en vehículos equivalentes; y a la inversa, dividiendo la intensidad en vehículos equivalentes por este factor se obtiene la intensidad en vehículos reales.

**Tabla N° 18.**

**Factores de equivalencia de vehículos pesados.**

Tipo de vehículo	Tipo de terreno		
	Llano	Ondulado	Accidentado
Camiones y autobuses	1.5	2.5	4.5
Vehículos de recreo	1.2	2.0	4.0

**Fuente:** TRB, Manual de capacidad 2000.

Según los datos del Anexo se tiene los resúmenes de los todos los vehículos que transitan por el tramo Bermejo – Los Ingenios en las siguientes Tablas.

**Tabla N° 19**

**RESUMEN TPD DE VEHÍCULOS LIVIANOS**



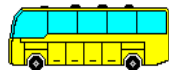
	AUTOMOVILES VAGONETAS JEEP	CAMIONETAS (hasta 2 Ton.)	MINIBUSES (7 a 15) Asientos	TOTAL
<b>TOTAL</b>	102	113	41	256
<b>% CADA TIPO</b>	17.26%	19.12%	6.94%	43.32%

**Fuente:** Elaboración Propia.



Tabla N° 20

## RESUMEN TPD DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE

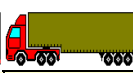
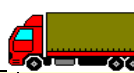
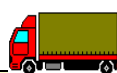


	MICROBUSES (16 a 21) Asientos	BUS MEDIANO (22 a 35) Asientos	BUS GRANDE (Mas de 35) Asientos	TOTAL
TOTAL	10	7	2	19
% CADA TIPO	1.69%	1.18%	0.34%	3.21%

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 21

## RESUMEN TPD DE VEHICULOS PESADOS



	C. MEDIANO EJE SIMPLE (2.5 a 10 Ton.)	C. GRANDE EJE SIMPLE (10 Ton. ó mas)	C. GRANDE EJE TAMDEM (10 Ton. ó más)	CAMION SEMI REMOLQUE	CAMION CON REMOLQUE	OTROS VEHÍCULOS	TOTAL
TOTAL	116	110	69	4	7	10	316
% CADA TIPO	19.63%	18.61%	11.68%	0.68%	1.18%	1.69%	53.47%

Fuente: Elaboración Propia.

El manual de capacidad utiliza tres parámetros para descubrir la calidad de servicio en carreteras de dos carriles que son:

- Velocidad media de recorrido ( $V_m$ )
- Porcentaje de tiempo de demora.
- Capacidad utilizada ( $I/C$ )

Las condiciones ideales en la que se basa el análisis en las carreteras de dos carriles se definen como condiciones no restrictivas desde los puntos de vista de las características geométricas, de la circulación y del entorno. Estas condiciones ideales son.



- Velocidad de proyecto igual o menor a 100 km/hr.
- Anchuras de carril iguales o superiores a 3,60 m.
- Arcenes de anchura igual o superior a 1,80 m.
- Sin accesos a las propiedades colindantes.
- Trazado llano (sin inclinaciones de más del 2 por 100).
- Sin prohibiciones de adelantamiento.
- Tráfico formado exclusivamente por coches.
- Reparto de tráfico total entre sentidos 50-50 por cada 100.

La capacidad de las carreteras de dos carriles en estas condiciones ideales es de 2800 veh./hr. Sumando ambos sentidos. Esta capacidad refleja la influencia de los vehículos que circulan en sentido opuesto sobre las oportunidades para adelantar y por tanto sobre la posibilidad de llenar de un modo eficiente los huecos que restringe la capacidad a valores por debajo de los 2000 veh/hr/carril que puedan circular en carretera multicarril de circulación continúa.

La distribución por sentidos se define como 50-50 para las condiciones ideales.

El análisis se realiza en diferentes tipos de tramos como ser:

- Tramos de características normales.
- Tramos en rampa.

#### **5.1.1. TRAMOS DE CARACTERÍSTICAS NORMALES**

Se define a estos tramos como a aquellos segmentos de carretera que no tienen simultáneamente rampas de más del 3 % y de más de 800 m de longitud.

Los datos de la proporción de camiones pesados (con 6 o más ruedas sobre el pavimento), vehículos de recreo y autobuses en la circulación deben ser conocidos, caso contrario pueden utilizarse los siguientes valores:

$$P_c = 0,14 \quad (\text{camiones})$$

$P_r = 0,04$  (vehículos de recreo)

$P_b = 0,00$  (autobuses)

Valores recomendados por *EE.UU.*

$P_c = 0,15$  (camiones)

$P_r = 0,0075$  (vehículos de recreo)

$P_b = 0,01 - 0,02$  (autobuses)

Valores recomendados en *Europa*.

La relación general que define la circulación en tramos de características geométricas normales es:

$$I_n = 2800 * (I/C)_n * f_r * f_a * F_{vp}$$

Donde:

$I_n$  = Intensidad de nivel de servicio  $n$  en veh/hr en ambos sentidos para las condiciones prevalecientes de la carretera

$(I/C)_n$  = Capacidad utilizada o relación de la intensidad para el nivel de servicio  $n$  a la capacidad ideal.

$f_r$  = Factor de corrección por distribución de la circulación por sentidos.

$f_a$  = Factor de corrección por carriles y arcenes estrechos.

$F_{vp}$  = Factor de corrección debido a la presencia de vehículos pesados.

Estos están referidos a vehículos ligeros, considerando como tales los que tienen 4 ruedas en contacto con el pavimento.

Los vehículos pesados se clasifican en camiones, vehículos de recreo y autobuses, el factor de corrección  $F_{vp}$  se calcula por la relación:

$$F_{vp} = 1/[1 + P_c(E_c - 1) + P_r(E_r - 1) + P_b(E_b - 1)]$$

Donde:

$P_c$ ,  $P_r$  y  $P_b$  son los porcentajes de camiones, vehículos de recreo y autobuses respectivamente.

$E_c$ ,  $E_r$  y  $E_b$  son los factores de equivalencia en vehículos de camión, vehículo de recreo y autobús.

### 5.1.2. TRAMOS EN RAMPA

Se consideran rampas las que tienen pendiente superior al 3 % y simultáneamente longitud superior a 800 m.

El análisis de rampas en carreteras de dos carriles es más complejo que en tramos de características geométricas normales.

Las intensidades de servicio para el conjunto de los dos sentidos pueden calcularse para un determinado nivel servicio o consecuentemente para determinada velocidad media de subida. La relación que se utiliza es la siguiente:

$$I_n = 2800 * (I/C)_n * f_r * f_a * f_i * F_{vp}$$

Cuya relación y factores que intervienen son prácticamente similares al de los tramos normales adjuntándose solamente un nuevo factor  $f_i$  que es:

$f_i$  = Factor de corrección para valorar los efectos de las rampas en la circulación de vehículos ligeros.

La corrección por vehículos pesados se realiza en base al factor  $F_{vp}$  cuyo cálculo se realiza con la expresión:

$$F_{vp} = 1/[1 + P_p(E_p - 1)]$$

Donde:

$F_{vp}$  = Factor de corrección por la presencia de vehículos pesados en la circulación en subida.

$P_p$  = Proporción total de vehículos pesados (camiones + vehículos de recreo + autobuses) en la circulación en subida.

$E_p$  = Equivalencia en vehículos ligeros para la composición concreta de vehículos pesados existentes en la subida calculada con la relación:

$$E_p = 1 + (0,25 + P_c/p) (E - 1)$$

Donde:

$P_c/p$  = Proporción de camiones entre los vehículos pesados, es decir, porcentaje de camiones sobre el total de vehículos pesados (camiones, vehículos de recreo y autobuses)

$E$  = Equivalente de vehículos ligeros para una pendiente en rampa o para una longitud y velocidad dadas.

Según lo planteado en el tramo Bermejo los ingenios existen tramos que tienen rampas como se puede observar en las siguientes fotografías.

### Fotografía N° 28

#### Rampa tramo Bermejo – Los Ingenios



Localidad: Bermejo – Los Ingenios

Ancho de carril: 3,60 m.

Ancho de berma: no tiene

Pendiente de rampa: 4 %

Longitud de rampa: 800 m.

Tipo de terreno: Llano

### 5.1.3 TRAMO DE RIPIO

Un camino de acceso o una carretera de dos carriles uno en cada sentido, se considera que la capa de rodadura es de ripio cuando tiene un 90% de toda su longitud con un pavimento de agregado suelto y arenoso (ripio). Un camino de acceso esta compuesto por tres elementos: Las secciones básicas del camino, de acceso; las áreas de mezcla de tránsito y los entronques de rampas.

Las secciones básicas del camino de acceso son tramos del mismo, que están fuera del área de influencia de las rampas o de las áreas de mezcla de tránsito. La mezcla de tránsito ocurre, cuando los vehículos cruzan sus respectivas trayectorias mientras transitan por el camino de acceso.

El punto en el cual comienza el tramo de ripio en Bermejo - Los ingenios es a una distancia de 300 m de terminado el pavimento rígido, en la Avenida Victor Paz esto se evidencia en la siguiente fotografía.

#### Fotografía N° 29

#### Comienzo del Tramo de ripio



Es el punto donde inicia el tramo de ripio de la ex carretera asfaltada del camino que nos lleva al ingenio (IABSA), la sección básica de este camino va variando a lo largo de su longitud, empieza con una carretera de carriles separados, uno en cada sentido como se ver en la siguiente fotografía.

### **Fotografía N° 30 Comienzo de ripio en zona Urbana**



Se observa que aproximadamente a la mitad este tramo la superficie de la carretera se encuentra en su totalidad cubierta con ripio tal como se puede observar en las fotografías N° 31a , 31b , quedando pequeñas evidencias de que este tramo alguna vez fue asfaltado.

El mantenimiento de rypiado de este tramo las realizan entidades estatales, en época de zafra este rypiado desaparece casi en su totalidad por la gran cantidad de vehículos pesados que circulan por esta carretera.



**Fotografía N° 31a**

**Tramo ripiado en regular estado**



**Fotografía N° 31b**

**Tramo ripiado en regular estado**



Llegando a los ingenios se evidencia que también la superficie de la carretera esta rípiada por lo que podemos afirmar que mas del 95% esta rípiado, debido a que el pavimento fue destruido, dejando evidencias mínimas de secciones aun con trozos de pavimento, realmente dificultarían el tránsito de cualquier tipo de vehículo que circular por el mismo. Siendo ésta la razón por la que todo el tramo tiene que estar completamente rípiado, para darles una relativa comodidad a los usuarios de este tramo de la carretera.

### **Fotografía N° 32**

#### **Tramo rípiado entrada a los Ingenios.**



## **5.2. CONSIDERACIONES RESPECTO A CAPACIDAD EN CARRETERAS DE DOS CARRILES**

*Manual Colombiano:* El Instituto de Vías de Colombia, en los últimos años ha realizado estudios que le han permitido llegar a establecer el Manual de Capacidad de Carreteras de Dos Carriles bajo condiciones y características reales al tramo de ese país.

Para el cálculo de la capacidad, parte de una capacidad máxima en condiciones ideales, la que disminuye a medida que las condiciones particulares de la vía en



estudio se aparten de estas. Las condiciones ideales son aquellas en las que no existen restricciones geométricas, de tráfico ni ambientales.

El Manual Colombiano tiene los siguientes principios básicos:

- Separación del cálculo de capacidad y nivel de servicio.
- La importancia de los factores geométricos sobre los de tráfico.
- Velocidad media de recorrido como medida de efectividad para el nivel de servicio.
- Aplicación de factores de corrección.
- Uso de solamente una curva en la corrección por curvatura.

Entre los factores que influyen en la circulación del tráfico que considera el manual colombiano están:

- Efecto de curvatura y peralte.
- Efecto de pendientes tanto ascendentes como descendentes.
- Efecto de los camiones.
- Efecto del estado de superficie de rodadura.
- Efecto de la interacción vehicular.
- Efecto de la distribución por sentido.

En particular el efecto de los camiones que en general tienen un mayor tamaño y mayor relación peso/potencia que los demás vehículos, lo que se traduce en las siguientes características que afectan apreciablemente la circulación:

- Ocupan más espacio en la vía.
- Aceleran más lentamente.
- Desarrollan menores velocidades.

Al ocupar mayor espacio, necesitan mayor tiempo para recorrer su propia longitud, es decir su paso demora más, lo que reduce la capacidad de la vía.

La menor velocidad de los camiones obliga a los conductores que los siguen a circular a velocidades menores de los que éstos desean, especialmente cuando las oportunidades de sobrepaso son pocas. El resultado es que se reduce la velocidad de la corriente vehicular y por ende el nivel de servicio que ofrece la vía. Al reducirse esta velocidad también aumentan los intervalos entre vehículos que transitan por hora disminuyendo la capacidad de la vía.

En el Manual Colombiano las equivalencias en automóviles están implícitas en los factores de corrección condensados en las tablas que representan el efecto de los vehículos pesados.

El porcentaje de vehículos pesados se debe obtener tanto para la hora pico como para toda la semana, en aquellas vías que presenten grandes fluctuaciones de este valor, especialmente en las carreteras en que existen restricciones al paso de vehículos pesados los fines de semana.

La capacidad de una carretera de dos carriles en condiciones ideales  $C_i$  es de 3200 veh/hr. en ambos sentidos, este valor bajo las siguientes condiciones ideales:

- Repartición del tráfico por igual en ambos sentidos.
- Terreno plano y rasante horizontal.
- Carriles de no menos de 3,65 m de ancho.
- Bermas de no menos de 1,80 m de ancho.
- Superficie de rodadura en condiciones óptimas.
- Alineamiento recto.
- Ausencia de vehículos pesados.
- Visibilidad adecuada para adelantar.
- Señalización horizontal y vertical óptima.

Por tanto la capacidad en vehículos mixtos por hora  $C_{60}$  para esas condiciones, suponiendo que no hay variaciones aleatorias durante esa hora, esta dada por la expresión:

$$C_{60} = 3200 * F_{pe} * F_d * F_{cb} * F_p$$

Donde:

$F_{pe}$  = Factor de corrección por inclinación de la rasante.

$F_d$  = Factor de corrección por distribución del tráfico por sentidos.

$F_{cb}$  = Factor de corrección por ancho de carril y berma utilizable.

$F_p$  = Factor de corrección por vehículos pesados.

Por lo tanto los vehículos pesados son un factor que reduce la capacidad de la carretera porque:

- Su paso demora más debido a su mayor longitud y a la menor velocidad.
- Retardan el paso de vehículos más rápidos que los siguen al obligarlos a reducir su velocidad.

El efecto de la reducción de la capacidad que causan los vehículos pesados esta dado por el factor  $F_p$ .

En caso de que se detecte una variación aleatoria considerable del volumen de tráfico se opta por otra relación igual a:

$$C = C_{60} * FHP$$

Donde:

$C_{60}$  = Capacidad de vehículos mixtos por hora sin considerar variaciones aleatorias.

FHP = Factor de hora punta.

En general los estudios de capacidad son de mucha importancia para proyectar carreteras nuevas o para mejorar las características geométricas y de tránsito de las carreteras ya construidas.

***Manual de Capacidad de Carreteras D.C. 2000:*** Los procedimientos desarrollados para las carreteras de dos carriles permiten evaluar el nivel del servicio y la capacidad para dos marcos de análisis:

- 1) El operativo
- 2) Aplicaciones de la planificación

Se analizan dos tipos de carreteras de dos carriles, se las define de acuerdo con su función de la siguiente manera.

- *Clase I.* Las carreteras de dos carriles que funcionan como troncales primarios, rutas cotidianas de viajeros de ida y vuelta y enlaces con sus carreteras principales. La expectativa de los conductores es que el viaje será a velocidades relativamente altas.
- *Clase II.* Carreteras de dos carriles en las cuales la expectativa de los conductores es que la velocidad de viaje será menor que para los camiones de clase I. estas carreteras pueden servir como acceso a las carreteras de dos carriles de clase I, o también como desviación panorámica a la que los conductores pueden admitir el paisaje. Las carreteras de clase II pueden localizarse en terreno escabroso. La duración promedio de un viaje en una carretera de clase II es menor que para carreteras de clase I.

