

ANEJO Nº 5. **ESTUDIO DE TRÁFICO**

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	3
2	DATOS DE TRÁFICO	3
2.1	EVOLUCIÓN DEL TRÁFICO EN EL TRAMO OBJETO DE ESTUDIO.....	5
3	OBTENCIÓN DEL TRÁFICO DE PROYECTO	8
3.1	INTENSIDAD MEDIA DIARIA DE VEHÍCULOS PESADOS, $IMD_{P^{APS}}$	8
3.2	FACTOR DE CRECIMIENTO DEL TRÁFICO DE VEHÍCULOS PESADOS, F.....	8
3.3	COEFICIENTE DE PONDERACIÓN γ_T	8
3.4	TRÁFICO DE PROYECTO.....	9
4	NIVEL DE SERVICIO.....	10
4.1	METODOLOGÍA.....	10
4.2	CÁLCULO DEL NIVEL DE SERVICIO	12
4.3	CARRIL ADICIONAL EN RAMPA	15

1 INTRODUCCIÓN

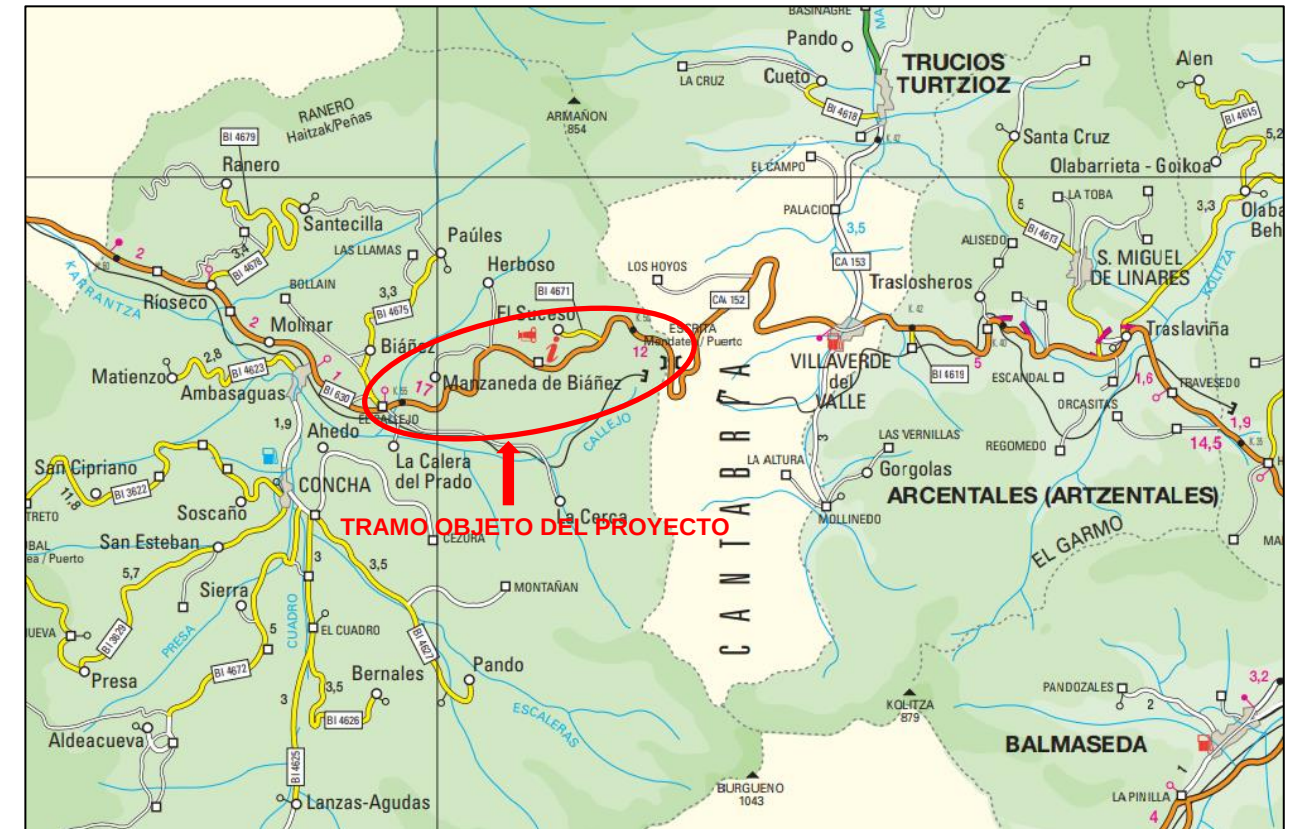
El objetivo del presente Anejo es evaluar el funcionamiento del tráfico en el tramo de carretera proyectado, así como determinar una serie de aspectos que intervienen en el diseño.

En primer lugar se recoge una recopilación de los datos de las estaciones de aforo cercanas al tramo La Escrita-El Callejo de la BI-630, y partiendo de dicha información se realiza una estimación de la evolución del tráfico hasta el año horizonte.

A continuación se obtienen el Tráfico de Proyecto y el Nivel de Servicio en el año horizonte. El Tráfico de Proyecto es un dato de partida para diseñar el firme de la calzada, mientras que el Nivel de Servicio se toma como referencia para conocer el funcionamiento de la carretera en un futuro y también es un aspecto a tener en cuenta para diseñar la sección transversal.

2 DATOS DE TRÁFICO

La carretera objeto del presente Proyecto es un tramo de la BI-630, comprendido entre el alto de La Escrita y el barrio El Callejo (Karrantza). Dicha carretera forma parte de la Red Básica (naranja) de carreteras de la Diputación Foral de Bizkaia tal y como puede observarse en la siguiente imagen.

