

12.5. EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DEL PLAN ALTERNATIVO DE LA RED DE TRANSPORTE

12.5.1. PROCESO DE EVALUACIÓN

(1) Método de Evaluación

En la sección 12.4, se formulan las 15 redes alternativas del Plan Maestro en combinación con los proyectos de trenes y buses troncales. En esta sección, entre dichas alternativas, se elegirá la red del Plan Maestro y se estudiarán los proyectos con respecto a las instalaciones de líneas, sistema de operación, volumen de trabajo del proyecto, costo, etc. en el siguiente plan de sector del proyecto.

La Figura 12.5-1 muestra un flujograma del proceso de evaluación, que ilustra un proceso de elección para la red del Plan Maestro. La evaluación para seleccionar entre las 15 alternativas se realizó en base a ítems tangibles e intangibles. Los ítems tangibles están compuestos de la demanda de tránsito y pasajeros en 2025, un análisis costo-beneficio, la población cubierta por las redes alternativas, y el impacto ambiental. Existen algunos impactos sociales intangibles derivados de la implementación del proyecto del Plan Maestro. Sin embargo, es difícil realizar una evaluación detallada de esos impactos en el estudio del Plan Maestro. Por lo tanto, los impactos sociales generales se evalúan como ítems intangibles.

La evaluación comprensiva de las alternativas se realizó en un formato matriz, que muestra la interrelación entre las alternativas y los temas de evaluación. Por medio de la evaluación, se seleccionaron dos redes como candidatas para el Plan Maestro y después se escogió la Alternativa-N como el Plan Maestro considerando la capacidad de línea del sistema de buses troncales y el sistema de trenes en 2025 y años posteriores.

(2) Costo del Proyecto y Longitud de Alternativas

La Tabla 12.5-1 muestra el costo del proyecto y la longitud de las alternativas incluyendo la vía de buses, instalaciones de buses como paraderos y terminales, flotas para el sistema troncal de buses, e infraestructura, estaciones, rieles, trabajos eléctricos, centro de control de operaciones, coche, depósito y equipo para el sistema ferroviario. Los trabajos de construcción y los datos de costos se han obtenido de los datos de AATE para el tren y de Protransporte para el bus troncal.

Como se puede observar, la longitud total del caso del proyecto completo, Alternativa-O es aproximadamente 270km, de los cuales 133km son para el tren y 140km para el sistema troncal de buses. Su costo total es aproximadamente US\$ 6,000 millones, de los cuales US\$ 2,370 millones son costos de construcción vial, US\$ 2,800 millones son para el tren y US\$ 780 millones para el bus troncal.

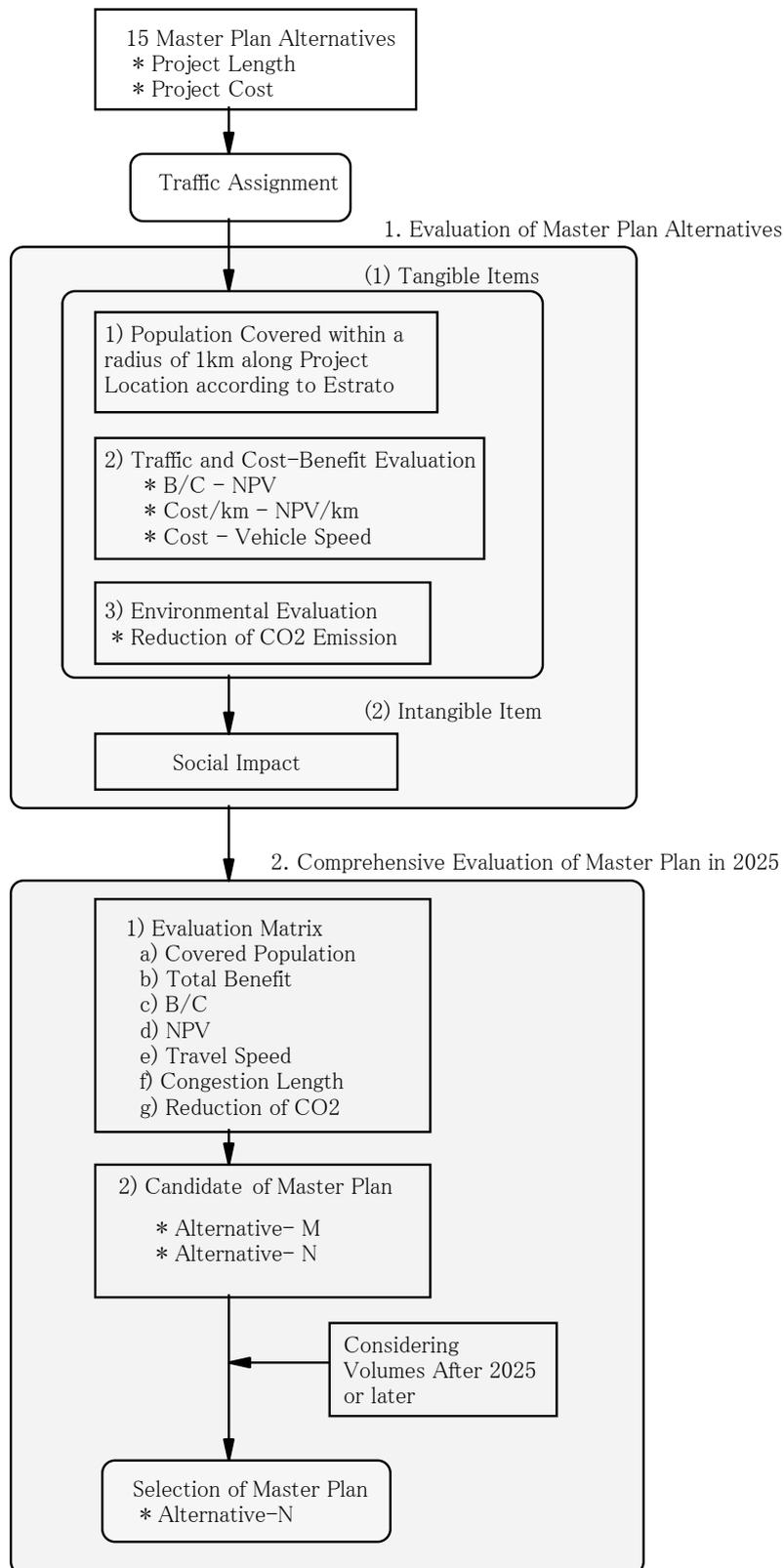


Figura 12.5-1 Proceso de Evaluación de las Alternativas del Plan Maestro

Tabla 12.5-1 Costo del Proyecto y Extensión de Alternativas

Caso	Longitud del Proyecto (km)			Costo del Proyecto (US\$1000)			Costo Total incluyendo Vía
	Tren	Bus Troncal	Total	Tren	Bus Troncal	Sub-Total	
Caso Base						2,373,725	2,373,725
Alternativa-A	53.7	0.0	53.7	1,345,050	0	1,345,050	3,718,775
Alternativa-B	96.3	0.0	96.3	2,024,900	0	2,024,900	4,398,625
Alternativa-C	133.0	0.0	133.0	2,844,200	0	2,844,200	5,217,925
Alternativa-D	0.0	64.8	64.8	0	552,480	552,480	2,926,205
Alternativa-E	40.7	64.8	105.5	1,016,100	540,480	1,556,580	3,930,305
Alternativa-F	96.3	77.4	173.7	2,024,900	540,040	2,564,940	4,938,665
Alternativa-G	133.0	53.5	186.5	2,844,200	387,690	3,231,890	5,605,615
Alternativa-H	0.0	133.7	133.7	0	878,795	878,795	3,252,520
Alternativa-I	53.7	122.4	176.1	1,345,000	716,405	2,061,405	4,435,130
Alternativa-J	96.3	91.3	187.6	2,024,000	594,730	2,618,730	4,992,455
Alternativa-K	133.0	67.4	200.4	2,844,200	452,580	3,296,780	5,670,505
Alternativa-L	0.0	215.7	215.7	0	1,202,955	1,202,955	3,576,680
Alternativa-M	53.7	204.5	258.2	1,345,000	1,156,515	2,501,515	4,875,240
Alternativa-N	96.3	192.8	289.1	2,024,900	950,640	2,975,540	5,349,265
Alternativa-O	133.0	140.0	273.0	2,844,200	780,700	3,624,900	5,998,625

12.5.2. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DEL PLAN MAESTRO

(1) Ítem Tangible

1) Población Cubierta

La Figura 12.5-2 muestra el ratio de la población cubierta de acuerdo a las redes alternativas, que es la población cubierta dentro de un radio de 1km a lo largo de la ubicación del proyecto de acuerdo al Estrato. Como se puede observar, el ratio de la población cubierta aumenta de acuerdo a una distancia de la red alternativa. La Alternativa-N tiene el máximo ratio de la población con aproximadamente 80%, mientras que la Alternativa-A tiene 30%. Las Alternativas-M, N y O, de la red completa, cubren 70-80% de la población total. Con respecto al Estrato E, aproximadamente 50% de la población total del Estrato E se encuentra cubierta en las Alternativas-M, N y O.

