

Capítulo 5 Pronóstico de la Demanda

5.1 Introducción

El presente capítulo describe la metodología y los resultados del modelado del sistema de transportes en el área de estudio.

La principal fuente de datos para este estudio fue la Encuesta de Viaje Personal. Las matrices estimadas en la Encuesta de Viaje Personal fueron calibradas para el modelo de pronóstico de demanda.

Luego de la calibración de matrices, se desarrolló el modelo de generación de viajes, el cual estima la atracción y realización de viajes por la zona de tránsito, realizando un análisis entre el número de viajes y los datos socioeconómicos.

El siguiente paso fue desarrollar el modelo de distribución de viajes utilizando las matrices de impedancia provenientes del modelo de la red. Se calibró un modelo de gravedad para la distribución de viajes.

El siguiente, fue el modelo de partición modal. En este paso se utilizó un modelo logit binario.

Finalmente, se asignaron las matrices por modo, en el modelo de la red.

También se definieron los futuros escenarios de suministro y, en consecuencia, se estimaron las matrices de impedancia para el 2020 y el 2030 a partir del modelo de la red. Estas matrices de impedancia permitieron la aplicación del modelo de distribución y el modelo de partición modal para cada año objetivo. Los resultados de este proceso fueron las matrices privada y pública, estimadas para los años objetivo que permitieron la simulación y el análisis de la red futura.

El proceso sucintamente descrito líneas arriba, se detalla mejor en los siguientes acápite:

- 1) Sistema de zonificación;
- 2) Modelado de la red;
- 3) Calibración de las matrices;
- 4) Modelos de transporte
 - a) Modelo de generación de viajes;
 - b) Modelo de distribución de viajes;
 - c) Modelo de partición modal;
 - d) Validación del modelo.
- 5) Escenarios de suministro;
- 6) Matrices futuras;
- 7) Simulación de alternativas;
- 8) Resultados finales.

5.2 Sistema de zonificación

Para este estudio se utilizó el mismo sistema de zonificación adoptado en el PMTU-2025, el cual consiste en 427 zonas de tránsito. En Lima se tienen 401 zonas, de las cuáles, 26 están ubicadas en el Callao.

También se definió un nivel mayor de incorporaciones, considerando los 49 distritos en el área de estudio. La Tabla 5.1 muestra el número de zonas de tránsito por distrito y la Figura 5.1 ilustra dichas zonas.

Tabla 5.1 Numero de Zonas de tránsito por distrito

DISTRITO	ZONAS	DISTRITO	ZONAS
ANCON	1	MIRAFLORES	8
ATE VITARTE	17	PACHACAMAC	3
BARRANCO	5	PUCUSANA	1
BELLAVISTA	5	PUEBLO LIBRE	5
BRENA	3	PUENTE PIEDRA	10
CALLAO	26	PUNTA HERMOSA	1
CARABAYLLO	11	PUNTA NEGRA	1
CARMEN DE LA LEGUA REYNOSO	2	RIMAC	9
CHACLACAYO	2	SAN BARTOLO	1
CHORRILLOS	19	SAN BORJA	11
CIENEGUILLA	1	SAN ISIDRO	9
COMAS	22	SAN JUAN DE LURIGANCHO	26
EL AGUSTINO	8	SAN JUAN DE MIRAFLORES	14
INDEPENDENCIA	7	SAN LUIS	3
JESUS MARIA	7	SAN MARTIN DE PORRES	15
LA MOLINA	10	SAN MIGUEL	10
LA PERLA	3	SANTA ANITA	8
LA PUNTA	1	SANTA MARIA DEL MAR	1
LA VICTORIA	12	SANTA ROSA	3
LIMA	22	SANTIAGO DE SURCO	22
LINCE	3	SURQUILLO	5
LOS OLIVOS	13	VENTANILLA	9
LURIGANCHO	12	VILLA EL SALVADOR	15
LURIN	7	VILLA MARIA DEL TRIUNFO	15
MAGDALENA DEL MAR	3	Total	427

Fuente: Equipo de Estudio JICA



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.1 Zonas de Tránsito y Distritos del Área de Estudio

5.3 Modelación de la red

El modelo de la red consiste en las redes del sistema de transporte público y privado. El modelo de la red en el área del estudio, se construyó con el software TransCad, el cual es aplicado ampliamente en estudios de transporte.

5.3.1 Modo privado

La red privada está representada por la principal red vial que está asociada a los parámetros

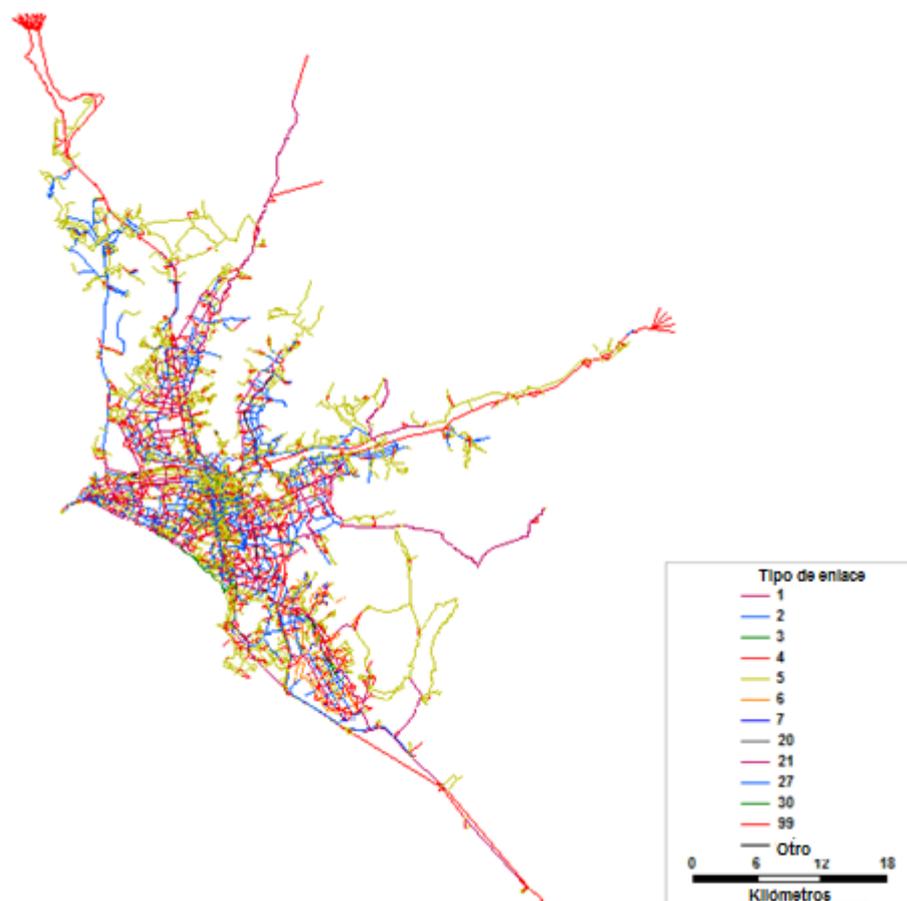
operativos, tales como la clase, capacidad, distancia, velocidad de flujo libre y la ubicación del peaje. La Tabla 5.2 muestra el valor de los atributos adoptados en el modelo.

Tabla 5.2 Parámetros para el modelo de la red

Tipo	Jerarquía	Capacidad / Carril	Velocidad (km/h)
1	Arterial	1,200	45-60
2	Colectora	960	30
3	Expresa	1,400	80
4	Carretera	1,400	80
5	Tipo local 1	840	25
6	Tipo local 2	700	20
7	Tipo local 3	600	10
20	Metropolitana (BRT)	37,400	30
21	Tren eléctrico	24,000	40
30	Peatonal	1,200	4
99	Conectora	9,999	4

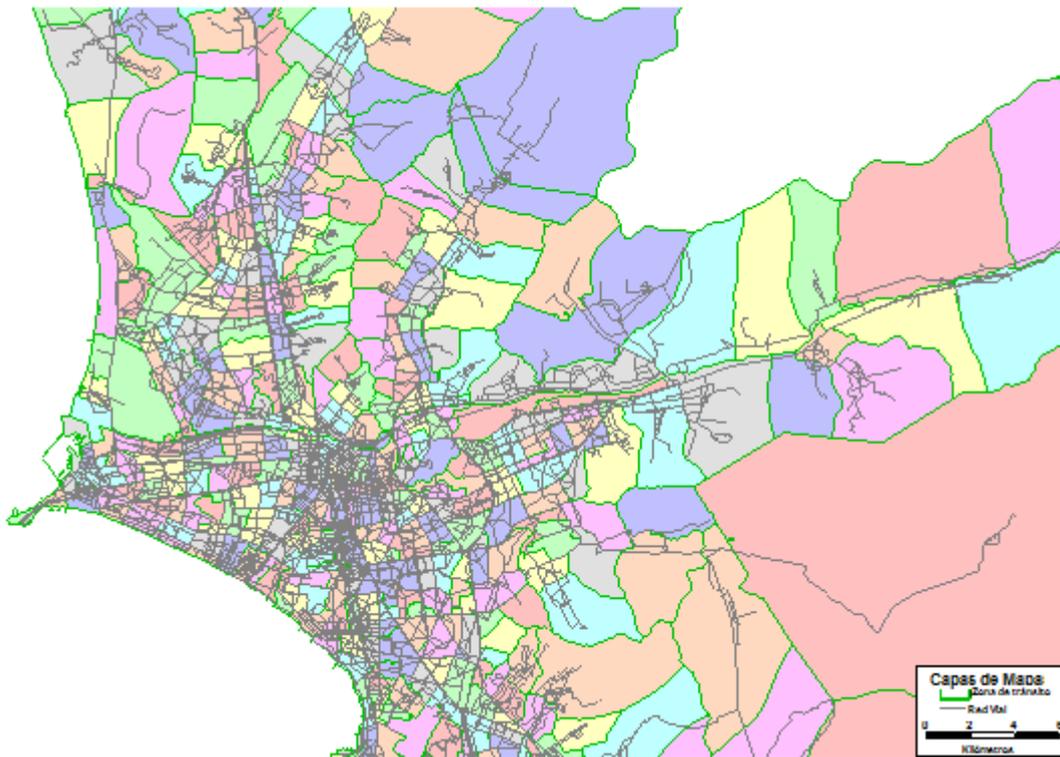
Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.2 ilustra el modelo de red privada y la Figura 5.3 ilustra la red privada en el área central con sistema de zonificación.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.2 Modelo de Red Privada



Fuente: Equipo de Estudio JICA

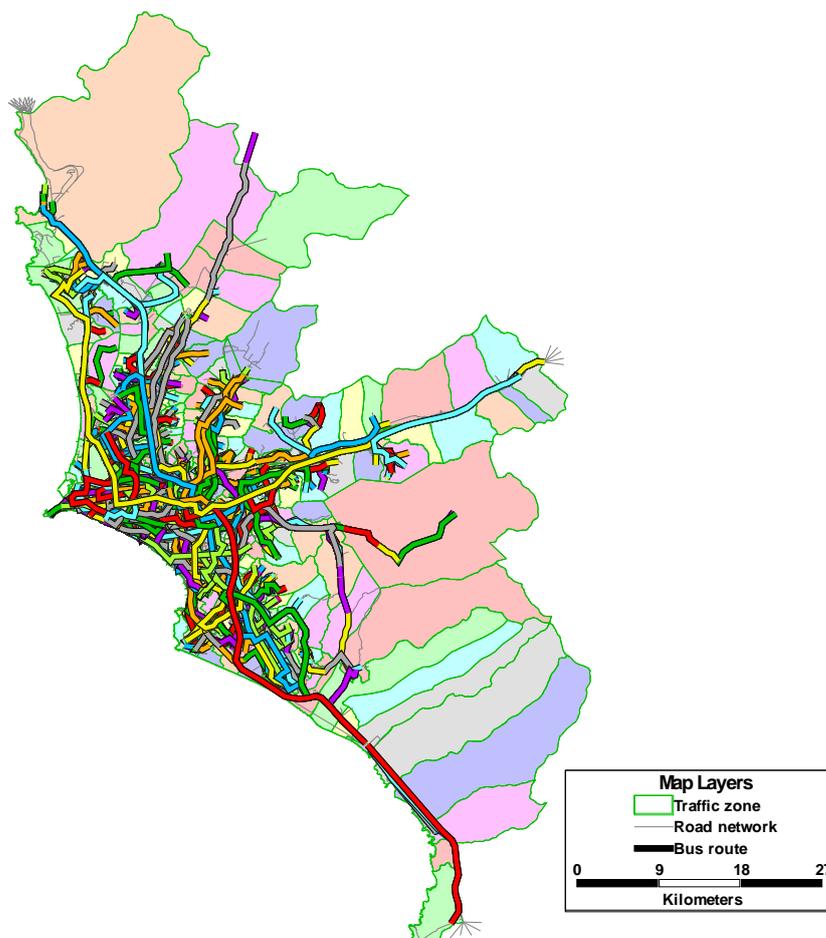
Figura 5.3 Red privada y Sistema de Zonificación

5.3.2 Modo de Tránsito

La red de modo de tránsito tiene más complejidad que una red de modo privada debido a las rutas de ómnibus y otras líneas públicas.

BRT y líneas de tren se muestran en la Figura 5.4.

Hay 590 rutas en la red de tránsito. Cada línea tiene atributos tales como intervalos entre vehículos, tipo de vehículo, capacidad y tarifa de pasaje.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

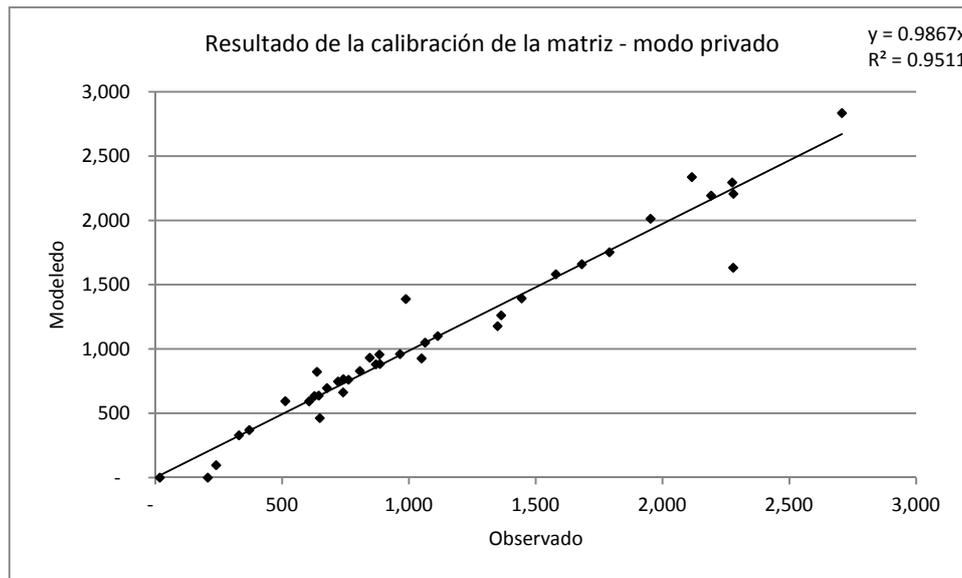
Figura 5.4 Red de Rutas de Ómnibus en el Área de Estudio

5.4 Calibración de las Matrices

La encuesta de viaje personal produce matrices privadas y públicas, crudas o sin pulir, que tienen que ajustarse a través de la comparación entre la asignación de tránsito y los datos de conteo. Este proceso, es llamado también calibración de la matriz.

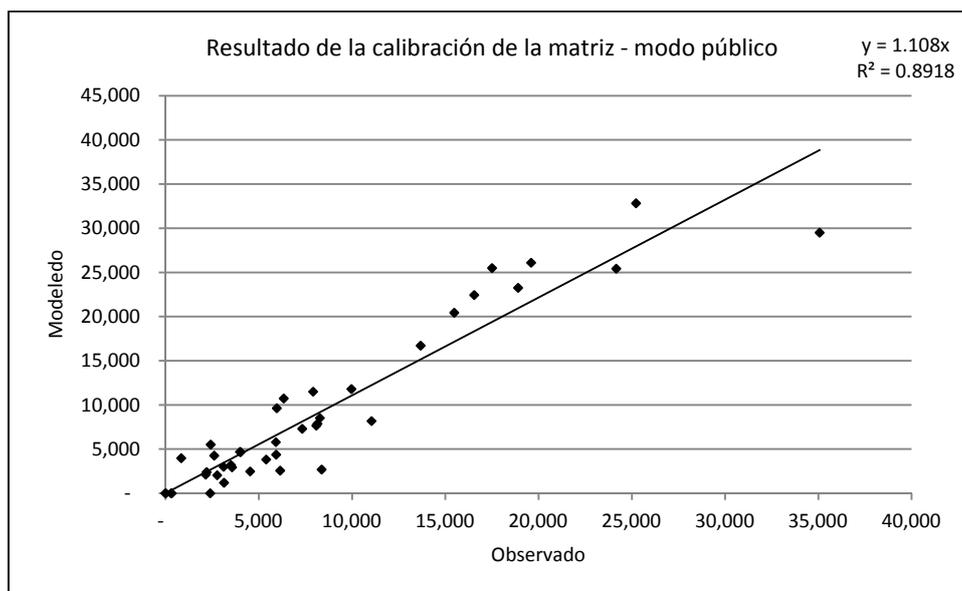
El ajuste se realizó para la hora pico de la mañana, utilizando un algoritmo automatizado suministrado por TransCad y un ajuste manual adicional.

En la Figura 5.5 y la Figura 5.6 se presenta la comparación entre el dato de conteo de tráfico y el dato de simulación para modos privado y público respectivamente. R^2 fue calculado a en 0.95 para modo privado y 0.89 para modo público. Los resultados son razonables para los propósitos de pronóstico de demanda en el estudio.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.5 Resultados de la calibración de la matriz del modo privado



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.6 Resultados de la calibración de la matriz del modo público

5.5 Modelos de transporte

5.5.1 Modelo de generación de viajes

(1) Estructura de Modelo

La demanda total por zona de tránsito es estimada en base al modelo de generación de viaje. El modelo consiste en los modelos de producción y atracción.

Para este modelo se utilizó la **regresión lineal múltiple**, que estima los parámetros para una relación lineal entre un conjunto de variables explicativas y variables dependientes.

Para establecer la relación, se clasificaron los viajes en tres grupos:

- Determinación de las categorías de viaje:
 - Viaje por propósito de trabajo, basado en el hogar - HBW: viaje con propósito de trabajo, desde o hacia el hogar del viajero;
 - Viaje por propósito de estudio, basado en el hogar – HBS: viaje con propósito de estudio; desde o hacia el hogar del viajero;
 - Viaje por otros propósito – OP: compuesto por:
 - ✓ Viaje por otros propósitos, basado en el hogar – HBO: viaje con propósito de realizar otras actividades, y que ha tenido al hogar, como el punto de partida o llegada; y
 - ✓ Viaje no basado en el hogar – NHB: Viaje que no ha tenido al hogar o lugar de residencia, como el origen o destino del viaje

Estos grupos fueron seleccionados luego que se realizaran pruebas preliminares con otras variantes de grupos. Por ejemplo, grupo del modelo de generación de viaje, por el ingreso de la familia fue examinado, pero los resultados no fueron satisfactorios.

Las regresiones múltiples se basan en la determinación de los coeficientes asociados a las variables dependientes en el siguiente tipo de función:

$$y_i = \alpha_1 \times v_1 + \alpha_2 \times v_2 + \dots + \alpha_n \times v_n$$

Donde:

y_i = variable dependiente a calcularse, por ejemplo, HBW;

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ = coeficientes a determinarse;

v_1, v_2, \dots, v_n = variables explicativas;

Se seleccionan las variables explicativas, luego de probar combinaciones provenientes de un conjunto de variables tales como, población, empleo, registros escolares, tasas de ingreso promedio y de motorización. Se seleccionó la combinación que dió como resultado el mejor ajuste de la regresión para hacer el modelo de generación de viaje.

El modelo consideró el período de dos horas en el pico de la mañana de 7:00 am a 9:00 am con un total de 2.3 millones de viajes, considerando los modos privado y público. Estos viajes se distribuyen en 46.6% para HBW, 33.3% para HBS y 20.1% para OP.

El modelo se desarrolló a nivel de distritos, considerando la confiabilidad de datos a nivel de distrito y zona de tránsito. Una vez que se calcula el volumen de la producción y la atracción por distrito, se desagregan a nivel de zona, de manera proporcional a los estimados en la Encuesta de viaje personal.

Los resultados del modelo de regresión para cada grupo de viaje, se presentan a continuación.

(2) Modelo de producción para HBW

Para este grupo de viajes, el modelo se da por medio de la siguiente ecuación:

$$PHBW_i = 0.11075697 * Pop_i$$

Donde,

$PHBW_i$ = Producción de HBW en el distrito i

Pop_i = Población en el distrito i

Tabla 5.3 muestra los principales resultados de la regresión, donde $R^2=0.95$ indica que la población, explica el 95% de la producción de viajes para este grupo. Los valores de estudiante T y P también son compatibles con los resultados.

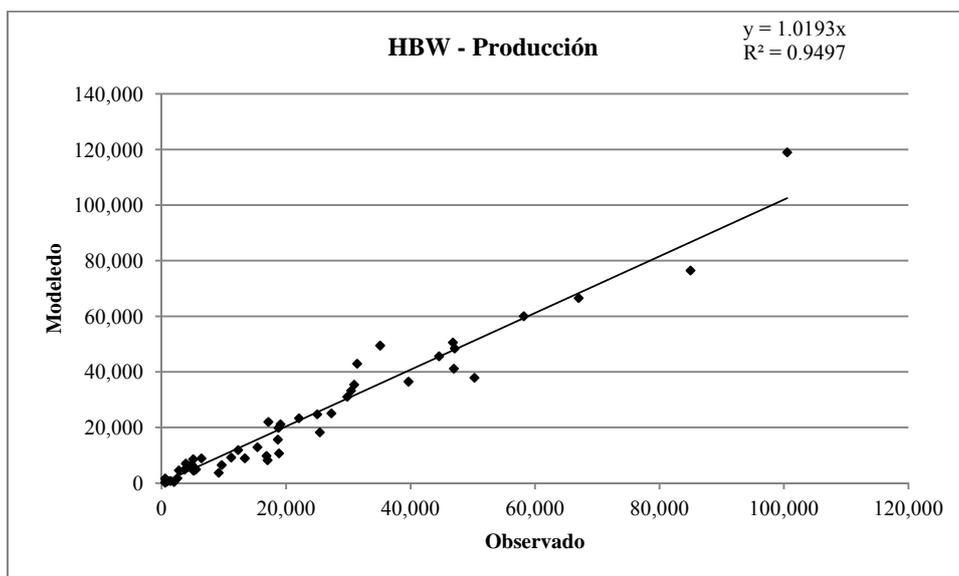
Tabla 5.3 Resultados de la Regresión del Modelo de Producción para HBW

Estadísticas de regresión	
R múltiple	0,986612437
R- al cuadrado	0,973404101
R- cuadrados ajustados	0,952570768
Error estándar	5198,530705
Observaciones	49

	Coefficientes	Error estándar	T Estad.	Valor- P
Intersección	0	#N/D	#N/D	#N/D
Población	0,110756972	0,002642477	41,91407317	1,8206E-39

Fuente: Equipo de Estudio JICA

La Figura 5.7 muestra la correlación entre la estimación en la encuestas de viaje personal y los datos donde el valor de R^2 llegó a 0.95.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.7 Predictibilidad del Modelo de Producción para HBW

(3) Modelo de atracción HBW

Para este grupo de viajes, el modelo se da por medio de la siguiente ecuación:

$$AHBW_i = 0.223266 * Emp_i + 38,578.31 * Dummy1$$

Donde,

$AHBW_i$ = Producción de HBW en el distrito i

Emp_i = Empleo en el distrito i

$Dummy1$ = variable definida por el distrito 37 (San Isidro) con un comportamiento muy particular en lo que respecta a atracción de viajes

La Tabla 5.4 muestra los principales resultados de la regresión, en donde $R^2=0.93$ indica que el empleo y la variable de dummy, explican el 93% de la atracción de viajes para este grupo. Los valores de estudiante T y P también son compatibles con los resultados.

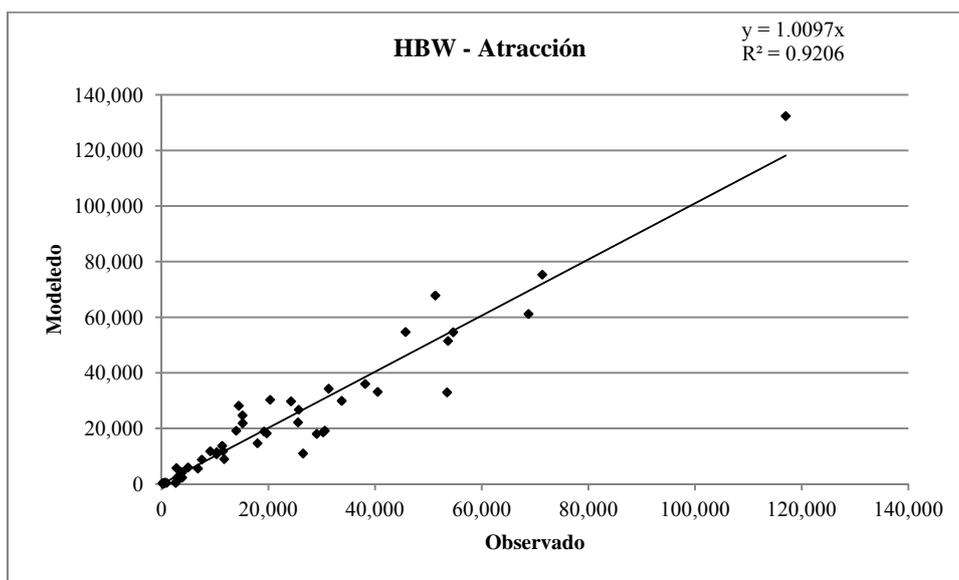
Tabla 5.4 Resultados de la regresión del modelo de atracción para HBW

Estadísticas de regresión	
R múltiple	0,97805361
R- al cuadrado	0,95658887
R- cuadrados ajustados	0,93438864
Error estándar	6844,64857
Observaciones	49

	Coefficientes	Error estándar	T estad.	Valor - P
Intersección	0	#N/D	#N/D	#N/D
Empleo	0,22326561	0,007333054	30,44647046	1,3714E-32
Dummy 1	38578,3135	6928,799011	5,567821119	1,2061E-06

Fuente: Equipo de Estudio JICA

La Figura 5.8 muestra la correlación entre la estimación en la encuesta de viaje personal y el dato modelado donde R^2 llegó a 0.92.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.8 Predictibilidad del Modelo de Atracción para HBW

(4) Modelo de producción para HBS

Para este grupo de viajes el modelo se da por medio de la siguiente ecuación:

$$PHBS_i = 0.08424584 * Pop_i$$

Donde,

$PHBS_i$ = Producción de HBS en el distrito i

Pop_i = Población en el distrito i

0.08424584 = coeficiente de la regresión

La Tabla 5.5 da los principales resultados de la regresión, en donde $R^2=0.96$ indica que la población, explica el 96% de la producción de viajes para este grupo. Los valores de estudiante T y P también son compatibles con los resultados.

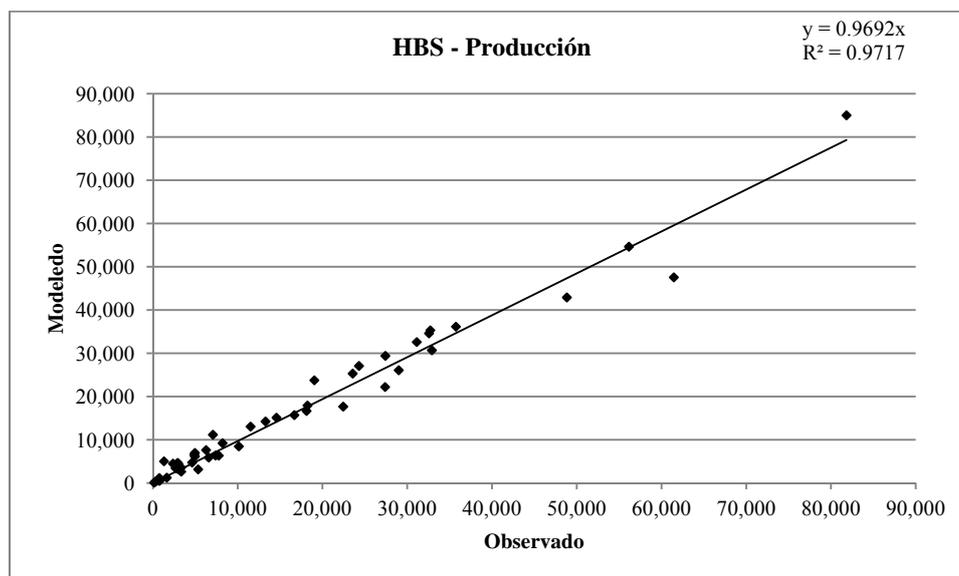
Tabla 5.5 Resultados de la regresión del modelo de producción para HBS

Estadísticas de regresión	
R múltiple	0,99247713
R- al cuadrado	0,98501085
R- cuadrados ajustados	0,96417751
Error estándar	2950,97349
Observaciones	49

	Coeficientes	Error estándar	T estad.	Valor - P
Intersección	0	#N/D	#N/D	#N/D
Población	0,08424584	0,001500016	56,16329302	1,9092E-45

Fuente: Equipo de Estudio JICA

La Figura 5.9 muestra la correlación entre la estimación en la encuesta de viaje personal y los modelados donde el valor de R^2 llegó a 0.97.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.9 Predictibilidad del Modelo de Producción para HBS

(5) **Modelo de atracción para HBS**

Para este grupo de viajes el modelo se da por medio de la siguiente ecuación:

$$AHBS_i = 0.331974 * Sp_i + 25,485.55 * Dummy2$$

Donde,

$AHBS_i$ = Producción de HBS en el distrito i

Sp_i = Estudiantes en el centro de estudios en el distrito i

$Dummy2$ = variable definida para el distrito 23 (Los Olivos) con un comportamiento muy particular en lo que respecta a atracción de viaje

La Tabla 5.6 da los principales resultados de la regresión, en donde $R^2=0.94$ indica que los registros escolares y dummy2, explican el 94% de la atracción de viajes para este grupo. Los valores de estudiante T y P también son compatibles con los resultados.

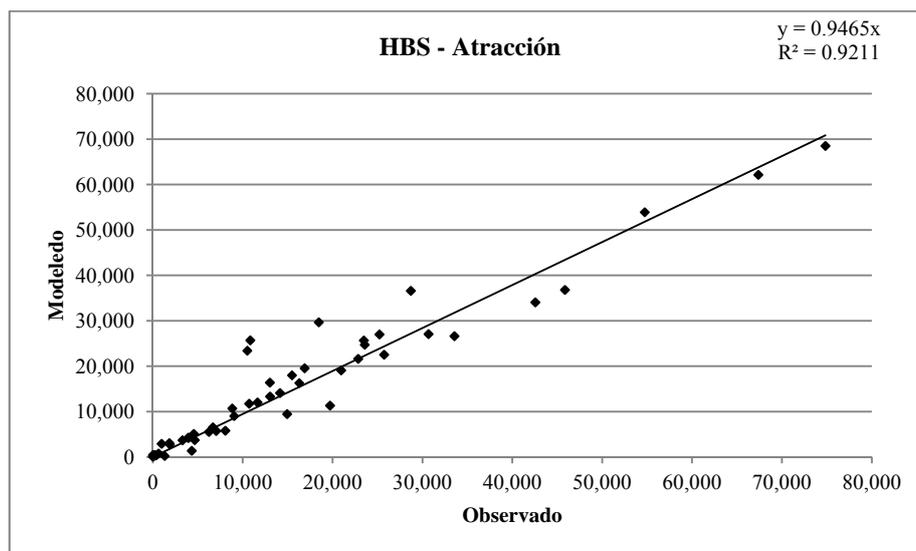
Tabla 5.6 Resultados de la Regresión del Modelo de Atracción para HBS

Estadísticas de regresión	
R múltiple	0,98033889
R- al cuadrado	0,96106435
R- cuadrados ajustados	0,93895933
Error estándar	4687,99156
Observaciones	49

	coeficientes	Error estándar	T estad.	Valor - P
Intersección	0	#N/D	#N/D	#N/D
Matr2012	0,33197397	0,010374911	31,9977656	1,4741E-33
Dummy 2	25485,5523	4776,213486	5,335932403	2,679E-06

Fuente: Equipo de Estudio JICA

La Figura 5.10 muestra la correlación entre la estimación en la encuesta de viaje personal y los modelados donde el valor de R^2 llegó a 0.92.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.10 Predictibilidad entre el Modelo de Atracción para HBS

(6) Modelo de producción para OP

Para este grupo de viajes el modelo se da por medio de la siguiente ecuación:

$$POP_i = 0.05034698 * Pop_i$$

Donde,

POP_i = Producción de OP en el distrito i

Pop_i = Población en el distrito i

La Tabla 5.7 da los principales resultados de la regresión, en donde $R^2=0.96$ indica que la población, explica el 96% de la producción de viajes para este grupo. Los valores de estudiante T y P también son compatibles con los resultados.

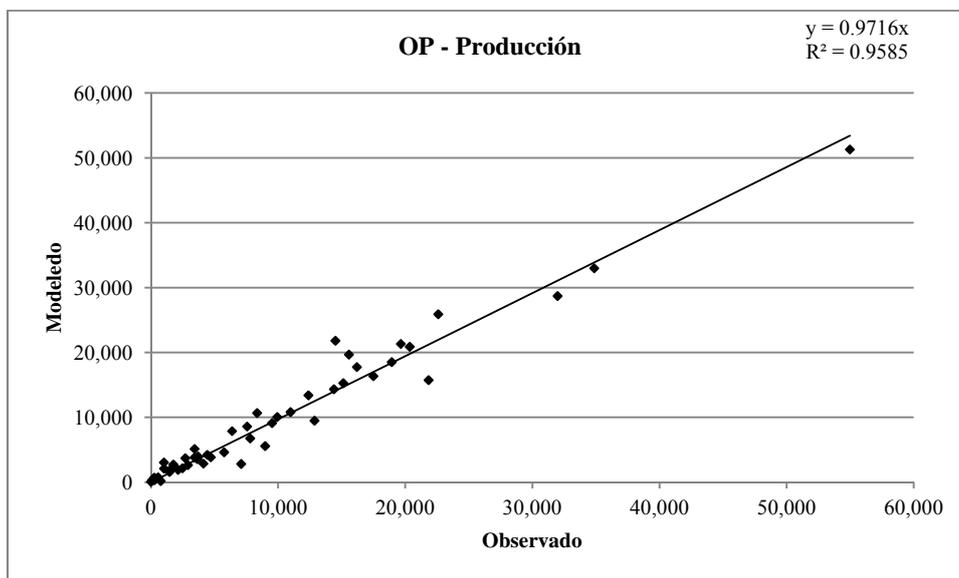
Tabla 5.7 Resultados de la Regresión del Modelo de Producción para OP

Estadísticas de regresión	
R múltiple	0,98897264
R- al cuadrado	0,97806689
R- cuadrados ajustados	0,95723356
Error estándar	2140,8587
Observaciones	49

	Coefficientes	Error estándar	T estad.	Valor - P
Intersección	0	#N/D	#N/D	#N/D
Población	0,05034698	0,001088225	46,2652386	1,7786E-41

Fuente: Equipo de Estudio JICA

La Figura 5.11 muestra la correlación entre la estimación de la encuesta de viaje personal y los modelados donde el valor de R^2 llegó a 0.96.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.11 Predictibilidad entre el Modelo de Producción para OP

(7) Modelo de atracción para OP

Para este grupo de viajes, el modelo se da por medio de la siguiente ecuación:

$$AOP_i = 0.2554245 * Pop_i + 0.052002 * Emp_i$$

Donde,

AOP_i = Atracción de OP en el distrito i

Pop_i = Población en el distrito i

Emp_i = Empleo en el distrito i

La Tabla 5.8 da los principales resultados de la regresión, en donde $R^2=0.95$ indica que la población y el empleo, explican el 95% de la atracción de viajes para este grupo. Los valores de estudiante T y P también son compatibles con los resultados.

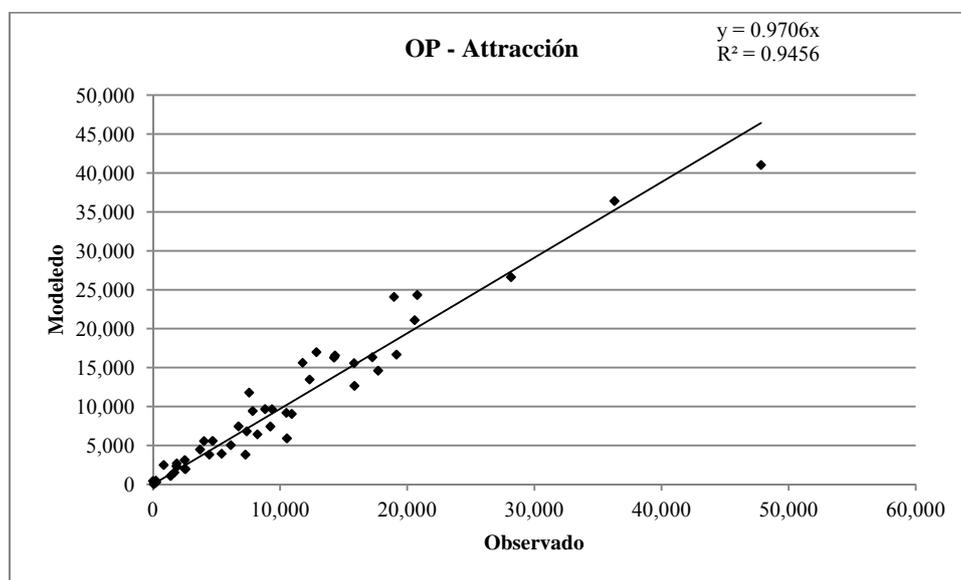
Tabla 5.8 Resultados de la Regresión del Modelo de Atracción para OP

Estadísticas de regresión	
R múltiple	0,98686786
R- al cuadrado	0,97390818
R- cuadrados ajustados	0,95207644
Error estándar	2241,74036
Observaciones	49

	Coefficientes	Error estándar	T estad.	Valor - P
Intersección	0	#N/D	#N/D	#N/D
Pop2012	0,02554245	0,00183989	13,8826334	3,0183E-18
Empl2012	0,05200159	0,00383078	13,5746795	7,0484E-18

Fuente: Equipo de Estudio JICA

La Figura 5.12 muestra la correlación entre la estimación de la encuesta de viaje personal y los modelados donde el valor de R^2 llegó a 0.95.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.12 Predictibilidad entre el Modelo de Atracción para OP

5.5.2 Modelo de distribución de viajes

(1) Estructura de Modelo

El modelo de la distribución de viaje estima el número de viajes para cada par de origen y

destino.

El modelo en cuanto a la distribución de la demanda, utiliza la estimación de producción de viajes y atracción por cierta estructura y zona.

La idea básica de los procedimientos incorporados en estos modelos, es que la demanda producida en cada zona, se distribuye entre las zonas de atracción. Este paso se asocia a la elección del destino, que está en función al componente de atracción potencial de las zonas.

Un tipo de modelo de gravedad fue usada para el modelo de distribución de viaje. La demanda de viaje entre zonas, es estimada desde volumen de viajes generados en origen, volumen de viajes atraídos en destino, y función de impedancia entre origen y destino. La composición de la función de impedancia en lo que respecta a equivalencia de tiempo, se vio representada por las variables abajo indicadas, las cuales fueron extraídas del modelo de la red.

▪ Modo público:

- ✓ Tiempo en un vehículo en minutos, entre el origen i y el destino j;
- ✓ Tiempo de acceso a pie en minutos, entre el origen i y el destino j;
- ✓ Tiempo de espera total en minutos, entre el origen i y el destino j
- ✓ Tarifa total de pasajes pagados en el viaje (transformados al equivalente en minutos) entre el origen i y el destino j

La impedancia en minutos para el modo público (t) se define como:

$$Tt_{ij} = Ttv_{ij} + 2 * Ttp_{ij} + 2 * Ttw_{ij} + F_{ij} * 60 / VOTt$$

Donde:

Tt_{ij} = impedancia del modo público en minutos entre el origen i y el destino j

Ttv_{ij} = tiempo en un vehículo en minutos, entre el origen i y el destino j

Ttp_{ij} = tiempo de acceso a pie en minutos, entre el origen i y el destino j

Ttw_{ij} = tiempo de espera en minutos, entre el origen i y el destino j

F_{ij} = tarifa de pasaje en soles, entre el origen i y el destino j

$VOTt$ = valor del tiempo para el usuario del transporte público en soles / hora. El VOT calculado a partir de la encuesta de viaje personal es de 4.18 soles / hora.

▪ Modo privado:

- ✓ Total de tiempo en un vehículo en minutos, entre el origen i y el destino j;
- ✓ Costo de operación (soles / km) transformado en minutos, entre el origen i y el destino j;

- ✓ Costo de parqueo (valor promedio en soles en la zona de destino) transformado en minutos ,en el destino j.

La impedancia en minutos para el modo privado (T_p) se define como:

$$T_{p_{ij}} = 1,3 * T_{pv_{ij}} + \frac{d_{ij} * C_{op} * 60}{VOT_p} + \frac{C_{pk_j} * 60}{VOT_p} \quad (2.2)$$

Donde:

$T_{p_{ij}}$ = impedancia del modo privado en minutos, el origen i y el destino j

$T_{pv_{ij}}$ = tiempo en un vehículo en minutos entre el origen i y el destino j

d_{ij} = distancia en km entre el origen i y el destino j

C_{op} = costo operativo en soles / km adoptado como 1 sol / km

C_{pk_j} = costo de parqueo promedio en el destino j

VOT_i = valor de tiempo para usuarios del modo privado. El VOT calculado a partir de los usuarios privaos se estimó en 5.70 soles / hora según la encuesta de viaje personal.

Se adoptó el valor de la constante 1.3 al tiempo en un vehículo, a fin de considerar el tiempo para acceder y salir a pie, que no se considera en el modelo de la red.

El modelo de distribución de viaje, es aplicado antes del modelo de participación modal. Por eso, es necesario definir una composición de las impedancias pública y privada. En este estudio se ajustó el costo promedio, entre estos modos:

$$T_{m_{ij}} = (T_{t_{ij}} + T_{p_{ij}}) / 2$$

El método utilizado para el Modelo de Distribución de viaje, se basó en una estimación de la **función de regresión gamma** definida según la siguiente ecuación:

$$f(v_{ij}) = \exp(k + k^m + a_i + b_j + c * T_{m_{ij}} + d * \ln(T_{m_{ij}}))$$

Donde:

$f(v_{ij})$ = la función de distribución entre i y j

$T_{m_{ij}}$ = impedancia promedio entre i y j calculada como el promedio entre el modo público y privado.

k = interceptor

k^m = coeficiente del grupo a ser calibrado (HBW, HBS, y OP)

a_i = coeficiente de la zona de origen i

b_j = coeficiente de la zona de destino j

c, d = coeficientes a calibrarse

Los coeficientes son estimados por el método de probabilidad máxima.