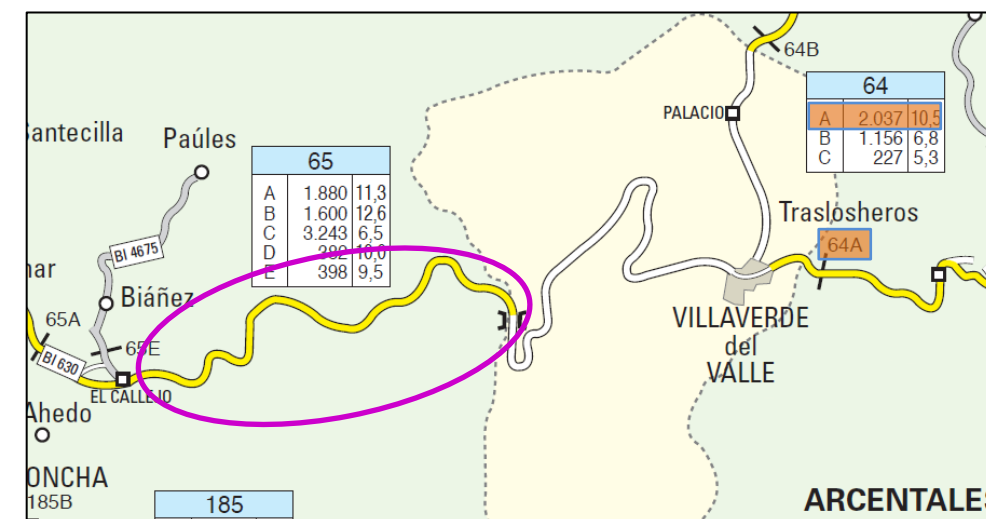


Pertenece al Corredor 18: Balmaseda – L.P. Santander, y en concreto a su Tramo 5 entre Trucíos y Ambasaguas. La longitud de este Tramo 5 es de 13,2 km mientras que el alcance del presente Proyecto se circunscribe a la zona central del mismo entre el alto de La Escrita y el barrio de El Callejo, en una longitud de aproximadamente 4,5 km, con una modificación del trazado y/o de la calzada de la carretera en un tramo de 4 km.



Las estaciones de aforo más cercanas son la 65A y la 65E. La estación 65A es una estación de Tipo 3 o de Cobertura que se localiza en el mismo Tramo 5 Trucíos – Ambasaguas de la carretera BI-630, concretamente entre El Callejo y Ambasaguas, fuera del intervalo objeto del presente Proyecto. La estación 65E también cercana, es igualmente de Tipo 3 y se localiza en la carretera BI-4675, muy cerca de su confluencia con la BI-630 a la altura del barrio de El Callejo.

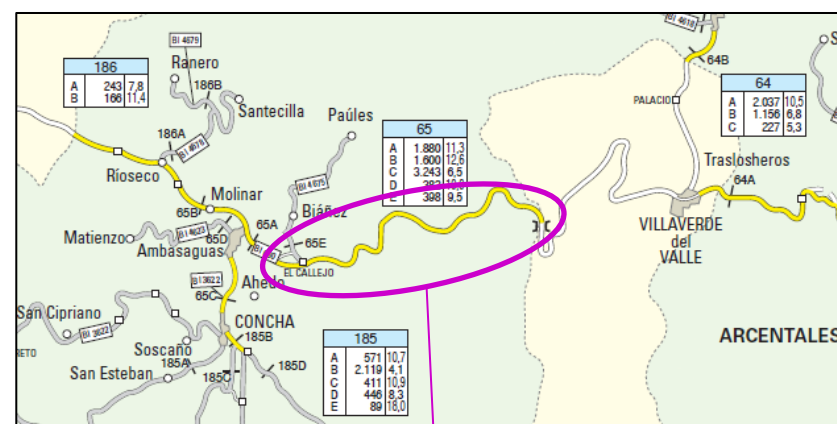
Por otra parte, en la misma carretera BI-630 pero más alejada del tramo objeto del proyecto (en Artzentales) se encuentra la estación 64A.



En la tabla siguiente se recogen los datos medidos en estas estaciones desde el año 2009 al último disponible hasta la fecha, 2019.

AÑO	ESTACIÓN DE AFORO 65A (BI-630)		ESTACIÓN DE AFORO 65E (BI-4675)		ESTACIÓN DE AFORO 64A (BI-630)	
	IMD (veh/día) Media anual	% Pesados	IMD (veh/día) Media anual	% Pesados	IMD (veh/día) Media anual	% Pesados
2009	2213	8	400	4	2402	8,0
2010	2264	8	503	4	2377	7,0
2011	2137	8	434	4	2290	7,0
2012	2045	7,5	408	4	2220	7,2
2013	2180	7,5	416	6	2235	7,5
2014	2130	8,5	401	6	2150	8,0
2015	2098	9	419	7,2	2122	9,3
2016	1986	9,6	429	8,2	2232	9,2
2017	1982	9,3	400	8,8	2145	9,7
2018	1980	10,2	414	8,9	2142	10,4
2019	1880	11,3	398	9,5	2037	10,5

Como puede observarse, existe una gran diferencia entre las intensidades de tráfico medidas en las estaciones 65A y 65E: queda de manifiesto el carácter local de la carretera BI-4675, por lo que en los análisis que siguen no se tendrá en cuenta la información proporcionada por la estación 65E y sí la



correspondiente a la 65A que se encuentra en la misma carretera BI-630 y se considera más representativa del tráfico en el tramo objeto de este Proyecto.

En cuanto a la estación de aforo 64A, presenta mayor intensidad de tráfico que la 65A. Entre esta estación y el tramo objeto del proyecto hay un desvío a la carretera CA-153/BI-2617 que se dirige a Guriezo y la A-8: esta carretera soporta un volumen de tráfico significativo en la zona, tal y como muestra el dato de la estación 64B que se encuentra en la misma, con una IMD algo superior a la mitad de la IMD medida en la 64A. Cabe pensar que parte sustancial del tráfico medido en la 64A tiene por origen/destino dicha carretera y no continúa por la BI-630.

A la vista de todo lo anterior parece que la estación más representativa del tráfico del tramo de proyecto puede ser la 65A, aunque teniendo en cuenta que las intensidades en la 64A son ligeramente más altas se ha optado por tener en cuenta un valor medio de la IMD de ambas estaciones.

2.1 EVOLUCIÓN DEL TRÁFICO EN EL TRAMO OBJETO DE ESTUDIO

Partiendo de los datos de aforos anteriormente descritos, se van a estimar las IMDs correspondientes al año de puesta en servicio y al año horizonte de la carretera objeto del presente Proyecto.

En este caso se estima que el año de puesta en servicio será 2025 y el año horizonte será 2045.