La Figura 12.5-3 muestra la población cubierta por la longitud de la red alternativa, que dividió la población cubierta por la longitud de la red alternativa. Como se puede observar, al ser más larga la red alternativa, la población cubierta es mayor. Las poblaciones cubiertas de las Alternativas-M, N y O son aproximadamente 28,000, 27,000 y 29,000, respectivamente.

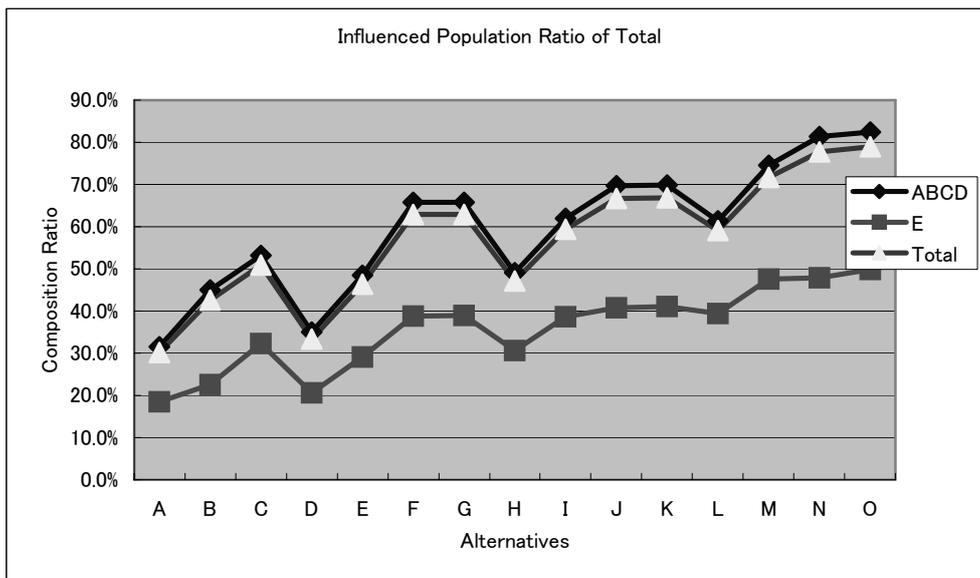


Figura 12.5-2 Ratio de la Población Cubierta por Alternativas

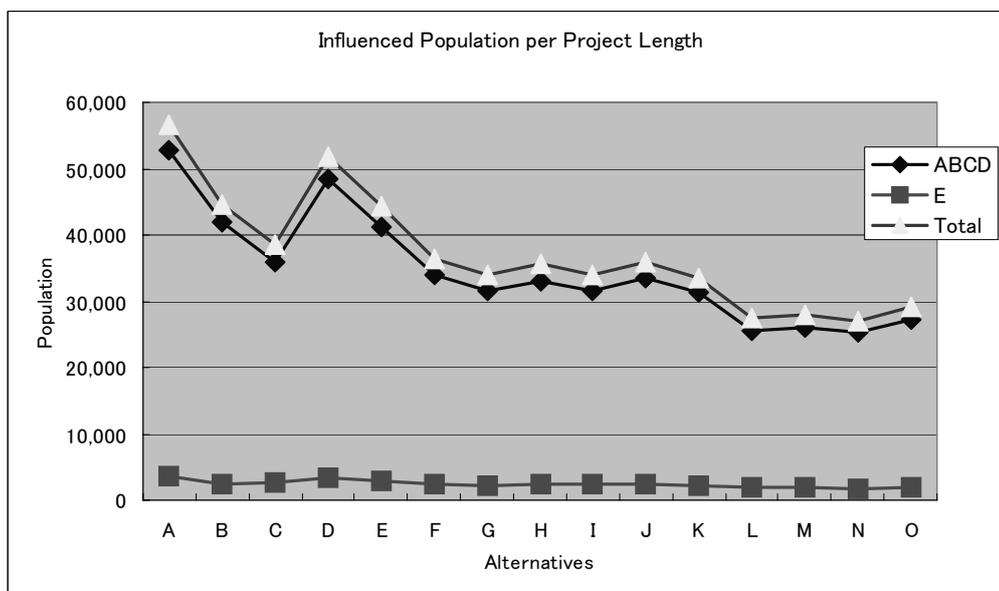


Figura 12.5-3 Población Cubierta por Longitud de la Red Alternativa

2) Evaluación de Tránsito y Costo-Beneficio

Los factores de evaluación de tránsito y costo-beneficio se muestran a continuación.

- Velocidad de viaje
- Pasajeros-km
- Pasajeros-hora
- UCP-km
- UCP-hora
- Número de buses y trenes despachados
- Análisis de costo y beneficio

La Tabla 12.5-2 muestra los resultados del análisis de costo y beneficio de acuerdo a las alternativas, analizados en base a los índices de tránsito y transporte mencionados anteriormente. Con respecto a la medición del beneficio, la diferencia de Costo de Operación Vehicular (COV) y Costo de Tiempo de Viaje (CTT) entre un caso base que es

la red de proyectos de 2025 sólo con proyectos viales, y el caso alternativo que es la red de proyectos de 2025 con proyectos viales y de transporte público se mide como un beneficio. Esto significa que sólo se mide el beneficio para los proyectos de transporte público compuestos de sistemas troncales de buses y trenes. Los valores unitarios de VOC y TTC se refieren tentativamente a los datos de AATE y Protransporte. En el análisis de costo y beneficio, el costo económico es estimado del costo del proyecto, que es 80% del costo financiero.

La evaluación de las alternativas utiliza los siguientes índices:

- $B/C - B-C$
- Costo/km – $(B-C)/\text{km}$
- Costo – Velocidad vehicular

La Figura 12.5-4 muestra la relación entre B/C y $B-C$ en la cual $B-C$ se muestra en el eje horizontal X contra B/C en el eje vertical Y. $B-C$ es la diferencia entre el beneficio y costo y B/C es un ratio entre el beneficio y costo. Como se puede observar, las alternativas con el mayor ratio B/C y un gran $B-C$ son las Alternativas-I, J, M, y N. De estas alternativas, las Alternativas-I y M tienen un mayor ratio B/C debido a los proyectos orientados hacia los buses troncales. Esto se debe a que el costo del proyecto de buses troncales es menor al del tren.

Por otro lado, debido a que la Alternativa-N se encuentra orientada hacia el proyecto del tren, el costo es mayor al del bus troncal. El ratio B/C es bastante bajo, mientras que el $B-C$ es mayor. Las alternativas orientadas hacia el tren tienen un mayor volumen de beneficios y un ratio B/C bastante bajo.