Para calcular los parámetros se utilizó el software R. La Tabla 5.9 muestra la estructura de variables a ingresar en el software. Los datos de viaje se refieren al período del pico de la mañana por zonas de tránsito.

Tabla 5.9 Estructura de datos de entrada para el software R

ORIGEN	DESTINO	GRUPO	VIAJE	T _{mij}	Ln(T _{mij})
O-101	D-111	HBW	99	75,81	4,33
O-101	D-112	HBW	91	58,53	4,07
O-101	D-115	HBW	441	28,40	3,35
O-101	D-116	OP	120	37,32	3,62
O-101	D-117	HBS	119	40,55	3,70
O-101	D-118	HBW	91	39,93	3,69
O-101	D-122	HBS	219	85,40	4,45
O-101	D-501	OP	99	52,02	3,95
O-101	D-606	OP	121	152,88	5,03
O-101	D-1301	HBW	109	75,47	4,32
O-101	D-1302	HBS	109	79,35	4,37
O-101	D-1302	HBW	109	79,35	4,37
O-101	D-1711	HBS	148	67,17	4,21
O-101	D-2809	HBW	99	80,28	4,39
O-101	D-3106	HBW	99	91,24	4,51

Fuente: Equipo de Estudio JICA

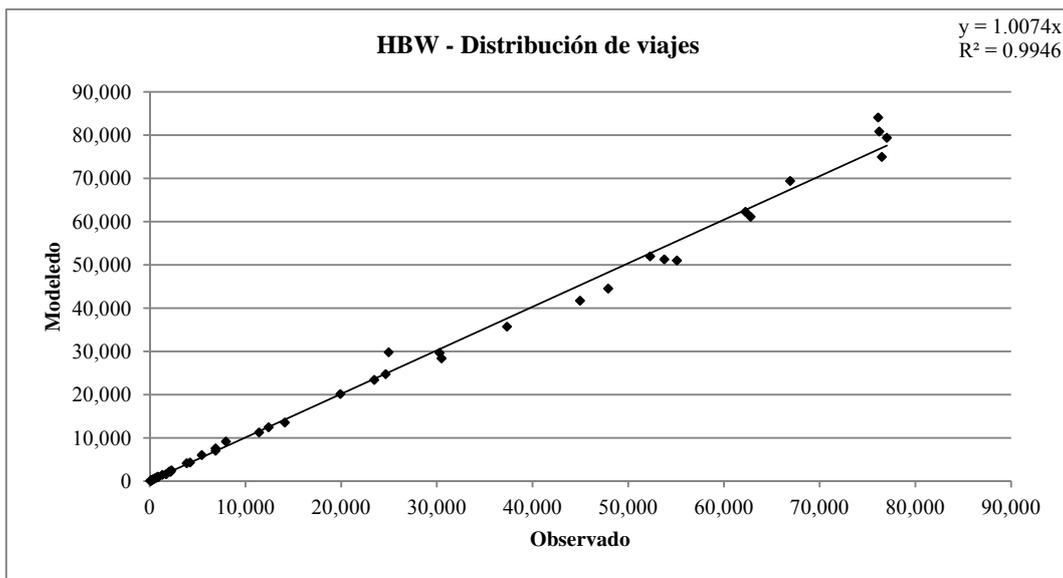
Hay 841 parámetros estimados por el proceso: 415 para la zona de origen a_i , 421 para la zona de destino b_j y parámetros para k , k^m , c y d . Para los pares Origen-Destino sin viajes, se adoptó los coeficientes como cero.

(2) Validación inicial del modelo de distribución

1) HBW

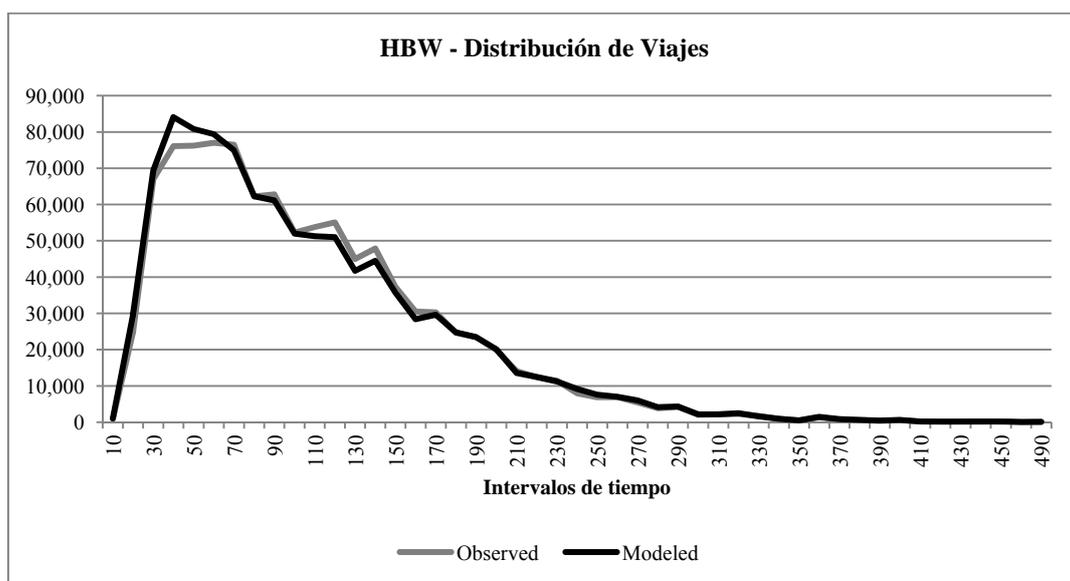
La Figura 5.13 muestra la comparación del número de viajes entre la encuesta de viaje personal y el modelo, indicando un resultado bueno con una relación o ratio de correlación de $R^2=0.99$

La Figura 5.14 muestra la comparación del número de viajes por tiempo de viaje, mostrando que el modelo ofrece una ligera sobreestimación de los viajes cortos.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.13 Predictibilidad del Tráfico de OD por Modelo de Distribución de Viaje para HBW

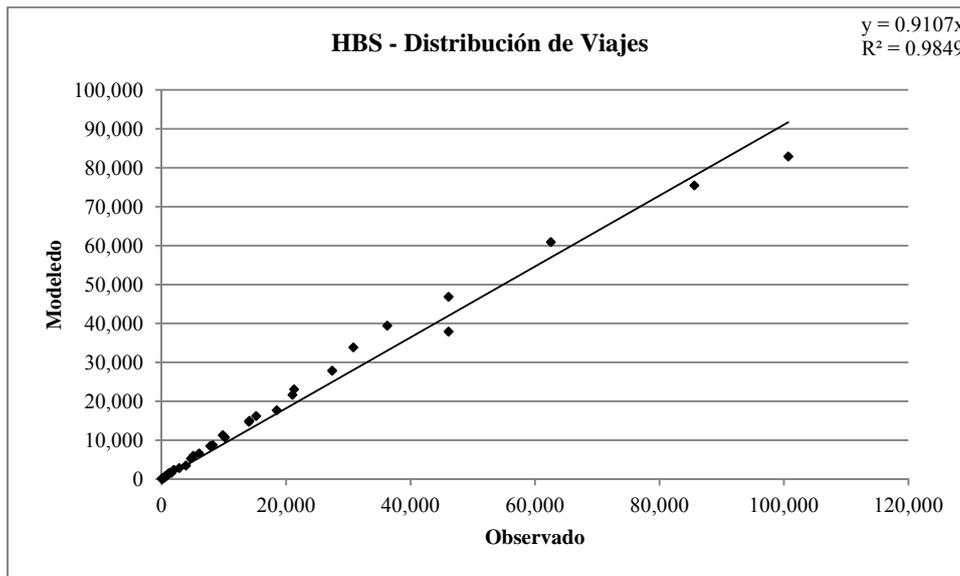


Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.14 Predictibilidad de Distribución de Tiempo de Viaje por Modelo de Distribución de Viaje HBW

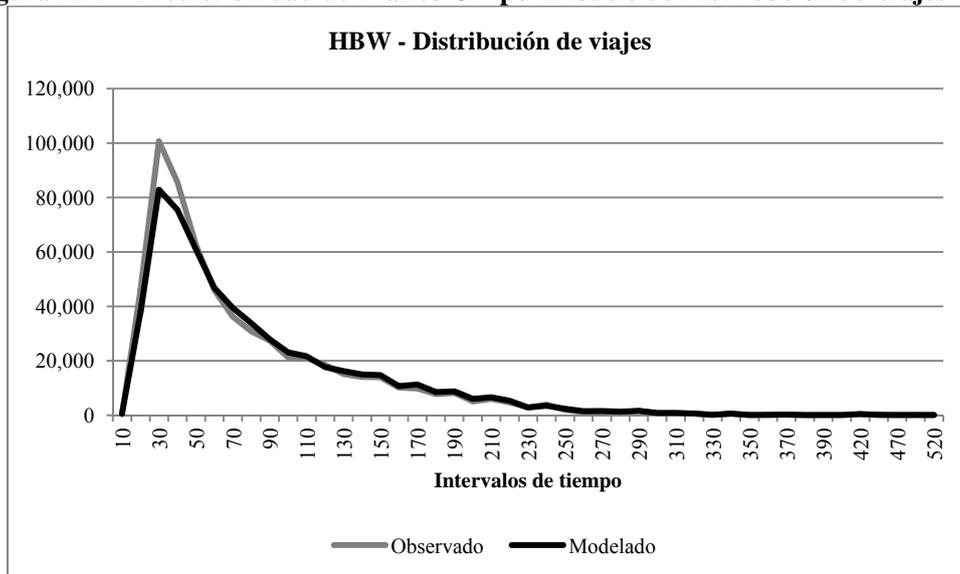
2) HBS

La Figura 5.15 muestra la comparación del número de viajes entre la encuesta de viaje personal y el modelo, indicando un resultado bueno con una relación o ratio de correlación de $R^2=0.98$. La Figura 5.16 muestra la comparación del número de viajes por tiempo de viaje, donde el modelo ofrece una sobreestimación de los viajes cortos.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.15 Predictibilidad de Tráfico OD por Modelo de Distribución de Viajes HBS



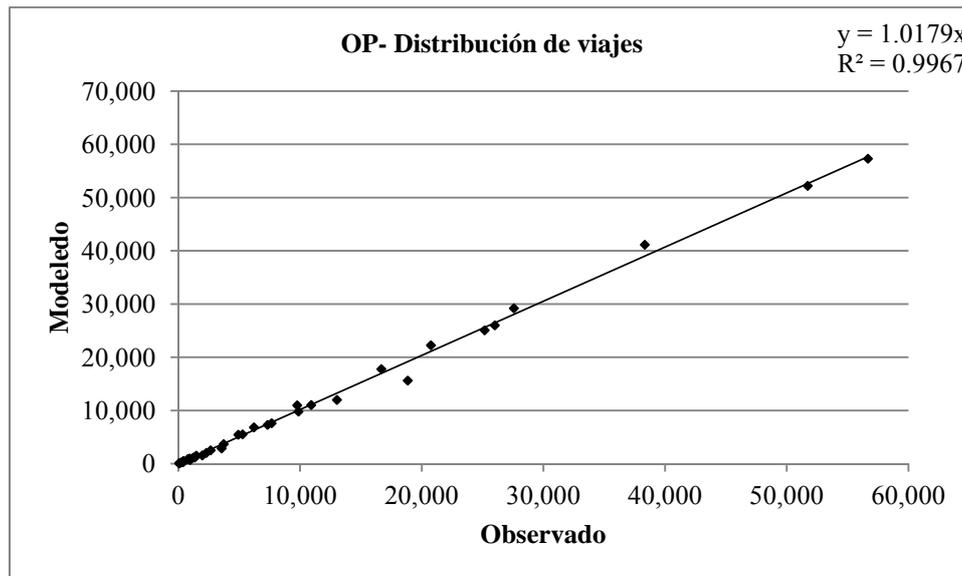
Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.16 Predictibilidad de Distribución del Tiempo de Viaje por el modelo de Distribución de Viaje para HBS

3) OP

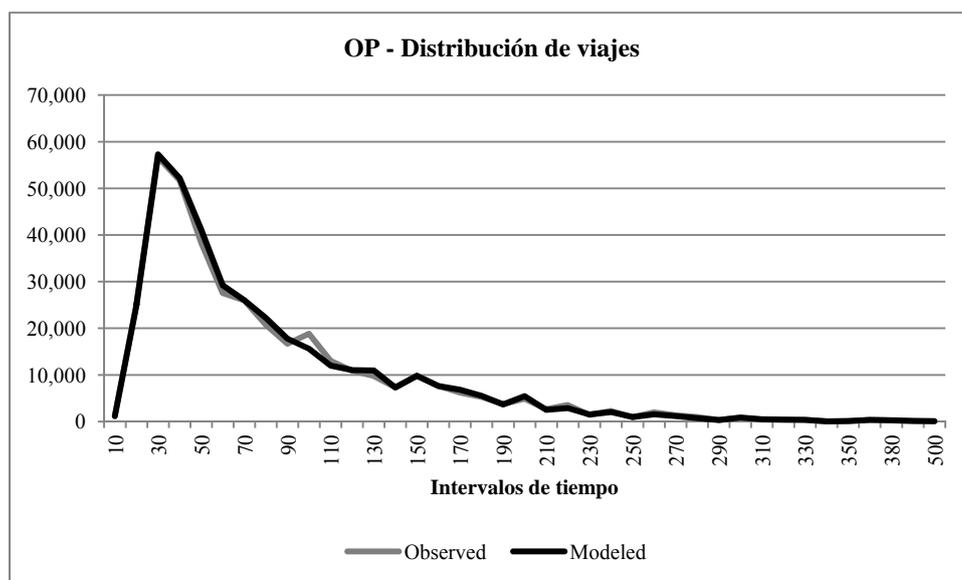
La Figura 5.17 muestra la comparación del número de viajes entre la encuesta de viaje personal y el modelo, indicando buen resultado con una relación o ratio de correlación de $R^2=0.99$.

La Figura 5.18 muestra la comparación del número de viajes por el tiempo de viajes, indicando una buena predictibilidad.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.17 Predictibilidad de Tráfico OD por Modelo de distribución de viajes OP



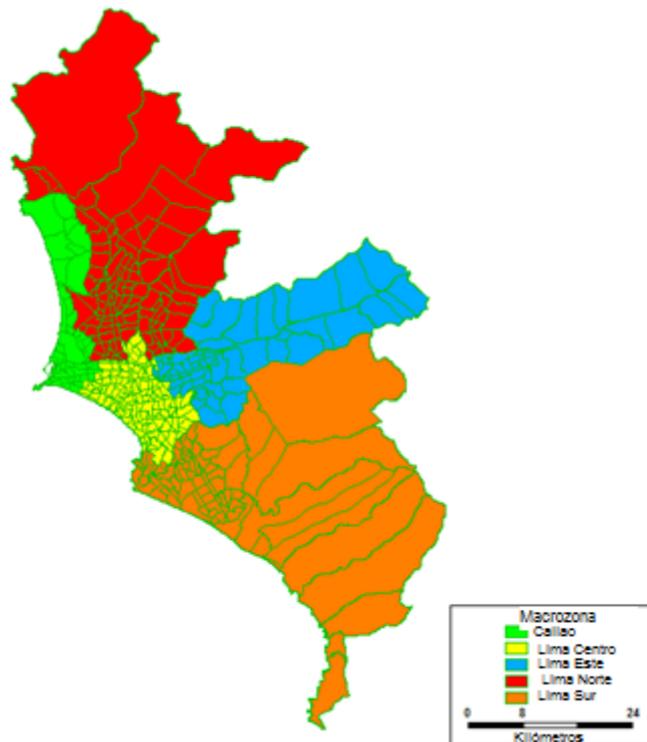
Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.18 Predictibilidad de Distribución de Tiempo de Viaje por Modelo de Distribución de Viaje OP

(3) Validación final del modelo de distribución

La validación final del Modelo de Distribución de Viaje, se realizó para que los viajes producidos y atraídos, sean calculados por el modelo de distribución de viaje, que coincide con los estimados por el modelo de generación de viaje. Para los pares Origen-Destino que no tienen viajes en la encuesta de viaje personal, se adopta un pequeño valor (0.0001) para la función de distribución, como una semilla para estas celdas de matriz.

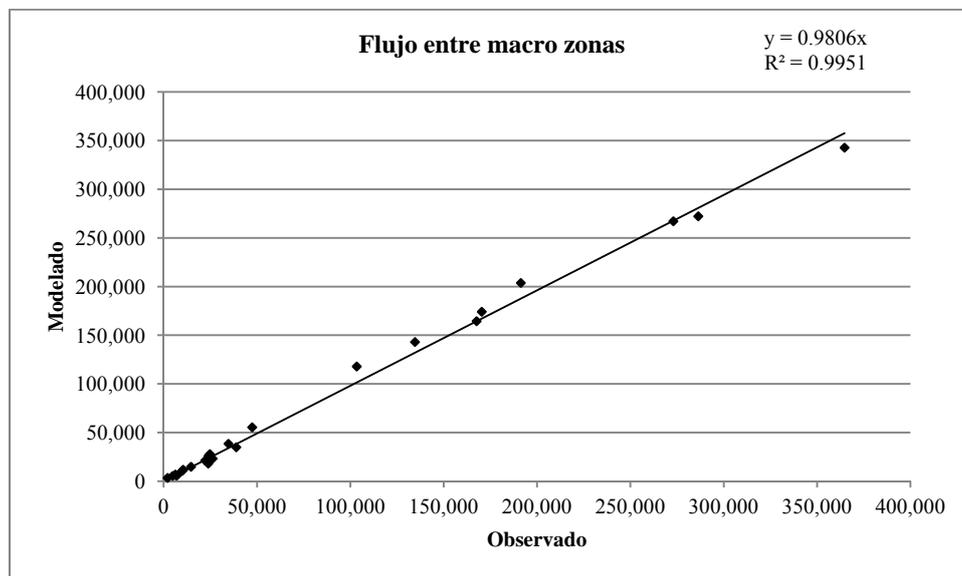
Para garantizar confiabilidad estadística de la encuesta de viaje personal, el número de viajes por zona de tráfico, fueron agregados a cinco macros en el área de estudio: Lima Centro, Lima Norte, Lima Sur, Lima Este y Callao como se muestra en la Figura 5.19.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.19 Macro zonas definidas en la zona de estudio

La Figure 5.20 muestra la comparación del número de viajes entre la encuesta de viaje personal y el modelo, indicando buen resultado con una relación o ratio de correlación de $R^2=0.99$.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figure 5.20 Correlación entre los datos observados y modelados, distribuidos por macro zonas

Tabla 5.10 muestra los factores de correlación para ser aplicados a los números de viajes, como por ejemplo, para la macro zona del Centro de Lima. Las figuras muestran que los factores de correlación son pequeños, excepto para el flojo desde Callao, la cual es grande en

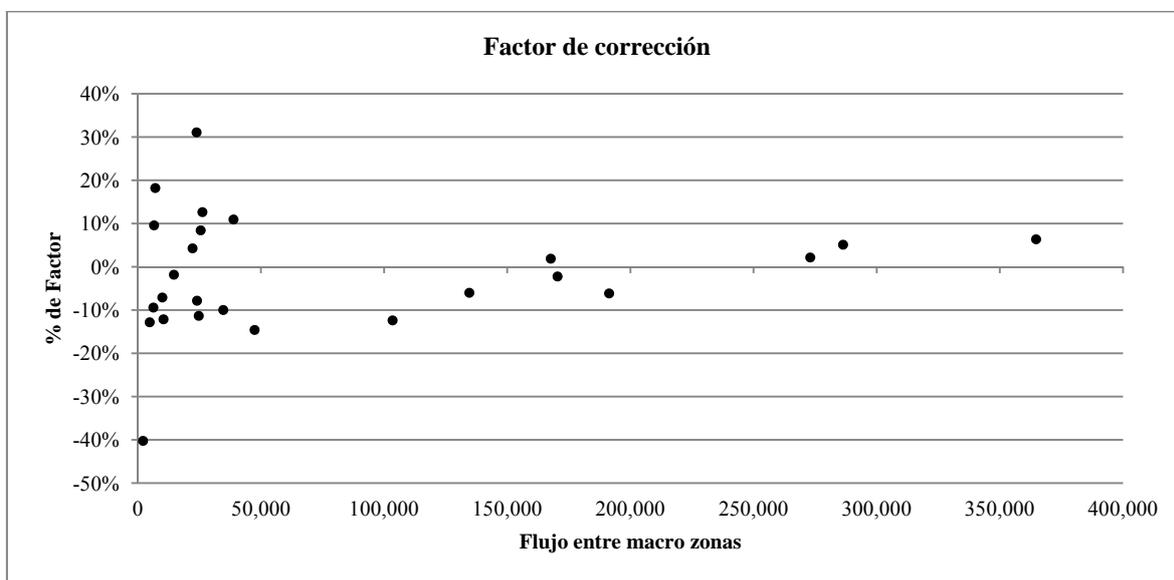
comparación con otros pares.

Tabla 5.10 Ejemplo del factor de correlación para los flujos de macro zonas

Origen	Destino	Observado	Moelado	Factor
Callao	Lima-Center	47.386	55,460	15%
Lima Center	Lima-Center	364.703	342,810	6%
Lima-East	Lima-Center	170.381	174,222	2%
Lima-North	Lima-Center	167.627	164,491	2%
Lima-South	Lima-Center	134.574	143,139	6%

Fuente: Equipo de Estudio JICA

La Figura 5.21 muestra los factores de correlación graficados por el número de viajes. Los factores de correlación de tráfico de volumen alto, son relativamente pequeños.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

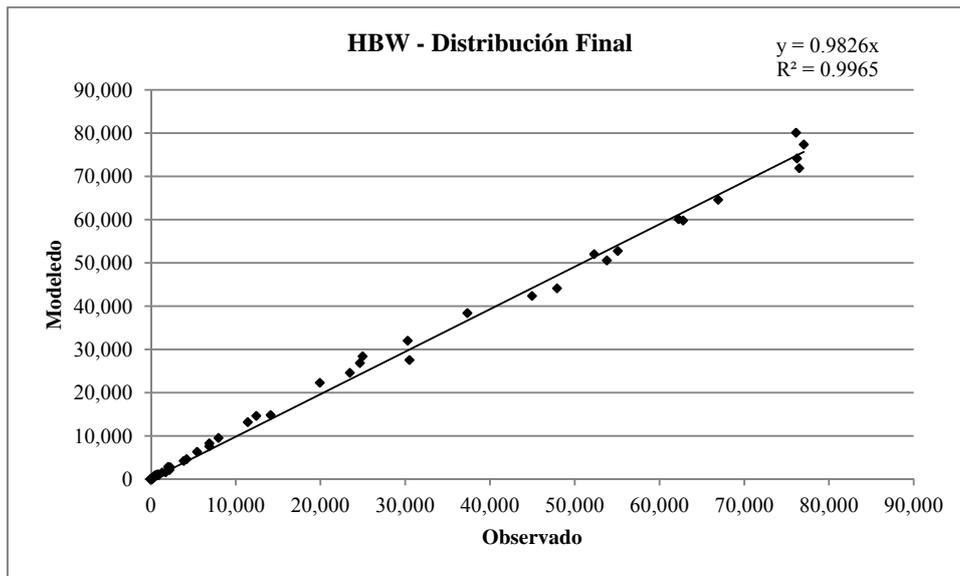
Figura 5.21 Gráfico del Factor de Corrección por Volúmenes de Viajes

Los siguientes rubros muestran los resultados finales del modelo de distribución, por grupos de viaje, considerando los factores de corrección.

1) HBW

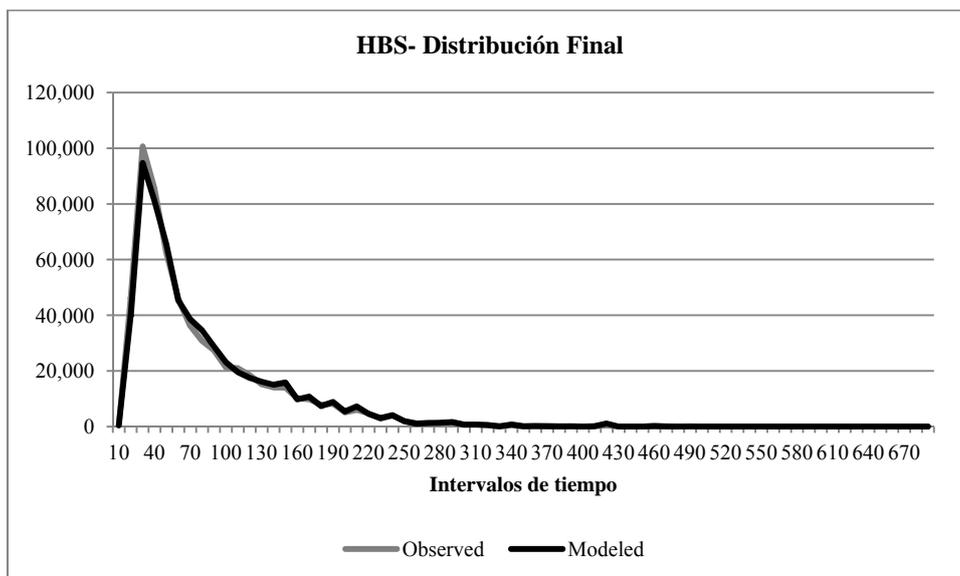
Figura 5.22 muestra la comparación del número de viajes entre la encuesta de viaje personal y el modelo, indicando un buen resultado con valor R^2 de 0.99.

Figura 5.23 muestra la comparación de viajes por tiempo de viaje, con una buena predictibilidad.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.22 Predictibilidad de OD Trafico por Ajuste Final para HBW



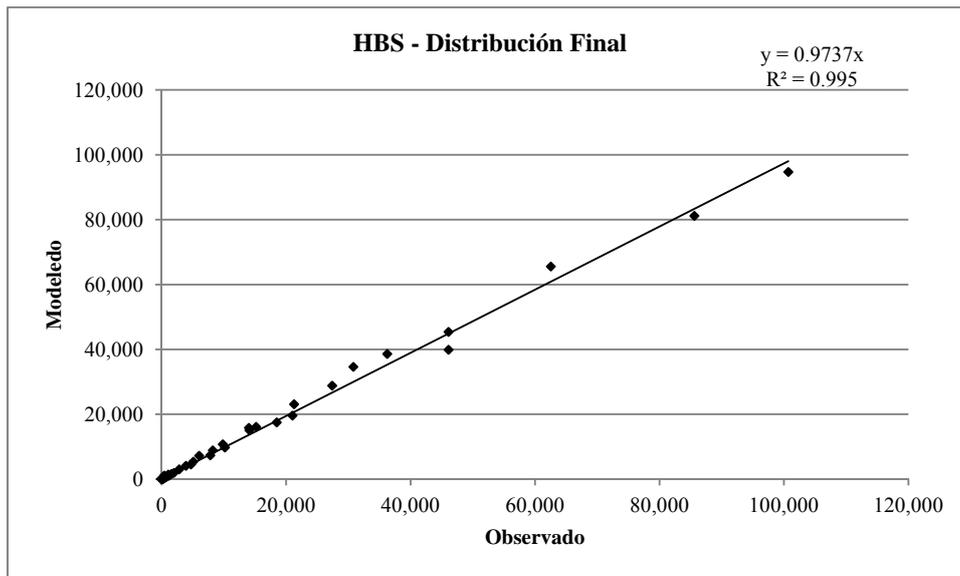
Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.23 Predictibilidad de Distribución de Tiempo de Viaje por Ajuste Final para HBW

2) HBS

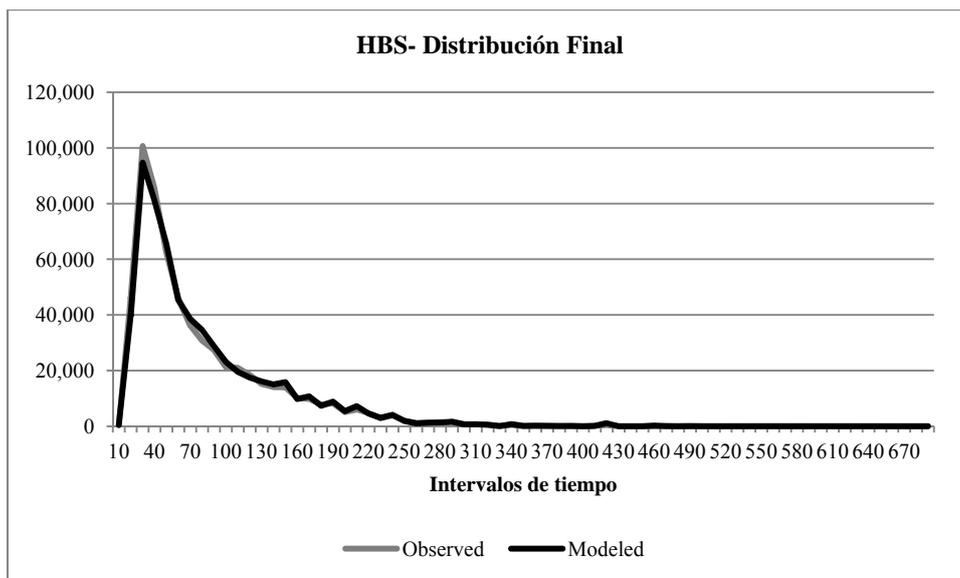
La Figura 5.24 muestra la comparación del número de viajes entre la encuesta de viaje personal y el modelo, indicando un buen resultado con valor R^2 de 0.99.

La Figura 5.25 muestra la comparación de viajes por tiempo de viaje, con una buena predictibilidad.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.24 Correlación entre los datos observados y modelados para la distribución de viaje final HBS



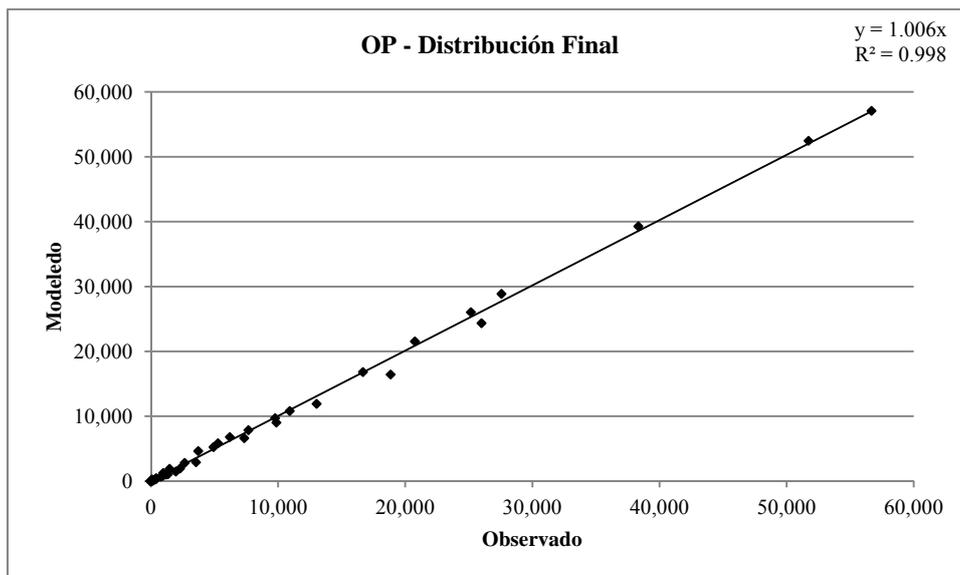
Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.25 Comparación entre los datos observados y modelados por intervalos de tiempo para la distribución de viaje final HBS

3) OP

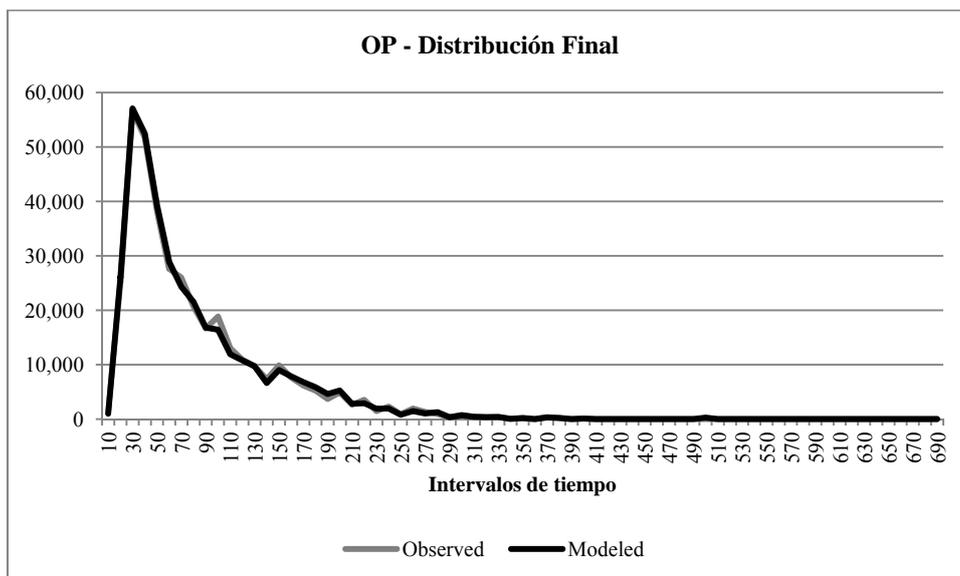
La Figura 5.26 muestra la comparación de los números de viajes entre la encuesta de viaje personal y el modelo, indicando un buen resultado con valor R^2 de 0.99.

La Figure 5.27 muestra la comparación de viajes por tiempo de viaje, con una buena predictibilidad.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.26 Predictibilidad de Viajes OD por Ajuste Final para OP



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figure 5.27 Predictibilidad de Distribución de Tiempo de Viaje por Ajuste Final para OP

5.5.3 Modelo de Partición Modal

(1) Estructura de Modelo

Para el modelo de participación modal, se utilizó un modelo binario logit. Este modelo se representa con la siguiente fórmula:

$$Pt_{ij} = \frac{e^{Ut_{ij}}}{1 + e^{Ut_{ij}}}$$

$$Pp_{ij} = 1 - Pt_{ij}$$

Donde:

Pt_{ij} = Probabilidad de modo público de la zona i a la zona j;

Ut_{ij} = Utilidad compuesta del modo público de la zona i a la zona j;

Pi_{ij} = Probabilidad del modo privado de la zona i a la zona j.

Utilidad, generalmente usado en economía, representa preferencias de mercancías o servicios. La formula común de utilidad es:

$$U = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_n x_n$$

Donde:

x_1, x_2, \dots, x_n = variables correspondientes a los atributos de servicio de todos los modos;

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ = coeficientes obtenidos de la calibración.

El usuario de transporte considera un conjunto de variables o atributos como se lista a continuación.

(i) Variables asociadas al tiempo

- Tiempo total de viaje;
- Tiempo a pie;
- Tiempo de espera

(ii) Variables asociadas al costo

- Tarifa de pasaje;
- Combustible;
- Peaje;
- Parqueo o estacionamiento;

(iii) Variables asociadas a la comodidad

- Distancia a pie;
- Número de transferencias.

Además de estos atributos, otras variables pueden influir en la partición modal, tales como el ingreso promedio y la tasa de motorización de la zona.

En este sentido, la composición de la función de utilidad para el modelo de partición modal se definió con la siguiente formula:

$$Ut_{ij} = \alpha_0 + \alpha_1 Ttv_{ij} + \alpha_2 Ttw_{ij} + \alpha_3 .Transf_{ij} + \alpha_4 Ttp_{ij} + \alpha_5 F_{ij} + \alpha_7 Cp_{ij} + \alpha_6 Tpv_{ij} + \alpha_8 d_{ij} + \alpha_9 Mot_i$$

Donde:

Ut_{ij} = Utilidad compuesta para el modo público

Ttv_{ij} = Tiempo en un vehículo entre el origen i y el destino j;

T_{twij} = Tiempo de espera en minutos

$Transf_{ij}$ = Número de transferencias

$T_{tp_{ij}}$ = Tiempo de acceso a pie en minutos de i a j;

F_{ij} = Costo del viaje representado por la tarifa de pasaje total pagada para el viaje de i a j

Cp_{ij} = Costo del viaje por modo privado dado por el costo operativo (soles / km) y costo de parqueo según:

$$Cp_{ij} = (d_{ij} * Cop + Cpk_j) / x$$

Donde:

Cp_{ij} = Costo de modo privado de i a j

d_{ij} = Distancia en km de i a j

Cop = Costo operativo en soles / km adoptado como

Cpk_j = Costo de parqueo en la zona j

x = Tasa promedio de ocupación en automóviles (adoptado como 1,39 personas / automóvil).

$T_{pv_{ij}}$ = tiempo total de viaje para el modo privado de i a j;

d_{ij} = distancia en km de i a j;

Mot_i = número de automóviles por 1,000 habitantes de la zona i

$\alpha_1, \dots, \alpha_9$ = coeficientes a calibrarse.

El software Minitab fue utilizado para calibrar el modelo de partición modal. El archivo de datos de entrada tiene los siguientes elementos por grupo de viaje:

Tabla 5.11 Estructura de los datos de entrada para el software Minitab

Par OD	Grupo	Viajes públicos	Viajes privados	Total	$T_{tv_{ij}}$	T_{twij}	$Transf_{ij}$	$T_{tp_{ij}}$	F_{ij}	Cp_{ij}	$T_{pv_{ij}}$	d_{ij}	Mot_i
101-111	HBW	99	0	99	36,68	3,76	0	8	1,5	4,48	16,67	5,73	76,89
101-112	HBW	91	0	91	15,06	0,68	0	8	1,5	4,12	15,58	5,22	76,89
101-113	HBW	209	0	209	10,65	0,99	0	8	1,5	3,00	13,40	3,67	76,89
101-115	HBW	310	131	441	2,59	0,61	0	8	1,5	1,42	9,29	1,92	76,89
101-118	HBW	91	0	91	5,89	0,68	0	8	1,5	2,58	11,26	3,09	76,89
101-1301	HBW	219	0	219	29,6	2,6	0	8	1,5	5,02	17,29	6,48	76,89
101-1302	HBW	109	0	109	28,99	2,6	0	8	1,5	5,53	17,99	7,19	76,89
101-2505	HBW	134	0	134	37,73	3,3	1	8	3	14,92	25,30	20,69	76,89

Fuente: Equipo de Estudio JICA

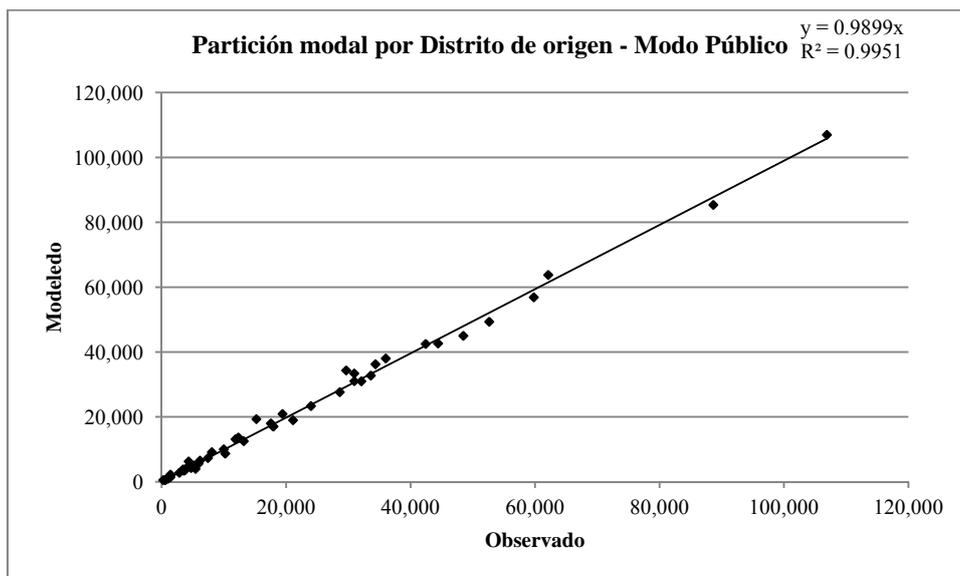
(2) HBW

Los parámetros de la función de utilidad para el grupo de HBW se estimaron como se muestra en la Tabla 5.12. La Figura 5.28 y la Figura 5.29 muestran la correlación entre los números calculados de viajes por el modelo y los números estimados de la encuesta de viaje personal para modo público y modo privado respectivamente.

