



2017

Curso: Análisis Operacional de Carreteras

Aplicación del Manual de Capacidad 2010



Ing. Gustavo Luis Caballero

Análisis Operacional de Carreteras

Ejercicio práctico de caminos de dos carriles:

1.- Introducción

El análisis del NIVEL DE SERVICIO (NS) se calcula sobre la base metodológica del Highway Capacity Manual 2010 (Manual de Capacidad 2010).

El NS nos brinda una medida de la calidad del flujo. Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo de tránsito y su percepción por los conductores y pasajeros, vinculadas con la velocidad, el tiempo de viaje, la libertad de maniobra, las interrupciones y el confort.

2.- Datos del tramo en estudio

- Ubicación:

Provincia: Misiones.

Ruta Nacional Nº14

Inicio: Campo Viera (Km 897) - Cruce Ruta Provincial Nº6

Final: Campo Grande (Km 914) - Cruce Ruta Provincial Nº8

- Longitud: 17Km

- Tránsito: (Fuente: Dirección Nacional de Vialidad - Censo de Cobertura - Año: 2015):

Tránsito medio diario anual (T.M.D.A.): 5550 vehículos/día

Autos/ Camionetas: **78,7%**

Bus/Camión sin acoplado: $(2,5+11,3)\%= 13,8\%$

Semirremolque/Camión con acoplado: $(2 +5,5)\%= 7,5\%$

Velocidad de Flujo Libre: **79,3km/h**

Los valores horarios se obtienen a partir de la relación de las variables diarias entre el puesto de censos de cobertura y el correspondiente a censo permanente ubicado en tramo: INT.R.P.4/L.N.ALEM (SAL.) - OBERA (ENT.)

Factor de hora pico: **0,90**

Distribución Direccional: **55/45**

Volumen Horario: **490**vehículos/hora

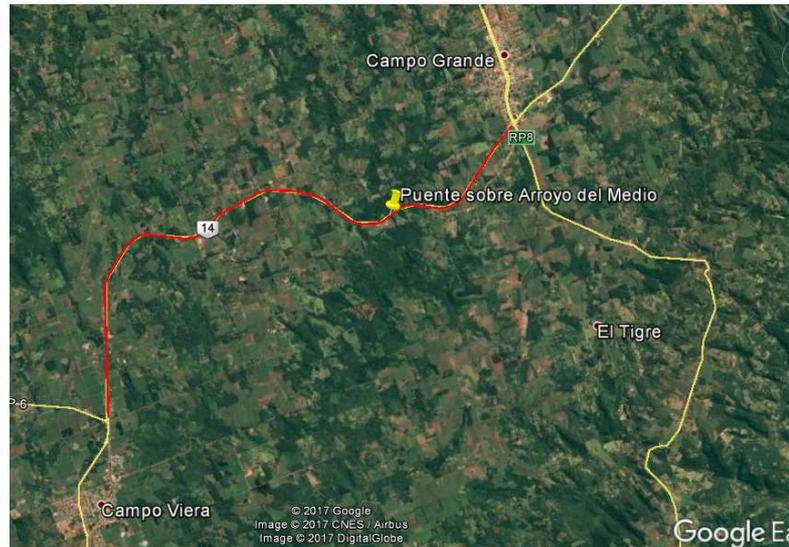
- Datos Geométricos:

Tipo de Terreno: Ondulado + Análisis de pendientes específicas.

Ancho de Carril: 3,60m

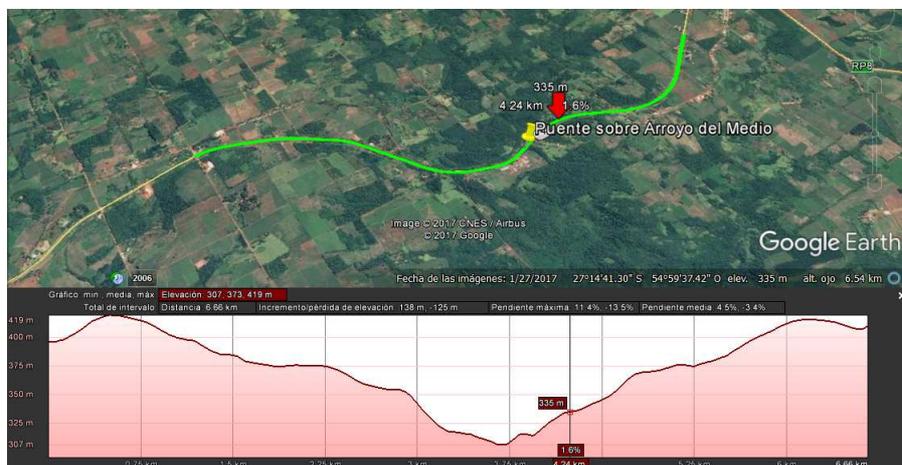
Ancho de Banquina: 3,00m

- Ubicación(Google Earth):



3.- Análisis de Pendientes Específicas:

En base al relevamiento del tramo en estudio se identificaron un total de 24 pendientes, de las cuales 7 pendientes poseen características como para ser analizadas según el manual de capacidad, de este relevamiento se observa un sector crítico en zona del Arroyo del Medio, con pendientes elevadas.



Pendientes específicas Ascendentes:

Se analizarán las pendientes ascendentes iguales o mayores al 3% y una longitud igual o superior a los 400m.

Pendientes específicas Descendentes:

Se analizarán las pendientes descendentes iguales o mayores al 3% y una longitud igual o superior a los 1000m.

Tabla resumen de pendientes relevadas:

		TIPO	LONGITUD	PENDIENTE	ALTURA	
1	1	Ascendente	500	2,5%	12,5	NO ANALIZAR
	2	Descendente	980	-3,0%	-29,4	NO ANALIZAR
	3	Ascendente	800	4,5%	36	ANALIZAR
	4	Descendente	900	-3,0%	-27	NO ANALIZAR
	5	Descendente	560	-5,2%	-29,12	NO ANALIZAR
	6	Descendente	250	-6,5%	-16,25	NO ANALIZAR
2	7	Ascendente	700	5,7%	39,9	COMPUESTA
	8	Ascendente	800	2,3%	18,4	
	7-8	Ascendente	1500	3,9%	58,3	ANALIZAR
3	9	Ascendente	460	2,3%	10,58	NO ANALIZAR
	10	Ascendente	250	3,3%	8,25	NO ANALIZAR
	11	Ascendente	580	4,4%	25,52	ANALIZAR
4	12	Descendente	1000	-4,0%	-40	ANALIZAR
5	13	Descendente	620	-4,4%	-27,28	COMPUESTA
	14	Descendente	660	-6,8%	-44,88	
	13-14	Descendente	1280	-5,6%	-72,16	ANALIZAR
	15	Ascendente	100	6,8%	6,8	NO ANALIZAR
	16	Descendente	150	-1,5%	-2,25	NO ANALIZAR
6	17	Ascendente	160	6,3%	10,08	COMPUESTA
	18	Ascendente	650	5,5%	35,75	
	19	Ascendente	1300	4,0%	52	
	17-18-19	Ascendente	2110	4,6%	97,83	ANALIZAR
7	20	Descendente	380	-2,3%	-8,74	NO ANALIZAR
	21	Ascendente	260	4,0%	10,4	NO ANALIZAR
	22	Descendente	200	-2,5%	-5	NO ANALIZAR
	23	Descendente	200	-3,3%	-6,6	NO ANALIZAR
	24	Ascendente	600	3,7%	22,2	ANALIZAR

3.1.- Determinación del Nivel de Servicio Pendiente N°1

a). DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD PROMEDIO DE VIAJE (V_{pmd})

Este análisis se aplica únicamente a las Clases I y III, dado que en Clase II no se aplica la v_{pv}

$$V_{pmd} = v_{fl} - 0,0125 \times (V_{d;vpv} + V_{o;vpv}) - f_{ss;vpv}$$

v_{fl}: velocidad en flujo libre

V_{d;vpv}: volumen para el período de 15 minutos pico para la determinación de la velocidad promedio de viaje en la dirección analizada.

V_{o;vpv}: volumen para el período de 15 minutos pico para la determinación de la velocidad promedio de viaje en la dirección opuesta.

f_{ss;vpv}: ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso para la determinación de la velocidad promedio de viaje, e la dirección analizada (**tabla N°10**)

V_{i;vpv}: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (**aut./hora**)

$$V_{i,vpv} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,vpv} \times f_{vp,vpv}}$$

V_{i,vpv}: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico

i: "d" (dirección en estudio) u "o" (dirección opuesta)

V_i: volumen horario en la dirección i (número de vehículos que pasan por un punto en una hora)

FHP: factor de hora pico

f_{p,vpv}: factor de ajuste por pendiente (**Tablas 2 o 3**)

f_{vp,vpv}: factor de ajuste por vehículos pesados de ecuación (2) o (3)

DIRECCIÓN EN ESTUDIO	
Pendiente específica ascendente.	
Longitud: 800 m	Pendiente: 4,50%
Distribución direccional: 55 / 45	
V_i/FHP = 490/0,90 = 544,4 →	545 veh/hora
V_{d;vpv}: 55 x 545 veh/hora = 300 veh/hora	

DIRECCIÓN OPUESTA	
Pendiente específica descendente.	
Long. 800 m	Pend.: -4,50%
V_{d;vpv}: 45 x 545 = 245 veh/hora	

• **f_{p,vpv}:** factor de ajuste por pendiente.

f_{p,vpv} = 0,74 (De tabla N°3)

(Tabla N°3: f_{p,vpv} para pendientes específicas ascendentes)

f_{p,vpv} = 1,00 (De tabla N°2)

(Tabla N°2: f_{p,vpv} para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

• **f_{vp,vpv}:** factor de ajuste por vehículos pesados

Ecuación 2
$$f_{vp,vpv} = \frac{1}{[1 + P_c \cdot (E_c - 1) + P_r \cdot (E_r - 1)]}$$

Donde:

- f_{vp,vpv}** = factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados en la corriente de tránsito para la estimación de v_{pv} .
- E_c** = automóviles equivalentes para camiones (Tablas 4 y 5).
- E_r** = automóviles equivalentes para recreacionales (Tablas 4 y 6).
- P_c, P_r** = proporción de camiones y recreacionales respectivamente, en la corriente de tránsito (expresado como decimal).