Considerando que la IMD tiene una tasa de variación anual constante se puede obtener la IMD^N correspondiente al año N, a partir de una IMD de referencia que en este caso es la medida en el aforo del año 2019. Para ello se emplea la expresión:

$$IMD^N = IMD^{2019} \cdot (1 + r)^p$$

Donde:

IMD^{2019} es la Intensidad Media Diaria de vehículos medida en 2019

r es la tasa de crecimiento anual del tráfico estimada entre el año del aforo y el año en que se desea conocer la nueva IMD, en tanto por uno

p es el período de comprendido entre el año de referencia y el año en que se desea conocer la nueva IMD, en años

En cuanto a la tasa de crecimiento anual del tráfico de vehículos, para determinar su valor se va a analizar la evolución del tráfico en los últimos 10 años de los que se cuenta con datos de aforos. Es decir, entre 2009 y 2019. A continuación se muestran las tablas correspondientes a las estaciones 65A, 64A y a la media de ambas:

AÑO	ESTACIÓN DE AFORO 65A (BI-630)				
	IMD (veh/día) Media anual	Δ tasa anual (%)	% Pesados	IMD _p (veh/día)	Δ tasa anual (%)
2009	2213		8	177	
2010	2264	2,25	8	181	2,25
2011	2137	-5,94	8	171	-5,94
2012	2045	-4,50	7,5	153	-11,47
2013	2180	6,19	7,5	164	6,19
2014	2130	-2,35	8,5	181	9,69
2015	2098	-1,53	9	189	4,12
2016	1986	-5,64	9,6	191	0,96
2017	1982	-0,20	9,3	184	-3,43
2018	1980	-0,10	10,2	202	8,73
2019	1880	-5,32	11,3	212	4,93

AÑO	ESTACIÓN DE AFORO 64A (BI-630)				
	IMD (veh/día) Media anual	Δ tasa anual (%)	% Pesados	IMD _p (veh/día)	Δ tasa anual (%)
2009	2402		8	192	
2010	2377	-1,05	7	166	-15,49
2011	2290	-3,80	7	160	-3,80
2012	2220	-3,15	7,2	160	-0,29
2013	2235	0,67	7,5	168	4,64
2014	2150	-3,95	8	172	2,54
2015	2122	-1,32	9,3	197	12,84
2016	2232	4,93	9,2	205	3,89
2017	2145	-4,06	9,7	208	1,31
2018	2142	-0,14	10,4	223	6,60
2019	2037	-5,15	10,5	214	-4,15

AÑO	MEDIA ESTACIONES DE AFORO 64A Y 65A (BI-630)				
	IMD (veh/día) Media anual	Δ tasa anual (%)	% Pesados	IMD _p (veh/día)	Δ tasa anual (%)
2009	2308		8,0	185	
2010	2321	0,56	7,5	174	-6,07
2011	2214	-4,83	7,5	166	-4,83
2012	2133	-3,80	7,4	157	-5,92
2013	2208	3,40	7,5	166	5,33
2014	2140	-3,15	8,3	177	6,22
2015	2110	-1,42	9,2	193	8,55
2016	2109	-0,05	9,4	198	2,61
2017	2064	-2,20	9,5	196	-1,13
2018	2061	-0,12	10,3	212	7,66
2019	1959	-5,23	10,9	213	0,56

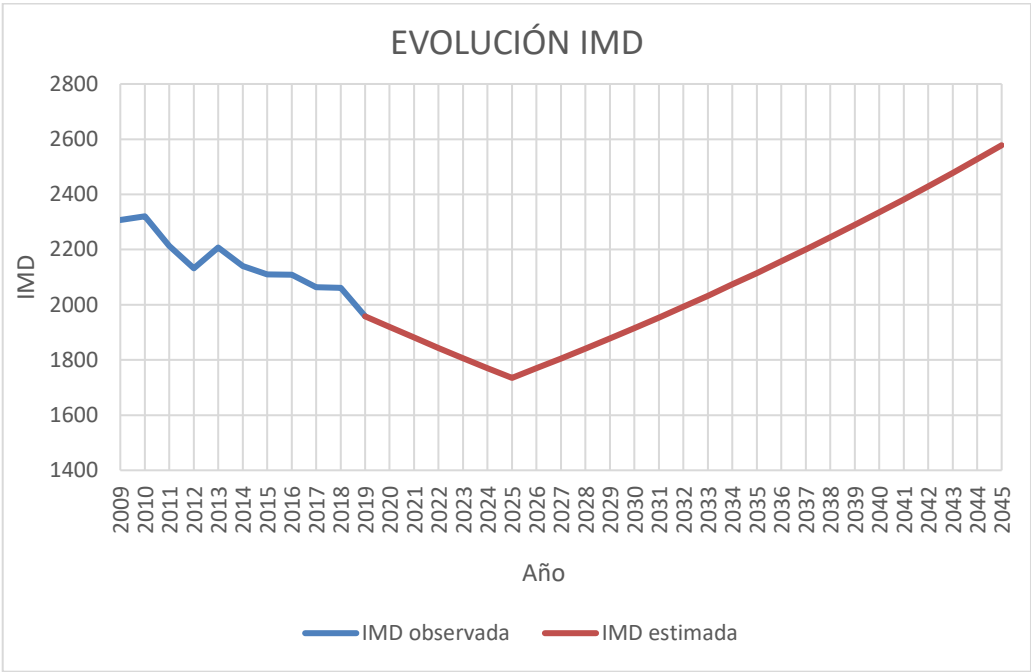
A partir de los datos de crecimiento recogidos en las tablas anteriores (Δ tasa anual), se obtiene la variación media de tráfico en tres intervalos de tiempo: a lo largo de los 11 años considerados en el análisis, a lo largo de los últimos 5 años y a lo largo de los últimos 3 años.

Δ tasa anual						
PERÍODO	ESTACIÓN 65A		ESTACIÓN 64A		PROMEDIO 64A Y 65A	
	IMD	IMD _p	IMD	IMD _p	IMD	IMD _p
2009/2019	-1,71	1,60	-1,70	0,81	-1,69	1,30
2015/2019	-2,56	3,06	-1,15	4,10	-1,81	3,65
2017/2019	-1,87	3,41	-3,12	1,25	-2,52	2,36
MEDIA	-2,05	2,69	-1,99	2,05	-2,00	2,44