Para un análisis a escala operativa, el nivel de servicio se determina con base en las condiciones del tránsito existentes o futuras, y en las características específicas del camino. El procedimiento del MCC está diseñado para analizar las carreteras de dos carriles.

- 1) Tránsito en ambos sentidos.
- 2) Para un sentido específico

3) Para un tramo direccionado con un carril de rebase.

Si el terreno es montañoso, o si la longitud del tramo que se va a analizar es mayor que 965.6 m y la pendiente es por lo menos del 3 por ciento, las carreteras de dos carriles se analizan para pendientes específicas accedentes o descendentes.

Para un análisis al *nivel de planificación*, los únicos elementos que siguen a los procedimientos operativos son las estimaciones, los valores del MCC. Se usan valores de tránsito anual promedio (TAP) para estimar el volumen horario de diseño direccionado (VHDD).

Existen dos parámetros para describir la calidad de servicio de una carretera de dos carriles:

- 1) El porcentaje de tiempo que ocupa un vehículo en seguir a otro vehículo.
- 2) La velocidad promedio de viaje.

***El porcentaje de tiempo que se ocupa en seguir a otro vehículo (PTSOV)*** es el porcentaje promedio de tiempo que ocupan los vehículos, cuando viajan detrás de vehículos más lentos. Cuando el tiempo entre vehículos consecutivos (denominado el “intervalo entre vehículos”) es menor que tres segundos, se considera que el vehículo que va detrás está siguiendo al vehículo que va adelante. El PTSOV es una medida de la calidad de servicio que ofrece la carretera.

***La velocidad promedio de viaje (VPV)*** es la velocidad media en el espacio de los vehículos en el flujo vehicular. La velocidad media en el espacio, se determina con base en la longitud del tramo carretero dividida entre el tiempo promedio necesario para que todos los vehículos atraviesen el tramo, en ambos sentidos durante el intervalo designado. La VPV es una medida de grado, para el cual la carretera cumple con su función de suministrar una movilidad suficiente, las condiciones básicas existen para las siguientes características:

- Terreno plano.
- Ancho de carril de 3.65 m o mayor.

- Acotamientos libres de 1.8 m o mas.
- Se permite rebasar en ausencia de zonas de no rebase.
- No hay impedimentos al tránsito de paso debido a controles de tránsito o ha vehículos que dan vuelta.
- En el flujo vehicular, solamente hay vehículos de pasajeros.
- El volumen es igual en ambos sentidos (para los análisis de flujo en dos sentidos).

### **5.3 INFLUENCIA DE LOS VEHÍCULOS CAÑEROS EN LA CAPACIDAD Y DETERIORO DEL PAVIMENTO**

En la carretera Bermejo-Los Ingenios la influencia de los vehículos cañeros en la capacidad de la carretera de dos carriles, es un factor concurrente; el adelantamiento a los vehículos cañeros se hace más dificultoso porque estos circulan a velocidades muy bajas, los vehículos cañeros cuando circulan con carga tienen un ancho mayor que el estándar, por lo tanto los vehículos livianos tienen que utilizar el carril del sentido opuesto. Para poder efectuar esta maniobra con seguridad es preciso disponer de una distancia suficiente en el carril de sentido opuesto libre de vehículos y de una distancia de visibilidad adecuada.

A medida que aumentan los volúmenes de tránsito y/o las restricciones geométricas, disminuye la posibilidad de adelantar, lo que da lugar a la formación de pelotones, al estar obligados los conductores a ajustar su velocidad de recorrido individual para igualarla a la del vehículo más lento que los preceda, cabe notar que en la carretera en estudio hay poca afluencia de vehículos.

Los vehículos cañeros circulan a velocidades menores que los demás vehículos que transitan por la carretera hacia Los Ingenios, la mayoría de vehículos cañeros

cargados circulan con sobrepeso, llegando estos a porcentajes de 84 % de vehículos exceden su peso permitido por ley.

Entonces el sobrepeso es un factor determinante en la vida útil de una carretera en especial en la carreta Bermejo - Los Ingenios.

### **5.3.1 EN LA CAPACIDAD**

#### **5.3.1.1 POR EL TIPO DE VEHÍCULO**

Los camiones cañeros tienen, en general, mayor tamaño y mayor relación peso/potencia que los demás vehículos, y tienen características particulares por ejemplo en su carrocería, está dividida en dos, tres y cuatro partes para vehículos pequeño, mediano y grande y los vehículos con semirremolque (tráiler), está dividida su carrocería en seis partes, lo cual llevan dos, tres, cuatro y seis paquetes de caña de azúcar respectivamente, y los tractores agrícolas arrastran tres chatones, estas características particulares es una forma de transportar la caña de azúcar en Bermejo estas características se muestran en las siguiente fotografías.

#### **Fotografía N° 33**

#### **Influencia en el Tramo Bermejo – Los Ingenios**



Estos vehículos ocupan mayor espacio en la carretera, lo que reduce la capacidad de la vía. También su mayor longitud de los vehículos cañeros, limita más las maniobras de sobrepaso como se aprecia en la siguiente fotografía N° 35.

- Vehículo pequeño      Dos Ejes.
- Vehículo mediano      Dos Ejes.
- Vehículo grande      Tres Ejes.
- Semirremolque      Cinco Ejes.
- Tractor agrícola (chatón) Ocho Ejes.

### **Fotografía N° 35**

#### **Influencia en el Tramo Bermejo – Los Ingenios**



#### **5.3.1.2 POR EL VOLUMEN DE TRÁFICO**

El conteo de vehículos que se realizó en cada sección de la carretera nos muestra la variación del volumen del tráfico dependiendo de la hora, del día y del mes. La distribución por sentidos es muy desigual, en un sentido de la vía, Bermejo – Los



Ingenios se satura y alcanza su capacidad máxima mientras, que el otro sentido está lejos de saturarse; mientras la demanda de tráfico puede variar de forma continua, la capacidad de la infraestructura lo hace de manera escalonada. Es decir, que el volumen (en ambos sentidos) en la carretera no afecta a la capacidad, más bien está, afectado por la distribución por sentidos del tránsito de vehículos cañeros y otros. Si entre los vehículos que circulan por la carretera hay vehículos pesados (cañeros), el número total de vehículos que pueden atravesar una sección será menor que si todos los vehículos fueran coches.

Además de conocer el número total de vehículos que pasan por una carretera, frecuentemente interesa saber qué tipo de vehículos circulan por ella.

- Motocicletas (vehículos pequeños con 2 ruedas).
- Vehículos ligeros (coches, furgonetas y camionetas con 4 ruedas).
- Vehículos pesados (autobuses, tractor agrícola y camiones cañeros con 6 o más ruedas).

**Tabla N° 22**

**RESUMEN TPH DE VEHÍCULOS LIVIANOS**

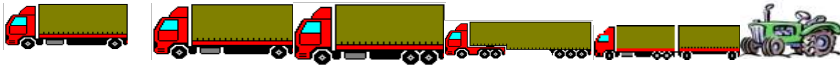


	<b>AUTOMOVILES VAGONETAS JEEP</b>	<b>CAMIONETAS (hasta 2 Ton.)</b>	<b>MINIBUSES (7 a 15) Asientos</b>	<b>MICROBUSES (16 a 21) Asientos</b>	<b>BUS MEDIANO (22 a 35) Asientos</b>	<b>BUS GRANDE (Mas de 35) Asientos</b>	<b>TOTAL</b>
<b>TOTAL</b>	102	113	41	10	7	2	275

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla N° 23**

**RESUMEN TPH DE VEHICULOS PESADOS**



	<b>C. MEDIANO EJE SIMPLE (2.5 a 10 Ton.)</b>	<b>C. GRANDE EJE SIMPLE (10 Ton.ó mas)</b>	<b>C. GRANDE EJE TANDEM (10 Ton.ó más)</b>	<b>CAMION SEMI REMOLQUE</b>	<b>CAMION CON REMOLQUE</b>	<b>OTROS VEHICULOS</b>	<b>TOTAL</b>
<b>TOTAL</b>	116	110	69	4	7	10	316

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 24

### 5.3.1.3 POR EL TIPO DE CIRCULACIÓN.

Para estudiar la circulación de los vehículos se emplea unas magnitudes que recogen los aspectos más importantes del mismo. Las empleadas más frecuentemente son la *intensidad*, que define el número de vehículos que pasan por una sección de la carretera por unidad de tiempo, y la *velocidad media*.

Los vehículos cañeros tienen, en general, mayor tamaño y ocupan mayor área que los demás vehículos, en la carretera lo que se traduce en las siguientes características que afectan apreciablemente la circulación:

- Ocupan más espacio en la vía, largo y ancho (por la carga).
- Aceleran más lentamente.
- Desarrollan menores velocidades.

Al ocupar mayor espacio, necesitan mayor tiempo para recorrer su propia longitud, es decir, su paso demora más, lo que reduce la capacidad de la vía. También su mayor longitud, y el ancho exagerado por la carga, limitan más las maniobras de sobrepaso a vehículos livianos. Los conductores de cada uno de los vehículos dependen de innumerables variables que incluyen sus aptitudes, sus conocimientos y su actitud en la circulación por la carretera.

**Tabla N° 25**  
**VELOCIDAD MEDIA DEL TRAMO**

TRAMO DE ESTUDIO	VELOCIDAD (Km/Hr)	VELOCIDAD (Km/Hr)
	LIVIANOS	BUSES Y CAMIONES
BERMEJO-LOS INGENIOS	40.0	27.0

Fuente: Elaboración Propia.

La aceleración lenta de los vehículos cañeros, es un impedimento grande en la circulación por la carretera; el estado en que se encuentra la superficie de

rodadura afecta a la velocidad, comodidad, economía y principalmente a la seguridad.

### **5.3.2 EN EL DETERIORO**

#### **5.3.2.1 POR EL TIPO DE VEHÍCULOS**

Los vehículos pesados y en especial los cañeros, transportan cargas voluminosas y cargas concentradas, en su mayoría con sobrepeso, los dueños de los vehículos solamente velan sus intereses, porque quieren ganar mas dinero llevando la mayor cantidad de carga a cualquier costo.

En primer lugar arruinan la carretera todos los vehículos con sobrepesos mayores a los estipulados por ley.

Los vehículos cañeros que circulan por la carretera Bermejo-Los Ingenios son vehículos que no son los adecuados o aptos de uso exclusivo para transportar caña de azúcar son acondicionados sin criterio técnico las carrocerías o la plataforma no tiene una mediada estándar están fabricadas artesanalmente, los vehículos cañeros que trabajan en la zona se los puede clasificar por el número de ruedas:

- Vehículo pequeño            4-6 ruedas
- Vehículo mediano            6 ruedas
- Vehículo grande A            6 ruedas.
- Vehículo grande B            8 ruedas
- Vehículo grande C            10 ruedas
- Veh. Semirremolque        14 ruedas.
- Veh. Con Remolque        18 ruedas
- Tractor Agrícola            28 ruedas.

Es necesario hacer referencia a los vehículos cañeros cuyas cargas y dimensiones superan las admisibles. Los conductores se constituyen en el elemento más importante en la circulación de los vehículos por la carretera. El movimiento de los vehículos cañeros, en la carretera depende fundamentalmente de los

conductores y la calidad de la circulación es el resultado de su mayor o menor habilidad para adaptar el movimiento de los vehículos a las características de la carretera y de la circulación.

### **5.3.2.2 POR EL VOLUMEN DE TRÁFICO**

El volumen de vehículos pesados se obtiene por un conteo continuo del tránsito en la sección de la carretera, esto nos mostrara que el volumen de tránsito varía de hora en hora, de día en día y cada mes. Una observación regular de los volúmenes de tránsito a lo largo de un año se identifica ciertas características que muestran que el volumen de tránsito en una sección de la carretera varia con el tiempo esta variación es representativa. Se toma en cuenta estas características del volumen de transito, las variaciones mensuales es importante ya que en los meses de zafra tiene un gran volumen de tráfico, en cambio en la época que no existe zafra no existe ningún volumen de tráfico las cuales se observa en enero y febrero, debido principalmente a la época de que no hay zafra y el volumen pico se observa en agosto.

Las variaciones diarias en las tablas del Anexo 1, (tablas 25a) hasta la (tabla 25i), Elaboración Propia; y las tablas del Anexo 1, (tablas 25j) hasta la (tabla 25r), son datos del estudio de SEDECA, la tabla 25s es el promedio de Elaboración Propia y SEDECA, en la cual se advierte los volúmenes de tránsito que varia progresivamente en función de la cosecha de la caña de azúcar.

Esto nos indica para realizar conteos de volumen es útil programar la recolección de datos, entre semana o fines de semana.

Las variaciones horarias del volumen de tránsito varía de acuerdo al clima y disponibilidad de la cosecha.

Puede observarse que casi no hay tránsito entre la 1 am y las 5 am y que los volúmenes pico ocurren entre las 8 am y las 9 am, al mediodía entre las 1 pm y 4 de la tarde y a las 6 pm. Por lo tanto puede inferirse que los viajes de trabajo son los principales causantes de los horarios pico.

Por consiguiente, la capacidad de la carretera será menor cuando circulan estos vehículos cañeros. Para tener en cuenta el efecto producido por los vehículos

pesados (cañeros), se utiliza el concepto de número de coches equivalentes a un vehículo pesado, o *factor de equivalencia*. Es decir, se determina el número de coches que producirían el mismo efecto en la corriente de tráfico que un solo vehículo pesado.

Conocido este factor de equivalencia, se puede sustituir la intensidad de vehículos pesados por una intensidad equivalente de automóviles ligeros, y se puede operar con ella para determinar el nivel de servicio como si el tráfico estuviera formado únicamente por vehículos ligeros.

### **5.3.2.3 POR EL TIPO DE CIRCULACIÓN**

Los vehículos para circular por una carretera deben respetar las normas referentes a las dimensiones y a las masas, se establecen límites máximos para su anchura, su altura, su longitud y su masa total, así como las máximas cargas que pueden llevar y las presiones máximas de inflado de las ruedas, separación entre vehículos.

Los conductores de los vehículos cañeros no respetan las normas de circulación ocupan el centro de la carretera, el carril contrario, se detienen repentinamente en su trayecto causando mal estar en los otros conductores de vehículos más pequeños, por la mala circulación se producen graves daños en la carretera, realizan virajes exagerados en todo su trayecto.

Si los vehículos cañeros fueran pocos, o no transitaran por la carretera Bermejo los Ingenios, los vehículos que estuvieran en la carretera podrían circular a distancias prudentes, muy separados y llevar la velocidad que quisieran sus conductores, sin que ningún otro les interfiera.

Finalmente, hay que hacer referencia que en otros países los vehículos cuyas cargas o dimensiones superan las admisibles. Su circulación requiere un permiso individualizado en el que se detalla el itinerario para que puedan circular.

### **5.3.2.4 POR LAS CARGAS.**

Por el tipo de carga que transportan los vehículos cañeros por la carretera en estudio, es el principal factor que produce el deterioro actualmente y con seguridad es la causa del destrozo total de la ex-carretera asfaltada Bermejo – Los Ingenios.

Porque la carga que transportan los vehículos cañeros, no es uniforme en la carrocería a lo largo y ancho de la plataforma y se observa que el vehículo no está cargado correctamente la carga esta desplazada del centro de gravedad del vehículo.

Toda la carga del producto más la carga del vehículo descansan sobre 6 llantas en la mayoría de los vehículos que transportan caña de azúcar. 53.47 % veh. Según ensayos realizados por el Ing. O. J. Porter en el departamento de carreteras de California; las deformaciones y asentamientos aumentan con el número de repeticiones de carga. Las cargas repetidas aceleran el proceso de destrucción de un pavimento.

Para conservar nuestras carreteras en buen estado se requiere de un sistema de pesaje, vigilancia y sanciones que está en la Ley de cargas, pero que se hagan cumplir de lo contrario resulta poco creíble (dicha) Ley de cargas y su reglamentación, más bien aumentará el número de infractores.