Proporción de camiones en la corriente de tránsito:

P_c = 0,213

Automóviles equivalentes para camiones:

E_c = 6 (De tabla N°5)

(Tabla N°5: E_c para pendientes específicas ascendentes)

f_{vp,vpv} = 0,484

E_c = 1,455 (De tabla N°4)

(Tabla N°4: E_c para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

f_{vp,vpv} = 0,912

DIRECCIÓN EN ESTUDIO**DIRECCIÓN OPUESTA***Pendiente específica ascendente.*Longitud: **800 m** Pendiente: **4,50%***Pendiente específica descendente.*Long. **800 m** Pend.: **-4,50%****Vi;vpv:** volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (aut./hora)

$$V_{i,vpv} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,vpv} \times f_{vp,vpv}}$$

Vd;vpv= 837 autos/hora**Vo;vpv= 269 autos/hora**• **fss;vpv:** factor de ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso.**Vo;vpv= 269 autos/hora****Vfl= 79,3 km/hora****Zonas sin posibilidad de sobrepaso= 73%****fss;vpv= 5,200 km/hora (De tabla N°10)**• **Velocidad promedio de viaje en la dirección estudiada en Km/h. (Vpmd)**

$$V_{pmd} = V_{fl} - 0,0125 \times (V_{d,vpv} + V_{o,vpv}) - f_{ss,vpv}$$

$$V_{pmd} = 79,3 - 0,0125 \times (837 + 269) - 5,200 = 60,275 \text{ km/hora}$$

$$V_{pmd} = 61 \text{ km/hora}$$

3.1.- Determinación del Nivel de Servicio Pendiente N°1

b). TIEMPO DE VIAJE SIN POSIBILIDAD DE SOBREPASO (TSS)

Este cálculo se aplica solamente a caminos de **Clase I y II**, dado que el porcentaje de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso no se utiliza para la estimación del nivel de servicio en la Clase III.

$$P_{tssd} = PB_{tssd} + f_{ss;d} \times [V_{d;tss} / (V_{d;tss} + V_{o;tss})]$$

P_{tssd}: Porcentaje de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso, en la dirección estudiada.

f_{ss;d}: ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso en el sentido estudiado (tabla N°15)

V_{d;tss}: volumen equivalente para el período de 15 minutos pico en la dirección estudiada para el cálculo del tss (automóviles por hora).

V_{o;tss}: volumen equivalente para el período de 15 minutos pico en la dirección opuesta a la estudiada para el cálculo del tss (automóviles por hora).

$$V_{i,tss} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,tss} \times f_{vp,tss}}$$

DIRECCIÓN EN ESTUDIO	DIRECCIÓN OPUESTA
Pendiente específica ascendente.	Pendiente específica descendente.
Longitud: 800 m Pendiente: 4,50%	Long. 800 m Pend.: -4,50%
Distribución direccional: 55 / 45	
V_i/FHP= 490/0,90= 544,44 → 545,00 veh/hora	
V_{d;tss}: 55 x 545 veh/hora = 300 veh/hora	V_{d;tss}: 45 x 545 = 245 veh/hora

• **f_{p,tss}**: factor de ajuste por pendiente.

f_{p,tss} = 1,00 (De tabla N°12)

(Tabla N°12: f_{p,tss} para pendientes específicas ascendentes)

f_{p,tss} = 1,00 (De tabla N°11)

(Tabla N°11: f_{p,tss} para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

• **f_{vp,vpv}**: factor de ajuste por vehículos pesados

$$f_{vp,tss} = \frac{1}{[1 + P_c \cdot (E_c - 1) + P_r \cdot (E_r - 1)]}$$

Donde:

f_{vp,tss} = factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados en la corriente de tránsito para la estimación del tss.

E_c = automóviles equivalentes para camiones (Tablas 13 y 14).

E_r = automóviles equivalentes para recreacionales (Tablas 13 y 14).

Proporción de camiones en la corriente de tránsito:

P_c = 0,213

Automóviles equivalentes para camiones:

E_c = 1,00 (De tabla N°14)

(Tabla N°14: E_c para pendientes específicas ascendentes)

f_{vp,tss} = 1,000

E_c = 1,1 (De tabla N°13)

(Tabla N°13: E_c para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

f_{vp,tss} = 0,979

V_{i;tss}: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (aut./hora)

$$V_{i,tss} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,tss} \times f_{vp,tss}}$$

V_{d;tss} = 300 autos/hora

V_{o;tss} = 251 autos/hora

PBtssd: Porcentaje base de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso en la dirección estudiada.

$$PB_{tss;d} = 100 \left(1 - e^{aV_{d;tss}^b} \right)$$

Los valores de los coeficientes a y b se obtienen de la **Tabla 16**.

Los volúmenes de las Tablas 15 y 16 son automóviles equivalentes para el pico de quince minutos. En la Tabla 15, si bien el análisis corresponde a una dirección, el volumen con que se entra corresponde a ambos sentidos de circulación.

V_{o;tss}= 251 autos/hora
a = -0,0016
b = 0,9602 (De tabla N°16)

PBtssd= 31,79 %

• **f_{ss;d}**: factor de ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso.

V_{total}= 551 autos/hora (En ambas direcciones)

Zonas sin posibilidad de sobrepaso= 73%

Distribución direccional: 55 / 45

f_{ss;d}= 54,67 % (De tabla N°15)

$$P_{tssd} = PB_{tssd} + f_{ss;d} \times [V_{d;tss} / (V_{d;tss} + V_{o;tss})]$$

$$Ptssd = 31,79 \% + 54,67 \times [300 / (300 + 251)] = 61,552 \%$$

Ptssd= 61,55 %

• **Nivel Servicio:**

% de tiempo sin posibilidad de sobrepaso

Velocidad promedio de viaje:

Ptssd = 61,55 %

V_{pm} = 61 km/hora

De tabla N°1 se obtiene:

Nivel de Servicio: **D**

TABLA 1: CLASE I

Nivel de servicio	% de tiempo sin sobrepaso	Velocidad promedio de viaje (km/h)
A	<= 35	> 90
B	> 35 - 50	> 80 - 90
C	> 50 - 65	> 70 - 80
D	> 65 - 80	> 60 - 70
E	> 80	<= 60

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

3.2.- Determinación del Nivel de Servicio Pendiente N°2

a). DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD PROMEDIO DE VIAJE (V_{pmd})

Este análisis se aplica únicamente a las Clases I y III, dado que en Clase II no se aplica la v_{pv}

$$V_{pmd} = V_{fl} - 0,0125 \times (V_{d;vpv} + V_{o;vpv}) - f_{ss;vpv}$$

V_{fl}: velocidad en flujo libre

V_{d;vpv}: volumen para el período de 15 minutos pico para la determinación de la velocidad promedio de viaje en la dirección analizada.

V_{o;vpv}: volumen para el período de 15 minutos pico para la determinación de la velocidad promedio de viaje en la dirección opuesta.

f_{ss;vpv}: ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso para la determinación de la velocidad promedio de viaje, en la dirección analizada (**tabla N°10**)

V_{i;vpv}: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (**aut./hora**)

$$V_{i,vpv} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,vpv} \times f_{vp,vpv}}$$

V_{i,vpv}: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico

i: "d" (dirección en estudio) u "o" (dirección opuesta)

V_i: volumen horario en la dirección i (número de vehículos que pasan por un punto en una hora)

FHP: factor de hora pico

f_{p,vpv}: factor de ajuste por pendiente (**Tablas 2 o 3**)

f_{vp,vpv}: factor de ajuste por vehículos pesados de ecuación (2) o (3)

DIRECCIÓN EN ESTUDIO

Pendiente específica ascendente.

Longitud: **1500 m** Pendiente: **3,90%**

Distribución direccional: **55 / 45**

V_i/FHP = 490/0,90 = 544,4 → **545 veh/hora**

V_{d;vpv}: 55 x 545 veh/hora = 300 veh/hora

• **f_{p,vpv}: factor de ajuste por pendiente.**

f_{p,vpv} = 0,78 (De tabla N°3)

(Tabla N°3: f_{p,vpv} para pendientes específicas ascendentes)

• **f_{vp,vpv}: factor de ajuste por vehículos pesados**

Ecuación 2
$$f_{vp,vpv} = \frac{1}{[1 + P_c \cdot (E_c - 1) + P_r \cdot (E_r - 1)]}$$

Donde:

f_{vp,vpv} = factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados en la corriente de tránsito para la estimación de v_{pv} .

E_c = automóviles equivalentes para camiones (Tablas 4 y 5).

E_r = automóviles equivalentes para recreacionales (Tablas 4 y 6).

P_c, P_r = proporción de camiones y recreacionales respectivamente, en la corriente de tránsito (expresado como decimal).

Proporción de camiones en la corriente de tránsito:

P_c = 0,213

P_{cm} = 0,304

Automóviles equivalentes para camiones:

E_c = 7,18 (De tabla N°5)

(Tabla N°5: E_c para pendientes específicas ascendentes)

E_c = 1,455 (De tabla N°4)

(Tabla N°4: E_c para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

E_c = 3,875 (De tabla N°7)

(Tabla N°7: E_c para camiones en marcha lenta)

f_{vp,vpv} = 0,432

f_{vp,vpv} = 0,798

DIRECCIÓN OPUESTA

Pendiente específica descendente.

Long. **1500 m** Pend.: **-3,90%**

V_{d;vpv}: 45 x 545 = 245 veh/hora

f_{p,vpv} = 1,00 (De tabla N°2)

(Tabla N°2: f_{p,vpv} para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

DIRECCIÓN EN ESTUDIO**DIRECCIÓN OPUESTA***Pendiente específica ascendente.*Longitud: **1500 m** Pendiente: **3,90%***Pendiente específica descendente.*Long. **1500 m** Pend.: **-3,90%****V_{i;vpv}**: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (aut./hora)

$$V_{i,vpv} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,vpv} \times f_{vp,vpv}}$$

V_{d;vpv}= **891** autos/hora**V_{o;vpv}**= **307** autos/hora• **f_{ss;vpv}**: factor de ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso.**V_{o;vpv}**= **307** autos/hora**V_{fl}**= **79,3** km/hora**Zonas sin posibilidad de sobrepaso**= **73%****f_{ss;vpv}**= **4,830** km/hora (De tabla N°10)• *Velocidad promedio de viaje en la dirección estudiada en Km/h. (V_{pmd})*

$$V_{pmd} = v_{fl} - 0,0125 \times (V_{d;vpv} + V_{o;vpv}) - f_{ss;vpv}$$

$$V_{pmd} = 79,3 - 0,0125 \times (891 + 307) - 4,830 = 59,495 \text{ km/hora}$$

$$V_{pmd} = 60 \text{ km/hora}$$

3.2.- Determinación del Nivel de Servicio Pendiente N°2

b). TIEMPO DE VIAJE SIN POSIBILIDAD DE SOBREPASO (TSS)

Este cálculo se aplica solamente a caminos de **Clase I y II**, dado que el porcentaje de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso no se utiliza para la estimación del nivel de servicio en la Clase III.

$$P_{tssd} = PB_{tssd} + f_{ss;d} \times [V_{d;tss} / (V_{d;tss} + V_{o;tss})]$$

P_{tssd}: Porcentaje de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso, en la dirección estudiada.

f_{ss;d}: ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso en el sentido estudiado (**tabla N°15**)

V_{d;tss}: volumen equivalente para el período de 15 minutos pico en la dirección estudiada para el cálculo del tss (automóviles por hora).