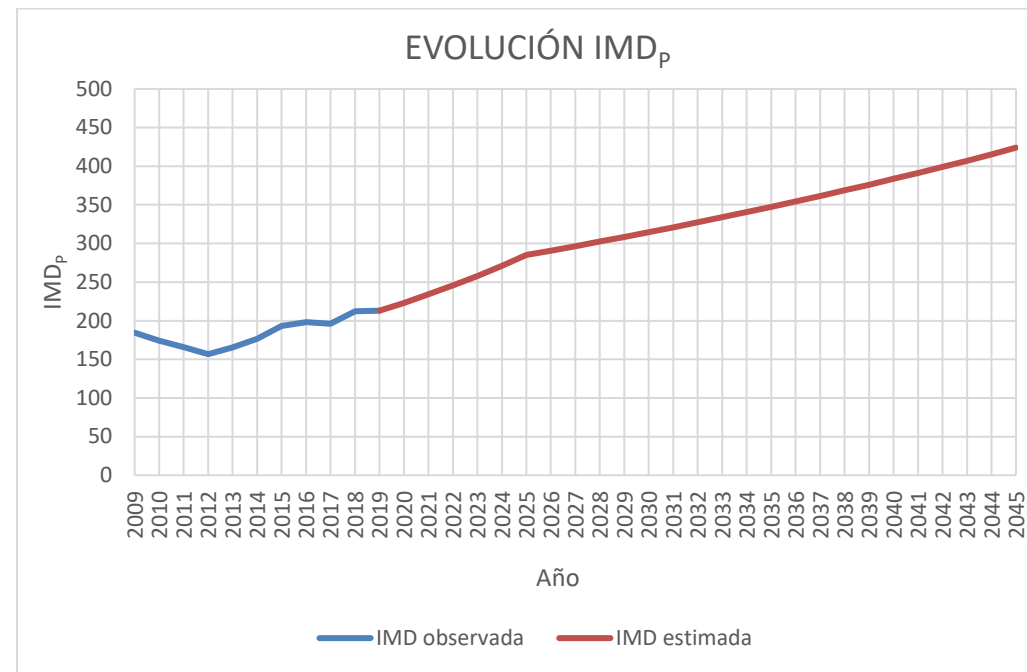
Como puede observarse, la IMD disminuye en la carretera objeto de estudio de forma global en todos los intervalos de tiempo considerados. Únicamente se obtuvieron crecimientos positivos del tráfico de vehículos en años puntuales (2010, 2013). En cuanto a los vehículos pesados se observa sin embargo un crecimiento para todos los períodos considerados, que en términos porcentuales es significativo.

Teniendo en cuenta lo anterior, se ha considerado una tasa de crecimiento para la IMD hasta el año de puesta en servicio (2025) del -2%, ya que se observa relativamente poca dispersión en los valores medios de evolución del tráfico en los tres períodos y se estima que el valor medio refleja de forma razonable la evolución del tráfico en esta carretera. Tras el año de puesta en servicio, y teniendo en cuenta que se están acometiendo actuaciones de mejora en otros tramos de esta misma carretera, se estima que la mejora

conseguida se traducirá en una recuperación de tráfico, por lo que se considera una tasa de crecimiento del 2% a partir de 2025 y hasta el año horizonte. Si bien este valor es significativo, se considera razonable teniendo en cuenta las circunstancias específicas de esta carretera y que una mejora global de la misma puede traducirse en una recuperación del tráfico perdido en los últimos años y su uso en aumento en los años futuros.



En cuanto a los vehículos pesados, se observa que hay mucha más dispersión en la variación anual del tráfico, observándose desde descensos muy acusados hasta aumentos importantes. Los valores medios de la tasa anual obtenidos para los tres periodos no reflejan claramente la evolución de los datos anuales. En cualquier caso, se estima que la tendencia en los próximos años será a aumentar puesto que además del tráfico habitual de camiones se espera que se desarrollen las obras de otros tramos de la carretera BI-630, lo que conllevará probablemente un mayor tránsito de vehículos pesados asociados a esa actividad. Por este motivo, se considera que la tasa de crecimiento para vehículos pesados debe ser diferente a la general y se toma un valor del 5%, del orden de la obtenida para el último año en la estación 65A (que en el caso de los vehículos pesados se considera que puede ser más representativa). A partir del año de puesta en servicio, se ha reducido la previsión de crecimiento al 2%.



Como resultado de todo lo anterior, se obtienen las siguientes intensidades de tráfico:

AÑO	IMD	%PESADOS	IMD _p
2019 (dato de partida)	1959	10,9	213
2025 (año de puesta en servicio)	1735	16,4	285
2045 (año horizonte)	2578	16,4	424

A partir de estos datos se obtienen en los siguientes capítulos el Tráfico de Proyecto y el Nivel de Servicio y la Capacidad de la carretera en el año horizonte, parámetros que se emplean en el diseño del firme y de la sección transversal de la carretera.

En conclusión, con respecto a la tasa de crecimiento anual del tráfico se ha observado que es razonable considerar valores diferentes para el período comprendido entre el momento actual y el año de puesta en servicio y el período posterior hasta el año horizonte. Por otra parte, las particularidades observadas en la evolución del tráfico de vehículos pesados han llevado a considerar unas tasas de crecimiento anual específicas.

Así, en el período 2019 – 2025 se ha considerado que la tasa de crecimiento de la IMD será negativa, continuando con la tendencia observada en aforos, si bien en el caso concreto de los vehículos pesados se ha estimado una tasa de crecimiento positiva y relativamente significativa. De esta forma pretende tenerse en cuenta el probable incremento del tráfico de vehículos pesados asociados a las obras que conllevan las actuaciones de mejora en este tramo y también en los restantes, y que se llevarán a cabo a lo largo de estos años.

Por otra parte, en el período 2025 – 2045 se estima que las actuaciones de mejora ya habrán culminado y es posible que la demanda invierta su tendencia a la baja, mientras que para los vehículos pesados se reduzca el potencial de crecimiento. En este caso se ha considerado razonable adoptar el valor del 2% en ambos casos, valor que es el estipulado en la Norma para el Dimensionamiento de Firmes del País Vasco para carreteras con IMD de vehículos pesados inferior a 1600 veh/h.

PERÍODO	Tasa de crecimiento anual IMD	Tasa de crecimiento anual IMD _p
2019 - 2025	-2%	5%
2025 – 2045	2%	2%

3 OBTENCIÓN DEL TRÁFICO DE PROYECTO

En el presente apartado se obtiene el parámetro Tráfico de Proyecto, TP, definido en la Norma para el Dimensionamiento de Firms de la Red de Carreteras del País Vasco (2012) mediante la siguiente expresión:

$$TP = IMD_P^{APS} \cdot 365 \cdot F \cdot \gamma_T$$

Donde:

IMD_P^{APS} es la Intensidad Media Diaria de vehículos pesados en el año de puesta en servicio del tramo

F es un factor de crecimiento del tráfico de vehículos pesados durante el período de proyecto

γ_T es el coeficiente de ponderación de las cargas de tráfico

A continuación se estiman los valores de estos factores, a partir de los datos disponibles.

3.1 INTENSIDAD MEDIA DIARIA DE VEHÍCULOS PESADOS, IMD_P^{APS}

La Intensidad Media Diaria para vehículos pesados en el año de puesta en servicio se ha estimado en el capítulo 2.

Considerando que el año de puesta en servicio será 2025 y a partir de las estimaciones de evolución del tráfico para vehículos pesados en este intervalo de tiempo, se tiene:

$$IMD_P^{APS} = 285 \text{ veh/día}$$

3.2 FACTOR DE CRECIMIENTO DEL TRÁFICO DE VEHÍCULOS PESADOS, F

El factor de crecimiento F introduce en la estimación del tráfico el incremento de tráfico pesado que se espera que circule por la carretera durante el período de proyecto considerado. Depende de la tasa de crecimiento de este tipo de tráfico y del período de proyecto considerado. Para una tasa de crecimiento constante, está definido por la siguiente expresión:

$$F = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Donde:

r es la tasa de crecimiento anual del tráfico de vehículos pesados estimada

n es el período de proyecto considerado

En este caso, y tal y como se justifica en el capítulo 2, se ha considerado un valor $r = 2\%$ para la tasa de crecimiento anual de tráfico.

