

3.6.6.1.5.2. Determinar el factor de ajuste por vehículos pesados

Como en el caso del factor de ajuste para el ATS los factores de ajuste por la pendiente están dispuestos en base al volumen de demanda, la pendiente y el tipo de terreno

Para determinar el factor de ajuste por vehículos pesados se tiene que realizar dos pasos:

- Se determina el factor de equivalencia para vehículos pesados E_T y vehículos recreacionales (E_R)
- Se calcula el factor de ajuste por vehículos pesados con la Ecuación 12

$$f_{HV,PTSF} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad \text{Ecuación 12}$$

El análisis empezó determinando el factor de equivalencia para el sentido de análisis, el cual es un descenso específico con una pendiente de 5.33%, los datos de la interpolación se obtienen de la **Tabla 25** donde se recomienda redondear próximo al 0.1 y se obtiene los resultados como se muestra a continuación:

Tabla 213: Interpolación del factor de equivalencia en PTSF en el sentido de análisis-2021

Tipo de vehículo	Volumen de Demanda	Terreno Ondulado
Pesado (ET)	300	1.7
	351	1.6
	400	1.6
Recreativo (ER)	Todos los Flujos	1.0

Fuente: Elaboración Propia

Obteniendo así los factores de equivalencia $E_R = 1.0$ y $E_T = 1.6$

Después se realiza el análisis para el sentido contrario el cual es un ascenso específico con una pendiente de 5.33% y un volumen de demanda de 541 veh/h, los datos de la interpolación se obtienen para los vehículos recreacionales (ER) y para los pesados (ET) de la **Tabla 26**

Tabla 214: Interpolación de factores de equivalencia en PTSF en el sentido de opuesto-2021

Pendiente (%)	Longitud (mi)	ET Demanda direccional		
		500	541	600
$\geq 4.5 < 5.5$	1.5	1.2	1.2	1.2
	1.864		1.4	
	2.00	1.5	1.5	1.4
Todos	Todos los flujos	ER 1.0		

Fuente: Elaboración Propia

Obteniendo así los factores de equivalencia $E_R = 1$ y $E_T = 1.2$

Una vez determinados los factores de equivalencia se desarrolla la **Ecuación 8**

Para el sentido de análisis se tienen los siguientes datos:

PT=0.17 en decimales PR= 0

ET=1.6 ER=1

Aplicados resultan:

$$f_{HV,ATS} = \frac{1}{1 + 0.17(1.6 - 1) + 0(1 - 1)} = \frac{1}{1.102} = 0.91$$

Y se obtiene un $f_{HV,ATS}$ de 0.91

Para el sentido opuesto se tienen los datos

PT=0.17 en decimales PR= 0

ET=1.4 ER=1

$$f_{HV,ATS} = \frac{1}{1 + 0.17(1.4 - 1) + 0(1 - 1)} = \frac{1}{1.068} = 0.94$$

Y se obtiene un $f_{HV,ATS}$ de 0.97

3.6.6.1.5.3. Ajuste del volumen de demanda

Una vez determinado todos los factores de ajuste se utiliza la ecuación para cada sentido de la carretera:

$$v_{i,PTSF} = \frac{V_i}{PHF \times f_g,PTSF \times f_{HV,PTSF}} \quad \text{Ecuación 11}$$

Siendo $v_{d,ATS}$ en sentido de análisis y $v_{o,ATS}$ en sentido opuesto



Para el sentido de análisis se tienen

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

Donde $V_d = 351$ (veh/h)

$$f_{g,PTSF} = 0.88$$

$$f_{HV,PTSF} = 0.91$$

$$PHF = 1$$

$$v_{d,ATS} = \frac{351}{1 * 0.88 * 0.91} = \frac{351}{0.8008} = 438.31 = 438 \text{ vl/h}$$

Y para el sentido opuesto se tiene:

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

Donde $V_o = 541$ (veh/h)

$$f_{g,PTSF} = 1.00$$

$$f_{HV,PTSF} = 0.940$$

$$PHF = 1$$

$$v_{o,ATS} = \frac{541}{1 * 1.00 * 0.94} = \frac{541}{0.94} = 575.532 = 576 \text{ vl/h}$$

3.6.6.1.6. Paso 6 Cálculo del Porcentaje de tiempo usado viajando en colas (PTSF)

El proceso de cálculo para determinar el PTSF se realizó a partir de la siguiente ecuación

$$PTSF_i = BPTSF_i + f_{np,PTSF} \left(\frac{v_{d,PTSF}}{v_{d,PTSF} + v_{o,PTSF}} \right) \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde primeramente se debe determinar la base del tiempo perdido en colas BPTSF y el factor de ajuste por zonas de no rebase $f_{np,PTSF}$, todos los demás valores ya han sido determinados en pasos anteriores

3.6.6.1.6.1. Base del Porcentaje de tiempo usado viajando en colas BPTSF

Para determinar el BPTSF se utiliza la **Ecuación 14**

$$BPTSF_i = 100[1 - \exp(av_d^b)] \quad \text{Ecuación 14}$$

Para determinar los valores de las constantes a y b se interpolan los datos de la **Tabla 27** y como dato de ingreso es necesario el volumen de demanda Ajustado Opuesto, v_o

Se calcula primeramente para el sentido de análisis, el cual de acuerdo con el paso 5 se tiene un volumen de demanda ajustado opuesto de 576 vl/h, obteniendo así la tabla de interpolación:

Tabla 215: Interpolación de los coeficientes para el BPTSF en el sentido Hacia Urubamba 2021

Volumen Ajustado Opuesto, v_o	Coficiente a	Coficiente b
400	-0.0022	0.923
576	-0.0032	0.8764
600	-0.0033	0.87

Fuente: Elaboración Propia

Obteniendo así un coeficiente $a=-0.0032$ y un coeficiente $b=0.8764$

Luego se procede a calcular en el sentido opuesto el cual tiene un volumen de demanda ajustado opuesto de 438 vl/h que da como resultado

Tabla 216: Interpolación de los coeficientes para el BPTSF en el sentido Hacia Cusco 2021

Volumen Ajustado Opuesto, v_o	Coficiente a	Coficiente b
400	-0.0022	0.923
438	-0.0024	0.9129
600	-0.0033	0.870

Fuente: Elaboración Propia

Obteniendo así un coeficiente $a=-0.0024$ y un coeficiente $b=0.9129$



El siguiente paso consistió en realizar el cálculo del BPTSF mediante la **Ecuación 14**

$$BPTSF_d = 100[1 - \exp(av_d^b)]$$

Dónde: $v = 438$

$$a = -0.0032$$

$$b = 0.8764$$

$$BPTSF_d = 100[1 - \exp(-0.0032 * 438^{0.8764})]$$

$$BPTSF_d = 100[1 - 0.5164] = 48.4 \text{ mi/h}$$

Obteniendo para el sentido de análisis un valor de 48.4 mi/h y para el sentido opuesto se realizó el mismo procedimiento:

$$BPTSF_o = 100[1 - \exp(av_o^b)]$$

Dónde: $v = 576$

$$a = -0.0024$$

$$b = 0.9129$$

$$BPTSF_d = 100[1 - \exp(-0.0024 * 576^{0.9129})]$$

$$BPTSF_d = 100[1 - 0.4517] = 54.8 \text{ mi/h}$$

Obteniendo un valor de 54.8 mi/h

El siguiente paso consiste en determinar el factor de ajuste por zonas de no adelantamiento

3.6.6.1.6.2. Factor de ajuste por zonas de no adelantamiento

Este factor se interpola de la **Tabla 28** , cabe recalcar que este factor es uno solo para ambos sentidos de análisis, los datos de ingreso son la suma de los volúmenes ajustado de demanda en ambos sentidos v_d+v_o (vl/h), el porcentaje de zonas de no adelantamiento y la división direccional de los carriles, se recomienda redondear el valor determinado al 0.1.

Se realizó un único análisis en el cual la suma de los volúmenes de demandada ajustados $v_d+v_o = (438+576) = 1014$ vl/h, en este tramo el porcentaje de zonas de no adelantamiento es 100%, y se tiene una división direccional de 61/39, la interpolación se realiza tres veces utilizando el valor inmediato superior de la división direccional =70 y el valor inmediato inferior =60

Tabla 217: Interpolación del factor de ajuste por zonas de no adelantamiento para PTSF en ambos sentidos -2021

Volumen de Demanda Ajustado En ambos sentidos v_i+v_o (vl/h)	Para ambas direcciones de análisis:		
	Porcentaje de zona de no adelantamiento		
	100.00	100.00	100.00
División direccional	60		
800	41.3	41.3	41.3
1014		36.3	
1400	27.3	27.3	27.3
División direccional	61		
1014		35.8	
División direccional	70		
800	35.5	35.5	35.5
1014		30.8	
1400	22.3	22.3	22.3

Fuente: Elaboración Propia

Dando como resultado un $f_{np,PTSF}=35.80$

**3.6.6.1.6.3. Determinar el Porcentaje de tiempo usado viajando en colas PTSF**

Una vez determinado los datos de ingreso se utiliza la **Ecuación 13**

Donde para el sentido de análisis se tiene

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

$$BPTSF_d = 48.40$$

$$f_{np,PTSF} = 35.80$$

$$v_{d,PTSF} = 438$$

$$v_{o,PTSF} = 576$$

$$PTSF_d = 48.40 + 35.80 \left(\frac{438}{438 + 576} \right) = 48.4 + 15.5 = 63.9\%$$

Obteniendo así un $PTSF_d = 63.9\%$

El cálculo para el sentido opuesto vendría a ser:

$$PTSF_o = BPTSF_o + f_{np,PTSF} \left(\frac{v_{o,PTSF}}{v_{d,PTSF} + v_{o,PTSF}} \right)$$

$$BPTSF_o = 54.80$$

$$f_{np,PTSF} = 35.80$$

$$v_{d,PTSF} = 576$$

$$v_{o,PTSF} = 438$$

$$PTSF_o = 54.8 + 35.80 \left(\frac{576}{576 + 438} \right) = 54.8 + 20.3 = 75.1\%$$

Obteniendo así un $PTSF_o = 75.10\%$

3.6.6.1.7. Paso 7 Estimando el PFFS

El porcentaje de velocidad a flujo libre solo se aplica para carreteras de Clase III

3.6.6.1.8. Paso 8 Determinar el Nivel de Servicio y la Capacidad

Los criterios de niveles de servicio se muestran en la **Tabla 29** los cuales deben ser comparados. En este análisis usan como medidas de eficacia el ATS (mi/h) y el PTSF (%)

Para el sentido de análisis se tiene

ATS=39.9 (mi/h) y PTSF=63.9 (%), los cuales ubicándolos en la tabla se encuentran en:

Tabla 218: Nivel de servicio en el sentido de Hacia Urubamba en el 2021

NS	ATS	PTSF	NS
A	>55	≤ 35	A
B	>50 - 55	> 35 - 50	B
C	>45-50	> 50 - 65 63.9	C
D	>40-45	> 65 -80	D
E	≤40 39.9	> 80	E
Nivel de Servicio Crítico			
E			

Fuente: Elaboración Propia

De los dos niveles de servicio se determinó uno E según el ATS y un C según el PTSF, se elige el más crítico obteniendo así un nivel de servicio E

El mismo procedimiento se realiza para el sentido opuesto con los datos de

ATS=32.20 (mi/h) y PTSF=75.1(%)

Tabla 219: Nivel de servicio en el sentido Hacia Cusco en el 2021

NS	ATS	PTSF	NS
A	>55	≤ 35	A
B	>50 - 55	> 35 - 50	B
C	>45-50	> 50 - 65	C
D	>40-45	> 65 -80 75.1	D
E	≤40 32.2	> 80	E
Nivel de Servicio Crítico			
E			

Fuente: Elaboración Propia

Este mismo procedimiento se aplica a todos los tramos, el análisis computacional se encuentra en el Anexo N°4: Cálculo computacional de la capacidad y nivel de servicio con la metodología del HCM 2010 para carreteras de dos carriles y de carriles de adelantamiento: carretera Chinchero – Urubamba, año 2021 con el inicio de operaciones del Aeropuerto Internacional de Chinchero

Los volúmenes de demanda proyectados se extraen del **Ítem 3.6.4 Análisis de tránsito proyectado**. El promedio de resultados se muestra a continuación:

Tabla 220: Promedio de nivel de servicio para la carretera de dos carriles en el año 2021

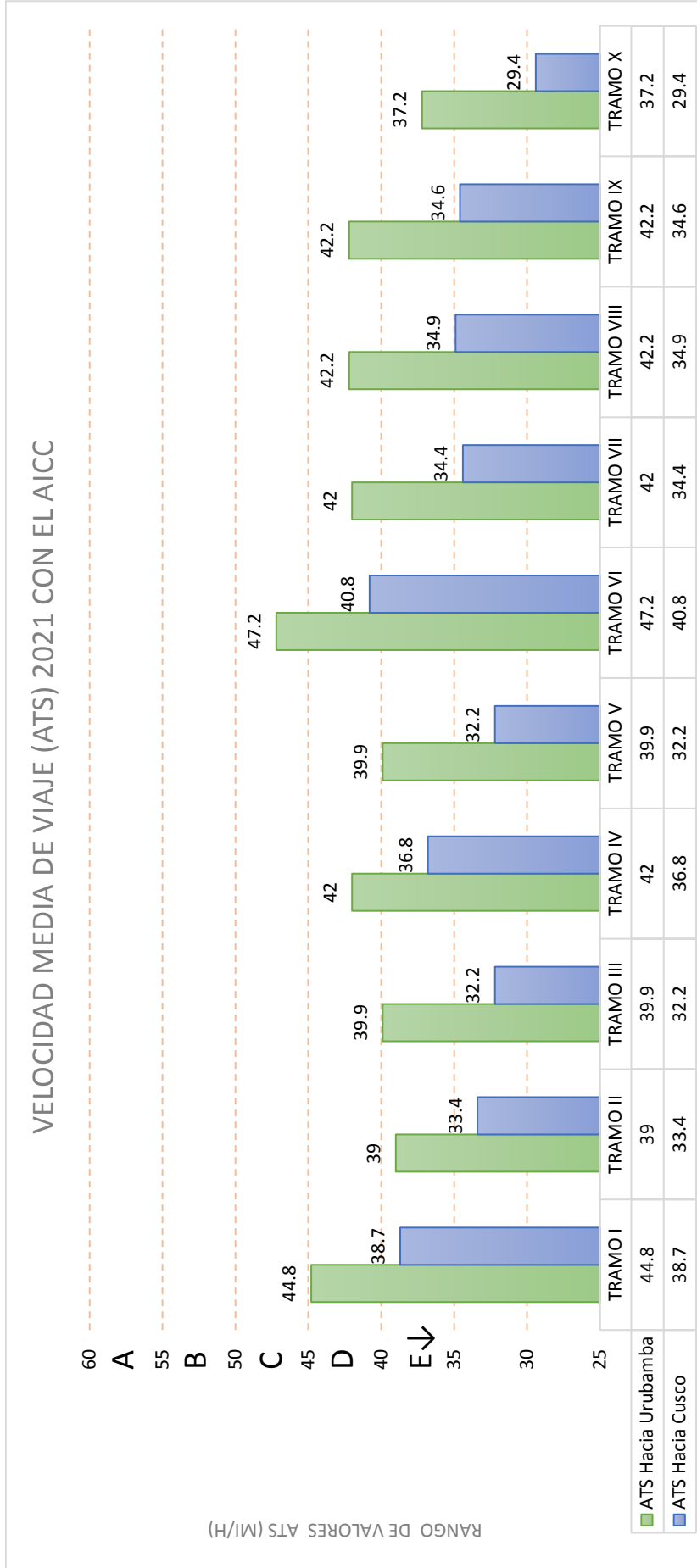
Nivel de servicio carretera de dos carriles en el año 2021						
	Hacia Urubamba	Hacia Cusco	ATS		PTSF	
			Hacia Urubamba	Hacia Cusco	Hacia Urubamba	Hacia Cusco
TRAMO I	663	775	44.8	38.7	75.6	81.0
TRAMO II	663	775	39.0	33.4	76.6	81.5
TRAMO III	351	541	39.9	32.2	63.9	75.1
TRAMO IV	351	541	42.0	36.8	55.7	76.4
TRAMO V	351	541	39.9	32.2	63.9	75.1
TRAMO VI	318	457	47.2	40.8	63.5	73.7
TRAMO VII	318	457	42.0	34.4	64.9	68.5
TRAMO VIII	318	457	42.2	34.9	63.3	66.7
TRAMO IX	318	457	42.2	34.6	64.3	68.0
TRAMO X	318	457	37.2	29.4	62.6	74.3
			PROMEDIO		PROMEDIO	
			41.64	34.74	65.43	74.03
			D	E	D	D