V_{o;tss}: volumen equivalente para el período de 15 minutos pico en la dirección opuesta a la estudiada para el cálculo del tss (automóviles por hora).

$$V_{i,tss} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,tss} \times f_{vp,tss}}$$

DIRECCIÓN EN ESTUDIO

Pendiente específica ascendente.

Longitud: **1500 m** Pendiente: **3,90%**
 Distribución direccional: **55 / 45**
V_i/FHP= 490/0,90= 544,44 → **545,00 veh/hora**
V_{d;tss}: 55 x 545 veh/hora = 299,8 veh/hora

• **f_{p,tss}**: factor de ajuste por pendiente.

f_{p,tss} = 0,990 (De tabla N°12)

(Tabla N°12: f_{p,tss} para pendientes específicas ascendentes)

• **f_{vp,vpv}**: factor de ajuste por vehículos pesados

$$f_{vp,tss} = \frac{1}{[1 + P_c \cdot (E_c - 1) + P_r \cdot (E_r - 1)]}$$

Donde:

f_{vp,tss} = factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados en la corriente de tránsito para la estimación del tss.

E_c = automóviles equivalentes para camiones (Tablas 13 y 14).

E_r = automóviles equivalentes para recreacionales (Tablas 13 y 14).

• **f_{vp,tss}**: factor de ajuste por vehículos pesados

Proporción de camiones en la corriente de tránsito

P_c = 0,213

Automóviles equivalentes para camiones

E_c = 1,00 (De tabla N°14)

(Tabla N°14: E_c para pendientes específicas ascendentes)

f_{vp,tss} = 1,000

V_{i;tss}: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (aut./hora)

$$V_{i,tss} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,tss} \times f_{vp,tss}}$$

V_{d;tss} = 303 autos/hora

DIRECCIÓN OPUESTA

Pendiente específica descendente.

Long. **1500 m** Pend.: **-3,90%**
V_{d;tss}: 45 x 545 = 245 veh/hora

f_{p,tss} = 1,00 (De tabla N°11)

(Tabla N°11: f_{p,tss} para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

E_c = 1,1 (De tabla N°13)

(Tabla N°13: E_c para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

f_{vp,tss} = 0,979

V_{o;tss} = 251 autos/hora

PBtssd: Porcentaje base de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso en la dirección estudiada.

$$PB_{tssd} = 100(1 - e^{aV_{d;tss}^b})$$

Los valores de los coeficientes a y b se obtienen de la **Tabla 16**.

Los volúmenes de las Tablas 15 y 16 son automóviles equivalentes para el pico de quince minutos. En la Tabla 15, si bien el análisis corresponde a una dirección, el volumen con que se entra corresponde a ambos sentidos de circulación.

V_{o;tss}= 251 autos/hora
a = -0,0016 (De tabla N°16)
b = 0,9605

PBtssd= 32,08 %

• **f_{ss;d}**: factor de ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso.

V_{total}= 554 autos/hora (En ambas direcciones)

Zonas sin posibilidad de sobrepaso= 73%

Distribución direccional: 55 / 45

f_{ss;d}= 54,59 % (De tabla N°15)

$$P_{tssd} = PB_{tssd} + f_{ss;d} \times [V_{d;tss} / (V_{d;tss} + V_{o;tss})]$$

Ptssd= 32,08 % + 54,59 x [303 / (303 + 251)] = 61,938 %

Ptssd= 61,94 %

Nivel Servicio :

% de tiempo sin posibilidad de sobrepaso

Velocidad promedio de viaje:

Ptssd = 61,94 %

V_{pm} = 60 km/hora

De **tabla N°1** se obtiene:

Nivel de Servicio: **D**

TABLA 1: CLASE I

Nivel de servicio	% de tiempo sin sobrepaso	Velocidad promedio de viaje (km/h)
A	<= 35	> 90
B	> 35 - 50	> 80 - 90
C	> 50 - 65	> 70 - 80
D	> 65 - 80	> 60 - 70
E	> 80	<= 60

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

3.3.- Determinación del Nivel de Servicio Pendiente N°3

a). DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD PROMEDIO DE VIAJE (V_{pmd})

Este análisis se aplica únicamente a las **Clases I y III**, dado que en Clase II no se aplica la vpv .

$$V_{pmd} = v_{fl} - 0,0125 \times (V_{d;vpv} + V_{o;vpv}) - f_{ss;vpv}$$

v_{fl}: velocidad en flujo libre

V_{d;vpv}: volumen para el período de 15 minutos pico para la determinación de la velocidad promedio de viaje en la dirección analizada.

V_{o;vpv}: volumen para el período de 15 minutos pico para la determinación de la velocidad promedio de viaje en la dirección opuesta.

f_{ss;vpv}: ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso para la determinación de la velocidad promedio de viaje, en la dirección analizada (**tabla N°10**)

V_{i;vpv}: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (**aut./hora**)

$$V_{i,vpv} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,vpv} \times f_{vp,vpv}}$$

V_{i,vpv}: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico

i: "d" (dirección en estudio) u "o" (dirección opuesta)

V_i: volumen horario en la dirección i (número de vehículos que pasan por un punto en una hora)

FHP: factor de hora pico

f_{p,vpv}: factor de **ajuste por pendiente** (**Tablas 2 o 3**)

f_{vp,vpv}: factor de **ajuste por vehículos pesados** de ecuación (2) o (3)

DIRECCIÓN EN ESTUDIO

Pendiente específica ascendente.

Longitud: **580 m** Pendiente: **4,40%**

Distribución direccional: **55 / 45**

V_i/FHP= 490/0,90= 544,4 → **545 veh/hora**

V_{d;vpv}: 55 x 545 veh/hora = 300 veh/hora

• **f_{p,vpv}:** factor de ajuste por pendiente.

f_{p,vpv} = 0,85 (De tabla N°3)

(Tabla N°3: f_{p,vpv} para pendientes específicas ascendentes)

• **f_{vp,vpv}:** factor de ajuste por vehículos pesados

Ecuación 2
$$f_{vp,vpv} = \frac{1}{[1 + P_c \cdot (E_c - 1) + P_r \cdot (E_r - 1)]}$$

Donde:

f_{vp,vpv} = factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados en la corriente de tránsito para la estimación de vpv .

E_c = automóviles equivalentes para camiones (Tablas 4 y 5).

E_r = automóviles equivalentes para recreacionales (Tablas 4 y 6).

P_c, P_r = proporción de camiones y recreacionales respectivamente, en la corriente de tránsito (expresado como decimal).

• **f_{vp,vpv}:** factor de ajuste por vehículos pesados

Proporción de camiones en la corriente de tránsito:

P_c = 0,213

Automóviles equivalentes para camiones:

E_c = 4,06 (De tabla N°5)

(Tabla N°5: E_c para pendientes específicas ascendentes)

f_{vp,vpv} = 0,605

DIRECCIÓN OPUESTA

Pendiente específica descendente.

Long. **580 m** Pend.: **-4,40%**

V_{d;vpv}: 45 x 545 = 245 veh/hora

f_{p,vpv} = 1,00 (De tabla N°2)

(Tabla N°2: f_{p,vpv} para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

E_c = 1,455 (De tabla N°4)

(Tabla N°4: E_c para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

f_{vp,vpv} = 0,912

DIRECCIÓN EN ESTUDIO**DIRECCIÓN OPUESTA***Pendiente específica ascendente.*Longitud: **580 m** Pendiente: **4,40%***Pendiente específica descendente.*Long. **580 m** Pend.: **-4,40%****V_{i;vpv}**: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (aut./hora)

$$V_{i,vpv} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,vpv} \times f_{vp,vpv}}$$

V_{d;vpv}= **582** autos/hora**V_{o;vpv}**= **269** autos/hora• **f_{ss;vpv}**: factor de ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso.**V_{o;vpv}**= **269** autos/hora**V_{fl}**= **79,3** km/hora**Zonas sin posibilidad de sobrepaso**= **73%****f_{ss;vpv}**= **5,200** km/hora (De tabla N°10)• *Velocidad promedio de viaje en la dirección estudiada en Km/h. (V_{pmd})*

$$V_{pmd} = V_{fl} - 0,0125 \times (V_{d;vpv} + V_{o;vpv}) - f_{ss;vpv}$$

$$V_{pmd} = 79,3 - 0,0125 \times (582 + 269) - 5,200 = 63,4625 \text{ km/hora}$$

$$V_{pmd} = 64 \text{ km/hora}$$

3.3.- Determinación del Nivel de Servicio Pendiente N°3

b). TIEMPO DE VIAJE SIN POSIBILIDAD DE SOBREPASO (TSS)

Este cálculo se aplica solamente a caminos de **Clase I y II**, dado que el porcentaje de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso no se utiliza para la estimación del nivel de servicio en la Clase III.

$$P_{tssd} = PB_{tssd} + f_{ss;d} \times [V_{d;tss} / (V_{d;tss} + V_{o;tss})]$$

P_{tssd}: Porcentaje de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso, en la dirección estudiada.

f_{ss;d}: ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso en el sentido estudiado (tabla N°15)

V_{d;tss}: volumen equivalente para el período de 15 minutos pico en la dirección estudiada para el cálculo del tss (automóviles por hora).

V_{o;tss}: volumen equivalente para el período de 15 minutos pico en la dirección opuesta a la estudiada para el cálculo del tss (automóviles por hora).

$$V_{i,tss} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,tss} \times f_{vp,tss}}$$

DIRECCIÓN EN ESTUDIO

Pendiente específica ascendente.