Por último por la mucha carga o materia prima que es transportada, desde los terrenos de producción hasta el ingenio azucarero, se puede mejorar con un sistema de camiones de gran capacidad de carga y que son fabricados especialmente para transporte de carga voluminosa (caña de azúcar), que son vagones (vehículos con remolque), que llevan la carga que está permitido por ley, y no perjudican tanto al tráfico urbano, ni en la carretera por donde circulan así mismo se puede comparar que en la zafra de la caña de azúcar en Santa Cruz los vehículos que transportan la materia prima tienen un adecuado transporte de caña en jaulas que no perjudican a la capacidad ni el nivel de servicio en las carreteras por donde estos circulan, a continuación se puede observar en la siguiente fotografía el transporte de caña en Santa Cruz.

**Fotografía N° 37**

**Transporte de caña correcto (carga)**





#### **5.4 LEY DE CARGAS.**

##### *CONSIDERANDO:*

Que mediante decreto supremo 24705, se aprobó el reglamento de la Ley de Cargas 1769, sobre pesos y dimensiones, para vehículos de transporte de carga o pasajeros que circulen por las carreteras del país.

Es dado en el palacio de Gobierno de la ciudad de La Paz, a los veinticuatro días del mes de diciembre de mil novecientos noventa y nueve años.

Presidente de la República: Hugo Banzer Suárez.

##### *REGLAMENTO DE LA LEY N° 1769 SOBRE PESOS Y DIMENSIONES PERMISIBLES PARA LA CIRCULACIÓN EN CARRETERAS DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES.*

**Aplicabilidad; Art. 1.-** Las disposiciones de la ley N° 1769 de 10 de marzo de 1997 y del presente reglamento son aplicables a todos los vehículos automotores y equipos especiales, civiles y militares que circulen en las carreteras del país, así como a sus propietarios y conductores sin excepción alguna.

**Control de Pesos y Dimensiones; Art. 2.-** Todos los vehículos de carga y pasajeros están obligados a detenerse y someterse al control de pesos y dimensiones en todos los puestos fijos de control.

**Art. 5.-** El Servicio Nacional de Caminos en la red fundamental, los Servicios Prefecturales de Caminos en las rutas bajo su jurisdicción o los operadores privados contratados para efectuar control de pesos y dimensiones, están obligados a colocar en lugar visible junto a los puestos fijos de control de pesos y dimensiones, así como en lugares especiales de las carreteras, letreros informativos especificando los pesos por eje, peso bruto total máximo y dimensiones máximas permitidos de acuerdo a Ley N° 1769.

**Art. 6.-** Los pesos y dimensiones permitidos para la circulación de vehículos de transporte en carretera, son los siguientes:

Tabla N° 26

## DESCRIPCIÓN DE CARGAS Y PESOS MÁXIMOS

N°	DESCRIPCIÓN DE CARGAS	PESO BRUTO MÁXIMO PERMITIDO EN TONELADAS MÉTRICAS
1	Peso bruto total para vehículos (mas carga) será:	45
2	Peso bruto total para eje sencillo (direccional o fijo) con dos llantas:	7
3	Peso bruto total para eje sencillo de cuatro llantas:	11
4	Peso bruto total para eje doble tipo tándem de 8 llantas:	18
5	Peso bruto total para eje doble tipo tándem de 4 llantas:	10
6	Peso bruto total para eje doble tipo tándem de 6 llantas:	14
7	Peso bruto total para eje tridem tipo tridem de 12 llantas:	25
8	Peso bruto total para eje tridem tipo tridem de 6 llantas:	17
9	Peso bruto total para eje triple tipo tridem de 10 llantas:	21

Fuente: Ley de Cargas N° 1769.

## Fotografía N° 38

## Pesos Máximos por Eje Trasero



Tabla N° 27

## DESCRIPCIÓN DE CARGAS Y LONGITUDES

N°	DESCRIPCIÓN DE CARGAS	Metros
1	Ancho total máximo	2.6
2	Altura total máxima	4.1
3	Longitudes totales máximas	
	3,1 Bus	13.3
	3,2 Camión con dos ejes	11.5
	3,3 camión con tres ejes (rígidos)	12.2
	3,4 Tracto camión con semirremolque	18
	3,5 Camión con remolque u otra combinación	20.5

Fuente: Ley de Cargas N° 1769.

Fotografía N° 39a

## Largo y Anchos exagerados



### Fotografía N° 39b

#### Largo y Anchos exagerados



**Art. 7.-** En cumplimiento al inciso b) del artículo 5° del D.S. 24327 se interpreta que el cobro de multas y descarguío por exceso de peso por eje, rige cuando se excedan los siguientes parámetros:

**Tabla N° 28**

#### LÍMITE DE CARGA LIBRES DE MULTA

N°	DESCRIPCIÓN DE CARGAS	Límite de Carga libres de multa (ton)
1	Eje sencillo de 2 llantas	7.5
2	Eje sencillo de 4 llantas	11.5
3	Eje tándem de 8 llantas	18.5
4	Eje tándem de 4 llantas	10.5
5	Eje tándem de 6 llantas	14.5
6	Eje trídem de 6 llantas	17.5
7	Eje trídem de 10 llantas	21.5
8	Eje trídem de 12 llantas	25.5

**Fuente:** Ley de Cargas N° 1769.

**Art. 8.-** Es obligación del Servicio Nacional de Caminos en la red fundamental y de los Servicios Prefecturales de Caminos, en las rutas bajo su jurisdicción colocar señales adecuadas en las carreteras y puentes cuyo uso este limitado a vehículos con pesos y dimensiones menores a los especificados en la Ley N° 1769.

***PERMISO ESPECIALES DE CIRCULACIÓN PARA VEHÍCULOS CON EXESO EN PESO***

**Art. 11.-** Para todo vehículo que transporte cargas técnicamente indivisibles que excedan los pesos permitidos, se solicitará por escrito un permiso especial de circulación, de conformidad con el siguiente procedimiento:

***PARA CARGAS DE 45 A 55 TONELADAS***

A) Para cargas técnicamente indivisibles a ser transportadas con peso bruto vehicular entre **45 y 55 toneladas**, se otorgara un permiso especial únicamente a vehículos con 22 llantas como mínimo, de acuerdo a la siguiente modalidad:

a.1 El permiso será otorgado siempre y cuando la transmisión del peso a la carretera, puentes y obras de arte no someta a éstos a estados tensionales que comprometan su estabilidad.

a.2 El interesado para obtener el permiso especial, presentara en formulario tipo la solicitud al Servicio Nacional de Caminos en la red fundamental y en los Servicios Prefecturales de Caminos en las rutas de su jurisdicción, cada uno de los **controles de pesos y dimensiones** que tengan instaladas las prefecturas por los que tenga que pasar el vehículo en su recorrido.

a.4 El vehículo que realice el transporte con este permiso especial, se constituye automáticamente como garantía de posibles daños a la carretera, puentes u obras de arte.

a.5 El interesado deberá cancelar la suma de cincuenta centavos de boliviano (Bs. 0.50) por tonelada en exceso a las 45 toneladas y multiplicado por el kilometraje que deba recorrer el vehículo en territorio

nacional, del Servicio Nacional de Caminos en la red fundamental y de los Servicios Prefecturales de Caminos bajo su jurisdicción hasta el siguiente puesto de control y así sucesivamente hasta su destino final.

a.7 El propietario de la carga, debe cancelar en la cuenta corriente bancaria que señale el Servicio Nacional de Caminos en la red fundamental y de los Servicios Prefecturales de Caminos, para las rutas bajo su jurisdicción, el monto que corresponda a cada una de ellos. Debiendo presentar la papeleta de depósito bancario al momento de recibir el permiso especial de circulación.

En caso de que no se cancele el monto correspondiente al Servicio Nacional de Caminos en la red fundamental y de los Servicios Prefecturales de Caminos, para las rutas bajo su jurisdicción en el plazo señalado, de ninguna manera se otorgara el permiso especial de circulación solicitado.

#### ***PESO SUPERIOR A 55 TONELADAS***

- B) Para la obtención del permiso especial de circulación de vehículos con cargas técnicamente indivisibles superiores a las 55 toneladas, la empresa propietaria de la carga, o su representante, deberá presentar al servicio Nacional de Caminos, en la red fundamental y a los Servicios Prefecturales de Caminos en las rutas bajo su jurisdicción con carácter previo y por escrito, con anticipación de 15 días al inicio de transporte, un estudio técnico de transporte demostrativo de la factibilidad de que el tránsito del vehículo no afectará en su recorrido la carretera, puentes, túneles, alcantarillas y obras de arte.

Al estudio se debe acompañar la siguiente información:

- Nombre o razón social del interesado.
- Tipo de vehículo y número de placa

- Tipo de carga
- Numero de ejes y cantidad de llantas por eje.
- Carga máxima por eje.
- Peso de la carga.
- Peso bruto total.
- Dimensiones del vehículo.
- Dimensiones de la carga.
- Croquis del vehículo señalado, distancia entre ejes.
- Rutas de circulación.
- Fecha estimada del transporte.

#### **Fotografía N° 40**

#### **Pesos Superiores a 25 Ton.**



### ***DE LA BOLETA DE GARANTÍA***

D) El propietario de carga indivisible obligatoriamente deberá acompañar una boleta de garantía en favor del Servicio Nacional de Caminos en la red fundamental o de los Servicios Prefecturales de Caminos, en las rutas bajo su jurisdicción que ampare posibles daños en la carretera, puentes, túneles y obras de arte, con validez de 60 días posteriores a la fecha de conclusión del transporte del territorio nacional de acuerdo a las siguientes escala:

**Tabla N° 29**

#### **VALOR DE BOLETA POR TONELADAS**

<b>N°</b>	<b>Toneladas</b>	<b>Valor Boleta</b>
1	55.01 a 65.00	\$ 50.000
2	65.01 a 75.00	\$ 100.000
3	75.01 a 85.00	\$ 200.000
4	85.01 a 95.00	\$ 400.000
5	mayor a 95.00	\$ 500.000

Fuente: Ley de Cargas N° 1769.

Cuando una empresa realice simultáneamente mas de un transporte con carga indivisible superior a las 55 toneladas, presentara únicamente un boleta, equivalente a la mayor carga, amparando esta boleta la garantía a los transportes menores.

E) Para cargas indivisibles con peso bruto total superior a las 55 toneladas, se otorgara permiso especial de circulación únicamente cuando estos pesos no sometan a la estructura vial a estados tensionales que comprometan su estabilidad

### ***POLIZA DE BUENA EJECUCIÓN DE TRANSPORTE***

F) La empresa de transporte que efectuó el transporte con carga especial, deberá presentar una póliza de seguro de buena ejecución del transporte por un monto de \$us. 20000.00 por la cual garantizará las condiciones óptimas del vehículo y



capacidad de la empresa transportadora de solucionar cualquier eventualidad que pueda presentarse en el desarrollo del transporte, así como el cumplimiento de las condiciones señaladas en el permiso.

Esta póliza deberá tener una validez de 60 días, posteriores a la fecha de conclusión de transporte.

***PERMISO ESPECIAL DE CIRCULACIÓN PARA VEHÍCULO CON EXCESO EN DIMENSIONES***

***PARA DIMENSIONES DE 4.11 m. A 4.30 m. ALTURA Y 20.51 m. PARA LARGO***

*Art. 13* Para la autorización especial por exceso en las dimensiones de 4.11 m a 4.30 m para altura y de 20.51 m a 20.70 m para largo el transportador solicitara el permiso en el primer puesto de control de pesaje con el formulario, el mismo que será entregado al personal de control acompañando fotocopia legalizada del seguro de responsabilidad civil por Diez mil Dólares Americanos (\$us. 10000.00) con validez de 60 días posteriores a la vigencia del permiso.

Cumplidos estos requisitos el funcionario del puesto de control autorizará en el formulario, el viaje del vehículo. Esta autorización tendrá validez a nivel nación, debiendo el transportista presentar la misma cuando sea requerida en los puestos de control de pesaje fijos o móviles. Esta autorización es exclusivamente por un solo viaje.

***PARA DIMENSIONES MAYORES A 4.30 m DE ALTURA Y 20.7 m DE LARGO Y 2.60 m DE ANCHO.***

*Art.14* Para la autorización por exceso en las dimensiones mayores a 4.30 m de altura, 20.70 m de largo y 2.6 m de ancho, el propietario presentará al Servicio Nacional de Caminos, solicitud acompañando formulario y fotocopias legalizadas de pólizas de seguro de responsabilidad por Veinte mil Dólares Americanos (\$us. 20000.) y de buena ejecución del transporte por Veinte mil Dólares Americanos (\$us. 20000.00) Señalada en el inciso f del artículo 11, ambas pólizas deberán tener validez de 60 días posteriores a la fecha de conclusión del transporte.

La solicitud deberá ser presentada con 7 días de anticipación.

El Servicio Nacional de Caminos en la red fundamental y de los Servicios Prefecturales de caminos en las rutas bajo su jurisdicción en un plazo máximo de 72 horas otorgará la autorización cuando corresponda teniendo validez por un viaje en las rutas que se autorice.

El transportador deberá presentar esta autorización en los puestos de control de pesos fijos o móviles.

### ***EQUIPOS Y VEHÍCULOS ESPECIALES***

*Art. 17* De acuerdo al artículo 21° del D.S. 24327 que define la altura como la dimensión vertical total de un vehículo, incluida la carga y los dispositivos para sostener la misma, medida desde la superficie de apoyo de las llantas hasta el punto mas alto del vehículo de la carga, el transporte de contenedores con especificaciones ISO 668 de uso internacional será permitido sin el requerimiento de permiso especial, solo para el caso de la altura.

*Art.18* Para vehículos especiales definidos en el artículo segundo del D.S. 24327, destinados a trabajos específicos, cuyas dimensiones exceden lo dispuesto en el indicado decreto, pero que no sobrepase los pesos permitidos, se autoriza realizar el servicio sin requerir permiso especial, a las siguientes modalidades:

- a) Transporte de ganado en pie en vehículos con una longitud máxima de 24 m.
- b) Transporte de automóviles en vehículos que no excedan altura de 4.30 m.

### ***INFRACIONES Y SANCIONES***

*Art. 22* Todo vehículo que en un control fijo o móvil, fuera encontrado con exceso de peso en los ejes, grupos de ejes o total, excedido en las dimensiones, que dará impedido en el acto de continuar circulando hasta que el infractor subsane la anomalía detectada, siendo obligatorio descargar el exceso de peso, reacomodar la carga o reducir las dimensiones excedidas. Debiendo además aplicarse las sanciones establecidas en el D.S. 24327 y señaladas en el presente reglamento.

El párrafo anterior también es aplicable a vehículos que transporten carga indivisible, y en caso de detectarse exceso de peso en los ejes o grupos de ejes, obligatoriamente la carga deberá ser transbordada a un vehículo adecuado, aplicándose las sanciones establecidas en el D.S. 24327 y señaladas en el presente reglamento.

En caso de determinarse infracciones a lo establecido en el artículo 3 del D.S. 24327 elevado a rango de Ley N° 1769 referido a pesos y dimensiones, se dará estricta aplicación al artículo 5to del referido D.S. que dispone lo siguiente:

- a) Descargar, con carácter irrestricto y obligatorio, el exceso de carga inmediatamente de haber sido detectado para que el vehículo pueda continuar circulando.
- b) El infractor deberá pagar una multa de acuerdo a la siguiente escala:

**Tabla N° 30**

**EXCESO DE PESO POR EJE/TON Y MONTO DE LA MULTA**

<b>N°</b>	<b>Exceso de peso por eje en toneladas métricas</b>	<b>Monto de la multa en bolivianos por eje o peso bruto</b>
1	0,50 - 1,00	500
2	1,01 - 2,00	2250
3	2,01 - 3,00	4000
4	3,01 - 4,00	5750
5	4,01 - 5,00	7500

**Fuente:** Ley de Cargas N° 1769.

Los excesos mayores a los determinados en la tabla precedente serán pasibles a una multa de 3750 bolivianos por cada tonelada excedentaria.