Fuente: Elaboración propia

3.6.6.2. Diagrama

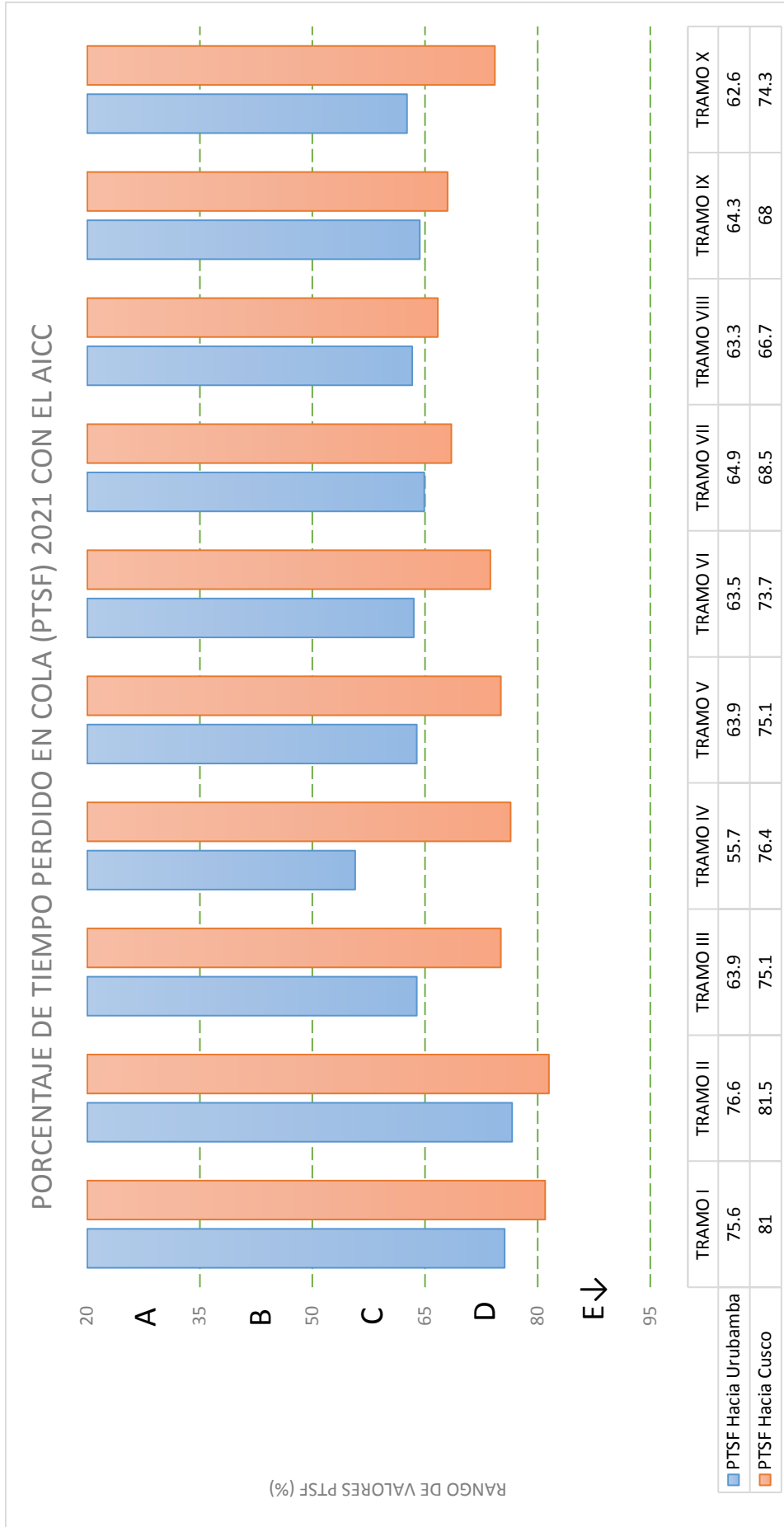
Los siguientes diagramas muestran las medidas de eficacia ATS Y PTSF obtenidas en cada sentido de análisis y en cada tramo, y el rango de nivel de servicio en cual se encuentran una vez el Aeropuerto Internacional de Chinchero de Cusco inicie sus operaciones

Tabla 221: Resultados del análisis de nivel de servicio en ATS de la carretera de dos carriles Chinchero-Urubamba en el año 2021



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 222: Resultados del análisis de nivel de servicio en PTSF de la carretera de dos carriles Chinchero-Urubamba en el año 2021



Fuente: Elaboración Propia

3.6.6.3. Análisis de la prueba

Tabla 223: Resultados del nivel de servicio en el año 2021 de la carretera Chinchero – Urubamba

	ATS		PTSF		Nivel de Servicio Crítico	
	Hacia Urubamba	Hacia Cusco	Hacia Urubamba	Hacia Cusco	Hacia Urubamba	Hacia Cusco
TRAMO I	D	E	D	E	D	E
TRAMO II	E	E	D	E	E	E
TRAMO III	E	E	C	D	E	E
TRAMO IV	D	E	C	D	D	E
TRAMO V	E	E	C	D	E	E
TRAMO VI	C	D	C	D	C	D
TRAMO VII	D	E	C	D	D	E
TRAMO VIII	D	E	C	D	D	E
TRAMO IX	D	E	C	D	D	E
TRAMO X	E	E	C	D	E	E

Fuente: Elaboración Propia

De estos resultados se concluye que si bien el nivel de servicio promedio se ha mantenido con respecto a ATS; Hacia Urubamba D y Hacia Cusco E, se observó una reducción de los niveles de servicio con respecto a PTSF; Hacia Urubamba y hacia Cusco un nivel D.

Se observó que el deterioro significativo se da en el tramo que interseca con el Aeropuerto Internacional de Chinchero siendo este un nivel de servicio E, esto debido principalmente al crecimiento vehicular producto del tránsito proyectado.



3.6.7. Nivel de servicio de la carretera con carriles de adelantamiento durante el inicio de operación del aeropuerto Internacional Chinchero

3.6.7.1. Procesamiento

El siguiente análisis se hizo con el motivo de cumplir con los objetivos de buscar una sección transversal que optimice el nivel de servicio de la carretera Chinchero- Urubamba cuando el AICC inicie sus operaciones.

3.6.7.1.1. Paso 1 realizar un análisis sin el carril de adelantamiento

El primer paso se realizó previamente en el ítem 3.6.6. en el cual se obtuvo los siguientes datos:

Para el sentido de análisis:

- Volumen de demanda (V) = 351 veh/h
- Volumen de demanda Ajustado para ATS (vd,ATS)=472 vl/h
- Volumen de demanda Ajustado para PTSF (vd,PTSF)=438 vl/h
- El flujo a velocidad libre (FFS)=57.353 mi/h
- Velocidad Media (ATS)=39.9 mi/h
- Porcentaje de tiempo perdido en cola (PTSF)=63.9%

Para el sentido opuesto:

- Volumen de demanda (V) = 541 veh/h
- Volumen de demanda Ajustado para ATS (vd,ATS)=1689 vl/h
- Volumen de demanda Ajustado para PTSF (vd,PTSF)=576 vl/h
- El flujo a velocidad libre (FFS)=51.363 mi/h
- Velocidad Media (ATS)=32.2 mi/h
- Porcentaje de tiempo perdido en cola (PTSF)=75.1%

3.6.7.1.2. Paso 2: Dividir el tramo en secciones:

El tramo actual se ubica en las progresiva Km 6+000 al Km 9+000, la longitud óptima del carril de adelantamiento fue determinada con el flujo de demanda aplicado en la **Tabla 31**

Tabla 224: Longitud optima del carril de adelantamiento

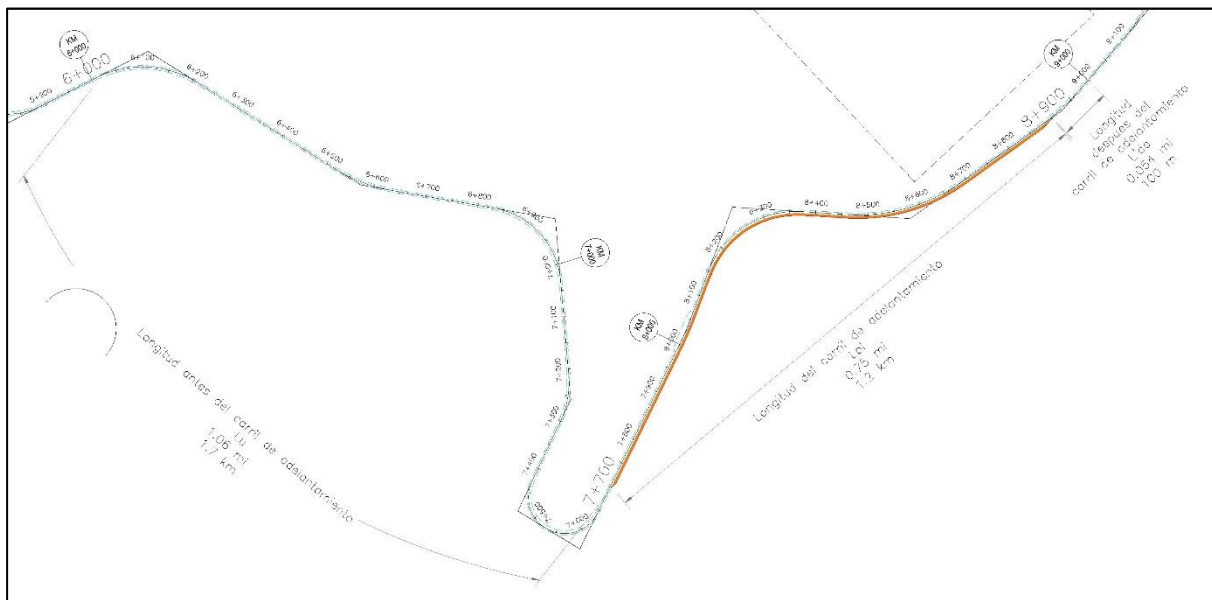
Flujo de demanda Direccional vd (pc/h)	Longitud Optima de Carril de Paso (mi)
$>400 \leq 700$	$>0.75 \leq 1.00$

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la tabla, para este caso se utilizó un valor de, 0.75 mi por ser un valor cercano a los volúmenes que presenta esta sección de carretera.

La mejor ubicación para el carril de adelantamiento se encuentra entre las progresivas 7+700 a 8+900 el cual es una longitud aproximada de 075 mi (1.2 km), la longitud antes del carril de adelantamiento viene dada por $7+700-6+000= 1.7$ km (1.06 mi) como se muestra en la siguiente imagen

Figura 83: Ubicación de carril de adelantamiento en el Tramo III



Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con estas progresivas se determinó las dos primeras secciones para el sentido de análisis:

- Longitud antes del carril de adelantamiento $L_u = 1.06$ mi
- Longitud del carril de adelantamiento $L_{pl} = 0.75$ mi

Para el sentido opuesto la longitud antes del carril de adelantamiento es diferente ya que este sentido empieza en el Km 9+000 hacia el Km 6+000 teniendo así las dos secciones

- Longitud antes del carril de adelantamiento $L_u = 0.054$ mi
- Longitud del carril de adelantamiento $L_{pl} = 0.75$ mi

Para ambos casos la longitud total del tramo es 1.864 mi.

Las dos secciones faltantes:

- Longitud efectiva del carril de adelantamiento, Lde
- Longitud después del largo efectivo del carril de adelantamiento Ld.

Se determinó con la Tabla 30 y la **Ecuación 18**

3.6.7.1.2.1. Determinar la Longitud efectiva del carril de adelantamiento, Lde

La longitud efectiva se calculó interpolando los factores dados de acuerdo al Volumen de demanda ajustado de PTSF y de ATS

Siendo para el sentido de análisis:

Tabla 225: Longitud efectiva del carril de adelantamiento para ATS y PTSF en el sentido de análisis-2021

Volumen de demanda ajustada	Lde PTSF
400	8.1
438	7.8
500	7.3
Volumen de demanda ajustada	Lde ATS
475	1.7

Fuente: Elaboración Propia

Obteniendo así los valores de Lde para PTSF de 7.8 y para ATS de 1.7

De igual manera se calcula los valores para el sentido opuesto:

Tabla 226: Longitud efectiva del carril de adelantamiento para ATS y PTSF en el sentido opuesto-2021

Volumen de demanda ajustada	Lde PTSF
500	7.3
558	6.7
600	6.5
Volumen de demanda ajustada	Lde ATS
1689	1.7

Fuente: Elaboración Propia

El valor resultante de Lde es mayor que la longitud total del tramo a analizar, en estos casos de acuerdo con la metodología se utiliza el valor de L'de el cual es la longitud restante del tramo en análisis, obteniendo de esta manera para el sentido de análisis:

Tabla 227: Longitud efectiva del carril de adelantamiento interrumpida para ATS y PTSF en el sentido de análisis-2021

Volumen de demanda ajustada	Lde PTSF
438	0.054
Volumen de demanda ajustada	Lde PTSF
475	0.054

Fuente: Elaboración Propia

Para el sentido opuesto se obtuvo

Tabla 228: Longitud efectiva del carril de adelantamiento interrumpida para ATS y PTSF en el sentido opuesto -2021

Volumen de demanda ajustada	Lde PTSF
558	1.060
Volumen de demanda ajustada	Lde PTSF
1689	1.060

Fuente: Elaboración Propia

3.6.7.1.2.2. Resumen de segmentos:

De los datos obtenidos se agrupo los segmentos de análisis en:

Tabla 229: Resumen de los segmentos en el sentido de análisis-2021

	Lu	Lpl	Lde	L'de
ATS	1.06	0.75	7.8	0.054
PTSF	1.06	0.75	1.7	0.054

Fuente: Elaboración Propia

Para el sentido opuesto se obtuvo:

Tabla 230: Resumen de los segmentos en el sentido opuesto-2021

	Lu	Lpl	Lde	L'de
ATS	0.054	0.75	6.7	1.060
PTSF	0.054	0.75	1.7	1.060

Fuente: Elaboración Propia

3.6.7.1.3. Paso 3: Determinar el Porcentaje de tiempo usado viajando en colas PTSF

Para determinar el PTSF_{pl} cuando el valor de Ld es cero se utiliza la siguiente ecuación:

$$PTSF_{pl} = \frac{PTSF_d \left[L_u + f_{pl,PTSF} L_{pl} + f_{pl,PTSF} L'_{de} + \left(\frac{1 + f_{pl,PTSF}}{2} \right) \left(\frac{L'^2_{de}}{L_{de}} \right) \right]}{L_t} \quad \text{Ecuación 20}$$

El primer paso es determinar el factor de ajuste por el impacto del carril de adelantamiento $f_{pl,PTSF}$ el cual se obtiene de la **Tabla 32**, estos valores se interpolan de acuerdo al volumen de demanda ajustado de PTSF, teniendo así la siguiente tabla para el sentido de análisis:

Tabla 231: Interpolación del factor de ajuste por el impacto del carril de adelantamiento para PTSF en el sentido de análisis-2021

Volumen de demanda	
Ajustado, vd	fpl
400	0.61
438	0.61
500	0.61

Fuente: Elaboración Propia

Y para el sentido opuesto se obtuvo:

Tabla 232: Interpolación del factor de ajuste por el impacto del carril de adelantamiento para PTSF en el sentido opuesto-2021

Volumen de demanda	
Ajustado, vd	fpl
500	0.61
576	0.61
600	0.61

Fuente: Elaboración Propia

El siguiente paso fue calcular el $PTSF_{pl}$ obteniendo para el sentido de análisis:

$$PTSF_{pl} = \frac{PTSF_d \left[L_u + f_{pl,PTSF} L_{pl} + f_{pl,PTSF} L'_{de} + \left(\frac{1 + f_{pl,PTSF}}{2} \right) \left(\frac{L'^2_{de}}{L_{de}} \right) \right]}{L_t} \quad \text{Ecuación 20}$$

Datos: $PTSF_d = 63.9 \%$ $L_{de,PTSF} = 7.8 \text{ mi}$

$L_u = 1.06 \text{ mi}$ $L_{Lt} = 1.864$

$L_{pl} = 0.75 \text{ mi}$ $f_{pl,PTSF} = 0.61$

$L'_{de,PTSF} = 0.054 \text{ mi}$

$$PTSF_{pl} = \frac{63.9 \left[1.06 + 0.61 * 0.75 + 0.61 * 0.054 + \left(\frac{1 + 0.61}{2} \right) \left(\frac{0.054^2}{7.8} \right) \right]}{1.864}$$

$$PTSF_{pl} = \frac{63.9 [1.06 + 0.4575 + 0.03294 + (0.805)(0.0003738)]}{1.864} = 53.16\%$$

Para el sentido opuesto se tiene:

$$PTSF_{pl} = \frac{PTSF_d \left[L_u + f_{pl,PTSF} L_{pl} + f_{pl,PTSF} L'_{de} + \left(\frac{1 + f_{pl,PTSF}}{2} \right) \left(\frac{L'^2_{de}}{L_{de}} \right) \right]}{L_t} \quad \text{Ecuación 20}$$

Datos: $PTSF_d = 75.10 \%$ $L_{de,PTSF} = 6.7 \text{ mi}$

$L_u = 0.054 \text{ mi}$ $L_{Lt} = 1.864$

$L_{pl} = 0.75 \text{ mi}$ $f_{pl,PTSF} = 0.61$

$L'_{de,PTSF} = 1.06 \text{ mi}$

$$PTSF_{pl} = \frac{75.10 \left[0.054 + 0.61 * 0.75 + 0.61 * 1.06 + \left(\frac{1 + 0.61}{2} \right) \left(\frac{1.06^2}{6.7} \right) \right]}{1.864}$$

$$PTSF_{pl} = \frac{75.10 [0.054 + 0.4575 + 0.6466 + (0.805)(0.16770)]}{1.864} = 52.10\%$$

3.6.7.1.4. Paso 4: Determinar la velocidad promedio de viaje ATS:

Para determinar el valor de ATS cuando Ld es cero se utiliza la ecuación:

$$ATS_{pl} = \frac{ATS_d L_t}{L_u + \frac{L_{pl}}{f_{pl,ATS}} + \frac{2L'_{de}}{\left[1 + f_{pl,ATS} + (f_{pl,ATS} - 1) \left(\frac{L_{de} - L'_{de}}{L_{de}} \right) \right]}} \quad \text{Ecuación 22}$$

Como primer paso se determinó factor de ajuste por el impacto del carril de adelantamiento $f_{pl,ATS}$ el cual se obtiene de la **Tabla 33** estos valores se interpolan en base al volumen de demanda ajustado de ATS, teniendo así la siguiente tabla para el sentido de análisis:

Tabla 233: Interpolación del factor de ajuste por el impacto del carril de adelantamiento para ATS en el sentido de análisis-2021

Volumen de demanda	
Ajustado,vd	fpl
400	1.1
475	1.10
500	1.1

Fuente: Elaboración Propia

Para el sentido opuesto se interpola la siguiente tabla:

Tabla 234: Interpolación del factor de ajuste por el impacto del carril de adelantamiento para ATS en el sentido opuesto-2021

Volumen de demanda	
Ajustado, vd	fpl
≥900	1.11
1689	1.11
≥900	1.11

Fuente: Elaboración Propia

Como siguiente paso se aplicó la **Ecuación 22** teniendo para el sentido de análisis:

$$ATS_{pl} = \frac{ATS_d L_t}{L_u + \frac{L_{pl}}{f_{pl,ATS}} + \frac{2L'_{de}}{\left[1 + f_{pl,ATS} + (f_{pl,ATS} - 1) \left(\frac{L_{de} - L'_{de}}{L_{de}}\right)\right]}} \quad \text{Ecuación 22}$$

$$ATS_d = 39.9 \text{ mi/h}$$

$$L_{de} = 1.7 \text{ mi}$$

$$L_u = 1.06 \text{ mi}$$

$$L_t = 1.864 \text{ mi}$$

$$L_{pl} = 0.75 \text{ mi}$$

$$f_{pl,ATS} = 1.10 \text{ mi}$$

$$L'_{de} = 0.054 \text{ mi}$$

$$ATS_{pl} = \frac{39.9 * 1.864}{1.06 + \frac{0.75}{1.10} + \frac{2 * 0.054}{\left[1 + 1.10 + (1.10 - 1) \left(\frac{1.7 - 0.054}{1.7}\right)\right]}}$$

$$ATS_{pl} = \frac{74.3736}{1.06 + 0.6818 + \frac{0.108}{\left[1 + 1.10 + 0.10(0.9968)\right]}} = 41.5 \text{ mi/h}$$

Para el sentido opuesto se tiene:

$$ATS_{pl} = \frac{ATS_d L_t}{L_u + \frac{L_{pl}}{f_{pl,ATS}} + \frac{2L'_{de}}{\left[1 + f_{pl,ATS} + (f_{pl,ATS} - 1) \left(\frac{L_{de} - L'_{de}}{L_{de}}\right)\right]}} \quad \text{Ecuación 22}$$

$$ATS_d = 32.2 \text{ mi/h}$$

$$L_{de} = 1.7 \text{ mi}$$

$$L_u = 0.054 \text{ mi}$$

$$L_t = 1.864 \text{ mi}$$

$$L_{pl} = 0.75 \text{ mi}$$

$$f_{pl,ATS} = 1.11 \text{ mi}$$

$$L'_{de} = 1.06 \text{ mi}$$

$$ATS_{pl} = \frac{32.2 * 1.864}{0.054 + \frac{0.75}{1.11} + \frac{2 * 1.06}{\left[1 + 1.11 + (1.11 - 1) \left(\frac{1.7 - 1.06}{1.7}\right)\right]}}$$

$$ATS_{pl} = \frac{60.0208}{0.054 + 0.6757 + \frac{2.12}{\left[1 + 1.11 + 0.11(0.9968)\right]}} = 35.0 \text{ mi/h}$$

3.6.7.1.5. Paso 5 determinar el nivel de servicio

Los criterios de niveles de servicio se muestran en la **Tabla 29** los cuales deben ser comparados. En este análisis usan como medidas de eficacia el ATS (mi/h) y el PTSF (%), en el sentido de análisis se tiene la siguiente tabla:

Tabla 235: Nivel de servicio con carril de adelantamiento en el sentido Hacia Urubamba 2021

Nivel de servicio	ATS	PTSF	Nivel de servicio
A	>55	≤ 35	A
B	>50 - 55	> 35 - 50	B
C	>45-50	> 50 - 65 53.2	C
D	>40-45	> 65 - 80	D
D	41.5		
E	≤40	> 80	E
Nivel de Servicio Crítico			
D			

Fuente: Elaboración Propia

Para el sentido opuesto se tiene:

Tabla 236: Nivel de servicio con carril de adelantamiento en el sentido Hacia Cusco 2021

Nivel de servicio	ATS	PTSF	Nivel de servicio
A	>55	≤ 35	A
B	>50 - 55	> 35 - 50	B
C	>45-50	> 50 - 65 52.1	C
D	>40-45	> 65 - 80	D
E	≤40 35.0	> 80	E
Nivel de Servicio Crítico			
E			

Fuente: Elaboración Propia

El mismo procedimiento se aplica a todos los tramos, el análisis computacional se encuentra en el Anexo N°4: Cálculo computacional de la capacidad y nivel de servicio con la metodología del HCM 2010 para carreteras de dos carriles y de carriles de adelantamiento: carretera Chinchero – Urubamba, año 2021 con el inicio de operaciones del Aeropuerto Internacional de Chinchero

El promedio de resultados se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 237: Promedio de nivel de servicio para la carretera de dos carriles en el año 2021 con carriles de adelantamiento

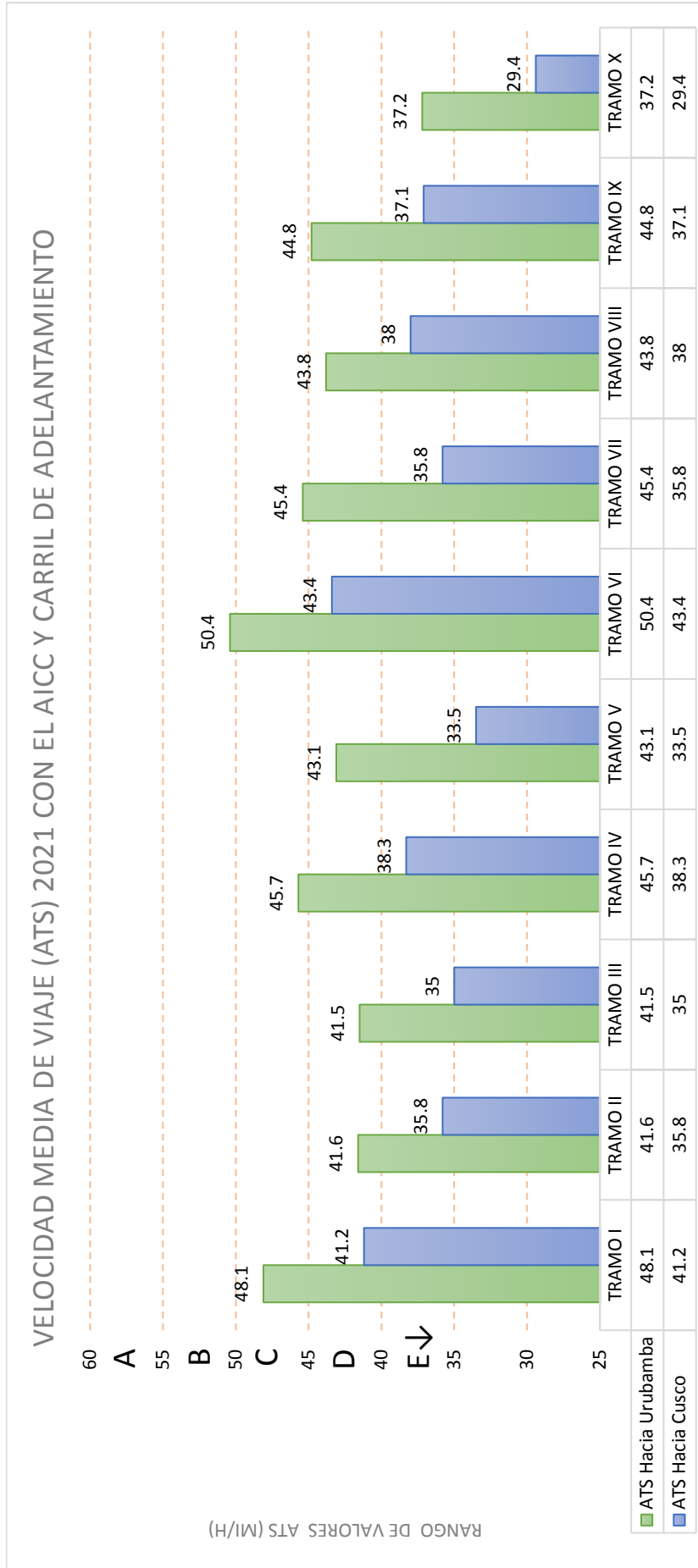
Nivel de servicio carretera de dos carriles en el año 2021 con carriles de adelantamiento						
	Hacia Urubamba	Hacia Cusco	ATS		PTSF	
			Hacia Urubamba	Hacia Cusco	Hacia Urubamba	Hacia Cusco
TRAMO I	663	775	48.1	41.2	56.1	62.8
TRAMO II	663	775	41.6	35.8	58.6	61.4
TRAMO III	351	541	41.5	35.0	53.2	52.1
TRAMO IV	351	541	45.7	38.3	37.1	64.4
TRAMO V	351	541	43.1	33.5	43.4	63.3
TRAMO VI	318	457	50.4	43.4	46.1	56.3
TRAMO VII	318	457	45.4	35.8	44.0	57.8
TRAMO VIII	318	457	43.8	38.0	53.2	45.5
TRAMO IX	318	457	44.8	37.1	48.4	50.0
TRAMO X	318	457	37.2	29.4	62.6	74.3
			PROMEDIO		PROMEDIO	
			44.16	36.75	50.27	58.79
			D	E	C	C

Fuente: Elaboración Propia

3.6.7.2. Diagrama:

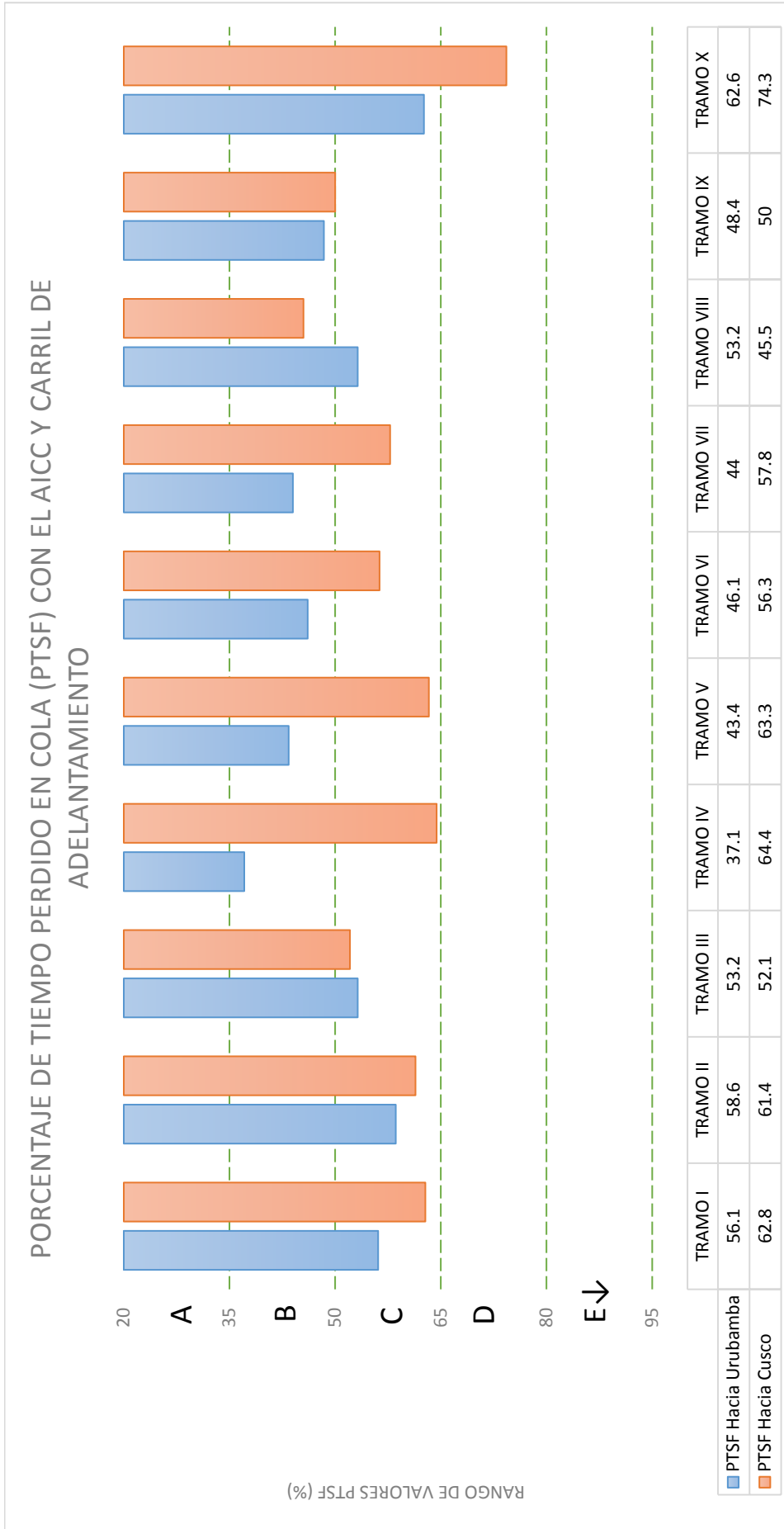
Los siguientes diagramas muestran las medidas de eficacia ATS Y PTSF obtenidas en cada sentido de análisis y en cada tramo, y el rango de nivel de servicio en cual se encuentran con la implementación de carriles de adelantamiento.

Tabla 238: Resultados del análisis de nivel de servicio en ATS de la carretera de dos carriles con un carril de adelantamiento de la carretera Chinchero-Urubamba en el año 2021



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 239: Resultados del análisis de nivel de servicio en PTSF de la carretera de dos carriles con un carril de adelantamiento de la carretera Chinchero-Urubamba en el año 2021



Fuente: Elaboración Propia

3.6.7.3. Análisis de la prueba

La metodología aplicada dio como resultado la siguiente tabla:

Tabla 240: Resultados del nivel de servicio con carriles de adelantamiento al inicio de operaciones del AICC en la carretera Chinchero – Urubamba 2021

	ATS		PTSF		Nivel de Servicio Crítico	
	Hacia Urubamba	Hacia Cusco	Hacia Urubamba	Hacia Cusco	Hacia Urubamba	Hacia Cusco
TRAMO I	C	D	C	C	C	D
TRAMO II	D	E	C	C	D	E
TRAMO III	D	E	C	C	D	E
TRAMO IV	C	E	B	C	C	E
TRAMO V	D	E	B	C	D	E
TRAMO VI	B	D	B	C	B	D
TRAMO VII	C	E	B	C	C	E
TRAMO VIII	D	E	C	B	D	E
TRAMO IX	D	E	B	C	D	E
TRAMO X	E	E	C	D	E	E

Fuente: Elaboración Propia

De estos resultados se concluye que el nivel de servicio promedio de la carretera con respecto al ATS es un nivel de servicio clase D hacia Urubamba y E hacia Cusco, a su vez el nivel de servicio promedio respecto a PTSF es hacia Urubamba C y hacia Cusco C

Se observa una mejora significativa en algunos tramos llegando a ser nivel de servicio B debido al bajo o inexistente tiempo perdido por colas gracias a los carriles de adelantamiento, pero la velocidad media de recorrido no se ve mejorada ya que esta está ligada a los volúmenes de tránsito los cuales son superiores debido al tránsito proyectado del Aeropuerto Internacional de Chinchero.

Concluyendo que esta no es la solución para mitigar el impacto de esta nueva infraestructura siendo necesario realizar un nuevo análisis para una vía multicarril

3.6.8. Nivel de servicio en una carretera multicarril durante el inicio de operaciones del Aeropuerto Internacional Chinchero.

3.6.8.1. Procesamiento

El siguiente procedimiento se realizó con el objetivo de encontrar el número de carriles necesario para tener un nivel de servicio B durante el inicio de operaciones del AICCE, este proceso es potencialmente iterativo, debido a que la sección exacta es desconocida, no solo el ancho y número de carriles sino también el espacio libre lateral y el tipo de mediana. Por lo tanto, se harán suposiciones que deberán ser revisadas cuando el primer análisis de prueba este completo.

3.6.8.1.1. Paso 1: Ingreso de datos

Para empezar la solución se asumió los datos mínimos exigidos por las normas peruanas, donde se indica un ancho de carril de 3.60 m, dividido por un separador central y un espacio libre lateral de 2 metros, con carriles divididos.