En cuanto al período de proyecto considerado (n), se ha tomado $n = 20$ años puesto que ese es el período señalado en la Norma para el Dimensionamiento de Firms de la Red de Carreteras del País Vasco (2012), salvo que se justifique otro valor.

A partir de todo esto, se obtiene un valor del Factor de crecimiento del tráfico de vehículos pesados $F = 25$.

3.3 COEFICIENTE DE PONDERACIÓN γ_T

El coeficiente de ponderación de las cargas de tráfico γ_T viene definido por la expresión:

$$\gamma_T = \gamma_C \cdot \gamma_R \cdot \gamma_L$$

Donde:

γ_C es el coeficiente de asignación del tráfico pesado al carril de proyecto

γ_R es el coeficiente que tiene en cuenta la variabilidad en la estimación del tráfico de proyecto

γ_L es un coeficiente que tiene en cuenta la influencia de la pendiente longitudinal del tramo objeto del proyecto

El valor del coeficiente γ_C se obtiene en este caso de la tabla 5.2 de la Norma para el Dimensionamiento de Firms de la Red de Carreteras del País Vasco (2012):

Tabla 5.2. Estimación del coeficiente γ_C

TIPO DE VÍA	DESCRIPCIÓN	γ_C
DE CALZADA ÚNICA	ANCHURA DE CALZADA	$\geq 6 \text{ m}$
		$\geq 5 \text{ y } < 6 \text{ m}$
		$< 5 \text{ m}$
DE DOBLE CALZADA	CARRILES POR SENTIDO ^(*)	2
		3 ó más

^(*) En la asignación de carriles por sentido no se tendrán en cuenta los carriles de aceleración o deceleración, ramales, etc.

En este caso, la carretera objeto del Proyecto es de calzada única y con anchura superior a 6 m, por lo que el valor de este coeficiente es $\gamma_C = 0,50$.

El coeficiente de mayoración γ_R se utiliza para asumir en el dimensionamiento un nivel de riesgo en la estimación del tráfico de proyecto. El nivel de riesgo será función del tipo de red y de la intensidad del tráfico según se indica en la tabla 5.3 de la Norma para el Dimensionamiento de Firmes de la Red de Carreteras del País Vasco (2012):

Tabla 5.3. Estimación del coeficiente γ_R

TIPO DE RED	IMD de la carretera en el año puesta en servicio	γ_R
PRINCIPAL ^(*)	≥ 20.000	1,4
	10.000 – 20.000	1,3
	< 10.000	1,2
RESTO	≥ 2.000	1,1
	< 2.000	1,0

^(*) Compuesta por todas las carreteras de la red de interés preferente, la red básica y la red complementaria.

En este caso, la carretera objeto pertenece a la Red Básica (por lo tanto, Principal) y la IMD en el año de puesta en servicio será < 10.000 , por lo que el valor de este coeficiente es $\gamma_R = 1,20$.

El coeficiente de mayoración γ_L se utiliza para tener en cuenta en el dimensionamiento la disminución de la rigidez que se produce en los materiales bituminosos en las zonas en rampa como consecuencia de la reducción de la velocidad de los vehículos pesados. De acuerdo con lo señalado en la Norma para el Dimensionamiento de Firmes de la Red de Carreteras del País Vasco (2012), se considera un valor $\gamma_L = 1,3$, puesto que existen a lo largo del presente Proyecto tramos con pendiente superior al 5% de mas de 500 m de longitud.

A partir de todo esto, se obtiene un valor del Coeficiente de ponderación:

$$\gamma_T = 0,50 \cdot 1,20 \cdot 1,30 = 0,78$$

3.4 TRÁFICO DE PROYECTO

El Tráfico de Proyecto que resulta de las valoraciones anteriores es, por tanto:

$$TP = 285 \cdot 365 \cdot 25 \cdot 0,78 = 2,03 \cdot 10^6$$

Este valor se toma como referencia para determinar la Categoría de Tráfico de la carretera objeto del Proyecto y definir en consecuencia el firme correspondiente, tal y como se recoge detalladamente en el Anejo nº8 Estudio de firmes y pavimentos.

4 NIVEL DE SERVICIO

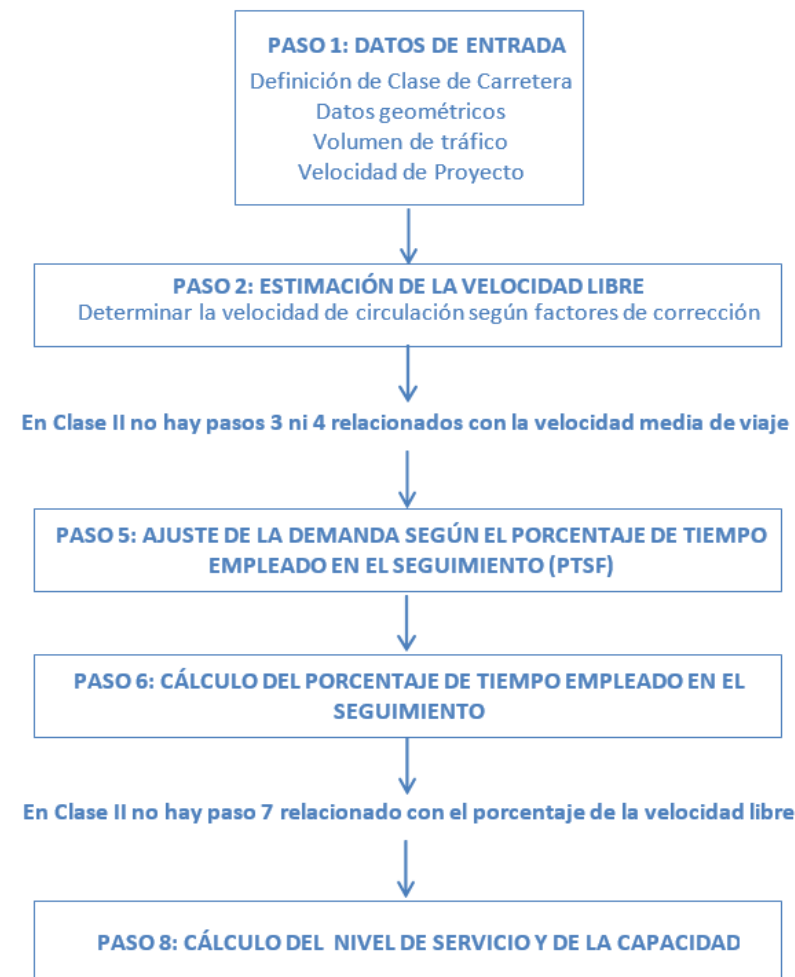
En el presente capítulo se estima el Nivel de Servicio de la carretera proyectada en el año horizonte (2045), con objeto de conocer el comportamiento de la misma y de constatar si es preciso establecer o no medidas destinadas a la mejora de la circulación (como podría ser en este caso la disposición de un carril para vehículos lentos).