La Figura 12.5-5 muestra la relación entre el costo de inversión y la velocidad de los vehículos privados, en la cual el costo aparece en el eje horizontal X contra la velocidad en el eje vertical Y. La velocidad vehicular indica la velocidad de los vehículos privados en las vías. En los sistemas del bus troncal y el tren, debido a que la vía troncal de buses está construida en el medio, el bus troncal no opera en un carril de tránsito mixto en el cual circulan vehículos privados, y buses convencionales y alimentadores. Por lo tanto, en este sistema, la velocidad vehicular en el carril mixto aumentará. Como se puede observar, la velocidad aumenta gradualmente en contra de las alternativas orientadas hacia el tren. En comparación con el caso “sin”, la cual no cuenta con mejoras en la red de transporte, la velocidad en los casos alternativos es bastante más alta.

El nivel de servicio de los vehículos privados en las Alternativas-M, N y O debe ser mejorado, en comparación con las Alternativas-H y L orientadas hacia el bus troncal.

La Figura 12.5-6 muestra la relación entre el costo y beneficio por km. En la figura, una alternativa, que es un pequeño costo de inversión/km además de un gran beneficio/km, es más eficiente como una alternativa del Plan Maestro. Como se puede observar, aquellas alternativas son I, M y N.

La Figura 12.5-7 muestra el ratio de distancia con el ratio volumen-capacidad con más de 1.0 con la distancia total de la vía contra el costo de inversión del proyecto. Esto implica un ratio de distancia congestionado en las vías. Como se puede observar, mientras mayor es el costo de inversión, menor es el ratio de distancia vial con congestión de tránsito. Los ratios en las alternativas M y N son 12.7, respectivamente. Por otro lado, las alternativas I y J en las cuales la distancia del proyecto del tren es corta, en comparación con las alternativas M y N, son mayores con 14.6% y 14.0% en el ratio de distancia congestionada. Esto significa que el nivel de congestión vial en las alternativas I y J empeora, en comparación con las alternativas M y N. La Figura 12.5-21 y la Figura 12.5-23 muestran el volumen del tránsito y el ratio de volumen-capacidad en la vía por vehículos privado y bus convencional en las alternativas I y J. La Figura 12.5-27 y la Figura 12.5-29

lo muestran para las alternativas M y N. Aquellas figuras ilustran los segmentos de congestión en las vías.

Tabla 12.5-2 Análisis de Costo y Beneficio

Case	Total Benefit (VOC+TTC)	B/C	B-C (1000US\$)	Speed on Road	Ratio of Distance with a volume-capacity ratio of over 1.0
Alternative-A	1,435,259	1.75	2,416,859	14.2	18.0%
Alternative-B	1,794,881	1.79	3,131,629	15.0	16.5%
Alternative-C	2,234,520	1.82	3,986,212	15.8	15.2%
Alternative-D	823,549	1.37	880,613	13.7	20.4%
Alternative-E	1,658,260	1.90	3,095,709	14.5	16.5%
Alternative-F	2,141,494	1.86	3,919,179	15.4	14.5%
Alternative-G	2,366,578	1.78	4,090,762	15.9	14.4%
Alternative-H	1,242,229	1.80	2,182,227	14.6	18.2%
Alternative-I	2,249,086	2.22	4,884,849	16.0	14.6%
Alternative-J	2,363,344	2.03	4,736,875	16.2	14.0%
Alternative-K	2,368,678	1.76	4,029,323	15.8	14.1%
Alternative-L	1,741,423	2.24	3,803,889	15.5	15.6%
Alternative-M	2,523,754	2.23	5,495,861	17.2	12.7%
Alternative-N	2,604,114	2.07	5,303,624	17.5	12.7%
Alternative-O	2,577,306	1.79	4,500,058	16.7	12.9%