Como primer paso se recopilaron los datos en una tabla en el sistema métrico:

Tabla 241: Recopilación de datos para un análisis multicarril en el sistema métrico -2021

SISTEMA MÉTRICO					
Datos Geométricos			Datos de Tránsito		
Ancho de Carril	3.6	m	Volumen en el Sentido de Análisis	351	veh/h
Densidad de puntos de acceso	1	points/Km	Volumen en el Sentido Opuesto	541	veh/h
Terreno	Ondulado		Factor de Hora Punta (PHF)	1	
Longitud del segmento	3	Km	% De Vehículos Pesados	17	%
Pendiente del Segmento	5.33	%	% De Vehículos Recreacionales	0	%
Tipo de Mediana	Dividida		BBFS, Sentido de Analisis	92.30	km/h
Número de Carriles	2		BBFS, Sentido Opuesto	82.66	km/h
Obstáculo lateral Derecho	2	m	Nivel de Servicio Requerido	B	
Obstáculo lateral Izquierdo	2	m		Locales y Foráneos	
Sentido del Flujo de Análisis	Descenso		Tipo de Conductores		

Fuente: Elaboración Propia

El *Highway Capacity Manual 2010* se encuentra en unidades imperiales por lo cual se calculó todos los datos en este sistema de medidas,

Tabla 242: Recopilación de datos para un análisis multicarril en el sistema imperial-2021

SISTEMA IMPERIAL					
Datos Geométricos			Datos de Tránsito		
Ancho de Carril	11.811	ft	Volumen en el Sentido de Análisis	351	veh/h
Densidad de puntos de acceso	2	points/mi	Volumen en el Sentido Opuesto	541	veh/h
Terreno	Ondulado		Factor de Hora Punta (PHF)	1	
Longitud del segmento	1.864	mi	% De Vehículos Pesados	17	%
Pendiente del Segmento	5.33	%	% De Vehículos Recreacionales	0	%
Tipo de Mediana	Dividida		BFFS, Sentido de Análisis	57.353	mi/h
Número de Carriles	2	und	BFFS, Sentido Opuesto	51.356	mi/h
Obstáculo lateral Derecho	6.562	ft	Nivel de Servicio Requerido	B	
Obstáculo lateral Izquierdo	6.562	ft			Locales y Foráneos
Sentido del Flujo de Análisis	Descenso		Tipo de Conductores		

Fuente: Elaboración Propia

3.6.8.1.2. Paso 2 Cálculo de la velocidad a flujo libre

La velocidad a flujo libre ha sido determinada previamente en el ítem 3.6.3 “Velocidad a flujo libre FFS” obteniendo valores de 57.35 mi/h en sentido Hacia Urubamba y 51.356 en sentido Hacia Cusco, este análisis fue realizado en una carretera de dos carriles, por lo cual se realizó el factor de ajuste para carreteras multicarril con la **Ecuación 23**

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A \tag{Ecuación 23}$$

Donde la base de la velocidad a flujo libre BFFS será el valor de FFS obtenido en la toma de datos en campo de la carretera Chinchero – Urubamba

Como siguiente paso se deben determinar todos los factores de ajuste que modifican el FFS

3.6.8.1.2.1. Factor de ajuste por el ancho del carril

Cuando el carril es menor de 3.66m (12 ft) la velocidad se ve afectada negativamente por lo cual se debe aplicar un factor de ajuste para reflejar esta situación, este dato se obtuvo a partir de la Tabla 35, donde el valor de ingreso es un ancho asumido de 11.811 ft

Tabla 243: Factor de ajuste por ancho de carril-2021

Ancho de Carril (ft)	Factor de ajuste f_{LW}
$\geq 11-12$	1.9

Fuente: Elaboración Propia

3.6.8.1.2.2. Factor de ajuste por distancia a obstáculos laterales

Este factor de ajuste se basa en los obstáculos laterales existentes hacia el lado derecho del sentido del flujo y de la mediana al lado izquierdo.

En el tramo III se asumió un espacio lateral libre de 2 metro (6.562 ft) en ambos lados, el manual considera que todos los valores superiores a 6 ft a la derecha sean considerados como 6, igualmente el manual indica que todos los valores superiores a 0.60 ft a la izquierda sean considerados como 6ft, siguiendo estas pautas en el tramo analizado se obtuvo un $LC_R=6$ y un $LC_L=6$, los cuales fueron sumados para obtener el TLC mediante **Ecuación 24**

$$TLC = LC_R + LC_L = 12 \text{ ft} \quad \text{Ecuación 24}$$

$$LC_R = 6.0 \text{ ft}$$

$$LC_L = 6.0$$

Este valor de TLC se usó como dato de ingreso en la **Tabla 36** obteniendo el siguiente valor:

Tabla 244: Factor de ajuste por obstáculos laterales-2021

Carretera multicarril de Cuatro Carriles	
TLC (ft)	Factor de ajuste f_{LC}
12	0

Fuente: Elaboración Propia

3.6.8.1.2.3. Factor de ajuste por el tipo de mediana

De acuerdo a las normas peruanas se debe utilizar un separador central en las carreteras multicarril, según la **Tabla 37** el factor que corresponde fue:

Tabla 245: Factor de ajuste por tipo de mediana-2021

Tipo de Mediana	Factor de Ajuste f_M
Dividida	0

Fuente: Elaboración Propia

3.6.8.1.2.4. Factor de ajuste por densidad de puntos de acceso

Este factor se aplica debido a que estudios previos demostraron que cada punto de acceso por milla disminuye en 0.25 mi/h la velocidad, el factor de ajuste se determina con la **Tabla 38**. En el tramo III se tiene una densidad de 2 puntos/milla por lo cual el factor de ajuste de acuerdo a la tabla fue:

Tabla 246: Factor de ajuste por densidad de puntos de acceso-2021

Densidad de puntos de acceso	Factor de ajuste f_A
0	0
2	0.5
10	2.5

Fuente: Elaboración Propia



3.6.8.1.2.5. Cálculo de la velocidad media.

Una vez determinado todos los factores se utilizó la **Ecuación 23** obteniendo de esta manera los siguientes resultados para el sentido de análisis:

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A$$

$$BFFS = 57.353$$

$$f_{LW} = 1.90$$

$$f_{LC} = 0.0$$

$$f_M = 0.0$$

$$f_A = 0.5$$

$$FFS = 57.353 - 1.90 - 0 - 0 - 0.5 = 54.953$$

Y para el sentido Opuesto:

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A$$

$$BFFS = 51.356$$

$$f_{LW} = 1.90$$

$$f_{LC} = 0.0$$

$$f_M = 0.0$$

$$f_A = 0.5$$

$$FFS = 51.356 - 1.90 - 0 - 0 - 0.5 = 48.956$$

3.6.8.1.3. Paso 3 Seleccionar la Curva de velocidad a flujo Libre

En este paso se seleccionó una curva de velocidad que describía la relación de velocidad-flujo descrita en la Figura 37,

Para el sentido de análisis el valor de FFS=57.35 se encuentra en el rango de

52.5 mi/h < 57.35 < 57,5 mi/h: y se debe utilizar FFS = 55 mi/h,

Para el sentido opuesto el valor de FFS=48.96 se encuentra en el rango de 47.5 mi/h <48.96 <52.5 mi/h: y se debe utilizar un FFS = 50 mi/h,

3.6.8.1.4. Paso 4 Determinar el número de carriles para un nivel de servicio dado.

Para determinar el número de carriles se utilizó la **Ecuación 31**, para ello primeramente se determinó sus datos de ingreso

$$N = \frac{V}{MSF_i \times PHF \times f_{hv} \times f_p} \quad \text{Ecuación 31}$$

3.6.8.1.4.1. Determinar el máximo flujo de servicio

Para determinar el máximo flujo de servicio se utilizó la **Tabla 40**, con los datos de ingreso de la velocidad media y el nivel de servicio buscado el cual es “B” para este objetivo

Para sentido de análisis se tiene obtuvo los siguientes datos:

Tabla 247: Máximo flujo de servicio en el sentido de análisis-2021

FFS (mi/h)	Nivel de servicio Buscado
55	B
	990

Fuente: Elaboración Propia

Para el sentido opuesto:

Tabla 248: Máximo flujo de servicio en el sentido opuesto-2021

FFS (mi/h)	Nivel de servicio Buscado
50	B
	900

Fuente: Elaboración Propia

3.6.8.1.4.2. Factor de ajuste por vehículos pesados y recreacionales

Para determinar el factor de ajuste por vehículos pesados se tiene que realizar dos pasos:

- Se determina el factor de equivalencia para vehículos pesados E_T y vehículos recreacionales (E_R)
- Se calcula el factor de ajuste por vehículos pesados con **Ecuación 32**

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad \text{Ecuación 32}$$

El factor de equivalencia (E_T , E_R) refleja el número de vehículos ligeros desplazados del flujo por un vehículo pesado o recreativo y se obtiene utilizando la **Tabla 41** en terrenos generales y descenso y la **Tabla 42** y **Tabla 43** en ascensos específicos.

Para el sentido de análisis se tiene un descenso por lo cual se utiliza la **Tabla 41** y se obtuvo:

Tabla 249: Factor de ajuste por vehículos pesados y recreacionales

Tipo de Vehículo		Terreno Ondulado
Pesado	ET	2.5
Recreacional	ER	2

Fuente: Elaboración Propia

El sentido opuesto se tiene un ascenso específico con una pendiente de 5.33% por lo cual se debe utilizar la Tabla 42 para el factor de equivalencia para vehículos pesados y la Tabla 43 para vehículos recreacionales, obteniendo así las siguientes tablas:

Tabla 250: Factor de ajuste por vehículos pesados Et- 2021

Pendiente (%)	Longitud (mi)	% De vehículos Pesados		
		15.00	17.00	20
>5 – 6	>1.00	3.5	3.5	3.5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 251: Factor de ajuste por vehículos recreacionales Er - 2021

Pendiente (%)	Longitud (mi)	% De vehículos Recreacionales		
		2.00	0.00	2.00
>5	>0.50	6	6	6

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente se aplica la fórmula para cada sentido de análisis donde se tiene una Proporción de vehículos pesados de 17% y 0% de recreacionales

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad \text{Sentido de análisis}$$

$$P_T = 0.17$$

$$P_R = 0.0$$

$$E_T = 2.5$$

$$E_R = 2.0$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.17(2.5 - 1) + 0(2.0 - 1)} = 0.797$$

Y para el sentido opuesto se obtuvo:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad \text{Sentido Opuesto}$$

$$P_T = 0.17$$

$$P_R = 0.0$$

$$E_T = 3.5$$

$$E_R = 6.0$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.17(3.5 - 1) + 0(6.0 - 1)} = 0.702$$

3.6.8.1.4.3. Factor de ajuste por el tipo de población conductora:

El factor se basa en el efecto de la población de conductores, con valores de 1 cuando los conductores conocen la carretera y factores de 0.85 para conductores foráneos, para este sector se tienen ambos tipos de conductores obteniendo la siguiente tabla:

Tabla 252: Factor de ajuste por tipo de población conductora

Tipo de Conductores	Factor de Ajuste F_p
Locales y Foráneos	0.95

Fuente: Elaboración Propia

3.6.8.1.4.4. Cálculo del número de carriles

Una vez determinado todos los valores necesarios se realizó el cálculo de la **Ecuación 31**:

$$N = \frac{V}{MSF_d \times PHF \times f_{hv} \times f_p}$$

$$V = 351$$

$$MSF_d = 990$$

$$f_{hv} = 0.797$$

$$f_p = 0.95$$

$$PHF = 1.0$$

$$N = \frac{351}{990 \times 1 \times 0.797 \times 0.95} = \frac{351}{749.578} = 0.468 = 2 \text{ carriles}$$

Para el sentido opuesto se tiene

$$N = \frac{V}{MSF_i \times PHF \times f_{hv} \times f_p}$$

$$V = 541$$

$$MSF_o = 900$$

$$f_{hv} = 0.702$$

$$f_p = 0.95$$

$$PHF = 1.0$$

$$N = \frac{541}{900 \times 1 \times 0.702 \times 0.95} = \frac{541}{600.21} = 0.901 = 2 \text{ carriles}$$

El resultado de N siempre debe ser redondeado al siguiente valor entero, y no debe ser menor a dos carriles, por lo cual el número de carriles para ambos sentidos fue 2

3.6.8.1.5. Paso 4 Ajuste del volumen de demanda

Finalmente, con todos los datos obtenidos, se debe convertir el volumen de demanda de vehículos por hora a vehículos ligeros por hora en condiciones base, este procedimiento se realizó con la **Ecuación 30**

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{hv} \times f_p}$$

Ecuación 30

El cálculo computacional para el sentido de análisis fue:

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{hv} \times f_p}$$

Sentido de
ANÁLISIS

$$V = 351$$

$$PHF = 1$$

$$N = 2$$

$$f_{hv} = 0.797$$

$$f_p = 1$$

$$v_p = \frac{351}{1 * 2 * 0.797 * 1} = 232 \text{ vl/h}$$

Para el sentido opuesto se obtuvo:



$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{hv} \times f_p}$$

Sentido de
ANÁLISIS

$$V = 541$$

$$PHF = 1$$

$$N = 2$$

$$f_{hv} = 0.702$$

$$f_p = 1$$

$$v_p = \frac{541}{1 * 2 * 0.702 * 1} = 406 \text{ vl/h}$$

3.6.8.1.6. Paso 5: Estimar la densidad

En este punto de la metodología ya se ha determinado la curva de velocidad de acuerdo a la velocidad a flujo libre, y la demanda en vehículos ligeros, el siguiente proceso fue determinar la densidad la cual se obtiene con la **Ecuación 33**, para el sentido de análisis se obtuvo:

$$D = \frac{v_p}{S}$$

Sentido de análisis

$$v_p = 232 \text{ vl/h}$$

$$S = 55 \text{ mi/h}$$

$$D = \frac{232}{55} = 4.2 \text{ vl} * \text{mi/h}$$

Así se tiene para el sentido opuesto se calculó:

$$D = \frac{v_p}{S}$$

Sentido de análisis

$$v_p = 406 \text{ vl/h}$$

$$S = 50 \text{ mi/h}$$

$$D = \frac{406}{50} = 8.1 \text{ vl} * \text{mi/h}$$

3.6.8.1.7. Paso 6 Determinar el nivel de servicio

En la Tabla 45 se muestra los rangos de nivel de servicio de acuerdo a la medida de eficacia de la densidad y la velocidad a flujo libre (FFS) comparando estos valores con los obtenidos para el sentido de análisis se obtuvo:

Tabla 253: Nivel de servicio determinado para el sentido de análisis-2021

Rango	FFS	Densidad
>0-11	55	4.2
Nivel de Servicio		
A		

Fuente: Elaboración Propia

Y para el sentido opuesto se

Tabla 254: Nivel de servicio determinado para el sentido opuesto-2021

Rango	FFS	Densidad
>0-11	50	8.1
Nivel de Servicio		
A		

Fuente: Elaboración Propia

Obteniendo un mejor nivel de servicio que el esperado. El cálculo de los demás tramos se encuentra en el Anexo N°5: Cálculo computacional del nivel de servicio con la metodología del HCM 2010 para carreteras multicarril: carretera Chinchero – Urubamba, año 2021 con el inicio de operaciones del Aeropuerto Internacional de Chinchero

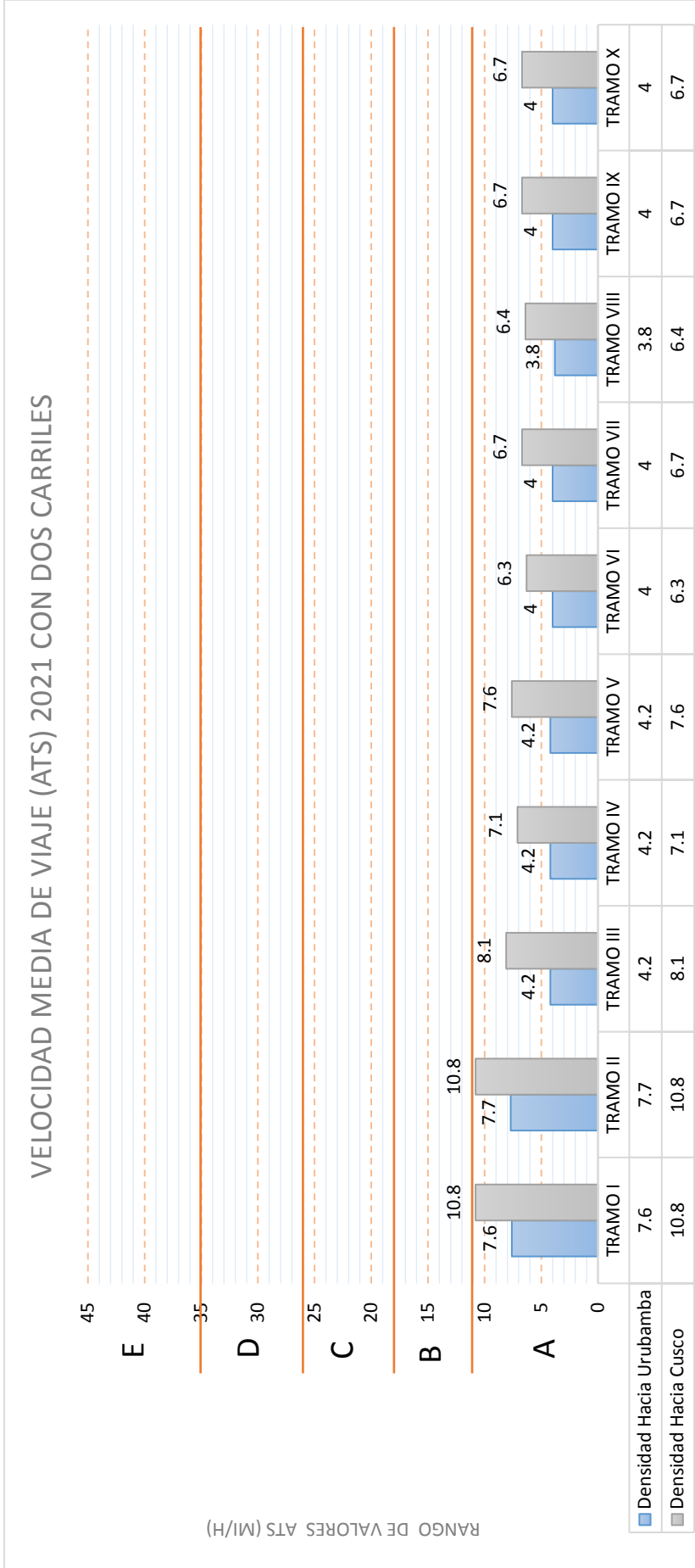
Tabla 255: Promedio de nivel de servicio con cuatro carriles en el año 2021

Carretera multicarril con 4 carriles en el año 2021		
	DENSIDAD	
	Hacia Urubamba	Hacia Cusco
TRAMO I	7.6	10.8
TRAMO II	7.7	10.8
TRAMO III	4.2	8.1
TRAMO IV	4.2	7.1
TRAMO V	4.2	7.6
TRAMO VI	4.0	6.3
TRAMO VII	4.0	6.7
TRAMO VIII	3.8	6.4
TRAMO IX	4.0	6.7
TRAMO X	4.0	6.7
	PROMEDIO	
	4.77	7.72
	A	A

Fuente: Elaboración Propia

3.6.8.2. Diagrama

Tabla 256: Resultados del análisis de nivel de servicio de una carretera multicarril en la carretera Chinchero-Urubamba en el año 2021



Fuente: Elaboración Propia

3.6.8.3. Análisis de la prueba

La metodología aplicada dio como resultado la siguiente tabla:

Tabla 257: Resultados del nivel de servicio con una vía multicarril en la carretera Chinchero – Urubamba con el inicio de operaciones del AICC 2021

	Densidad		
	Hacia Urubamba	Hacia Cusco	Nivel de servicio Crítico
TRAMO I	A	A	A
TRAMO II	A	A	A
TRAMO III	A	A	A
TRAMO IV	A	A	A
TRAMO V	A	A	A
TRAMO VI	A	A	A
TRAMO VII	A	A	A
TRAMO VIII	A	A	A
TRAMO IX	A	A	A
TRAMO X	A	A	A

Fuente: Elaboración Propia

De estos resultados se concluye que una carretera multicarril de dos carriles es suficiente para obtener un nivel de servicio A en todos los tramos, el cual es un nivel mejor que el buscado en el objetivo “B” por lo cual se concluye que una sección transversal de 4 carriles de 3.60 metros de ancho por carril y con un separador central es suficiente para mitigar los efectos negativos del Aeropuerto Internacional de Chinchero.