- c) Cuando las dimensiones sean excedidas por cargas o dispositivos para sostenerla, se debe reacomodar a las mismas, o proceder a su descarga en caso necesario. El vehículo no podrá continuar circulando sin esta readecuación.

d) En el caso de exceso den las dimensiones permitidas por el presente D.S. se determina una multa de 1000 Bolivianos.

*Art 23* En balanzas que únicamente realizan el pesaje por eje, para el establecimiento de sanciones por excesos en ejes del tipo tándem o tridem, deberá tomarse en cuenta la sumatoria de los pesos por eje. En los casos de tándem con 8 llantas el peso que supere los 18.5 ton. y en Tridem de 12 llantas el peso que supere las 25.5 ton.

*Art 24* En caso de que el vehículo no cumpla con lo establecido en el permiso especial de circulación, quedara impedido de continuar viaje, hasta que cumpla con lo señalado. Por esta infracción será sancionado con multa de 1000 Bs. De acuerdo al inciso D del articulo 5to del D.S. N° 24327, que fue elevado a rango de ley N° 1769, si es por dimensiones de acuerdo al inciso b del articulo 5to del D.S. N° 24327 cuando exceda el peso.

#### **Fotografía N° 41a**

#### **Vehículos Obligados a Pagar Póliza de Circulación por Largo y Ancho en las Carreteras**



**Fotografía N° 41b**

**Vehículos Obligados a Pagar Póliza de Circulación por Largo, Ancho y Alto en las Carreteras**



**Fotografía N° 42**

**Vehículos Obligados a Pagar Póliza de Circulación por las carreteras**



## **APLICACIÓN PRÁCTICA**

### **6.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO**

#### **6.1.1 RESEÑA HISTÓRICA**

El 14 de Abril de 1585, el capitán Alonso de Vera y Aragón, fundó la población de nuestra señora de la concepción de buena esperanza del río Bermejo, que tenía el propósito de servir de enlace entre las tierras del Paraguay y del Plata con el Alto Perú.

El nombre de Bermejo Significa “Rubio Rojizo”, y toma este nombre por el color de las aguas del río cuando este trae un portentoso caudal.

Por ley del 24 de Septiembre de 1831, se rige la provincia de Tarija como departamento integrante de la nación. Posteriormente y por ley del 2 de Junio de 1843, se autoriza al poder ejecutivo para que proceda a efectuar la división del Departamento de Tarija en provincias y cantones. Dando cumplimiento a la referida ley, se dicta el decreto supremo de 12 de agosto de 1876 por el que se crea el cantón Bermejo, formando parte de la entonces provincia de la Concepción. Casi veinte años más tarde, mediante ley de 8 de Noviembre de 1894 se crea la provincia Arce y el cantón Bermejo pasa a formar parte de la misma.

El asentamiento de un número mayor de pobladores de Bermejo se remonta al inicio de las actividades petroleras con la inauguración del primer pozo en agosto de 1922 esta inauguración en la zona de la colonia militar “Fortín Campero” posibilitó que mediante decreto supremo sea creada oficialmente la zona de Bermejo sobre la base de la misma Guarnición Militar.

El 7 de diciembre de 1956 se decreta la creación de la capital de la segunda sección de la provincia Arce, Bermejo, del departamento de Tarija.

El 18 de noviembre de 1960 se crea Industrias Agrícolas de Bermejo, Mediante Ley N° 51 bajo la razón social del Ingenio Azucarero de Bermejo, disponiéndose el 10 de Mayo de 1963 mediante el decreto supremo N° 6460, que la Corporación

Boliviana de Fomento, sea la encargada de la instalación y del financiamiento del Ingenio y de la maquinaria obtenida mediante un crédito Japonés.

En fecha 30 de Junio de 1977 la entidad cambia su razón social por Industrias Agrícolas de Bermejo SA (I.A.B.S.A.), con la participación de la Corporación Boliviana de Fomento y del comité de Obras Públicas de Tarija. Posteriormente, con la Creación de CODETAR (Corporación de Desarrollo de Tarija), esta entidad reemplazó el antiguo comité de O.O.P.P. actualmente es una entidad Privada compuesta por socios de la región (Cañeros)

Por Ley N° 1028 de 18 de Noviembre de 1988 por iniciativa y gestiones parlamentarias del diputado de Tarija y representante de Bermejo, Dr. Clay Ramírez Fernández, mediante la promulgación de Ley se eleva a Bermejo a rango de Ciudad.

Bermejo sin lugar a dudas, por su potencial Agrícola, Industrial, Comercial y sus riquezas naturales renovables y no renovables se ha constituido en una de las zonas más importantes de Tarija.

### **6.1.2 SITUACIÓN GEOGRÁFICA**

La ciudad de Bermejo, se halla ubicada al sur del Departamento de Tarija, y limita con el territorio de la República Argentina, situándose a los 22° 31' de Latitud Sur y a los 64° 25' de longitud Oeste.

El área de Bermejo tiene una superficie total estimada en unas 49000 Has. De las cuales 9575 son plantaciones de caña de Azúcar, 4500 son aptas para plantaciones de cítricos y otros cultivos tropicales, 34925 se encuentran en zonas de planicie muy dispersas y sin caminos de acceso. La zona urbana cuenta con aproximadamente unos 7 Km<sup>2</sup>.

### **6.1.3 POBLACIÓN**

Según el censo del año 2001 realizado por el Instituto Nacional de Estadística (I.N.E.) La ciudad de Bermejo tiene un total de 38579 habitantes tomando en

cuenta la tasa de crecimiento que es del 2.12 % siendo actualmente la población de hombres 19851 hab., y una población de mujeres de 18728 hab.

Con un índice de pobreza de 43.2 %, los niveles de pobreza en Bermejo han experimentado una reducción entre el 17% y 21 % en cuanto a la densidad poblacional de Bermejo es de 87.5 hab./Km<sup>2</sup>, densidad que supera al promedio Nacional de 7.6 hab./Km<sup>2</sup>.

#### **6.1.4 TOPOGRAFIA**

Bermejo es parte de la formación fitogeográfica denominada selva Tucumano – Oranence, caracterizándose por su planicie en el extremo sur y zonas con topografía accidentada con quebradas, algunas de las cuales solo tienen agua en épocas de lluvia en cuanto que otras son de cursos permanentes.

La zona urbana se encuentra entre los 430 y 398 m.s.n.m. atraviesan la ciudad las quebradas del Cinco, El Toro, Litoral, afluentes del río Bermejo de curso Perenne, y desagüe natural de las aguas pluviales. El río Bermejo rodea por la parte Oeste a la Ciudad y sirve de límite con la República Argentina.

#### **6.1.5 GEOLOGÍA**

En la parte baja de la ciudad de Bermejo los suelos están conformados por una cubierta sedimentaria pluvial compuesta de grava, arena y arcilla; aproximadamente 1.0 a 1.5 m de la capa superior. En la parte alta de la ciudad se encuentran suelos arcillosos impermeables de alta plasticidad.

Según la clasificación AASHTO, los suelos por lo general son limo-arcillosos de color rojizo

### **6.2 CLIMA**

#### **6.2.1 TEMPERATURA**

Las variaciones de temperatura en Bermejo son muy pronunciadas durante todo el día pero para fines de cálculo se utiliza la media aritmética de todos los meses, por lo cual se clasifica en un clima sub-tropical.



La temperatura media anual es de 22.4 °C, las mínimas extremas en los meses de Julio y Agosto de -3.2 °C a -2.6 °C, las máximas extremas en Septiembre, Octubre y Noviembre que alcanza de 44 °C a 47 °C, las media mensual más baja es del orden de 8.5 °C en Julio y Agosto.

### **6.2.2 PRECIPITACIONES PLUVIALES Y HUMEDAD RELATIVA**

El promedio de la precipitación pluvial anual es de 1179.9 mm/año correspondiente al 81% a la época de lluvias (Noviembre a Marzo).

El promedio anual de la humedad relativa es de 71%. En la época de lluvias alcanza hasta un 78% como promedio.

### **6.2.3 VIENTOS**

Los vientos predominantes en la región son en dirección Sur-Este con velocidad de hasta 60 km/h. (32.6 nudos), se presentan vientos huracanados en épocas de lluvias. La velocidad promedio mensual varía entre 4.9 a 7.7 Km/h (2 a 4 nudos).

Todos los datos anteriores fueron obtenidos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI.

## **6.3 RED VIAL Y COMUNICACIONES**

La mayoría de las actividades de transporte de la Provincia Arce se realizan por la vía terrestre, en particular Bermejo se comunica con la ciudad de Tarija a través del camino carretero Panamericano Bermejo – Padcaya – Tarija, que está pavimentado en su totalidad.

Bermejo tiene un Aeropuerto con unas dimensiones 1500 m por 36 m. con una superficie de pavimento flexible y tiene una elevación de 381 (M.S.N.M.), es operable por Aviones pequeños para alguna emergencia de los pobladores o de Estado.

El tráfico aéreo en Bermejo no tiene gran relevancia debido a que no existe tránsito de pasajeros y carga a nivel departamental e interdepartamental significativos, siendo el tráfico terrestre el medio común utilizado.

Los sistemas de comunicación; están administrados por la Empresa Nacional de Telecomunicaciones (ENTEL).

El sistema postal se encuentra centralizado por correos de Bolivia vinculado en forma normal a Bermejo con el interior y exterior del país.

#### **6.4 SITUACION ACTUAL DEL TRAMO EN ESTUDIO.**

El tramo en estudio comienza en la intersección de la avenida Bolívar y Topater y su fin en Los Ingenios, se observa un deterioro total en toda la superficie de tramo lo cual se puede evidenciar a simple vista por que los vehículos que circulan por este tramo realizan muchos cambios de dirección, velocidad y distintas maniobras en toda la carretera.

A los lados de la carretera no se puede observar las cunetas ni las bermas, por el descuido extremo en cuanto a mantenimiento y limpieza del derecho de vía, la vegetación y humedad a cubierto gran parte de éstas, a tal punto que no se puede observar estas características propias de una carretera.

No existe ninguna clase de señalización ni indicios de que si hubieran existido anteriormente en la carretera.

#### **Fotografía N° 43**

#### **Situación actual del tramo Bermejo-Los Ingenios.**



En época de precipitaciones pluviales este tramo es casi intransitable, por que las depresiones provocadas por los vehículos de alto tonelaje se llenan de agua y las bermas se convierten en pequeños pantanos de lodo.

La situación en que se encuentra este tramo es sumamente crítica los defectos y deterioros son totales.

#### **Fotografía N° 44**

#### **Situación del Tramo Bermejo-Los Ingenios.**



Las especificaciones técnicas para la construcción de la carretera Bermejo-Los Ingenios, se adoptaron las especificaciones generales de AASHO FP-69; en la siguiente tabla resumen se presenta las normas de diseño adoptadas para la construcción.

Tabla N° 31

<b>RESUMEN DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCION</b>
------------------------------------------------------------------

<b>COMPONENTES DEL DISEÑO</b>	<b>TRAMO URBANO</b>	<b>TRAMO RURAL</b>
Velocidad Directriz	30 Km/hora	70 Km/hora
Radio de Curvatura Mínima	30 m	100 m
Pendiente Máxima	0.05	0.07
Pendiente Transversal	0.02	0.025
Ancho de Plataforma	S/planos	12.10 m
Ancho de Base	S/planos	7.5 m
Ancho de la Superficie de Rodadura	S/planos	7.10 m
Ancho de Berma	.....	1.5 m
Ancho Derecho de Vía	.....	30 m
Superficie de Rodadura	Trat. Sup. Triple	Trat. Sup. Triple

**Fuente:** Tesis, Evaluación y Recapamiento del Tramo Bermejo Los Ingenios (Soria Galvarro)

### **6.5 ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS VEHÍCULOS CAÑEROS, FORMA, DIMENSIÓN, CARGA.**

Las características de los vehículos cañeros contribuyen a que se deteriore rápidamente la carretera Bermejo-Los Ingenios, éstos nos lleva a analizar algunas medidas necesarias para corregir la forma como transportan la caña de azúcar, las medidas que se deben tener en cuenta; las características particulares de los vehículos cañeros.

Con el fin de contribuir a proyectar la carretera, es necesario tener en cuenta las características de los vehículos cañeros para que la circulación sea segura, y cómoda para los conductores y pasajeros. El estudio debe servir como base de partida para establecer la posible solución al efecto de los vehículos cañeros y adoptar una medida que mejore el uso de la carretera Bermejo-Los Ingenios.

Sus características de forma, de los vehículos cañeros que trabajan en Bermejo son muy diferentes comparándolos con los que trabajan en Santa Cruz, y totalmente diferentes a los vehículos cañeros de otros países.

La forma de estos vehículos, son camiones antiguos (se los denomina trompudos), hay también camiones más modernos (se los denomina ñatos), y los tractores agrícolas que son utilizados en la época para jalar chatones (tipo remolque).

La forma de los vehículos pequeños y medianos en su estructura tienen dos ejes (uno que es el tren delantero direccional y el otro es el de tracción, la corona), los vehículos grandes en su estructura presentan dos y tres ejes (el tren delantero direccional, el eje de tracción que es la corona y un eje muerto que se denomina alza pata).

Las dimensiones de los vehículos cañeros no están estandarizadas son variables de un vehículo a otro en especial la plataforma o carrocería, ya que actualmente circulan tipos de vehículos muy variados. Para simplificar su estudio es conveniente agruparlos en varias categorías constituidas por los vehículos cañeros, estos vehículos tienen dimensiones y masas muy cercanas o iguales a los límites máximos legales.

**Tabla N° 32**

**Características de Camión**

<b>Camión Toyota (2 Ejes).</b>	
Largo total	7,20 m.
Ancho plataforma	2,40 m.
Altura carrocería	1,5 m.
Largo carrocería	4,40 m.
Largo cabina	2,80 m.

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Tabla N° 33****Características de Camión**

<b>Camión Volvo (2 Ejes).</b>	
Largo total	8,90 m.
Ancho plataforma	2,40 m.
Altura carrocería	1,5 m.
Largo carrocería	6,80 m.
Largo cabina	2,10 m.

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla N° 34****Características de Camión**

<b>Camión Volvo (3 Ejes) alzapata.</b>	
Largo total	9,80 m.
Ancho plataforma	2,40 m.
Altura carrocería	1,5 m.
Largo carrocería	7,50 m.
Largo cabina	2,50 m.

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla N° 35****Características de Camión**

<b>Camión Volvo (4 Ejes) tráiler.</b>	
Largo total	13,60 m.
Ancho plataforma	2,40 m.
Altura carrocería	1,5 m.
Largo carrocería	10,87 m.
Largo cabina	3,0 m.

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla N° 36**  
**Características de Tractor**

<b>Tractor agrícola (8 Ejes) chatón.</b>	
Largo total	18,60 m.
Ancho plataforma	2,20 m.
Altura carrocería	1,5 m.
Largo carrocería	6,80 m.
Largo cabina	4,30 m.

**Fuente:** Elaboración Propia.

Las características de carga de los vehículos cañeros son muy particulares, en comparación con camiones que transportan carga pesada y tienen anchuras análogas en su plataforma, comparados con todos los camiones que circulan por las carreteras de Tarija y Bolivia. Los vehículos cañeros en Bermejo, tienen características particulares en la forma de cargar la caña de azúcar, cargan transversalmente a la plataforma de los vehículos, este es el problema principal en la circulación por la carretera Bermejo-Los Ingenios porque obstaculizan la visibilidad que necesitan los vehículos livianos, motociclistas y ciclistas para sobrepasar a estos vehículos cañeros, que circulan a velocidades bajas.

Las cargas que transportan los vehículos cañeros sobrepasan las máximas legales permitidas por la Ley de Carga de nuestro país. Estos excesos de carga acortan notablemente la vida de las carreteras y es necesaria una labor de vigilancia que los evite.