Tabla 5.12 Coeficientes en la Partición Modal para HBW

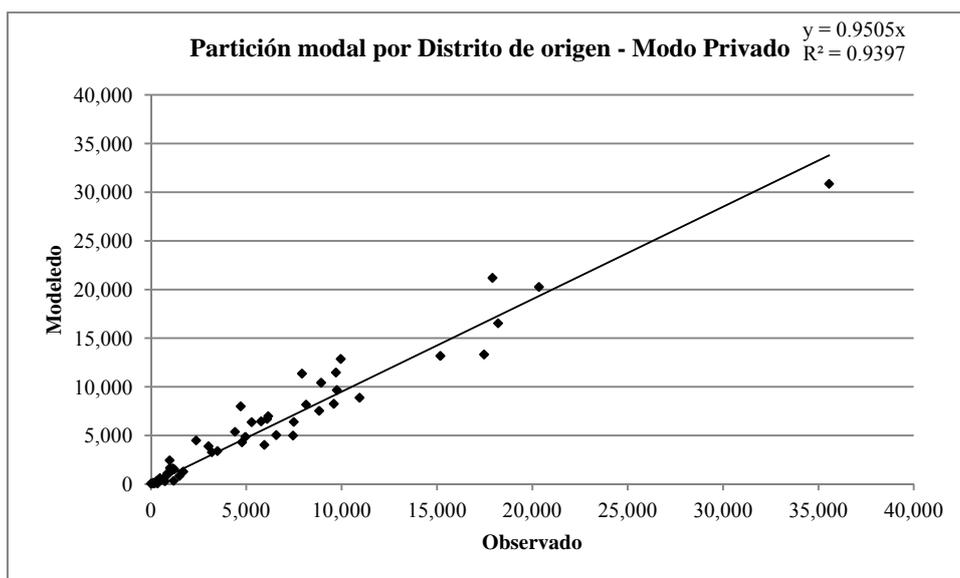
Pronosticador	Coefficiente	P	t
<i>Constante</i>	1,13076	0,0049	230,79
<i>Ttv_{ij}</i>	-0,00284	0,000165	-17,24
<i>Transf_{ij}</i>	-0,13356	0,006107	-21,87
<i>Cp_{ij}</i>	0,901801	0,016345	5517
<i>Tpv_{ij}</i>	-0,55564	0,011762	-47,24
<i>Mot_i</i>	-0,00809	2,43E-05	-332,89

Fuente: Equipo de Estudio JICA



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.28 Predictibilidad de Viajes de Modo Publico por Modelo de Participación Modal para HBW



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.29 Predictibilidad de Viajes de Modo Privado por Modelo de Participación Modal para HBW

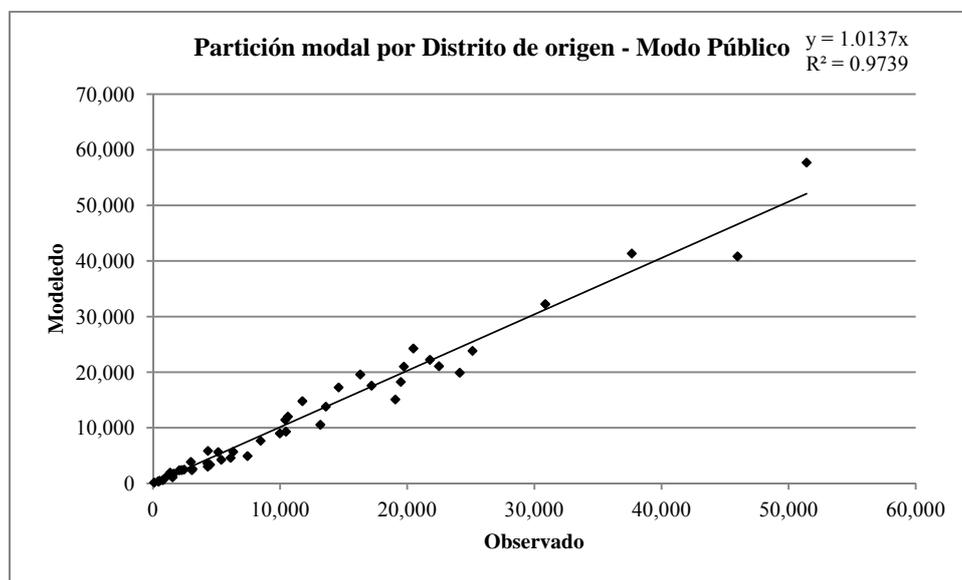
(3) **HBS**

Los parámetros de la función de utilidad para el grupo de HBS se estimaron como se muestra en la Tabla 5.13 La Figura 5.30 y la Figura 5.31 muestran la correlación entre el número de viajes calculado por el modelo y el número estimado de la encuesta de viaje personal para modo público y modo privado respectivamente.

Tabla 5.13 Coeficientes calibrados en la partición modal para los viajes HBS

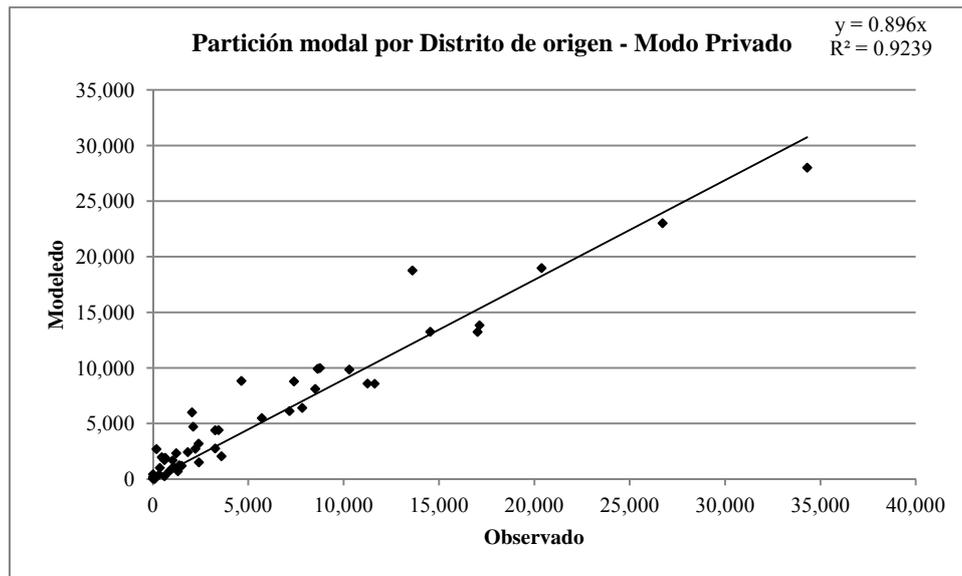
Pronosticador	Coefficiente	P	T
<i>Constante</i>	-0,54289	0,005035	-107,83
<i>Transf_{ij}</i>	-0,52699	0,009796	-53,8
<i>Cp_{ij}</i>	0,067066	0,002342	28,64
<i>Tpv_{ij}</i>	0,105382	0,000856	123,06
<i>Mot_i</i>	-0,002	3,18E-05	-62,88

Fuente: Equipo de Estudio JICA



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.30 Predictibilidad de Viajes de Modo Publico por Modelo de Participación Modal para HBS



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.31 Predictibilidad de Viajes de Modo Privado por Modelo de Participación Modal para HBS

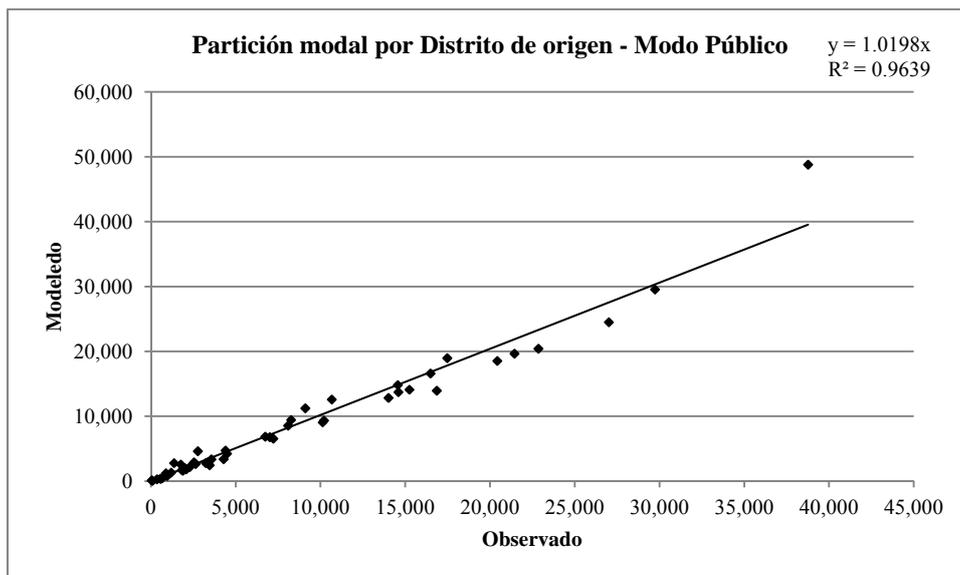
(4) OP

Los parámetros de la función de utilidad para el grupo de OP se estimaron como muestra en la Tabla 5.14 La Figura 5.32 y la Figura 5.33 muestran la correlación entre el número de viajes calculado por el modelo y el número estimado de la encuesta de viaje personal para modo público y modo privado respectivamente.

Tabla 5.14 Coeficientes en Participación Modal para OP

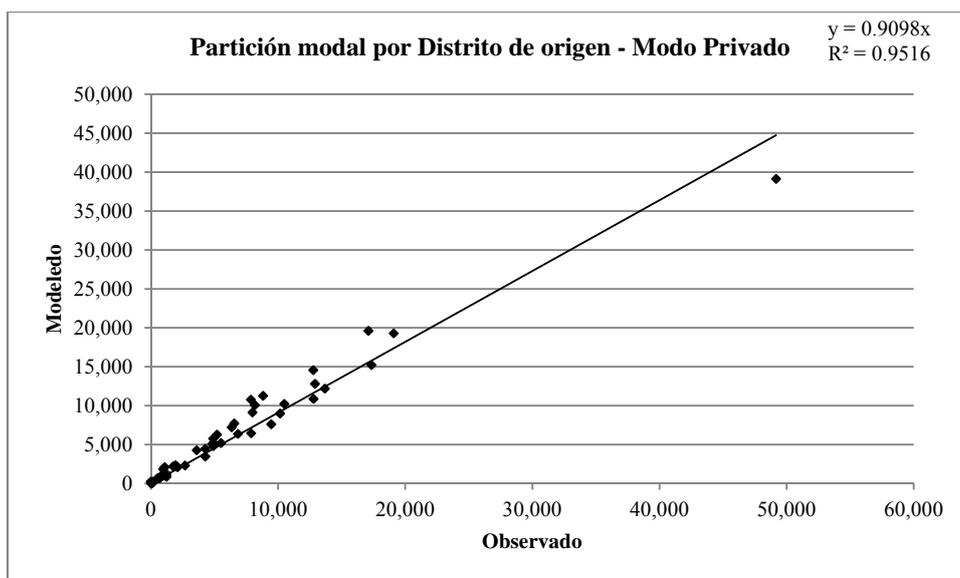
Pronosticador	Coefficiente	P	t
Constante	-0.47848	0.005496	-87.07
Cp_{ij}	0.094299	0.020227	4.66
Tpv_{ij}	0.092662	0.000792	117.04
d_{ij}	-0.09333	0.014338	-6.51
Mot_i	-0.00473	2.97E-05	-159.11

Fuente: Equipo de Estudio JICA



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.32 Predictibilidad de Viajes de Modo Publico por Modelo de Participación Modal para OP



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.33 Predictibilidad de Viajes de Modo Privado por Modelo de Participación Modal OP

5.5.4 Modelo de Asignación de Trafico

(1) Estructura de Modelo

Las matrices de OD privado y público son producidas a través del desarrollo de los modelos arriba mencionados, a saber, el modelo de generación de viaje, modelo de distribución de viaje y modelo de participación modal.

Las matrices de OD son asignadas a la red de tráfico y tránsito, como se describe en 5.3.

La asignación fue hecha bajo los siguientes dos conceptos:

- El método de equilibrio del usuario;
- La función de demora.

1) El método de equilibrio del usuario

En este método, se asume de una situación donde ningún usuario puede reducir el costo generalizado que ocurre. El algoritmo considera que cada usuario trata de minimizar el costo, generalizado o cambiando a un camino.

2) La función de demora

La asignación de equilibrio se basa en una función de demora de volumen. Esta función es una relación matemática entre el tiempo de viaje y el flujo de tráfico sobre la conexión.

La función utilizada es la función generalizada de demora de costo basada en la función BPR (Oficina de Vías Públicas, por sus siglas en inglés), que se utiliza comúnmente en muchos estudios de transporte.

La función BPR es como se detalla a continuación:

$$T_i = t_{0i} * (1 + \alpha * (x_i / C_i)^\beta)$$

Donde:

T_i - Tiempo de viaje en la conexión i

t_{0i} - Tiempo de flujo libre en la conexión i

x_i - Carga en la conexión i

C_i - Capacidad en la conexión i

α - Constante

β - Constante

La función de costo generalizado es como se detalla a continuación:

$$C_{i(x)} = k_i + \sigma * L_i + \theta * t_i * (1 + \alpha_i * (x_i / C_i)^\beta)$$

Donde:

$C_{i(x)}$ - Costo generalizado en la conexión i ;

k_i - Costo del peaje en la conexión i ;

σ - Costo operativo por km en la conexión i ;

L_i - Longitud en la conexión i ;

θ - Valor del tiempo;

T_i - Tiempo de flujo libre en la conexión i ;

x_i - Carga en la conexión i ;

C_i - Capacidad en la conexión i ;

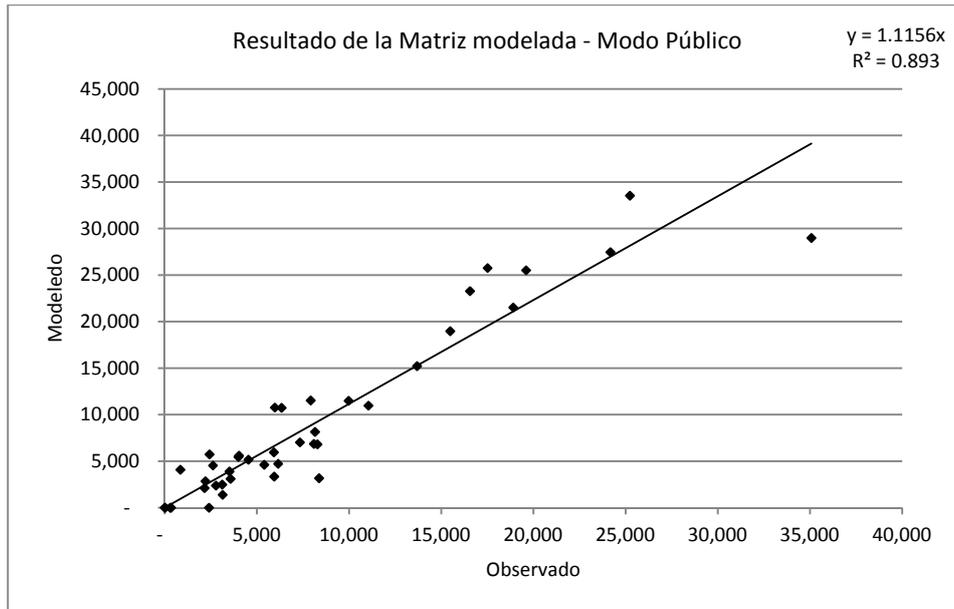
α_i - constante;

β - constante.

La constante β normalmente se toma de estudios similares y α_i depende de la jerarquía y el tipo de la vía.

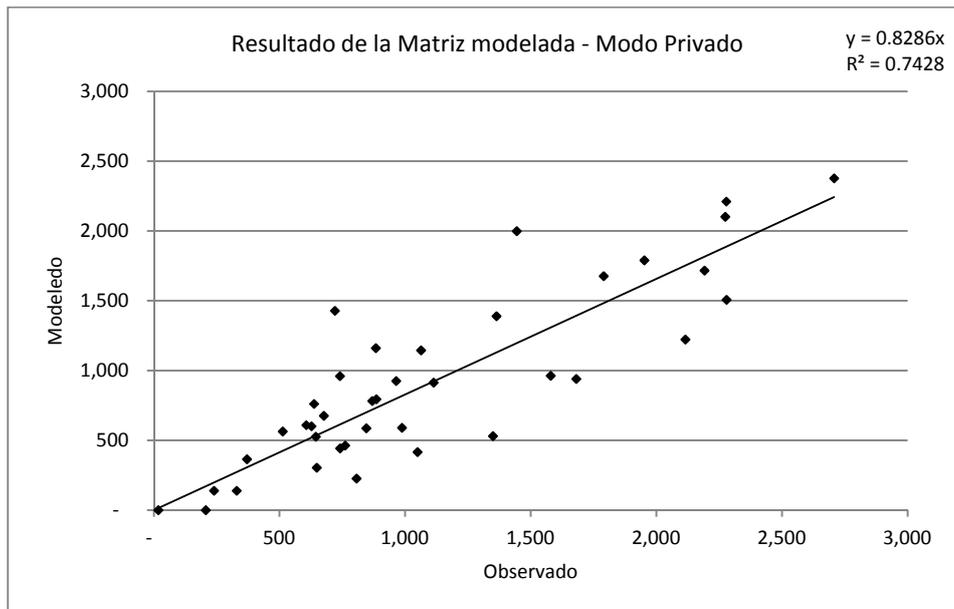
(2) **Resultados de la asignación con matrices modeladas**

Figura 5.34 y Figura 5.35 ilustran la comparación de volumen de tráfico en puntos de línea cortina y conteo de tráfico en la encuesta de línea cortina y los resultados de asignación de tráfico y transito respectivamente. Como se puede apreciar, el modelo de asignación puede producir similar situación de tráfico, por uso de las matrices de OD estimadas.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.34 Predictibilidad de Tráfico de Línea Cortina y Asignación de Modelo para Modo Público



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.35 Predictibilidad de Tráfico de Línea Cortina y Asignación de Modelo para Modo Privado

5.6 Escenarios de suministro

En los que la demanda estimada es asignada, la asignación de tráfico y tránsito requiere del modelo de red de calles y tránsito.

Para el modo de transporte público, cinco líneas del plan metro del MTC son consideradas en la red de tránsito para 2020 y 2030. Se asume que todas líneas están en derechos de vía exclusivos y con estructura elevada o subterránea. El BRT existente (Metropolitano) es incluido en la red.

Además, una nueva ruta para un sistema de transporte de media capacidad (monorriel) es estudiada en el capítulo 6, y la demanda se analiza en este capítulo. La nueva ruta está propuesta sobre la Av. Universitaria y Angamos Este, ya que un área efectiva a lo largo de los laterales no está cubierta por las líneas del metro. Hay tres alternativas para la nueva ruta.

- **Monorriel A:** Los Alisos (Terminal Naranjal-Metropolitano), Av. Universitaria, Av. Del Ejército, Angamos Este
- **Monorriel B:** Av. Tomás Valle (Aeropuerto-Est. Metropolitano), Av. Universitaria, Av. Del Ejército, Angamos Este
- **Monorriel C:** Av. Tomás Valle (Aeropuerto), Av. Universitaria, Av. Del Ejército, Angamos Este

La red vial es desarrollada basándose en los proyectos propuestos en el PMTU-2025. Proyectos a menor escala, tales como Puente Rio Bamba (PR-20) y puente Delgada de la Flor (PR-21) no son incluidos, debido a que no afectan la asignación del tráfico, aunque se agregan a las conexiones. Vías periféricas (PR-06 ~ PR-10) son excluidas debido a que las vías recorren la periferia del área de estudio; además, proveen accesos viales a las áreas rurales y no afectan la asignación del tráfico. Fue construida en la red, a lo largo del Rio Rimac, la vía expresa Línea Amarilla. Los proyectos en la red vial se muestran en Tabla 5.15.

Tabla 5.15 Proyectos a considerarse en el transporte privado

Rubro	Ubicación
1	Túnel Santa Rosa (Intersección Tacna /Alcázar en el Rímac)
2	Construcción del túnel Rimac / San Martín
3	Construcción del túnel San Francisco (Unirá con La Molina y Surco)
4	Línea amarilla
5	Construcción de Av. La Costa Verde Ámbito Callao
6	Construcción de Av. La Costanera
7	Construcción de la ampliación de Av. Paseo de la República Sur
8	Construcción de la Vía Periférica
9	Construcción de la ampliación de la Autopista Ramiro Prialé

Fuente: Equipo de Estudio JICA

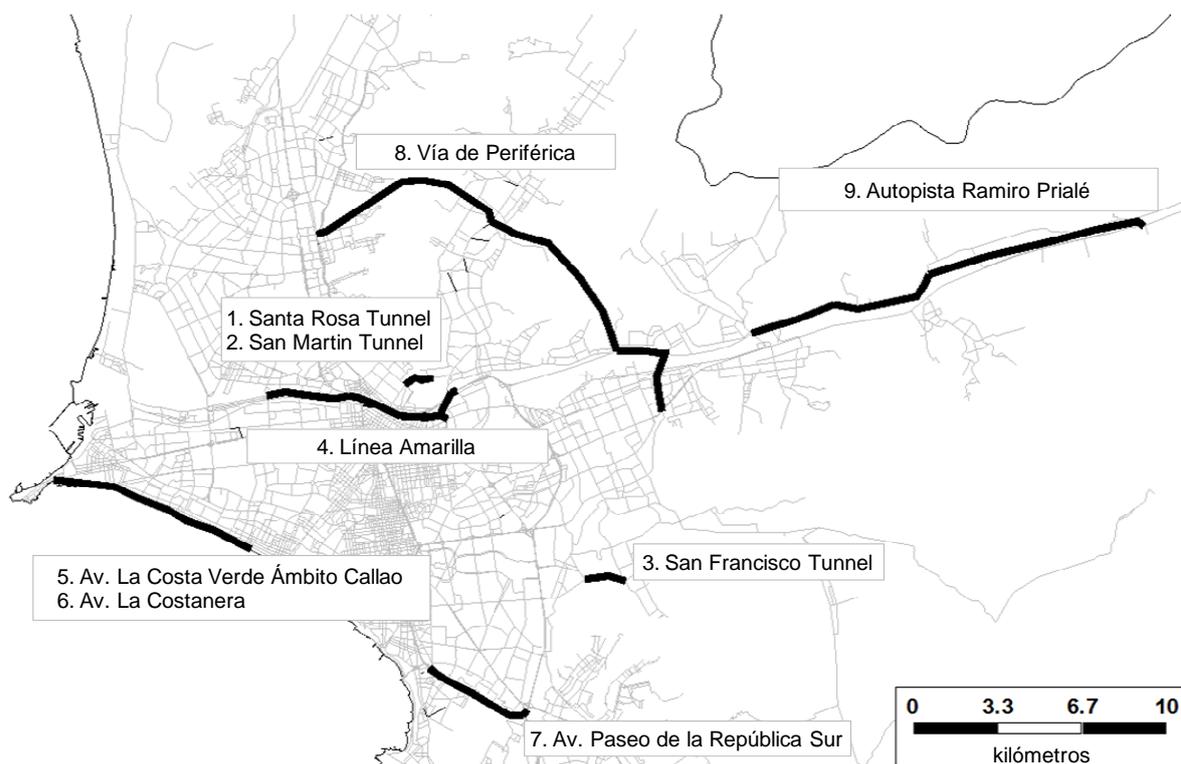


Figura 5.36 Ubicaciones de Proyectos de Red Vial

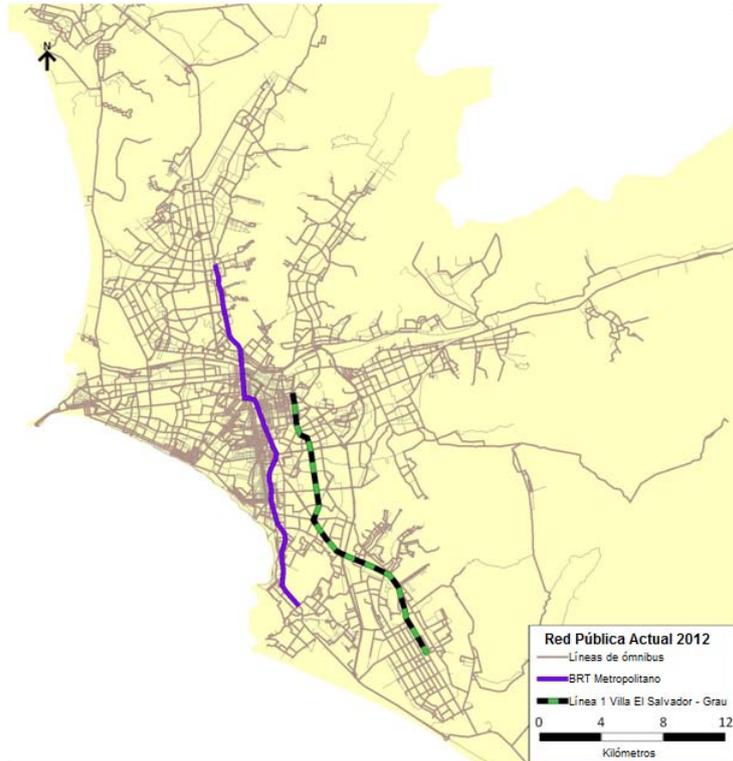
La Tabla 5.16 resume los casos seleccionados para las simulaciones. Ningún proyecto fue incluido en el Caso-1. Ese es, el “Caso Sin”. En Caso-2, se implementan únicamente los proyectos viales. Los proyectos viales son incluidos en los casos del 3 al 7. El Caso-3 fue examinado para evaluar la necesidad de la Línea 3 y la Línea 5, debido a que estas líneas se traslapan con el Metropolitano. Caso-4 es el caso cuando todas las líneas del metro del plan del MTC son implementadas. Los Casos 5, 6 y 7 son examinados en el Capítulo 6, para el estudio conceptual del sistema de transporte de capacidad media.

Tabla 5.16 Lista de casos definidos por análisis

Caso	Red	Año
1	Red Vial Actual + Red Pública Actual	2012
2	Red Vial Futura + Red Pública Actual	2020, 2030
3	Red Pública Futura (Líneas 1,2,4 + BRT)	2020, 2030
4	Red Pública Futura (Líneas 1,2,3,4,5 + BRT)	2020, 2030
5	Red Pública Futura (Líneas 1,2,3,4,5 + Monorriel A)	2030
6	Red Pública Futura (Líneas 1,2,3,4,5 + Monorriel B)	2030
7	Red Pública Futura (Líneas 1,2,3,4,5 + Monorriel C)	2030

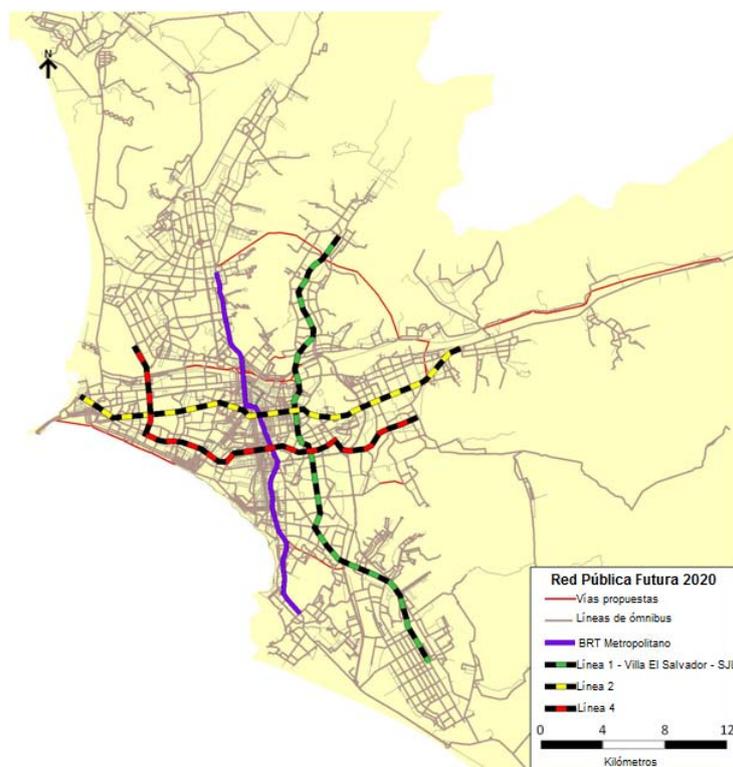
Fuente: Equipo de Estudio JICA

Los siguientes mapas, ilustran los proyectos indicados en la Tabla 5.16.



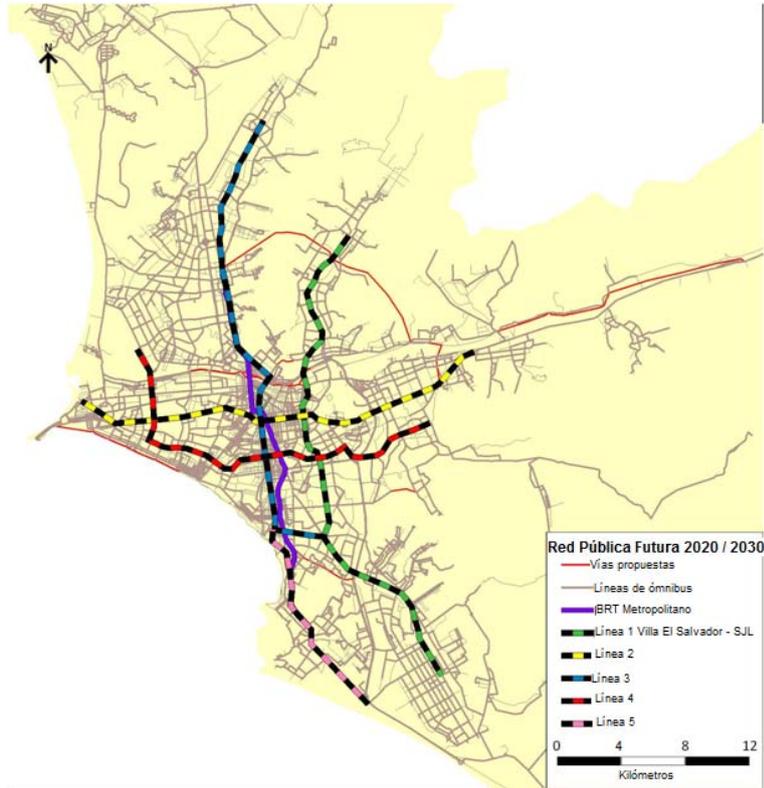
Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.37 Red Pública Actual 2012



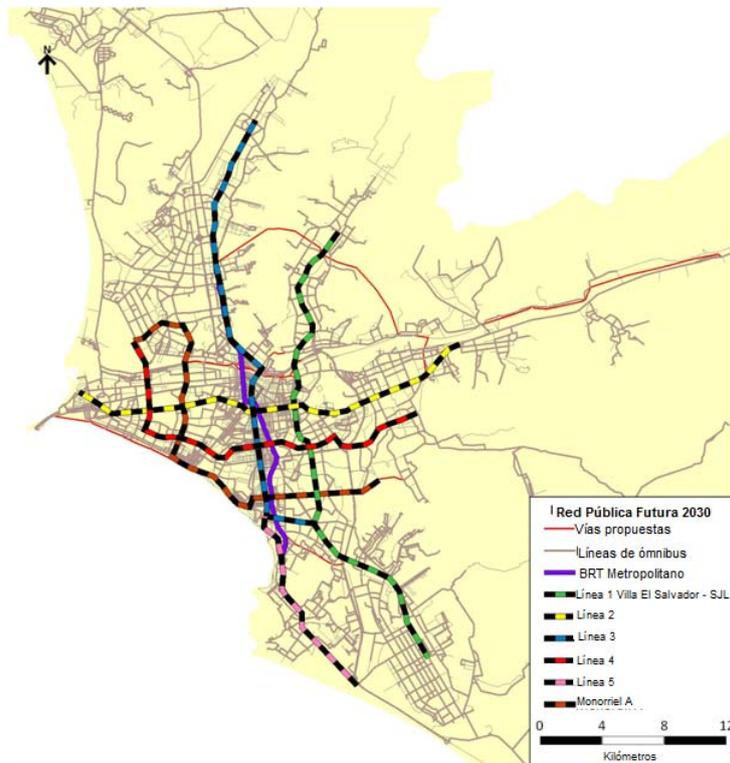
Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.38 Línea 1, 2 y 4 + BRT



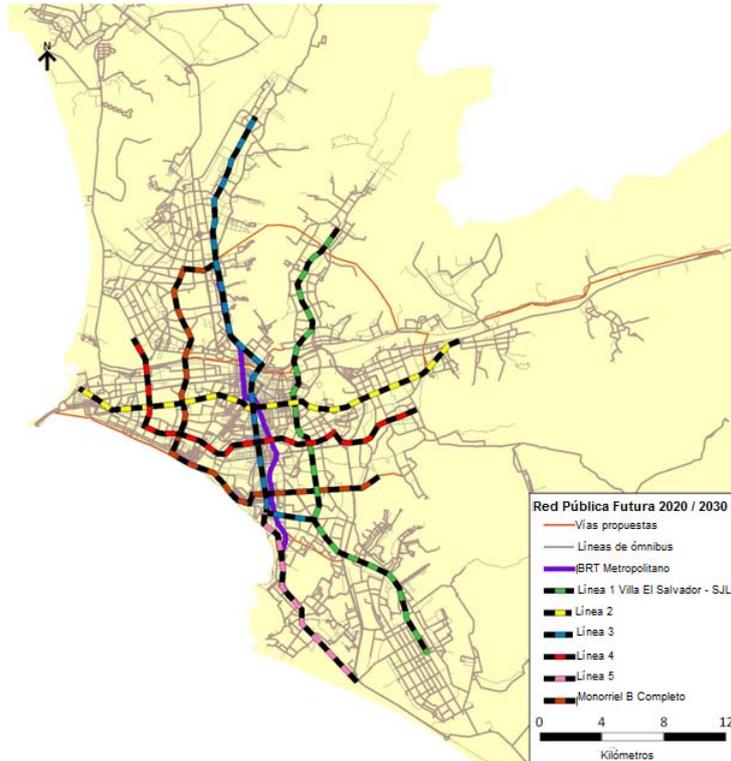
Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figure 5.39 Plan de MTC



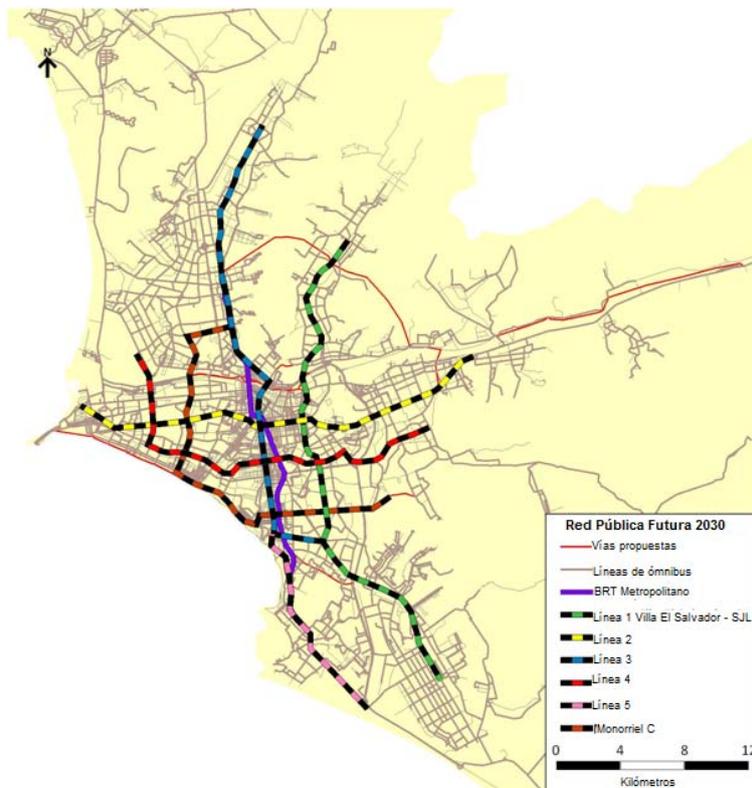
Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.40 Plan de MTC + Nuevo Ruta A



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.41 Plan de MTC + Ruta Nueva B



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.42 Plan de MTC + Ruta Nueva C

Los parámetros operativos adoptados para los nuevos proyectos se indican en la Tabla 5.17.

Tabla 5.17 Parámetros operativos considerados en los proyectos

Línea	Longitud (km)	Costo (S/.)	Hora de Avance por Pico(min)	
			2020	2030
Línea 1	33.19	1.5	3.67	3.29
Línea 2	26.72	1.5	3.67	3.29
Línea 3	30.85	1.5	3.67	3.29
Línea 4	25.81	1.5	3.67	3.29
Línea 5	13.26	1.5	3.67	3.29
Nueva Ruta A	27.95	1.5	3.67	3.29
Nueva Ruta B	30.14	1.5	3.67	3.29
Nueva Ruta C	26.79	1.5	3.67	3.29

Fuente: Equipo de Estudio JICA

5.7 Demanda futura

5.7.1 Producción de Viajes y la Participación Modal

La demanda futura se determinó inicialmente, aplicando el modelo de generación, considerando los escenarios socioeconómicos pronosticados para los años 2020 y 2030.

Para el modelo de distribución, se calcularon las impedancias considerando el escenario de suministro del año objetivo y la matriz de viajes del período anterior. Eso significa que para calcular la matriz de impedancia para el 2020, la red considera los proyectos para el 2020 y la matriz de viajes del 2012. El mismo procedimiento se realizó para calcular la matriz de impedancia del año 2030. Se utilizaron las mismas matrices de impedancia, para calcular la partición modal, dando como resultado las matrices de modo privado y público para el 2020 y el 2030.

Los resultados de las nuevas matrices para el modo público y privado en el pico de la mañana, se presentan en la Tabla 5.18, la cual indica que a pesar de las grandes inversiones esperadas en el transporte público, el modo privado incrementa su participación en la partición modal. Esta tendencia se explica para el fuerte incremento en la tasa de motorización de la población y las inversiones también esperadas en la red vial.

Tabla 5.18 Futura demanda estimada para el 2020 y el 2030

Año	Público	Privado	Total	Público	Privado
2012	999,972	303,114	1,303,086	76.7%	23.3%
2020	1,090,237	346,943	1,437,180	75.9%	24.1%
2030	1,215,816	390,897	1,606,713	75.7%	24.3%
Evolución 20-12	9.0%	14.5%	10.3%		
Evolución 30-20	11.5%	12.7%	11.8%		

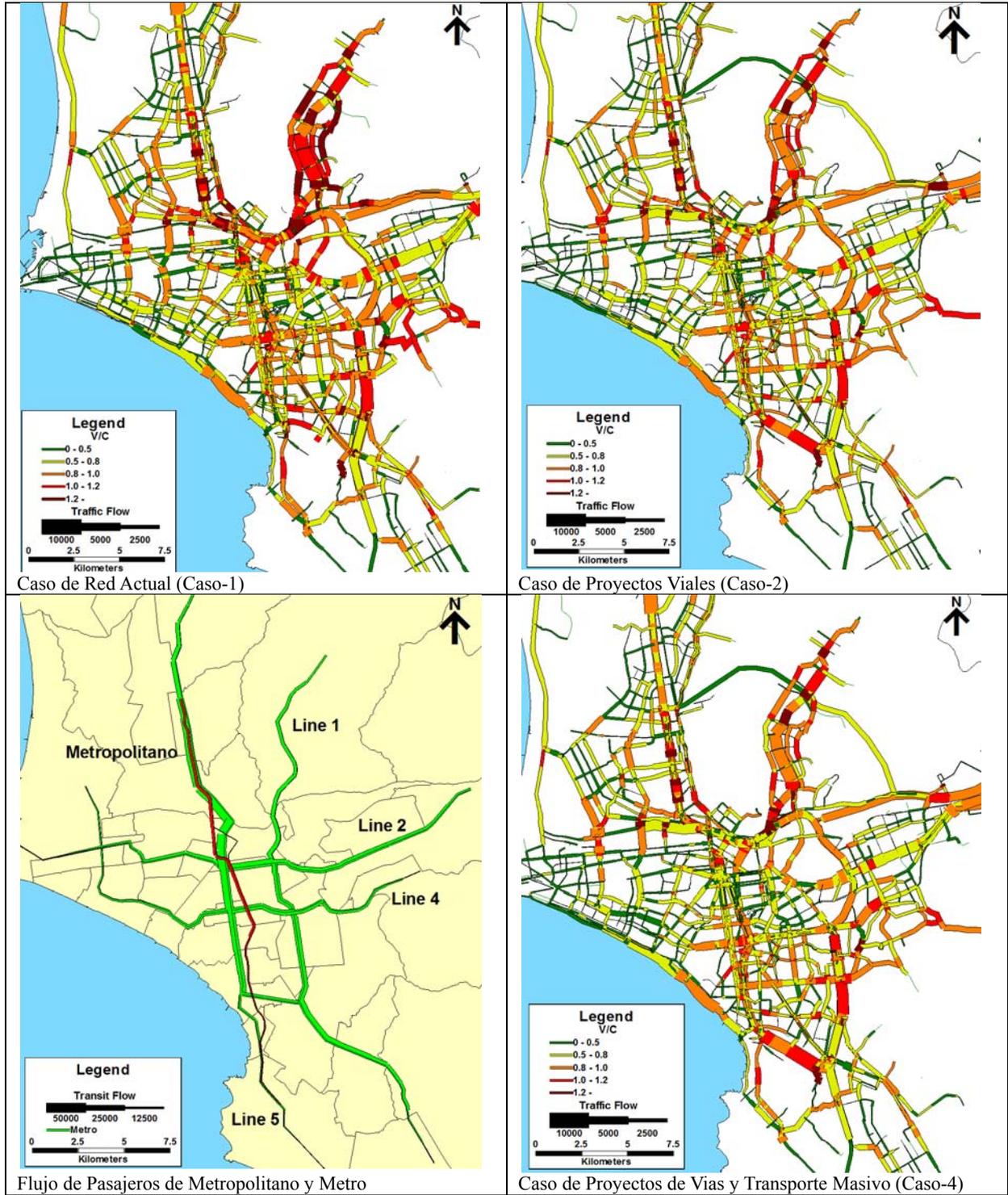
Fuente: Equipo de Estudio JICA

5.7.2 Asignación de Tráfico

Las matrices de OD (hora pico de la mañana) fueron asignadas al modelo de la red descrito en 5.3. Los volúmenes de tráfico de la ruta de tránsito, fueron calculados desde la asignación de tránsito y los volúmenes estimados, fueron usados como precarga de tráfico para la asignación de tráfico.