4.1 METODOLOGÍA

Para determinar el Nivel de Servicio se ha aplicado la metodología descrita en el capítulo 15 del Manual de Capacidad de Carreteras en su edición de 2010 (Highway Capacity Manual 2010), en adelante HCM2010. Este capítulo corresponde a lo que el HCM2010 denomina “Two-Lanes Highways”, que en la práctica española corresponde a vías de una calzada con dos carriles, uno por cada sentido de circulación.

En este caso se considera que la carretera objeto de Proyecto es de Case II según la definición del HCM2010, ya que se trata de una vía que transcurre por una región de terreno accidentado en la que no se circulará a velocidades altas y no se trata de una arteria principal sino que da acceso a otras carreteras de vertebración territorial.

En el siguiente esquema se recoge el procedimiento desarrollado en el Manual HCM2010 para el cálculo de los Niveles de Servicio, y a continuación se describen los pasos a seguir:



Paso 1: Datos de entrada

Los datos de entrada son:

- Clase de carretera (I, II o III).
- Ancho de carril.
- Ancho de arcén + berma.
- Ancho de arcén.
- Número de intersecciones por kilómetro.
- Velocidad de proyecto.
- Pendiente.
- Longitud del vial.
- IMD en el año horizonte.

- Porcentaje de pesados en el año horizonte.
- Reparto de tráfico por sentido en la hora punta.
- Porcentaje de tráfico en la hora punta del día laborable medio.

Paso 2: Cálculo de la Velocidad Libre, Free Flow Speed (FFS)

Un paso clave en el análisis es el cálculo de la velocidad libre en la vía, entendiendo como tal la velocidad media de los coches cuando el tráfico es ligero (inferior a 1.000 vehículos/h/carril).

Si no se cuenta con medidas directas en campo, como en este caso, puede estimarse según la ecuación 15-2 del Manual:

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$$

Donde:

FFS es la velocidad estimada en flujo libre, en mi/h.

BFFS es la velocidad a la que está limitada la vía, en mi/h. Se considera en este caso la velocidad de proyecto.

f_{LS} es un parámetro de ajuste que depende de la anchura del carril y del arcén, en mi/h. Se obtiene de la Tabla 15-7 del Manual.

f_A es un parámetro de ajuste que depende del número de accesos a la vía por milla, en mi/h. Se obtiene de la Tabla 15-8 del Manual.

Paso 5: Ajuste de la demanda en función del tiempo empleado en el seguimiento, Percent Time-Spent-Following (PTSF)

Para las carreteras de Clase II, se calcula la demanda en función del porcentaje de tiempo empleado en el seguimiento de vehículos que circulan a una velocidad más lenta. La demanda se puede calcular para los dos sentidos de circulación. En este caso, dado que se considera la hipótesis de que en la hora punta un sentido estará mas cargado que el otro, el análisis se realizará para el carril mas cargado.

En el Manual de Capacidad se recoge la fórmula 15-7 mediante la que puede estimarse la demanda de la siguiente forma:

$$v_{i,PTSF} = \frac{V_i}{PHF \cdot f_{g,PTSF} \cdot f_{HV,PTSF}}$$

Donde:

$v_{i,PTSF}$ es la demanda estimada para el sentido “i” según la velocidad media de recorrido (pc/h).

“i”: denominación genérica que pasa a ser “d” para referirse al sentido considerado en el análisis y “o” para referirse al sentido contrario.

V_i es el flujo o volumen de tráfico horario en el sentido “i”.

PHF: es el factor de hora punta que representa la variación del tráfico en una hora. Si no se cuenta con datos de campo, puede considerarse el valor propuesto en la Tabla 15-5 del Manual.

$f_{g,PTSF}$ es un factor de corrección que depende del tipo de terreno. Se tomará el valor correspondiente de la Tabla 15-17 del Manual, por tratarse de un tramo con pendiente ascendente.

$f_{HV,PTSF}$ es un factor de corrección que depende del número de vehículos pesados que circulan, el cual se define mediante la Fórmula 15-4 del Manual:

$$f_{HV,PTSF} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

Donde:

P_T : Porcentaje de vehículos pesados.

E_T : Pasajeros equivalentes de vehículos pesados, según valor de la Tabla 15-19 del Manual, por tratarse de un tramo con pendiente ascendente.

P_R : Porcentaje de vehículos de recreo.

E_R : Pasajeros equivalentes de vehículos de recreo, según valor de la Tabla 15-19 del Manual, por tratarse de un tramo con pendiente ascendente.

Paso 6: Cálculo del porcentaje de tiempo empleado en el seguimiento, Percent Time-Spent-Following (PTSF)

El porcentaje de tiempo empleado en el seguimiento se calcula mediante la ecuación 15-9 del Manual:

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np,PTSF} \cdot \left(\frac{v_{d,PTSF}}{v_{d,PTSF} + v_{o,PTSF}} \right)$$

Donde:

$PTSF_d$ es el porcentaje de tiempo empleado en el seguimiento en el sentido del análisis.

$BPTSF_d$ porcentaje básico de tiempo empleado en el seguimiento en el sentido del análisis, el cual se estima mediante la ecuación 15-10 del Manual:

$$BPTSF_d = 100 \cdot [1 - \exp(a \cdot v_d^b)]$$

Siendo a y b constantes cuyos valores se toman de la Tabla 15-20 del Manual y v_d es el flujo de tráfico en el sentido del análisis.

$F_{np,PTSF}$ es el factor de corrección por el porcentaje la longitud del tramo donde está prohibido adelantar, cuyo valor se toma de la Tabla 15-21 del Manual.

$v_{d,PTSF}$ es el flujo de tráfico para la PTSF en el sentido “d” considerado (pc/h).

$v_{o,PTSF}$ es el flujo de tráfico para la PTSF en el sentido “o” contrario al considerado (pc/h).