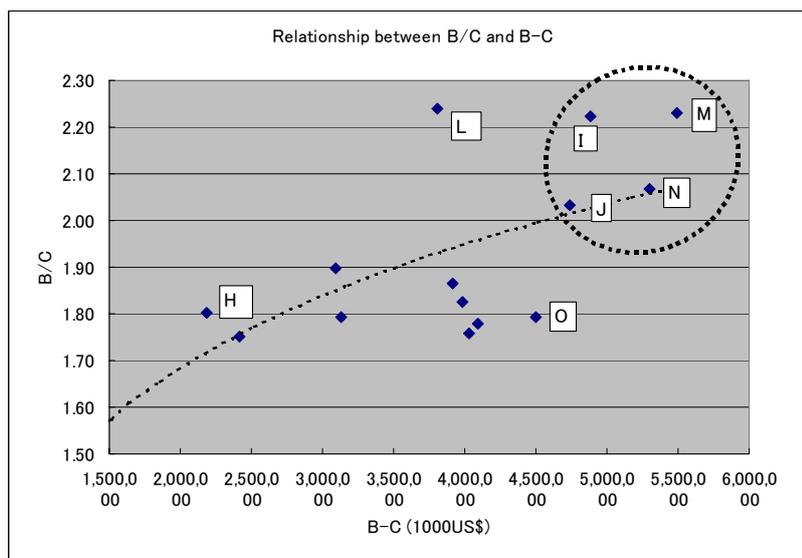


Figura 12.5-4 Relación entre B/C y B-C

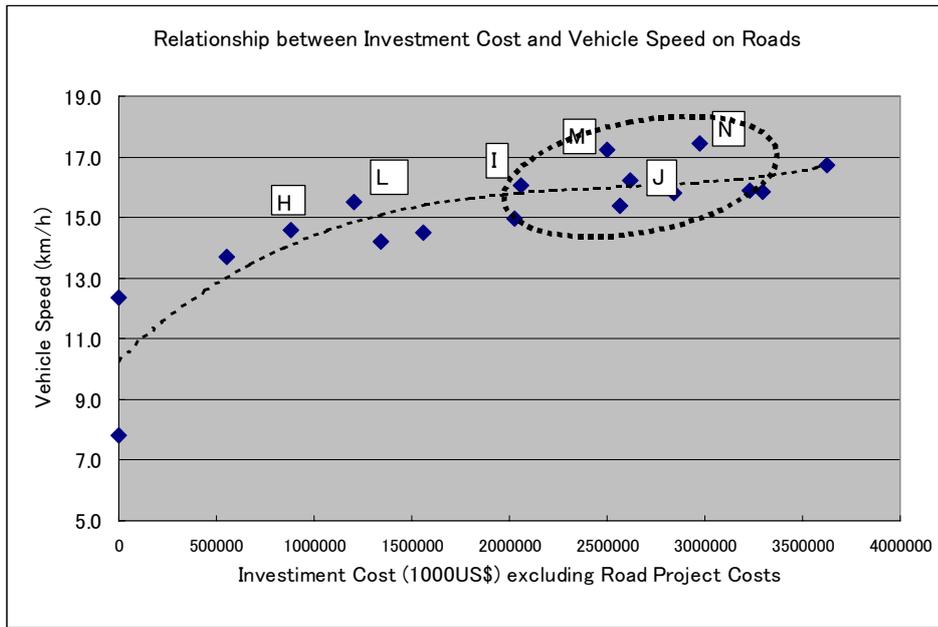


Figura 12.5-5 Relación entre Costo de Inversión y Velocidad Vehicular

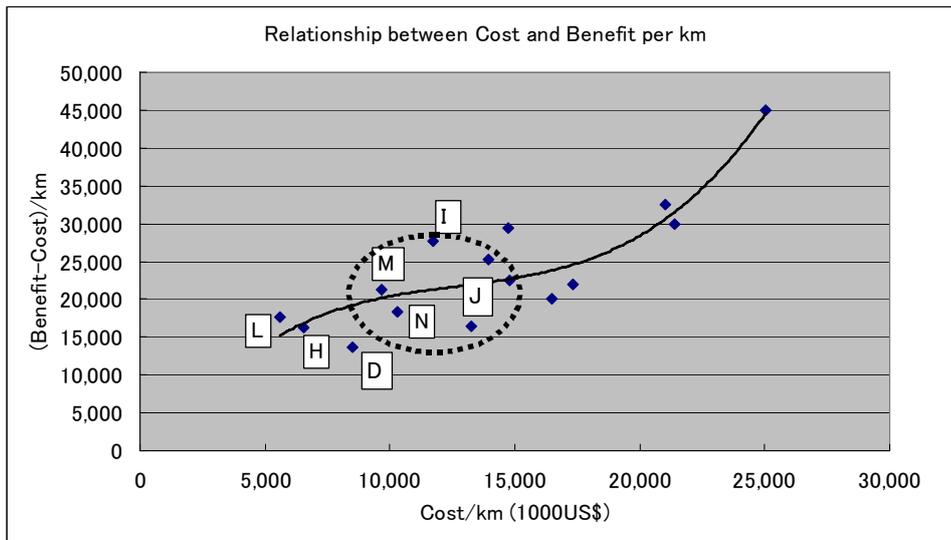


Figura 12.5-6 Relación entre Costo/km y Beneficio/km

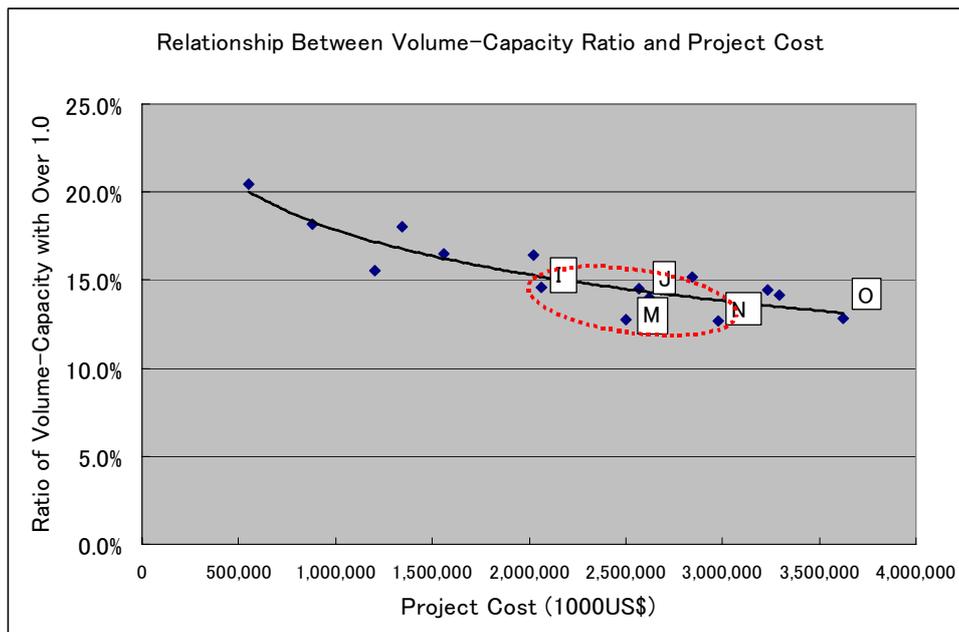


Figura 12.5-7 Relación entre Costo de Inversión y Ratio de Volumen-Capacidad

La Figura 12.5-8 muestra el número diario de buses y vagones de trenes despachados de acuerdo a las alternativas. Los buses convencionales despachados en las alternativas-H y I son aproximadamente 65% del total en el cual el bus convencional opera en carriles mixtos. El resto son buses troncales y trenes. En las alternativas-M, N y O, el ratio del bus convencional se reduce 45-60%, mientras que el ratio de buses troncales aumenta 35-50%.

En las futuras condiciones de transporte, la participación del transporte del bus troncal y el tren en las alternativas-M, N y O aumenta, mientras que la participación del bus convencional en las alternativas-H y I es mayor.

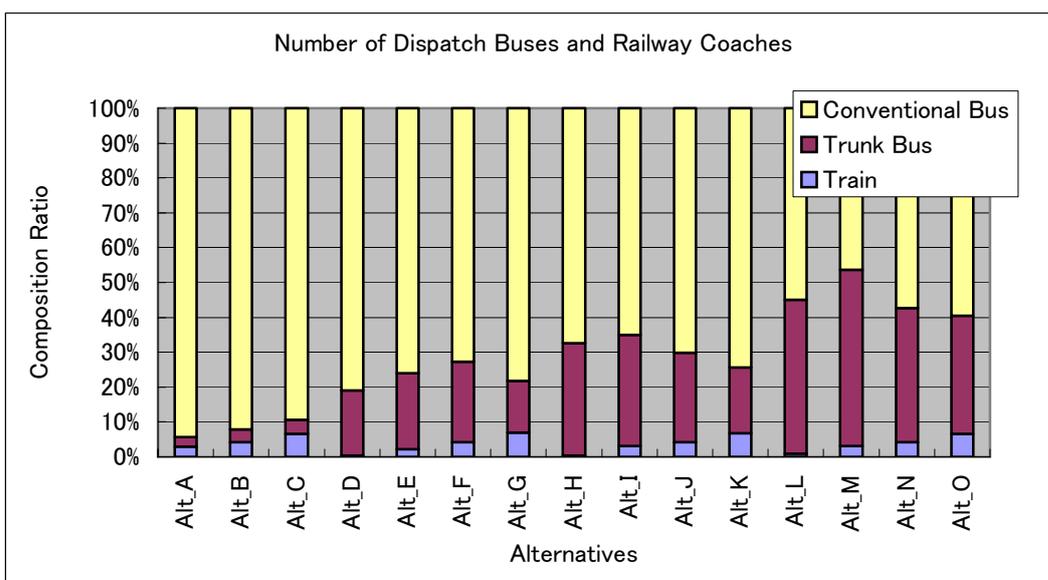


Figura 12.5-8 Número Diario de Buses y Vagones de Tren Despachados

3) **Evaluación Ambiental (Estudio Preliminar de Emisiones Vehiculares)**

El propósito de este estudio es el de evaluar las cantidades de emisiones vehiculares generadas por el tránsito regional en el futuro y las condiciones de transporte alrededor del Área Metropolitana de Lima y Callao, y realizar un estudio comparativo bajo los siguientes dos escenarios; i.e., **con-** y **sin** las nuevas vías y proyectos de sistemas de buses troncales y trenes propuestos para el Año 2025. En este caso, es preocupante la emisión de dióxidos de carbono (CO₂).

(a) **Calculo de Emisiones Vehiculares**

La cantidad diaria de contaminantes emitidos, W_s , se calcula de la siguiente manera,

$$W_s = \Sigma E_s \cdot CK \quad (1)$$

en donde E_s es el factor de emisión de contaminación ambiental de contaminantes específicos por tipo de vehículo, y CK es el resultado calculado (vehículo por kilómetros) del pronóstico de la demanda de tránsito y transporte, que se realizan bajo dieciséis distintos escenarios de desarrollo (ver el Capítulo 12 de este informe para información mas detallada). Acá se consideran cuatro tipos de vehículos distintos, como el carro de pasajeros, taxi, camión y bus.

Recientemente, se ha iniciado una serie de estudios de emisiones vehiculares en Perú (Comité Consultivo de la Calidad Ambiental para Lima y Callao, 2002). Sin embargo, aun no se ha resumido la información y/o parámetros de los factores de emisión de CO₂. Por lo tanto, se han utilizado factores de emisión vehicular resumidos en estudios actuales¹ dentro de este estudio. En general, la magnitud del factor de emisión de CO₂ de los vehículos antiguos tiende a ser mayor que el de los nuevos. Sin embargo, debido a la falta de información precisa sobre la antigüedad vehicular por tipo de vehículo, sólo se utiliza un tipo de factor de emisión para cada tipo de vehículo dentro de éste cálculo. Aun no existen, en el Perú, programas de mantenimiento/inspección vehicular a largo plazo, que especifiquen el tipo de vehículos en el futuro y la condición de la emisión vehicular, por lo tanto, se asume que no habrá un cambio significativo en la condición vehicular hasta el Año 2025.

El cálculo del beneficio ambiental que se obtendrá por la operación del proyecto de transporte propuesto se realiza evaluando la cantidad reducida de emisiones de CO₂, causada por el cambio de vehículo-kilómetro en el transporte en general.