3.6.9. Nivel de servicio con una carretera multicarril en un horizonte de 11 años con la operación del Aeropuerto Internacional Chinchero.

3.6.9.1. Procesamiento

El siguiente procedimiento se realizó con el objetivo de encontrar el número de carriles necesario para tener un nivel de servicio C en un horizonte de 11 años con la operación del AICC, este proceso es potencialmente iterativo, debido a que la sección exacta es desconocida, no solo el ancho y número de carriles sino también el espacio libre lateral y el tipo de mediana. Por lo tanto, se harán suposiciones que deberán ser revisadas cuando el primer análisis de prueba este completo.

3.6.9.1.1. Paso 1: Ingreso de datos

Para empezar la solución se asumió los datos mínimos exigidos por las normas peruanas, donde se indica un ancho de carril de 3.60 m, dividido por un separador central y un espacio libre lateral de 2 metros, con carriles divididos

Como primer paso se recopilaron los datos en una tabla en el sistema métrico:

Tabla 258: Recopilación de datos para un análisis multicarril en sistema métrico -2030

SISTEMA MÉTRICO					
Datos Geométricos			Datos de Tránsito		
Ancho de Carril	3.6	m	Volumen en el Sentido de Análisis	426	veh/h
Densidad de puntos de acceso	1	points/Km	Volumen en el Sentido Opuesto	673	veh/h
Terreno	Ondulado		Factor de Hora Punta (PHF)	1	
Longitud del segmento	3	Km	% De Vehículos Pesados	21	%
Pendiente del Segmento	5.33	%	% De Vehículos Recreacionales	0	%
Tipo de Mediana	Dividida		BFFS, Sentido de Análisis	92.30	km/h
Número de Carriles	2		BFFS, Sentido Opuesto	82.66	km/h
Obstáculo lateral Derecho	2	m	Nivel de Servicio Requerido	C	
Obstáculo lateral Izquierdo	2	m			Locales y Foráneos
Sentido del Flujo de Análisis	Descenso		Tipo de Conductores		

Fuente: Elaboración Propia

El *Highway Capacity Manual 2010* se encuentra en unidades imperiales por lo cual se calculó todos los datos en este sistema de medidas, son:

Tabla 259: Recopilación de datos para un análisis multicarril en sistema imperial-2030

SISTEMA IMPERIAL					
Datos Geométricos			Datos de Tránsito		
Ancho de Carril	11.811	ft	Volumen en el Sentido de Análisis	426	veh/h
Densidad de puntos de acceso	2	points/mi	Volumen en el Sentido Opuesto	673	veh/h
Terreno	Ondulado		Factor de Hora Punta (PHF)	1	
Longitud del segmento	1.864	mi	% De Vehículos Pesados	21	%
Pendiente del Segmento	5.33	%	% De Vehículos Recreacionales	0	%
Tipo de Mediana	Dividida		BFFS, Sentido de Análisis	57.353	mi/h
Número de Carriles	2	und	BFFS, Sentido Opuesto	51.363	mi/h
Obstáculo lateral Derecho	6.562	ft	Nivel de Servicio Requerido	C	
Obstáculo lateral Izquierdo	6.562	ft			Locales y Foráneos
Sentido del Flujo de Análisis	Descenso		Tipo de Conductores		

Fuente: Elaboración Propia

3.6.9.1.2. Paso 2: Cálculo de la velocidad a flujo libre

La velocidad a flujo libre ha sido determinada previamente en el ítem 3.6.3 “Velocidad a flujo libre FFS” obteniendo valores de 57.35 mi/h en sentido Hacia Urubamba y 51.363 en sentido Hacia Cusco, este análisis fue realizado en una carretera de dos carriles, por lo cual se realizó el factor de ajuste para carreteras multicarril con la **Ecuación 23**

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A \tag{Ecuación 23}$$

Donde la base de la velocidad a flujo libre BFFS será el valor de FFS obtenido en la toma de datos en campo de la carretera Chinchero – Urubamba

Como siguiente paso se deben determinar todos los factores de ajuste que modifican el FFS

3.6.9.1.2.1. Factor de ajuste por el ancho del carril

Cuando el carril es menor de 3.66m (12 ft) la velocidad se ve afectada negativamente por lo cual se debe aplicar un factor de ajuste para reflejar esta situación, este dato se obtuvo a partir de la Tabla 35, donde el valor de ingreso es un ancho asumido de 11.811 ft

Tabla 260: Factor de ajuste por ancho de carril 2030

Ancho de Carril (f)	Factor de ajuste f_{LW}
$\geq 11-12$	1.9

Fuente: Elaboración Propia

3.6.9.1.2.2. Factor de ajuste por distancia a obstáculos laterales

Este factor de ajuste se basa en los obstáculos laterales existentes hacia el lado derecho del sentido del flujo y de la mediana al lado izquierdo.

En el tramo III se asumió un espacio lateral libre de 2 metro (6.562 ft) en ambos lados, el manual considera que todos los valores superiores a 6 ft a la derecha sean considerados como 6, igualmente el manual indica que todos los valores superiores a 0.60 ft a la izquierda sean considerados como 6ft, siguiendo estas pautas en el tramo analizado se obtuvo un $LC_R=6$ y un $LC_L=6$, los cuales fueron sumados para obtener el TLC mediante **Ecuación 24**

$$TLC = LC_R + LC_L = 12 \text{ ft} \quad \text{Ecuación 24}$$

$$LC_R = 6.0 \text{ ft}$$

$$LC_L = 6.0$$

Este valor de TLC se usó como dato de ingreso en la **Tabla 36** obteniendo el siguiente valor

Tabla 261: Factor de ajuste por obstáculos laterales-2030

Carretera multicarril de Cuatro Carriles	
TLC (ft)	Factor de ajuste f_{LC}
12	0

Fuente: Elaboración Propia

3.6.9.1.2.3. Factor de ajuste por el tipo de mediana

De acuerdo a las normas peruanas se debe utilizar un separador central en las carreteras multicarril, según la **Tabla 37** el factor que corresponde fue:

Tabla 262: Factor de ajuste por tipo de mediana-2030

Tipo de Mediana	Factor de Ajuste f_M
Dividida	0

Fuente: Elaboración Propia

3.6.9.1.2.4. Factor de ajuste por densidad de puntos de acceso

Este factor se aplica debido a que estudios previos demostraron que cada punto de acceso por milla disminuye en 0.25 mi/h la velocidad, el factor de ajuste se determina con la **Tabla 38**. En el tramo III se tiene una densidad de 2 puntos/milla por lo cual el factor de ajuste de acuerdo con la tabla fue:

Tabla 263: Factor de ajuste por densidad de puntos de acceso-2030

Densidad de puntos de acceso	Factor de ajuste f_A
0	0
2	0.5
10	2.5

Fuente: Elaboración Propia



3.6.9.1.2.5. Cálculo de la velocidad media.

Una vez determinado todos los factores, se utilizó la **Ecuación 23** obteniendo de esta manera los siguientes resultados para el sentido de análisis:

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A \quad \text{SENTIDO DE ANÁLISIS}$$

$$BFFS = 57.35$$

$$f_{LW} = 1.90$$

$$f_{LC} = 0.0$$

$$f_M = 0.0$$

$$f_A = 0.5$$

$$FFS = 57.353 - 1.90 - 0 - 0 - 0.5 = 54.953$$

Y para el sentido Opuesto:

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A \quad \text{SENTIDO
OPUESTO}$$

$$BFFS = 51.356$$

$$f_{LW} = 1.90$$

$$f_{LC} = 0.0$$

$$f_M = 0.0$$

$$f_A = 0.5$$

$$FFS = 51.356 - 1.90 - 0 - 0 - 0.5 = 48.956$$

3.6.9.1.3. Paso 3 Seleccionar la Curva de velocidad a flujo Libre

En este paso se seleccionó una curva de velocidad que describía la relación de velocidad-flujo que esta descrita en la Figura 37,

Para el sentido de análisis el valor de FFS=54.95 se encuentra en el rango de

52.5 mi/h < 54.95 < 57,5 mi/h: y se debe utilizar FFS = 55 mi/h,

Para el sentido opuesto el valor de FFS=48.96 se encuentra en el rango de 47.5 mi/h <48.96 <52.5 mi/h: y se debe utilizar un FFS = 50 mi/h,

3.6.9.1.4. Paso 4 Determinar el número de carriles para un nivel de servicio dado.

Para determinar el número de carriles se utilizó la **Ecuación 31**, para ello primeramente se determinó sus datos de ingreso

$$N = \frac{V}{MSF_i \times PHF \times f_{hv} \times f_p} \quad \text{Ecuación 31}$$

3.6.9.1.4.1. Determinar el máximo flujo de servicio

Para determinar el máximo flujo de servicio se utilizó la Tabla 40, con los datos de ingreso de la velocidad media y el nivel de servicio buscado el cual es “C” para este objetivo

Para sentido de análisis se tiene obtuvo los siguientes datos:

Tabla 264: Máximo flujo de servicio en el sentido de análisis-2030

FFS (mi/h)	Nivel de servicio Buscado
55	C
	1430

Fuente: Elaboración Propia

Para el sentido opuesto se tiene:

Tabla 265: Máximo flujo de servicio en el sentido opuesto

FFS (mi/h)	Nivel de servicio Buscado
50	C
	1300

Fuente: Elaboración Propia

3.6.9.1.4.2. Factor de ajuste por vehículos pesados y recreacionales

Para determinar el factor de ajuste por vehículos pesados se tiene que realizar dos pasos:

- Se determina el factor de equivalencia para vehículos pesados E_T y vehículos recreacionales (E_R)
- Se calcula el factor de ajuste por vehículos pesados con **Ecuación 32**

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad \text{Ecuación 32}$$

El factor de equivalencia (E_T , E_R) refleja el número de vehículos ligeros desplazados del flujo por un vehículo pesado o recreativo y se obtiene utilizando la **Tabla 41** en terrenos generales y descenso y la **Tabla 42** y **Tabla 43** en ascensos específicos.

Para el sentido de análisis se tiene un descenso por lo cual se utiliza la **Tabla 41** y se obtuvo

Tabla 266: Factor de ajuste por vehículos pesados y recreacionales 2030

Tipo de Vehículo		Terreno Ondulado
Pesado	ET	2.5
Recreacional	ER	2

Fuente: Elaboración Propia

El sentido opuesto se tiene un ascenso específico con una pendiente de 5.33% por lo cual se utilizó la **Tabla 42** para el factor de equivalencia para vehículos pesados y la **Tabla 43** para vehículos recreacionales, obteniendo así las siguientes tablas:

Tabla 267: Factor de ajuste por vehículos pesados -2030

Pendiente (%)	Longitud (mi)	% De vehículos Pesados		
		20.00	21.00	25
>5 – 6	>1.00	3.5	3.5	3.5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 268: Factor de ajuste por vehículos recreacionales-2030

Pendiente (%)	Longitud (mi)	% De vehículos Recreacionales		
		2.00	0.00	2
>5	>0.50	6	6	6

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente se aplica la fórmula para cada sentido de análisis donde se tiene una proporción de vehículos pesados de 17% y 0% de recreacionales

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad \text{Sentido de análisis}$$

$$P_T = 0.21$$

$$P_R = 0.0$$

$$E_T = 2.5$$

$$E_R = 2.0$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.21(2.5 - 1) + 0(2.0 - 1)} = 0.760$$

Y Para el sentido opuesto se tiene:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad \text{Sentido Opuesto}$$

$$P_T = 0.21$$

$$P_R = 0.0$$

$$E_T = 3.5$$

$$E_R = 6.0$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.21(3.5 - 1) + 0(6.0 - 1)} = 0.656$$

3.6.9.1.4.3. Factor de ajuste por el tipo de población conductora:

El factor se basa en el efecto de la población de conductores, con valores de 1 cuando los conductores conocen la carretera y factores de 0.85 para conductores foráneos, para este sector se tienen ambos tipos de conductores obteniendo la siguiente tabla:

Tabla 269: Factor de ajuste por tipo de conductores

Tipo de Conductores	Factor de Ajuste F_p
Locales y Foráneos	0.95

Fuente: Elaboración Propia

3.6.9.1.4.4. Cálculo del número de carriles

Una vez determinado todos los valores necesarios se utiliza la **Ecuación 31**:

$$N = \frac{V}{MSF_d \times PHF \times f_{hv} \times f_p}$$

$$V = 426$$

$$MSF_d = 1430$$

$$f_{hv} = 0.760$$

$$f_p = 0.95$$

$$PHF = 1.0$$

$$N = \frac{426}{1430 \times 1 \times 0.760 \times 0.95} = \frac{426}{1032.46} = 0.413 = 2 \text{ carriles}$$

Para el sentido opuesto se tiene

$$N = \frac{V}{MSF_i \times PHF \times f_{hv} \times f_p}$$

$$V = 673$$

$$MSF_o = 1300$$

$$f_{hv} = 0.656$$

$$f_p = 0.95$$

$$PHF = 1.0$$

$$N = \frac{673}{1300 \times 1 \times 0.656 \times 0.95} = \frac{673}{810.16} = 0.831 = 2 \text{ carriles}$$

El resultado de N siempre debe ser redondeado al siguiente valor entero, y no debe ser menor a dos carriles, por lo cual se asume que el número de carriles para ambos sentidos fue 2

3.6.9.1.5. Paso 4 Ajuste del volumen de demanda

Finalmente, con todos los datos obtenidos, se debe convertir el volumen de demanda de vehículos por hora a vehículos ligeros por hora en condiciones base, este procedimiento se realizó con la **Ecuación 30**

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{hv} \times f_p} \quad \text{Ecuación 30}$$

El cálculo computacional para el sentido de análisis fue:

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{hv} \times f_p} \quad \text{Sentido de ANÁLISIS}$$

$$V = 426$$

$$PHF = 1$$

$$N = 2$$

$$f_{hv} = 0.760$$

$$f_p = 1$$

$$v_p = \frac{426}{1 * 2 * 0.760 * 1} = 295 \text{ vl/h}$$

Para el sentido opuesto se obtuvo:



$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{hv} \times f_p}$$

Sentido de ANÁLISIS

$$V = 673$$

$$PHF = 1$$

$$N = 2$$

$$f_{hv} = 0.656$$

$$f_p = 1$$

$$v_p = \frac{673}{1 * 2 * 0.656 * 1} = 514 \text{ vl/h}$$

3.6.9.1.6. Paso 5: Estimar la densidad

En este punto de la metodología ya se ha determinado la curva de velocidad de acuerdo a la velocidad a flujo libre, y la demanda en vehículos ligeros, el siguiente proceso fue determinar la densidad la cual se obtiene con la **Ecuación 33**, para el sentido de análisis se obtuvo:

$$D = \frac{v_p}{S}$$

Sentido de análisis

$$v_p = 295 \text{ vl/h}$$

$$S = 55 \text{ mi/h}$$

$$D = \frac{291}{55} = 5.4 \text{ vl} * \text{mi/h}$$

Así se tiene para el sentido opuesto:

$$D = \frac{v_p}{S}$$

Sentido de análisis

$$v_p = 540 \text{ vl/h}$$

$$S = 50 \text{ mi/h}$$

$$D = \frac{540}{50} = 10.8 \text{ vl} * \text{mi/h}$$

3.6.9.1.7. Paso 6 Determinar el nivel de servicio

En la Tabla 45 se muestra los rangos de nivel de servicio de acuerdo a la medida de eficacia de la densidad y la velocidad a flujo libre (FFS) comparando estos valores con los obtenidos para el sentido de análisis se obtuvo:

Tabla 270: Nivel de servicio determinado para el sentido de análisis-2030

Rango	FFS	Densidad
>0-11	55	5.4
Nivel de Servicio		
A		

Fuente: Elaboración Propia

Y para el sentido opuesto:

Tabla 271: Nivel de servicio determinado para el sentido opuesto-2030

Rango	FFS	Densidad
>0-11	50	10.8
Nivel de Servicio		
A		

Fuente: Elaboración Propia

Obteniendo un mejor nivel de servicio que el esperado. El cálculo de los demás tramos se encuentra en el Anexo N°6: Cálculo computacional del nivel de servicio con la metodología del HCM 2010 para carreteras multicarril: carretera Chinchero – Urubamba, año horizonte 2030 con el Aeropuerto Internacional de Chinchero operativo

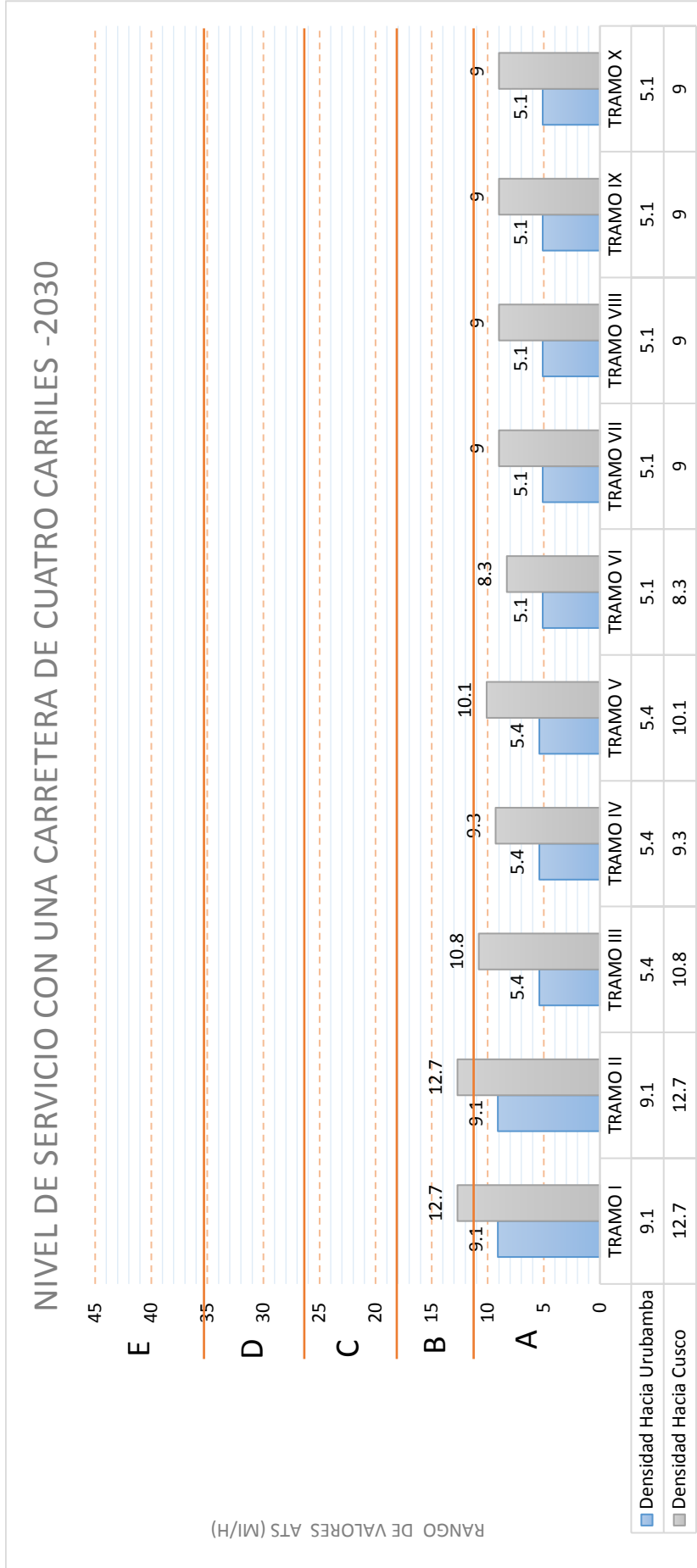
Tabla 272: Promedio de nivel de servicio con cuatro carriles en el año 2030

Carretera multicarril con 4 carriles en el año 2030		
	DENSIDAD	
	Hacia Urubamba	Hacia Cusco
TRAMO I	9.1	12.7
TRAMO II	9.1	12.7
TRAMO III	5.4	10.8
TRAMO IV	5.4	9.3
TRAMO V	5.4	10.1
TRAMO VI	5.1	8.3
TRAMO VII	5.1	9.0
TRAMO VIII	5.1	9.0
TRAMO IX	5.1	9.0
TRAMO X	5.1	9.0
PROMEDIO		
	5.99	9.99
	A	A

Fuente: Elaboración Propia

3.6.9.2. Diagrama

Tabla 273: Resultados del análisis del nivel de servicio de una carretera multicarril en la carretera Chinchero – Urubamba en el año 2030



Fuente: Elaboración Propia

3.6.9.3. Análisis de la prueba

La metodología aplicada dio como resultado la siguiente tabla:

Tabla 274: Resultados del nivel de servicio con una vía multicarril en la carretera Chinchero – Urubamba en el año horizonte 2030 con el AICC

	Densidad		Nivel de servicio Crítico
	Hacia Urubamba	Hacia Cusco	
Tramo I	A	B	B
TRAMO II	A	B	B
TRAMO III	A	A	A
TRAMO IV	A	A	A
TRAMO V	A	A	A
TRAMO VI	A	A	A
TRAMO VII	A	A	A
TRAMO VIII	A	A	A
TRAMO IX	A	A	A
TRAMO X	A	A	A

Fuente: Elaboración Propia

De estos resultados se concluye que una carretera multicarril de dos carriles mantendrá un nivel de servicio B en los tramos más críticos (los tramos que intersecan directamente el Aeropuerto Internacional de Chinchero I, II), el cual es un nivel más óptimo que el buscado en los objetivo “C” por lo cual se concluye que una sección transversal de 4 carriles de 3.60 metros de ancho por carril y con un separador central atenderá óptimamente el tránsito proyectado para el año horizonte 2030

CAPÍTULO 4. Resultado

4.1. Tramo I:

Del procedimiento de análisis de datos se concluye que en este sector el número de vehículos ligeros crece en mayor proporción al de los vehículos pesados debido a la cercanía del Aeropuerto Internacional de Chinchero, por lo cual el porcentaje de vehículos pesados se ve reducido de 17% a 13 % y un ligero incremento al 15% en el año horizonte 2030.

Del análisis de nivel de servicio comparando el estado actual con el inicio de operaciones del AICC se concluye que se reduce en el sentido Hacia Urubamba de un nivel C hasta un nivel D, y en el sentido Hacia Cusco se reduce desde un nivel D hasta un nivel E.

Este efecto se invierte con la implementación de carriles de adelantamiento, mas no es suficiente para lograr el nivel de servicio buscado en los objetivos, para lo cual es necesario la ampliación a una carretera de cuatro carriles logrando un nivel de A y un nivel de servicio B en el año horizonte 2030, estos resultados son óptimos y mayores de los esperados, por lo cual se concluye que la sección transversal propuesta es la necesaria para mitigar los efectos negativos del AICC durante el inicio de operaciones y en el año horizonte.

Tabla 275: Resultados del Tramo I km 0+000 al km 3+000

TRAMO I							
	Volumen Vehicular	% Pesados	Nivel de servicio		Nivel de servicio		Nivel de servicio
			ATS	C	PTSF	C	Critico
Carretera de dos carriles en el año 2019							
Hacia Urubamba	316	17%	48.8	C	53.4	C	C
Hacia Cusco	492		42.1	D	71	D	D
Carretera de dos carriles en el año 2021							
Hacia Urubamba	663	13%	44.8	D	75.6	D	D
Hacia Cusco	775		38.7	E	81	E	E
Carretera de dos carriles en el año 2021 con carriles de adelantamiento							
Hacia Urubamba	663	13%	48.1	C	56.1	C	C
Hacia Cusco	775		41.2	D	62.8	C	D
	Volumen Vehicular	% Pesados	Nivel de servicio		Nivel de servicio		
			Densidad		Critico		
Carretera multicarril con cuatro carriles en el año 2021							
Hacia Urubamba	663	13%	7.6	A	A		
Hacia Cusco	775		10.8	A			
Carretera multicarril con cuatro carriles en el año 2030							
Hacia Urubamba	780	15%	9.1	A	B		
Hacia Cusco	885		12.7	B			

Fuente: Elaboración Propia

4.2. Tramo II:

Del procedimiento de análisis de datos se concluye que el número de vehículos ligeros crece en mayor proporción al de los vehículos pesados debido a la cercanía del Aeropuerto Internacional de Chinchero, por lo cual el porcentaje de vehículos pesados se ve reducido de 17% a 13 % y un ligero incremento al 15% en el año horizonte 2030. .

Del análisis de nivel de servicio comparando el estado actual con el inicio de operaciones del AICC se concluye que se reduce en el sentido Hacia Urubamba de un nivel D hasta un nivel E, y en el sentido Hacia Cusco se mantiene en el nivel E.

Este efecto se invierte con la implementación de carriles de adelantamiento en el sentido Hacia Urubamba, pero en el sentido Hacia Cusco el nivel de servicio se mantiene en E, por lo cual esta solución no es lo suficiente para producir algún cambio en la calidad de la carretera.

De acuerdo a los cálculos una carretera de cuatro carriles en este sector produciría un nivel de A durante el inicio de operaciones y un nivel de servicio B en el año horizonte 2030, estos resultados son óptimos y mayores de los esperados, por lo cual se concluye que la sección transversal propuesta es la necesaria para mitigar los efectos negativos del AICC .

Tabla 276: Resultados del Tramo II km 3+000 al km 6+000

TRAMO II							
	Volumen Vehicular	% Pesados	Nivel de servicio		Nivel de servicio		Nivel de servicio
			ATS		PTSF		Critico
Carretera de dos carriles en el año 2019							
Hacia Urubamba	316	17%	42.9	D	52.9	C	D
Hacia Cusco	492		37.8	E	75.3	D	E
Carretera de dos carriles en el año 2021							
Hacia Urubamba	663	13%	39	E	76.6	D	E
Hacia Cusco	775		33.4	E	81.5	E	E
Carretera de dos carriles en el año 2021 con carriles de adelantamiento							
Hacia Urubamba	663	13%	41.6	D	58.6	C	D
Hacia Cusco	775		35.8	E	61.4	C	E
	Volumen Vehicular	% Pesados	Nivel de servicio		Nivel de servicio		
			Densidad		Critico		
Carretera multicarril con cuatro carriles en el año 2021							
Hacia Urubamba	663	13%	7.7	A	A		
Hacia Cusco	775		10.8	A			
Carretera multicarril con cuatro carriles en el año 2030							
Hacia Urubamba	780	15%	9.1	A	B		
Hacia Cusco	885		12.7	B			

Fuente: Elaboración Propia

4.3. Tramo III:

Del procedimiento de análisis de datos se concluye que en este sector el número de vehículos ligeros crece en igual proporción al de los vehículos pesados manteniéndose este último en un 17% , observándose un ligero incremento al 21% en el año horizonte 2030.

Del análisis de nivel de servicio comparando el estado actual con el inicio de operaciones del AICC se concluye que el nivel de servicio Hacia Urubamba se ve reducido de un nivel D a E y en el sentido Hacia Cusco se mantiene en un nivel E, la implementación de carriles de adelantamiento solo retorna el nivel de servicio en el sentido Hacia Urubamba.

Para producir un cambio es necesario la ampliación a una carretera de cuatro carriles logrando un nivel de A durante el inicio de operaciones y en el año horizonte 2030, estos resultados son óptimos y mayores de los esperados, por lo cual se concluye que la sección transversal propuesta es la necesaria para mitigar los efectos negativos del AICC.

Tabla 277: Resultados del Tramo III km 6+000 al km 9+000

TRAMO III							
	Volumen Vehicular	% Pesados	Nivel de servicio		Nivel de servicio		Nivel de servicio
			ATS		PTSF		Critico
Carretera de dos carriles en el año 2019							
Hacia Urubamba	316	17%	41	D	62.7	C	D
Hacia Cusco	492		33.2	E	72.7	D	E
Carretera de dos carriles en el año 2021							
Hacia Urubamba	351	17%	39.9	E	63.9	C	E
Hacia Cusco	541		32.2	E	75.1	D	E
Carretera de dos carriles en el año 2021 con carriles de adelantamiento							
Hacia Urubamba	351	17%	41.5	D	53.2	C	D
Hacia Cusco	541		35	E	52.1	C	E
	Volumen Vehicular	% Pesados	Nivel de servicio		Nivel de servicio		
			Densidad		Critico		
Carretera multicarril con cuatro carriles en el año 2021							
Hacia Urubamba	351	17%	4.2	A	A		
Hacia Cusco	541		8.1	A			
Carretera multicarril con cuatro carriles en el año 2030							
Hacia Urubamba	426	21%	5.4	A	A		
Hacia Cusco	673		10.8	A			

Fuente: Elaboración Propia

4.4. Tramo IV:

Del procedimiento de análisis de datos se concluye que en este sector el número de vehículos ligeros crece en igual proporción al de los vehículos pesados manteniéndose en un 17%, observándose un ligero incremento al 21% en el año horizonte 2030.

Del análisis de nivel de servicio comparando el estado actual con el inicio de operaciones del AICC se concluye que en ambos sentidos Hacia Urubamba y Hacia Cusco no presenta cambios en los niveles de servicio manteniéndose en niveles D y E respectivamente, a su vez con la implementación de carriles de adelantamiento se ve una mejora hasta el nivel C en el sentido Hacia Urubamba, pero en el otro sentido no es lo suficiente para producir alguna mejorar.

A su vez la ampliación a una carretera de cuatro carriles logra un nivel de A durante el inicio de operaciones y en un año horizonte 2030, estos resultados son óptimos y mayores de los esperados, por lo cual se concluye que la sección transversal propuesta es la necesaria para mitigar los efectos negativos del AICC.

Tabla 278: Resultados del Tramo IV km 9+000 al km 12+000

TRAMO IV							
	Volumen Vehicular	% Pesados	Nivel de servicio		Nivel de servicio		Nivel de servicio
			ATS	PTSF	PTSF	Critico	
Carretera de dos carriles en el año 2019							
Hacia Urubamba	316	17%	42.9	D	52.7	C	D
Hacia Cusco	492		37.9	E	75.2	D	E
Carretera de dos carriles en el año 2021							
Hacia Urubamba	351	17%	42	D	55.7	C	D
Hacia Cusco	541		36.8	E	76.4	D	E
Carretera de dos carriles en el año 2021 con carriles de adelantamiento							
Hacia Urubamba	351	17%	45.7	C	37.1	B	C
Hacia Cusco	541		38.3	E	64.4	C	E
	Volumen Vehicular	% Pesados	Nivel de servicio		Nivel de servicio		
			Densidad		Critico		
Carretera multicarril con cuatro carriles en el año 2021							
Hacia Urubamba	351	17%	4.2	A	A		
Hacia Cusco	541		7.1	A			
Carretera multicarril con cuatro carriles en el año 2030							
Hacia Urubamba	426	21%	5.4	A	A		
Hacia Cusco	673		9.3	A			

Fuente: Elaboración Propia

4.5. Tramo V:

Del procedimiento de análisis de datos se concluye que en este sector el número de vehículos ligeros crece en igual proporción al de los vehículos pesados manteniéndose en un 17%, observándose un ligero incremento al 21% en el año horizonte 2030.

Del análisis de nivel de servicio comparando el estado actual con el cálculo durante el inicio de operaciones del AICC se concluye que en el sentido Hacia Urubamba se reduce de un nivel D a E y en el sentido Hacia cusco se mantiene en un nivel E, la implementación de carriles de adelantamiento retomar el nivel de servicio en el sentido Hacia Urubamba, pero este nivel de servicio no es aceptable para los objetivos de la presente investigación.

Para producir una mejora es necesario la ampliación a una carretera de cuatro carriles logrando un nivel de A durante el inicio de operaciones y en el año horizonte 2001, estos resultados son óptimos y mayores de los esperados, por lo cual se concluye que la sección transversal propuesta es la necesaria para mitigar los efectos negativos del AICC.

Tabla 279: Resultados del Tramo V km 12+000 al km 15+000

TRAMO V							
	Volumen Vehicular	% Pesados	Nivel de servicio		Nivel de servicio		Nivel de servicio
			ATS		PTSF		Critico
Carretera de dos carriles en el año 2019							
Hacia Urubamba	316	17%	41	D	62.7	C	D
Hacia Cusco	492		33.2	E	72.7	D	E
Carretera de dos carriles en el año 2021							
Hacia Urubamba	351	17%	39.9	E	63.9	C	E
Hacia Cusco	541		32.2	E	75.1	D	E
Carretera de dos carriles en el año 2021 con carriles de adelantamiento							
Hacia Urubamba	351	17%	43.1	D	43.4	B	D
Hacia Cusco	541		33.5	E	63.3	C	E
	Volumen Vehicular	% Pesados	Nivel de servicio		Nivel de servicio		
			Densidad		Critico		
Carretera multicarril con cuatro carriles en el año 2021							
Hacia Urubamba	351	17%	4.2	A	A		
Hacia Cusco	541		7.6	A			
Carretera multicarril con cuatro carriles en el año 2030							
Hacia Urubamba	426	21%	5.4	A	A		
Hacia Cusco	673		10.1	A			

Fuente: Elaboración Propia

4.6. Tramo VI:

Del procedimiento de análisis de datos se concluye que en este sector el número de vehículos ligeros crece en igual proporción al de los vehículos pesados manteniéndose en un 20%, observándose un ligero incremento al 23% en el año horizonte 2030.