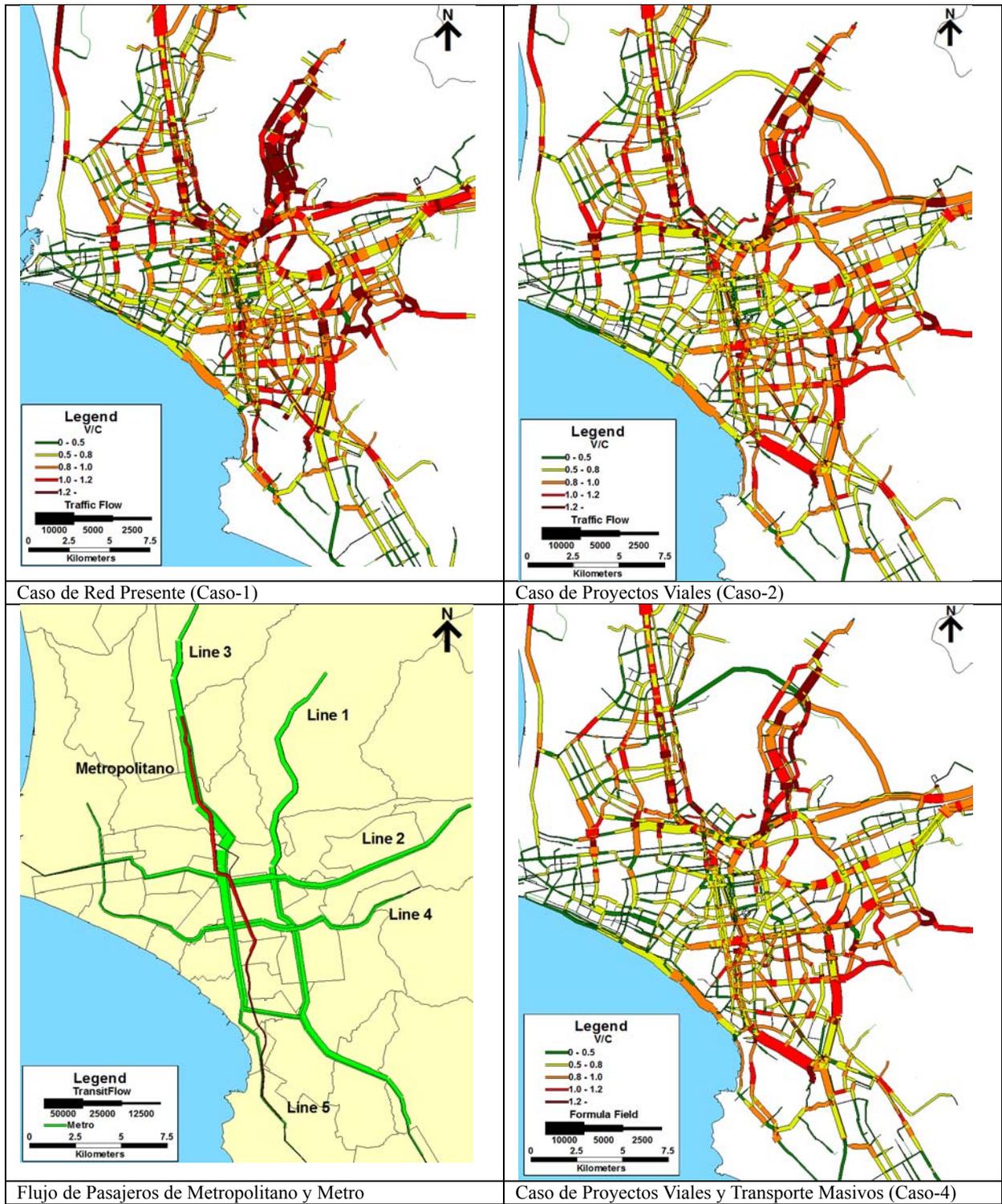
Figura 5.43 y Figura 5.44 ilustran los flujos de tráfico en 2020 y 2030 respectivamente. La figura superior izquierda, muestra el flujo de tráfico estimado del Caso-1 (“No Hacer Nada”), mientras que la figura superior derecha, muestra el Caso-2 (caso de desarrollo vial). Las figuras muestran que los volúmenes son grandes, en nuevas vías, tales como la Vía de Periférica y la Av. Paseo de la República Sur. Se estima que el tráfico en hora pico por sentido pico en estas vías, en 2020 será de 2,700 y 5,000 unidades de autos de pasajeros (PCUs), respectivamente.

La figura inferior derecha muestra el resultado de la asignación del Caso-4. La diferencia entre Caso-3 y Caso-4 no es muy clara en 2020, mientras que la reducción de la tasa de volumen sobre capacidad (V/C) es observada en 2030. Debido a que el pronóstico de demanda asume que la red de ómnibus se mantiene en el futuro, hay muchas rutas competitivas que recorren en paralelo con las líneas de transporte de masa. Aunque la frecuencia de ómnibus es reducido de acuerdo con el cambio de pasajeros a las líneas de transporte masivo, la demanda en el servicio de ómnibus que conecta directamente el origen y destino es alto debido al pago adicional de transferencia a las líneas de transporte masivo. Además, se estima que el tráfico de autos incrementará en el futuro, lo cual incrementa el volumen de tráfico en la red vial. Sin embargo, el congestionamiento vial en las mejores vías, en 2030 será mejorado en Caso-4.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.43 Flujo de Tráfico en 2020



Flujo de Pasajeros de Metropolitano y Metro
Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.44 Flujo de Tráfico en 2030

5.7.3 Indicadores de Trafico

(1) Modo privado

A fin de comparar los escenarios futuros, aquí se presentan los indicadores relacionados al año base 2012, en las alternativas de “hacer nada” y con los proyectos viales.

Tabla 5.19 Resumen de Indicadores para el modo privado

Indicador	Red vial actual			Red vial futura	
	2012	2020	2030	2020	2030
Vehículos x km	1.181.861	1.389.319	1.585.721	1.381.162	1.563.480
Vehículos x hour	35.420	45.799	58.433	40.704	49.907
Velocidad promedio (km/h)	33,37	30,33	27,14	33,93	31,33

Comparación con el escenario base

Indicador	Red vial actual			Red vial futura	
	2012	2020	2030	2020	2030
Vehículos x km	0.0%	17.6%	34.2%	16.9%	32.3%
Vehículos x hour	0.0%	29.3%	65.0%	14.9%	40.9%
Velocidad promedio (km/h)	0.0%	-9.1%	-18.7%	1.7%	-6.1%

Fuente: Equipo de Estudio JICA

Se puede ver que si nada se hace en el futuro, la velocidad promedio del modo privado se reducirá en 9.1% en el año 2020 y 18.7% en el 2030. Eso significa que la velocidad promedio estimada actualmente en 33.37 km/h se reducirá a 27.14 km/h en el 2030.

De otro modo, con los nuevos proyectos viales, la velocidad promedio se incrementará ligeramente en 1.7% en el 2020 y se reducirá en 6.1% en el 2030. Esto significa que los nuevos proyectos pueden mantener el mismo nivel hasta el 2020 pero no evitarán el decremento en la velocidad promedio en el 2030.

(2) Modo público

Para el modo público, inicialmente se presentan los indicadores para el año base de 2012 y luego los indicadores para los distintos escenarios y los años objetivo.

La Tabla 5.20 muestra los principales indicadores relacionados al año base para el modo público. El tiempo de viaje promedio del sistema público es 49.42 minutos.

Tabla 5.20 Resumen de los indicadores del modo público en el año base de 2012

Indicador	Red vial actual + Red de tránsito actual
Costo generalizado (Soles - S./)	5,86
Tarifa de pasaje (Soles - S./)	1,79
Tiempo de viaje total (min)	49,42
Tiempo en un vehículo (min)	38,75
Tiempo de espera inicial (min)	2,16
Tiempo de espera de transferencia (min)	0,41
Tiempo de transferencia (min)	0,12
Tiempo de acceso (min)	4,08
Tiempo de salida (min)	3,89

Fuente: Equipo de Estudio JICA

Las Tabla 5.21 y Tabla 5.22 muestran los resultados simulados para todos los casos antes

vistos y se les compara con la alternativa de “hacer nada”.

Los resultados muestran que todos los indicadores, tales como el costo generalizado y el tiempo de viaje total, tienden a reducirse de acuerdo a los escenarios de suministro comparados con la alternativa de “hacer nada”.

Por ejemplo, en el 2020, la alternativa de “hacer nada” indica que el tiempo de viaje total alcanza los 64.12 minutos y el costo generalizado de 6.98 soles. La alternativa con la red vial futura, asociada con las líneas 2, 3, 4 y 5 y el Monorriel B reduce el tiempo de viaje en más de 20% y el costo generalizado en 15%.

Los mismos indicadores en el 2030 alcanzan resultados más significativos. La alternativa de “hacer nada” da el tiempo de viaje total de 78.69 minutos y el costo generalizado de 8.05 soles. La alternativa con la red vial futura asociada con las líneas 2, 3, 4 y 5y el Nueva Ruta reduce el tiempo de viaje en más de 23% y el costo generalizado en 17%.

Tabla 5.21 Resumen de los indicadores del modo público del año 2020

Indicador	Sin hacer algo	Solo Camino de Desarrollo	Plan del MTC	Plan del MTC + Nueva Ruta (B)
Costo Generalizado (Soles - S./)	6.98	6.65	6.08	5.98
Costo (Soles - S./)	1.85	1.82	1.84	1.82
Tiempo Total de Viaje (min)	64.12	60.14	52.07	50.99
Tiempo Dentro del Vehículo (min)	53.53	49.68	42.60	41.54
Tiempo Inicial de Espera (min)	2.01	1.94	1.79	1.82
Tiempo de Espera de Transferencia (min)	0.46	0.42	0.47	0.53
Tiempo de Transferencia (min)	0.16	0.15	0.32	0.41
Tiempo de Acceso (min)	4.08	4.08	3.59	3.48
Tiempo de Salida (min)	3.88	3.87	3.30	3.20
Comparision with Base Scenario				
Indicador	Sin hacer algo	Solo Camino de Desarrollo	Plan del MTC	Plan del MTC + Nueva Ruta (B)
Costo Generalizado (Soles - S./)	-	-4.6%	-12.8%	-14.3%
Costo (Soles - S./)	-	-1.4%	-0.2%	-1.4%
Tiempo Total de Viaje (min)	-	-6.2%	-18.8%	-20.5%
Tiempo Dentro del Vehículo (min)	-	-7.2%	-20.4%	-22.4%
Tiempo Inicial de Espera (min)	-	-3.4%	-11.1%	-9.2%
Tiempo de Espera de Transferencia (min)	-	-10.0%	1.9%	15.4%
Tiempo de Transferencia (min)	-	-4.3%	103.6%	163.4%
Tiempo de Acceso (min)	-	0.0%	-12.1%	-14.7%
Tiempo de Salida (min)	-	-0.1%	-14.9%	-17.5%

Fuente: Equipo de Estudio JICA

Tabla 5.22 Resumen de los indicadores del modo publico del año 2030

Indicador	Sin hacer algo	Solo Camino de Desarrollo	Plan del MTC	Plan del MTC + Nueva Ruta (B)
Costo Generalizado (Soles - S./)	8.05	7.55	6.82	6.69
Costo (Soles - S./)	1.89	1.89	1.92	1.86
Tiempo Total de Viaje (min)	78.69	71.70	61.17	60.26
Tiempo Dentro del Vehículo (min)	68.14	61.34	51.66	50.68
Tiempo Inicial de Espera (min)	1.91	1.77	1.68	1.68
Tiempo de Espera de Transferencia (min)	0.51	0.47	0.51	0.61
Tiempo de Transferencia (min)	0.18	0.17	0.41	0.65
Tiempo de Acceso (min)	4.06	4.06	3.60	3.49
Tiempo de Salida (min)	3.89	3.89	3.31	3.16
Comparación con el Escenario Base				
Indicador	Sin hacer algo	Solo Camino de Desarrollo	Plan del MTC	Plan del MTC + Nueva Ruta (B)
Costo Generalizado (Soles - S./)	-	-6.3%	-15.3%	-16.9%
Costo (Soles - S./)	-	-0.1%	1.3%	-1.4%
Tiempo Total de Viaje (min)	-	-8.9%	-22.3%	-23.4%
Tiempo Dentro del Vehículo (min)	-	-10.0%	-24.2%	-25.6%
Tiempo Inicial de Espera (min)	-	-7.3%	-12.0%	-11.8%
Tiempo de Espera de Transferencia (min)	-	-7.5%	1.0%	18.9%
Tiempo de Transferencia (min)	-	-4.0%	125.3%	259.8%
Tiempo de Acceso (min)	-	0.0%	-11.4%	-14.1%
Tiempo de Salida (min)	-	0.0%	-14.9%	-18.8%

Fuente: Equipo de Estudio JICA

5.7.4 La demanda de pasajeros del Sistema de Transporte Masivo**(1) Caso-1**

La demanda de pasajeros del Metropolitano, llegará a 39,000 PHPDT en 2030, en caso que ningún proyecto se ejecute. Debido a que la demanda de pasajeros excede la capacidad del sistema actual, la demanda actual será menor que la proyectada. La demanda de pasajeros de la Línea 1 queda en el mismo nivel que la demanda presente.

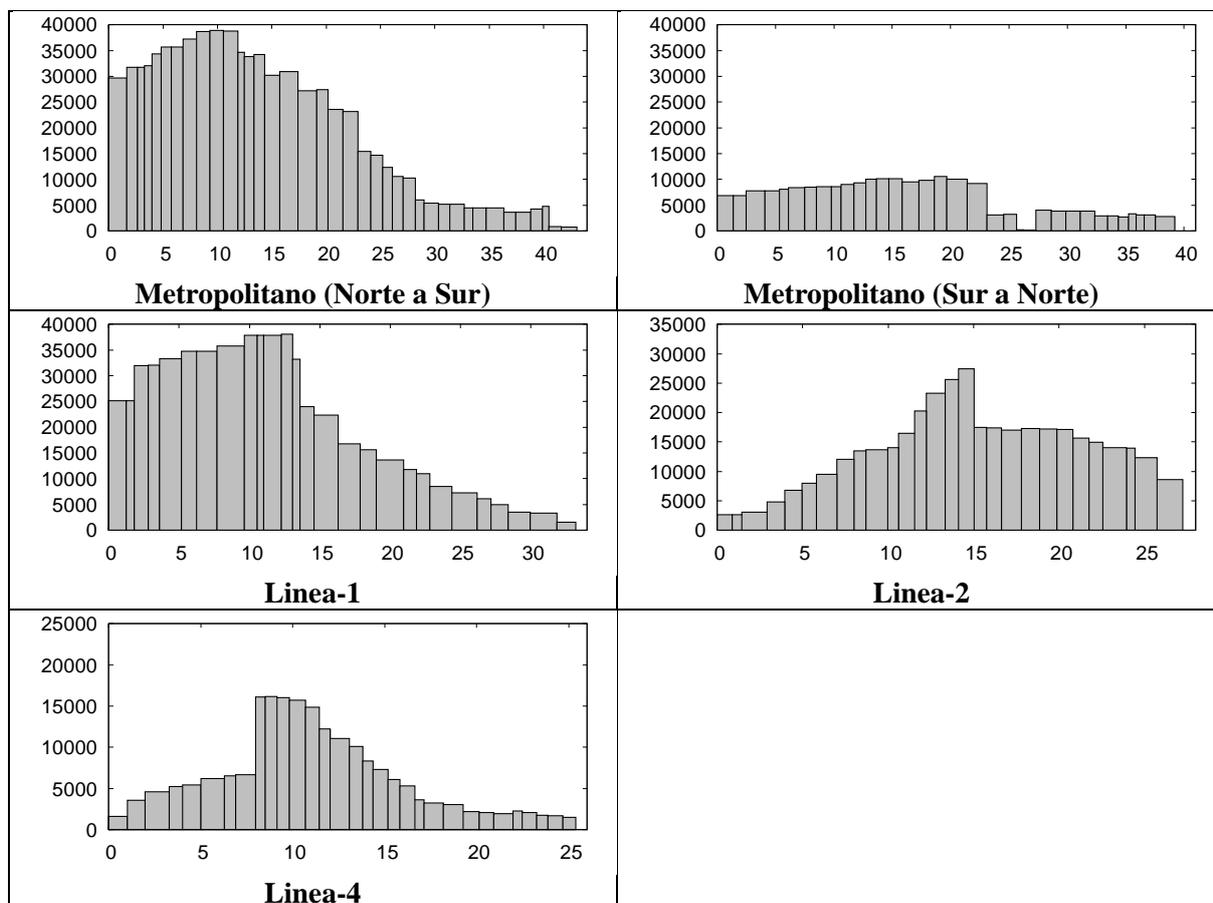
(2) Caso-2

Los resultados son muy similares al Caso-1.

(3) Caso-3

La Figura 5.45 muestra el flujo de pasajeros en el Caso-3 (Línea 3 y 5 son excluidos) en hora pico y sentido pico en 2030. El flujo de pasajeros del Metropolitano llegará a 39,000 PHPDT. Actualmente solo el TransMilenio, el BRT con escala completo en Bogotá, Colombia, ha logrado transportar este volumen de pasajeros. Para lograr transportar 39,000 pasajeros por hora por BRT, es necesario tener en las estaciones, carriles para sobrepasar, pero esto es difícil para el Metropolitano en el área central. Por lo tanto, aunque la Línea 3 es planificada en paralelo con el Metropolitano, la línea es necesaria para atender la demanda de transporte en el futuro. El grafico de inferior derecho, muestra el flujo de pasajeros del Metropolitano en la dirección de sur a norte. La demanda de pasajeros es de

7,000-10,000 pasajeros en hora pico. Eso significa que la prioridad de que la Línea 5 se traslape con el Metropolitano, es baja.



Nota: axis horizontal = kilómetros desde el inicio de la línea
Axis vertical = No. de pasajeros por hora por sentido

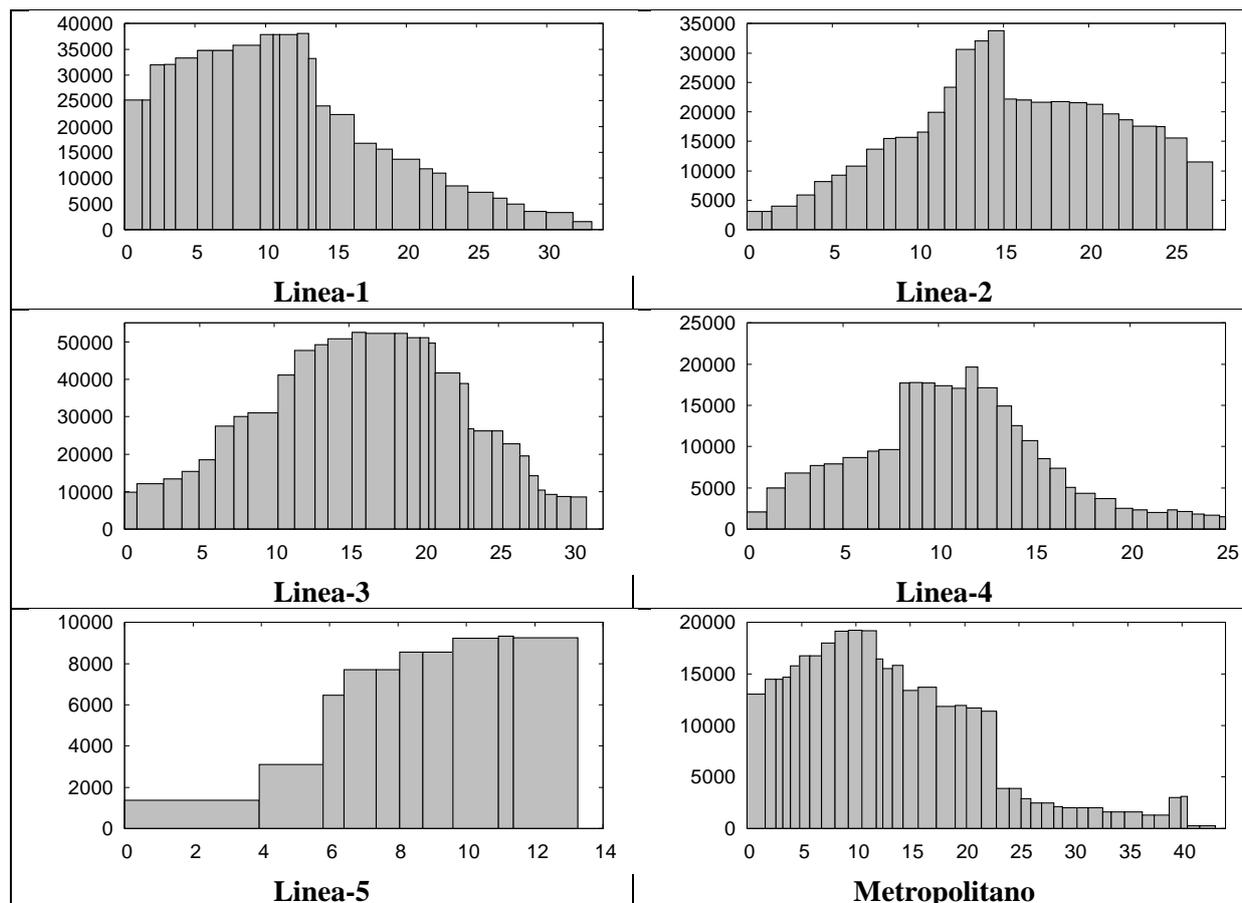
Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.45 Flujo de Pasajero de Metro y Metropolitano (Caso-3) en 2030

(4) Caso-4

La Figura 5.46 muestra el flujo de pasajeros en el Caso-4 (Plan del MTC) en la hora pico y sentido pico en 2030. Aunque la ruta de la Línea 3 está cercana al Metropolitano, su demanda será grande y absorberá la demanda del Metropolitano.

La proyección del número máximo de pasajeros en hora pico y sentido pico, muestra que el sistema ferroviario será posible únicamente para la Línea 1 y la Línea 3. La Línea 1 ya se encuentra construyendo un sistema ferroviario. Aunque el Metropolitano lleva una parte de la demanda del corredor, el número de pasajeros en la Línea 3 aún se mantiene suficientemente alto para justificar un sistema ferroviario. Por otro lado, el sistema de transporte de media capacidad es posible en otras líneas. Para la Línea 2, la demanda es un poco alta para un sistema de transporte de media capacidad, aunque un tipo monorriel grande, puede transportar la demanda de pasajeros. En base al pronóstico de demanda, el sistema ferroviario es más apropiado para Línea 2. Es difícil derivar un sistema adecuado para la Línea 4 desde el resultado del pronóstico de demanda. El resultado muestra que un tipo de sistema de monorriel grande, puede atender la demanda, sin embargo, es necesario chequear otros aspectos para concluir un sistema adecuado.



Nota: axis horizontal = kilómetros desde el inicio de la línea
Axis vertical = No. de pasajeros por hora por sentido

Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 5.46 Flujo de Pasajero de Metro y Metropolitano (Caso-4) en 2030

(5) Caso-5,6 y 7

El resultado de casos de “Nueva Ruta” se describe en Capítulo 6.

Tabla 5.23 Número Diario de Pasajeros Abordantes

	2020			2030		
	Line-1, 2, 4	MTC Plan	MTC Plan & New Route	Line-1, 2, 4	MTC Plan	MTC Plan & New Route
Line 1	436,000	428,000	530,000	574,000	672,000	697,000
Line 2	304,000	379,000	421,000	368,000	498,000	518,000
Line 3	0	569,000	582,000	0	716,000	699,000
Line 4	235,000	333,000	367,000	300,000	434,000	452,000
Line 5	0	104,000	109,000	0	117,000	122,000
New Route	0	0	175,000	0	0	202,000
Metropolitano	341,000	186,000	251,000	414,000	214,000	315,000

Fuente: Equipo de Estudio JICA

Tabla 5.24 Hora de Pico y Dirección del Volumen de Pasajeros

	2020			2030		
	Line-1, 2, 4	MTC Plan	MTC Plan & New Route	Line-1, 2, 4	MTC Plan	MTC Plan & New Route
Line 1	25,000	24,000	28,000	35,000	38,000	40,000
Line 2	22,000	24,000	27,000	27,000	34,000	35,000
Line 3	0	39,000	39,000	0	53,000	49,000
Line 4	12,000	16,000	18,000	16,000	20,000	20,000
Line 5	0	8,000	9,000	0	9,000	10,000
New Route	0	0	15,000	0	0	17,000
Metropolitano	29,000	15,000	14,000	39,000	19,000	18,000

Fuente: Equipo de Estudio JICA

5.7.5 Conclusiones en Pronóstico de Demanda

Las siguientes conclusiones son principalmente, de pronóstico de demanda.

- 1) El congestionamiento de vías principales conectando las áreas sub-urbanas con el centro de la ciudad en horas pico, serán más pesados. Por lo tanto, las construcciones de proyectos viales propuestos en el PMTU-2025 son necesarias. Particularmente, la implementación de la Vía de Periférica, Av. Paseo de la República Sur, y Autopista Ramiro Prialé son muy importantes.
- 2) La capacidad de vías principales en el centro de la ciudad, excluyendo el Centro, aún tienen un margen en la demanda de tráfico, para ir al trabajo. Por lo tanto, hay posibilidad de resolver el problema de congestionamiento con cierta extensión e introduciendo mejoramiento de intersecciones y gestión de tráfico, propuestos en el PMTU-2025.
- 3) Debido a que la demanda en la dirección norte sur es muy alta, la Línea 1 y la Línea 3 deben ser desarrolladas con un sistema de alta capacidad, como la ferrovía. Aunque la Línea 3 usa Tupacc Amaru igual que BRT (Metropolitano), la capacidad del Metropolitano no es suficientemente alta para atender la demanda.
- 4) La Línea 2 y la Línea 4, son planeadas para la dirección este oeste. En cuanto a la demanda, hay posibilidad de atenderla mediante un sistema de transporte de media capacidad. Esto se analiza más, en el Capítulo 6.
- 5) Aunque la Línea 5 del Plan del MTC tiene una demanda de 10,000 PHPDT aproximadamente, la línea se traslapa con el Metropolitano. Por esta razón, la construcción de la Línea 5 podría ser considerada como una sobreinversión.
- 6) La demanda de transferencia es muy alta debido a que con la línea del metro del Plan del MTC se cruzan entre sí. Por lo que los cambios de líneas, pueden afectar la demanda de pasajeros de otras líneas de gran extensión. Es necesario desarrollar estaciones de transferencia para que la transferencia sea muy conveniente.
- 7) La demanda de pasajeros en la dirección del sub-urbano y de las líneas del metro del plan del MTC, también es alta. Es deseable estudiar un sistema de buses alimentadores al mismo tiempo que el desarrollo del metro.

Capítulo 6 Estudio Conceptual de Sistema de Transporte de Media Capacidad

6.1 Antecedentes del Estudio

6.1.1 Sistema de Transporte de Media Capacidad como Alternativa de Sistema de Transporte Urbano

(1) BRT y Ferrovía

En la planificación del transporte urbano en Perú, las opciones del sistema de transporte urbano han sido analizadas entre BRT y sistema ferroviario tal como describe a continuación. En el PMTU2025 el sistema de transporte masivo, también fue formulado en base a los sistemas de Buse Troncales y Ferroviario.

1) Estudio de Factibilidad – JICA 2007 para el Corredor Este-Oeste

El estudio del PMTU 2025 identificó el proyecto de buses troncales en los ejes viales de la Av. Venezuela – Av. Arica – Av. Grau – Av. Nicolás Ayllón – Carretera Central, como uno de los proyectos de alta prioridad. Basándose en el plan maestro, JICA realizó un estudio de Factibilidad (EF) del proyecto de buses troncales a lo largo del Corredor Este-Oeste, comprendido entre Av. Venezuela, Av. Ayllón, y Carretera Central, con una longitud total de 19.7 kilómetros, tal como se muestra en la Figura 6.1. El informe final del estudio se presentó en Marzo de 2007. El estudio de factibilidad concluyó que el proyecto sería viable con una Tasa Interna de Retorno de 15.4%. La demanda de tráfico en el corredor de buses troncales se proyectó para 6,000 pasajeros por hora y por sentido, en horas pico. El sistema propuesto tiene una capacidad de 6,000 pasajeros por hora y por sentido con un avance de operación de 1.7 minutos por autobús articulado con capacidad de 170 pasajeros. Este era un tipo estándar de sistemas de Autobuses de Tránsito Rápido (BRT – siglas en ingles). El plan básico (Perfil) del proyecto del Corredor Este-Oeste fue aprobado por la Oficina de Planificación e Inversiones (OPI) de la Municipalidad Metropolitana de Lima en 2006.

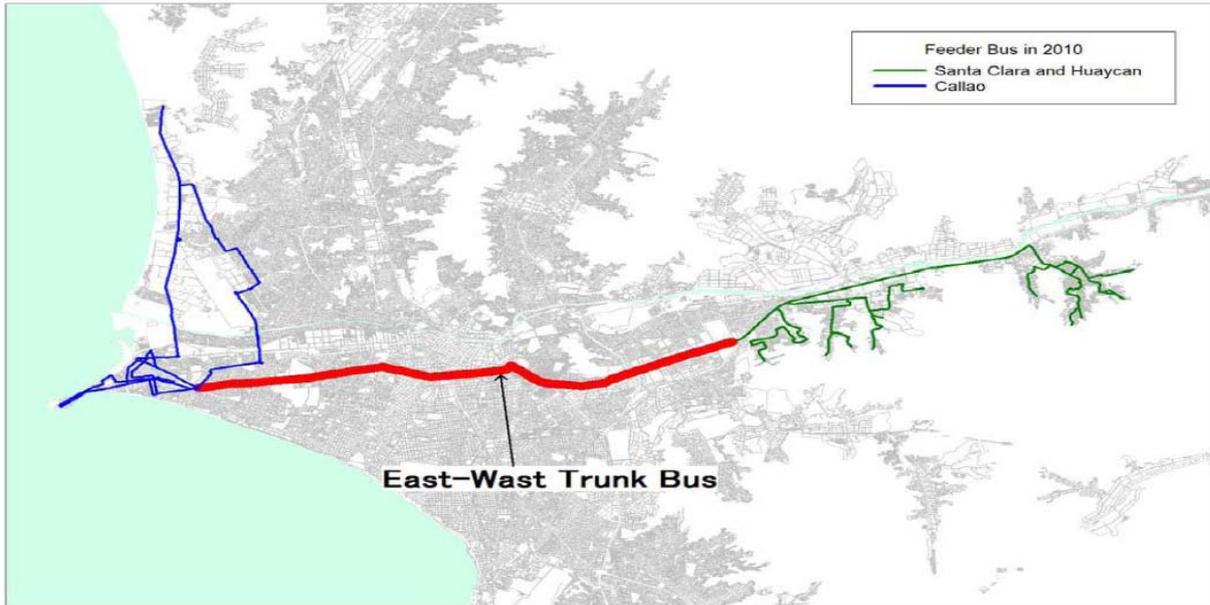
2) Proyecto COSAC-2

El Corredor Este-Oeste se integró en el proyecto COSAC-2 con una longitud total de 27.6 kilómetros, como se muestra en la Figura 6.2. Un estudio detallado de la demanda fue realizada por PROTRANSPORTE y FONAM en 2010, y el plan básico (Perfil) se actualizó en 2011. Debido al limitado derecho de vía a lo largo del corredor, no es posible que el COSAC-2 tuviera la misma capacidad del COSAC-1 (Metropolitano).

3) Plan del MTC

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) notificó en 2010, el Plan de Metro actual, el cual está incluido a lo largo de la misma ruta del Corredor Este-Oeste, Línea-2. La AATE ha realizado varios estudios de demanda para las líneas del Plan Metro. En el plan, el sistema de vía férrea es elevado o subterráneo, a y no del metro a nivel.

La ejecución de los proyectos COSAC-2 y Línea 2, no sería económicamente viable, si se utiliza el mismo corredor para ambos proyectos.



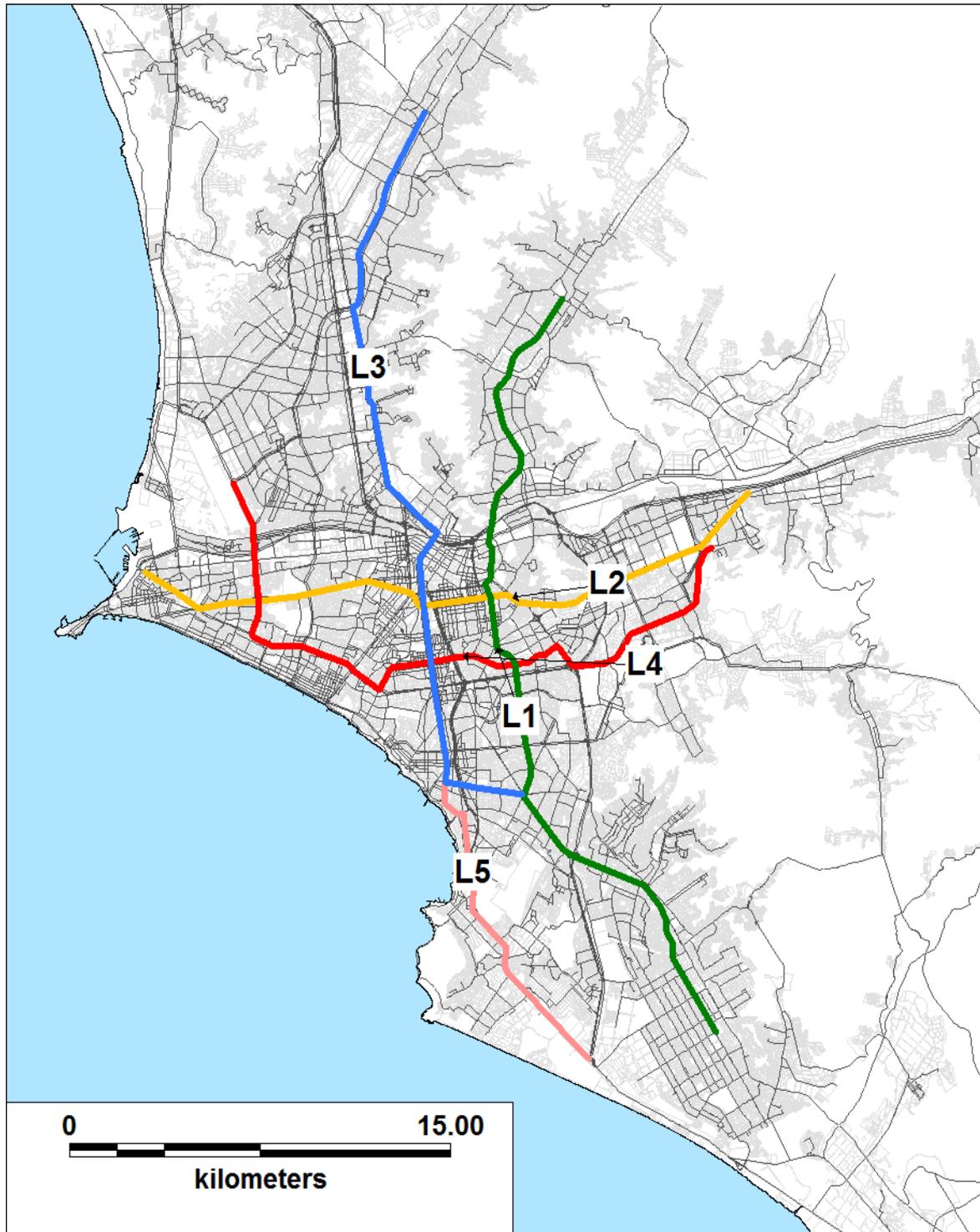
Fuente: Estudio de Factibilidad JICA 2007

Figura 6.1 Corredor Este-Oeste de bus troncal Estudio de Factibilidad JICA



Fuente: "Estudio de Consolidación del Sistema Integrado del Transporte Público de Lima", 2010

Figura 6.2 Proyecto Metropolitano-2 (COSAC-2)



Fuente: Notificación del Gobierno (059-2010-MTC), ilustrado por el Equipo de Estudio JICA

Figura 6.3 Ubicación de Líneas en el Plan del MTC

(2) Propuesta de Monorriel

La capacidad del sistema COSAC-2 sería menor a 25,000 PHPDT debido a la capacidad limitada del corredor, mientras que los ferrocarriles subterráneos pueden transportar más pasajeros. La selección del sistema a lo largo del corredor se discutió entre el sistema de bajo costo con capacidad limitada (BRT) y el sistema de alto costo con mayor capacidad (subterráneo). En este sentido en 2011, un grupo Japonés, planteó una propuesta de

monorriel para el corredor. La capacidad de la propuesta monorriel era mayor que el de BRT, mientras que el costo de construcción era más baja que la de ferrocarril subterráneo.

Aunque el ferrocarril subterráneo fue seleccionado para el corredor, la idea de introducir un sistema de transporte de capacidad media en Lima, es posible de analizar.

(3) Pronóstico de la Demanda

En el Capítulo 5, para Línea 2 y Línea 4 en lugar de comparar con el BTR y el sistema ferroviario, se muestra el pronóstico de demanda que será necesario considerar en un sistema de transporte de media capacidad.

6.1.2 Selección de Sistema

Esta subdivisión describe desde un punto de general, los criterios de selección de un sistema de transporte masivo.

(1) Enfoque en PMTU 2025

En el estudio PMTU 2025 solamente fueron considerados los sistemas ferroviario y de buses troncales. En lugar de seleccionar el modo adecuado para cada ruta, el estudio evaluó la combinación de los sistemas de ferrocarril y el bus troncal. Los escenarios básicos para la evaluación fueron:

- Sistema Prioritario de Transporte Ferrocarril
- Sistema Prioritario de Bus Troncal
- Combinación de Sistema de Transporte

La mejor combinación fue seleccionada entre varios criterios tales como costo total, población beneficiada, tasa costo-beneficio, velocidad de viajes en las calles, congestión y reducción de CO₂, aunque la eficiencia de costo-beneficio era un factor muy importante en la selección. La capacidad de Tránsito fue considerada para la selección entre tren ligero y ferrocarril convencional. El costo de desarrollo del transporte público se estimó en US \$ 3,005 millones en el que las líneas de ferrocarril y de autobuses troncales representaron USD 2,024 y USD 981 millones, respectivamente. Durante el Estudio, la limitación de presupuesto fue el principal criterio de selección del sistema que refleja la debilidad de la economía.

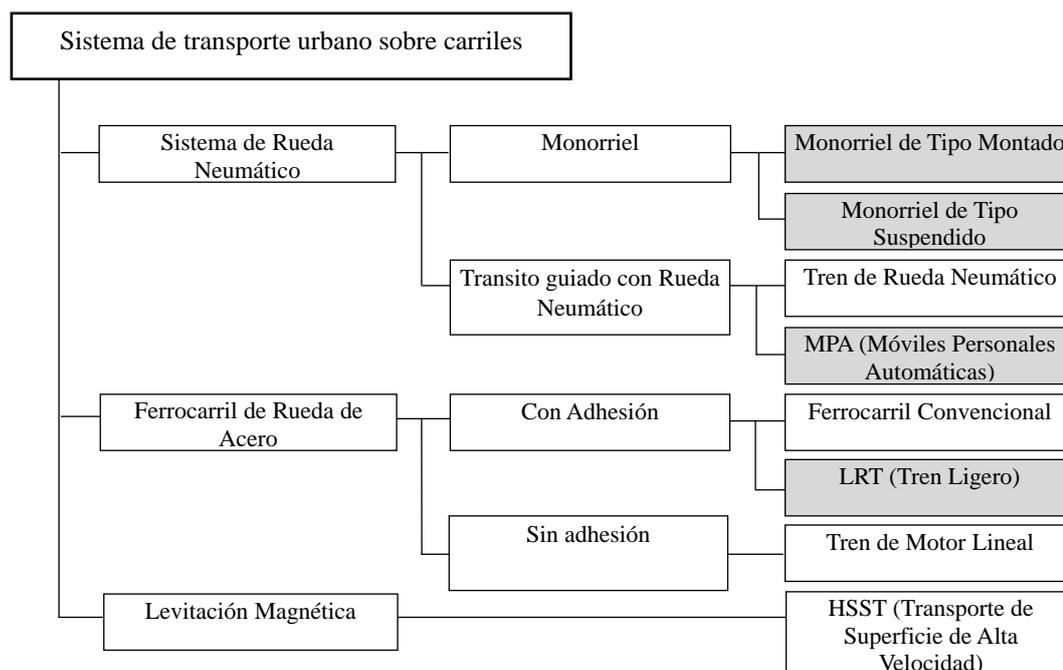
En el estudio del PMTU2025, las únicas alternativas en la selección del sistema fueron el sistema de Buses Troncales (BRTS) y el Sistema de Transporte Ferroviario. Sin embargo, existen otros sistemas de transporte urbano por lo que es necesario considerar también esas alternativas.

(2) Candidatos para Sistema de Transporte Urbano

Un sistema ferroviario convencional como el Metro Línea 1 es generalizado a tren elevado como sistema de transporte urbano. Las columnas del viaducto son construidas en el separador central de la calle y los rieles son instalados sobre espacios públicos de calles. El tren elevado puede asegurar la dedicación del derecho de vía y la separación del tráfico en calles, asimismo, el costo de construcción es menor si se compara con el de un tren subterráneo.

Generalmente, los sistemas de transporte urbano sobre rieles se pueden categorizar en 8 sistemas, tal como muestra en la Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.4. Todos los sistemas pueden ser instalados como un tren elevado. Entre ellos, Tren Ligero (LRT), Transito Auto Guiado (AGT), Transporte Superficial de Alta Velocidad (HSST) y monorriel pueden ser considerados como sistemas de transporte de media capacidad (En color gris en la Figura 6.5). El sistema de transporte más apropiado será seleccionado desde el punto de vista de capacidad de transporte, capacidad técnica y eficiencia económica. Asimismo, debido a que los sistemas son instalados sobre áreas urbanas de la calle, los temas de medio ambiente, tales como ruido y vibración, adquisición de derechos de vía y el impacto al paisaje de la ciudad que pueden ser generados por el sistema, deben ser tomados en cuenta.



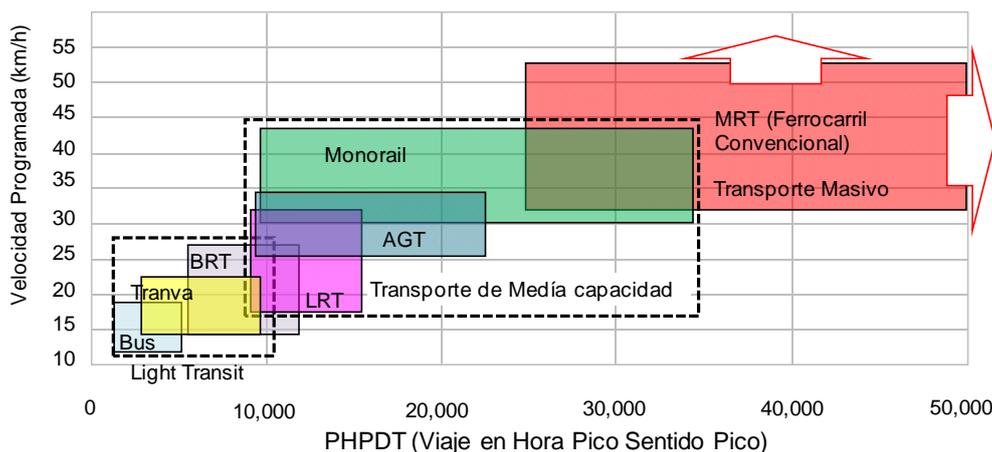
Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.4 Sistema de Transporte Urbano sobre Carriles

(3) Demanda de Tráfico

La demanda de pasajeros es uno de los factores más importantes para seleccionar el sistema adecuado a lo largo de un corredor. Si un sistema de BRT puede satisfacer la demanda, otros sistemas de mayor capacidad serían sobreinversión. Por otro lado, es necesario introducir un sistema ferroviario, si la demanda supera 35,000 pasajeros por hora y por sentido (PHPD).

Dado que los costes de material rodante y de construcción de un sistema de transporte masivo es caro, existe un rango de demanda óptima para un sistema. Figura 6.5 ilustra el concepto del rango óptimo.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.5 Concepto de Inversión Óptima para Sistemas de Transporte Masivo

Es necesario evitar tanto la sobreinversión y sobre saturación en vista de la viabilidad económica. La idea de un sistema de transporte de media capacidad es proporcionar una alternativa entre el tren y los sistemas de BRT. Si la demanda de pasajeros es superior a 15.000 PHPDT aproximadamente, los sistemas BRT necesitan carriles de adelantamiento. Sin embargo, esta demanda no justifica la inversión en un metro, incluso si la sección transversal requerida es pequeña, a menos que el número de pasajeros sea alto. Si la demanda de pasajeros es aproximadamente del orden de 10.000 - 20.000 PHPDT, el sistema de transporte de media capacidad tiene la capacidad adecuada desde el punto de vista de la inversión óptima, debido a que el costo de estructuras elevadas es menor que la del mismo sistema de tren convencional. Si la demanda de pasajeros excede 35,000 PHPDT, no existe otro sistema que pueda ser utilizado, más que el tren.