Paso 8: Determinación del Nivel de Servicio y de la Capacidad

En condiciones ideales, una vía de dos carriles tiene una capacidad de 1.700 pc/h por sentido, pero puesto que en este caso no se dan dichas condiciones ideales se calcula la capacidad correspondiente a la misma mediante la Fórmula 15-13 del Manual, que se emplea para carreteras de Clase II:

$$C_{d,PTSF} = 1.700 \cdot f_{g,PTSF} \cdot f_{HV,PTSF}$$

Finalmente, el Nivel de Servicio para este las vías de Clase II está definido en función del porcentaje de tiempo empleado en el seguimiento PTSF que se obtiene como se ha indicado en el paso 7. En la Tabla 15-3 del Manual se establecen los Niveles de Servicio de la siguiente forma:

Nivel de Servicio	Clase II. PTSF (%)
A	≤ 40
B	$> 40 - 55$
C	$> 55 - 70$
D	$> 70 - 85$
E	> 85

Así, a partir del valor de PTSF obtenido en el análisis, se puede determinar también el Nivel de Servicio de la carretera proyectada en el año horizonte y sacar las conclusiones oportunas.

4.2 CÁLCULO DEL NIVEL DE SERVICIO

Siguiendo la metodología descrita anteriormente, se calcula el Nivel de Servicio de la carretera proyectada considerando el sentido más cargado de la calzada.

Paso 1: Datos de entrada

- Clase II de carretera convencional.

- Carril de ancho 3,5 m (11,5 ft).
- Ancho de arcén = 1,0 m (3,3 ft).
- 3 intersecciones por kilómetro (4,9 intersecciones por milla). A lo largo del tramo, de 3,964 km de longitud, hay 12 intersecciones o accesos.
- Velocidad de proyecto: 60 km/h.
- Pendiente: oscila entre el -3,8% y el -7,5% en el sentido de PKs crecientes.
- Longitud del vial: 3.964 metros.
- IMD en el año horizonte: 2.578 veh/día, tal y como se ha estimado en el capítulo 2 del presente Anejo.
- Porcentaje de pesados: 16,4%, tal y como se ha estimado para el año horizonte en el capítulo 2 del presente Anejo.
- Reparto por sentidos en hora punta del 60/40. Dada la ausencia de datos reales, se ha considerado el valor propuesto en la tabla 15-5 del Manual.
- Porcentaje de tráfico en la hora punta del día laborable medio: no se tienen datos directos, por lo que se ha considerado el 8% como media de los valores registrados en las estaciones de aforo permanentes en 2019.

A partir de estos últimos datos, se estima la demanda horaria para el año horizonte en el carril mas cargado:

$$V_d = IMD_{2045} \cdot 0,60 \cdot 0,08 = 2.578 \cdot 0,60 \cdot 0,08 = 124 \text{ veh/h}$$

Y la demanda horaria para el año horizonte en el carril menos cargado:

$$V_o = IMD_{2045} \cdot 0,40 \cdot 0,08 = 2.481 \cdot 0,40 \cdot 0,08 = 82 \text{ veh/h}$$

Paso 2: Cálculo de la Velocidad Libre, Free Flow Speed (FFS)

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$$

Se considera que la velocidad básica de circulación es la velocidad de proyecto (60 km/h), en mi/h:

$$BFFS = 37,3 \text{ mi/h}$$

Considerando ancho de carril de 11,5 ft y ancho de arcén de 3,3 ft, se obtiene en la Tabla 15-7 el valor de f_{LS} :

$$f_{LS} = 3,0 \text{ mi/h}$$

Considerando cinco intersecciones por milla en el tramo objeto de análisis, se obtiene interpolando los valores de la Tabla 15-8 el valor de f_A :

$$f_A = 1,3 \text{ mi/h}$$

Por tanto:

$$FFS = 37,3 - 3,0 - 1,3 = 33,0 \text{ mi/h}$$

Paso 5: Ajuste de la demanda en función del tiempo empleado en el seguimiento, Percent Time-Spent-Following (PTSF)

Nos centramos en estimar la demanda en función del PTSF para el carril mas cargado (60%) en el año horizonte:

$$v_{d,PTSF} = \frac{V_d}{PHF \cdot f_{g,PTSF} \cdot f_{HV,PTSF}}$$

V_d es la intensidad de tráfico horaria en el carril más cargado, en el año horizonte. Este valor se ha estimado con los datos de partida:

$$V_d = 124 \text{ veh/h}$$

Para el factor de hora punta, PHF, se adopta el valor recomendado en la Tabla 15-5 del Manual:

$$PHF = 0,88$$

Considerando que la carretera tiene pendiente ascendente (Upgrade) y considerando el tramo más desfavorable (al 7,5% en 0,30 m de longitud), se obtiene el valor de $f_{g,PTSF}$ en la tabla 15-17 del Manual:

$$f_{g,PTSF} = 1$$

En cuanto al factor $f_{HV,PTSF}$, se obtiene mediante la expresión:

$$f_{HV,PTSF} = \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1) + P_R \cdot (E_R - 1)}$$

En este caso, el porcentaje de camiones P_T en el año horizonte estimado es:

$$P_T = 16,4\%$$

El valor de la constante E_T se obtiene en la Tabla 15-19 considerando que la carretera tiene pendiente ascendente (Upgrade) y que el tramo más desfavorable presenta una pendiente del 7,5% ($\geq 6,5\%$) en una

longitud de 0,3 millas ($\leq 0,50 \text{ mi}$) para una demanda direccional de tráfico horario en el carril mas cargado y el año horizonte de 119 veh/h:

$$E_T = 1,0$$

No se tiene en cuenta en este caso la existencia de vehículos de recreo ($P_R = 0\%$) por lo que no es preciso estimar la constante E_R .

De este modo, se tiene:

$$f_{HV,PTSF} = \frac{1}{1 + 0,164 \cdot (1 - 1)}$$

$$f_{HV,PTSF} = 1$$

Por tanto:

$$v_{d,PTSF} = \frac{124}{0,88 \cdot 1 \cdot 1}$$

$$v_{d,PTSF} = 141 \text{ vi/h}$$

Donde vi son “vehículos ligeros equivalentes”: se convierten los vehículos pesados en un número de vehículos ligeros que tengan el mismo efecto sobre el tráfico, resultando así al hacer el cómputo total dicho concepto.