Longitud: **580 m** Pendiente: **4,40%**

Distribución direccional: **55 / 45**

V_i/FHP= 490/0,90= 544,44 → 545,00 veh/hora

V_{d;tss}: 55 x 545 veh/hora = 299,8 veh/hora

• **f_{p,tss}**: factor de ajuste por pendiente.

f_{p,tss} = 0,985 (De tabla N°12)

(Tabla N°12: f_{p,tss} para pendientes específicas ascendentes)

• **f_{vp,vpv}**: factor de ajuste por vehículos pesados

$$f_{vp,tss} = \frac{1}{[1 + P_c \cdot (E_c - 1) + P_r \cdot (E_r - 1)]}$$

Donde:

f_{vp,tss} = factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados en la corriente de tránsito para la estimación del tss.

E_c = automóviles equivalentes para camiones (Tablas 13 y 14).

E_r = automóviles equivalentes para recreacionales (Tablas 13 y 14).

• **f_{vp,tss}**: factor de ajuste por vehículos pesados

Proporción de camiones en la corriente de tránsito:

P_c = 0,213

Automóviles equivalentes para camiones:

E_c = 1,00 (De tabla N°14)

(Tabla N°14: E_c para pendientes específicas ascendentes)

f_{vp,tss} = 1,000

V_{i;tss}: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (aut./hora)

$$V_{i,tss} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,tss} \times f_{vp,tss}}$$

V_{d;tss} = 305 autos/hora

DIRECCIÓN OPUESTA

Pendiente específica descendente.

Long. **580 m** Pend.: **-4,40%**

V_{d;tss}: 45 x 545 = 245 veh/hora

f_{p,tss} = 1,00 (De tabla N°11)

(Tabla N°11: f_{p,tss} para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

E_c = 1,1 (De tabla N°13)

(Tabla N°13: E_c para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

f_{vp,tss} = 0,979

V_{o;tss} = 251 autos/hora

PBtssd: Porcentaje base de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso en la dirección estudiada.

$$PB_{tssd} = 100(1 - e^{aV_{d,tss}^b})$$

Los valores de los coeficientes a y b se obtienen de la **Tabla 16**.

Los volúmenes de las Tablas 15 y 16 son automóviles equivalentes para el pico de quince minutos. En la Tabla 15, si bien el análisis corresponde a una dirección, el volumen con que se entra corresponde a ambos sentidos de circulación.

V_{o;tss}= 251 autos/hora
a = -0,0016
b = 0,9602 (De tabla N°16)

PBtssd= 32,20 %

• **f_{ss;d}**: factor de ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso.

Vtotal= 556 autos/hora (En ambas direcciones)

Zonas sin posibilidad de sobrepaso= 73%

Distribución direccional: 55 / 45

f_{ss;d}= 54,53 % (De tabla N°15)

$$P_{tssd} = PB_{tssd} + f_{ss;d} \times [V_{d;tss} / (V_{d;tss} + V_{o;tss})]$$

Ptssd= 32,20 % + 54,53 x [305 / (305 + 251)] = 62,1152 %

Ptssd= 62,12 %

Nivel Servicio :

% de tiempo sin posibilidad de sobrepaso

Velocidad promedio de viaje:

Ptssd = 62,12 %

Vpmd = 64 km/hora

De tabla N°1 se obtiene:

Nivel de Servicio: **D**

TABLA 1: CLASE I

Nivel de servicio	% de tiempo sin sobrepaso	Velocidad promedio de viaje (km/h)
A	<= 35	> 90
B	> 35 - 50	> 80 - 90
C	> 50 - 65	> 70 - 80
D	> 65 - 80	> 60 - 70
E	> 80	<= 60

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

3.4.- Determinación del Nivel de Servicio Pendiente N°4

a). DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD PROMEDIO DE VIAJE (V_{pmd})

Este análisis se aplica únicamente a las **Clases I y III**, dado que en Clase II no se aplica la vpv .

$$V_{pmd} = v_{fl} - 0,0125 \times (V_{d;vpv} + V_{o;vpv}) - f_{ss;vpv}$$

v_{fl}: velocidad en flujo libre

V_{d;vpv}: volumen para el período de 15 minutos pico para la determinación de la velocidad promedio de viaje en la dirección analizada.

V_{o;vpv}: volumen para el período de 15 minutos pico para la determinación de la velocidad promedio de viaje en la dirección opuesta.

f_{ss;vpv}: ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso para la determinación de la velocidad promedio de viaje, en la dirección analizada (**tabla N°10**)

V_{i;vpv}: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (**aut./hora**)

$$V_{i,vpv} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,vpv} \times f_{vp,vpv}}$$

V_{i,vpv}: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico

i: "d" (dirección en estudio) u "o" (dirección opuesta)

V_i: volumen horario en la dirección i (número de vehículos que pasan por un punto en una hora)

FHP: factor de hora pico

f_{p,vpv}: factor de ajuste por pendiente (**Tablas 2 o 3**)

f_{vp,vpv}: factor de ajuste por vehículos pesados de ecuación (2) o (3)

DIRECCIÓN EN ESTUDIO

Pendiente específica descendente - marcha lenta

Longitud: **1000 m** Pendiente: **-4,00%**

Distribución direccional: **55 / 45**

V_i/FHP = 490/0,90 = 544,4 → 545 veh/hora

V_{d;vpv} = 55 x 545 veh/hora = 300 veh/hora

• **f_{p,vpv}**: factor de ajuste por pendiente.

f_{p,vpv} = 1,00 (De tabla N°2)

(Tabla N°2: f_{p,vpv} para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

• **f_{vp,vpv}**: factor de ajuste por vehículos pesados

Ecuación 3

$$f_{vp,vpv} = \frac{1}{[1 + P_{cml} \times P_c \times (E_{cml} - 1) + (1 - P_{cml}) \times P_c \times (E_c - 1) + P_r \times (E_r - 1)]} \quad (3)$$

Donde:

f_{vp,vpv} = factor de ajuste por la presencia de camiones en pendientes descendentes a marcha lenta.

E_c, E_r = automóviles equivalentes para camiones y para recreacionales respectivamente, que se obtienen de la Tabla 4 en la categoría terreno llano.

P_c, P_r = proporción de camiones y casillas rodantes respectivamente, en la corriente de tránsito de la pendiente descendente (expresado como decimal).

E_{cml} = automóviles equivalentes para camiones que circulan en marcha lenta de la Tabla 7.

P_{cml} = proporción de camiones que circula en marcha lenta, respecto al total de camiones en la corriente de tránsito de la pendiente descendente (expresado como decimal).

Proporción de camiones en la corriente de tránsito:

P_c = 0,213 **P_{cml} = 0,352**

Automóviles equivalentes para camiones:

E_c = 3,6 (De tabla N°7)

(Tabla N°7: E_c para camiones en marcha lenta)

f_{vp,vpv} = 0,800

E_c = 1,4 (De tabla N°4)

(Tabla N°4: E_c para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

f_{vp,vpv} = 0,492

DIRECCIÓN OPUESTA

Pendiente específica ascendente.

Long. **1000 m** Pend.: **4,00%**

V_{d;vpv} = 45 x 545 = 245 veh/hora

f_{p,vpv} = 0,803 (De tabla N°3)

(Tabla N°3: f_{p,vpv} para pendientes específicas ascendentes)

E_c = 5,855 (De tabla N°5)

(Tabla N°5: E_c para pendientes específicas ascendentes)

f_{vp,vpv} = 0,492

DIRECCIÓN EN ESTUDIO**DIRECCIÓN OPUESTA***Pendiente específica ascendente.**Pendiente específica descendente.*Longitud: **1000 m** Pendiente: **-4,00%**Long. **1000 m** Pend.: **4,00%****V_{i;vpv}**: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (aut./hora)

$$V_{i,vpv} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,vpv} \times f_{vp,vpv}}$$

V_{d;vpv}= **375** autos/hora**V_{o;vpv}**= **621** autos/hora• **f_{ss;vpv}**: factor de ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso.**V_{o;vpv}**= **621** autos/hora**v_{fl}**= **79,3** km/hora**Zonas sin posibilidad de sobrepaso**= **73%****f_{ss;vpv}**= **3,450** km/hora (De tabla N°10)*Velocidad promedio de viaje en la dirección estudiada en Km/h. (**V_{pm}**)*

$$V_{pm} = v_{fl} - 0,0125 \times (V_{d;vpv} + V_{o;vpv}) - f_{ss;vpv}$$

$$V_{pm} = 79,3 - 0,0125 \times (375 + 621) - 3,450 = 63,4 \text{ km/hora}$$

$$V_{pm} = 64 \text{ km/hora}$$

3.4.- Determinación del Nivel de Servicio Pendiente N°4

b). TIEMPO DE VIAJE SIN POSIBILIDAD DE SOBREPASO (TSS)

Este cálculo se aplica solamente a caminos de **Clase I y II**, dado que el porcentaje de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso no se utiliza para la estimación del nivel de servicio en la Clase III.

$$P_{tssd} = PB_{tssd} + f_{ss;d} \times [V_{d;tss} / (V_{d;tss} + V_{o;tss})]$$

P_{tssd}: Porcentaje de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso, en la dirección estudiada.

f_{ss;d}: ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso en el sentido estudiado (**tabla N°15**)

V_{d;tss}: volumen equivalente para el período de 15 minutos pico en la dirección estudiada para el cálculo del tss (automóviles por hora).

V_{o;tss}: volumen equivalente para el período de 15 minutos pico en la dirección opuesta a la estudiada para el cálculo del tss (automóviles por hora).

$$V_{i,tss} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,tss} \times f_{vp,tss}}$$

DIRECCIÓN EN ESTUDIO

Pendiente específica descendente.

Longitud: **1000 m** Pendiente: **-4,00%**

Distribución direccional: **55 / 45**

V_i/FHP= 490/0,90= 544,44 → 545,00 veh/hora

V_{d;tss}: 55 x 545 veh/hora = 299,8 veh/hora

• **f_{p,tss}**: factor de ajuste por pendiente.

f_{p,tss} = 1,00 (De tabla N°11)

(Tabla N°11: f_{p,tss} para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

• **f_{vp,vpv}**: factor de ajuste por vehículos pesados

$$f_{vp,tss} = \frac{1}{[1 + P_c \cdot (E_c - 1) + P_r \cdot (E_r - 1)]}$$

Donde:

f_{vp,tss} = factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados en la corriente de tránsito para la estimación del tss.

E_c = automóviles equivalentes para camiones (Tablas 13 y 14).

E_r = automóviles equivalentes para recreacionales (Tablas 13 y 14).