En sistemas de transporte de media capacidad, un monorriel a gran escala puede transportar 35,000 pasajeros por hora por sentido, aun cuando la cantidad de material rodante necesario es mayor que la de un tren convencional. Debido a que la capacidad de vagón del monorriel es menor que la de un tren convencional, el primero requiere más número de vagones que el segundo. La Tabla 6.1 muestra un ejemplo de cálculo para obtener la diferencia en la cantidad de material rodante necesario y sus costos entre el monorriel y el tren, bajo la premisa que un viaje de ida y vuelta toma una hora. En este cálculo, el monorriel requiere 55 vagones más en comparación al sistema de tren, cuando el número de pasajeros es de 35,000 PHPDT. Un mayor costo de material rodante implica mayor inversión y costo de mantenimiento. El Lima, el costo de estructuras elevadas es de 12 millones por kilómetro (Extensión de Metro Línea 1). Suponiendo que el costo de estructura elevada de monorriel es de USD 3.6 millones (30%) menos que la del sistema de tren elevado, el monorriel es más costoso si la demanda de pasajero excede los 20,000 PHPDT. Aunque esto es una prueba de cálculo bajo ciertas condiciones, el resultado muestra que para la demanda aproximada de entre 20,000 y 35,000 PHPDT, es necesario tomar en cuenta diferentes criterios más que el factor de costo.

Tabla 6.1 Ejemplo de Cálculo de la Cantidad de Material Rodante

Demanda de Pasajero (PHPDT)	A	20,000	25,000	30,000	35,000
No. of Vagones para Monorriel (No.)	$b=a/158$	127	158	190	222
No. of Vagones en para Tren (No.)	$c=a/210$	95	119	143	167
Diferencia (No.)	$d=b-c$	32	39	47	55
Costo (Milliones USD)	$e=d*2$	64	78	94	110

Condiciones: Tiempo de viaje de ida y vuelta = 1 hora (longitud de la ruta= 17.5km, Velocidad Operacional = 35km/h), capacidad de vagón de monorriel = 158 pasajeros/vagón, capacidad de vagón de tren=210 pasajeros/vagón, costo de vagón = USD 2 millones

Fuente: Equipo de Estudio JICA

(4) Condición de la Ruta

El ancho del derecho de vía a lo largo de la ruta del transporte masivo, afecta en la selección del sistema. Si el corredor es lo suficientemente amplio como para dar cabida a cuatro carriles con el espacio para la estación en la mediana, un BRT a gran escala, tales como Metropolitano 1 y el Transmilenio en Bogotá sería posible. El Transmilenio tiene capacidad hasta para 45,000 PHPDT. En caso de que la transferencia de carriles de autos a carriles exclusivos para un sistema BRT sea difícil, la estructura elevada será necesaria. Si la carretera es demasiado estrecha para acomodar estaciones y estructuras elevadas, el sistema subterráneo será la solución final.

Además del ancho de las calles, su radio de curvatura afecta la selección del sistema. El sistema de transporte de media capacidad permite una curvatura más pequeña que la de un sistema ferroviario estándar. La Pendiente vertical es también un elemento importante en algunas condiciones urbanas. De existir pendientes muy pronunciadas para sistemas de rueda de acero, sistemas de rueda neumática se deberían considerar como opción.

En algunos casos, el paisaje urbano es un elemento de selección del sistema. En lugares donde los edificios históricos o culturales existen, la estructura subterránea es mejor que la estructura elevada con tipo de losa estándar.

(5) Sistema de Integración

Es conveniente para los usuarios del transporte público, poder movilizarse directamente de la estación de ferrocarril interurbano a otro tipo de sistema en el área central. La operación de la inter-línea a través del centro de la ciudad sería también beneficiosa para los pasajeros, aunque la operación de tales sistemas de tránsito masivo no es común. Debido a que las líneas de red del MTC se cruzan entre sí, operación inter-línea no será necesaria. La integración de sistemas es también beneficiosa para los operadores, ya que permitirá un uso eficiente de patio, instalaciones, piezas de repuesto y recursos humanos. El área para patio es limitado en Lima, por lo que es mejor emplear el mismo sistema entre las líneas que llegan a un mismo lugar.

(6) Sostenibilidad

Los sistemas de transporte masivo pueden ser operados comercialmente en caso de que la recaudación tarifaria y no tarifarias, puedan cubrir los costos de inversión inicial y los costos de operación. Hay muchas empresas privadas que operan su sistema de transporte público bajo condiciones comerciales. Sin embargo, la operación comercial de un sistema de transporte público es generalmente difícil, y muchos sistemas de transporte en el mundo son operados como un servicio público a través de una empresa pública, empresa semi-pública o empresa privada con subsidios. En cualquier caso, los sistemas de transporte público deben ser operados sin deterioro en el nivel de servicio. La estabilidad financiera es una de las cuestiones más importantes para el funcionamiento sostenible. Por lo tanto, los siguientes elementos deben ser considerados para la selección del sistema.

- Disposiciones Financieras para la Inversión Inicial: La disponibilidad de financiamiento internacional, tales como bancos bi-laterales, bancos de exportación e importación y los bancos regionales de desarrollo a veces suelen ser un factor importante en la selección del sistema.
- Expansión Futura: En general, la infraestructura de sistemas de tránsito masivo está diseñada de tal manera que la expansión futura sea posible. Sin embargo, una inversión a gran escala en comparación con la demanda actual tiende a ser un exceso de inversión.

La necesidad o el compromiso de la futura ampliación es también un criterio de selección del sistema.

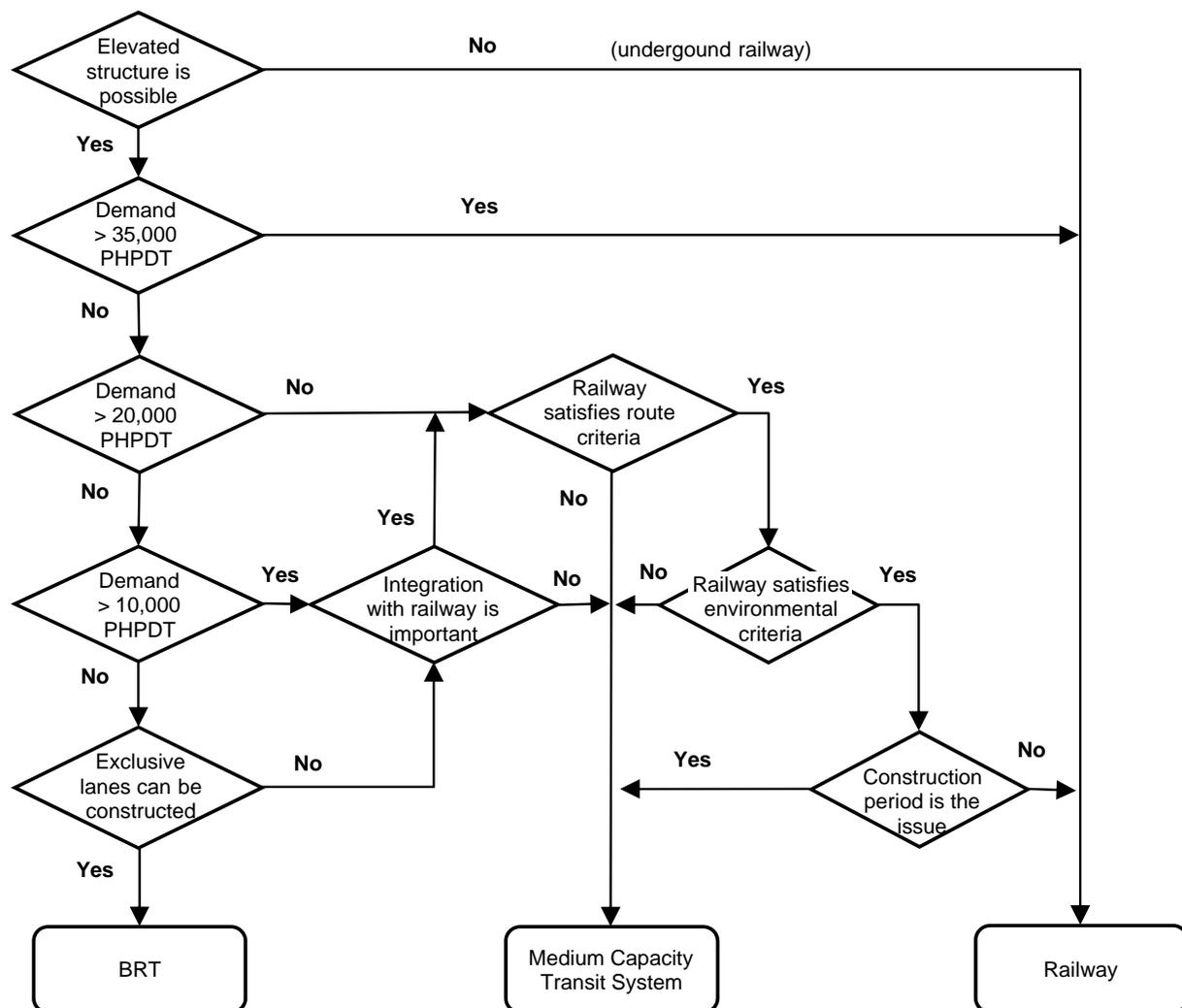
- Costos de O & M adecuada y de reinversión: El bajo costo de operación y de mantenimiento (O & M) por pasajero, es uno de los criterios de selección, además de los costos de inversión para las nuevas unidades de material rodante o de reemplazo.

(7) Tiempo de Desarrollo

El crecimiento de las mega-ciudades en el mundo es tan dinámico que un retraso del proyecto puede causar un desastre a largo plazo en la ciudad, mientras que una pronta implementación de un proyecto contribuye a la mejora de congestión de la ciudad. A veces, es necesario introducir un sistema de transporte masivo de bajo costo, pero esto implica una aplicación a corto plazo, lo cual conlleva a su vez, tener a futuro, falta de capacidad en el sistema. Por ejemplo, hay varias líneas de metro, cuya capacidad es muy inferior a la demanda de tráfico en Tokio, pero esto no significa que los proyectos fueron un error - la pronta aplicación de los sistemas de transporte masivo contribuyó al crecimiento estable de la ciudad. En 2010, Metropolitano inició su operación y provocó un impacto a gran escala en la ciudad. El proyecto tiene éxito, los usuarios lo han acogido con gran demanda. La temprana aplicación de un sistema es muy importante; un sistema de bajo costo y corto plazo de construcción es mejor que un proyecto con alta capacidad y alto costo ya que tiene mayor tiempo para ponerse en práctica.

(8) Gráfico de Selección de Sistema

Tal como se ha mencionado anteriormente, existen varios factores que deben ser considerados para elegir el mejor sistema de transporte masivo. El Análisis de Criterio Múltiple (ACM) es una técnica común, utilizada para seleccionar entre numerosas alternativas, el mejor sistema, bajo condiciones variadas cuando esas alternativas son aplicables a la ruta. Sin embargo, la selección del sistema puede ser simple cuando la selección se realiza entre Tren Ligero, Transporte de Media Capacidad y Transporte Masivo, ya que la demanda de tráfico es el criterio más importante. La Figura 6.6 muestra un flujograma de selección de sistema, propuesto en este estudio. Si la demanda excede 35,000 PHPDT, el sistema ferroviario es seleccionado. Existe la posibilidad de que un sistema ferroviario no sea posible construirlo debido a las condiciones de la ruta, aún cuando la demanda exceda los 35,000 PHPDT. Aunque esa posibilidad es excluida del flujograma, otros sistemas deben ser considerados en este caso, o requerirse una revisión de la ruta de transporte masivo. Si la demanda es entre 10,000 y 20,000 PHPDT, la implementación de un sistema de transporte de media capacidad es recomendado, mientras tanto, otros criterios deben ser considerados para casos de demanda entre 20,000 y 35,000 PHPDT.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.6 Flujograma de Selección de Sistema

6.1.3 Evaluación del Plan Actual

(1) Bus convencional y BRT

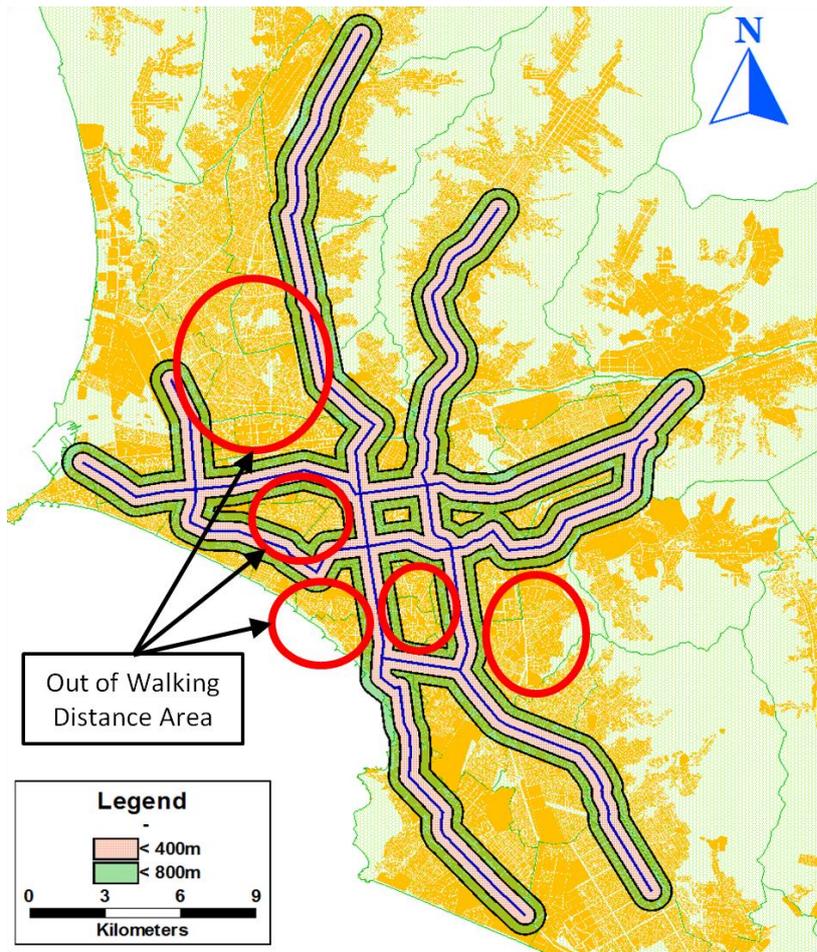
De acuerdo con la Encuesta de Pasajeros, la mayoría de usuarios del servicio de autobús convencional, pagarían la tarifa extra si los autobuses corren más rápido; mientras que la mayoría de los pasajeros de BRT están satisfechos con la velocidad de éste. Durante la encuesta, se les consultó a los entrevistados su disponibilidad de pagar un poco más, por 10 minutos de reducción en el tiempo de viaje. El 31% de los pasajeros de BRT respondieron que no estaban dispuestos a pagar; igualmente, el 4% de los pasajeros de autobús respondieron lo mismo. Esto significa que el 31% de los pasajeros de BRT consideran que la velocidad de desplazamiento es aceptable mientras que la mayoría de los pasajeros de autobús están dispuestos a pagar por la reducción en el tiempo de viaje. El valor promedio de 10 minutos en la reducción de tiempo, es de S / . 0.77 para los pasajeros de BRT, y S / . 1.11 para los pasajeros de autobuses. De acuerdo a los resultados de las entrevistas, se concluye que la reducción del tiempo de viaje es uno de los temas más importantes para los pasajeros del bus convencional. El área de servicio del sistema de transporte masivo debe expandirse para que los ciudadanos puedan acceder al sistema de transporte de alta velocidad.

Como se demuestra en el Capítulo 5, la demanda de tráfico a lo largo de los corredores principales, tendrá alto congestionamiento en las horas picos, aunque las líneas del Plan Metro del MTC sean construidas. En proyectos de BRT, se utilizan carriles exclusivos, por lo que debe examinarse detalladamente el impacto que esto ocasiona en el tráfico debido a la reducción del número de carriles en calles. Algunos sistemas de BRT tienen capacidad para atender más de 10,000 PHPDT, lo cual tiene un impacto negativo debido a la cantidad de carriles exclusivos que debe utilizar y por ende, reducir el número de carriles de calle disponibles. Asimismo, la velocidad de operación se reduce cuando los vehículos son operados con mayor frecuencia. En el caso de BRT de Curitiba en Brasil, la velocidad promedio de operación fue menor a 20km/h, en 2007, mientras que su capacidad fue de 20,000 PHPDT.

(2) Área de Influencia

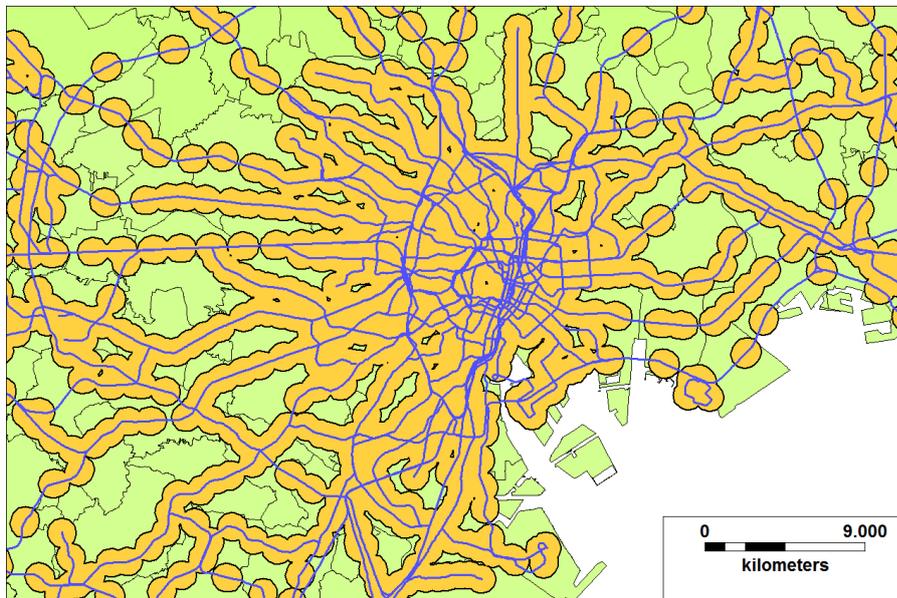
Con la densa red de servicios de transporte público, como combi, minibús y autobús, la zona de servicio se extiende sobre el área de estudio. Sin embargo, la zona de servicio de los sistemas de transporte masivo como el BRT y la Línea 1, se limitan a los corredores, aunque los servicios de enlace amplían el área de servicio. La red ferroviaria del plan maestro puede cubrir una gran parte del centro de la ciudad con sus zonas de distancia a pie, como se muestra en la Figura 6.7. Las bandas de la figura, muestran el área dentro de una distancia de 400 metros y 800 metros de cada línea. La distancia de 800m sería la distancia máxima de marcha en general. El acceso a las áreas que no están cubiertas por las bandas es proporcionado por los servicios de enlace. Hay un área en blanco a lo largo de la Av. Universitaria en el norte del río Rímac. Esta es un área poblada y la demanda de tráfico es muy alta. En la actualidad, esta área es atendida por los servicios de conexión de Metropolitano.

La Figura 6.8 ilustra la zona peatonal (800 m) desde las estaciones del tren de Tokio. La zona del centro de la ciudad se cubre el servicio del sistema ferroviario.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.7 Área de Distancia del Sistema Ferroviario de Lima

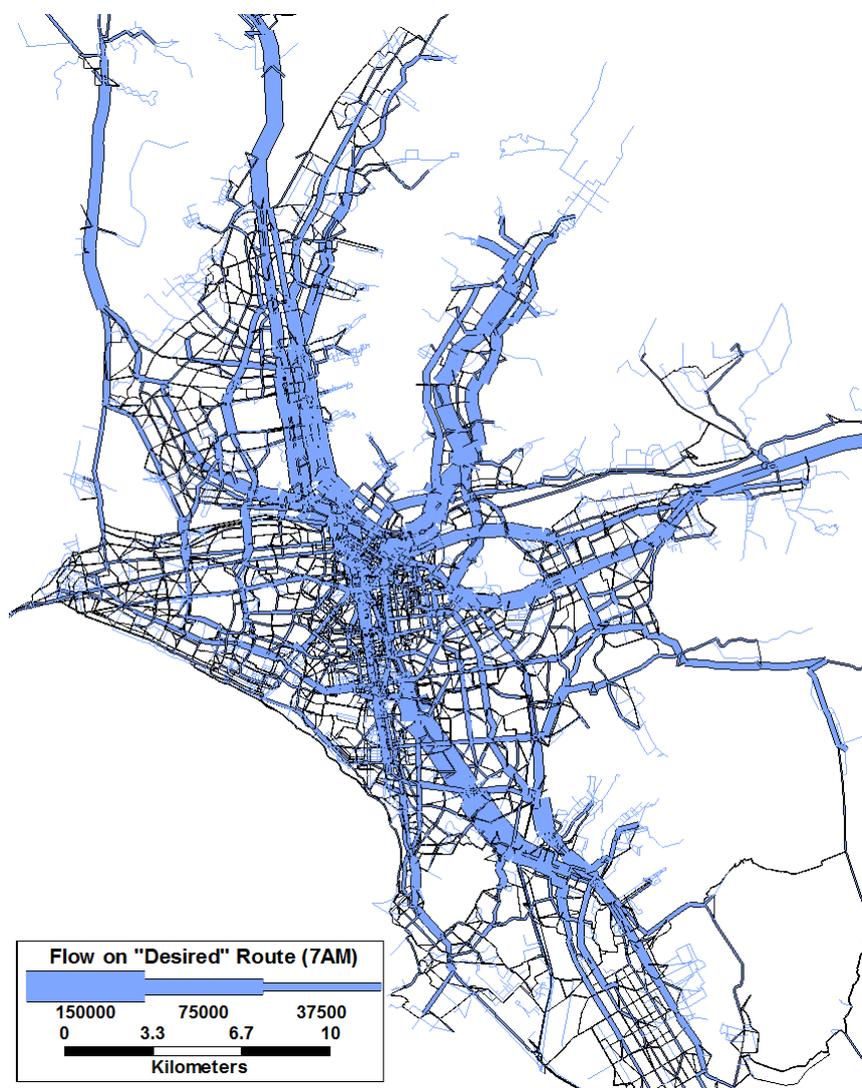


Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.8 Área de Distancia del Sistema Ferroviario de Tokio

(3) Análisis de la Demanda

El pronóstico de la demanda de tráfico se describe en el Capítulo 5. Se muestran los resultados de la demanda actual y futura de cada línea de la red ferroviaria. La demanda proyectada está influenciada por las condiciones de capacidad de la red de vías y rutas fijas de la red ferroviaria. Las rutas seleccionadas para la asignación de tráfico son las mejores rutas bajo la limitación de condiciones. Esto significa que es el resultado de un compromiso de elección de ruta. Por otro lado, la Figura 6.1.7 ilustra las rutas deseadas, que se calcularon por la demanda de viajes asignados a la ruta de la distancia más corta. Por lo tanto, esta figura muestra la ruta que las personas realmente desean utilizar. Como se puede ver, hay una gran demanda del corredor con dirección norte - sur y en el corredor este-oeste. La extensión de la Línea 1 pasa por el corredor de alta demanda en San Juan de Lurigancho. La demanda de la parte este de la Línea-2 es también es alta. La Línea 3 también pasa por el corredor de alta demanda en la dirección norte-sur. Otros corredores con una demanda relativamente alta se sitúan en Av. Universitaria, Av. Néstor Gambeta y Av. Angamos Este.

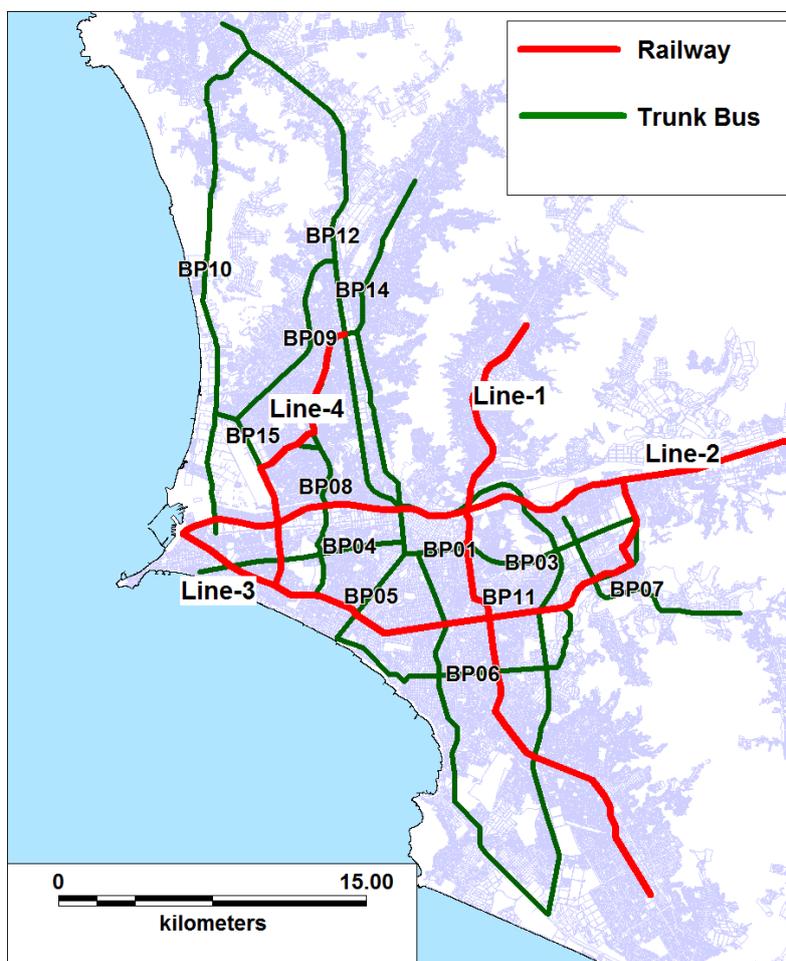


Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.9 Ruta “Deseada” en la Hora Pico (7AM)

La Figura 6.10 muestra las rutas propuestas en PMTU2025 para el sistema de transporte masivo. Cantidad de líneas ferroviarias (de 1 a 4) son diferente al plan del MTC. El bus troncal “BP08” y una parte de la ferrovía “Línea 4” hacen su recorrido por Av. Universitaria

mientras que el BP06 hace su recorrido por Av. Angamos Este. BP05, BP07 y BP10 recorren por los corredores de alta demanda. La parte Este de “Línea 2” también recorre el corredor de alta demanda.



Fuente: PMTU 2025 (Ilustrado por el Equipo de Estudio JICA)

Figura 6.10 Rutas de Transporte Masivo - PMTU 2025

Debido a que la red de Metro del MTC es diferente a la red del PMTU 2025, la red de transporte masivo debe ser reorganizada.

Tabla 6.2 Propuesta de Reordenamiento de PMTU 2025

No	PMTU 2025	Propuesta de Reorganización en base al plan del MTC
1	Línea-1	Línea-1 (igual)
2	Línea-2 (conversión de riel de tren de carga a un sistema de transporte urbano)	El tren de carga se mantiene para transporte de carga. La parte Este de Línea 2 (PMTU2025) será sustituido por la Línea 2 (Plan del MTC)
3	BP11, Línea-3 y Línea-4 (Elmer Faucett)	Línea-4 en Plan del MTC
4	BP01 y BP04	Línea-2 en Plan del MTC
5	BP14	La parte norte de Línea 3 del Plan de MTC
6	BP12 (Metropolitano)	Metropolitano y Línea-3 (Línea 3 es necesaria debido a que la demanda del corredor es más grande que la capacidad de Metropolitano)
7	Línea-4 (Av. Universitaria), BP08, BP06	Una nueva ruta de sistema de transporte masivo es recomendada para este corredor que tiene alta demanda
8	Otros (BP03, BP05, BP07, BP10, BP15)	Sistema de Bus Troncal (no es BRT de escala completo)

Fuente: Propuesta de Equipo de Estudio JICA

6.2 Estudio de Ruta

6.2.1 Selección de Ruta de Plan del MTC

La Figura 6.6 muestra el gráfico de selección del sistema que fue aplicado a las líneas del plan metro del MTC, utilizando el pronóstico de la demanda mostrada en el Capítulo 5 y que se utilizó para elegir las rutas del sistema de transporte de media capacidad del estudio.

Como se muestra en la Tabla 6.4, el sistema ferroviario es seleccionado para Línea 1 y Línea 3. La ampliación de la Línea 1 se encuentra en construcción con el mismo sistema de Línea 1 existente. Existe la posibilidad de disminuir la demanda de la Línea 3 en el caso de construir un sistema paralelo a Línea 3. Debido a que la Panamericana Norte está muy cerca a Línea 3 (Túpac Amaru), la Av. Universitaria es la ruta indicada para ser la línea paralela. Como se describe más adelante, esta ruta es propuesta como Metro Línea 6, y el análisis de demanda muestra que la demanda de pasajeros de la Línea 3 será mayor a 35,000 PHPDT aun construyendo esta línea. Debido a la dificultad que existe a lo largo de Línea 3 por las condiciones de la ruta, el sistema de ferrovía será la única solución para esta línea.

El pronóstico de demanda muestra que el sistema de tren o transporte de media capacidad es aplicable para la Línea 2, mientras que el monorriel es la única opción entre los sistemas de transporte de media capacidad. Sin embargo, la demanda es muy cercana al límite superior de la capacidad del monorriel a gran escala, y el costo de inversión del monorriel puede ser mayor al del tren, tomando en consideración el número de material rodante necesario. En base al flujograma de selección de sistema, las condiciones de la ruta son estudiadas en 6.6.2.

Un sistema de transporte de media capacidad puede ser seleccionado para la Línea 4, sin embargo, es necesario confirmar las ventajas del monorriel ya que el costo de inversión inicial entre el monorriel y el tren puede ser similar. Esta ruta es estudiada en 6.6.3

El pronóstico de demanda muestra que el BRT o LRT son adecuados para la Línea 5, aún cuando el Metropolitano recorre paralelamente a esta línea. Un sistema de transporte de media capacidad es posible en el caso de que el Metropolitano no sea ampliado. Aunque el sistema ferroviario no es recomendado para esa línea, es necesario tomar en cuenta la integración con la Línea 3, ya que ésta puede requerir un sistema ferroviario. De todas formas, la prioridad de la Línea 5 es baja entre las cinco líneas.

Tabla 6.3 Demanda de Pasajeros en 2030 y Sistema de Seleccionada

	PHPDT en 2030	Sistema
Línea-1	38,000	Ferrovía
Línea-2	34,000	Ferrovía o Sistema de Transporte de Media Capacidad (Monorriel)
Línea-3	53,000	Ferrovía
Línea-4	20,000	Ferrovía o Sistema de Transporte de Media Capacidad (Monorriel)
Línea-5	9,000	BRT/LRT

Fuente: Equipo de Estudio JICA

Basándose en el análisis arriba mencionado, las Línea 2 y Línea 4 fueron seleccionadas para el estudio de sistema de transporte de media capacidad.

6.2.2 Nueva Ruta

Como se describe en 6.1.3, el área de servicio de la red de metro de Plan del MTC no necesariamente cubre el centro de la ciudad, por lo que se recomienda reorganizar las rutas

de transporte masivo indicadas en el PMTU2025. Entre las rutas principales, la No. 7 indicada en la Tabla 6.2, recorre el área donde el acceso a las líneas del metro en el plan actual del MTC no son distancias cortas para caminar. Esta ruta es tentativamente considerada como “Línea 6” y el pronóstico de demanda de pasajeros que se describe en 6.5.4 muestra que es adecuada la aplicación de sistema de transporte de media capacidad en la nueva ruta.

Al 2012, la Línea 2 del Metro estaba siendo diseñada como un tren subterráneo. Se espera que otras líneas del Metro, incluyendo la línea 4, sean planeadas como una premisa de ferrocarril subterráneo, de acuerdo con la línea 2. Dado que el costo de la construcción de un ferrocarril subterráneo es muy alto, es necesario tener en cuenta los beneficios económicos y la factibilidad financiera. Si el BRT puede hacer frente a la demanda de pasajeros a lo largo del corredor, éste puede ser un sistema práctico alternativo, donde el costo de construcción es menor que el del metro.

Desde este punto de vista, la adición de un sistema de transporte de media capacidad como opción del sistema de transporte urbano en el Área Metropolitana de Lima y Callao, es recomendable si puede atender la demanda de pasajeros. Por otra parte, un sistema de transporte de media capacidad que se ejecute en el viaducto tiene las siguientes ventajas.

- Se puede llenar la brecha de capacidad entre BRT y tren
- El Costo de construcción es menor que el de un metro
- Los impactos negativos en el tráfico de la carretera son menores comparados con el BRT
- La velocidad de operación puede mantenerse más alta que la del BRT
- El Radio de curva mínimo aplicable, es menor que el del ferrocarril convencional. Esto contribuirá a minimizar la adquisición de tierras.

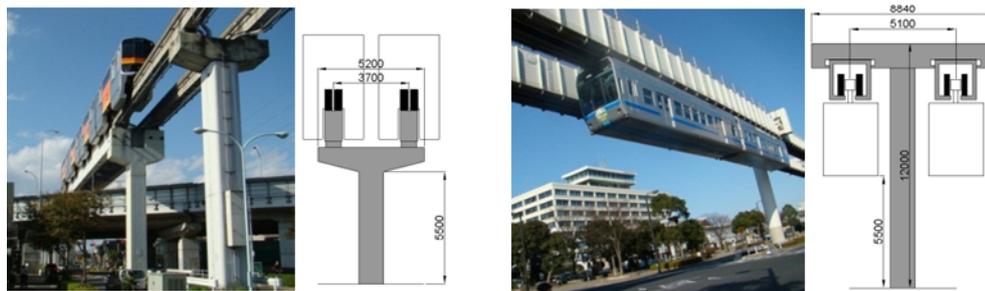
El sistema de transporte de media capacidad propuesto y el sistema ferroviario convencional no pueden operar directamente en una vía común. Sin embargo, con un diseño adecuado de la estación de transferencia entre los dos sistemas, los pasajeros pueden transferirse fácilmente y sin problemas.

6.3 Ventajas y Características del Monorriel

6.3.1 Monorriel

Debido a las ventajas descritas posteriormente, un monorriel montado se propone como sistema de transporte de media capacidad para el Área Metropolitana de Lima y Callao. El monorriel tipo montado es un sistema de transporte en el que los coches pueden correr a lo largo de una viga elevada, y donde, la vía es exclusiva para ruedas neumáticas.

Como se muestra en el siguiente gráfico, existen dos tipos de monorrieles, el monorriel tipo montado y monorriel tipo suspendido. Cada monorriel se opera sobre y debajo de una viga de carril exclusivo y cada pista está hecha de hormigón pretensado y metal, respectivamente. La propuesta de sistema de monorriel para el Área Metropolitana de Lima y Callao es el monorriel de tipo montado, donde la longitud de cada coche es de aproximadamente 15 metros y la configuración del tren es entre 2 y 6 vagones. El monorriel de tipo montado es ventajoso con respecto a los costos de construcción del monorriel tipo suspendido.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.11 Monorriel Tipo Montado y Monorriel Tipo Suspenso

En septiembre del 2012, el monorriel tipo montado (en adelante, "monorriel") está en operación y/o se está construyendo en distintos países, como los EE.UU., China, Emiratos Árabes Unidos, India, Corea del Sur y Japón. En Sao Paulo, Brasil, el monorriel ha sido seleccionado para el sistema de transporte urbano de la ruta que se espera una demanda de 33.000 PHPDT (Viajes en Hora Pico Sentido Pico).

Al 2012, en Japón existen 6 líneas de monorriel de transporte público. La longitud total de la ruta y el número de usuarios de estas 6 líneas en 2009 fue de 88.5 kilómetros y 167 millones de pasajeros al año. El monorriel es un sistema de transporte probado y que ha acumulado más de 48 años de experiencia operativa en Japón.

6.3.1 Ventajas de Monorriel

(1) Alta Flexibilidad en la Condición de Alineamiento de la Ruta

Debido a la utilización de ruedas neumáticas, el sistema de monorriel puede hacer frente a grandes pendientes y radios de curvatura pequeños, lo que permite flexibilidad en el diseño de los alineamientos de la ruta.

La pendiente máxima aplicable en la línea principal del monorriel es del 6%. Esta cifra es más empinada que 3.5%, que es la de ferrocarril convencional. Dado que la parte principal de las ciudades de Lima y Callao se encuentran en forma de abanico en la llanura de la cuenca del río Rímac, las carreteras en Lima y Callao son generalmente planas, excepto por la carretera existente entre un acantilado y la playa. Por lo tanto, en la ruta del monorriel, la sección de pendiente pronunciada causada por las estructuras topográficas no se ha identificado. Sin embargo, en los tramos de la ruta que el monorriel cruza sobre los pasos elevados de carreteras y el viaducto de la Línea 1 de Metro, los tramos de pendientes se producirán en estos tramos, con el fin de evitar una intrusión de la pendiente en la zona de la estación planificada, pendientes cortas y empinadas se aplicará.

El radio de curvatura mínimo aplicable en la línea principal del monorriel es de 60m. Esta cifra es menor que la mitad de la del ferrocarril convencional. Un radio de curvatura pequeño puede minimizar la adquisición de tierras para la construcción y/o el reasentamiento de los habitantes a lo largo de la ruta.

(2) Ambiente Amigable

Debido a la utilización de ruedas neumáticas, el ruido y la vibración causados por el funcionamiento del tren son significativamente más bajas que la de un ferrocarril, que en general, utiliza ruedas de acero.

En comparación con el sistema de AGT que también utiliza neumático de caucho, la

superestructura de AGT es una estructura de losa y puede afectar al paisaje de la ciudad. Mientras que el monorriel es una delgada pista de viga y el impacto al paisaje de la ciudad por la existencia de la estructura se reducirá al mínimo.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.12 Superestructura de Monorriel y Estructura Convencional de Losa

(3) Amplia capacidad de transporte

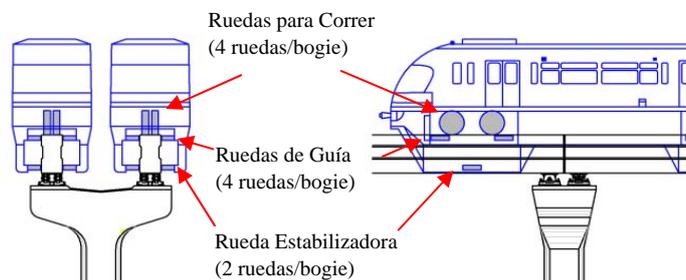
El monorriel tiene gran capacidad de transporte dentro del sistema de transporte de media capacidad y puede transportar hasta 35.000 PHPDT. El rango de capacidad de transporte proporcionado por el monorriel es amplio.

(4) Corto Tiempo de Construcción

Las vigas rieles del monorriel son fabricadas, trasladadas y colocadas en el sitio de instalación por una fábrica especializada. Su tiempo de construcción es menor que otros sistemas de transporte.

(5) Característica del Monorriel

Un monorriel tiene la característica de boje. Una vagoneta de monorriel tiene 4 ruedas para correr, 4 ruedas de guía y 2 ruedas estabilizadoras. Las ruedas de guía y estabilizadoras se mantienen fuertes en la pista y tienen una estabilidad contra la vibración horizontal. Esto le da un rendimiento avanzado no sólo en los tramos rectos, sino también en las secciones curvadas. Además, el neumático de caucho y muelle de aire entre la carrocería y el bogies, proporcionan confort en la conducción. Además, no hay descarrilamientos ya que asegura la extensión entre los coches y la viga de pista.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figure 6.13 Bogie y Pista del Monorriel

6.4 Diseño Preliminar del Vagón de Monorriel

6.4.1 Rutas de Estudio

Se realizaron los siguientes estudios:

- Confirmación de una propuesta conveniente de monorriel para la Línea 2
- Estudio de factibilidad técnica y estimación de costo aproximado del monorriel en la Línea 4
- Proponer una nueva ruta de monorriel.

6.4.2 Material Rodante

(1) Capacidad del Monorriel

A fin de cumplir con la demanda prevista de amplio alcance de pasajeros, la configuración del tren de monorriel será seleccionado entre tren de 2-coches y tren de 8-coches.

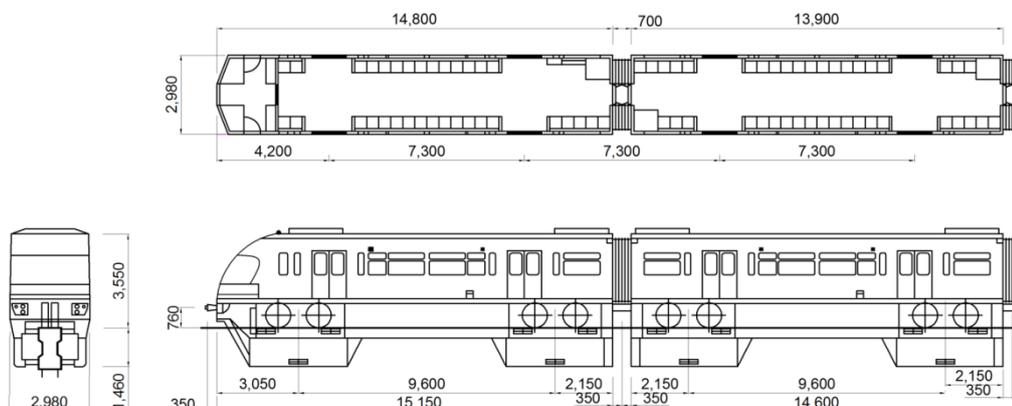


Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.14 Fotos de Monorriel

La Figura 6.15 muestra un ejemplo de la disposición de asientos del monorriel. La longitudinal del asiento, se aplicará igual a la Línea 1. Los espacios para sillas de ruedas y equipos de emergencia, tales como rampas en espiral se colocarán, en consecuencia.