(b) **Resultados y Discusiones**

En base a los procedimientos de evaluación mencionados anteriormente, se realiza el cálculo de la cantidad regional de CO₂ – carga de emisión vehicular en el Año 2025. La Figura 12.5-9 y Figura 12.5-10 muestran el resultado de los cálculos de la carga total de emisión vehicular de CO₂ y los beneficios ambientales (i.e. la reducción de la carga de CO₂ emitida) causados bajo diferentes escenarios, respectivamente. La Figura 12.5-11 muestra el resultado de los cálculos de la carga de emisión vehicular de CO₂ por tipo de vehículo. En estas figuras se puede observar que la carga de emisión vehicular del taxi será la mas significativa en los escenarios **Con** y **Sin**. Los montos de emisión-reducción vehicular de CO₂, que serán el resultado de la operación del proyecto de transporte propuesto en el Año 2025, varían entre 22,526 ton/día (reducción del 59 %: Alt-M) y 16,900 ton/día (reducción del 44 %: Alt-D).

Esta reducción se puede explicar por medio del siguiente razonamiento. Después del inicio de la operación del nuevo sistema de tránsito masivo, todo el transporte público, sea el sistema de buses o trenes, mejorará significativamente en comparación con las condiciones

¹ Oficina Ambiental, Municipalidad Metropolitana de Tokio, Estudio de Emisión Vehicular para las Futuras Demandas de Tránsito en el Área Metropolitana, 2000.

de transporte desorganizadas que existen actualmente. Entonces, algunos de los pasajeros de carros se cambiarán al sistema de tránsito masivo propuesto, siempre que las tarifas de los buses y trenes del sistema propuesto sean razonables para los usuarios del sistema de transporte público. Eventualmente, los volúmenes de tránsito de varias vías principales alrededor del Área Metropolitana de Lima y Callao disminuirán debido a éste cambio modal, y la severidad de las condiciones de tránsito actuales (por ejemplo, atascos de tránsito, seguridad vial y demás) serán aliviadas hasta cierto punto. Como resultado, todas las condiciones de tránsito y el ambiente vial alrededor del Área Metropolitana de Lima y Callao mejorarán (mayores detalles de los beneficios del proyecto de transporte propuesto se pueden encontrar en el Capítulo 12 de este informe).

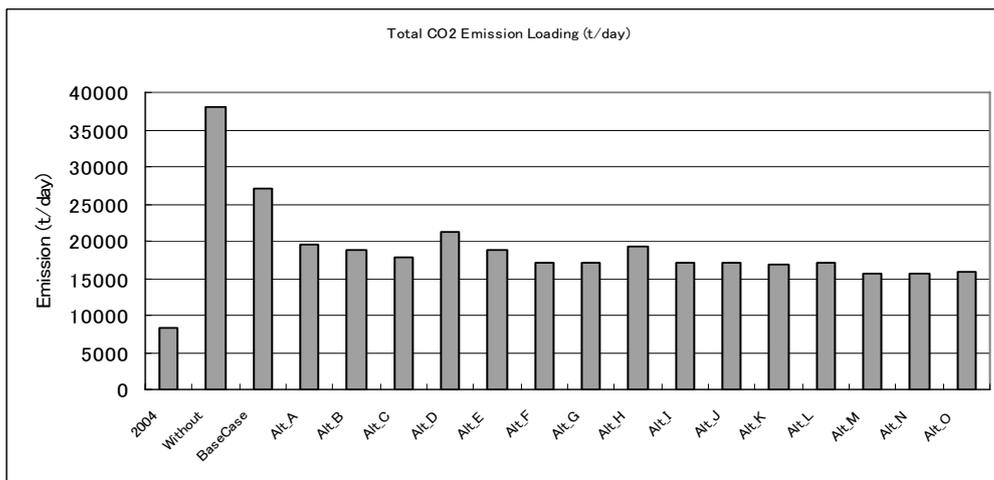
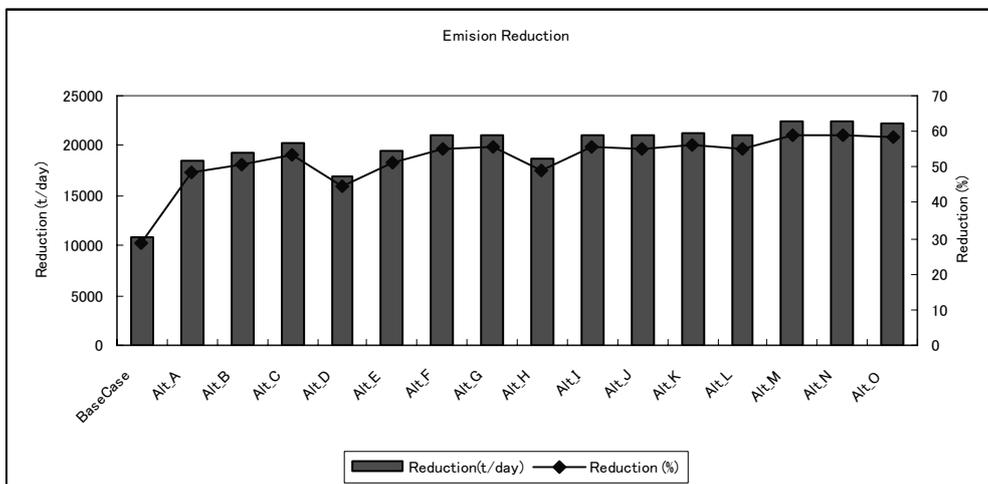


Figura 12.5-9 Carga de Emisión Vehicular de CO₂



Nota: Reducción (%) = 100 x (Emisión sin – Emisión con)/(Emisión sin)

Figura 12.5-10 Beneficio Ambiental (Reducción de Carga de Emisión Vehicular de CO₂)

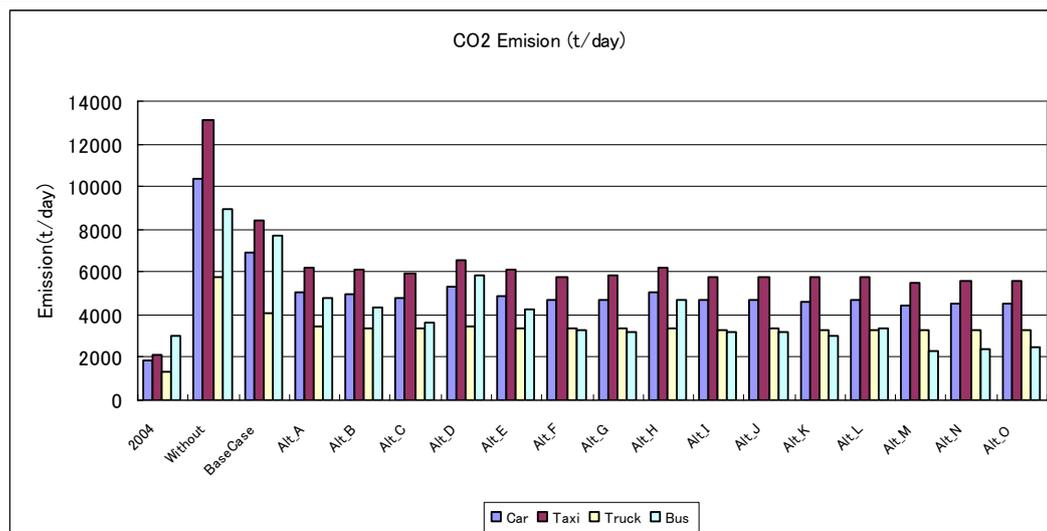


Figura 12.5-11 Carga de Emisión Vehicular de CO₂ por Tipo de Vehículo

(2) Ítem Intangible

La evaluación de las alternativas del Plan Maestro se realizó en función a los ítems tangibles, que están compuestos de la demanda de tránsito y pasajeros en 2025, un análisis de costo-beneficio, la población cubierta por las redes alternativas, y el impacto ambiental. Estos son los ítems más objetivos para indicar la efectividad de la inversión del proyecto. Sin embargo, existen varios ítems para considerar la evaluación de la inversión del proyecto aparte de estos ítems tangibles. Es difícil medir aquellos ítems desde el punto de vista socioeconómico. Uno de aquellos ítems es el impacto social derivado de la implementación del proyecto del Plan Maestro. Aparte de los ítems socioeconómicos, los impactos sociales son importantes en la evaluación del Plan Maestro.