Proporción de camiones en la corriente de tránsito:

P_c = 0,213

Automóviles equivalentes para camiones:

E_c = 1,10 (De tabla N°13)

(Tabla N°13: E_c para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

f_{vp,tss} = 0,979

V_{i;tss}: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (aut./hora)

$$V_{i,tss} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,tss} \times f_{vp,tss}}$$

V_{d;tss} = 307 autos/hora

DIRECCIÓN OPUESTA

Pendiente específica ascendente.

Long. **1000 m** Pend.: **4,00%**

V_{d;tss}: 45 x 545 = 245 veh/hora

f_{p,tss} = 0,995 (De tabla N°12)

(Tabla N°12: f_{p,tss} para pendientes específicas ascendentes)

E_c = 1 (De tabla N°14)

(Tabla N°14: E_c para pendientes específicas ascendentes)

f_{vp,tss} = 1,000

V_{o;tss} = 247 autos/hora

PBtssd: Porcentaje base de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso en la dirección estudiada.

$$PB_{tssd} = 100 \left(1 - e^{aV_{d,tss}^b} \right)$$

Los valores de los coeficientes a y b se obtienen de la **Tabla 16**.

Los volúmenes de las Tablas 15 y 16 son automóviles equivalentes para el pico de quince minutos. En la Tabla 15, si bien el análisis corresponde a una dirección, el volumen con que se entra corresponde a ambos sentidos de circulación.

V_{o;tss}= 247 autos/hora

a = -0,0016
b = 0,9612 (De tabla N°16)

PBtssd= 32,52 %

• **f_{ss;d}**: factor de ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso.

V_{total}= 554 autos/hora (En ambas direcciones)

Zonas sin posibilidad de sobrepaso= 73%

Distribución direccional: 55 / 45

f_{ss;d}= 55,20 % (De tabla N°15)

$$P_{tssd} = PB_{tssd} + f_{ss;d} \times [V_{d;tss} / (V_{d;tss} + V_{o;tss})]$$

Ptssd= 32,52 % + 55,20 x [307 / (307 + 247)] = 63,1088 %

Ptssd= 63,11 %

Nivel Servicio :

% de tiempo sin posibilidad de sobrepaso

Velocidad promedio de viaje:

Ptssd = 63,11 %

V_{pm} = 64 km/hora

De **tabla N°1** se obtiene:

Nivel de Servicio: **D**

TABLA 1: CLASE I

Nivel de servicio	% de tiempo sin sobrepaso	Velocidad promedio de viaje (km/h)
A	<= 35	> 90
B	> 35 - 50	> 80 - 90
C	> 50 - 65	> 70 - 80
D	> 65 - 80	<= 60 - 70
E	> 80	<= 60

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

3.5.- Determinación del Nivel de Servicio Pendiente N°5

a). DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD PROMEDIO DE VIAJE (V_{pmd})

Este análisis se aplica únicamente a las Clases I y III, dado que en Clase II no se aplica la v_{pv}

$$V_{pmd} = v_{fl} - 0,0125 \times (V_{d;vpv} + V_{o;vpv}) - f_{ss;vpv}$$

v_{fl}: velocidad en flujo libre

V_{d;vpv}: volumen para el período de 15 minutos pico para la determinación de la velocidad promedio de viaje en la dirección analizada.

V_{o;vpv}: volumen para el período de 15 minutos pico para la determinación de la velocidad promedio de viaje en la dirección opuesta.

f_{ss;vpv}: ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso para la determinación de la velocidad promedio de viaje, en la dirección analizada (**tabla N°10**)

V_{i;vpv}: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (**aut./hora**)

$$V_{i;vpv} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p;vpv} \times f_{vp;vpv}}$$

V_{i;vpv}: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico

i: "d" (dirección en estudio) u "o" (dirección opuesta)

V_i: volumen horario en la dirección i (número de vehículos que pasan por un punto en una hora)

FHP: factor de hora pico

f_{p,vpv}: factor de ajuste por pendiente (**Tablas 2 o 3**)

f_{vp,vpv}: factor de ajuste por vehículos pesados de ecuación (2) o (3)

DIRECCIÓN EN ESTUDIO

Pendiente específica descendente - marcha lenta

Longitud: **1280 m** Pendiente: **-5,60%**

Distribución direccional: **55 / 45**

V_i/FHP= 490/0,90= 544,4 → 545 veh/hora

V_{d;vpv}: 55 x 545 veh/hora = 300 veh/hora

• **f_{p,vpv}:** factor de ajuste por pendiente.

f_{p,vpv} = 1,00 (De tabla N°2)

(Tabla N°2: f_{p,vpv} para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

• **f_{vp,vpv}:** factor de ajuste por vehículos pesados

Ecuación 3
$$f_{vp;vpv} = \frac{1}{[1 + P_{cml} \times P_c \times (E_{cml} - 1) + (1 - P_{cml}) \times P_c \times (E_c - 1) + P_r \times (E_r - 1)]} \quad (3)$$

Donde:

f_{vp,vpv} = factor de ajuste por la presencia de camiones en pendientes descendentes a marcha lenta.

E_c, E_r = automóviles equivalentes para camiones y para recreacionales respectivamente, que se obtienen de la Tabla 4 en la categoría terreno llano.

P_c, P_r = proporción de camiones y casillas rodantes respectivamente, en la corriente de tránsito de la pendiente descendente (expresado como decimal).

E_{cml} = automóviles equivalentes para camiones que circulan en marcha lenta de la Tabla 7.

P_{cml} = proporción de camiones que circula en marcha lenta, respecto al total de camiones en la corriente de tránsito de la pendiente descendente (expresado como decimal).

Proporción de camiones en la corriente de tránsito:

P_c= 0,213 P_{cml} = 0,352

Automóviles equivalentes para camiones:

E_c= 3,6 (De tabla N°7)

(Tabla N°7: E_c para camiones en marcha lenta)

f_{vp,vpv}= 0,800

E_c= 1,4 (De tabla N°4)

(Tabla N°4: E_c para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

f_{vp,vpv}= 0,360

DIRECCIÓN OPUESTA

Pendiente específica ascendente.

Long. **1280 m** Pend.: **5,60%**

V_{d;vpv}: 45 x 545 = 245 veh/hora

f_{p,vpv} = 0,599 (De tabla N°3)

(Tabla N°3: f_{p,vpv} para pendientes específicas ascendentes)

DIRECCIÓN EN ESTUDIO*Pendiente específica descendente - marcha lenta*Longitud: **1280 m** Pendiente: **-5,60%****V_{i;vpv}**: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (aut./hora)

$$V_{i;vpv} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p;vpv} \times f_{vp;vpv}}$$

V_{d;vpv}= **375** autos/hora**DIRECCIÓN OPUESTA***Pendiente específica ascendente.*Long. **1280 m** Pend.: **5,60%****V_{o;vpv}**= **1137** autos/hora

- **f_{ss;vpv}**: factor de ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso.

V_{o;vpv}= **1137** autos/hora**V_{fl}**= **79,3** km/hora**Zonas sin posibilidad de sobrepaso**= **73%****f_{ss;vpv}**= **1,160** km/hora (De tabla N°10)Velocidad promedio de viaje en la dirección estudiada en Km/h. (**V_{pmd}**)

$$V_{pmd} = v_{fl} - 0,0125 \times (V_{d;vpv} + V_{o;vpv}) - f_{ss;vpv}$$

$$V_{pmd} = 79,3 - 0,0125 \times (375 + 1137) - 1,160 = 59,24 \text{ km/hora}$$

$$V_{pmd} = 60 \text{ km/hora}$$

3.5.- Determinación del Nivel de Servicio Pendiente N°5

b). TIEMPO DE VIAJE SIN POSIBILIDAD DE SOBREPASO (TSS)

Este cálculo se aplica solamente a caminos de **Clase I y II**, dado que el porcentaje de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso no se utiliza para la estimación del nivel de servicio en la Clase III.

$$P_{tssd} = PB_{tssd} + f_{ss;d} \times [V_{d;tss} / (V_{d;tss} + V_{o;tss})]$$

P_{tssd}: Porcentaje de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso, en la dirección estudiada.

f_{ss;d}: ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso en el sentido estudiado (**tabla N°15**)

V_{d;tss}: volumen equivalente para el período de 15 minutos pico en la dirección estudiada para el cálculo del tss (automóviles por hora).

V_{o;tss}: volumen equivalente para el período de 15 minutos pico en la dirección opuesta a la estudiada para el cálculo del tss (automóviles por hora).

$$V_{i,tss} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,tss} \times f_{vp,tss}}$$

DIRECCIÓN EN ESTUDIO	
Pendiente específica descendente.	
Longitud:	1280 m Pendiente: -5,60%
Distribución direccional:	55 / 45
V_i/FHP=	490/0,90= 544,44 → 545,00 veh/hora
V_{d;tss}:	55 x 545 veh/hora = 299,8 veh/hora

• **f_{p,tss}**: factor de ajuste por pendiente.

f_{p,tss} = 1,00 (De tabla N°11)

(Tabla N°11: f_{p,tss} para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

• **f_{vp,vpv}**: factor de ajuste por vehículos pesados

$$f_{vp,tss} = \frac{1}{[1 + P_c \cdot (E_c - 1) + P_r \cdot (E_r - 1)]}$$

Donde:

f_{vp,tss} = factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados en la corriente de tránsito para la estimación del tss.

E_c = automóviles equivalentes para camiones (Tablas 13 y 14).

E_r = automóviles equivalentes para recreacionales (Tablas 13 y 14).

Proporción de camiones en la corriente de tránsito

P_c = 0,213

Automóviles equivalentes para camiones

E_c = 1,10 (De tabla N°13)

(Tabla N°13: E_c para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

f_{vp,tss} = 0,979

V_{i;tss}: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (aut./hora)

$$V_{i,tss} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,tss} \times f_{vp,tss}}$$

V_{d;tss} = 307 autos/hora

DIRECCIÓN OPUESTA	
Pendiente específica ascendente.	
Long.	1280 m Pend.: 5,60%
V_{d;tss}:	45 x 545 = 245 veh/hora

f_{p,tss} = 0,995 (De tabla N°12)

(Tabla N°12: f_{p,tss} para pendientes específicas ascendentes)

E_c = 1 (De tabla N°14)

(Tabla N°14: E_c para pendientes específicas ascendentes)

f_{vp,tss} = 1,000

V_{o;tss} = 247 autos/hora

PBtssd: Porcentaje base de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso en la dirección estudiada.

$$PB_{tssd} = 100 \left(1 - e^{aV_{d;tss}^b} \right)$$

Los valores de los coeficientes a y b se obtienen de la **Tabla 16**.