De esta manera se pudo explicar la forma, dimensiones y carga de los vehículos cañeros, en especial la carga es el problema que hay que superar en el futuro, para mejorar la circulación por la carretera como así también para que tenga mayor vida útil la carretera, así se pueda conseguir los objetivos fijados en el diseño y construcción de la carretera.

En términos generales la maniobra de paso origina un cierto conflicto entre los vehículos cañeros y los no cañeros cuyas trayectorias se interfieren entre si, existiendo mayor riesgo de que puedan provocar accidentes, a los vehículos livianos, motociclistas, ciclistas y peatones. Los conflictos pueden ser por el tipo de maniobra que originan; giros a la izquierda, movimiento de trenzado.

## **6.6 ESTUDIAR EL TRÁFICO DE VEHÍCULOS CAÑEROS A PARTIR DE AFOROS.**

Para conocer las características de tráfico de los vehículos cañeros se realizó el estudio en la carretera Bermejo Los ingenios. Los datos obtenidos se utilizarán como base para la aplicación práctica del estudio de tráfico, y los efectos en el deterioro de la carretera por la circulación de los vehículos cañeros.

Para obtener los datos de aforo de los vehículos cañeros se utilizó la técnica del conteo, este método depende de la clase de datos que se desee obtener y de la extensión y precisión con que haya de realizarse el estudio. Las características a estudiarse son: las intensidades de circulación, las velocidades y los tiempos de recorrido de los vehículos.

El dato básico para la realización de cualquier estudio de proyecto de una carretera, es la intensidad de circulación. Para obtenerla es necesario contar o aforar el número de vehículos que pasan por determinadas secciones de la carretera. Esta operación se lo realizó manualmente, se clasificó detalladamente los tipos de vehículos, número de ejes, uso del los vehículos; que circulan por la carretera (cañeros y no cañeros).

El procedimiento de aforo de los vehículos se lo realizó manualmente situando un observador que cuente todos los vehículos que pasan por la sección determinada de la carretera durante 24 hrs, mediante planillas tipo diseñadas para este estudio asumiendo intervalos de aforo durante la época de zafra, en los diferentes meses, en el tramo Bermejo – Los Ingenios.



Para este trabajo se empleó a una persona que realizaba los aforos para ambos sentidos, clasificándolos en livianos, buses y camiones en planillas tipo, los aforos se los realizaron durante tres meses los más representativos de la época de zafra (Julio, Agosto, Septiembre), en días hábiles y no hábiles en las diferentes semanas y días de los meses y durante 24 horas al día, con el objetivo de obtener una información confiable. Los aforos manuales tienen la ventaja de que permiten distinguir entre distintos tipos de vehículos, lo que resulta imposible con aparatos automáticos y con personal bien entrenado su exactitud es superior a los automatizados.

## **6.7 EVALUAR LAS INCIDENCIAS DE LOS VEHÍCULOS CAÑEROS EN EL PAVIMENTO.**

### **6.7.1 EN AHUELLAMIENTO.**

Uno de los propósitos de este estudio es determinar el efecto de los vehículos cañeros en el ahuellamiento en la carretera Bermejo-Los Ingenios, el material de rodadura actualmente es de ripio, el ahuellamiento es producto del exceso de carga por parte de los usuarios (vehículos cañeros), otra razón de importancia está relacionado con la necesidad de contar con un drenaje adecuado para el tipo de suelo y clima de la zona y al descuido de las autoridades para realizar un mantenimiento de la carretera. El ahuellamiento es una falla estructural característica de las carreteras en nuestro medio que corresponde a una deformación permanente, en la estructura la cual es generada especialmente por un exceso en el tráfico, por las cargas elevadas por eje y peso total de los vehículos cañeros, los malos procesos constructivos y por la humedad de la zona. Las deformaciones que se presentan en una estructura de la carretera están compuestas por deformaciones plásticas, por el tipo de carga que transportan los vehículos cañeros en época de zafra y al final de esta época coincide con la época de lluvias, el agua se acumula y genera deformaciones permanentes. Ver. (Fotografía).

### Fotografía N° 45

#### Ahuellamiento en el Tramo Bermejo-Los Ingenios.



El propósito principal de este estudio, se centró en el efecto del exceso de cargas que llevan estos vehículos y producen serias alteraciones en la carretera.

#### **6.7.2 EN LA REGULARIDAD.**

Para evaluar la regularidad de la carretera Bermejo – Los Ingenios, en el trabajo de campo se observó la falta de mantenimiento y descuido total, la regularidad en la carretera se midió con una regla de 3m; se mide la distancia entre la capa de rodadura y la regla, colocando ésta en cualquier punto y dirección aleatoriamente, porque la carretera está totalmente deteriorada y estas irregularidades longitudinales y transversales son provocadas por los vehículos cañeros por el exceso y efecto de las cargas que transportan, su repercusión negativa esta en la comodidad y la seguridad de los usuarios, incidiendo en el coste elevado del mantenimiento de todos los vehículos que circulan por esta carretera.

La regularidad transversal tiene menor repercusión que las longitudinales pero también ocasionan ciertas deficiencias como ser:

- Conducción forzada por las bermas, que perjudica la comodidad e incluso la seguridad (sobre todo en caso de motocicletas y ciclistas).
- Acumulación de agua (charcos), que es un peligro para todos los vehículos y peatones.
- Deformaciones en la capa de rodadura, que pueden causar balanceo en los vehículos (incomodidad), riesgo de pérdida de control, obstaculización para los vehículos livianos.

Cualquiera sea el método o equipo empleado, los resultados de las mediciones deben servir para establecer un indicador o nota de regularidad superficial del tramo en estudio.

El IRI (Indicador Internacional de Regularidad), en un punto de una carretera, se define como el cociente entre el desplazamiento relativo acumulado por la suspensión del vehículo tipo y la distancia recorrida por dicho vehículo. Se expresa en milímetros por metros (o en decímetros por hectómetro) y se puede totalizar en cada hectómetro. Valores inferiores a 2 mm/m representan una buena regularidad superficial incluso para carreteras de alta velocidad de circulación; por el contrario para carreteras secundarias, con velocidad de proyecto en torno a los 60 km/h, puede bastar con que el IRI sea inferior a 5 mm/m.

Figura N° 15a

Equipo para determinar el IRI (Road Surface Tester)

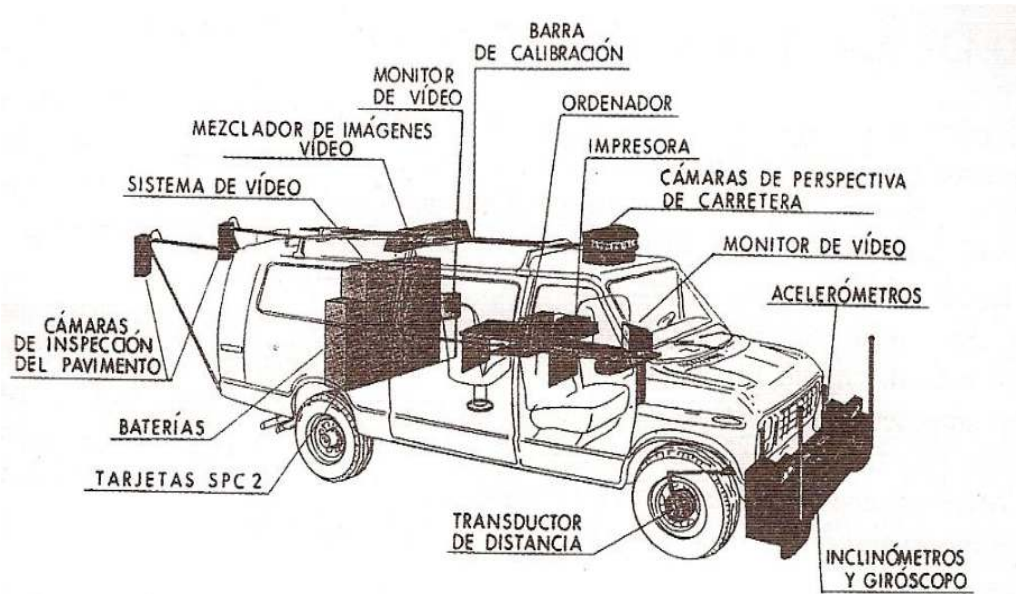
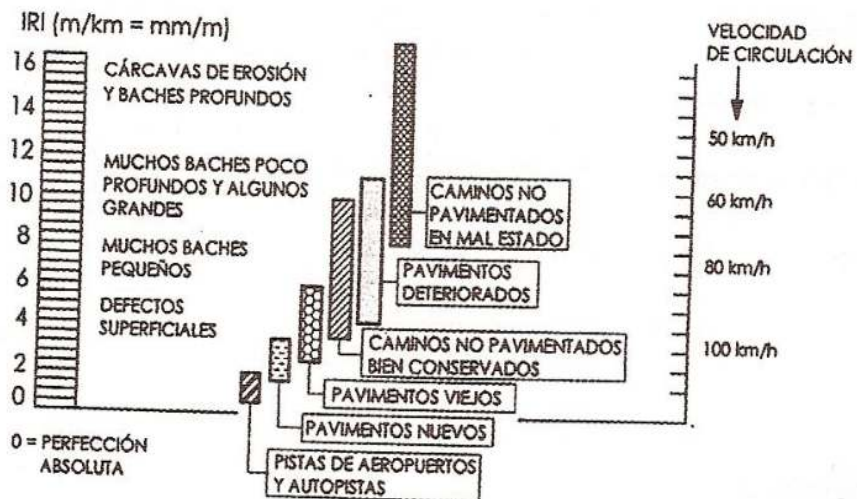


Figura N° 15b

Escala Internacional de regularidad IRI



## 6.8 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO.

### 6.8.1 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD E INTENSIDAD DE SERVICIO

La capacidad por carril de una calzada viene dada por las expresiones:

Autovías y autopistas:

$$C = 1800 + 5VL$$

Otras vías:

$$C = 1200 + 10VL$$

$$C = 1200 + 10 \cdot 40$$

$$C = 1600 \text{ (coches /hora /carril)}$$

Siendo:

C : Capacidad, en coches/hora/carril.

VL: Velocidad Libre en Km./hr.

La densidad en capacidad será:

Autovías y autopistas:

$$Dc = 28$$

Otras vías:

$$Dc = 35 - \frac{VL}{10}$$

$$Dc = 35 - \frac{40}{10} = 31 \text{ (coches/km/carril.)}$$

$$Dc = 31 \text{ (coches/ km/ carril).}$$

Siendo:

Dc: Densidad, en coches/km./carril.

VL: Velocidad libre en Km./hr.

La velocidad de los coches en capacidad  $V_c$  (Km./hr) vendrá dada por:

$$V_c = \frac{C}{D_c}$$

$$V_c = \frac{1600}{31} = 52(km/hr).$$

La velocidad es constante e igual a la velocidad libre mientras la *intensidad* no sobrepase un valor límite  $I_L$  (coches/hora/carril) que viene dado por las expresiones:

Autovías y autopistas:

$$I_L = 3100 - 15V_L$$

Otras vías:

$$I_L = 1400$$

## 6.8.2 CÁLCULO DE NIVELES DE SERVICIO

Para estimar el nivel de servicio en una carretera de calzada única con dos carriles se utilizan dos criterios: **la velocidad media de recorrido**, y el **porcentaje del tiempo que un vehículo viaja siguiendo a otros** a los que no puede adelantar. Como este porcentaje es difícil de medir, se sustituye por otro que está relacionado por el y se puede medir con facilidad: el porcentaje del tiempo que un vehículo circula a menos de 3 seg., del vehículo que le precede. En las carreteras de clase II solo se tiene en cuenta este último criterio. En las de la clase I se tiene en cuenta los dos criterios. En este caso se hace necesario calcular dos magnitudes para definir el nivel de servicio.

### 6.8.3 CÁLCULO DE PORCENTAJE DE TIEMPO SIGUIENDO A OTRO.

#### 6.8.3.1 INTENSIDAD DE TRÁFICO EQUIVALENTE.

La intensidad horaria, en vehículos reales, hay que convertirla en una intensidad horaria de coches en el periodo punta de 15 min. Además hay que introducir un factor que tenga en cuenta el efecto del trazado si la carretera no discurre por terreno llano. Esta intensidad equivalente resulta:

$$I_q = \frac{I * f_{vp}}{fhp * f_i}$$

$$I_q = \frac{1400 * 1.42}{15 * 0.8}$$

$$I_q = 165(\text{coches/hora})$$

Siendo:

$I_q$  : Intensidad equivalente, en (coches/hora)

$I$  : Intensidad en Vehículos reales en (vehículos/hora)

$fhp$  : Factor de hora punta.

$f_i$  : Factor de corrección por efecto del trazado.

$f_{vp}$  : Factor de corrección por efecto de vehículos pesados.

El factor de corrección por efecto de los vehículos pesados se obtiene, como en las carreteras con calzadas separadas:

$$f_{vp} = \frac{100 - p_p - p_r + p_p * E_p + p_r * E_r}{100}$$

$$f_{vp} = \frac{100 - 53.47 - 3.21 + 53.47 * 1.8 + 3.21 * 1}{100}$$

$$f_{vp} = 1.42$$

Siendo:

$p_p$  y  $p_r$  : Porcentaje de vehículos pesados y vehículos de recreo respectivamente.

$E_p$  y  $E_r$  : Factor de equivalencia de vehículos pesados y vehículos de recreo.

El factor de corrección por trazado figura en la tabla N° 36 y los equivalentes de vehículos pesados en la tabla N° 37. En estas tablas los factores de corrección se dan en función de la intensidad en coches equivalentes, que no se conoce en principio, por lo que será necesario un tanteo previo con unos valores aproximados de los factores de equivalencia y afinar el resultado posteriormente.

**Tabla N° 36.**

**Corrección por efecto del trazado**

Intensidad horaria (coches/h)	Terreno	
	Llano	Ondulado
0 - 600	1,00	0,8
600 - 1200	1,00	0,9
> 1200	1,00	1,0

Fuente: TRB, Manual de Capacidad 2000.

**Tabla N° 37.**

**Equivalencia de vehículos pesados**

Intensidad horaria	Tipo de vehiculo	Terreno	
		Llano	Ondulado
0 - 600	Pesados	1,1	1,8
600 - 1200	Pesados	1,1	1,5
> 1200	Pesados	1,0	1,0
0 - 600	Vehículos de recreo	1,0	1,0
600 - 1200	Vehículos de recreo	1,0	1,0
> 1200	Vehículos de recreo	1,0	1,0

Fuente: TRB, Manual de Capacidad 2000.



### 6.8.4 CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE TIEMPO SIGUIENDO A OTRO VEHÍCULO.

El porcentaje del tiempo siguiendo a otro vehículo es.

$$PTS = 100(1 - e^{-\frac{Iq}{1138}}) + f_{pa}$$

$$PTS = 100(1 - e^{-\frac{165}{1138}}) + 21$$

$$PTS = 34$$

Siendo:

PTS: Porcentaje del tiempo siguiendo a otro vehículo.

Iq: Intensidad equivalente.

f<sub>pa</sub>: factor de corrección por prohibición de adelantamiento 80%.

El factor de corrección por prohibición de adelantamiento figura en la tabla N° 38.