Sin embargo, es muy difícil realizar una evaluación detallada para esos impactos en el estudio del Plan Maestro. Por lo tanto, los impactos sociales generales son evaluados de manera intangible debido a su difícil conversión al valor monetario.

Los proyectos alternativos en el Plan Maestro son el tren, el sistema de buses troncales y los proyectos viales. Los planes propuestos incluyen el hardware y software, como se detalla a continuación.

- Introducir un gran bus articulado con una mayor capacidad para aliviar la congestión de tránsito y los problemas de contaminación ambiental y sonora causados por las flotas de buses.
- Integrar una ruta de buses.
- Reorganizar una organización privada de buses.
- Construir una red de vías de buses segregadas de los vehículos privados para brindar una mayor velocidad de operación para los buses.
- Preparar una instalación de buses como un terminal de buses y paraderos de buses.
- Proponer un nuevo sistema tarifario.
- Preparar una ruta de buses alimentadores.
- Construir nuevas vías.

Como la intensidad de los impactos sociales derivados de los planes anteriores es similar por proyectos alternativos, se examinan los impactos sociales, no por las alternativas. Por lo tanto, no se emplea el impacto social en la evaluación de las alternativas.

Los impactos sociales están clasificados en dos: efectividad directa e indirecta. Los impactos se muestran a continuación.

1) **Efectividad Directa**

(a) Impacto de la introducción del gran bus articulado

El sistema de buses troncales introduce un gran bus articulado con una mayor capacidad. De acuerdo a la introducción del bus articulado, el número total de buses operados disminuye y la efectividad de la operación de los buses mejora. La situación del cambio hacia el bus pequeño es eliminada de acuerdo a la dirección del plan de mejoramiento de buses de la DMTU, que planea la introducción de buses grandes en lugar de buses pequeños por el crecimiento de los pasajeros en el futuro. Los buses pequeños (Micro bus y Camioneta rural) con una antigüedad de 10 años o menos operarán en las rutas de buses alimentadores. La reducción del número de buses que operan en las vías principales alivia la congestión del tránsito.

En Lima, la antigüedad promedio del Ómnibus, Microbús y Camioneta es de aproximadamente 20 años, 18 años y 15 años, respectivamente. El Ómnibus, con una antigüedad mayor a los 15 años, conforma el 78% del total. Por lo tanto, los buses antiguos son considerados chatarra debido a que no cuentan con el mantenimiento adecuado. Esto se debe a que las empresas de buses y los dueños no pueden afrontar los gastos del mantenimiento del bus y prefieren solventar la existencia de la empresa. Como resultado de estas situaciones, las condiciones ambientales empeoran. Específicamente, la contaminación ambiental y sonora es severa. La introducción del bus articulado mejorará las condiciones de la contaminación ambiental y sonora. De acuerdo a las encuestas de opinión de los pasajeros de buses, los pasajeros quieren que los buses antiguos desaparezcan.

Como el nuevo bus articulado se encuentra limpio a bordo, la seguridad en la flota de buses mejora. La encuesta de opinión de los pasajeros de buses indica que el problema de seguridad es actualmente el problema principal de los buses.

(b) Impacto de la integración de una ruta de buses

En las Municipalidades de Lima y Callao existen demasiadas y largas rutas de buses. Asimismo, la configuración de las rutas y la distancia de las rutas cambian en la ubicación de las rutas y en el largo de las rutas. Después, el nivel de servicio del bus, como la frecuencia de servicio, es gradualmente menor debido al aumento en el costo de operación. En general, se puede decir que una ruta con una distancia corta tiene una mejor eficiencia operativa. Desde ese punto de vista, la eficiencia operativa en Lima empeora.

Al construir las vías de buses troncales en las principales vías, las rutas de buses convencionales asignadas a esas vías deberán ser reorganizadas, eliminando aquellas que se dupliquen con las líneas de buses troncales, además de las rutas con poca demanda. El bus convencional operará en las rutas de buses convencionales acortadas e integradas. La integración de la ruta mejorará la eficiencia operativa. Asimismo, la integración de la ruta influencia a los usuarios al principio, y luego los satisface gradualmente.

La operación del sistema de buses troncales ofrece un alto rendimiento y requiere medidas operativas especiales. Es necesario considerar la creación o reformulación de una organización metropolitana de administración de transporte para la operación del sistema de buses troncales. Las empresas operadoras del sistema de buses troncales propondrán rutas o líneas de buses troncales como candidatas en una oferta pública. Bajo esta situación se reformulará la reorganización o consorcio de las empresas operadoras de buses troncales. Las grandes empresas y consorcios estarán preparadas en el futuro y serán reforzadas económicamente.

Actualmente, las empresas de buses están obligadas a operar bajo una gran competencia con otras empresas. Esto significa que la eficiencia de la operación del bus empeora. Las empresas de buses suelen tener problemas administrativos relacionados con los balances de ingresos y gastos. Bajo el sistema de buses troncales, como se introduce el nuevo sistema de tarifas de buses, el conductor no se peleará por subir a los pasajeros en los paraderos de buses. Por lo tanto, la competencia operativa con otras empresas desaparecerá y la seguridad del tránsito mejorará. En esta condición, el balance de los ingresos será mejor. Las condiciones financieras bajo la operación del sistema de buses troncales se presentarán en otro estudio posterior.

(c) Impacto de la introducción del tren y el sistema de buses troncales

La introducción del tren y el sistema de buses troncales afecta a los empleados de las empresas de transporte. Los conductores y cobradores de las flotas de buses perderán sus trabajos debido a la reducción de los buses en operación. Sin embargo, para poder tener un alto rendimiento en el sistema de buses troncales y alimentadores, se necesita un sistema de boletaje eficiente. Existe un sistema de boletaje inteligente antes de subir a los buses. Este sistema ofrece la posibilidad de reducir el tiempo de servicio de los pasajeros y, por lo tanto, reducir el tiempo de espera de los buses y aumentar la velocidad comercial.

El sistema de boletaje propone vender los boletos en las tiendas ubicadas al exterior de las flotas de buses, como kioscos, puestos de periódicos y paraderos de buses. El sistema requiere a un controlador de boletos en la estación ferroviaria y en el paradero de buses, cuyas instalaciones brindarán entradas y ventanas de boletaje para dividir a los pasajeros y otros. De acuerdo al sistema operativo, el sistema nuevo requiere una reorganización del personal. Es indispensable cambiar a los conductores y cobradores sobrantes a nuevas posiciones de trabajo.

De acuerdo a lo anterior, será posible controlar el impacto al empleo.

(d) Impacto de la preparación de una ruta del bus alimentador para la gente pobre

En el sistema de buses troncales y alimentadores propuesto, el sistema de buses alimentadores es indispensable. Especialmente, una red de buses alimentadores y un sistema de tarifas son temas importantes de acuerdo al resultado de la encuesta a la gente pobre realizada en el estudio.

De acuerdo a la encuesta, los viajes de la gente pobre que se encuentran a una distancia que se puede caminar se realizan por este modo, no por medio de otros modos debido a las tarifas y a las malas rutas de buses. La gente pobre camina una mayor distancia que las demás personas. Las demandas del transporte de buses son principalmente dos: una es mejorar las rutas de buses y la otra es un problema de tarifas. Por lo tanto, existen dos propuestas para la gente pobre: una es preparar la red de rutas de buses alimentadores para responder a la demanda, y la otra es proponer una tarifa menor del bus alimentador.

La preparación de la ruta de buses alimentadores con una tarifa menor extiende el comportamiento de un vendedor ambulante que camina un promedio de 20 minutos o más. Los viajes diarios de estas personas mejorarán.

Con respecto a la tarifa del bus alimentador, será necesario realizar otro estudio en el futuro.

(e) Impacto del Plan Maestro en los accidentes de tránsito

La implementación de los proyectos del Plan Maestro reduce los accidentes de tránsito en toda el área del estudio. En el estudio del Plan Maestro, es difícil estimar la reducción de accidentes cuantitativamente. Esto se debe a que el análisis de la relación

entre el ratio de accidentes generados y las condiciones de tránsito, en base a datos pasados, es difícil.