Del análisis de nivel de servicio comparando el estado actual con el inicio de operaciones del AICC se concluye que en ambos sentidos Hacia Urubamba y Hacia Cusco no presenta cambios en los niveles de servicio manteniendo en niveles C y D respectivamente, a su vez con la implementación de carriles de adelantamiento se produce una mejora en el sentido Hacia Urubamba de un nivel B, pero el nivel crítico es el que predomina siempre por lo cual se considera un nivel de servicio D en ambos sentidos de la carretera, nivel que no cumple con los objetivos de la presente tesis.

La ampliación a una carretera de cuatro carriles logra un nivel de A durante el inicio de operaciones y en un año horizonte 2030, estos resultados son óptimos y mayores de los esperados, por lo cual se concluye que la sección transversal propuesta es la necesaria para mitigar los efectos negativos del AICC.

Tabla 280: Resultados del Tramo VI km 15+000 al km 18+000

TRAMO VI							
	Volumen Vehicular	% Pesados	Nivel de servicio		Nivel de servicio		Nivel de servicio
			ATS		PTSF		Critico
Carretera de dos carriles en el año 2019							
Hacia Urubamba	284	20%	47.5	C	60.6	C	C
Hacia Cusco	408		41.3	D	71.8	D	D
Carretera de dos carriles en el año 2021							
Hacia Urubamba	318	20%	47.2	C	63.5	C	C
Hacia Cusco	457		40.8	D	73.7	D	D
Carretera de dos carriles en el año 2021 con carriles de adelantamiento							
Hacia Urubamba	318	20%	50.4	B	46.1	B	B
Hacia Cusco	457		43.4	D	56.3	C	D
	Volumen Vehicular	% Pesados	Nivel de servicio		Nivel de servicio		
			Densidad		Critico		
Carretera multicarril con cuatro carriles en el año 2021							
Hacia Urubamba	318	20%	4	A	A		
Hacia Cusco	457		6.3	A			
Carretera multicarril con cuatro carriles en el año 2030							
Hacia Urubamba	394	23%	5.1	A	A		
Hacia Cusco	585		8.3	A			

Fuente: Elaboración Propia

4.7. Tramo VII:

Del procedimiento de análisis de datos se concluye que en este sector el número de vehículos ligeros crece en igual proporción al de los vehículos pesados manteniéndose en un 20%, observándose un ligero incremento al 23% en el año horizonte 2030.

Del análisis de nivel de servicio comparando el estado actual con el inicio de operaciones del AICC se concluye que en ambos sentidos Hacia Urubamba y Hacia Cusco no presenta cambios en los niveles de servicio manteniendo en niveles D y E respectivamente, a su vez con la implementación de carriles de adelantamiento no se ve una mejora en el nivel de servicio.

A su vez la ampliación a una carretera de cuatro carriles logra un nivel de A durante el inicio de operaciones y en un año horizonte 2030, estos resultados son óptimos y mayores de los esperados, por lo cual se concluye que la sección transversal propuesta es la necesaria para mitigar los efectos negativos del AICC

Tabla 281: Resultados del Tramo VII km 18+000 al km 21+000

TRAMO VII							
	Volumen Vehicular	% Pesados	Nivel de servicio		Nivel de servicio		Nivel de servicio
			ATS	D	PTSF	C	Critico
Carretera de dos carriles en el año 2019							
Hacia Urubamba	284	20%	42.4	D	62.5	C	D
Hacia Cusco	408		34.7	E	64.5	C	E
Carretera de dos carriles en el año 2021							
Hacia Urubamba	318	20%	42	D	64.9	C	D
Hacia Cusco	457		34.4	E	68.5	D	E
Carretera de dos carriles en el año 2021 con carriles de adelantamiento							
Hacia Urubamba	318	20%	45.4	C	44	B	C
Hacia Cusco	457		35.8	E	57.8	C	E
	Volumen Vehicular	% Pesados	Nivel de servicio		Nivel de servicio		
			Densidad		Critico		
Carretera multicarril con cuatro carriles en el año 2021							
Hacia Urubamba	318	20%	4	A	A		
Hacia Cusco	457		6.7	A			
Carretera multicarril con cuatro carriles en el año 2030							
Hacia Urubamba	394	23%	5.1	A	A		
Hacia Cusco	585		9	A			

Fuente: Elaboración Propia

4.8. Tramo VIII:

Del procedimiento de análisis de datos se concluye que en este sector el número de vehículos ligeros crece en igual proporción al de los vehículos pesados manteniéndose en un 20%, observándose un ligero incremento al 23% en el año horizonte 2030.

Del análisis de nivel de servicio comparando el estado actual con el inicio de operaciones del AICC se concluye que en ambos sentidos Hacia Urubamba y Hacia Cusco no presenta cambios en los niveles de servicio manteniéndose en niveles D y E respectivamente, a su vez con la implementación de carriles de adelantamiento no se ve una mejora.

A su vez la ampliación a una carretera de cuatro carriles logra un nivel de A durante el inicio de operaciones y en un año horizonte 2030, estos resultados son óptimos y mayores de los esperados, por lo cual se concluye que la sección transversal propuesta es la necesaria para mitigar los efectos negativos del AICC.

Tabla 282: Resultados del Tramo VIII km 21+000 al km 24+000

TRAMO VIII							
	Volumen Vehicular	% Pesados	Nivel de servicio		Nivel de servicio		Nivel de servicio
			ATS		PTSF		Critico
Carretera de dos carriles en el año 2019							
Hacia Urubamba	284	20%	42.6	D	59.2	C	D
Hacia Cusco	408		35.2	E	60.9	C	E
Carretera de dos carriles en el año 2021							
Hacia Urubamba	318	20%	42.2	D	63.3	C	D
Hacia Cusco	457		34.9	E	66.7	D	E
Carretera de dos carriles en el año 2021 con carriles de adelantamiento							
Hacia Urubamba	318	20%	43.8	D	53.2	C	D
Hacia Cusco	457		38	E	45.5	B	E
	Volumen Vehicular	% Pesados	Nivel de servicio		Nivel de servicio		
			Densidad		Critico		
Carretera multicarril con cuatro carriles en el año 2021							
Hacia Urubamba	318	20%	3.8	A	A		
Hacia Cusco	457		6.4	A			
Carretera multicarril con cuatro carriles en el año 2030							
Hacia Urubamba	394	23%	5.1	A	A		
Hacia Cusco	585		9	A			

Fuente: Elaboración Propia

4.9. Tramo IX:

Del procedimiento de análisis de datos se concluye que en este sector el número de vehículos ligeros crece en igual proporción al de los vehículos pesados manteniéndose en un 20%, observándose un ligero incremento al 23% en el año horizonte 2030.

Del análisis de nivel de servicio comparando el estado actual con el inicio de operaciones del AICC se concluye que en ambos sentidos Hacia Urubamba y Hacia Cusco no presenta cambios en los niveles de servicio manteniendo niveles D y E respectivamente, a su vez con la implementación de carriles de adelantamiento no se ve una mejora en el nivel de servicio.

A su vez la ampliación a una carretera de cuatro carriles logra un nivel de A durante el inicio de operaciones y en un año horizonte 2030, estos resultados son óptimos y mayores de los esperados, por lo cual se concluye que la sección transversal propuesta es la necesaria para mitigar los efectos negativos del AICC.

Tabla 283: Resultados del Tramo IX km 24+000 al km 27+000

TRAMO IX							
	Volumen Vehicular	% Pesados	Nivel de servicio		Nivel de servicio		Nivel de servicio
			ATS		PTSF		Critico
Carretera de dos carriles en el año 2019							
Hacia Urubamba	284	20%	42.5	D	62.3	C	D
Hacia Cusco	408		34.8	E	64.3	C	E
Carretera de dos carriles en el año 2021							
Hacia Urubamba	318	20%	42.2	D	64.3	C	D
Hacia Cusco	457		34.6	E	68	D	E
Carretera de dos carriles en el año 2021 con carriles de adelantamiento							
Hacia Urubamba	318	20%	44.8	D	48.4	B	D
Hacia Cusco	457		37.1	E	50	C	E
	Volumen Vehicular	% Pesados	Nivel de servicio		Nivel de servicio		
			Densidad		Critico		
Carretera multicarril con cuatro carriles en el año 2021							
Hacia Urubamba	318	20%	4	A	A		
Hacia Cusco	457		6.7	A			
Carretera multicarril con cuatro carriles en el año 2030							
Hacia Urubamba	394	23%	5.1	A	A		
Hacia Cusco	585		9	A			

Fuente: Elaboración Propia

4.10. Tramo X:

Del procedimiento de análisis de datos se concluye que en este sector el número de vehículos ligeros crece en igual proporción al de los vehículos pesados manteniéndose en un 20%, observándose un ligero incremento al 23% en el año horizonte 2030.

Del análisis de nivel de servicio comparando el estado actual con el inicio de operaciones del AICC se concluye que en ambos sentidos Hacia Urubamba y Hacia Cusco no presenta cambios en los niveles de servicio manteniendo niveles E, a su vez no se puede implementar carriles de adelantamiento por su topografía manteniéndose un nivel E.

A su vez la ampliación a una carretera de cuatro carriles logra un nivel de A durante el inicio de operaciones y en un año horizonte 2030, estos resultados son óptimos y mayores de los esperados, por lo cual se concluye que la sección transversal propuesta es la necesaria para mitigar los efectos negativos del AICC.

Tabla 284: Resultados del Tramo X km 27+000 al km 32+100

TRAMO X							
	Volumen Vehicular	% Pesados	Nivel de servicio		Nivel de servicio		Nivel de servicio
			ATS	E	PTSF	C	Critico
Carretera de dos carriles en el año 2019							
Hacia Urubamba	284	20%	37.5	E	61	C	E
Hacia Cusco	408		29.6	E	71.4	D	E
Carretera de dos carriles en el año 2021							
Hacia Urubamba	318	20%	37.2	E	62.6	C	E
Hacia Cusco	457		29.4	E	74.3	D	E
Carretera de dos carriles en el año 2021 con carriles de adelantamiento							
Hacia Urubamba	318	20%	37.2	E	62.6	C	E
Hacia Cusco	457		29.4	E	74.3	D	E
	Volumen Vehicular	% Pesados	Nivel de servicio		Nivel de servicio		
			Densidad		Critico		
Carretera multicarril con cuatro carriles en el año 2021							
Hacia Urubamba	318	20%	4	A	A		
Hacia Cusco	457		6.7	A			
Carretera multicarril con cuatro carriles en el año 2030							
Hacia Urubamba	391	23%	5.1	A	A		
Hacia Cusco	577		9	A			

Fuente: Elaboración Propia



Discusión

Discusión N°1: Contraste de resultados con referentes del marco teórico:

¿Por qué no se ha visto mejora en los niveles de servicio “E” con los carriles de adelantamiento?

Como indica el *Highway Capacity Manual 2010* Debido al efecto aguas debajo de un carril de adelantamiento en el Porcentaje de tiempo usado viajando en colas, los niveles de servicio que son determinados por esta medida de eficacia pueden mejorar significativamente. Pero si el análisis del tramo incluye solo la longitud del carril de adelantamiento y su longitud efectiva, el carril de adelantamiento puede aumentar drásticamente la capacidad de una vía en los niveles de servicio de A-D, pero el nivel de servicio E no se verá afectado ya que este se encuentra con un excesivo volumen vehicular cuyo impacto se limitará a un área corta siendo su mejora despreciable.

Discusión N°2: Interpretación de los resultados encontrados en la investigación

¿Cuál es la medida de eficacia que presenta un peor nivel de servicio en el análisis realizado y a que se debe esto?

La medida de eficacia con un peor rendimiento es la velocidad promedio de viaje ATS, en el sentido Hacia Cusco el cual se encuentra generalmente entre el rango D-E, siendo este último más frecuente, esto se debe principalmente a la alta presencia de vehículos pesados los cuales al encontrarse con una pendiente ascendente se ven forzados a ir a velocidades menos a las del promedio y por consecuencia se reduce drásticamente la velocidad de recorrido de todos los demás vehículos.

Discusión N°3: Comentario de la demostración de la hipótesis

¿Por qué se selecciona como alternativa de solución una vía multicarril, si esta presenta un nivel de servicio mejor al buscado en los objetivos, no se puede mejorar la geometría de la carretera existente para lograr los niveles de servicio buscados?

La carretera Chinchero – Urubamba es una carretera de dos carriles el cual su nivel de servicio está directamente vinculado a la capacidad de adelantar a otros vehículos y a la presencia de vehículos pesados, como se ha observado en la metodología la demanda está alcanzando la capacidad limitada de este tipo de vías, por lo cual mejorar sus condiciones actuales incluso con carriles de adelantamiento no logran obtener los niveles de servicio deseados, en cambio las carreteras multicarril se basan en la libertad de movimiento de los



vehículos los cuales al tener un carril adicional , medianas que separan los sentidos del flujo y la libertad de adelantamiento permiten tener una calidad de operación óptima la cual tendría un mejor nivel de servicio durante un tiempo prolongado.

Discusión N°4: Aporte de la investigación

¿Es factible analizar el impacto vial y proponer una medida de mitigación de nuevos desarrollos (pueden ser nuevas edificaciones, fabricas, centros comerciales, entre otros) utilizando el manual del HCM 2010?

Para medir la calidad del flujo vehicular se usa el concepto de nivel de servicio, las cuales están descritas en términos de factores tales como velocidad, tiempo de recorrido, comodidad entre otras, los cuales permiten de una manera totalmente cuantificable y medible determinar la variación de calidad de una vía, el manual HCM 2010 indica todos los pasos necesarios para estimar los niveles de servicio mediante medidas de eficacia, por lo cual es una herramienta completamente útil para estimar el impacto que se generara en las vías aledañas a nuevos desarrollos.

DISCUSIÓN N°5: Incorporación de temas nuevos que se han presentado durante el proceso de la investigación que no estaba considerado dentro de los objetivos de la investigación

¿Cómo debe ser la intersección de ingreso de la carretera Chinchero - Urubamba con el Aeropuerto Internacional de Chinchero?

De acuerdo con los datos de transito proyectado determinado en esta investigación el crecimiento del tránsito en el tramo de ingreso y salida del aeropuerto será un 208% la mitad del volumen se dirige directamente al aeropuerto por lo cual lo óptimo para preservar los niveles de servicio de la futura carretera es implementar un pase a desnivel hacia el Aeropuerto Internacional de Chinchero.

DISCUSIÓN N°6: Incorporación de temas nuevos que se han presentado durante el proceso de la investigación que no estaba considerado dentro de los objetivos de la investigación

¿Por qué solo se estudió el tramo Chinchero – Urubamba, si la carretera fue construida como una sola Cusco - Urubamba por COPESCO entre los años 1975 – 1980?

Actualmente existe una propuesta Audio Visual denominada “Interconectividad Vial de Cusco – Chinchero” En el cual de acuerdo con (COPESCO, 2016) se tiene el proyecto a nivel



de idea que comprende la ejecución de una autopista de 4 carriles que unan la ciudad del Cusco con el Aeropuerto Internacional de Chinchero, por lo cual se vio pertinente estudiar si el tramo Chinchero – Urubamba necesitaba también una ampliación, lo cual fue comprobado en este estudio. A su vez el Tramo I y Tramo II de la presente tesis comprenden las secciones de carretera que están relacionados directamente a la carretera Chinchero – Cusco, tramos que demostraron que una carretera de 4 carriles es suficiente para ofrecer un nivel de servicio óptimo durante el inicio de operaciones como en el año horizonte 2030, estos resultados pueden ser extrapolados a toda la carretera ya que los puntos de aforo y la interacción con el nuevo aeropuerto son representativos.



Glosario

C

Camino: Vía terrestre para el tránsito de vehículos motorizados y no motorizados, peatones y animales, con excepción de las vías férreas.

Carretera: Camino para el tránsito de vehículos motorizados de por lo menos dos ejes, cuyas características geométricas, tales como: pendiente longitudinal, pendiente transversal, sección transversal, superficie de rodadura y demás elementos de la misma, deben cumplir las normas técnicas vigentes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Carril: Parte de la calzada destinada a la circulación de una fila de vehículos en un mismo sentido de tránsito.

Carril adicional para circulación lenta: Carril adicional situado a la derecha de los carriles principales, que permite desviarse a los vehículos que circulan con menor velocidad para permitir el adelantamiento de vehículos.

D

Distancia de adelantamiento o de paso: Es la mínima distancia que debe estar disponible, a fin de facultar al conductor del vehículo a sobrepasar u otro que viaja a una velocidad menor con comodidad y seguridad, sin causar alteración en la velocidad de un tercer vehículo que viaje en el sentido contrario y que se hace visible cuando se ha iniciado la maniobra de sobrepaso.

Distancia de cruce: Longitud de carretera que debe ser vista por el conductor de un vehículo que pretende atravesar dicha carretera (vía preferencial).

Distancia de visibilidad de parada: Es la mínima requerida para que se detenga un vehículo que viaja a la velocidad de diseño, antes de que alcance un objetivo inmóvil que se encuentra en su trayectoria.

E

Eje de la carretera: Línea longitudinal que define el trazado en planta, el mismo que está ubicado en el eje de simetría de la calzada. Para el caso de autopistas y carreteras duales el eje se ubica en el centro del separador central.



Elementos viales: Conjunto de componentes físicos de la vía, tales como superficie de rodadura, bermas, cunetas, obras de drenaje, elementos de seguridad vial y obras complementarias.

M

Mejoramiento: Ejecución de las obras necesarias para elevar el estándar de la vía mediante actividades que implican la modificación sustancial de la geometría y de la estructura del pavimento; así como la construcción y/o adecuación de los puentes, túneles, obras de drenaje, muros, y señalizaciones necesarias.

N

Niveles de servicio: Indicadores que califican y cuantifican el estado de servicio de una vía, que normalmente se utilizan como límites admisibles hasta los cuales pueden evolucionar su condición superficial, funcional, estructural, y de seguridad. Los indicadores son propios a cada vía y varían de acuerdo a factores técnicos y económicos dentro de un esquema general de satisfacción del usuario (comodidad, oportunidad, seguridad y economía) y rentabilidad de los recursos disponibles.