Capacidad de asientos y densidad de pasajeros de pie determinan la capacidad de un tren. La Tabla 6.4 y la Tabla 6.5 muestran el cálculo de la capacidad del coche y la capacidad de trenes, respectivamente. En cuanto a la densidad de pasajeros de pie en condición de plena carga, se aplican 6 pasajeros por metro cuadrado- de acuerdo con la línea 1.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.15 Dimensión y Disposición de Asientos del Monorriel

Tabla 6.4 Capacidad del Vagón

	Vagones finales	Vagones intermedios
Capacidad de Asientos (pasajeros)	33	40
Espacio para pasajeros de pie	19.7 m ²	20.3 m ²
Número de pasajeros de pie	118	121
Capacidad de Carro (pasajeros)	151	161

Nota: Pasajeros de Pie: 6 pasajeros por metro cuadrado

Fuente: Equipo de Estudio JICA

Tabla 6.5 Capacidad del Tren

	Tren de 2 vagones	Tren de 3 vagones	Tren de 4 vagones	Tren de 6 vagones	Tren de 8 vagones
Capacidad del tren (pasajeros)	302	463	624	946	1,268
Longitud del Tren	30.3m	44.9m	59.5m	88.7m	117.9

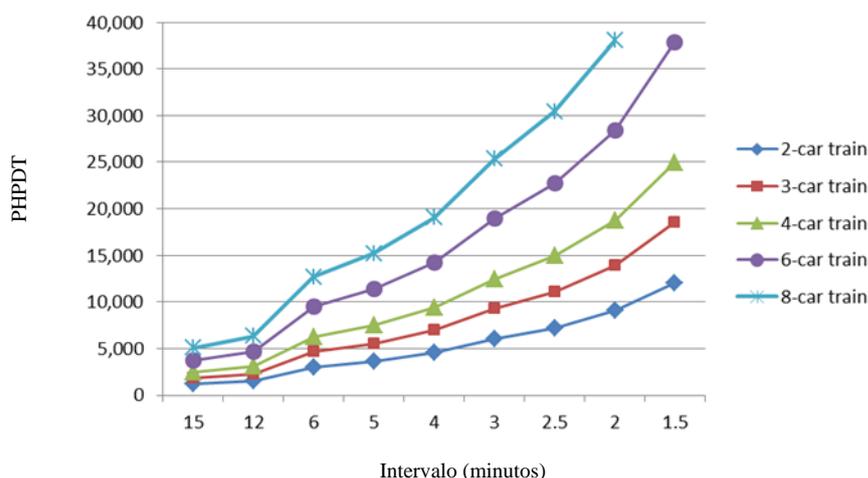
Nota: Pasajeros de pie: 6 pasajeros por metro cuadrado

Fuente: Equipo de Estudio JICA

(2) Capacidad de Transporte

Además, la capacidad del tren de la línea 1 es de 1,260 pasajeros por tren en caso de considerar 6 pasajeros de pie/m². Este tren es de 6 coches-tren con una longitud de 107.4m. Y la capacidad de transporte hasta agosto de 2012 era de 5,000 PHPDT por 15 minutos de intervalo operacional. Dado que el sistema tiene la capacidad realizar 3 minutos de intervalo operacional, el rendimiento máximo de la Línea 1 será de 25,000 PHPDT.

Basados en la capacidad del tren, la capacidad de transporte por avances se calcula como se muestra en la Figura 6.16. El sistema de monorraíl puede realizar la operación de avanzar 1.5 minutos. Sin embargo, con el fin de asegurar que el margen de recuperación de una operación de tren cuando éste se retrasa, se recomienda que el intervalo operacional sea de 2 minutos o más. Incluso si 2 minutos de funcionamiento avanzado se adopta, 6 coches-tren y 4 coches-tren pueden llevar 28.000 PHPDT y PHPDT 18.000, respectivamente.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.16 Capacidad de Transporte

(3) Especificación de Material Rodante

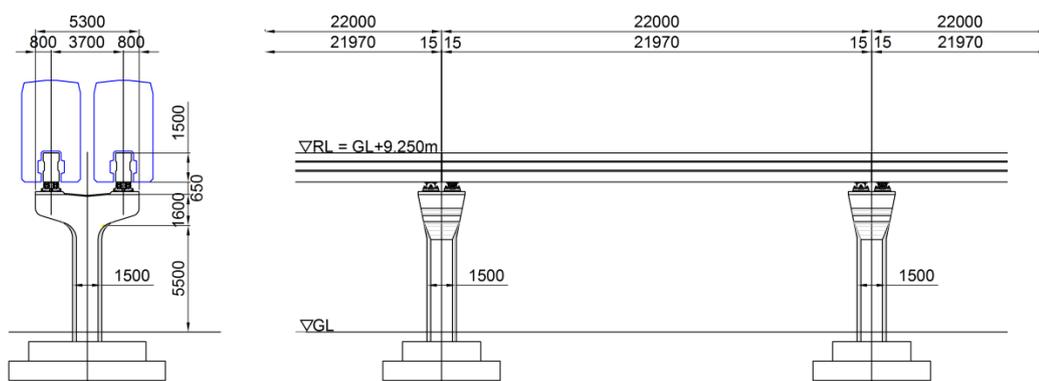
Tabla 6.6 Especificación de Material Rodante

Ítem	Característica
Longitud	Mc:15.5m, M:14.6m
Ancho	2,980mm
Peso Máximo	Mc:5,200mm, M:5,140mm
Peso	Mc:26.3tons, M:26.0tons
Capacidad de Pasajero (6pas/m2)	Mc: 151 (pasajeros de pie: 118, sentados:33) M: 161(pasajeros de pie: 121, sentados: 40)
Método Eléctrico	DV 1500V, Método del cable de catenaria lateral)
Control Motor	VVVF Control Inversor (con freno regenerativo)
Motor de Tracción	Ventilador Inductor del Motor Trifásico de jaula de ardilla.
Unidad de Freno	Equipo de comando electromagnético directamente por presión líquido de frenos de convertor neumático.
Máxima Operación de Velocidad	75km/h
Aceleración	3.0km/h/s
Desaceleración	4.0km/h/s
Máxima Pendiente	6%
Radio Mínima de Curva	R=60m (Línea Principal), R= 50m (Pista auxiliar)
Puerta	2 puertas por lado
Puerta de Pasillo	Equipado
Aire Acondicionado	Unidad de Refrigeración en el techo
Rueda para Correr	Rueda con Gas de Nitrógeno sin tubo
Rueda de Guía	Rueda Neumático
Rueda Estabilizadora	Rueda Neumático

Fuente: Equipo de Estudio JICA

6.4.3 Estructura Civil

La estructura civil del monorriel es principalmente la estructura de hormigón cuyo costo de construcción es menor en comparación con la de la estructura de acero.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.17 Estructura Civil

(1) Norma de Construcción

En este estudio, se está utilizando como referencia una norma de construcción que se está aplicando en Japón para el monorriel tipo montado. En cuanto al radio de curvatura mínimo en la línea principal, la desviación de la norma Japonesa para adoptar un pequeño radio de 60m está permitida cuando no se puede asignar el espacio adecuado para DDV.

Tabla 6.7 Construcción Estándar de Monorriel

Ítem	Descripción
Radio Mínimo de Curvatura	Eje Principal: R=100m (R=60m en casos inevitables) Área de la Estación de R=300m Plataforma: Pistas auxiliares R=50m
Longitud Mínima de la Transición de Curva	$L = V^3/14R$ Donde; L: Longitud de curva de transición (m) V: Velocidad de recorrido de vehículos (km/h) R: Radio de curva (m)
Peralte (Cant)	$C = V^2/1.27R \leq 12\%$, Permissible deficiency of cant is 5% Donde; C: Cantidad de Equilibrio (%) V: Velocidad de recorrido de vehículos (km/h) R: Radio de curva (m)
Máxima Pendiente	Línea Principal: 60‰ Área de la Estación de 5‰ (Nivel Deseado) Plataforma: Pistas auxiliares: 50‰
VCR mínima(m)	1000m
VCL mínima (m)	15m
Distancia mínima entre las Pistas	W = 3,700mm, Se ampliara en función a radio de

Fuente: Equipo de Estudio JICA

(2) Superestructura

La superestructura típica del monorriel es la delgada pista de viga. Las vigas de pista que se adopten en este estudio son los siguientes cuatro tipos:

1) Viga de hormigón pretensado (viga PC)

La Viga PC es un tipo típico y estándar de la viga de pista de monorriel. Viga PC se prefabricara en el patio de PC, que es una instalación especializada para la fabricación de viga PC. Posteriormente fabricada la Viga PC será levantada por una grúa y transferida al lugar de instalación en camión tráiler. En este estudio, la longitud máxima de esta viga de pista se define en 22m, desde el punto de vista del transporte, la fabricación y la dinámica estructural.

2) Viga de hormigón armado

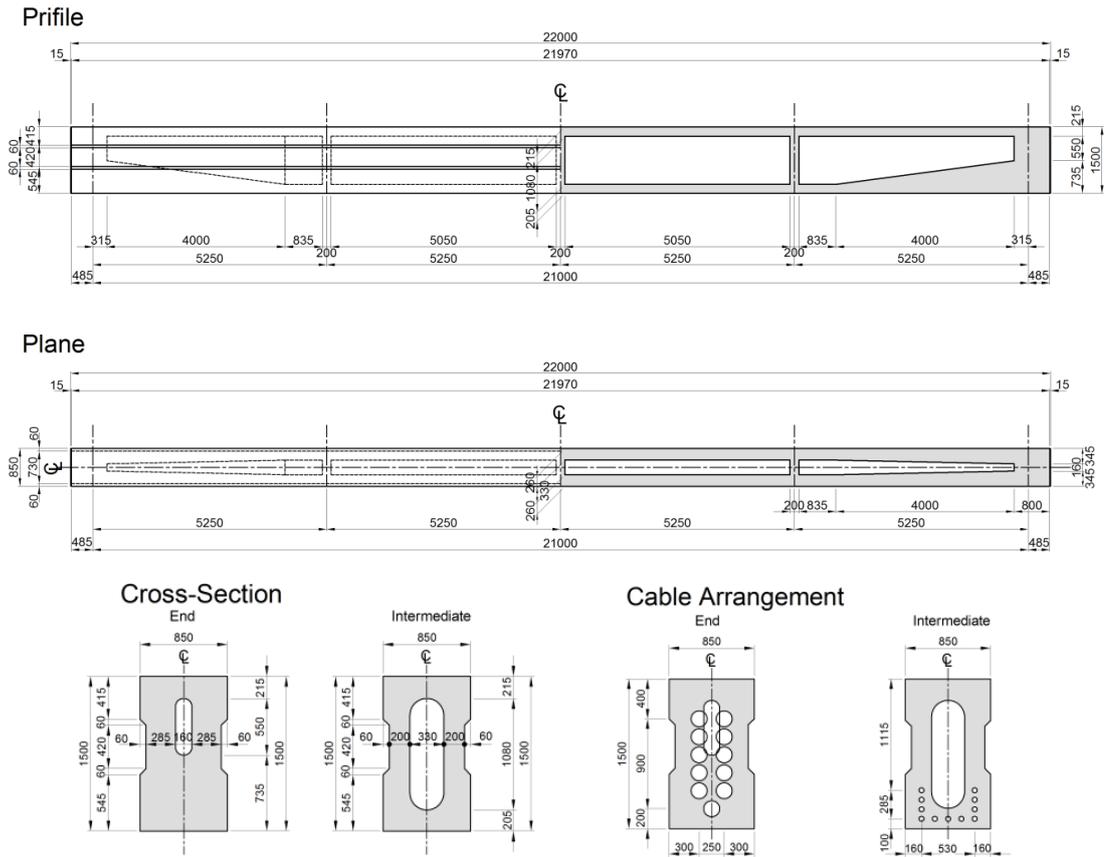
La viga de hormigón armado será aplicada en las pistas de la línea de almacenamiento del almacén. La longitud del tramo es inferior a 10 m.

3) Viga de Acero

La viga de acero se aplica para cruzar las carreteras donde la longitud del tramo es de 50m o menos.

4) Largo Tramo del Puente

En la sección de un puente largo, donde la longitud del tramo es superior a 50m, y las vigas PC deberán ser construidas e instaladas en la plataforma superior.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.18 Viga PC



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.19 Viga de Acero

(3) Subestructura

El requisito estructural de las columnas del monorriel, es de aproximadamente 1.5 m de diámetro en el caso de pilares circulares, que están alojados fácilmente en la mediana central de la carretera. La típica clase de subestructura es una columna reforzada en forma de T. En los puntos donde la columna en forma de T no puede ser acomodada en la franja divisoria, la columna de tipo portal se adoptará.

Una altura libre de 5.5 m sobre la superficie de la carretera y por debajo de la cabeza de la columna ha de ser asegurada como límite de construcción del tráfico sobre la carretera.

(4) Fundación

En el monorriel se aplicará una fundación directa

En cuanto a las condiciones del suelo para la estructura ferroviaria del Metro de Lima, los siguientes parámetros fueron descritos en el PMTU2025.

- a) En la mayoría de las zonas, el nivel es por debajo de 1.5m de terreno natural, y en algunos otros casos, se asienta en material conglomerado.
- b) La capacidad portante de carga del suelo natural obtendrá más de 40 ton/m²; este valor es suficiente para apoyar la construcción de una estructura de viaducto y un edificio de estación elevada sin ningún tipo de pilotaje.

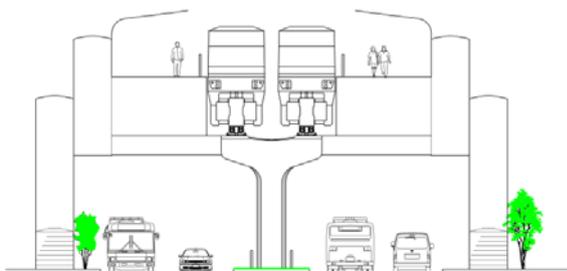
También, de acuerdo a AATE, la Línea 1 en la sección de ampliación, está aplicando fundación directa.

(5) Puente de Cambio de Vía

La máquina de cambio de vía estará equipada en la losa de hormigón hueca del puente de cambio de vía.

6.4.4 Estación

Se propone una estación elevada con plataforma tipo separado, para las estaciones intermedias. En comparación con la plataforma tipo isla, la plataforma tipo separado es ventajosa desde el punto de vista de la configuración del alineamiento ya que ningún tramo en forma de embudo se requiere en la parte delantera y trasera de la estación. Aunque el tamaño de la estación será determinada por la longitud del tren y el volumen de pasajeros, en este estudio, la longitud de la plataforma se asume como la misma longitud del tren.



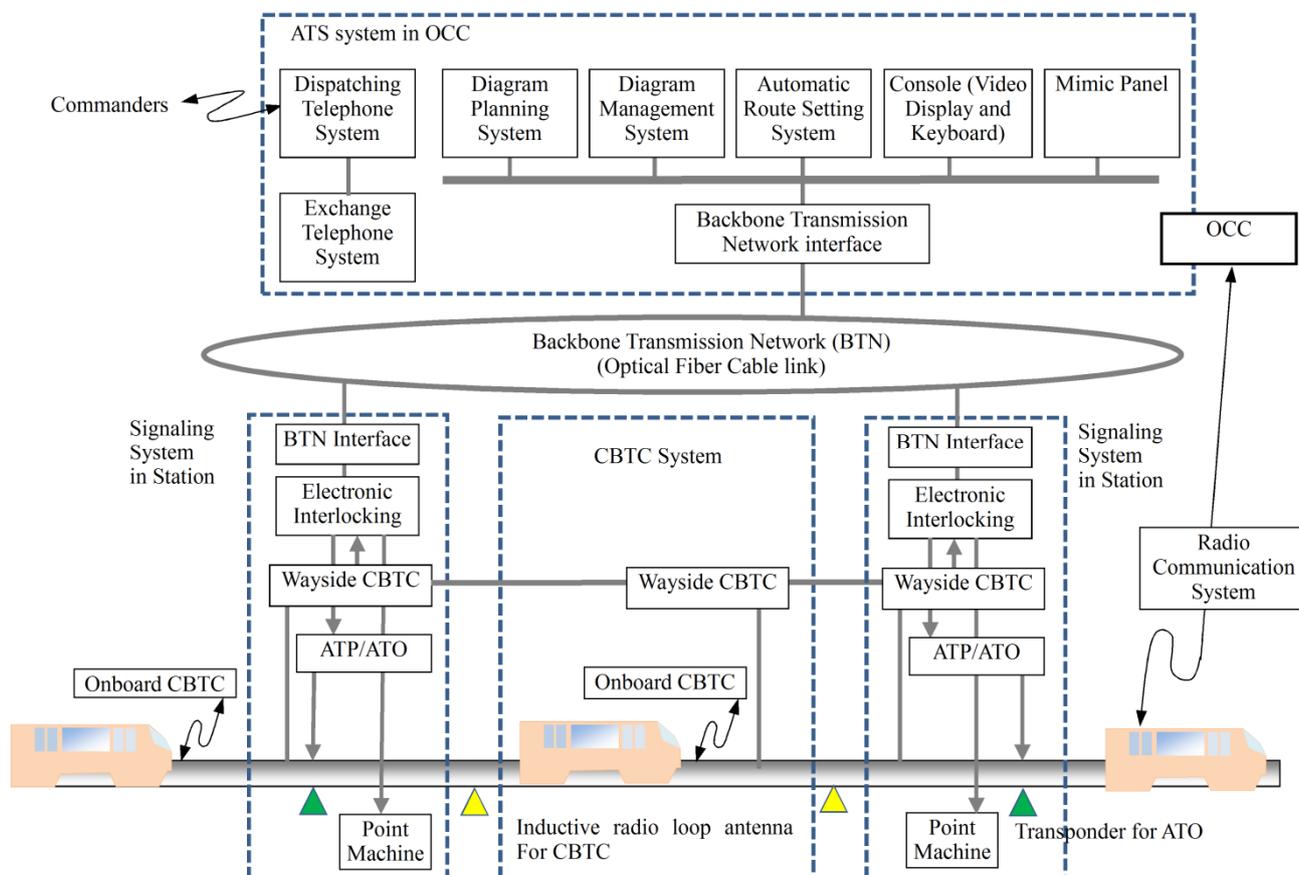
Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.20 Estación Tipo Separada

6.4.5 Sistema de Señalización

(1) Esquema

Se propone introducir un sistema Automático de Operación de Trenes (ATO) con un conductor de tren. Los trenes serán operados automáticamente por ATO en la línea principal y de señalización en cabina; se utilizará la Comunicación Basada en el sistema de Control de Trenes (CBTC). El conductor del tren sólo controla y la ATO asegurará por adelantado la seguridad visual y en caso de avería o de emergencia, se operará de forma manual después de cambiar del modo ATO a modo manual. Por otro lado, la maniobra en la estación de patio y la línea de acceso de patio serán operadas manualmente. Se utilizará Sistema de Protección Automática de Trenes (ATP) entre la línea principal y la línea de almacén de patio, mientras que la señal de camino se utilizará entre la línea de almacenamiento y el taller.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.21 Esquema del Sistema de Señalización

(2) CBTC

CBTC es uno de los sistemas de señalización basado en el nuevo principio que es la detección de ubicación a bordo por sí mismo y un sistema de desplazamiento sin bloque fijo, dependiendo del sistema convencional de detección que usa antena de bucle inductivo.

En CBTC es posible minimizar la longitud segura del intervalo entre trenes adelantado y siguiente, de acuerdo con su velocidad y aumentar la densidad de tráfico sin necesidad de modificar el sistema de señalización.

Por lo tanto, CBTC es un sistema de señalización recomendable que puede minimizar el

intervalo del tren con un costo menor que la del sistema convencional de bloque fijo. El esquema del sistema CBTS es como se detalla a continuación

1) Sistema de Detección de Tren

La característica del sistema CBTC es que el tren detecta su ubicación por sí mismo. El principio de ubicación del tren, consiste en el cálculo de la distancia de funcionamiento del tacómetro que está conectado a la rueda y la torre de control o canal de recepción que transmite las ubicaciones absolutas.

En la vía se instala un canal de recepción pasivo. El equipo necesario de CBTC para la detección de trenes es menor que la del sistema de señalización convencional.

2) Función ATP

El sistema ATP a bordo, calcula automáticamente el perfil de frenado de acuerdo con la distancia del tren precedente, y controla de forma continua la velocidad del tren en el que el ATP se instaló. Este sistema de bloqueo se denomina "Sistema de Bloques en Movimiento".

El intervalo de un tren de ATP convencional depende de la longitud de bloque, pero el intervalo de sistema CBTC no depende de la longitud del bloque; la distancia de intervalo de seguridad se mueve de acuerdo con el movimiento del tren precedente.

3) Comunicación entre el tren y el suelo

Entre los varios métodos para la comunicación entre el tren y el suelo, un método de radio curvo inductivo para la comunicación de CBTC es recomendable. Antena a bordo y antena de curva en tierra siempre se mantiene unida con una distancia constante. Por lo tanto este método es estable contra el ruido de onda exterior. Es mejor seleccionar este método para la comunicación porque la ruta monorriel pasa a través del entorno ruidoso de un avión.

El método de inducción de radio que es una tecnología madura de la comunicación, ya se está utilizando para detección de trenes y el sistema de ATP de sistema de señalización convencional, para monorriel.

6.4.6 Sistema de Telecomunicación

El sistema de telecomunicación tiene una característica que puede ser comúnmente utilizada para todos los modos de transporte, como MRT, LRT y monorriel. El objetivo del sistema de telecomunicaciones es ayudar a la operación segura y eficiente de trenes y el entorno del negocio.

El sistema de telecomunicaciones consta de 7 sub-sistemas

- 1) Sistema de radio de comunicación
- 2) Sistema telefónico
- 3) Sistema de Televisión con Circuito Cerrado (CCTV)
- 4) Sistema de Información de Pasajeros (PIS) y la Dirección de Pasajeros (PA)
- 5) Sistema de Reloj
- 6) Red troncal de transmisión (BTN)
- 7) OA y sistema IT que consiste en red OA y PC cliente

6.4.7 Sistema de Energía Eléctrica

(1) Esquema

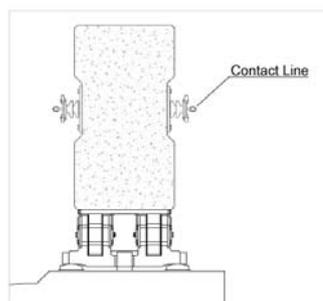
La subestación receptora recibe la potencia eléctrica de AC20 KV de una compañía de suministro de energía eléctrica, e intercambia de esta a DC 1500 V, posteriormente envía la potencia a la línea de contacto. Además, las subestaciones se intercambian lo mismo y envían a la potencia de distribución de las instalaciones y el equipamiento de las estaciones, al patio y a lo largo de la pista. Las funciones principales de la subestación son controladas por el sistema de control remoto de la supervisión del Centro de Control de Operación (OCC).

(2) El circuito de alimentación

El sistema de alimentación en paralelo, es adecuado para mantener el sistema de la caída de tensión y aumentar la eficiencia del sistema de regeneración.

(3) Sistema de Contacto Lineal

La línea de contacto se debe colocar en ambos lados de la viga del viaducto. La línea de contacto se compone del caballete de aluminio y del hilo de contacto de cobre, ya que el aluminio y el cobre son resistentes a la intemperie y excelentes conductores eléctricos.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.22 Línea de Contacto

6.4.8 Patio

En el patio taller se asignarán las pistas de almacenamiento, vías de mantenimiento, un taller y un centro de control de operación. El tamaño del patio será determinado por la longitud del tren y el número de conjunto de trenes.

Principales instalaciones de mantenimiento se resumen a continuación:

- 1) Grúa móvil de Techo (10t x 2, 7,5 t, 2,5 t)
- 2) Compresor
- 3) Gota de Vagón
- 4) Máquina para Lavado de Vagón
- 5) Máquina que sopla aire para Vagón
- 6) Máquina móvil que sopla aire
- 7) Cargador de batería
- 8) Varias Probador
- 9) Elevador Tijera de Levante
- 10) Elevador de Cargo
- 11) Autopartes para carros

12) Montacargas

6.4.9 Centro de Control de Operación

El Centro de Control de Operación (OCC) se instalará en el patio para la gestión de tráfico centralizado de líneas de monorriel. El sistema automático de supervisión de tráfico (ATS) y el sistema de telecomunicaciones se instalarán en OCC para el control automático de los trenes de acuerdo con el horario de trenes.

6.5 Estudio de Ruta

6.5.1 Resumen

Las rutas objetivo del estudio conceptual son la Línea 2, Línea 4 y una ruta propuesta.

En cuanto a la línea 2, como consecuencia de la confirmación de adaptabilidad del monorriel, el funcionamiento del monorriel es técnicamente posible. Sin embargo, si el monorriel es seleccionado, el sistema elevado es recomendado en lugar de sistema subterráneo desde el punto de vista de ahorro de costos de construcción. Además, las estaciones elevadas de la longitud de la plataforma de 150 metros son requeridas debido a la demanda de pasajeros de gran tamaño.

El esquema de la Línea 4 y una ruta propuesta se describen a continuación:

Tabla 6.8 Esquema de la Línea 4 y Ruta Propuesta

Ítem	Línea 4	Ruta Propuesta
Longitud de Ruta	29k500m	29k900m
Estación	32 estaciones	35 estaciones
Demanda de Pasajeros	25,000 PHPDT	18,000PHPDT
Operación del Tren	Tren de 6 vagones Intervalo de 2 min.	Tren de 6 vagones Intervalo de 3 min.

Fuente: Equipo de Estudio JICA

6.5.2 Línea 2

(1) Sistemas y Rutas Alternativas

De acuerdo con las bases de licitación para la contratación de un consultor para la oferta global del proyecto de Metro Línea 2 (abril de 2012, del Ministerio de Economía y Finanzas, Comité Permanente de Adquisición y Contratación), para la Línea 2, ha sido seleccionado EMU (Unidad Múltiple Eléctrica) subterráneo, que es un ferrocarril convencional corriendo con ruedas de acero sobre riel de acero. Se han indicado también, tres rutas alternativas a ser evaluadas como se cita a continuación.

1) ALTERNATIVA 1

La Línea 2, incluyendo el acceso al aeropuerto Jorge Chávez, que va desde la Av. Elmer Faucett entre la Av. Venezuela y la Av. Néstor Gambetta. La Línea 2 tendrá en cuenta la distribución a través de la Av. 28 de Julio, de acuerdo con la Red Básica establecida en DS 059-2010-MTC.

2) ALTERNATIVA 2

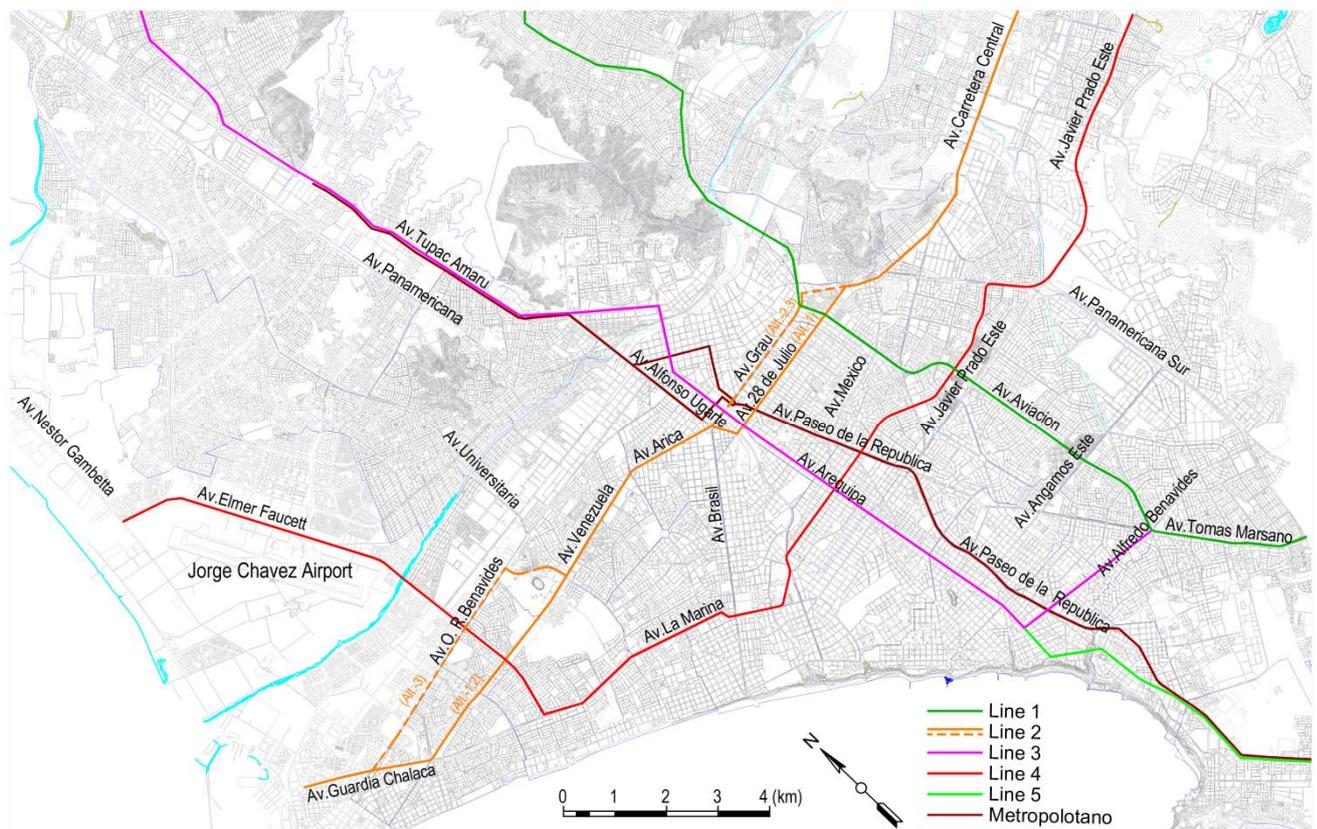
Igual que los anteriores (Línea 2, que incluye el acceso al Aeropuerto), sin embargo, se tendrá en cuenta el trazado a través de la Av. Víctor Raúl Haya de la Torre (Carretera Central), Av. Nicolás Ayllón, Calle Junín, Av. Grau, Av. 9 de Diciembre, Av. Arica, la Av. Venezuela y la Av. Guardia Chalaca. Esta sección considera el eje de la Autopista Grau, a través de la estación central de la COSAC I y la estación de Grau de la Línea 1 del Metro de Lima, lugar de distribución a lo largo de la Av. 28 de Julio.

3) ALTERNATIVA 3

El trazado toma en cuenta los siguientes ejes: la Av. Víctor Raúl Haya de la Torre (Autopista Central), Av. Nicolás Ayllón, Calle Junín, Av. Grau, la Avenida 9 de Diciembre, Av. Arica, Av. Venezuela, Av. Alemán Amezaga, la Avenida Oscar R. Benavides (Colonial), Av. Guardia Chalaca. También es necesario incluir el acceso al aeropuerto Jorge Chávez, que va desde la Av. Elmer Faucett entre Oscar Benavides Avenida R. (Colonial) y Av. Néstor Gambeta. Este tramo considera el eje de la Autopista Grau, a través de la estación central de la COSAC I y Estación Grau de la Línea 1 del Metro de Lima.

Cada alternativa se ilustra en la Figura 6.23. El acceso al aeropuerto es un tramo precedente de la línea 4 y se incluye en cada alternativa.

De acuerdo a MTC, la Alternativa 1 (Av. 28 de Julio) fue seleccionada para el tramo este de la ruta, mientras que la Alternativa 3 (Av. Oscar R. Benevides) fue seleccionada para el tramo oeste.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.23 Mapa de Ruta de la Línea del Metro

(2) Condición de Alineamiento

Las siguientes condiciones de alineamiento se describen en las bases de licitación.

- Radio de curva mínimo: 250m
- La distancia entre el centro de la pista: 3.8 m
- Máxima pendiente: 3.5%

Estas condiciones no será posible cumplirlas, si la ferrovía es construida con una estructura elevada debido a las condiciones de la ruta. En caso de monorriel, las curvas en la intersección de Av. Grau y Av. Aviación deben hacerse sobre la línea 1 con una pequeña curva para mantener distancia hacia los edificios cercanos. Debido a que las condiciones de alineamiento son difíciles, la Alternativa 3 (Av. Grau) no es recomendada para la ruta de monorriel. El alineamiento según la Alternativa 1 (Av. 28 de Julio) también puede enfrentarse con problemas debido a que el ancho de la calle angosto.

(3) Demanda de Pasajero

La demanda de pasajeros de la Línea 2 al 2030 se ha estimado en 34,000 PHPDT.

Aunque el pronóstico puede variar, dependiendo del alineamiento, si se construye la Línea 6 propuesta, la demanda será incrementada a 35,000 PHPDT. El tramo más cargado es entre la estación de transferencia de Línea 3 y Línea 1. El pronóstico de demanda asume que un sistema tarifario fijo es aplicado en todas las líneas de Metro y monorriel.

(4) Patio

Un patio se construirá en el distrito de Santa Anita, en la zona oriental de la ruta.

(5) Derecho de Vía

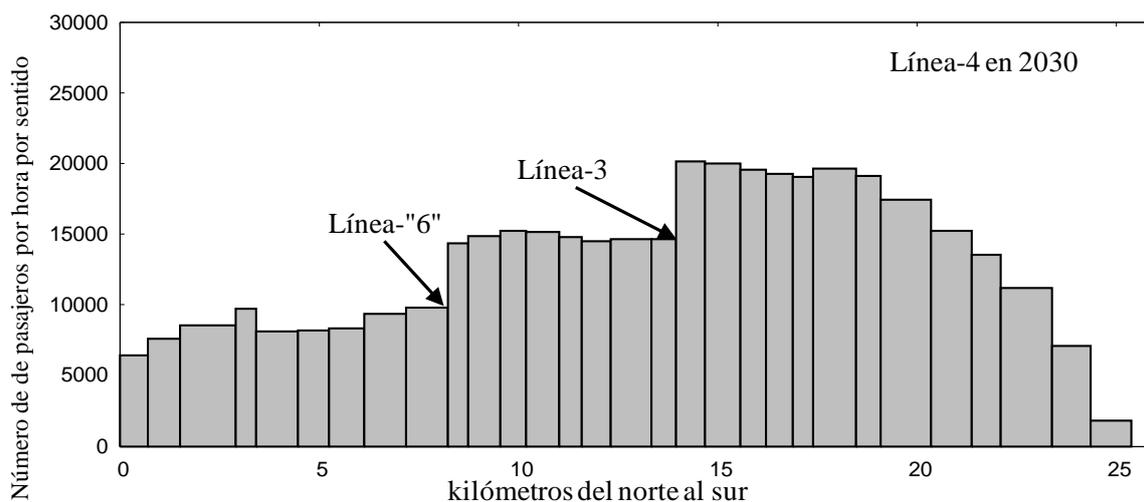
El camino previsto para el recorrido es casi plano y tiene 6 o más carriles excepto en la Av. 28 de Julio que tiene 3 carriles unidireccionales.

(6) Factibilidad Técnica del Monorriel para Línea 2

El Monorriel no es recomendable para pista subterránea. Desde el punto de vista técnico, el monorriel puede correr subterráneamente y cumplir con las estrictas condiciones de alineamiento diseñadas en la Línea 2. Sin embargo, puesto que la altura del coche monorriel es mayor que la del tren convencional, el área de sección transversal del túnel debe ser proporcionalmente mayor. Esto provoca aumento de costos de construcción. Así, el monorriel no es recomendable para pista subterránea si no hay ventajas significativas que se puedan comparar con los otros sistemas.

Si el ferrocarril elevado será aprobado en lugar del subterráneo, la demanda de pasajeros en la Línea 2 excede la capacidad de transporte de monorriel con un tren de longitud razonable, aun cuando, técnicamente, el monorriel podría transportar una demanda de 35,000 PHPDT si se aplican trenes de 8 vagones.

Las columnas de infraestructura ferroviaria se construirán en la parte central de la carretera. Generalmente, el monorriel es más ventajoso que el ferrocarril convencional elevado, partiendo del punto de vista de una flexibilidad en el alineamiento de ruta y de un efecto en el paisaje de la ciudad. Sin embargo, en este supuesto de las vías elevadas de la línea 2, la alineación de ruta será casi a nivel y el ferrocarril convencional puede hacer frente.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.25 Flujo de Pasajeros al 2030, de la Línea 4 en Hora Pico (Oeste – Este)

(3) Patio

Un patio se construirá en el terreno del gobierno que está al lado del aeropuerto Jorge Chávez

(4) Factibilidad Técnica del Monorriel

1) Esquema de la Línea-4 Plan de monorriel

Desde el punto de vista técnico, el monorriel puede ser recomendable como un tren elevado en la Línea 4. La Tabla 6.9 muestra un esquema y una asunción de la Línea 4 del plan monorriel.

Tabla 6.9 Resumen y Asunción de la Línea 4 Monorriel

Ítem	Descripción
Ruta de Alineamiento	
Longitud de Ruta	29k500m
Número de Estaciones	32 estaciones
Tramos de curva de radio pequeño (menos de 300m)	100m: 3 tramos 150m: 1 tramo 300m: 3 tramos
Pendiente de Sección Empinada (i=6%)	1 tramo
Sección de Viga de Acero	31 tramo
Puente de claro largo	1 puente
Servicio	
Demanda Estimada	25,000 PHPDT
Velocidad Programada	35km/h
Configuración del Tren	6-coches
Avance	2 minutos
Capacidad de Transporte	28,300 PHPDT

Fuente: Equipo de Estudio JICA

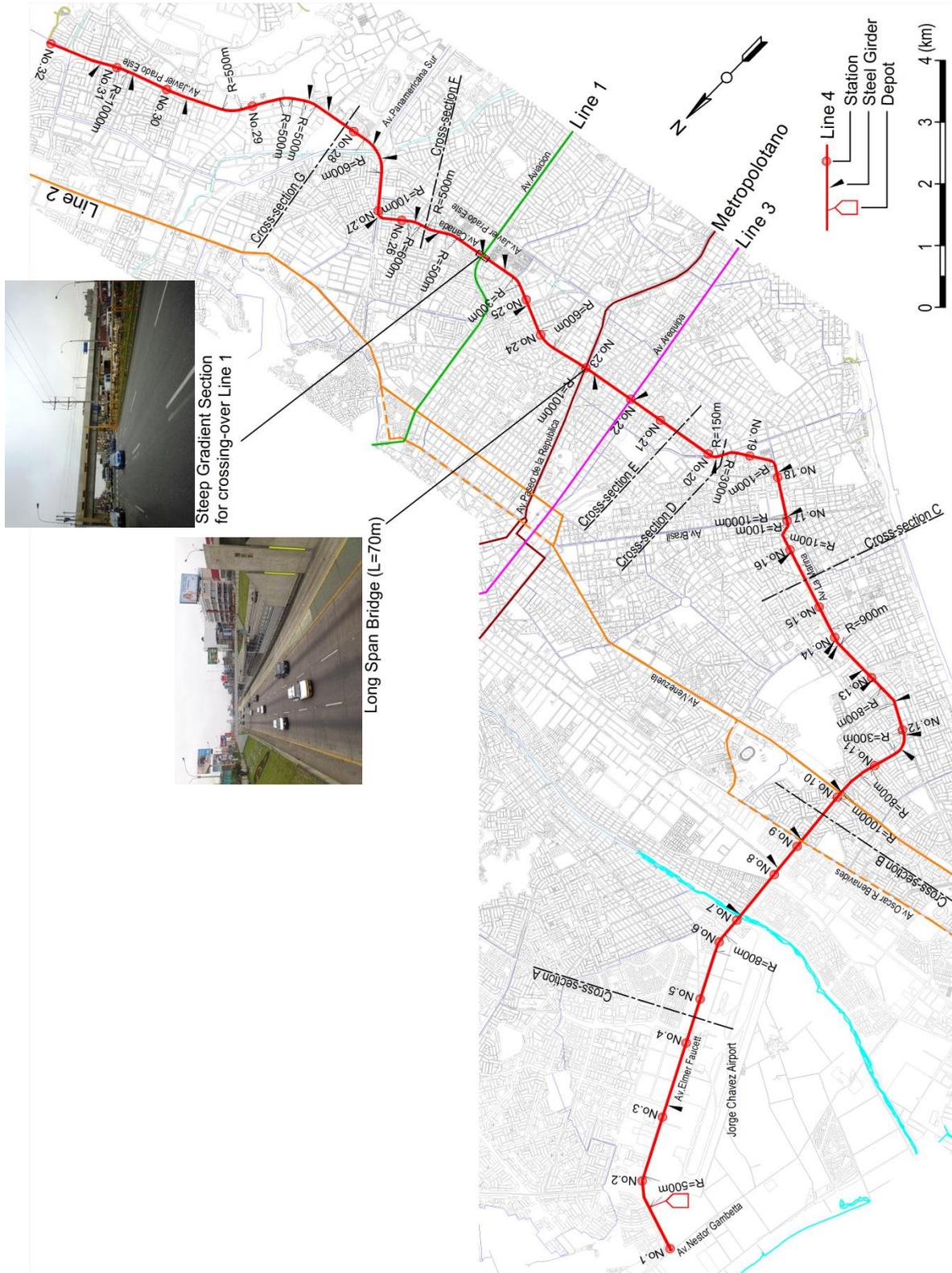
2) Ventaja del Monorriel

Un monorriel puede ser propuesto para la Línea 4 con las siguientes ventajas en comparación con otros sistemas de transporte elevados.

- En la sección que pasa por la Ciclovía de Av. Salaverry, Av. Gral. César Canevaro Av. José Pardo de Zela, Av. Canadá y la Av. Circunvalación, las curvas de radio pequeño se instalarán. El monorriel puede hacer frente a 60m de curvatura mínima de radio. Este comportamiento puede minimizar la adquisición de tierras para la construcción y reasentamiento de los habitantes.
- En la Av. Canadá, la pendiente se establecerá con el fin de cruzar el viaducto de la Línea 1 del Metro. El monorriel puede hacer frente a una pendiente máxima de 6%
- El ancho de la ruta de la Ciclovía Av. Salaverry y Av. José Pardo de Zela es relativamente estrecho. La existencia de una estructura del monorriel no afectará el paisaje de la ciudad comparada con la de otros sistemas que tienen una estructura de losa.
- A 6 coches-tren del monorriel en el que la longitud del tren está a 90m puede cubrir la demanda de 35.000 PHPDT.

Mientras tanto, cuando el monorriel se selecciona como sistema de la línea 4 en lugar de un ferrocarril elevado convencional, las siguientes desventajas aparecerán.