Sin embargo, la reducción de accidentes de tránsito se puede encontrar generalmente de acuerdo a los contenidos de los proyectos, como se muestra a continuación.

- Para reducir los accidentes de tránsito entre buses troncales y vehículos privados porque el bus troncal opera en la vía de buses, segregando a los buses de los vehículos privados.
- Para reducir accidentes de tránsito entre buses troncales porque el bus troncal opera en la vía de buses segregada, en la cual el bus no puede ser sobrepasado por otros buses.
- Para reducir los accidentes de tránsito que involucren a pasajeros y peatones porque el bus troncal para en un paradero de buses. Actualmente, los pasajeros de buses abordan y descienden de los buses en cualquier lugar, al levantar su mano como una señal en la vereda al acercarse el bus, debido a que sólo existen paraderos de buses en vías específicas. Por lo tanto, bajo el sistema de buses troncales, el potencial de accidentes de tránsito será menor al abordar y descender.

2) *Efectividad Indirecta*

(a) Impacto de la construcción en el empleo

Se promoverá el empleo debido a la construcción de los proyectos. Particularmente, al implementar los proyectos del Plan Maestro, el empleo aumenta debido a la construcción y las empresas materiales aumentan sus ventas. Debido a que aumenta la demanda de los trabajadores de construcción como medida económica para la gente pobre, el problema del desempleo será aliviado.

La estimación del volumen de trabajadores de construcción para los proyectos relacionados se realizará en un estudio posterior.

(b) Impacto del desarrollo de la estación del tren y el terminal de buses

Los proyectos del Plan Maestro construyen estaciones ferroviarias y terminales de buses casi al final de las rutas de buses. La construcción de estas instalaciones acelera el desarrollo de las instalaciones comerciales cerca de esas áreas, además del empleo en la industria del servicio. El área alrededor de aquellas instalaciones se convertirá en área residencial y aumentará la población y la demanda de viajes. Como resultado, aumentará el valor de las propiedades.

12.5.3. EVALUACIÓN COMPRENSIVA DEL PLAN MAESTRO EN 2025

(1) **Matriz de Evaluación**

Las alternativas de las redes del Plan Maestro han sido seleccionadas comprensivamente desde el punto de vista del tránsito (mejoramiento de la velocidad de viaje, alivio de la congestión de tránsito), económico (análisis de costo-beneficio) y efectividad ambiental (reducción del CO₂).

Para poder demostrar un procedimiento claro del método de selección, se muestran los ítems tangibles de evaluación en un formato matriz, que es la interrelación entre escenarios alternativos e ítems de evaluación. Los ítems de evaluación se muestran a continuación:

- (a) Población cubierta
- (b) Beneficio total
- (c) B/C

- (d) VAN
- (e) Velocidad de viaje en la vía
- (f) Largo de congestión
- (g) Reducción de CO2

La Tabla 12.5-1 resume los ítems de evaluación por escenarios alternativos, cuyos ítems ya se muestran en las secciones respectivas. La Tabla 12.5-2 muestra la matriz de evaluación, en el cual el valor máximo entre las alternativas en cada ítem otorga 15 puntos y el siguiente rango otorga 14 puntos. El valor mínimo otorga 1 punto. La suma de 7 ítems sin el factor de peso se define como una evaluación comprensiva.

Como se puede observar, la evaluación con el mayor puntaje es la alternativa-N, que obtiene 99 puntos. La siguiente es la alternativa-M con 98 puntos.

Tabla 12.5-1 Ítems de Evaluación por Escenarios Alternativos

Alternatives	Total Cost including Road (1000US\$)	Covered Population	Total Benefit (VOC+TTC) (1000US\$)	B/C	NPV (1000US\$)	Speed on Road (km/h)	Ratio of Distance with a volume-capacity ratio of over 1.0	Reduction of CO ₂ Vehicular Emission	
								Ton/day	Reduction Ratio (%)
Alternative-A	3,718,775	3,036,540	1,435,259	1.75	2,416,859	14.2	18.0%	19,532	48.7
Alternative-B	4,398,625	4,289,224	1,794,881	1.79	3,131,629	15.0	16.5%	18,786	50.7
Alternative-C	5,217,925	5,127,367	2,234,520	1.82	3,986,212	15.8	15.2%	17,743	53.4
Alternative-D	2,926,205	3,363,241	823,549	1.37	880,613	13.7	20.4%	21,178	44.4
Alternative-E	3,930,305	4,670,322	1,658,260	1.90	3,095,709	14.5	16.5%	18,663	51.0
Alternative-F	4,938,665	6,328,780	2,141,494	1.86	3,919,179	15.4	14.5%	17,072	55.2
Alternative-G	5,605,615	6,326,776	2,366,578	1.78	4,090,762	15.9	14.4%	16,981	55.4
Alternative-H	3,252,520	4,751,466	1,242,229	1.80	2,182,227	14.6	18.2%	19,327	49.2
Alternative-I	4,435,130	5,987,184	2,249,086	2.22	4,884,849	16.0	14.6%	16,957	55.5
Alternative-J	4,992,455	6,712,582	2,363,344	2.03	4,736,875	16.2	14.0%	17,040	55.2
Alternative-K	5,670,505	6,729,820	2,368,678	1.76	4,029,323	15.8	14.1%	16,736	56.0
Alternative-L	3,576,680	5,948,597	1,741,423	2.24	3,803,889	15.5	15.6%	17,094	55.1
Alternative-M	4,875,240	7,220,887	2,523,754	2.23	5,495,861	17.2	12.7%	15,553	59.2
Alternative-N	5,349,265	7,834,618	2,604,114	2.07	5,303,624	17.5	12.7%	15,688	58.8
Alternative-O	5,998,625	7,954,125	2,577,306	1.79	4,500,058	16.7	12.9%	15,817	58.5

Tabla 12.5-2 Matriz de Evaluación por Escenarios Alternativos

	1) Covered Population	2) Total Benefit (VOC+TTC)	3) B/C	4) NPV	5) Speed	6) Ratio of Distance with a volume-capacity ratio of over 1.0	7) Reduction of CO ₂ (Ton/day)	Total 1) to 7)	Rank
Alternative-A	1	3	2	3	2	3	2	16	14
Alternative-B	3	6	5	5	5	5	4	33	12
Alternative-C	6	8	8	8	8	7	6	51	10
Alternative-D	2	1	1	1	1	1	1	8	15
Alternative-E	4	4	10	4	3	4	5	34	11
Alternative-F	10	7	9	7	6	9	8	56	8
Alternative-G	9	11	4	10	10	10	10	64	7
Alternative-H	5	2	7	2	4	2	3	25	13
Alternative-I	8	9	13	13	11	8	11	73	5
Alternative-J	11	10	11	12	12	12	9	77	4
Alternative-K	12	12	3	9	9	11	12	68	6
Alternative-L	7	5	15	6	7	6	7	53	9
Alternative-M	13	13	14	15	14	14	15	98	2
Alternative-N	14	15	12	14	15	15	14	99	1
Alternative-O	15	14	6	11	13	13	13	85	3

(2) Selección del Plan Maestro

Dos (2) candidatas para las alternativas de la red del Plan Maestro son la No. M y N, que son planes combinados de buses troncales y trenes. Considerando los volúmenes después de 2025 o años posteriores, se escogió la **alternativa-N** como la red del Plan Maestro. Se

realiza un estudio mas profundo de la alternativa-N en la demanda de tránsito en la hora pico y se formula el Plan Maestro.

Figura 12.5-12 a Figura 12.5-30 para mostrar los volúmenes diarios de pasajeros en los sistemas de buses troncales y trenes en 2025 en las alternativas A hasta la O. En esas figuras, se muestra el volumen del tránsito en cada instalación de transporte por medio de una banda angosta, cuyo ancho es proporcional al volumen de pasajeros asignado. Los volúmenes diarios de pasajeros de tren se muestran en verde y los volúmenes diarios de pasajeros de buses troncales se muestran en rojo.