**Tabla N° 38.**

#### Corrección por prohibición de adelantamiento

Intensidad (coches/h)	Reparto por sentido (%)	% con prohibición de adelantar					
		0,0	20,0	40,0	60,0	80,0	100,0
<= 200	50 - 50	0,0	10,1	17,2	20,2	21,0	21,8
400	50 - 50	0,0	12,4	19,0	22,7	23,8	24,8
600	50 - 50	0,0	11,2	16,0	18,7	19,7	20,5
800	50 - 50	0,0	9,0	12,3	14,1	14,5	15,4
1400	50 - 50	0,0	3,6	5,5	6,7	7,3	7,9
2000	50 - 50	0,0	1,8	2,9	3,7	4,1	4,4
2600	50 - 50	0,0	1,1	1,6	2,0	2,3	2,4
>= 3200	50 - 50	0,0	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4
<= 200	60 - 40	1,6	11,8	17,2	22,5	23,1	23,7
400	60 - 40	0,5	11,7	16,2	20,7	21,5	22,2
600	60 - 40	0,0	11,5	15,2	18,9	19,8	20,7
800	60 - 40	0,0	7,6	10,3	13,0	13,7	14,4
1400	60 - 40	0,0	3,7	5,4	7,1	7,6	8,1
2000	60 - 40	0,0	2,3	3,4	3,6	4,0	4,3
>= 2600	60 - 40	0,0	0,9	1,4	1,9	2,1	2,2

<= 200	70 - 30	2,8	13,4	19,1	24,8	25,2	25,5
400	70 - 30	1,1	12,5	17,3	22,0	22,6	23,2
600	70 - 30	0,0	11,6	15,4	19,1	20,0	20,9
800	70 - 30	0,0	7,7	10,5	13,3	14,0	14,6
1400	70 - 30	0,0	3,8	5,6	7,4	7,9	8,3
>= 2000	70 - 30	0,0	1,4	4,9	3,5	3,9	4,2
<= 200	80 - 20	5,1	17,5	24,3	31,0	31,3	31,6
400	80 - 20	2,5	15,8	21,5	27,1	27,6	28,0
600	80 - 20	0,0	14,0	18,6	23,2	23,9	24,5
800	80 - 20	0,0	9,3	12,7	16,0	16,5	17,0
1400	80 - 20	0,0	4,6	6,7	8,7	9,1	9,5
>=2000	80 - 20	0,0	2,4	3,4	4,5	4,7	4,9
<=200	90 - 10	5,6	21,6	29,4	37,2	37,4	37,6
400	90 - 10	2,4	19,0	25,6	32,2	32,5	32,8
600	90 - 10	0,0	16,3	21,8	27,2	27,6	28,0
800	90 - 10	0,0	10,9	14,8	18,6	19,0	19,4
>= 1400	90 - 10	0,0	5,5	7,8	10,0	10,4	10,7

Fuente: TRB, Manual de Capacidad 2000.

## 6.9 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD MEDIA

### 6.9.1 VELOCIDAD LIBRE DE LOS COCHES

La velocidad libre (VL) en la carretera es la velocidad media que llevarían los coches si los conductores no estuvieran influidos por otro; se consideran que esta situación se produce si la intensidad de tráfico equivalente es menor de 200 (coches/hora). Para conocerla puede medirse la velocidad de los coches en la carretera, o en otra de características similares. Si no puede medirse la velocidad libre, se puede estimar partiendo de una velocidad libre básica (VLB), que sería la velocidad libre en una carretera en condiciones ideales. A esta velocidad básica se le aplican unas correcciones para tener en cuenta las características reales de la vía. Como velocidad libre básica puede tomarse la específica del tramo que se estudia, o la velocidad máxima autorizada si fuera menor que la específica. La velocidad libre sería:

$$VL = VLB - f_a - f_o - f_c$$

$$VL = 40 - 3.5 - 6.8 - 0$$

$$VL = 29.7(\text{km/hora})$$

Siendo:

$f_a$  : Factor de corrección por anchura de carril.

$f_o$  : Factor de corrección por anchura de arcén.

$f_c$  : Factor de corrección por accesos.

Estos factores de corrección se obtienen en las tablas N° 39.

**Tabla N° 39.**

**Corrección por anchura del carril.**

<b>Anchura (m)</b>	<b><math>f_a</math> (km/h)</b>
$\geq 2,7 < 3$	3,5
$\geq 3,0 < 3,3$	1,7
$\geq 3,3 < 3,6$	0,7
$\geq 3,6$ .	0,0

Fuente: TRB, Manual de Capacidad 2000.

**Tabla N° 40.**

**Corrección por anchura de arcén.**

<b>Anchura (m)</b>	<b><math>f_o</math> (km/h)</b>
$\geq 0,0 < 0,6$	6,8
$\geq 0,6 < 1,2$	4,2
$\geq 1,2 < 1,8$	2,1
$\geq 1,8$ .	0,0

Fuente: TRB, Manual de Capacidad 2000.

Tabla N° 41.

## Corrección por accesos.

Accesos por km.	f <sub>c</sub> (km/h)
0	0,0
6	4,0
12	8,0
18	12,0
>= 24	16,0

Fuente: TRB, Manual de Capacidad 2000.

### 6.9.2 INTENSIDAD DE TRÁFICO EQUIVALENTE.

Como para calcular el porcentaje de tiempo siguiendo a otro vehículo hay que calcular la intensidad horaria de coches en el periodo punta de 15 min. Pero la intensidad equivalente que se utiliza en el cálculo de la velocidad media es diferente a la que se utiliza para calcular el porcentaje de tiempo siguiendo, por que son distintos los factores de corrección por el efecto del trazado y los coeficientes de equivalencia de vehículos pesados. Para calcular la intensidad equivalente se utiliza la misma fórmula:

$$I_q = \frac{I * f_{vp}}{fhp * f_i}$$

Siendo:

$I_q$  : Intensidad equivalente, en (coches/hora)

$I$  : Intensidad en Vehículos reales en (vehículos/hora)

$fhp$  : Factor de hora punta.

$f_i$  : Factor de corrección por efecto del trazado.

$f_{vp}$  : Factor de corrección por efecto de vehículos pesado

El factor de corrección por efecto de los vehículos pesados se obtiene como antes.

$$f_{vp} = \frac{100 - p_p - p_r + p_p * E_p + p_r * E_r}{100}$$

Siendo:

$p_p$  y  $p_r$  : Porcentaje de vehículos pesados y vehículos de recreo respectivamente.

$E_p$  y  $E_r$  : Factor de equivalencia de vehículos pesados y vehículos de recreo.

Para el cálculo de la velocidad media el factor de corrección por trazado figura en la tabla N° 7 y los equivalentes de vehículos pesados en la tabla N° 8 como en el cálculo del porcentaje de tiempos siguiendo a otro, en estas tablas los factores de corrección se dan en función de la intensidad en coches equivalentes, que no se conocen en principio; por lo que será necesario hacer un tanteo previo con unos valores aproximados de los factores de equivalencia, y afinar el resultado posteriormente.

**Tabla N° 42.**

**Corrección por efecto del trazado**

Intensidad horaria (coches/h)	Terreno	
	Llano	Ondulado
0 - 600	1,00	0,71
600 - 1200	1,00	0,93
> 1200	1,00	0,99

Fuente: TRB, Manual de Capacidad 2000.

**Tabla N° 43.**

**Equivalencia de vehículos pesados**

Intensidad horaria	Tipo de vehículo	Terreno	
		Llano	Ondulado
0 - 600	Pesados	1,7	2,5
600 - 1200	Pesados	1,2	1,9
> 1200	Pesados	1,1	1,5
0 - 600	Vehículos de recreo	1,0	1,1
600 - 1200	Vehículos de recreo	1,0	1,1
> 1200	Vehículos de recreo	1,0	1,1

Fuente: TRB, Manual de Capacidad 2000.

### 6.9.3 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD MEDIA DE LOS COCHES.

Conocida la velocidad libre (VL) y la intensidad equivalente ( $I_q$ ), se calcula la velocidad media (VM):

$$VM = VL - 0.0125 * I_q - f_{pa}$$

$$VM = 40 - 0.0125 * 165 - 4.2$$

$$VM = 33.7(\text{km/hora})$$

Siendo:

$F_{pa}$ : Factor de corrección por el efecto de prohibiciones de adelantamiento, se obtiene en la tabla N° 44.

**Tabla N° 44.**

#### Corrección por prohibición del adelantamiento

Intensidad (coches/h)	% con prohibición de adelantar					
	0	20	40	60	80	100
0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0
200	0,0	1,0	4,3	3,8	4,2	5,6
400	0,0	2,7	3,8	5,7	6,3	7,3
600	0,0	2,5	3,1	4,9	5,5	6,2
800	0,0	2,2	2,5	3,9	4,3	4,9
1000	0,0	1,8	2,0	3,2	3,6	4,2
1200	0,0	1,3	1,4	2,6	3,0	3,4
1400	0,0	0,9	1,3	1,9	2,3	2,7
1600	0,0	0,9	1,1	1,7	2,1	2,4
1800	0,0	0,8	1,0	1,6	1,8	2,1
2000	0,0	0,8	1,0	1,4	1,6	1,8
2200	0,0	0,8	1,0	1,4	1,5	1,7
2400	0,0	0,8	1,0	1,3	1,5	1,7
2600	0,0	0,8	1,0	1,3	1,4	1,6
2800	0,0	0,8	1,0	1,2	1,3	1,4
3000	0,0	0,8	1,0	1,1	1,1	1,3
3200	0,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,1

Fuente: TRB, Manual de Capacidad 2000.

**Tabla N° 45.****Niveles de servicio en carreteras convencionales de calzada única con dos carriles de clase I**

<b>Nivel de Servicio</b>	<b>% Tiempo Siguiendo</b>	<b>Velocidad Media (km/hr)</b>
A	$\leq 35$	$> 90$
B	$> 35 \leq 50$	$> 80 \leq 90$
C	$> 50 \leq 65$	$> 70 \leq 80$
D	$> 65 \leq 80$	$> 60 \leq 70$
E	$> 80$	$\leq 60$

Fuente: TRB, Manual de Capacidad 2000.

**Tabla N° 46.****Niveles de servicio en carreteras convencionales de calzada única con dos carriles de clase II**

<b>Nivel de Servicio</b>	<b>% Tiempo Siguiendo</b>
A	$\leq 40$
B	$> 40 \leq 55$
C	$> 55 \leq 70$
D	$> 70 \leq 85$
E	$> 85$

Fuente: TRB, Manual de Capacidad 2000.

En la práctica, resulta muy difícil tener en cuenta todos los factores que intervienen en la descripción del nivel de servicio; por ello el Manual de Capacidad relaciona los niveles de servicio con uno o dos parámetros que pueden medirse, y que son los más representativos del estado de la circulación para el tipo de elemento de una carretera (intensidad, velocidad).

El Nivel de Servicio en el Tramo Bermejo-Los Ingenios es **A**, según tablas del Manual de Capacidad.

## **6.10 SEÑALIZACION**

Para lograr una operación adecuada del camino en estudio Tramo Bermejo – Los Ingenios es fundamental la implementación del señalamiento y los correspondientes dispositivos de control de tránsito. La circulación vehicular y peatonal debe ser guiada y regulada, esto con el fin de que pueda llevarse en forma segura, fluida, ordenada y cómoda; todo esto se podrá lograr con la señalización de tránsito.

Por medio de la señalización se indica a los usuarios de las vías, la forma correcta y segura de transitar por ésta, con el único propósito de evitar riesgos y disminuir demoras innecesarias.

### **6.10.1 REQUISITOS QUE DEBEN CUMPLIR LOS DISPOSITIVOS DE CONTROL DE TRANSITO.**

De acuerdo al Manual guía de la ABC, se establecen principios básicos que rigen el diseño y uso de los dispositivos de control de tránsito, los cuales se deberán considerar de manera prioritaria en la selección, aplicación y adaptación de cada señal o dispositivo.

Todo dispositivo para el control del tránsito deberá satisfacer los siguientes requisitos fundamentales para cumplir integralmente su objetivo:

- Debe ser necesaria; Satisfacer una necesidad para el adecuado desenvolvimiento del tránsito. Cuando se coloca un dispositivo donde no se requiere, no sólo resulta inútil sino perjudicial.
- Debe ser visible y llamar la atención; Atraer la atención del usuario. Todo dispositivo debe ser advertido por el público.
- Debe ser legible y fácil de entender; Transmitir un mensaje claro y sencillo. La indicación suministrada por un dispositivo debe ser concisa y clara para que sea interpretada rápidamente.



- Debe infundir respeto; Infundir respeto a los usuarios de la vía. Los usuarios deben ser compelidos, por la sensación que brinde el dispositivo, a respetar la indicación que éste transmite.
- Debe dar tiempo suficiente al usuario para responder adecuadamente; Permitir suficiente tiempo y espacio para una respuesta adecuada. Los dispositivos deben tener un diseño y colocarse de modo que el usuario, al advertirlos, tenga suficiente tiempo y espacio para efectuar la maniobra o realizar la acción requerida conforme lo dispongan los mensajes.
- Debe contar con una instalación adecuada; Instalar en forma adecuada los dispositivos, y emplear materiales de alta calidad que garanticen su duración.

Para conseguir los propósitos antes mencionados, deben tenerse en cuenta los siguientes factores básicos: Diseño, Ubicación, Operación, Uniformidad y Mantenimiento.

### **6.10.2 SEÑALIZACION VERTICAL**

Las señales verticales son dispositivos de control de tránsito instalados a nivel del camino o sobre él, destinados a transmitir un mensaje a los conductores y peatones, mediante palabras o símbolos, sobre la reglamentación de tránsito vigente, o para advertir sobre la existencia de algún peligro en la vía y su entorno, o para guiar e informar sobre rutas, nombres y ubicación de poblaciones, lugares de interés y servicios.

Las señales verticales deberían usarse solamente donde se justifiquen según un análisis de necesidades y estudios de campo. Las señales son esenciales donde rigen regulaciones especiales, tanto en lugares específicos como durante períodos de tiempo específicos, o donde los peligros no sean evidentes para los usuarios.

Las señales verticales también suministran información sobre rutas, direcciones, destinos, puntos de interés y otras informaciones que se consideren necesarias.

Desde el punto de vista funcional, las señales se clasifican en:

Señales preventivas

Señales reglamentarias

Señales informativas

**Señales Preventivas:** son las que indican al conductor de las condiciones prevalecientes en una carretera y su entorno, para advertir al conductor la existencia de un potencial peligro y su naturaleza.

**Señales Reglamentarias:** son las que indican al conductor sobre la prioridad de paso, la existencia de ciertas limitaciones, prohibiciones y restricciones en el uso de la vía, según las leyes y reglamentos en materia de tránsito de cada país.

**Señales Informativas:** son las que guían o informan al conductor sobre nombres y ubicación de poblaciones, rutas, destinos, direcciones, kilometrajes, distancias, servicios, puntos de interés, y cualquier otra información geográfica, recreacional y cultural pertinente para facilitar las tareas de navegación y orientación de los usuarios.

Las señales verticales se deberán usar solamente donde se requieran (de acuerdo con un análisis de necesidades y estudios de campo), donde se apliquen reglamentaciones especiales o donde los peligros sean evidentes.

#### **6.10.2.1 FORMAS**

Las formas uniformes de las señales son:

- El cuadrado con diagonal vertical “rombo” se utilizará para señales preventivas.
- La forma circular para señales reglamentarias con excepción de las señales de “PARE”, SR-01, “CEDA EL PASO”, SR-02, “SENTIDO DE CIRCULACIÓN”, SR-38; y “SENTIDO DE CIRCULACIÓN DOBLE”, SR -39.
- El octágono regular, reservado para uso exclusivo de la señal de “PARE”.

- El triángulo equilátero, con una punta hacia abajo, reservado exclusivamente para la señal de “CEDA EL PASO”.
- El rectángulo se utilizará para señales informativas. También serán usadas las formas rectangulares para las señales reglamentarias “SENTIDO DE CIRCULACIÓN” y “SENTIDO DE CIRCULACIÓN DOBLE”.

Las señales de reglamentación, prevención e información, a menos que se indique una excepción en las normas que rigen un grupo particular de señales, deberán estar hechas con material retro reflectante o iluminadas, de modo que muestren la misma forma y color, tanto de día como de noche.

Las señales elevadas sobre los carriles deberán estar iluminadas cuando un estudio de ingeniería demuestre que la retro reflexión propia de la señal es insuficiente para proporcionar una legibilidad adecuada durante la operación nocturna.

#### **6.10.2.2 COLORES**

El color de fondo a usarse en las señales verticales será como sigue:

**Amarillo:** Se utilizará como fondo para las señales preventivas y para los delineadores de curva horizontal.

**Anaranjado:** Se usará como fondo para las señales de construcción y mantenimiento.

**Azul:** Se utilizará para las señales de información general (servicios).

**Blanco:** Se utilizará como fondo para las señales reglamentarias y las señales informativas de destino, geográficas y seguridad vial.