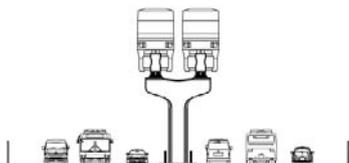
- El servicio de tren directo entre la Línea 2 del Metro y la Línea 4, es imposible. Una estación de transferencia debe ser diseñada para proporcionar transferencia fácil y cómoda.
- Se requiere patio dedicada para el monorriel



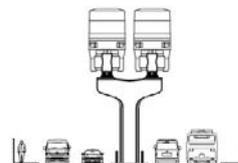
Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.26 Ruta del Monorriel Linea-4

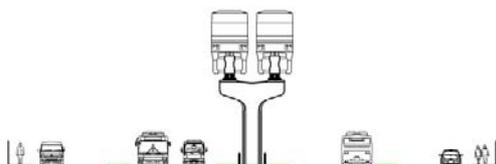
Cross-section A: Av. Elmer Faucett



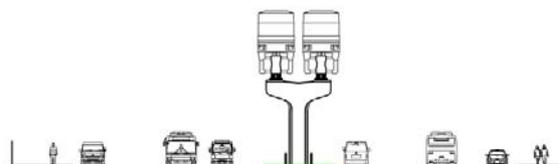
Cross-section E: Av. Juan Pardo de Zela



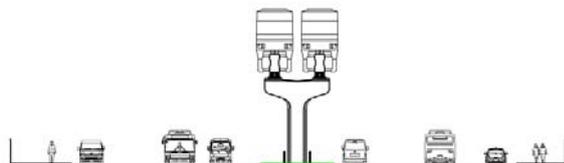
Cross-section B: Av. Elmer Faucett



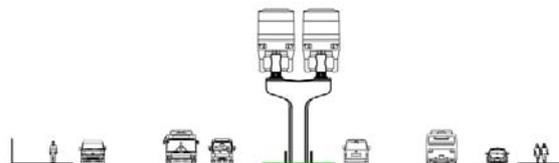
Cross-section F: Av. Canada



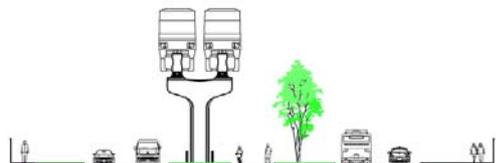
Cross-section C: Av. La Marina



Cross-section G: Av. Javier Prado Este



Cross-section D: Av. Salaverry



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.27 Secciones típicas transversales propuestas para la Línea 4

6.5.4 Nueva Ruta Propuesta (Metro Línea 6)

(1) Procedimiento de Selección de Ruta

En adición a la línea 4, una ruta propuesta se describe a continuación; se incluye para las rutas objetivo del estudio el concepto de sistema de transporte de media capacidad. La ruta propuesta se seleccionó entre las rutas que contribuyen a la mejora del transporte urbano en el Área Metropolitana de Lima y Callao, y para la cual la demanda esperada es de entre 10.000 y 30.000 PHPDT. La línea principal debe ser una doble vía elevada. Básicamente, la pista de la línea principal debe ser construida dentro del espacio público por encima de la carretera.

La ruta propuesta fue seleccionada como prueba, tal como se muestra en la Tabla 6.10.

Tabla 6.10 Procedimiento de Selección de Ruta Propuesta

	<p>Debido al control de zona vacía de transporte público y que no está cubierta por el área efectiva de las líneas de Metro, se encontraron 2 zonas vacías.</p> <p>A) A lo largo de la Av. Universitaria (eje norte-sur) B) A lo largo de la Av. Angamos Este (eje este-oeste)</p> <p>Por lo tanto, una ruta propuesta se encuentra entre Av. Universitaria y Av. Angamos Este.</p> <p>(En esta figura, un área efectiva se asumió como 1km desde cada estación.</p> <hr/> <p>Como alternativas finales, se consideraron 3 vías al norte de la ruta</p> <p>A) Aproximación a la estación Naranjal del Metropolitano. B) Aproximación al aeropuerto Jorge Chávez C) Terminal de autobuses de larga distancia (Gran Terminal Terrestre)</p> <p>Basándose en la evaluación de pronóstico de demanda de pasajeros, la alternativa A fue seleccionada.</p>
--	--

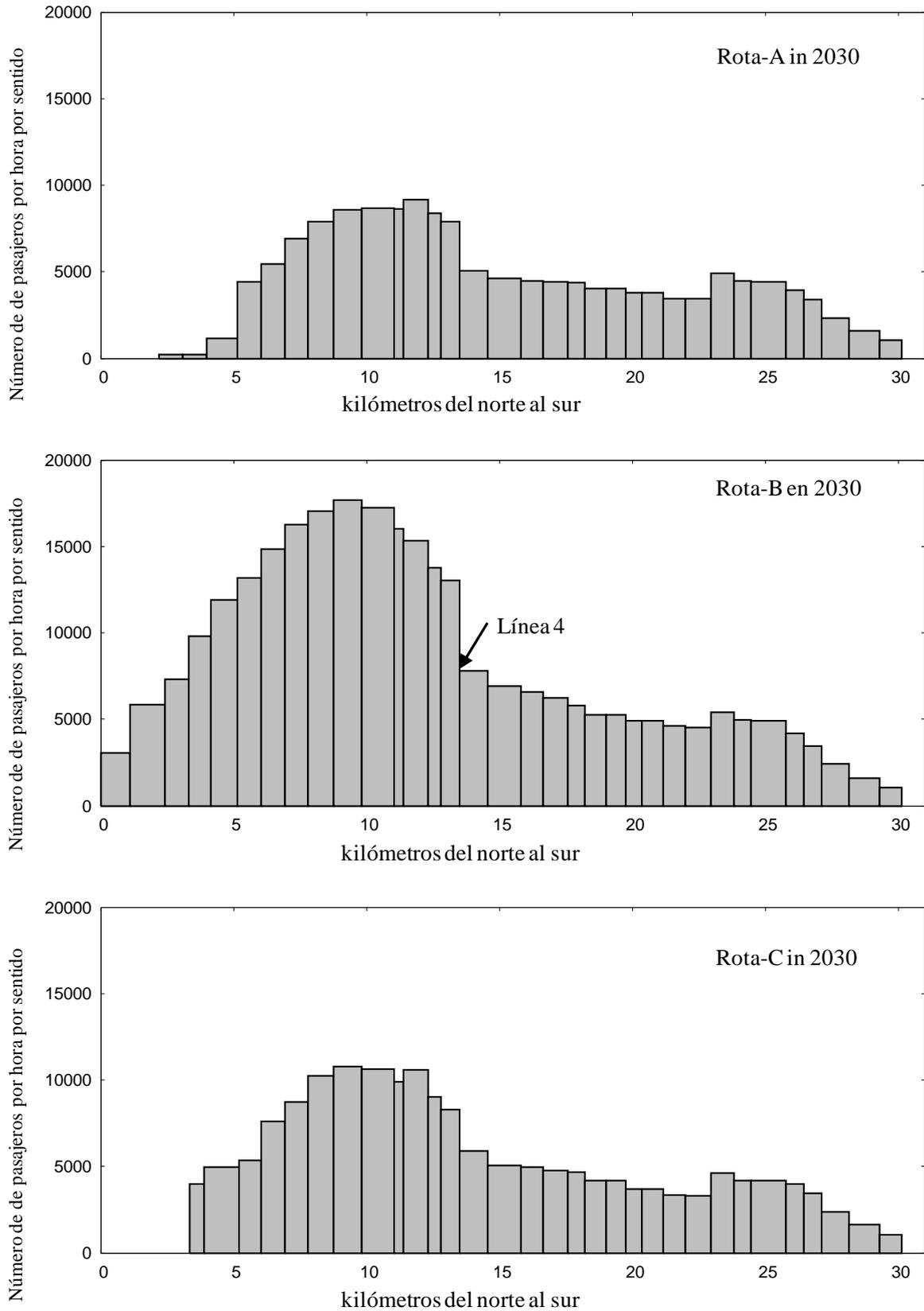
Fuente: Equipo de Estudio JICA

(2) Demanda de Pasajero

El pronóstico de demanda de pasajeros fue calculado para las alternativas de Ruta A, B y C. La misma red, matrices de OD y parámetros mostrados en Capítulo 5 fueron aplicados. La red de transporte masivo en el pronóstico de demanda consiste en Metropolitano, cinco líneas de metro del MTC y cada alternativa de Metro de Línea 6. Se asumió que la tarifa para Línea 6 es de S/1.5 permitiendo transferencia gratuita entre otras líneas.

Figura 6.28 muestra el flujo de pasajeros para cada alternativa en hora pico de la mañana y por sentido pico. El sentido pico es desde el norte hacia el sur en todas las alternativas. El flujo de pasajeros pico de Ruta A es menor de 10,000 PHPDT mientras que en la Ruta C excede los 10,000. En caso de Ruta B el flujo de pasajeros pico es de 18,000 aproximadamente. La demanda de Ruta A es pequeña porque el acceso al aeropuerto no necesariamente contribuye al tráfico de hora pico de la mañana. La demanda de Ruta C será mayor que la de Ruta A, debido a que es conectada a la terminal del bus de larga distancia. Ruta B puede recibir muchos pasajeros a lo largo de Av. Universitaria y el flujo de hora pico puede llegar a 18,000 aproximadamente.

Flujo de pasajeros reducen al llegar la estación de transferencia de la Línea 4. En el caso de la Ruta B, el flujo de pasajeros desde la estación de transferencia hacia el sur y Av. Angamos Este será de 5,000 – 8,000.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.28 Pronóstico de Demanda de Pasajero para Alternativa de Línea 6

(3) Descripción de Ruta

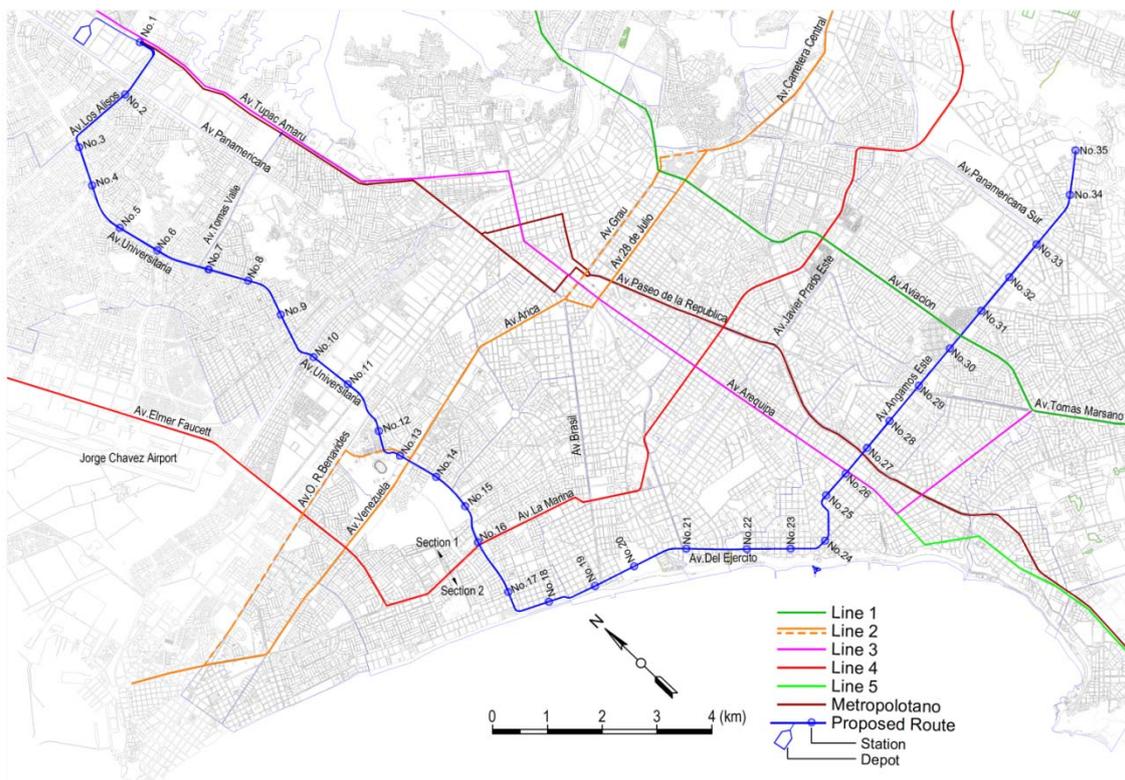
Una ruta propuesta se compone de dos tramos y es de aproximadamente 30 km de largo.

Tramo-1 es un eje Sur-Norte y conecta la estación Naranjal del Metropolitano y la Avenida La Marina, pasando por Av. Los Alisos y la Avenida Universitaria. Este tramo tiene una longitud de 13,690 kilómetros; se colocaran cuatro estaciones de empalme a Metropolitano, Línea 2, Línea 3 y Línea 4.

Tramo-2 es un eje Este-Oeste situado en la zona costera y en la Av. Angamos Este. Este tramo es de la Av. La Marina a la parte oriental de la Avenida Panamericana Sur, donde se encuentra la universidad, a través de la Av. Bertolotto, Av. Del Ejército, Av. José Pardo y la Av. Angamos Este. Este tramo tiene una longitud de 16,460 kilómetros y contribuirá a la industria del turismo en las zonas costeras. En la Av. Angamos Este, se dedicarán tres estaciones de empalme a la Línea 3, Línea 1 y Metropolitano.

Como medida práctica para facilitar la construcción, la implementación por etapas puede ser considerada. En este caso, un patio se encuentra en el lado norte de la estación Naranjal que pertenece al Tramo-1. El Tramo -1 tiene alta prioridad para la construcción. Por otra parte, la adquisición de terrenos requiere de algunas áreas de la sección-2 y puede tomar tiempo.

Cuando esta ruta se construye por etapas, el Tramo-1 corresponde a la fase 1 y el Tramo-2 corresponde a la fase 2.



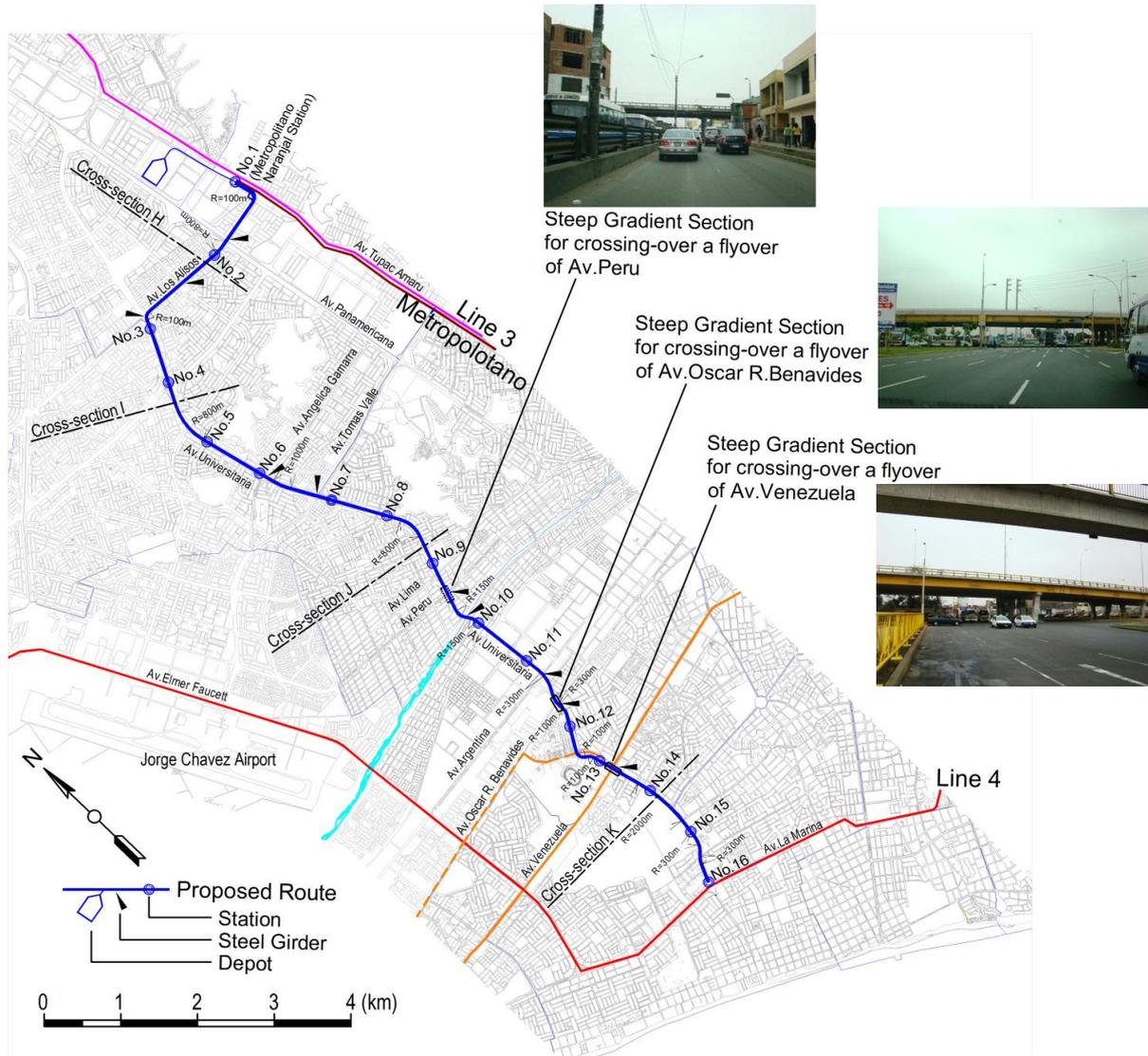
Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.29 Ruta Propuesta (Ultima)

Tabla 6.11 Esquema de Ruta Propuesta

Ítem	Fase 1	Ultima (Fase 1+2)
Alineamiento de Ruta		
Longitud de Ruta	13k690m	30k150m
Número de Estaciones	16 estaciones	35 estaciones
Tramos de pequeño radio de curva (menos de 300m)	100m: 5 secciones 150m: 2 secciones 300m: 4 secciones	100m: 12 tramos 150m: 2 tramos 300m: 4 tramos
Tramo de Pendiente Empinada (i=6%)	3 secciones	5 tramos
Tramo de Viga de Acero	10 secciones	22 tramos
Puente de largo Tramo 1 puente	Ninguna	1 puente
Servicio		
Demanda Estimada	16,000 PHPDT	18,000 PHPDT
Velocidad Programada	35km/h	35km/h
Configuración del Tren	6 vagones	6 vagones
Intervalo	3.3 minutos	3 minutos
Capacidad de Transporte	17,000 PHPDT	18,920 PHPDT

Fuente: Equipo de Estudio JICA



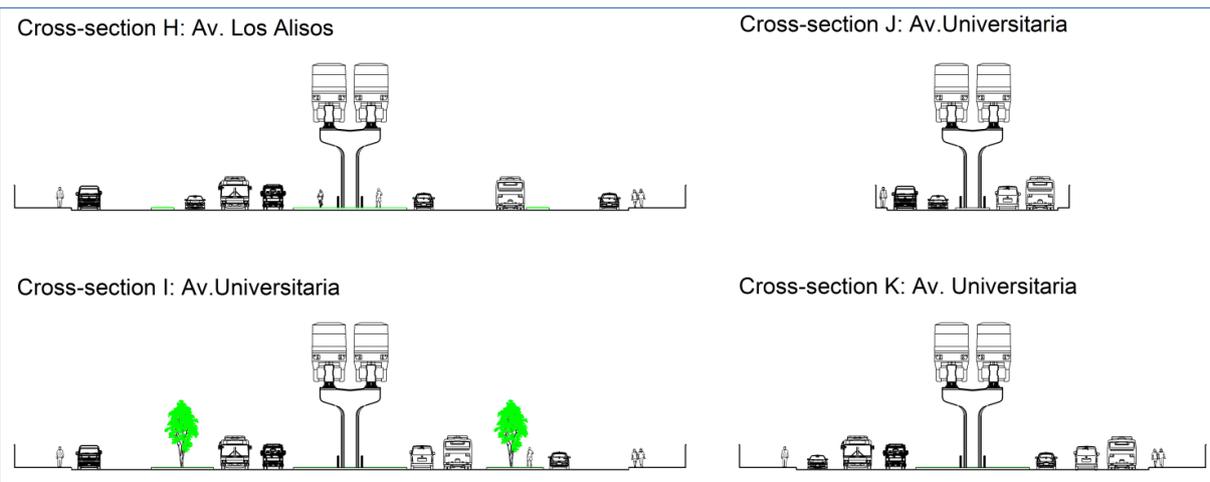
Steep Gradient Section for crossing-over a flyover of Av. Peru



Steep Gradient Section for crossing-over a flyover of Av. Oscar R. Benavides

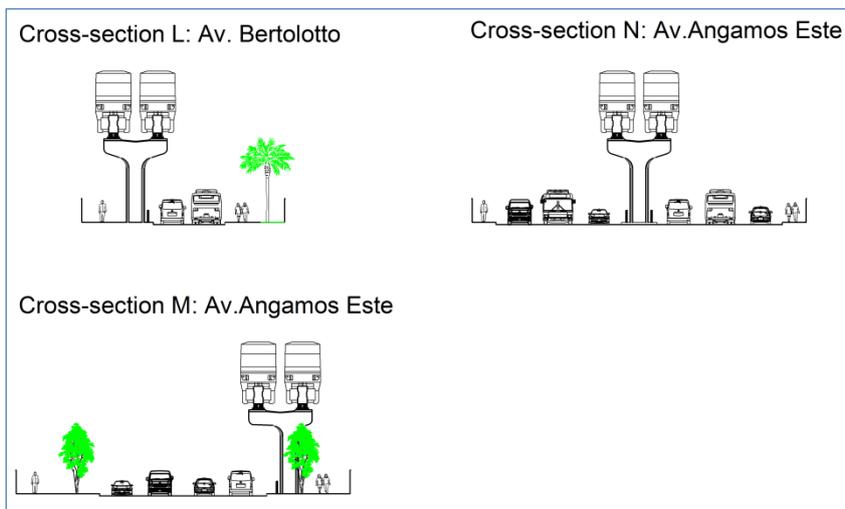
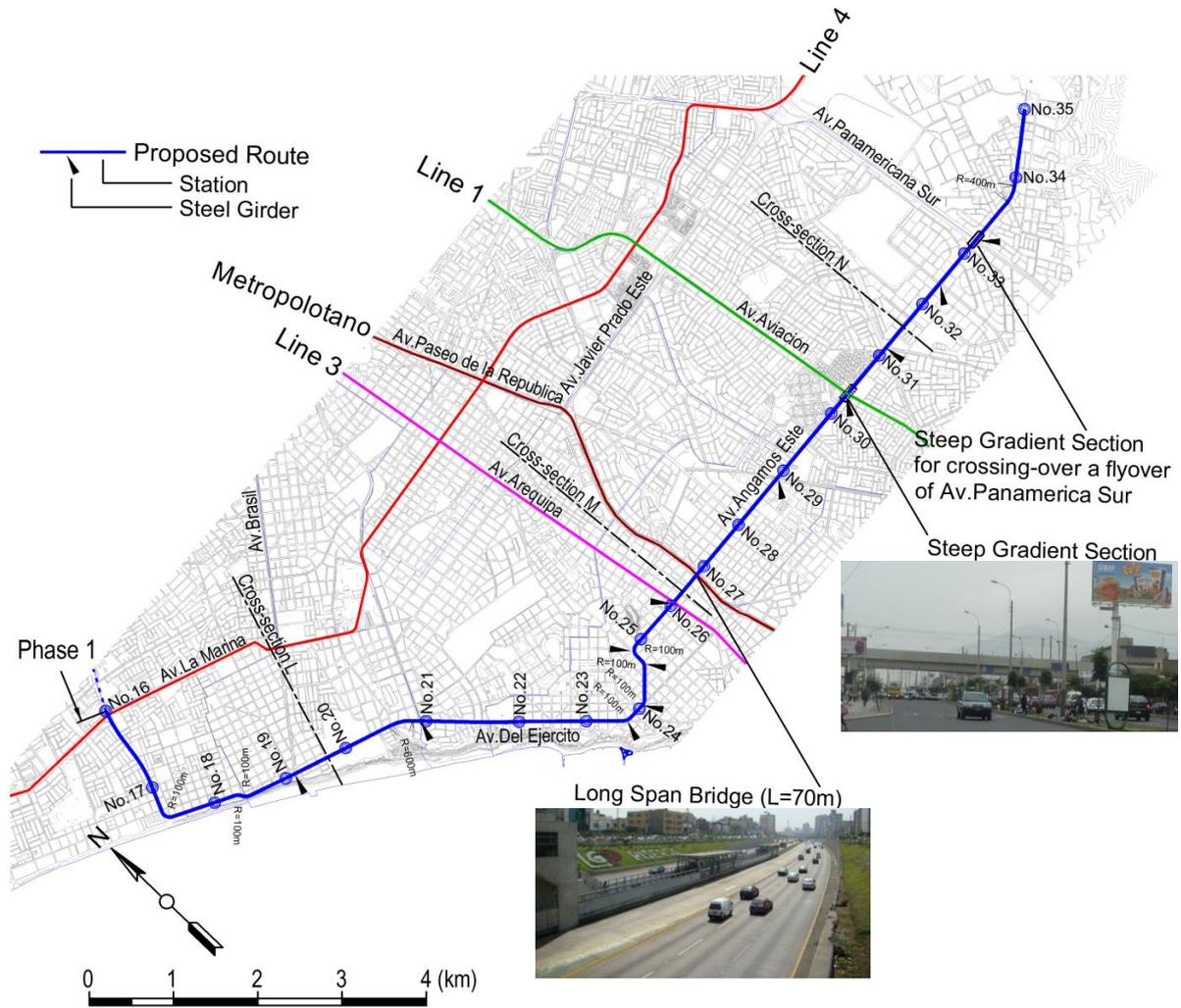


Steep Gradient Section for crossing-over a flyover of Av. Venezuela



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.30 Ruta Propuesta Fase 1



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura 6.31 Ruta Propuesta Fase 2

(4) Ventajas del Monorriel en Ruta Propuesta

- 1) En la fase 1, Se instalarán con 11 curvas de radio pequeñas que son menores a 300 m. Y tres pasos elevados en la que el monorriel en cruza lo existente. El monorriel será capaz de hacer frente a esta condición de alineación.
- 2) La Av. Universitaria, en el lado norte del río Rímac se compone de 4 carriles, estrechas aceras del centro de la mediana. Especialmente la anchura de la carretera de 1 kilómetro de tramo entre las estaciones No.9 No.10 son estrechas como la carretera nacional en el que está instalado el sistema de transporte elevado. La estructura del monorriel mitigará el impacto contra el paisaje de la ciudad y la adquisición de tierras en comparación con la de otros sistemas.
- 3) En la fase 2, la adquisición de terrenos se requiere de algunos tramos a lo largo de la carretera entre No.17 y No.25 porque la anchura del camino es estrecho. Puesto que un radio mínimo de la curva aplicable del monorriel es menor que la del ferrocarril convencional, el área de adquisición de la tierra se puede minimizar.

6.6 Costo Estimado

El costo del proyecto se estimó basándose en costos unitarios para otros proyectos relacionados de marzo de 2012. En cuanto a los costos indirectos, las cifras siguientes se considerarán de acuerdo con el PMTU-2025

- | | |
|------------------------------|---------------------|
| 1) Contingencia: | Costo directo x 15% |
| 2) Costos de Administración: | Costo directo x 15% |
| 3) Costos de Ingeniería: | Costo directo x 10% |

Los costos de adquisición de terreno, reubicación de servicios públicos y la compensación por el reasentamiento no se incluyen en esta estimación.

Tabla 6.12 Costo Estimado

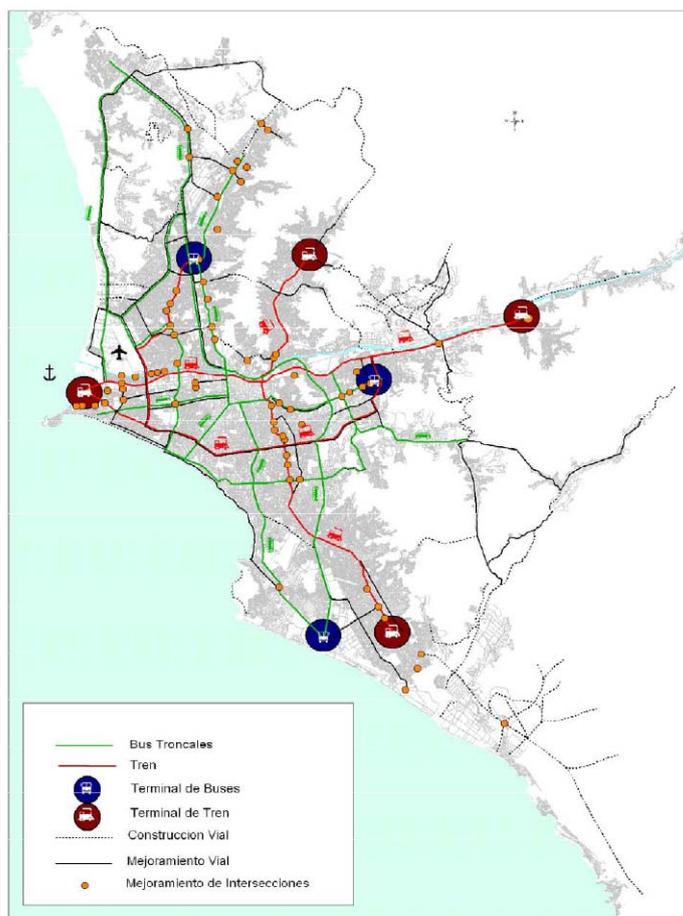
Item	Unidad	Unit Cost (USD '000)	Monorriel Línea 4		Ruta Propuesta		Ruta Propuesta Fase 1					
			Cantidad	Costo (USD '000)	Cantidad	Costo (USD '000)	Cantidad	Costo (USD '000)				
									Longitud	29.5 km	30.2 km	13.7 km
									Estaciones	32 estaciones	35 estaciones	16 estaciones
Demanda	25,000 PHPDT	18,000 PHPDT	16,000 PHPDT									
Costo Directo												
Costo de Ingeniería Civil												
Viga PC incluyendo Porte (L=22m)	viga	93	2,570	239,000	2,660	247,400	1,210	112,500				
Viga de Acero (L=40m)	tramo	801	31	24,800	22	17,600	10	8,000				
Sub estructura	nos	98	1,168	114,500	1,192	116,800	536	52,500				
Switch Bed	nos	666	4	2,700	4	2,700	3	2,000				
Puente de Largo Tramo (L=70m)	puente	3,360	1	3,400	1	3,400	0	0				
Estacion (L=90m)	estacion	2,588	32	82,800	35	90,600	16	41,400				
Patio (para 336 carros)	lot	91,338	1	91,300								
Patio (para 234 carros)	lot	54,803			1	54,800						
Patio (para 66 carros)	lot	18,268					1	18,300				
Subtotal de Trabajo Civil				558,500		533,300		234,700				
E&M												
Sistema de Señalización	km	2,409	29.5	71,100	30.2	72,800	13.7	33,000				
Sistema de Telecomunicación	km	1,543	29.5	45,500	30.2	46,600	13.7	21,100				
Sistema Suministro de Energía	km	5,783	29.5	170,600	30.2	174,600	13.7	79,200				
Switch Machine (Main line)	nos	1,900	8	15,200	6	11,400	6	11,400				
Instalación de Patio (para 336 carros)	lot	56,250	1	56,300								
Instalación de Patio (para 234 carros)	lot	37,500			1	37,500						
Instalación de Patio (para 66 carros)	lot	18,750					1	18,800				
Subtotal of E&M				358,700		342,900		163,500				
Material Rodante	carro	2,600	336	873,600	234	608,400	102	265,200				
Costo Subtotal Directo				1,790,800		1,484,600		663,400				
VAT		18%		322,344		267,228		119,412				
Costo Directo con VAT				2,113,144		1,751,828		782,812				
Costo Indirecto												
Contingencia		5%		105,657		87,591		39,141				
Costo Administrativo		5%		105,657		87,591		39,141				
Costo de Ingeniería Civil		10%		211,314		175,183		78,281				
Subtotal de Costo Indirecto				422,628		350,365		156,563				
Total Global				2,535,772		2,102,193		939,375				
Costo por km (millón USD/ km)				86.0		69.6		68.6				

Fuente: Equipo de Estudio JICA

Capítulo 7 Revisión del PMTU 2025

7.1 Resumen del PMTU 2025

El Plan Maestro de Transporte Urbano para el Área Metropolitana de Lima y Callao (PMTU) 2025 fue formulado en el año 2005 por el Consejo de Transporte de Lima y Callao (CTLTC) con JICA. Se llevó a cabo una encuesta de viaje personal en el que se entrevistó a más de 34,000 hogares para el análisis de la condición actual y los escenarios futuros. El plan maestro se formuló para cuatro sectores, tales como 1) instalaciones de vías, 2) vía de tren, 3) Sistema Troncal de Ómnibus y 4) Administración de Transporte. La Figura 7.1 muestra el mapa del proyecto del plan maestro.



Fuente: PMTU 2025

Figura 7.1 PMTU 2025

El plan maestro se centra en los siguientes tres aspectos.

- El sistema de transporte público es muy pobre para una ciudad con la población de 8 millones aproximadamente (2004)
- Las congestiones de tráfico más fuertes se han dado en las principales vías troncales y en las principales intersecciones, debido al rápido incremento en los volúmenes de tráfico y el sistema de transporte público muy malo.
- Las condiciones ambientales en especial la contaminación del aire se empeorará debido al rápido incremento de volumen de tráfico.

A fin de lidiar con estos problemas, se introdujo una política prioritaria de transporte público como la política básica en el plan maestro y bajo dicha política se identificó las siguientes cuatro políticas adicionales.

- a) Mejorar las condiciones de vida de pobreza
- b) Mantener buenos aspectos ambientales
- c) Controlar la demanda de transporte
- d) Incrementar la capacidad de las instalaciones de transporte

A fin de alcanzar dichas políticas, se formuló estrategias de transporte y también se identificó metas bajo cada política, tal y como se muestra en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1 Políticas, Estrategias y Metas en el PMTU 2025

Políticas	Estrategias	Metas
Mejorar las condiciones de vida de pobreza	<ul style="list-style-type: none"> a) Asegurar la utilidad del sistema de transporte público b) Mejorar la tarifa de transporte público c) Adaptar el sistema de transporte público gratuito 	<ul style="list-style-type: none"> a) Alcanzar tiempos de viaje más rápidos en comparación con las condiciones existentes b) Alcanzar tarifas de transporte más baratas en comparación con las condiciones existentes. c) Lograr distancias a pie más cortas en comparación con las condiciones existentes d) Alcanzar un sistema de transporte más seguro
Mantener buenos aspectos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> a) Hacer el mejor uso de la energía GNC b) Trasladar al usuario del automóvil al transporte público c) Asegurar la seguridad de transporte y reducir los accidentes de tráfico d) Mejorar las flotas de ómnibus. 	<ul style="list-style-type: none"> a) Alcanzar menores niveles de contaminación de aire en comparación con las condiciones existentes b) Crear facilidades o instalaciones de transporte modernas c) Lograr un sistema de transporte y facilidades o instalaciones seguros.
Controlar la demanda de transporte	<ul style="list-style-type: none"> a) Reforzar el sistema de transporte público (introducir el sistema de transporte rápido masivo – Metro o Tren Eléctrico) b) Mejorar el sistema de transporte en ómnibus c) Trasladar al usuario del automóvil al transporte público d) Introducir el sistema de administración de la demanda de transporte (TDM) 	<ul style="list-style-type: none"> a) Alcanzar tiempos de viaje más rápidos en comparación con las condiciones existentes b) Alcanzar tarifas de transporte más baratas en comparación con las condiciones existentes. c) Lograr distancias a pie más cortas en comparación con las condiciones existentes d) Crear un sistema de transporte más cómodo y conveniente e) Alcanzar un sistema de transporte más seguro
Incrementar la capacidad de las instalaciones de transporte	<ul style="list-style-type: none"> a) Reforzar la red vial b) Mejorar las instalaciones o facilidades viales c) Mejorar el sistema de transporte público 	<ul style="list-style-type: none"> a) Mitigar la congestión de tráfico en comparación con las condiciones existentes b) Lograr flujos de tráfico más fluidos en comparación con las condiciones existentes

Fuente: PMTU 2025

El estudio del plan maestro analizó muchos escenarios de instalaciones o facilidades viales, vías de tren, líneas troncales de ómnibus, y programas de administración de transporte en base a las políticas, estrategias y metas.

El PMTU 2025 propuso 68 proyectos con el costo de inversión de US\$ 5,535 millones, tal y como se muestra en la Tabla 7.2. El proyecto propuesto consta de facilidades o instalaciones viales, vías de tren, líneas troncales de ómnibus y programas de administración de transporte.

Tabla 7.2 No. de Proyectos y Costo por Sector

	Facilidades o instalaciones viales	Vías de Tren	Líneas Troncales de Ómnibus	Programas de Administración de Transporte	Total
No. de proyectos	33	7	18	10	68
Costo en millones de USD	2,374	2,024	981	156	5,535

Fuente: PMTU 2025

7.2 Marco Socioeconómico

El PMTU 2025 estimó la población futura del área metropolitana de Lima y Callao. La población en el 2004 era de 8.0 millones de acuerdo al PMTU 2025 y el estudio estimó la población en 8.85 millones para el año 2010 y 10.6 millones para el año 2025. La población real en el 2010 era de 9.16 millones. En este estudio se revisó la proyección poblacional. La población revisada es mayor que la proyección anterior. Esta diferencia se atribuye a la proyección de la población en 2004. Aunque el estudio se estimó la población en 2004 a 8,0 millones de habitantes, la población real fue de 8,5 millones en 2005.

Tabla 7.3 Proyección Poblacional en el PMTU 2025 (millón)

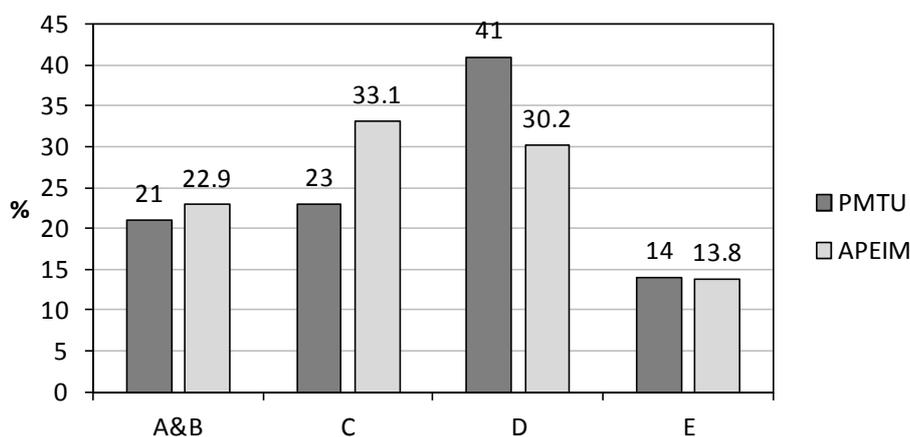
	2010	2015	2020	2025
Población	8.85	9.48	10.06	10.57
Revisado en este estudio	9.16	9.90	10.69	11.48

Fuente: PMTU 2025 y el Equipo de Estudio JICA

El Plan Maestro asumió que la población en el área central se incrementaría, pero la población en el área central se ha reducido desde el 2004. El crecimiento real de la población fue mayor que la proyección en las áreas suburbanas y menor que la proyección en las áreas centrales.

El Perú alcanzó un elevado crecimiento económico recientemente. El PMTU 2025 estimó la tasa de crecimiento anual del PBI real del 2005 al 2010 en 4%, mientras que la tasa de crecimiento de los cinco años fue de 7.2%. La tasa de crecimiento del PBI per cápita se estimó en 2.0%, aunque fue del 6.0%.

El PMTU 2025 estimó la población por nivel socioeconómico en los períodos futuros. El nivel socioeconómico en el Perú está clasificado en 6 categorías (A a la E). La “A” representa el grupo de ingresos económicos altos mientras que el grupo “E” representan los mas bajos. La Figura 7.2.1 muestra la diferencia de la proyección y la proporción real. La población del nivel C se ha incrementado más que la proyección por el PMTU.



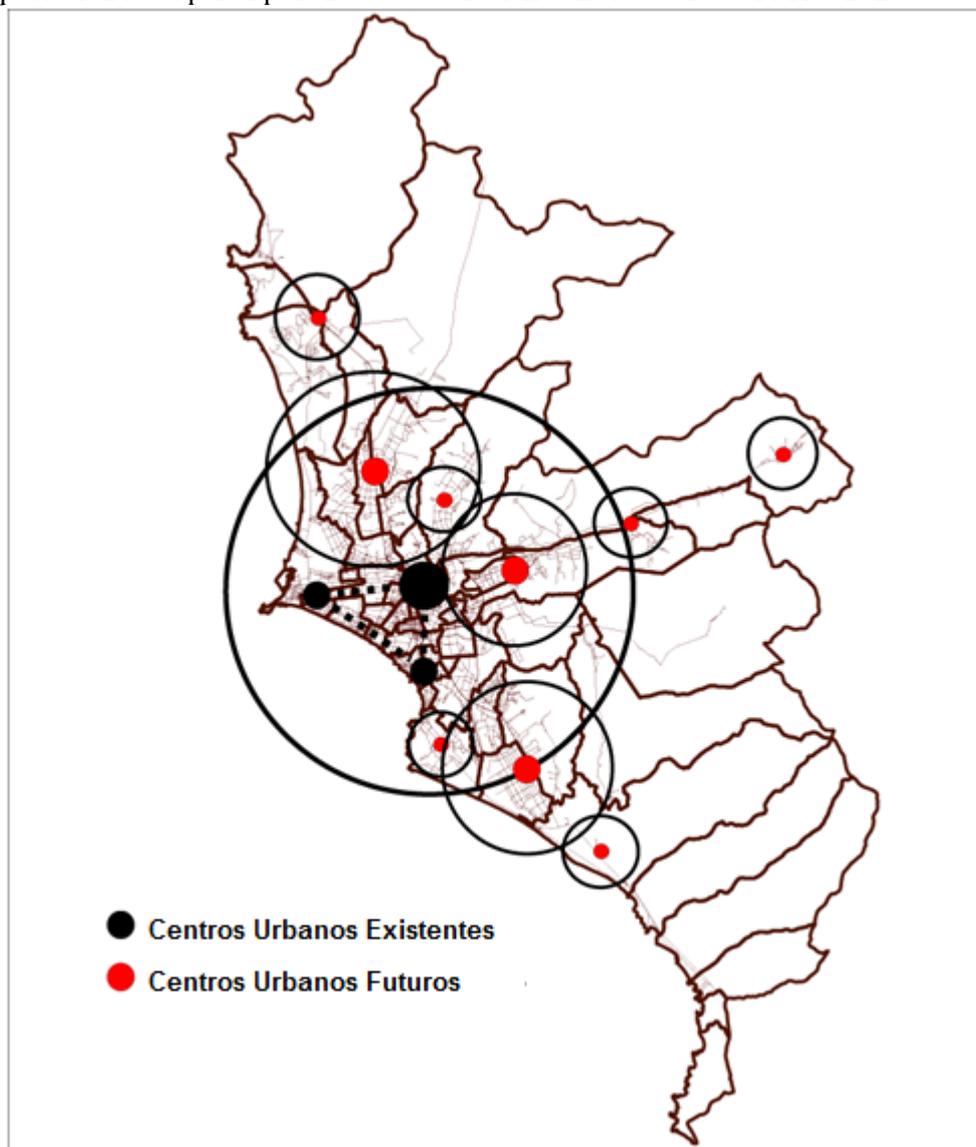
Fuente: PMTU 2025 & APEIM

Figura 7.2 Proporción de la Población por Nivel Socioeconómico (2010)

La Figura 7.2 muestra las ubicaciones de los centros urbanos y los centros sub - urbanos propuestos. El Plan Maestro aplicó el patrón de desarrollo descentralizado policéntrico y estableció las políticas de uso de tierras, entre las que se incluía 1) Consolidar los Servicios Metropolitanos en el Área Central y 2) Promover la Descentralización de los Servicios Urbanos en los Sub – Centros. La población en el área central era de 2.24 millones en el 2004 y el plan maestro estimó la población en el área central para el año 2010 en 2.42

millones. Por otro lado, la población en el área en el año 2012 es de 1.87 millones.