Los volúmenes de las Tablas 15 y 16 son automóviles equivalentes para el pico de quince minutos. En la Tabla 15, si bien el análisis corresponde a una dirección, el volumen con que se entra corresponde a ambos sentidos de circulación.

V_{o;tss}= 247 autos/hora
a = -0,0016 (De tabla N°16)
b = 0,9612

PBtssd= 32,52 %

• **f_{ss;d}**: factor de ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso.

Vtotal= 554 autos/hora (En ambas direcciones)

Zonas sin posibilidad de sobrepaso= 73%

Distribución direccional: 55 / 45

f_{ss;d}= 54,59 % (De tabla N°15)

$$P_{tssd} = PB_{tssd} + f_{ss;d} \times [V_{d;tss} / (V_{d;tss} + V_{o;tss})]$$

$$Ptssd = 32,52 \% + 54,59 \times [307 / (307 + 247)] = 62,7707 \%$$

Ptssd= 62,77 %

Nivel Servicio :

% de tiempo sin posibilidad de sobrepaso

Velocidad promedio de viaje:

Ptssd = 62,77 %

Vpmd = 60 km/hora

De **tabla N°1** se obtiene:

Nivel de Servicio: **D**

TABLA 1: CLASE I

Nivel de servicio	% de tiempo sin sobrepaso	Velocidad promedio de viaje (km/h)
A	<= 35	> 90
B	> 35 - 50	> 80 - 90
C	> 50 - 65	> 70 - 80
D	> 65 - 80	> 60 - 70
E	> 80	<= 60

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

3.6.- Determinación del Nivel de Servicio Pendiente N°6

a). DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD PROMEDIO DE VIAJE (V_{pmd})

Este análisis se aplica únicamente a las **Clases I y III**, dado que en Clase II no se aplica la vpv .

$$V_{pmd} = v_{fl} - 0,0125 \times (V_{d;vpv} + V_{o;vpv}) - f_{ss;vpv}$$

v_{fl}: velocidad en flujo libre

V_{d;vpv}: volumen para el período de 15 minutos pico para la determinación de la velocidad promedio de viaje en la dirección analizada.

V_{o;vpv}: volumen para el período de 15 minutos pico para la determinación de la velocidad promedio de viaje en la dirección opuesta.

f_{ss;vpv}: ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso para la determinación de la velocidad promedio de viaje, en la dirección analizada (**tabla N°10**)

V_{i;vpv}: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (**aut./hora**)

$$V_{i,vpv} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,vpv} \times f_{vp,vpv}}$$

V_{i,vpv}: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico

i: "d" (dirección en estudio) u "o" (dirección opuesta)

V_i: volumen horario en la dirección i (número de vehículos que pasan por un punto en una hora)

FHP: factor de hora pico

f_{p,vpv}: factor de **ajuste por pendiente** (Tablas 2 o 3)

f_{vp,vpv}: factor de **ajuste por vehículos pesados** de ecuación (2) o (3)

DIRECCIÓN EN ESTUDIO

Pendiente específica ascendente.

Longitud: **2110 m** Pendiente: **4,60%**

Distribución direccional: **55 / 45**

V_i/FHP = 490/0,90 = 544,4 → **545 veh/hora**

V_{d;vpv} = 55 x 545 veh/hora = 300 veh/hora

• **f_{p,vpv}**: factor de ajuste por pendiente.

f_{p,vpv} = 0,677 (De tabla N°3)

(Tabla N°3: f_{p,vpv} para pendientes específicas ascendentes)

• **f_{vp,vpv}**: factor de ajuste por vehículos pesados

Ecuación 2
$$f_{vp,vpv} = \frac{1}{[1 + P_c \cdot (E_c - 1) + P_r \cdot (E_r - 1)]}$$

Donde:

f_{vp,vpv} = factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados en la corriente de tránsito para la estimación de vpv .

E_c = automóviles equivalentes para camiones (Tablas 4 y 5).

E_r = automóviles equivalentes para recreacionales (Tablas 4 y 6).

P_c, P_r = proporción de camiones y recreacionales respectivamente, en la corriente de tránsito (expresado como decimal).

Proporción de camiones en la corriente de tránsito:

P_c = 0,213

P_{cml} = 0,352

Automóviles equivalentes para camiones:

Ec = 10,05 (De tabla N°5)

(Tabla N°5: Ec para pendientes específicas ascendentes)

Ec = 1,455 (De tabla N°4)

(Tabla N°4: Ec para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

Ec = 3,875 (De tabla N°7)

(Tabla N°7: Ec para camiones en marcha lenta)

f_{vp,vpv} = 0,342

f_{vp,vpv} = 0,782

DIRECCIÓN OPUESTA

Pendiente específica descendente.

Long. **2110 m** Pend.: **-4,60%**

V_{d;vpv} = 45 x 545 = 245 veh/hora

f_{p,vpv} = 1,00 (De tabla N°2)

(Tabla N°2: f_{p,vpv} para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

DIRECCIÓN EN ESTUDIO**DIRECCIÓN OPUESTA***Pendiente específica ascendente.*Longitud: **2110 m** Pendiente: **4,60%***Pendiente específica descendente.*Long. **2110 m** Pend.: **-4,60%****V_{i;vpv}**: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (aut./hora)

$$V_{i,vpv} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,vpv} \times f_{vp,vpv}}$$

V_{d;vpv}= **1297** autos/hora**V_{o;vpv}**= **314** autos/hora• **f_{ss;vpv}**: factor de ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso.**V_{o;vpv}**= **314** autos/hora**v_{fl}**= **79,3** km/hora**Zonas sin posibilidad de sobrepaso**= **73%****f_{ss;vpv}**= **4,770** km/hora (De tabla N°10)*Velocidad promedio de viaje en la dirección estudiada en Km/h. (**V_{pm}**)*

$$V_{pm} = v_{fl} - 0,0125 \times (V_{d;vpv} + V_{o;vpv}) - f_{ss;vpv}$$

$$V_{pm} = 79,3 - 0,0125 \times (1297 + 314) - 4,770 = 54,3925 \text{ km/hora}$$

$$V_{pm} = 55 \text{ km/hora}$$

3.6.- Determinación del Nivel de Servicio Pendiente N°6

b). TIEMPO DE VIAJE SIN POSIBILIDAD DE SOBREPASO (TSS)

Este cálculo se aplica solamente a caminos de **Clase I y II**, dado que el porcentaje de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso no se utiliza para la estimación del nivel de servicio en la Clase III.

$$P_{tssd} = PB_{tssd} + f_{ss;d} \times [V_{d;tss} / (V_{d;tss} + V_{o;tss})]$$

P_{tssd}: Porcentaje de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso, en la dirección estudiada.

f_{ss;d}: ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso en el sentido estudiado (**tabla N°15**)

V_{d;tss}: volumen equivalente para el período de 15 minutos pico en la dirección estudiada para el cálculo del tss (automóviles por hora).

V_{o;tss}: volumen equivalente para el período de 15 minutos pico en la dirección opuesta a la estudiada para el cálculo del tss (automóviles por hora).

$$V_{i,tss} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,tss} \times f_{vp,tss}}$$

DIRECCIÓN EN ESTUDIO

Pendiente específica ascendente.

Longitud: **2110 m** Pendiente: **4,60%**
Distribución direccional: **55 / 45**

V_i/FHP= 490/0,90= 544,44 → 545,00 veh/hora

V_{d;tss}: 55 x 545 veh/hora = 299,8 veh/hora

• **f_{p,tss}**: factor de ajuste por pendiente.

f_{p,tss} = 1,000 (De tabla N°12)

(Tabla N°12: f_{p,tss} para pendientes específicas ascendentes)

• **f_{vp,vpv}**: factor de ajuste por vehículos pesados

$$f_{vp,tss} = \frac{1}{[1 + P_c \cdot (E_c - 1) + P_r \cdot (E_r - 1)]}$$

Donde:

f_{vp,tss} = factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados en la corriente de tránsito para la estimación del tss.

E_c = automóviles equivalentes para camiones (Tablas 13 y 14).

E_r = automóviles equivalentes para recreacionales (Tablas 13 y 14).

Proporción de camiones en la corriente de tránsito:

P_c= 0,213

Automóviles equivalentes para camiones:

E_c= 1,06 (De tabla N°14)

(Tabla N°14: E_c para pendientes específicas ascendentes)

f_{vp,tss}= 0,987

V_{i;tss}: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (aut./hora)

$$V_{i,tss} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,tss} \times f_{vp,tss}}$$

V_{d;tss}= 304 autos/hora

DIRECCIÓN OPUESTA

Pendiente específica descendente.

Long. **2110 m** Pend.: **-4,60%**

V_{d;tss}: 45 x 545 = 245 veh/hora

f_{p,tss} = 1,00 (De tabla N°11)

(Tabla N°11: f_{p,tss} para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

E_c= 1,1 (De tabla N°13)

(Tabla N°13: E_c para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

f_{vp,tss}= 0,979

V_{o;tss}= 251 autos/hora

PBtssd: Porcentaje base de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso en la dirección estudiada.

$$PB_{tssd} = 100 \left(1 - e^{aV_{d,tss}^b} \right)$$

Los valores de los coeficientes a y b se obtienen de la **Tabla 16**.

Los volúmenes de las Tablas 15 y 16 son automóviles equivalentes para el pico de quince minutos. En la Tabla 15, si bien el análisis corresponde a una dirección, el volumen con que se entra corresponde a ambos sentidos de circulación.

V_{o;tss}= 251 autos/hora
a = -0,0016
b = 0,9602 (De tabla N°16)

PBtssd= 32,12 %

• **f_{ss;d}**: factor de ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso.

V_{total}= 555 autos/hora (En ambas direcciones)

Zonas sin posibilidad de sobrepaso= 73%

Distribución direccional: 55 / 45

f_{ss;d}= 54,56 % (De tabla N°15)

$$P_{tssd} = PB_{tssd} + f_{ss;d} \times [V_{d;tss} / (V_{d;tss} + V_{o;tss})]$$

$$Ptssd = 32,12 \% + 54,56 \times [304 / (304 + 251)] = 62,0043 \%$$

Ptssd= 62,00 %

Nivel Servicio :

% de tiempo sin posibilidad de sobrepaso

Velocidad promedio de viaje:

Ptssd = 62,00 %

V_{pmd} = 55 km/hora

De **tabla N°1** se obtiene:

Nivel de Servicio: **E**

TABLA 1: CLASE I

Nivel de servicio	% de tiempo sin sobrepaso	Velocidad promedio de viaje (km/h)
A	<= 35	> 90
B	> 35 - 50	> 80 - 90
C	> 50 - 65	> 70 - 80
D	> 65 - 80	> 60 - 70
E	> 80	<= 60

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

3.7.- Determinación del Nivel de Servicio Pendiente N°7

a). DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD PROMEDIO DE VIAJE (V_{pmd})

Este análisis se aplica únicamente a las **Clases I y III**, dado que en Clase II no se aplica la vpv .

$$V_{pmd} = v_{fl} - 0,0125 \times (V_{d;vpv} + V_{o;vpv}) - f_{ss;vpv}$$

v_{fl}: velocidad en flujo libre

V_{d;vpv}: volumen para el período de 15 minutos pico para la determinación de la velocidad promedio de viaje en la dirección analizada.