**Rojo:** Se usará sólo como fondo para las señales de “PARE”.

**Verde:** Se utilizará como fondo de las señales informativas elevadas.

Las señales reglamentarias, preventivas e informativas deberán estar hechas con material retro-reflectante, o iluminadas, para mostrar la misma forma y color, tanto

de día como de noche. El poste de apoyo del tablero como la parte posterior del mismo debe ser de color blanco.

En caso de que la visibilidad al lado derecho no sea completa, deberá colocarse una señal adicional a la izquierda de la vía.

Se utiliza un código de color en las señales que identifica el nivel de seriedad del peligro o riesgo, el cual debe ser respetado en el diseño futuro de nuevas señales. Se han definido tres niveles de riesgo: **peligro, precaución y prevención**. Los colores estándar asociados a estos niveles de seriedad del peligro son los siguientes:

**Rojo:** se utiliza para el mayor nivel de peligro. Indica situaciones y maniobras críticas, cuya desobediencia puede resultar en colisión de frente o a un ángulo recto, con consecuencias graves.

**Anaranjado:** se utiliza para un nivel de precaución moderado. Indica la presencia de zonas de trabajo temporales o de manejo de emergencias, en las cuales se requiere mayor atención de parte del conductor.

**Amarillo:** se utiliza para el nivel de precaución más bajo. Indica prevención ante una condición especial permanente que se presenta más adelante en la vía.

### **6.10.2.3 UBICACIÓN LONGITUDINAL DE LAS SEÑALES VERTICALES**

Las señales verticales deberán estar instaladas en postes individuales. Podrán adosarse dos tableros de señales verticales en un solo poste, cuando no exista la distancia suficiente que permita colocar dos señales verticales individuales separadas a la siguiente distancia mínima a lo largo de la vía, los postes deberán ser de hormigón armado o en su defecto de fierro galvanizado, en el tramo en estudio se debe colocar estas señales, al inicio del tramo y en las intersecciones con los caminos vecinales, estas señales deben ser; Ancho Máximo, Altura Máxima y Peso Máximo para camiones de alto tonelaje.

**Tabla N° 47**  
**Distancia Mínima entre Señales Verticales**

<b>Velocidad de Operación (Km/h)</b>	<b>Distancia (m)</b>
30	30
40	40
50	50
60	60
≥ 80	80

**Fuente:** Manual dispositivos para control tránsito en carreteras Ver-2007

Una separación menor dificultaría su visibilidad por las noches. Se tendrá en cuenta que es necesaria la repetición de algunas de estas señales, especialmente en zonas donde existan accesos por los que el tránsito se incorpora a la vía principal; en tal caso se asegurará que dicho tránsito pueda identificar la restricción o prohibición que se aplica a dicho tramo de la vía principal al que acaba de ingresar.

- Rural; la altura de la señal medida desde su extremo inferior hasta la cota del borde del pavimento no será menor de 1.80 m. La distancia de la señal medida desde su extremo interior hasta el borde del pavimento estará comprendida entre 1.80 m. y 3.60 m.
- Urbano; la altura de la señal medida desde su extremo inferior hasta la cota del borde de la acera no será menor de 2.0 m. La distancia de la señal medida desde su extremo interior hasta el borde de la acera no será menor de 30 cm.

## **6.11 DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA VEHÍCULOS CAÑEROS**

En esta memoria se presenta el diseño estructural de pavimentos para las alternativas de pavimento flexible. El proyecto en estudio tiene una extensión total de 6.7 km en el que circulan vehículos de gran tonelaje.

El diseño estructural del pavimento, para el pavimento flexible, se realizara mediante hojas de cálculo Excel, fundamentado en el método AASHTO versión 1993. El desarrollo del presente documento hace referencia permanentemente a la Guía de Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO 93 y al Suplemento del año 97, de tal manera que se ha tomado la misma nomenclatura para una directa referencia.

### **6.11.1 CARACTERIZACIÓN DEL TRÁFICO**

El tráfico es un factor básico en el diseño de un pavimento, su volumen acumulado define los espesores del proyecto y la mayor o menor precisión que se obtenga del mismo influirá en su vida útil.

Se mantiene la estructura de datos preparada en este Estudio con sus tendencias de crecimiento, a fin de que el diseño tenga un horizonte de 20 años. Los valores del TPDA (extractados del Estudio de Tráfico) para cada uno de los tramos se adjuntan en las siguientes tablas en los Anexos:

Para la conversión del tráfico mixto que transita por el proyecto en estudio se utiliza el concepto de los Factores de Carga Equivalentes (FCE) los cuales se pueden obtener de las tablas del la Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO-93 o mediante las ecuaciones que se detallan a continuación:

$$FCE = \frac{1}{10^{4.79 \cdot \log(18+1) - 4.79 \cdot \log(L_x + L_2) + 4.33 \cdot \log L_2 + \frac{G_t}{\beta_x} - \frac{G_t}{\beta_{18}}}}$$

$$G_t = \log\left(\frac{4.2 - p_t}{4.2 - 1.5}\right)$$

$$\beta_x = 0.40 + \frac{0.081 \cdot (L_x + L_2)^{3.23}}{(D + 1)^{5.19} \cdot L_2^{3.23}}$$

SN = Número Estructural

$L_x$  = Carga de eje simple, tándemo trídem en Kip

$L_2$  = Código de eje :

1 : Eje simple

2 : Eje tándem

3 : Eje trídem

$p_t$  = Serviabilidad final

$\beta_{18}$  = Igual a  $\beta_x$  cuando  $L_x = 18$  y  $L_2 = 1$

Se ha aplicado estas ecuaciones para el cálculo del número de Ejes Equivalentes que solicitarán a la carretera. Para una aproximación preliminar, se decide adoptar un Pt (diferencia entre serviabilidad inicial y final) de 4.2 y 2, para pavimento flexible.

El cálculo de los Factores de Carga Equivalentes (FCE), fue realizado de acuerdo a la estratigrafía de tráfico presentada en el Estudio de Tráfico los vehículos de poco peso o que no tienen influencia en la determinación de Ejes Equivalentes están divididos en Automóviles vagonetas, Camionetas minibuses, (de todas maneras sus pesos han sido considerados en el cálculo respectivo). Los vehículos de influencia en la determinación de Ejes Equivalentes se constituyen en los siguientes grupos: Microbuses y buses medianos, buses grandes 2 o más ejes, Camiones pequeños, Camión mediano, Camión grande de 2 o más ejes, Camión semirremolque, Camiones remolque y otros.

Se ha determinado que los vehículos pesados (Cañeros) que circulan por esta carretera, no lo hacen todo el tiempo con carga, sino que éstos exceden la capacidad de transporte de carga en forma pendular.

**Tabla N° 48**  
**Factores equivalentes de carga (Pesos por Ejes Utilizados)**

Tipo de Vehículo	Tipo de Eje / Peso por eje (KIPS)				
	Tipo de Carga	Simple (2) Delantero	Simple (2) Trasero	Tándem Trasero	Tridem Trasero.
<b>Automóviles Vagonetas y Jeep</b>	Con carga	1	1		
	Sin carga	0.6	0.6		
<b>Camionetas Minibuses</b>	Con carga	2	4		
	Sin carga	2	2		
<b>Microbuses Buses medianos</b>	Con carga	10	20		
	Sin carga	6	16		
<b>Buses Grandes 2 o más ejes</b>	Con carga	10	22		
	Sin carga	6	18		
<b>Camiones Pequeños 2 Ejes</b>	Con carga	8	18		
	Sin carga	6	14		
<b>Camiones Medianos 2 Ejes</b>	Con carga	10	20		
	Sin carga	6	16		
<b>Camión Grande 3 Ejes</b>	Con carga	10	22	30	
	Sin carga	6	18	28	
<b>Camiones Semirremolque</b>	Con carga	10	20	32	
	Sin carga	6	16	(28).	
<b>Camión Articulado y Otros</b>	Con carga	10		36	60
	Sin carga	6		(26.0)	(35.0)

Fuente: Estudio a Diseño Final Palos Blancos Campo Pajoso.

### 6.11.2 PERIODO DE DISEÑO

El periodo de diseño en el presente estudio, tramo Bermejo-Los Ingenios ha sido definido de la siguiente manera:



### Para Tratamiento Superficial Triple

- 2010 - 2011            Periodo de construcción
- 2010 - 2011            Periodo en servicio con TS
- 2011                    Colocación de la primera sobrecarpeta de asfalto
- 2011 – 2031            Colocación de una segunda sobrecarpeta de asfalto

### 6.11.3 DETERMINACIÓN DE EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS.

Con la ecuación que se presenta a continuación, es posible determinar W18 para cada año.

$$W_{18} = 365 (\text{Días/Año}) \times \%TV \times TPDA \times \frac{(1+r)^n - 1}{r} \times FCE (\text{ejes 18 Kips/eje})$$

Donde:

W18 = Número de reiteraciones de ejes equivalentes de 18000 Libras, (18 Kips, 8.2 Ton).

TV = Porcentaje del Tipo de Vehículo.

TPDA = Tránsito promedio diario anual de camiones en el año 0.

n = Periodo de diseño;

r = Tasa de crecimiento anual de tránsito;

FCE = Factor de Carga Equivalente

En los anexos se presenta el cálculo de los Ejes Equivalentes de 80 KN para los nueve tipos de vehículos antes indicados.

### 6.11.4 CONSIDERACIONES SOBRE EL ESTUDIO DE SUELOS

Los datos del estudio de suelos realizados, se recolecto de Servicio Departamental de Caminos (SEDECA) del Estudio (Adecuación y Actualización) Servicio Departamental de Caminos del Estudio de Factibilidad Diseño Final e Impacto Ambiental Asfaltado (Tramo Vial "Bermejo-Los Ingenios"), siendo los datos la base fundamental para el diseño del paquete estructural del presente estudio, los cuales

definen las características principales de las partes componentes de un pavimento.

Para el diseño del pavimento, teniendo en cuenta la variabilidad de los CBR's en que se tienen, se ha trabajado dentro de un promedio de todos los CBR's de (CBR, 9.08%) y para los CBR's que se encuentren por debajo de este rango se prevé un mejoramiento de sub-rasante.

La selección de los tipos de materiales que constituirán el paquete estructural del pavimento es de la importancia vital, pues afectará directamente el costo final de la obra, principalmente debido a las distancias de transporte involucradas. Así, en la adopción de los materiales se considerara la mejor forma logística que no afectara la calidad ni la durabilidad de la estructura del pavimento.

De acuerdo al orden de introducción de datos en las hojas de cálculo Excel y de la Guía de Diseño de Estructuras de Pavimentos de la AASHTO, se presenta una breve explicación de cada uno de ellos a continuación:

#### **6.11.5 SERVICIABILIDAD**

La serviciabilidad de un pavimento se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. Esta se mide dentro de la escala de 0 a 4,5 siendo que el valor 4,5 representa una condición muy buena y 0 pésimas condiciones.

Se ha tomado una serviciabilidad inicial  $P_i$  de 4,2 y serviciabilidad final de proyecto  $P_f$  de 2; con una diferencia entre ambos de 2,2, que está en el rango que recomienda la guía de la AASHTO.

#### **6.11.6 CONFIABILIDAD (R)**

El índice de confiabilidad se define como la probabilidad de que el sistema estructural que forma el pavimento cumpla su función prevista dentro de su vida útil bajo las condiciones (medio ambiente) que tiene lugar en ese lapso. Cuanto mayor es la incertidumbre, mayor es el coeficiente de seguridad. La aplicación de estos coeficientes de seguridad puede hacer que el pavimento resulte sobre o subdimensionado.

Se adopta un nivel de confiabilidad de  $R = 90 \%$  indicado para arterias principales.

#### **6.11.7. DESVIACIÓN ESTÁNDAR**

La desviación estándar global ( $S_o$ ) toma en cuenta todos los errores o variabilidad asociada con los datos de diseño y construcción, incluyendo la variabilidad en las propiedades de materiales, propiedades del suelo de fundación, estimaciones de tráfico, condiciones climáticas y calidad de construcción. Idealmente, estos valores deberían estar basados en condiciones locales. Sin embargo, en la ausencia de otros valores la Guía de Diseño AASHTO provee valores recomendados. Para el caso donde la variación del tráfico futuro proyectado no está considerada, la Guía de Diseño AASHTO recomienda un valor de 0.44. En situaciones donde se considera la variación del tráfico futuro proyectado, se recomienda un valor de 0.49, valor que es adoptado en este diseño para vehículos cañeros.

#### **6.11.8 MÓDULO DE RESILIENCIA DE LA SUB - RASANTE**

El módulo de resiliencia de la subrasante es la propiedad del material usado para representar las características de soporte del suelo natural en el diseño de pavimentos flexibles. En términos generales, es una medida de la deformación del suelo en respuesta a aplicaciones (cíclicas) de cargas mucho menores que la carga de falla.

El proceso de diseño de AASHTO, requiere la introducción del módulo resiliente efectivo del suelo de la carretera. En el presente estudio, fueron directamente adoptados los valores de módulo resiliente obtenidos a través de la ecuación de correlación con el CBR.

En la Guía AASHTO se menciona que ante la imposibilidad de contar con los equipos para realizar ensayos con el módulo de resiliente, se puede utilizar la correlación establecida por el Corps of Engineers con el CBR:

$$M_R = 1500 \times CBR [psi]$$

De acuerdo a la experiencia en Latinoamérica, las ecuaciones que se presentan a continuación son las más utilizadas y las que han sido aplicadas en el presente diseño:

$$M_R = 2555 \times CBR^{0,64} [psi]$$

$$M_R = 17,6 \times CBR^{0,64} [MPa] \text{ Para CBR entre 2 y 12\%}.$$

$$M_R = 22,1 \times CBR^{0,55} [MPa] \text{ Para CBR entre 12 y 80\%}.$$

### 6.11.9 ECUACIÓN DE LA AASHTO 93 PARA LA DETERMINACIÓN DE ESPESORES DE CAPAS DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Para el cálculo de espesores de las capas del paquete estructural, es necesario determinar previamente el Número Estructural SN, para este propósito se uso una hoja de cálculo Excel, también se puede utilizar el Software DARWin ver 3.1, que está fundamentada en el método AASHTO versión 1993. La ecuación que se presenta a continuación se utiliza para la determinación del Número Estructural SN, referida a la cantidad acumulada de un eje estándar de 8,2 Tn. para un periodo de vida útil, es la siguiente:

$$\text{Log}W_{18} = Z_r \times S_o + 9.36 \times \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{\frac{0.4 + 1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \text{Log}M_r - 8.07$$

En la cual las variables tienen los siguientes significados:

W18= Número de eje equivalentes a 18000 Libras que solicitaran durante el periodo de vida útil.

Zr = Desviación normal standard para el grado de confiabilidad R elegido.

So = Error standard combinado de las predicciones de transito y de comportamiento

ΔPSI = Diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial y final.

$M_r$  = Módulo Resiliente de la Subrasante.

$SN$  = Número Estructural del Pavimento.

En el procedimiento de diseño AASHTO, el cálculo del diseño del pavimento produce un número estructural. Este número estructural expresa la resistencia estructural de un pavimento flexible. Este valor, que es resultado de la ecuación de diseño AASHTO, se convierte a espesores individuales de capas en el pavimento a través de la siguiente relación:

$$SN = a_1 h_1 + a_2 m_2 h_2 + a_3 m_3 h_3$$

Donde:

$a_i$  : coeficientes estructurales de la capa  $i$

$m_i$  : coeficientes de drenaje de la capa  $i$

$h_i$  : espesor de la capa  $i$

Cada una de las variables que conforman esta ecuación tiene varios posibles valores, pero de acuerdo a la Guía de Diseño existen ciertas condiciones mínimas recomendadas que se deben cumplir para que una vez construidas unas protejan a las otras y viceversa.