La razón por la que el estudio previsto del PMTU 2025 proyectó un aumento de la población en la zona central, donde la población está disminuyendo es que el estudio "asumió" que la estructura urbana en la Figura 7.3 se realizarían. Basado en el uso futuro de la tierra, la población total se distribuyó a cada zona de tráfico mediante la aplicación de la densidad de población ideal por el patrón de uso de la tierra en el estudio de PMTU 2025.



Fuente: PMTU 202

Figura 7.3 Centros Urbanos Existentes y Sub – Centros Urbanos Descentralizados Futuros

7.3 Análisis de la Demanda

A partir del estudio de tránsito, se desarrolló un modelo de pronóstico de demanda de cuatro pasos, el cual es un estilo tradicional del pronóstico de demanda de transporte. El modelo se preparó para cuatro (4) grupos socioeconómicos (estratos), tales como el Estrato AB, el Estrato C, el Estrato D y el Estrato E. Los propósitos de viaje están categorizados en 1) Al trabajo, 2) A estudiar, 3) Negocios, 4) Privados y 5) A casa. El modelo de pronóstico de la demanda consiste en 1) el modelo de producción de viaje, 2) el modo de generación / atracción de viaje, 3) el modelo de distribución de viaje y 4) el modelo de partición modal.

- 1) Una tasa de producción de viaje es el número de viajes por persona por viaje. Se estimó el número total de viajes en el área metropolitana desde las tasas de producción de viaje por estrato.
- 2) Los modelos de generación y atracción de viajes por estrato por propósito se desarrollaron utilizando el análisis de regresión lineal. Las variables en los modelos fueron (i) población, (ii) número de estudiantes en la zona de residencia, (iii) el número de estudiantes en el centro de estudios, (iv) el número de empleados en el centro de trabajo, (v) el número de empleados del sector de servicios en el centro de trabajo, (vi) el número de trabajadores en la zona de residencia y (vii) el número de trabajadores del sector de servicios en la zona de residencia.
- 3) Los modelos de gravedad tipo Voorhees se desarrollaron para estimar el número de viajes inter zonales por estrato por propósito. El tiempo de viaje se utilizó para el costo. El modelo de viaje inter zonal también se desarrolló para cada estrato y cada propósito.
- 4) En el modelo de partición modal, los modos de transporte se clasificaron en 3: automóvil, taxi y transporte público. Se desarrolló modelos multinomiales logit para la partición modal por estrato por propósito, sobre la base de la Encuesta de Preferencias Declaradas llevadas a cabo en el estudio. La partición modal del transporte público se estimó por asignación de tráfico.

En total, en el modelo de pronóstico de la demanda hubo 94 modelos.

Los resultados mostraron que la demanda de tráfico en el 2025 sería 1.48 veces mayor que la demanda en el 2004 (de 12.1 a 18.0 millones de viajes por día). El cambio en la porción modal se estimó según se muestra en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4 Proyección de la Porción Modal

Modo	2004	2025
Automóvil	15.3%	22.5%
Taxi	7.4%	7.0%
Transporte Público	77.3%	70.5%

Fuente: PMTU 2025

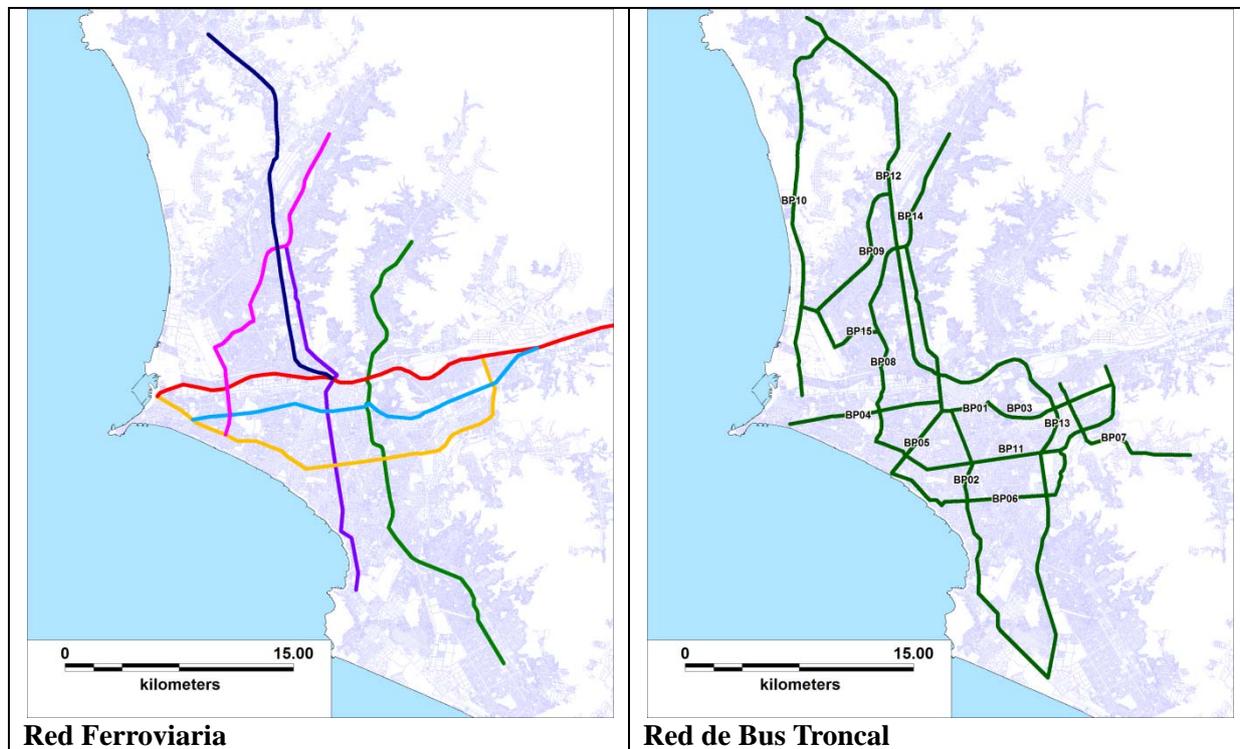
El estudio del plan maestro analizó la situación futura en caso no se llevara a cabo acción alguna, en el que se proyectó que la velocidad de viaje promedio se proyectó se reduciría de 16.8 km/h a 7.5 km/h y se proyectó que el tiempo de viaje diario promedio se incrementaría de 44.9 minutos a 64.8 minutos.

7.4 Planificación del Transporte Público

7.4.1 Análisis Alternativo de la Red

El estudio anterior analizó 16 escenarios de la red. Estos escenarios se prepararon a partir de combinaciones de cuatro (4) redes de vías de tren y cuatro (4) redes troncales de ómnibus. Se elaboró una red de vías de tren a partir de siete (7) líneas de vías de tren que fueron propuestas por la AATE, mientras que una red troncal de ómnibus se elaboró a partir de 17 líneas troncales de ómnibus que fueron propuestas por el Equipo de Estudio de JICA del PMTU (Figura 7.4). Se utilizó la misma red vial con 33 proyectos para todos los análisis. Sólo la vía de tren y el sistema troncal de ómnibus fueron considerados en la planificación anterior. Se asume que un sistema troncal de ómnibus tiene una capacidad de 15,000 pasajeros en hora pico sentido pico como máximo.

Los criterios de los análisis alternativos son 1) la población cubierta por la red, 2) el beneficio, 3) el ratio de beneficio costo, 4) el valor actual neto del beneficio, 5) la velocidad promedio en las vías, 6) el ratio de la distancia con un ratio de capacidad de volumen mayor a 1.0 y 7) la reducción de CO2. Estos valores se calcularon para todas las alternativas y se dio un punto (0 a 15) a cada alternativa por criterio, según el rango.



Fuente: PMTU 2025 (Ilustrado por el Equipo de Estudio de JICA)

Figura 7.4 Red de Base para el Escenario Alternativo en el PMTU 2025

El escenario con el puntaje más elevado se seleccionó como la red del plan maestro. Se seleccionó la red de ómnibus más larga de entre las cuatro (4) redes de ómnibus alternativas, mientras que la red de tamaño medio se seleccionó para el sistema de vías de tren. Se puede decir que el plan maestro le dio mayor prioridad a la red de ómnibus que a la red de vías de tren.

7.4.2 Plan de la Vía de Tren

Luego del análisis del pronóstico de la demanda, el estudio anterior concluyó que el tren ligero (LRT) no satisfaría la demanda debido a su capacidad. Sin embargo, el sistema de vía de tren propuesto era un sistema de tipo de vía de tren sobre la superficie, el cual es un sistema de menor capacidad que el sistema elevado o subterráneo. Sólo la línea 1 se propuso como un sistema elevado, cuya estructura ya estaba construida al momento del plan maestro.

No es clara la razón por la que se aplica una estructura a nivel en vez de un tipo elevado porque ésta no se menciona en los informes del plan maestro. Ya que “el aprovechamiento de la infraestructura y las instalaciones de la vía de tren existente” fue uno de los principales conceptos para la planificación de la red de la vía del tren, es probable que la reducción en el costo del proyecto fuera un aspecto importante a considerar en el plan maestro. La Tabla 7.5 muestra la demanda proyectada en el año 2025 en cada línea por segmento.

Tabla 7.5 Demanda de Pasajeros del Sistema de Vías de Tren

Segmentos de la Ruta de la Vía de Tren	Longitud	Demanda (Pasajeros por Hora Pico por Dirección)		Estructura
		Entrantes	Salientes	
Línea 1 (Construido)	9.2km	39,000	37,000	Elevada
Línea 1 (Atocongo – Hospital 2 de Mayo)	11.7km	55,000	61,000	Elevada
Línea 1 (Hospital 2 de Mayo – Bayóvar)	13.0km	35,000	59,000	A nivel
Línea 2	29.0km	65,000	59,000	A nivel
Línea 3 (Garibaldi – Javier Prado)	16.2km	35,000	22,000	A nivel
Línea 3 (Javier Prado – S. Industrial)	11.9km	19,000	16,000	A nivel
Línea 4	24.6km	42,000	17,000	A nivel

Fuente: PMTU 20205

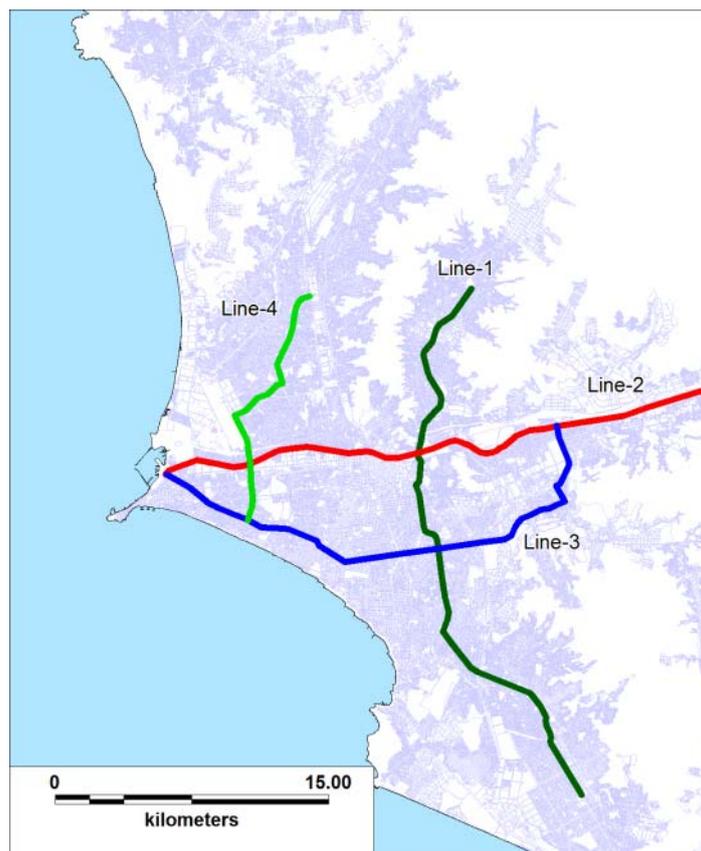


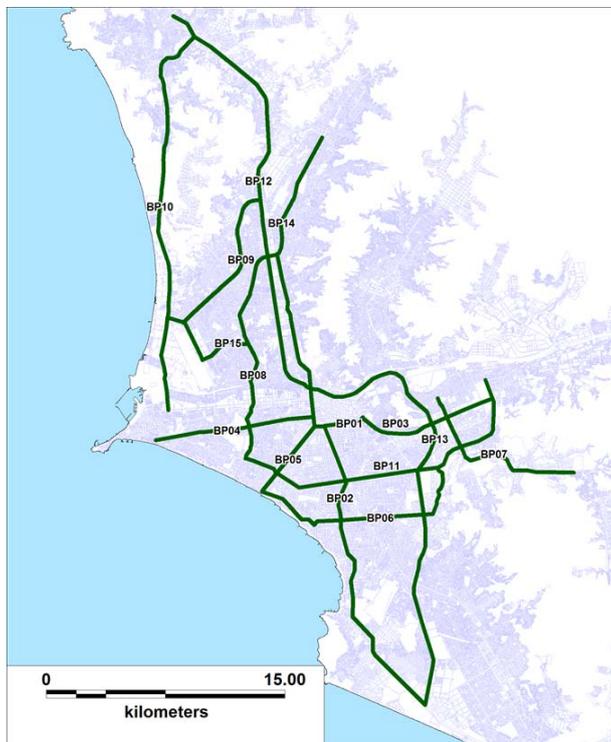
Figura 7.5 Plan de la Vía de Tren PMTU 2025

7.4.3 Plan de Transporte de Troncal de Ómnibus

El estudio del Plan Maestro identificó 17 líneas de troncal de ómnibus, aunque el tipo de vía de ómnibus no se identificó en el plan. El Plan Maestro propuso tres tipos: 1) la vía troncal de ómnibus, 2) el carril exclusivo de ómnibus y 3) el carril prioritario de ómnibus. Una vía troncal de ómnibus está separada parcial o totalmente del resto del tránsito, mientras que un carril exclusivo de ómnibus está separado de los otros carriles por medio de señalizaciones pintadas en las vías. Se propuso el ómnibus articulado con 150 – 200 pasajeros por ómnibus para estos carriles. Por otro lado, un carril prioritario de ómnibus se utiliza para ómnibus sólo en las horas pico. Se propuso la unidad de ómnibus simple con una capacidad de 80 – 100 pasajeros para los carriles prioritarios de ómnibus.

La capacidad de una vía troncal de ómnibus se diseñó para 25,000 pasajeros por hora por dirección. Luego del análisis alternativo con el pronóstico de demanda, se seleccionó 15 líneas troncales de ómnibus. De entre estas 15 líneas, sólo se implementó el proyecto COSAC como sistema BRT, el cual se abrió en el 2010.

En el año 2007, JICA llevó a cabo el estudio de factibilidad para el corredor este – oeste (Vía troncal de línea de ómnibus de la Av. Venezuela, Vía troncal de línea de ómnibus de la Av. Grau y Vía troncal de línea de ómnibus de la Carretera Central). Sin embargo, este corredor se identificó como un sistema de línea de tren (Línea 2) en la notificación emitida por el gobierno en el 2010.



Fuente: PMTU 2025 (Ilustrado por el Equipo de Estudio JICA)

Figura 7.6 Plan Troncal de Ómnibus en el PMTU 2025

7.5 Plan Vial

7.5.1 Proyectos en PMTU 2025

Se formuló el Plan de la Red Vial para tres (3) categorías viales: 1) la Red Nacional y Regional de la Vía Expresa, 2) la Red de la Vía Expresa Metropolitana y 3) la Red Vial Arterial y Colectora. El plan de desarrollo de la red consiste en 1) la construcción y la mejora vial, 2) el ensanchamiento vial y 3) la construcción de nuevas vías en nuevas zonas de vivienda. Adicionalmente, se propone la mejora de 62 intersecciones. Se agrupó los proyectos en proyectos a corto, mediano y largo plazo. La Figura 7.7 muestra el plan de la red vial en el año 2025.



Fuente: PMTU 2025

Figura 7.7 Plan de la Red Vial en el PMTU 2025

Tabla 7.6 Resumen de los Proyectos Viales en el PMTU 2025

Componente del Proyecto	Clase de Vía	No.	Longitud (km)
Construcción de la Vía	Vía Expresa Nacional y Regional	8	173.5
	Vía Expresa Metropolitana	4	28.3
	Arterial y Colectora	6	4.1
Mejora Vial	Vía Expresa Nacional y Regional	3	31.7
	Vía Expresa Metropolitana	3	46.9
	Arterial y Colectora	1	2.7
Ensanchamiento Vial	-	-	230
Mejora a la Intersección	-	62	-
Construcción Vial en nuevas Zonas de Vivienda	-	-	202.8
Rehabilitation	Vía Expresa	-	100
	Arterial	-	567
	Colectora	-	691

Fuente: PMTU 2025

7.5.2 Análisis de Pronóstico de Demanda

Ha sido implementada la construcción de la Av. Costa Verde, la cual fue planificada como un proyecto de mediano plazo. El pronóstico de demanda muestra que esa avenida juega un papel importante en el alivio del congestionamiento de carreteras.

La mayor diferencia entre el pronóstico de demanda del PMTU 2025 y el de este estudio es la distribución de población a futuro. PMTU 2025 estimó que la población en el Centro de la ciudad aumentaría, mientras que el estudio ha estimado que habrá una ligera disminución en el futuro, esto en base a tendencias recientes. Por otro lado, en este estudio se considera que el crecimiento de la población en suburbios es mayor que la del PMTU2025. Por ejemplo, PMTU 2025 estimó que la población de San Juan de Lurigancho sería de 842,551, sin embargo, la población del distrito sobrepasó 1 millón en 2012. Por estas razones se considera que las avenidas principales que conectan el centro de la ciudad con las áreas de suburbios, estarán más congestionadas de lo que se estimó en el PMTU 2025. Figura 7.8 muestra el flujo de tráfico diario para el 2025, que fue estimado en el PMTU2025. El pronóstico de demanda en este estudio se describe en el Capítulo 5. El volumen de tráfico en San Juan de Lurigancho muestra una diferencia importante entre las dos proyecciones.

El pronóstico de demanda de este estudio se realizó para los siguientes proyectos:

- 1) Vía de Periférica
- 2) Av. Paseo de la República Sur y
- 3) Autopista Ramiro Prialé

Es necesario revisar el diseño de la Av. Paseo de la República Sur, porque el pronóstico de demanda de dicha avenida es alto.



Fuente: PMTU 2025

Figura 7.8 Pronóstico de Demanda a Futuro en PMTU2025

7.5.3 Otros Proyectos Viales

(1) Línea Amarilla

Este proyecto consiste en la construcción de una carretera de 9 km longitud, a lo largo del Río Rímac; el proyecto también incluye un tramo de túnel, siempre a lo largo del río. Actualmente el proyecto se encuentra en ejecución. El pronóstico de demanda muestra que este proyecto contribuirá a aliviar el congestionamiento de tráfico que se genera a lo largo del Río Rimac.



Fuente: Ilustrado por Equipo de Estudio JICA, base a Proyecto de Línea Amarilla

Figura 7.9 Ubicación de Proyecto Línea Amarilla

(2) Red de Bicicleta

Lima tiene una red de ciclovías de una longitud total de 325 km. Recientemente, la Municipalidad de Lima ha desarrollado ciclovías. Sin embargo, el plan de red para bicicletas no se incluyó en el PMTU 2025 porque FONAM (Fondo Nacional del Ambiente del Perú) estaba llevando a cabo un estudio de plan maestro sobre transporte en bicicleta al momento del estudio del PMTU.

7.6 Plan de Administración de Transporte

Los objetivos del plan de administración de transporte en el PMTU 2025 fueron:

- a) Alcanzar un flujo de tránsito fluido
- b) Reducir los accidentes de tráfico
- c) Desviar la excesiva demanda de tráfico ocasionada por los vehículos privados hacia el transporte público
- d) Crear instalaciones “aptas para peatones”

El Plan Maestro incluye diez (10) proyectos para el sector de administración de transporte, como sigue:

- 1) Plan de Mejora del Sistema de Control de Señales de Tránsito
- 2) Plan de Mejora de Intersecciones
- 3) Plan del Sistema de Administración de Demanda del Transporte (TDM)
- 4) Plan de Mejora de las Instalaciones de Seguridad de Transporte
- 5) Plan de Mejora del Sistema de Control de Estacionamiento
- 6) Plan del Sistema de Educación de Seguridad de Transporte
- 7) Plan de Sistema de Monitoreo de Accidentes de Tráfico
- 8) Plan de Mejora del Sistema de Inspección Vehicular
- 9) Sistema de Control de Transporte de Área y Sistema de Información de Transporte / Vial
- 10) Sistema de Información de Ubicación de Ómnibus y Sistema de Control de Señal de Prioridad de Ómnibus en Vías Troncales

Los proyectos Nos. 9 y 10 se propusieron como partes de planes a mediano y largo plazo, mientras que los demás se propusieron como partes del plan a corto plazo.

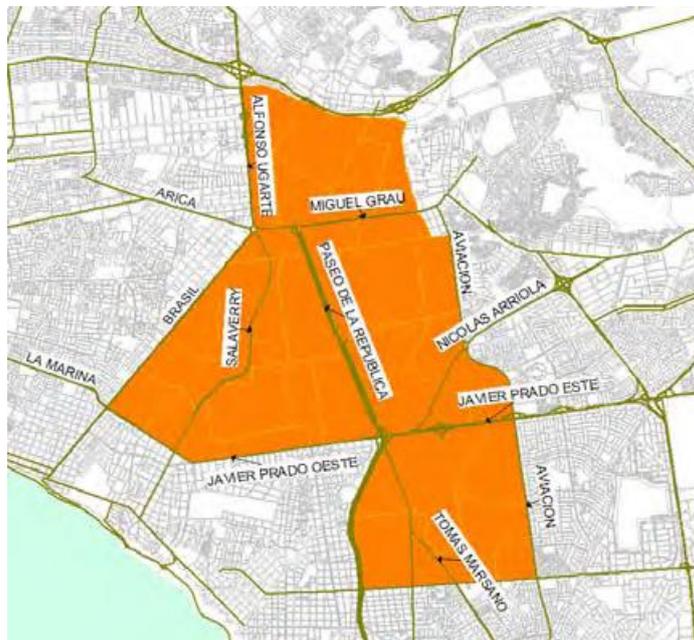
El Sistema de Control de Transporte Sincronizado, el cual fue parte del Proyecto No. 1, se implementó a lo largo de la Av. Arequipa, Av. Canadá, Av. Petit Thouars y Av. Arenales.

Se estudió en mayor detalle el Plan de Administración de Transporte en el siguiente estudio de factibilidad y se preparó los siguientes cinco (5) planes de acción.

- 1) Programa de Educación y Campaña de Seguridad Vial
- 2) Plan de Monitoreo de Accidentes Viales
- 3) Plan de Mejora de Intersecciones
- 4) Plan de Administración de Demanda de Transporte (TDM)
- 5) Plan de Mejora de Estacionamiento en Calles

Se propuso estos planes como el plan de corto plazo. En el Plan de TDM, el estudio evaluó 12 medidas TDM típicas y concluyó que el sistema de numeración de placas sería la medida más aplicable para el área metropolitana, aunque finalmente se seleccionó al sistema de licencias del área (ALS) como el proyecto de TDM en respuesta al comité técnico del estudio. La Figura 7.10 muestra el área de control propuesta del ALS. Los vehículos que ingresan en el área tienen que pagar una cuota de entrada en el ALS. El ALS no se ha implementado, aunque se propuso como un proyecto en el corto plazo. Ya que el ALS desalienta a la

población a que haga uso de sus propios vehículos, el sistema de transporte público alternativo es esencial.



Fuente: PMTU 2025

Figura 7.10 Área de Control del Sistema de Licencias de Área

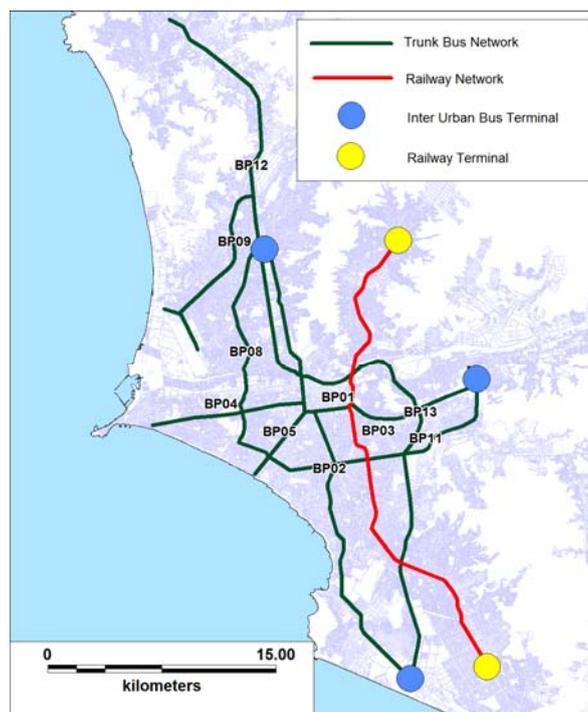
El pronóstico de demanda demuestra que la capacidad de avenidas principales en el centro de la ciudad, no necesariamente es baja si se compara con la demanda de viaje de trabajo, sin embargo, se exceptúa el área del Centro, donde las calles se congestionan en horas pico de la mañana. Esto implica que el congestionamiento de tráfico en el área del centro ocurre debido a la inapropiada gestión del tráfico.

7.7 Plan a Corto Plazo

7.7.1 Proyectos a corto plazo en PMTU 2025

El estudio de PMTU 2025 formuló un plan a corto plazo que consiste en 33 proyectos para el período de 2005-2010, mediante la identificación de proyectos prioritarios en base a seis criterios de los proyectos del Plan Maestro. Los criterios son (1) la política de planificación del transporte, (2) el efecto económico, (3) los efectos del tráfico mejora, (4) las características y condiciones del proyecto, (5) el progreso de los proyectos en curso, y (6) el balance de costo de inversión cada año. Costo total del proyecto fue estimado en US\$ 1.295 millones dólares EE.UU., lo que representa el 24% del costo del plan maestro para el 2025.

La Figura 7.11 muestra la ubicación de los proyectos ferroviarios y de autobuses troncales en el plan a corto plazo. En los proyectos a corto plazo "proyectos de alta prioridad" fueron seleccionados teniendo en cuenta la demanda de horas pico de viaje y el análisis de costo beneficio. Los proyectos seleccionados son de alta prioridad Metro Línea-1, Buses Troncales del Corredor Este-Oeste (BP01, 03 y 04), y Buses Troncales en la Av. Panamericana (BP11 y 12).



Fuente: PMTU 2025 (Ilustrado por el Equipo de Estudio JICA)

Figura 7.11 Proyecto a corto plazo de tren y de buses troncales en PMTU 2025

7.7.2 Implementación de proyectos a corto plazo

En el plan a corto plazo, se implementaron dos importantes proyectos: la línea 1 de la vía del tren y el proyecto COSAC. Sólo la línea 1 se propuso en el plan a corto plazo para el sector de la vía de tren. Por otro lado, se propuso diez (10) corredores como proyectos troncales de ómnibus en los que sólo se implementó el proyecto COSAC.

El plan a corto plazo contemplaba dos proyectos de construcción vial (RP-13 y RP-19), pero no se implementó ninguno de ellos. Se implementó la mejora de la Av. Elmer Faucett (RP-15). Los detalles de la RP-31 (Rehabilitación de la Vía Expresa) no se dan en el informe del plan maestro.

El avance de los proyectos viales se confirmó base a la información de la Municipalidad de Lima, completando con el levantamiento en sitio y las imágenes de Google Earth. Sólo se construyó dos vías de entre las 25 vías en PR – 30 (Construcción de Vías en la Nueva Área de Viviendas). El proyecto de ampliación (RP-28) muestra un avance de alrededor del 30%.

La Tabla 7.7 muestra el estado actual de los proyectos a corto plazo. Sólo seis de los 33 proyectos se han ejecutado proyectos. El resultado se puede explicar por las siguientes razones:

- Demasiados proyectos de buses troncales se incluyeron. Aunque un proyecto de buses troncales se puede implementar en un plazo inferior a un sistema ferroviario, el período de cinco años es demasiado corto para ejecutar los proyectos de todos los mostrados en la Figura 7.11.
- Había otros proyectos prioritarios. Algunos de los proyectos a medio plazo se llevaron a cabo en el período a corto plazo. Desarrollo de la red de carril bici ha sido un proyecto prioritario.

- "Planificación", fue el contenido de algunos proyectos de gestión del tráfico, y el plan de proyectos de gestión del tráfico se propone en el siguiente JICA F / S en 2007.

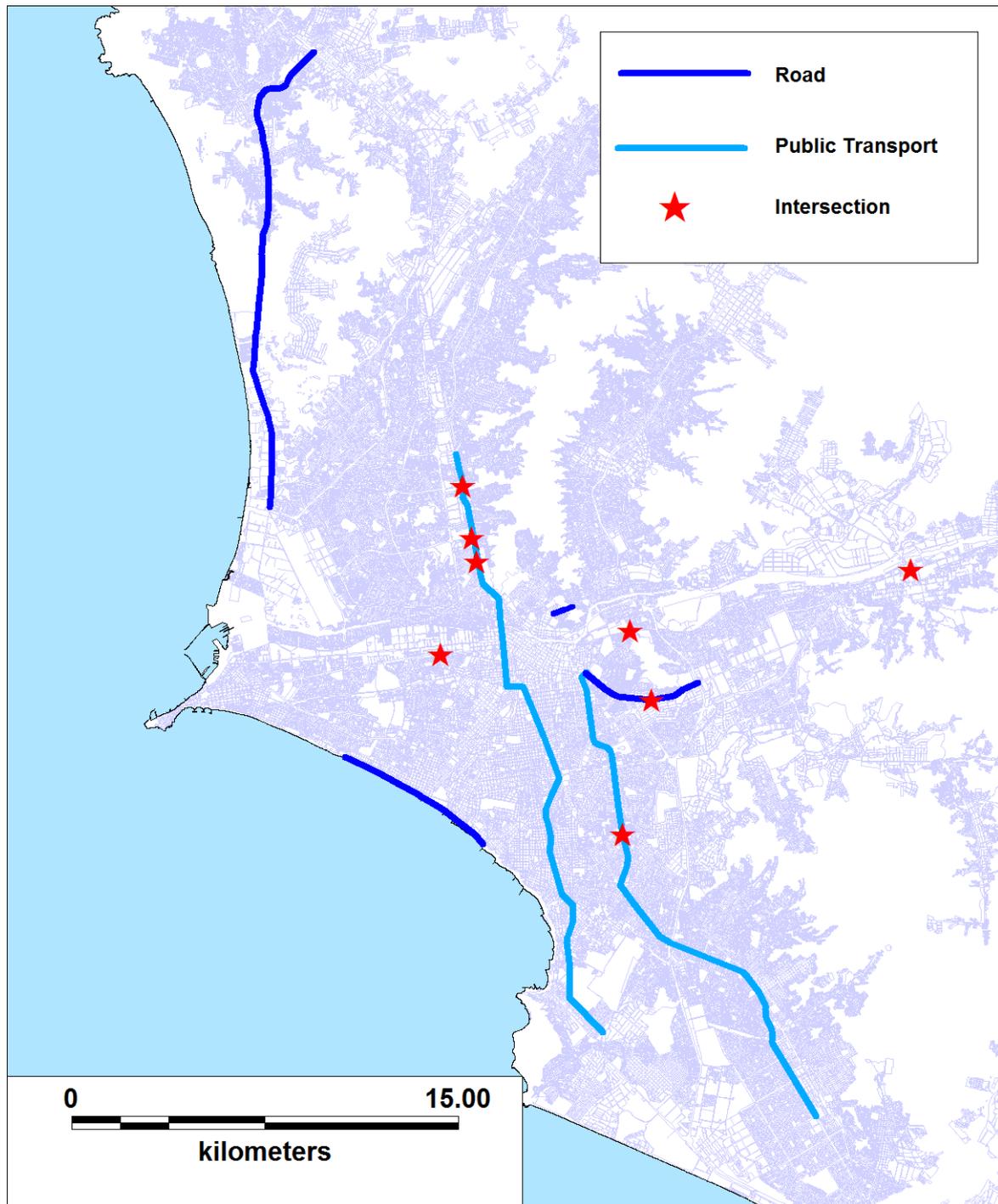
Tabla 7.7 Estado de los Proyectos a Corto Plazo

Sector	Código	Proyecto	Observación	Estado
Vía de Tren	TP01	Línea 1 (Sección 2)	11.7km	Y
	TP02	Línea 1 (Sección 3)	13.0km	Y
Troncal de Ómnibus	BP01	Av. Grau	2.3km (E/F en el 2007)	N
	BP02	Proyecto COSAC	29.0km	Y
	BP03	Carretera Central	8.4km (E/F en el 2007)	N
	BP04	Av. Venezuela	9.1km (E/F en el 2007)	N
	BP05	Av. Brasil	4.8km	N
	BP08	Universitaria Sur	12.7km	N
	BP09	Av. Callao-Canta	9.1km	N
	BP11	Av. Javier Prado	21.1km	N
	BP12	Av. Panamericana Norte	23.9km	N
	BP13	Av. Panamericana Sur	25.6km	N
	BP18	Terminal A	Norte	N
	BP19	Terminal B	Este	N
	BP20	Terminal C	Sur	N
Vía	RP13	Construcción de la Ampliación de la Av. Paseo de República en el Sur	5.0km	N
	RP15	Mejora de la Av. Elmer Faucett	5.6km	Y
	RP18	Mejora de la Av. Universitaria	2.7km	Y
	RP19	Construcción de la Av. Próceres de Independencia – Av. Grau	3.3km	N
	RP25	Paquete de Intersección 1	19 intersecciones	N
	RP28	Ampliación de las vías existentes en la zona construida	161km	N
	RP30	Construcción de las vías en la nueva zona de viviendas	202.8km	N
	RP31	Rehabilitación de la vía expresa	100 km	N
	RP32	Rehabilitación arterial	567 km	N
	RP33	Rehabilitación del colector	691 km	N
Administración de Transporte	MP01	Control de Señal de Tránsito	Sistema de Control de Área de Transporte. Sistema de Control de Transporte Sincronizado	N Y
	MP02	Mejora de Intersección	Parte de MP-01	N
	MP03	Plan de TDM	Elaboración del Plan Maestro de TDM	N
	MP04	Plan de Mejora de las Instalaciones o Facilidades de Seguridad de Transporte	Planificación de (1) puentes peatonales y (2) cruce peatonal en diagonal	N
	MP05	Control de estacionamiento o parqueo	Instalación de playas de estacionamiento con cobranza en la calle	N
	MP06	Plan de Sistema de Educación de Seguridad	Planificación incluyendo capacitación en el extranjero	N
	MP07	Plan de Monitoreo de Accidentes	Sistema de Auditoría de Seguridad de Transporte (TSAS)	N
		MP08	Inspección Vehicular	Inspección obligatoria

Nota: Estado Y = implementado, N = no implementado, P= parcialmente implementado

Fuente: El Equipo de Estudio de JICA en base al PMTU 2025

La Figura 7.12 muestra las ubicaciones de los proyectos implementados en el PMTU 2025.



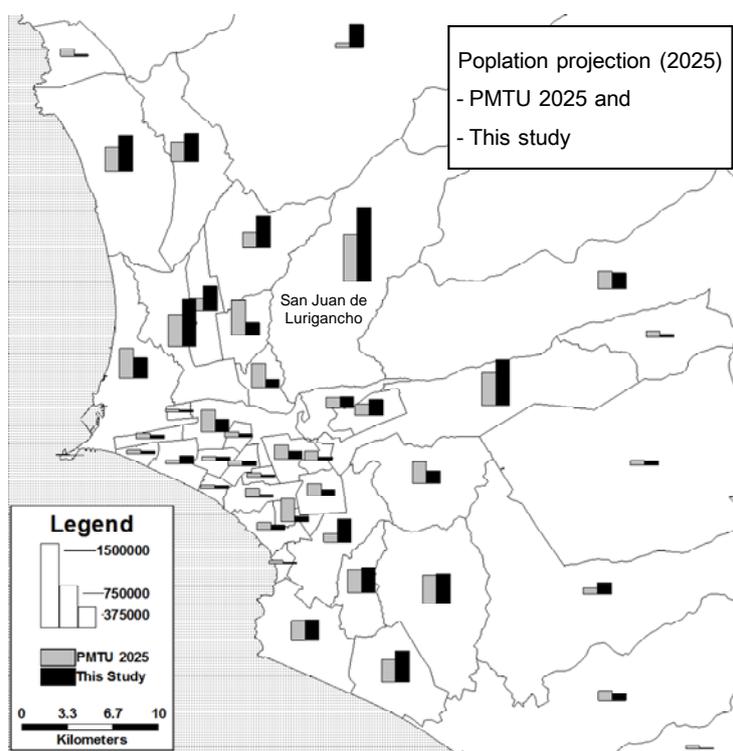
Fuente: El Equipo de Estudio de JICA, en base al PMTU 2025

Figura 7.12 Proyectos Implementados en la actualidad planteados en el PMTU 2025

7.8 Aspectos del Transporte Urbano

7.8.1 Expansión Urbana

El PMTU 2025 fue formulado basándose en la distribución de población futura, la cual fue estimada partiendo del plan de uso de suelo a futuro. Sin embargo, la tendencia del desarrollo urbano ha sido diferente al plan. Este estudio revisó la proyección de población y su distribución a futuro, reflejando la tendencia actual del desarrollo urbano. La Figura 7.13 muestra la comparación entre la proyección de población del PMTU2025 y el resultado de la revisión de ésta. Como se puede observar, los distritos de la zona norte, tales como San Juan de Lurigancho van a tener mayor población de la que se proyectó en el PMTU 2025. A partir de esta comparación, se concluye que el desarrollo de infraestructura en la zona de suburbios, particularmente en la zona norte, tiene mayor importancia que la indicada en el PMTU 2025.



Fuente: PMTU 2025 y Equipo de Estudio JICA

Figura 7.13 Proyección de Población del PMTU 2025 y su Revisión

7.8.2 Tiempo de Viaje de Trabajo

De acuerdo a la encuesta de viaje de persona, el tiempo promedio de viaje de trabajo (“al trabajo”) en todas las modalidades de transporte, es de 45 minutos aproximadamente. El tiempo promedio de viaje en bus es de 50 minutos aproximadamente. Se espera un incremento en el tiempo de viaje debido a la expansión del área urbana. La reducción en el tiempo de viaje es un asunto importante para los pasajeros de bus, tal como se constató mediante la encuesta realizada a pasajeros, dónde indican que es necesario proveerse de un sistema de transporte de alta velocidad, particularmente a los residentes en el área de suburbios.

7.8.3 Incremento de Pasajeros en Auto

Actualmente, la participación modal del transporte público dentro del transporte motorizado en Lima es alta, con un valor de 70%. Aunque se estima un incremento en el número de

autos a futuro, según se muestra en el Capítulo 4, el equipo de estudio JICA estima que la participación modal en las horas pico no variará debido a que la red de transporte masivo en el futuro mejorará el servicio de transporte público, asimismo, el congestionamiento de las calles principales se mantendrá igual. Sin embargo, existe la posibilidad de que la participación de autos pueda ser más alta que la estimada, debido a la rápida expansión del área urbana. Actualmente, la propiedad de autos en el área de suburbios es más baja que el área central. Debido a que el nivel de ingresos se está incrementando, el uso de autos aumentará en caso de no proveer un sistema de transporte público apropiado.

7.8.4 Capacidad Límite de Metropolitano

Desde la inauguración del Metropolitano en 2010, el cual hace su recorrido sobre el corredor con alta demanda, se ha mejorado significativamente la movilidad urbana de Lima. Su área de servicio es mayor que la de la Línea 1, tal como se describe en el Capítulo 3. De acuerdo al pronóstico de demanda, a futuro, se excederá la capacidad del Metropolitano aún cuando se implementen otros sistemas de transporte.

7.8.5 Cambio Modal

De acuerdo a la encuesta realizada a pasajeros, el 95% de pasajeros del Metropolitano y del Metro, han cambiado su modo desde transporte público, es decir, el pasajero de bus cambió al sistema de transporte masivo. Los usuarios de autos se concentran en el área central de la ciudad, donde los autos son más convenientes que el transporte público, tal como se muestra en el Capítulo 3. La red de transporte público debe formar una red densa para atraer a los usuarios de autos. El pronóstico de demanda, muestra que el congestionamiento en las avenidas principales se mantendrá en el futuro, aún cuando se implementen líneas del metro en el plan del MTC. Es necesario promocionar el cambio de modo privado a público para mejorar el congestionamiento vial. Facilidades para “Park & Ride” deben ser consideradas en la planificación de líneas del metro.

7.8.6 Transporte Intermodal

El Metropolitano atrae muchos pasajeros por tener un sistema de bus alimentador con estaciones terminales a gran escala. De acuerdo al pronóstico de demanda de transferencia entre bus y línea de tren (o monorriel) es conveniente. Debido a que la demanda de embarque de los usuarios de bus en las estaciones terminales de líneas del metro en el plan del MTC es grande, el desarrollo de una facilidad intermodal apropiada, es un tema importante. Adicionalmente, la integración tarifaria con sistemas de buses alimentadores y líneas de metro, debe ser considerada, ya que el pago adicional en las líneas del metro, a futuro, es una de las razones que la demanda de bus considera alto.

7.8.7 Transferencia en Estaciones

El pronóstico de demanda muestra que la demanda de transferencia entre líneas del metro en las estaciones de cruce, es muy alta, tal como describe en el Capítulo 5. Reducción del tiempo y distancia de caminata entre las estaciones es un tema importante, al igual que la capacidad de las estaciones.

7.8.8 Corredor de Transporte Nuevo

El estudio propuso la Línea 6 del Metro, a lo largo del corredor que fue identificado como ruta del sistema de bus troncal en el PMTU 2025. El estudio conceptual muestra que el sistema de monorriel es el mejor sistema para esta ruta. Se recomienda incluir la nueva ruta en el plan del metro.