Se estima también la demanda en función del PTSF para el carril menos cargado, puesto que este valor se requerirá en el paso siguiente:

$$v_{o,PTSF} = \frac{V_o}{PHF \cdot f_{g,PTSF} \cdot f_{HV,PTSF}}$$

V_o es la intensidad de tráfico horaria en el carril menos cargado, en el año horizonte. Este valor se ha estimado con los datos de partida:

$$V_o = 82 \text{ veh/h}$$

Para el factor de hora punta, PHF, se adopta el valor recomendado en la Tabla 15-5 del Manual:

$$PHF = 0,88$$

Considerando en este caso que la carretera tiene pendiente descendente (Downgrade) y una demanda horaria de tráfico direccional de 82 veh/h, se obtiene el valor de $f_{g,PTSF}$ en la tabla 15-16 del Manual:

$$f_{g,PTSF} = 1$$

En cuanto al factor $f_{HV,PTSF}$, se obtiene mediante la expresión:

$$f_{HV,PTSF} = \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1) + P_R \cdot (E_R - 1)}$$

En este caso, el porcentaje de camiones P_T considerado en el año horizonte es:

$$P_T = 16,4\%$$

El valor de la constante E_T se obtiene en la Tabla 15-18 considerando que la carretera tiene pendiente descendente (Downgrade) y una demanda direccional de tráfico horario en el carril mas cargado y el año horizonte de 82 veh/h:

$$E_T = 1,1$$

No se tiene en cuenta en este caso la existencia de vehículos de recreo ($P_R = 0\%$) por lo que no es preciso estimar la constante E_R .

De este modo, se tiene:

$$f_{HV,PTSF} = \frac{1}{1 + 0,164 \cdot (1,1 - 1)}$$

$$f_{HV,PTSF} = 0,98$$

Por tanto:

$$v_{d,PTSF} = \frac{82}{0,88 \cdot 1 \cdot 0,98}$$

$$v_{o,PTSF} = 95 \text{ vl/h}$$

Paso 6: Cálculo del porcentaje de tiempo empleado en el seguimiento, Percent Time-Spent-Following (PTSF)

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np,PTSF} \cdot \left(\frac{v_{d,PTSF}}{v_{d,PTSF} + v_{o,PTSF}} \right)$$

Se estima el porcentaje básico de tiempo empleado en el seguimiento $BPTSF_d$ para el carril más cargado, que es el analizado en este caso:

$$BPTSF_d = 100 \cdot [1 - \exp(a \cdot v_d^b)]$$

Los coeficientes a y b constantes cuyos valores se toman interpolando entre los valores de la Tabla 15-20 del Manual, para una demanda en el carril contrario al del análisis (v_o). El valor de v_o se ha obtenido a partir de los datos de partida:

$$v_o = 95 \text{ vl/h } (\leq 200 \text{ vl/h}) \rightarrow a = -0,0014 \quad b = 0,973$$

El valor de v_d ya se ha estimado anteriormente:

$$v_d = 141 \text{ vl/h}$$

De este modo, se tiene:

$$BPTSF_d = 100 \cdot [1 - \exp(-0,0014 \cdot 141^{0,973})] \rightarrow BPTSF_d = 15,8$$

Considerando una demanda total (en los dos sentidos) de 236 vl/h, una prohibición de adelantamiento en el 85% del tramo proyectado y un reparto por sentidos 60/40, se obtiene el valor de $f_{np,PTSF}$ en la Tabla 15-21 del Manual:

$$f_{np,PTSF} = 53,1$$

El valor de $v_{d,PTSF}$ se ha estimado en el paso anterior:

$$v_{d,PTSF} = 141 \text{ vl/h}$$

El valor de $v_{o,PTSF}$ se ha estimado en el paso anterior:

$$v_{o,PTSF} = 95 \text{ vl/h}$$

Por tanto:

$$PTSF_d = 15,8 + 53,1 \cdot \left(\frac{141}{141 + 95} \right)$$

$$PTSF_d = 47,5$$

Paso 8: Determinación del Nivel de Servicio y de la Capacidad

La capacidad en el sentido analizado es:

$$C_{d,PTSF} = 1.700 \cdot f_{g,PTSF} \cdot f_{HV,PTSF}$$

El valor de $f_{g,PTSF}$ se ha obtenido en el Paso 5:

$$f_{g,PTSF} = 1$$

El valor de $f_{HV,PTSF}$ se ha obtenido en el Paso 5:

$$f_{HV,PTSF} = 1$$

Por tanto,

$$C_{d,PTSF} = 1.700 \text{ v/h}$$

Por tanto, queda comprobado que la capacidad es superior a la demanda en este caso.

En cuanto al Nivel de Servicio, de acuerdo con lo recogido en el HCM2010, para carreteras de Clase II se determina a partir del $PTSF_d$. Según la tabla 15-3 del Manual, para un valor $PTSF_d = 47,5$ se tiene **Nivel de Servicio B** ($PTSF$ entre 40 y 55).

Según la tabla 7.1 "Dimensiones de la Sección Transversal" de la Norma de Trazado 3.1-IC, para carreteras convencionales, con velocidad de proyecto 60 km/h, el Nivel de Servicio mínimo en la hora de proyecto en el año horizonte debe ser E. Por tanto, se cumple con lo indicado en dicha norma.

4.3 CARRIL ADICIONAL EN RAMPA

Tal y como se recoge en el Capítulo 8.5.1 de la Norma de Trazado 3.1-IC del Ministerio de Fomento, el establecimiento de un carril adicional en rampa en una carretera convencional exigirá el cumplimiento simultáneo de las tres condiciones siguientes:

1. La intensidad de vehículos en el sentido de subida es mayor que doscientos (> 200) vehículos por hora.
2. La intensidad de vehículos pesados en el sentido de subida es mayor que veinte (> 20) vehículos por hora.
3. Se produce alguna de las tres circunstancias siguientes:
 - Reducción de la velocidad de los vehículos pesados en quince kilómetros por hora o más (≥ 15 km/h) respecto de la velocidad de proyecto (V_p), sin considerar velocidades iniciales mayores que cien kilómetros por hora (≤ 100 km/h). La reducción de velocidad se podrá estimar de acuerdo con las curvas de las Figuras 8.13 y 8.14.
 - Nivel de servicio D o E en la rampa.
 - Pérdida de dos niveles de servicio respecto al existente en el tramo de aproximación.

En este caso, la condición 1 no se cumple ya que se ha estimado una intensidad de tráfico en el carril de subida de 124 v/h en el año horizonte. Por otra parte, aplicando el % de pesados tomado como referencia para el análisis (16,4%) se obtiene una intensidad de vehículos pesados en el sentido de subida de 20

veh/h, por lo que nos encontramos en el límite en el caso de la condición 2. Finalmente, en cuanto a la condición 3, se da la circunstancia de que la velocidad de los vehículos pesados se reduce más de 15 km/h respecto a la velocidad de proyecto, por lo que sí se cumple dicha condición.

En conclusión, teniendo en cuenta lo indicado en la Norma 3.1-IC, **no es necesario disponer un carril adicional en rampa** en este caso dado que no se cumplen simultáneamente las tres condiciones establecidas en la norma.