Para la determinación de los espesores de las distintas capas utilizando el método de Análisis por Capas se deben seguir las ecuaciones que se mencionan a continuación:

$$h_1^* \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN_1^* = a_1 h_1^* \geq SN_1$$

$$h_2^* \geq \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 \times m_2}$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$$

$$h_3^* \geq \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 \times m_3}$$

Debe ser considerado que, en caso de que los espesores obtenidos a través de las expresiones matemáticas arriba indicadas resulten inferiores a los espesores mínimos indicados en el método, dichos mínimos deberán ser adoptados, lo que obliga a la definición de nuevos valores de SN1 y SN2, con base en los espesores adoptados y en los valores de los coeficientes estructurales.

#### 6.11.10 COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE LAS CAPAS ( a<sub>i</sub> )

El coeficiente estructural de una capa representa la relación empírica entre el número estructural SN y el espesor de dicha capa, siendo una medida de la capacidad relativa del material para actuar como componente estructural de un dado pavimento.

El método AASHTO presenta diversas formas de obtener el valor del coeficiente estructural, en general a través de correlaciones con otras propiedades mecánicas de los materiales (CBR, módulo resiliente, etc.). Estos coeficientes es posible determinar a través de ábacos o expresiones matemáticas. A continuación se presentan los valores adoptados para cada caso.

- Carpeta Asfáltica –  $a_1 = 0.44$  (Obtenido de la Fig 2.5 pag II-18 Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO - 93)
- Bases Granulares –  $a_2 = 0,14$  (Obtenido de la Fig 2.6 pag II-19 Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO - 93)
- Sub Bases Granulares –  $a_3 = 0,12$  (Obtenido de la Fig 2.7 pag II-21 Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO - 93).

### **6.11.11 COEFICIENTE DE DRENAJE (MI)**

El método AASHTO propone la utilización de coeficientes modificados para las capas de pavimento, en función de las características de drenaje de los materiales. Para eso, la calidad del drenaje es definida en función del tiempo exigido para la remoción del agua del pavimento.

Se consideraron los coeficientes de drenaje en función del material empleado y de la posición de la capa en la estructura. Además de eso, en las tablas indicadas en la Guía de la AASHTO, se adoptó que la calidad de drenaje será regular, es decir, el tiempo de remoción del agua del pavimento será de cerca de una semana, y el porcentaje de tiempo a que el pavimento estará sujeto a condiciones de humedad próximas de la saturación será entre 5% y 25%. Resulta que para la capa Base, Sub Base y Refuerzo, se adoptó coeficiente igual a  $m_2$  y  $m_3 = 1,0$ .

### **6.11.12 ESPESORES DE LAS CAPAS DE PAVIMENTO**

El periodo de análisis para el diseño de pavimentos es de 20 años. Sin embargo, es permitido el diseño de pavimentos en dos o más etapas. En este caso particular, se ha considerado para el tratamiento superficial 1 año de periodo de vida para la estructura inicial y adicionalmente, la ejecución de dos sobrecarpetas. Para la carpeta de asfalto, 10 años de periodo de vida para la estructura inicial, más la ejecución de una sobrecarpeta adicional.

La ejecución de pavimentos por etapas permitirá la eliminación de pequeñas irregularidades que pueden ocurrir durante los primeros años de vida, debido a asentamientos diferenciales y a la compactación adicional de los materiales. Las capas ejecutadas posteriormente podrán corregir este tipo de desperfecto.

Las alternativas recomendadas en este estudio consideran para el carril de rodadura un revestimiento con tratamiento superficial triple y por otra parte, concreto asfáltico mezclado en caliente, base de material granular triturado, sub base granular y si es necesario, refuerzo de la sub-rasante de suelo grava y suelo seleccionado. Esta alternativa cumple con los parámetros de diseño de AASHTO

en relación al número estructural total requerido. Sin embargo, este paquete estructural no cumple con la verificación de la capa de revestimiento, para la cual sería necesario espesores mayores. La adopción de esta alternativa en el presente estudio se debe a lo descrito anteriormente, es decir, ejecución del pavimento por etapas, esperando la ocurrencia de pequeñas deformaciones en la superficie debido a asentamientos y acomodaciones de los materiales de pavimentación.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 CONCLUSIONES

- En el presente trabajo de tesis, se realizó un análisis de los parámetros para evaluar el estado de la carretera del tramo “Bermejo-Los Ingenios” tanto para la circulación del tráfico y el efecto que causan todos los vehículos en particular los vehículos cañeros, que transportan grandes volúmenes de cargas (caña de azúcar), excediendo su capacidad de tonelaje provocando de esta manera deterioros importantes en el tramo Bermejo-Los Ingenios la carga transportada es distribuida en dos ejes, un eje delantero y un eje trasero, el 38% de los vehículos cañeros son de dos ejes, transmitiendo grandes esfuerzos mediante las llantas a la superficie del camino, provocando la destrucción de la plataforma en la carretera; el planteamiento de la solución y así poder evitar la destrucción precoz de la carretera, sería aumentar el número de ejes a los vehículos cañeros o cambiar los vehículos tradicionales por otros adecuados, para una mejor distribución de la carga sobre el pavimento, para el tipo de camiones que circulan por el tramo de carretera Bermejo-Los Ingenios, y así reducir el efecto destructivo de la carretera.
- Por otra parte se estudió la influencia de los vehículos cañeros en la capacidad de la carretera, de manera tal de dar un diagnóstico del efecto directo que éstos causan a la circulación de otros vehículos más pequeños como así también entre cañeros y peatones; por su forma de transportar la caña de azúcar, reduciendo la visibilidad para hacer maniobras de sobrepaso, por la forma de transportar la caña de azúcar requiere un mayor ancho de carril, por otra parte el alto y el ancho de la carga están fuera de norma, lo que incide en la seguridad de la carretera debida a su longitud de algunos vehículos, como los tractores jalando chatones.

<b>Camión Cañero</b>			
2 ejes	Ancho plataforma Toyota	2.4	1.00
	Ancho de carga Toyota	3.4	
	Ancho plataforma Volvo	2.4	1.20
	Ancho de carga Volvo	3.6	
3 ejes Tándem	Ancho plataforma Volvo	2.4	1.40
	Ancho de carga Volvo	3.8	
Más de 3 ejes.	Ancho plataforma Camión Articulado	2.4	1.20
	Ancho de carga Camión Articulado	3.6	
	Ancho plataforma Tractor	2.2	1.40
	Ancho de carga Tractor	3.6	

- Realizando la recolección de datos preliminares se llegó a obtener valiosa información acerca del tramo Bermejo–Los Ingenios encontrando así mismo, indicios de pavimento flexible ejecutado en el año 1988 por la empresa SOCICO López Zambrana con un presupuesto de construcción de 2 588 009 Bs. Financiado por SNC y CODETAR la obra fue concluida en el año 1989. llegando a destruirse periódicamente por la circulación de vehículos de alto tonelaje (cañeros) como así también por las fallas precoces detectadas en el pavimento por la mala ejecución.
- De acuerdo a los datos obtenidos del “Estudio de Factibilidad, Diseño Final e Impacto Ambiental para el asfaltado del Camino Carapari – San Antonio – Bermejo”, del Servicio Departamental de Caminos (SEDECA), se puede indicar que los suelos identificados a lo largo del tramo “Bermejo-Los Ingenios” constituyen un perfil natural de la sub-rasante, se resume en los siguientes grupos:

#### Suelos Granulares (Gravas y Arenas)

1. A-1: Fragmento de piedra, grava y arena. (En un porcentaje del 4%)
2. A-2: Gravas y arenas limosas y arcillas. (En un porcentaje del 21%)

### Suelos Finos (Limos y Arcillas)

1. A-4: Limos inorgánicos. (En un porcentaje del 49%)
  2. A-6: Arcillas inorgánicas plásticas. (En un porcentaje del 21%).
- En cuanto a la superficie de la carretera en estudio Bermejo-Los Ingenios, al igual que las del resto del Departamento de Tarija, presentan características y condiciones similares los anchos de la plataforma varían entre los 9 y 7 metros, este tramo anteriormente contaba con un tratamiento superficial, que se deterioro debido al alto porcentaje de vehículos pesados (Cañeros) en época de zafra, estos vehículos dan lugar a un deterioro acelerado de la carretera y a la producción de mucho polvo, a causa del deterioro se produjeron numerosos baches, que dificultan de sobremanera el transito normal de los vehículos, actualmente este tramo cuenta con la capa base que quedo del antiguo tratamiento y que se puede clasificar como una superficie de rodadura de grava.
  - De acuerdo al aforo realizado en campo y en particular en el ingenio, se puede concluir que el efecto de los vehículos cañeros en la carretera es pendularmente, cada año en el periodo de zafra por un tiempo aproximado de 5 meses cada año, este efecto se produce en los meses de Junio a Octubre, también hay un crecimiento del parque automotor de vehículos livianos, buses y pesados por lo tanto cuanto mayor sea este índice, puede repercutir con mayor incidencia en la capacidad de la carretera.
  - Se determinó el volumen de tráfico total de vehículos cañeros y no cañeros que transitan por la carretera y algunos derivados de los caminos vecinales de la zona de Bermejo; con el volumen total de vehículos se determinó los factores de equivalencia de carga, por cada uno de sus ejes y para cada tipo de vehículo tipo W18, basada en sus pesos por eje en (kips) según la metodología de Diseño de Pavimentos Flexibles (ASSHTO-97).

- Los vehículos pesados en general tienen un efecto perjudicial sobre la circulación por dos razones: primero porque son de mayor longitud que los vehículos livianos y buses; segundo porque generalmente se mueven a menor velocidad que los vehículos livianos y buses, por lo tanto reducen la capacidad y el nivel de servicio, ya que los vehículos pesados son más lentos, obligan a los vehículos livianos a reducir su velocidad, a veces forman colas y se ven obligados a efectuar maniobras para adelantar, este último efecto se manifiesta de forma frecuente a lo largo del tramo.
- También se pudo constatar mediante los volúmenes de tráfico recogidos, que los camiones en general son el 51.78%, y otros el 1.69% en total los vehículos que transportan caña de azúcar hacia el Ingenio son el 53.47%; y la mayoría de estos vehículos transitan por la carretera Bermejo Los Ingenios, las primeras horas del día y el resto al atardecer, esto se puede observar en las planillas de aforo, los conductores y trabajadores de la caña de azúcar prefieren evitar las altas temperaturas que se dan en el día, cabe también mencionar que del total de los camiones el 50% van cargados el otro 50% sin carga porque hacen un trabajo pendular.
- Se realizó una inventariación de la carretera Bermejo-Los Ingenios de sus obras de drenaje menores, encontrándose en pésimas condiciones las cunetas, bermas, alcantarillas y sus obras de drenaje mayores, también con serios problemas en sus barandas, tienen socavación en el lecho del río y falta de limpieza en el área de los puentes, la carretera no tiene señalización vertical mucho menos señalización horizontal. La condición de calificación en campo de los elementos de obras de arte mayor y menor, se definieron cinco condiciones, correspondiendo a la condición 5 como excelente, donde prácticamente es nuevo; y la condición 1 como pésima, donde la reparación ya no es posible, está totalmente fuera de servicio, requiere reemplazo total e inmediato.

- En cuanto al drenaje del tramo Bermejo-Los Ingenios, se presentan cursos menores de agua, del total de las alcantarillas existentes en el tramo son de tipo cajón, algunas se encuentran en mala condición, y el resto se encuentran entre una condición regular y buena; en cuanto a los puentes son del tipo losa de hormigón, se debe indicar entre una condición regular a buena. Actualmente el drenaje requiere una atención urgente en las alcantarillas, que se encuentran en mala condición, además es recomendable realizar actividades de mantenimiento en toda la longitud de las cunetas existentes y en los puentes y alcantarillas que se encuentran en condición regular para evitar que empeore su situación.
- Para mejorar la capacidad y el nivel de servicio en la carretera Bermejo-Los Ingenios, se debe cambiar el sistema de trabajo de los vehículos que transportan caña de azúcar, primero en su plataforma o carrocería para que carguen en forma longitudinal a la carrocería la caña de azúcar, segundo que cambien sus vehículos tradicionales por otros que están fabricados especialmente para el transporte de caña de azúcar, como por ejemplo en Santa Cruz de la Sierra o Tucumán Argentina.

<b>Capacidad Tramo Bermejo Los Ingenios</b>	<b>Nivel de Servicio Tramo Bermejo Los Ingenios</b>
1600 (coches/hora/carril)	E

- Este tramo de carretera Bermejo-Los Ingenios, es primordial para el desarrollo de la región, como de las industrias (IABSA), para la expansión del comercio con el fin generar mayor movimiento económico y social mejorando significativamente el desarrollo de Bermejo, por otra parte el ascendente crecimiento del parque automotor requerirá un mejor tipo de carretera en un futuro próximo, este tramo se convertirá en un eje integrador de las provincias del Gran Chaco y la provincia Arce, además siendo una alternativa del corredor Bioceánico del Sur.

## 7.2 RECOMENDACIONES

Concluido el presente trabajo se recomienda:

- Dotar de arcenes o bermas en toda la longitud del tramo de la carretera Bermejo-Los Ingenios, ya que en toda carretera construida con arcenes adecuadamente, ya sean pavimentados o no desde el punto de vista estructural, puede ayudar al adelantamiento de los vehículos livianos o rotura de columnas. Los camiones lentos pueden utilizar el arcén temporalmente para permitir el adelantamiento de los vehículos más rápidos, volviendo al carril normal una vez que se hayan acabado las maniobras de sobrepaso.
- La superficie o capa de rodadura en el tramo Bermejo-Los Ingenios, en algunos sectores presenta escaso material de recubrimiento, por el descuido de realizar un mantenimiento rutinario y periódico, por parte de la entidad encargada de realizar el mantenimiento que es SEDECA, este tramo tiene restos del paquete estructural que una vez fue parte del tratamiento superficial, pero está en muy malas condiciones existen baches, empozamientos, corrugaciones(calaminado), ahuellamientos, perdida de agregados y trozos del tratamiento superficial. Para evitar estas fallas en el tramo, se recomienda realizar un mantenimiento rutinario y periódico por parte de la entidad encargada que es SEDECA.
- En cuanto al drenaje los trabajos de mantenimiento y de reemplazo deben realizarse, antes del periodo de lluvias. Esta actividad es crítica considerando los daños potenciales a la estructura de la carretera y a la designación de pocos recursos para atender nuevas actividades que pueden surgir. En el tramo hay alcantarillas que están en muy mala y pésima condición que requieren de reemplazo inmediato, y en todo el tramo de una atención urgente, a las cunetas porque prácticamente están borradas de la carretera, para evitar el colapso de estas obras de drenaje.

- Realizar cursos de concientización a los dueños de los vehículos o conductores, a que cambien esa manera tradicional de transportar la caña de azúcar, para evitar accidentes, maniobras peligrosas y colas en la carretera; disminuyen la capacidad de la carretera en el tramo Bermejo-Los Ingenios con la forma de transportar la caña de azúcar, porque está fuera de norma el ancho de su carga; para que puedan cargar longitudinalmente a su carrocería o que adquieran vehículos que se fabrican especialmente para este trabajo, como se pudo observar en la fotografías del trabajo en Santa Cruz de la sierra y Tucumán (Argentina).
- En cuanto a la carga o peso que transportan los vehículos cañeros, el efecto sobre el paquete estructural por las sobrecargas que llevan es un factor de deterioro constante en la vida útil de la carretera, se recomienda hacer un taller para concientizar a los dueños y conductores de los vehículos cañeros, para que no carguen más de su capacidad a sus vehículos, porque deterioran la carretera como así también sus vehículos y las consecuencias de esto lo sufren los mismos usuarios (Propietarios).
- Se recomienda también dotar de señalización vertical, señales reglamentarias como ser; peso máximo total permitido, altura máxima permitida, ancho máximo permitido y además de otras señales reglamentarias, preventivas y de servicio. También colocar puntos de control de cargas, con medios tecnológicos modernos como por ejemplo balanzas portátiles. De lo contrario hacer cumplir la Ley de cargas junto con la Unidad Operativa de Tránsito y la Administradora Boliviana de Carreteras.