P

Pendiente de la carretera: Inclinación del eje longitudinal de la carretera.

R

Rasante: Nivel terminado de la superficie de rodadura. La línea de rasante se ubica en el eje de la vía.

S

Sección transversal: Representación de una sección de la carretera en forma transversal al eje y a distancias específicas, que nómina y dimensiona los elementos que conforman la misma, dentro del Derecho de Vía. Está conformada por los elementos de la carretera, tales como: calzada o superficie de rodadura (constituida por carriles), bermas, taludes, sistema de drenaje (cunetas, alcantarillas, zanja de coronación badenes y otros) y obras complementarias (muros, ductos y cámaras para fibra óptica, elementos del sistema de señalización, seguridad vial e infraestructura para dispositivo de control de tránsito inteligente y otros).

Sector: Parte continúa de un tramo de una vía.



Separador: Espacio o dispositivo estrecho y ligeramente saliente, distinto de una franja o línea pintada, situado longitudinalmente para separar el tránsito de la misma o distinta dirección y dispuesto de tal forma que limite e impida el paso de vehículos entre calzadas o carriles.

T

Tramo: Parte continúa de una carretera.

Tránsito: Conjunto de desplazamientos de personas, vehículos y animales por las vías terrestres de uso público (Circulación).

V

Vehículo: Todo medio capaz de desplazarse que sirve para transportar personas o mercancías y que se encuentra comprendido dentro de la clasificación vehicular del Anexo I del Reglamento Nacional de Vehículos.

Vehículo liviano: Vehículo automotor de peso bruto mayor a 1,5 t hasta 3,5 t.

Vehículo pesado: Vehículo automotor de peso bruto mayor a 3,5 t.

Velocidad de diseño: Máxima velocidad con que se diseña una vía en función a un tipo de vehículo y factores relacionados a: topografía, entorno ambiental, usos de suelos adyacentes, características del tráfico y tipo de pavimento previsto.

Velocidad de operación: Es la velocidad máxima a la que pueden circular los vehículos en un determinado tramo de una carretera, sin sobrepasar la velocidad de diseño de tramo homogéneo.



Conclusiones

Conclusión N°1:

Se logró el objetivo general y se demostró que la hipótesis general es negativa, una carretera multicarril de 4 carriles lograra un nivel de servicio A en la carretera Chinchero-Urubamba, durante el inicio de operaciones del Aeropuerto Internacional de Chinchero e igualmente en un horizonte al año 2030 siendo la mejor opción para mitigar los impactos viales negativos.

Conclusión N°2:

Se logró el Objetivo Específico N°1 y se demostró diferencias con la Hipótesis N°1, la carretera Chinchero – Urubamba, presenta hacia Urubamba un nivel de servicio promedio de “D” y “C” con una velocidad media de recorrido de 42.91 mi/h y un 59.0% de porcentaje de tiempo perdido en colas, a su vez en el sentido hacia Cusco presenta un nivel de servicio promedio de “E” y “D” con una velocidad media de recorrido de 35.98 mi/h y un 69.98% de porcentaje de tiempo perdido en colas.

Conclusión N°3:

Se logró el Objetivo Específico N°2 y se demostró diferencias con la Hipótesis N°2, la carretera Chinchero – Urubamba con el inicio de operaciones del Aeropuerto Internacional de Chinchero, presenta hacia Urubamba un nivel de servicio promedio de “D” y “D”, se observa una reducción del 3% de la velocidad media de viaje obteniendo un valor de 41.64 mi/h y un incremento del 11% en el de porcentaje de tiempo perdido en colas con un valor de 65.43%, a su vez en el sentido hacia Cusco presenta un nivel de servicio promedio de “E” y “D” se observa una reducción del 3.5% de la velocidad media de viaje obteniendo un valor de 34.74 mi/h y un incremento del 6% en el de porcentaje de tiempo perdido en colas con un valor de 74.03%,

Los tramos críticos afectados (I y II) son los que intersecan con el Aeropuerto Internacional de Chinchero los cuales su velocidad promedio de marcha se ve reducida un 8% y se presenta un gran incremento en el tiempo perdido de colas siendo un 41% mayor que sin la nueva infraestructura.

**Conclusión N°4:**

Se logró el Objetivo Específico N°3 y se demostró diferencias con la Hipótesis N°3, se hizo el primer análisis mejorando la infraestructura con carriles de adelantamiento, el cual obtuvo el nivel de servicio hacia Urubamba de D y C con una velocidad media de recorrido de 44.16 mi/h y un 50.27 % de tiempo perdido en colas, de igual manera para el sentido hacia Cusco se obtuvo niveles de servicio E y C con una velocidad media de recorrido de 36.75 mi/h y un 58.79% de tiempo perdido en colas, donde se observa una mejora en la velocidad de recorrido del 6% y una reducción del tiempo perdido en colas del 21%, pero en los sectores críticos Tramo I y II no se aprecia una mejora real ni se recupera el nivel de servicio inicial antes del Aeropuerto Internacional Chinchero por lo cual se realizó el análisis de una carretera multicarril.

La carretera Chinchero – Urubamba con el inicio de operaciones del Aeropuerto Internacional de Chinchero y con una sección transversal de cuatro carriles, presenta hacia Urubamba un nivel de servicio promedio “A” con una densidad de 4.77, a su vez en el sentido hacia Cusco presenta un nivel de servicio promedio de “A” con una densidad del 7.72. siendo esta sección transversal lo suficiente para mitigar los efectos del impacto vial del Aeropuerto Internacional Chinchero incluso con un resultado mejor que el buscado en el objetivo

Conclusión N°5:

Se logró el Objetivo Específico N°4 y se demostró diferencias con la Hipótesis N°4, la carretera Chinchero – Urubamba con el Aeropuerto Internacional de Chinchero en el año horizonte 2030, con una sección transversal de cuatro carriles, presenta hacia Urubamba un nivel de servicio promedio “A” con un incremento del 26% de la obteniendo un valor de 4.72 vl/mi/carril, a su vez en el sentido hacia Cusco presenta un nivel de servicio promedio “A” con un incremento del 29% de la obteniendo un valor de 9.9 vl/mi/carril” y en los puntos críticos (Tramo I Y II) un nivel de servicio “B” con una densidad de 9.1 y 12.7 vl/mi/carril, resultados que superan al nivel de servicio buscado en el objetivo “C” siendo esta sección transversal óptima para mantener un nivel de servicio cómodo para el usuario en el año horizonte 2030 con el funcionamiento del Aeropuerto Internacional Chinchero.



Recomendaciones

Recomendación N°1:

Se recomienda utilizar la presente tesis de investigación como sustento que apremie la priorización de la construcción de la ampliación de la carretera Chinchero - Urubamba antes del inicio de operaciones del Aeropuerto Internacional de Chinchero para tener un óptimo sistema vial no congestionado y que no perjudique a los miles de usuarios de este nuevo aeropuerto

Recomendación N°2:

Se recomienda analizar la viabilidad de una infraestructura vial que comunique el Aeropuerto Internacional Chinchero con la carretera Chinchero – Urubamba, tal como un pase a desnivel, que permita la interacción de estos sin generar congestionamiento y pérdidas de nivel de servicio en ninguna de las dos infraestructuras.

Recomendación N°3:

Se recomienda analizar todas las nuevas infraestructuras que se proponen construir con un estudio de impacto vial para determinar las mejores soluciones que permitan retomar o mejorar el nivel de servicio actualmente brindado, ya que el hecho de no realizarlo implica la proliferación de problemas viales como congestionamiento.

Recomendación n°4:

Se recomienda desarrollar de una manera relevante y prioritaria el estudio de impacto vial del Aeropuerto Internacional Chinchero Cusco en la carretera Chinchero-Cusco, para confirmar que la sección transversal de cuatro carriles lograra un nivel de servicio óptimo en este tramo.



Referencias

- Adaptación AASHTO, Justo, F., & Débora, A. (2011). *The Green Book*. San Juan: EICAM.
- Agencia de Promoción de la Inversión Pública. (Diciembre de 2016). *Aeropuerto Chinchero*.
Obtenido de El Comercio: <http://3.elcomercio.e3.pe/doc/0/0/8/6/9/869981.pdf>
- ALG Transportation Infrastructure & Logistics. (22 de Marzo de 2019). *Acerca de Nosotros ALG*. Obtenido de ALG Company: <http://www.alg-global.com/en>
- ALG Transportation Infrastructure & Logistics. (2013). *Contratación de un consultor integral para el concurso de proyectos integrales para la entrega en concesión al sector privado del Aeropuerto Internacional de Chinchero – Cusco (AICC) Volumen 1*. ALG: Lima.
- ALG Transportation Infrastructure & Logistics. (2013). *Contratación de un consultor integral para el concurso de proyectos integrales para la entrega en concesión al sector privado del Aeropuerto Internacional de Chinchero – Cusco (AICC) Volumen 2*. Lima: ALG.
- Bañón Blázquez, L., & Beviá García, J. (2000). *Manual de Carreteras*. Alicante: Ortiz e Hijos.
- Borja Suárez, M. (2012). *Metodología de Investigación Científica para Ingenieros*. Chiclayo: Borja.
- Cal, R., & Mayor, R. S. (2007). *Ingeniería de Tránsito* (Séptima ed.). México: Alfaomega.
- COPESCO. (15 de Mayo de 2016). *COPESCO del gobierno regional presenta proyectos futuristas visionando un Cusco moderno*. Obtenido de <https://www.copesco.gob.pe/archivos/956>
- INEI. (2018). *Perú: Crecimiento y distribución de la población, 2017*. Lima: INEI.
- INEI. (2018). *Producto Bruto por Departamento 2007-2017*. Lima: INEI.
- Institute of Transportation Engineers. (2010). *Manual of Transportation Engineering Studies [Manual para estudios de ingeniería de transportes. Adaptación Propia]*. Washington: ITE.
- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. (2017). *Reporte Estadístico de Turismo*. Lima: Viceministerio de Turismo. Obtenido de http://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/turismo/estadisticas/Octubre_2016.pdf



- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2015). *Estudio de Preinversión a nivel de perfil de la carretera EMP. PE 3S*. Lima: ProVias.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras*. Lima: Propia.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de Carreteras DG*. Lima: Viceministerio de Transportes.
- Ortúzar, J. d., & Willumsen, L. G. (2008). *Modelos de Transporte*. Madrid: Ediciones de la Universidad de Cantabria.
- ProInversión. (2013). *Contratación de un Consultor Integral para el Concurso de Proyectos Integrales para la entrega en concesión al sector privado del Aeropuerto Internacional de Chinchero – Cusco (AICC)*. Lima: ALG.
- Roess, R. P., Prassas, E. S., & McShane, W. R. (2011). *Traffic Engineering [Ingeniería del Tráfico. Adaptación Propia]* (Cuarta ed.). New York, United States of America: Pearson.
- Sampieri, H., Collado, F., & Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación*. Mexico D.F.: McGraw Hill.
- Transportation Research Board. (2010). *Highway Capacity Manual 2010 [Manual de Capacidad de Carreteras 2010. Adaptación Propia]*. Washington, DC, United States of America: TRB.
- Vargas Meza, P. G. (2018). *Evaluación de la accidentabilidad en la carretera nacional pe- 28 f, aplicando el modelo de predicción de accidentes para vías rurales de dos carriles - Highway Safety Manual Hsm 2010 y propuesta de solución*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- Vela Morales, F. G. (2008). *Estudios de Impacto Vial. Marco Conceptual*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.



Anexos

ANEXO N°1

LISTA DE ACRÓNIMOS



Lista de acrónimos		
N°	Acrónimo	Significado
01	AICC	Aeropuerto Internacional Chinchero Cusco
02	TRB	Transportation Research Board
03	HCM	Highway Capacity Manual
04	MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
05	PHF	Factor de Hora Punta
06	VHMD	Volumen Horario de Máxima Demanda
07	FFS	Velocidad a Flujo Libre
08	PTSF	Porcentaje de Tiempo usado viajando en colas
09	TLC	Distancia hacia un obstáculo lateral total
10	ATS	Velocidad Promedio de Viaje
11	PFFS	Porcentaje de la Velocidad a Flujo Libre
12	INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
13	PBI	Producto Bruto Interno
14	BFFS	Velocidad a Flujo Libre Base
15	f_A	Factor de ajuste por densidad de puntos de acceso
16	f_{LS}	Factor de ajuste por ancho de berma
17	f_{HV}	Factor de ajuste por vehículos pesados
18	f_g	Factor de ajuste por pendiente
19	P_T	Porcentaje de vehículos pesados en el flujo vehicular
20	P_R	Porcentaje de vehículos recreacionales en el flujo vehicular
21	E_T	Factor de equivalencia en vehículos ligeros para vehículos pesados
22	E_R	Factor de equivalencia en vehículos ligeros para vehículos recreacionales
23	f_{np}	Factor de ajuste para determinar el porcentaje de zonas de no rebase
24	v_i	Volumen de demanda ajustado
25	BPTSF	Porcentaje de Tiempo usado Viajando en Colas Base
26	L_d	Longitud después del largo efectivo del carril de adelantamiento
27	L_t	Longitud total del segmento en análisis
28	L_u	Longitud antes del carril de adelantamiento
29	L_{pl}	Longitud del carril de adelantamiento
30	L_{de}	Longitud afectada después del carril de adelantamiento
31	f_{LW}	Factor de ajuste por ancho de carril
32	f_{LC}	Factor de ajuste por distancia a obstáculos laterales
33	f_M	Factor de ajuste por tipo de mediana
34	f_P	Factor de ajuste por población atípica de conductores



ANEXO N°2
MATRIZ DE CONSISTENCIA

"ESTUDIO DE IMPACTO VIAL DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE CHINCHERO EN LA CARRETERA CHINCHERO - URUBAMBA DE ACUERDO CON LA METODOLOGÍA HCM 2010 "					
MATRIZ DE CONSISTENCIA					
Planteamiento del Problema	Objetivos Específicos	Hipótesis	Variables	Dimensión	
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Dependiente		
¿Cómo variará el nivel de servicio actual de la carretera Chinchero-Urubamba con la adición del tráfico generado por el Aeropuerto Internacional de Chinchero y que sección transversal logrará mantener un nivel de servicio B durante el inicio de operaciones del nuevo aeropuerto y un nivel de servicio C en el año horizonte 2030, de acuerdo con la metodología HCM 2010?	Determinar el impacto en el nivel de servicio de la carretera Chinchero-Urubamba, producto del tráfico generado por el Aeropuerto Internacional Chinchero y determinar que sección transversal logrará un nivel de servicio B durante la puesta en marcha del aeropuerto y un nivel de servicio C en el año horizonte 2030, de acuerdo con la metodología HCM 2010.	El impacto del Aeropuerto Internacional de Chinchero en la carretera Chinchero - Urubamba será la reducción del nivel de servicio de C a D, el cual podrá ser mitigado con una carretera de 6 carriles produciendo un nivel de servicio B en el inicio de operaciones y un nivel de servicio C en el año horizonte 2030.	Y1: Impacto Vial	Y11: Nivel de Servicio A B C D E F	
Problema Específico	Objetivos Específicos	Sub Hipótesis	Independiente		
¿Cuál es el nivel de servicio de la infraestructura vial existente Chinchero-Urubamba de acuerdo con la metodología HCM 2010?	Determinar el nivel de servicio de la infraestructura vial existente Chinchero - Urubamba.	El nivel de servicio de la carretera existente Chinchero-Urubamba es C.	X1: Infraestructura vial	X11: Condiciones Geométricas Capacidad Clasificación de la Carretera Ancho de Carril Ancho de Berma Mediana Obstáculos Laterales Densidad de Puntos de Acceso Terreno	
¿Cuál será el nivel de servicio de la infraestructura vial existente Chinchero - Urubamba durante el inicio de operaciones del Aeropuerto Internacional de Chinchero, de acuerdo con la metodología HCM 2010?	Determinar el nivel de servicio de la infraestructura vial existente Chinchero - Urubamba durante el inicio de operaciones del Aeropuerto Internacional de Chinchero.	El Nivel de Servicio de la carretera existente Chinchero-Urubamba será D con la puesta en servicio del Aeropuerto Internacional de Chinchero.			X21: Condiciones de Transito Condición del Pavimento Porcentaje de zonas de no rebase Volumen Horario de Vehículos Duración del Periodo de Análisis Factor Hora Punta Porcentaje de Vehículos Pesados
¿Qué sección transversal producirá un nivel de servicio B en la carretera Chinchero-Urubamba, durante el inicio de operaciones del Aeropuerto Internacional de Chinchero, de acuerdo con la Metodología HCM 2010?	Determinar la sección transversal que producirá un nivel de servicio B en la carretera Chinchero - Urubamba durante el inicio de operaciones del Aeropuerto Internacional de Chinchero.	Ampliar a seis carriles la carretera Chinchero-Urubamba logrará un nivel de servicio B con la puesta en servicio del Aeropuerto Internacional de Chinchero.			
¿Qué sección transversal producirá un nivel de servicio C en la carretera Chinchero-Urubamba, en el año horizonte 2030 con el Aeropuerto Internacional de Chinchero, de acuerdo con la Metodología HCM 2010?	Determinar la sección transversal que producirá un nivel de servicio C en la carretera Chinchero - Urubamba en el año horizonte 2030 con el Aeropuerto Internacional Chinchero.	Ampliar a seis carriles la carretera Chinchero-Urubamba logrará un nivel de servicio C en el año horizonte 2030 con la operación del Aeropuerto Internacional de Chinchero.	X23: Condiciones de Transito futuro Factor de Crecimiento		