V_{o;vpv}: volumen para el período de 15 minutos pico para la determinación de la velocidad promedio de viaje en la dirección opuesta.

f_{ss;vpv}: ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso para la determinación de la velocidad promedio de viaje, en la dirección analizada (**tabla N°10**)

V_{i;vpv}: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (**aut./hora**)

$$V_{i;vpv} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p;vpv} \times f_{vp;vpv}}$$

V_{i;vpv}: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico

i: "d" (dirección en estudio) u "o" (dirección opuesta)

V_i: volumen horario en la dirección i (número de vehículos que pasan por un punto en una hora)

FHP: factor de hora pico

f_{p,vpv}: factor de **ajuste por pendiente** (Tablas 2 o 3)

f_{vp,vpv}: factor de **ajuste por vehículos pesados** de ecuación (2) o (3)

DIRECCIÓN EN ESTUDIO

Pendiente específica ascendente.

Longitud: **600 m** Pendiente: **3,70%**

Distribución direccional: **55 / 45**

V_i/FHP = 490/0,90 = 544,4 → **545 veh/hora**

V_{d;vpv} = 55 x 545 veh/hora = 300 veh/hora

• **f_{p,vpv}**: factor de ajuste por pendiente.

f_{p,vpv} = 0,85 (De tabla N°3)

(Tabla N°3: f_{p,vpv} para pendientes específicas ascendentes)

• **f_{vp,vpv}**: factor de ajuste por vehículos pesados

Ecuación 2
$$f_{vp;vpv} = \frac{1}{[1 + P_c \cdot (E_c - 1) + P_r \cdot (E_r - 1)]}$$

Donde:

f_{vp,vpv} = factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados en la corriente de tránsito para la estimación de vpv .

E_c = automóviles equivalentes para camiones (Tablas 4 y 5).

E_r = automóviles equivalentes para recreacionales (Tablas 4 y 6).

P_c, P_r = proporción de camiones y recreacionales respectivamente, en la corriente de tránsito (expresado como decimal).

Proporción de camiones en la corriente de tránsito:

P_c = 0,213

Automóviles equivalentes para camiones:

E_c = 4,15 (De tabla N°5)

(Tabla N°5: E_c para pendientes específicas ascendentes)

f_{vp,vpv} = 0,598

DIRECCIÓN OPUESTA

Pendiente específica descendente.

Long. **600 m** Pend.: **-3,70%**

V_{d;vpv} = 45 x 545 = 245 veh/hora

f_{p,vpv} = 1,00 (De tabla N°2)

(Tabla N°2: f_{p,vpv} para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

E_c = 1,455 (De tabla N°4)

(Tabla N°4: E_c para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

f_{vp,vpv} = 0,912

DIRECCIÓN EN ESTUDIO**DIRECCIÓN OPUESTA***Pendiente específica ascendente.*Longitud: **600 m** Pendiente: **3,70%***Pendiente específica descendente.*Long. **600 m** Pend.: **-3,70%****V_{i;vpv}**: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (aut./hora)

$$V_{i,vpv} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,vpv} \times f_{vp,vpv}}$$

V_{d;vpv}= **590** autos/hora**V_{o;vpv}**= **269** autos/hora• **f_{ss;vpv}**: factor de ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso.**V_{o;vpv}**= **269** autos/hora**V_{fl}**= **79,3** km/hora**Zonas sin posibilidad de sobrepaso**= **73%****f_{ss;vpv}**= **5,205** km/hora (De tabla N°10)*Velocidad promedio de viaje en la dirección estudiada en Km/h. (**V_{pmd}**)*

$$V_{pmd} = V_{fl} - 0,0125 \times (V_{d;vpv} + V_{o;vpv}) - f_{ss;vpv}$$

$$V_{pmd} = 79,3 - 0,0125 \times (590 + 269) - 5,205 = 63,3575 \text{ km/hora}$$

$$V_{pmd} = 64 \text{ km/hora}$$

3.7.- Determinación del Nivel de Servicio Pendiente N°7

b). TIEMPO DE VIAJE SIN POSIBILIDAD DE SOBREPASO (TSS)

Este cálculo se aplica solamente a caminos de **Clase I y II**, dado que el porcentaje de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso no se utiliza para la estimación del nivel de servicio en la Clase III.

$$P_{tssd} = PB_{tssd} + f_{ss;d} \times [V_{d;tss} / (V_{d;tss} + V_{o;tss})]$$

P_{tssd}: Porcentaje de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso, en la dirección estudiada.

f_{ss;d}: ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso en el sentido estudiado (**tabla N°15**)

V_{d;tss}: volumen equivalente para el período de 15 minutos pico en la dirección estudiada para el cálculo del tss (automóviles por hora).

V_{o;tss}: volumen equivalente para el período de 15 minutos pico en la dirección opuesta a la estudiada para el cálculo del tss (automóviles por hora).

$$V_{i,tss} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,tss} \times f_{vp,tss}}$$

DIRECCIÓN EN ESTUDIO

Pendiente específica ascendente.

Longitud: **600 m** Pendiente: **3,70%**

Distribución direccional: **55 / 45**

V_i/FHP= 490/0,90= 544,44 → **545,00 veh/hora**

V_{d;tss}: 55 x 545 veh/hora = 299,8 veh/hora

• **f_{p,tss}**: factor de ajuste por pendiente.

f_{p,tss} = 0,985 (De tabla N°12)

(Tabla N°12: f_{p,tss} para pendientes específicas ascendentes)

• **f_{vp,vpv}**: factor de ajuste por vehículos pesados

$$f_{vp,tss} = \frac{1}{[1 + P_c \cdot (E_c - 1) + P_r \cdot (E_r - 1)]}$$

Donde:

f_{vp,tss} = factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados en la corriente de tránsito para la estimación del tss.

E_c = automóviles equivalentes para camiones (Tablas 13 y 14).

E_r = automóviles equivalentes para recreacionales (Tablas 13 y 14).

Proporción de camiones en la corriente de tránsito:

P_c = 0,213

Automóviles equivalentes para camiones:

E_c = 1,00 (De tabla N°14)

(Tabla N°14: E_c para pendientes específicas ascendentes)

f_{vp,tss} = 1,000

V_{i;tss}: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (aut./hora)

$$V_{i,tss} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,tss} \times f_{vp,tss}}$$

V_{d;tss} = 305 autos/hora

DIRECCIÓN OPUESTA

Pendiente específica descendente.

Long. **600 m** Pend.: **-3,70%**

V_{d;tss}: 45 x 545 = 245 veh/hora

f_{p,tss} = 1,00 (De tabla N°11)

(Tabla N°11: f_{p,tss} para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

E_c = 1,1 (De tabla N°13)

(Tabla N°13: E_c para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

f_{vp,tss} = 0,979

V_{o;tss} = 251 autos/hora

PBtssd: Porcentaje base de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso en la dirección estudiada.

$$PB_{tssd} = 100 \left(1 - e^{aV_{d,tss}^b} \right)$$

Los valores de los coeficientes a y b se obtienen de la **Tabla 16**.

Los volúmenes de las Tablas 15 y 16 son automóviles equivalentes para el pico de quince minutos. En la Tabla 15, si bien el análisis corresponde a una dirección, el volumen con que se entra corresponde a ambos sentidos de circulación.

V_{o;tss}= 251 autos/hora
a = -0,0016
b = 0,9602 (De tabla N°16)

PBtssd= 32,20 %

• **f_{ss;d}**: factor de ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso.

Vtotal= 556 autos/hora (En ambas direcciones)

Zonas sin posibilidad de sobrepaso= 73%

Distribución direccional: 55 / 45

f_{ss;d}= 54,54 % (De tabla N°15)

$$P_{tssd} = PB_{tssd} + f_{ss;d} \times [V_{d;tss} / (V_{d;tss} + V_{o;tss})]$$

$$Ptssd = 32,20 \% + 54,54 \times [305 / (305 + 251)] = 62,1207 \%$$

Ptssd= 62,12 %

Nivel Servicio :

% de tiempo sin posibilidad de sobrepaso

Velocidad promedio de viaje:

Ptssd = 62,12 %

Vpmd = 64 km/hora

De **tabla N°1** se obtiene:

Nivel de Servicio: **D**

TABLA 1: CLASE I

Nivel de servicio	% de tiempo sin sobrepaso	Velocidad promedio de viaje (km/h)
A	<= 35	> 90
B	> 35 - 50	> 80 - 90
C	> 50 - 65	> 70 - 80
D	> 65 - 80	> 60 - 70
E	> 80	<= 60

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

4.- Análisis del tramo general:

Tipo de terreno: **Ondulado**

a). DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD PROMEDIO DE VIAJE (V_{pmd})

Este análisis se aplica únicamente a las **Clases I y III**, dado que en Clase II no se aplica la v_{pv}

$$V_{pmd} = v_{fl} - 0,0125 \times (V_{d;vpv} + V_{o;vpv}) - f_{ss;vpv}$$

v_{fl}: velocidad en flujo libre

V_{d;vpv}: volumen para el período de 15 minutos pico para la determinación de la velocidad promedio de viaje en la dirección analizada.

V_{o;vpv}: volumen para el período de 15 minutos pico para la determinación de la velocidad promedio de viaje en la dirección opuesta.

f_{ss;vpv}: ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso para la determinación de la velocidad promedio de viaje, en la dirección analizada (**tabla N°10**)

V_{i;vpv}: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (**aut./hora**)

$$V_{i;vpv} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p;vpv} \times f_{vp;vpv}}$$

V_{i;vpv}: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico

i: "d" (dirección en estudio) u "o" (dirección opuesta)

V_i: volumen horario en la dirección i (número de vehículos que pasan por un punto en una hora)

FHP: factor de hora pico

f_{p,vpv}: factor de ajuste por pendiente (**Tablas 2 o 3**)

f_{vp,vpv}: factor de ajuste por vehículos pesados de ecuación (2) o (3)

DIRECCIÓN EN ESTUDIO		DIRECCIÓN OPUESTA	
Ondulado		Ondulado	
Longitud: -	Pendiente: -	Long. -	Pend.: -
Distribución direccional: 55 / 45			
V_i/FHP = 490/0,90 = 544,4 → 545 veh/hora			
V_{d;vpv} = 55 x 545 = 300 veh/hora		V_{d;vpv} = 45 x 545 = 245 veh/hora	

f_{p,vpv}: factor de ajuste por pendiente.

$$f_{p,vpv} = 0,83 \text{ (De tabla N°2)}$$

(Tabla N°2: f_{p,vpv} para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

$$f_{p,vpv} = 0,79 \text{ (De tabla N°2)}$$

(Tabla N°2: f_{p,vpv} para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

f_{vp,vpv}: factor de ajuste por vehículos pesados

Ecuación 2

$$f_{vp;vpv} = \frac{1}{[1 + P_c \cdot (E_c - 1) + P_r \cdot (E_r - 1)]}$$

Donde:

f_{vp,vpv} = factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados en la corriente de tránsito para la estimación de v_{pv} .

E_c = automóviles equivalentes para camiones (Tablas 4 y 5).

E_r = automóviles equivalentes para recreacionales (Tablas 4 y 6).

P_c, P_r = proporción de camiones y recreacionales respectivamente, en la corriente de tránsito (expresado como decimal).

f_{vp,vpv}: factor de ajuste por vehículos pesados

Proporción de camiones en la corriente de tránsito:

$$P_c = 0,213$$

Automóviles equivalentes para camiones:

$$E_c = 2,1 \text{ (De tabla N°4)}$$

(Tabla N°4: E_c para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

$$f_{vp,vpv} = 0,810$$

$$E_c = 2,21 \text{ (De tabla N°4)}$$

(Tabla N°4: E_c para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

$$f_{vp,vpv} = 0,795$$

DIRECCIÓN EN ESTUDIO

DIRECCIÓN OPUESTA

Ondulado

Longitud: - Pendiente: -

Ondulado

Long. - Pend.: -

Vi;vpv: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (aut./hora)

$$V_{i,vpv} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,vpv} \times f_{vp,vpv}}$$

Vd;vpv= 446 autos/hora**Vo;vpv= 392 autos/hora****fss;vpv:** factor de ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso.**Vo;vpv= 392 autos/hora****Vfl= 79,3 km/hora****Zonas sin posibilidad de sobrepaso= 73%****fss;vpv= 4,010 km/hora (De tabla N°10)****Velocidad promedio de viaje en la dirección estudiada en Km/h.(Vpmd)**

$$V_{pmd} = V_{fl} - 0,0125 \times (V_{d;vpv} + V_{o;vpv}) - f_{ss;vpv}$$

$$V_{pmd} = 79,3 - 0,0125 \times (446 + 392) - 4,010 = 64,815 \text{ km/hora}$$

$$V_{pmd} = 65 \text{ km/hora}$$

4.- Análisis del tramo general:

b). TIEMPO DE VIAJE SIN POSIBILIDAD DE SOBREPASO (TSS)

Este cálculo se aplica solamente a caminos de **Clase I y II**, dado que el porcentaje de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso no se utiliza para la estimación del nivel de servicio en la Clase III.

$$P_{tssd} = PB_{tssd} + f_{ss;d} \times [V_{d;tss} / (V_{d;tss} + V_{o;tss})]$$

P_{tssd}: Porcentaje de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso, en la dirección estudiada.

f_{ss;d}: ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso en el sentido estudiado (tabla N°15)

V_{d;tss}: volumen equivalente para el período de 15 minutos pico en la dirección estudiada para el cálculo del tss (automóviles por hora).

V_{o;tss}: volumen equivalente para el período de 15 minutos pico en la dirección opuesta a la estudiada para el cálculo del tss (automóviles por hora).

$$V_{i,tss} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,tss} \times f_{vp,tss}}$$

DIRECCIÓN EN ESTUDIO	DIRECCIÓN OPUESTA
Terreno: Ondulado	Terreno: Ondulado
Longitud: - m Pendiente: -	Long. - m Pend.: -
Distribución direccional: 55 / 45	
V_i/FHP= 490/0,90= 544,44 → 545,00 veh/hora	
V_{d;tss}: 55 x 545 veh/hora = 300 veh/hora	V_{d;tss}: 45 x 545 = 245 veh/hora
f_{p,tss}: factor de ajuste por pendiente.	
f_{p,tss} = 0,85 (Tabla N°11)	f_{p,tss} = 0,82 (Tabla N°11)
<small>(Tabla N°11: f_{p,tss} para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)</small>	

f_{vp,vpv}: factor de ajuste por vehículos pesados

$$f_{vp,tss} = \frac{1}{[1 + P_c \cdot (E_c - 1) + P_r \cdot (E_r - 1)]}$$

Donde:

f_{vp,tss} = factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados en la corriente de tránsito para la estimación del tss.

E_c = automóviles equivalentes para camiones (Tablas 13 y 14).

E_r = automóviles equivalentes para recreacionales (Tablas 13 y 14).

f_{vp,tss}: factor de ajuste por vehículos pesados

Proporción de camiones en la corriente de tránsito:

P_c = 0,213

Automóviles equivalentes para camiones:

E_c = 1,70 (De tabla N°13)

(Tabla N°13: E_c para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

f_{vp,tss} = 0,870

E_c = 1,75 (De tabla N°13)

(Tabla N°13: E_c para terrenos: Llano-Pend. desc.-Ondulado)

f_{vp,tss} = 0,862

V_{i;tss}: volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (aut./hora)

$$V_{i,tss} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,tss} \times f_{vp,tss}}$$

V_{d;tss} = 406 autos/hora

V_{o;tss} = 347 autos/hora

PBtssd: Porcentaje base de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso en la dirección estudiada.

$$PB_{tss;d} = 100 \left(1 - e^{aV_{d;tss}^b} \right)$$

Los valores de los coeficientes a y b se obtienen de la **Tabla 16**.

Los volúmenes de las Tablas 15 y 16 son automóviles equivalentes para el pico de quince minutos. En la Tabla 15, si bien el análisis corresponde a una dirección, el volumen con que se entra corresponde a ambos sentidos de circulación.

V_{o;tss}= 347 autos/hora

a = -0,0020
b = 0,93625 (De tabla N°16)

PBtssd= 42,52 %

f_{ss;d}: factor de ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso.

V_{total}= 753 autos/hora (En ambas direcciones)

Zonas sin posibilidad de sobrepaso= 73%

Distribución direccional: 55 / 45

f_{ss;d}= 44,48 % (De tabla N°15)

$$P_{tssd} = PB_{tssd} + f_{ss;d} \times [V_{d;tss} / (V_{d;tss} + V_{o;tss})]$$

$$Ptssd = 42,52 \% + 44,48 \times [406 / (406 + 347)] = 66,502 \%$$

Ptssd= 66,50 %

Determinación del Nivel Servicio :

% de tiempo sin posibilidad de sobrepaso

Velocidad promedio de viaje:

Ptssd = 66,50 %

V_{pm} = 65 km/hora

De **tabla N°1** se obtiene:

Nivel de Servicio: **D**

TABLA 1: CLASE I

Nivel de servicio	% de tiempo sin sobrepaso	Velocidad promedio de viaje (km/h)
A	<= 35	> 90
B	> 35 - 50	> 80 - 90
C	> 50 - 65	> 70 - 80
D	> 65 - 80	> 60 - 70
E	> 80	<= 60

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

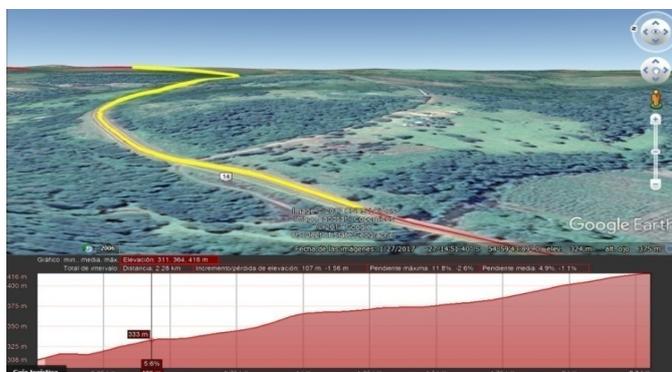
Tabla resumen de Niveles de Servicio obtenidos:

	TIPO	LONGITUD	PENDIENTE	ALTURA	Ptssd	Vpmd	NIVEL DE SERVICIO
		Metros	%	Metros	%	km/h	
1	Pendiente Ascendente	800	4,50%	36	61,55	61	D
2	Pendiente Ascendente	1500	3,90%	58,3	61,94	60	D
3	Pendiente Ascendente	580	4,40%	25,52	62,12	64	D
4	Pendiente Descendente	1000	-4,00%	-40	63,11	64	D
5	Pendiente Descendente	1280	-5,60%	-72,16	62,77	60	D
6	Ascendente	2110	4,60%	97,83	62	55	E
7	Pendiente Ascendente	600	3,70%	22,2	62,12	64	D
8	Tramo General	9140	-	-	66,5	65	D

Ptssd: % de tiempo sin posibilidad de sobrepaso

Vpmd: Velocidad promedio de viaje

Ubicación de la Pendiente N°6: Se inicia en el puente sobre arroyo del Medio y se dirige hacia Campo Grande.



CONCLUSIÓN

Analizadas las pendientes específicas identificadas en el tramo de la Ruta Nacional N° 14 y el tramo general, entre las localidades de Campo Viera y Campo Grande, se ha determinado que la **pendiente N°6** (de mayor longitud) define el Nivel de Servicio al cual opera el tramo estudiado, alcanzando su **CAPACIDAD** durante la hora pico, **NIVEL DE SERVICIO E**.

PROPUESTA

La pendiente que define el nivel de servicio es sostenida, situación que da como resultado una reducción en el nivel de servicio brindado, aumento de los pelotones, aumento de las demoras, lo que se traduce en una velocidad promedio de viaje reducida y aumento en las maniobras de sobrepaso. Se propone la ejecución de un tercer carril (Carril auxiliar para ascenso), con el objetivo de mantener la homogeneidad en el Nivel de Servicio brindado por el tramo analizado.