Los motivos principales de la selección de la Alternativa-N (Alt-N) para el Plan de la Red de Transporte se resumen a continuación,

- a) De acuerdo al estudio comparativo de reducción de emisión vehicular entre el caso Con Proyecto y el caso Sin Proyecto, la Alternativa-N presenta un alto porcentaje de reducción (57%) en comparación al caso Sin Proyecto entre las 15 Alternativas. La evaluación de los otros impactos ambientales naturales y sociales tiene casi el mismo valor en las 15 alternativas.
- b) De acuerdo al análisis del ratio de costo-beneficio (B/C), la Alternativa-N presenta un ratio alto ($B/C=2.07$) entre las 15 Alternativas.
- c) La Alternativa-N presenta los mayores beneficios (B), además del segundo Valor Actual Neto (VAN) entre las 15 Alternativas.
- d) La Alternativa-N presenta la mayor velocidad de viaje en las vías entre las 15 Alternativas.

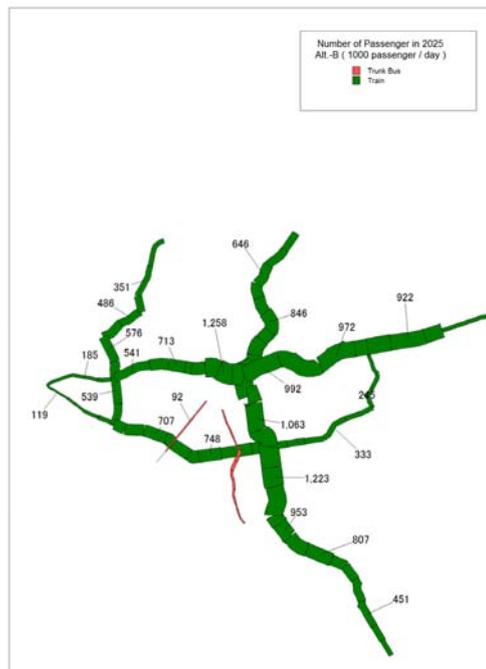
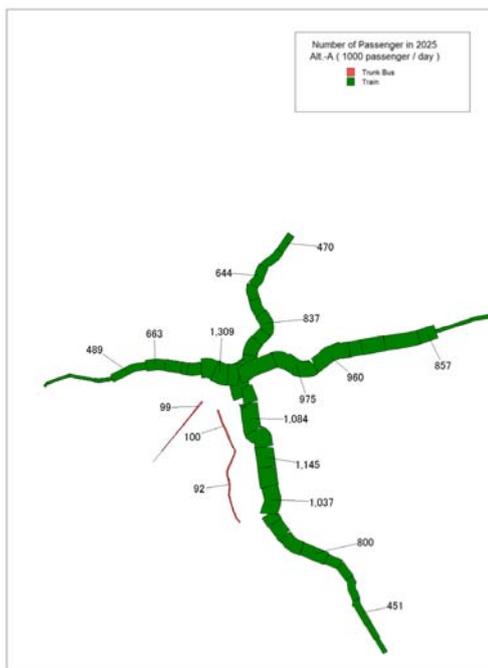


Figura 12.5-12 Volúmenes Diarios de Pasajeros. en Alternativa-A Figura 12.5-13 Volúmenes Diarios de Pasajeros en Alternativa-B

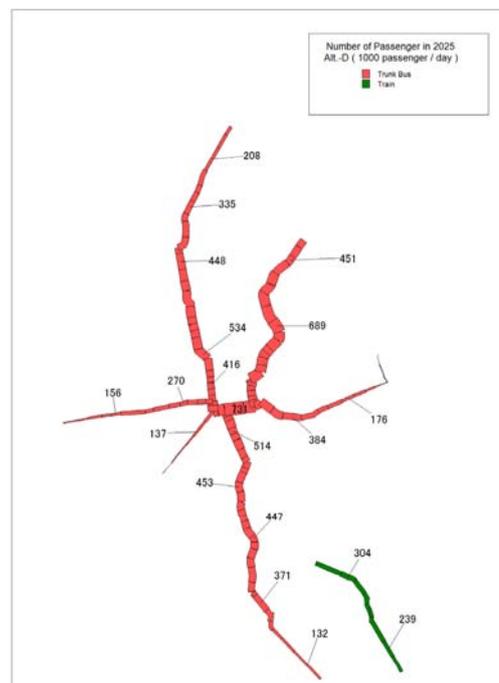
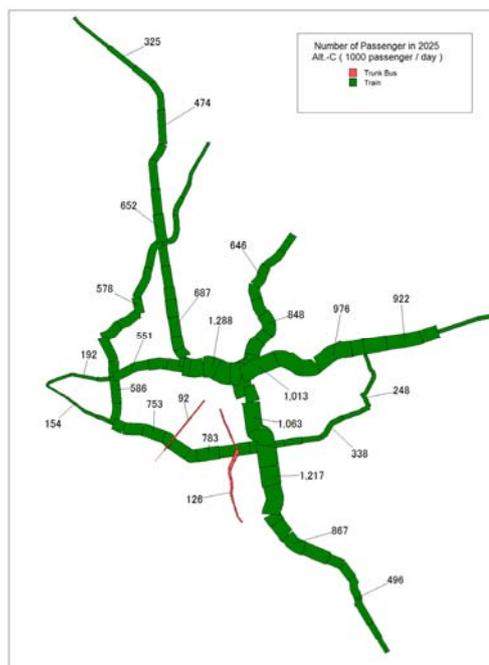


Figura 12.5-14 Volúmenes Diarios de Pax en Alternativa-C Figura 12.5-15 Volúmenes Diarios de Pax en Alternativa-D

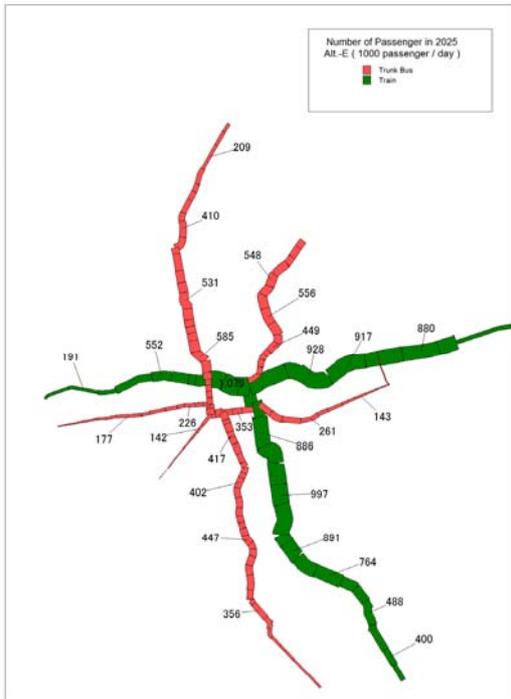


Figura 12.5-16 Volúmenes Diarios de Pasajeros en Alternativa-E

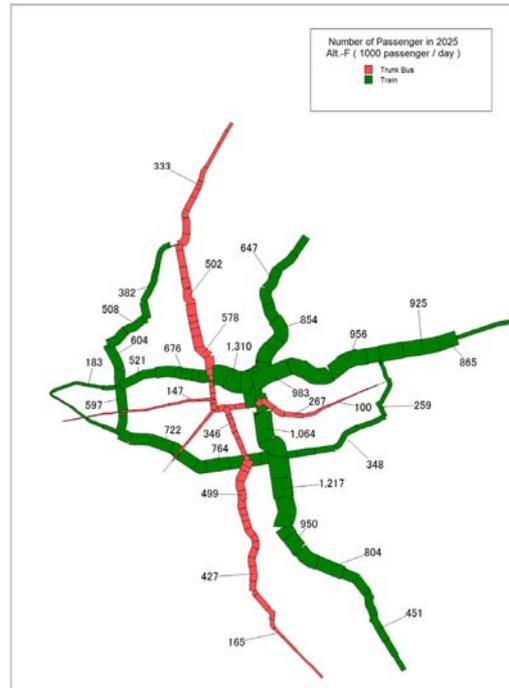


Figura 12.5-17 Volúmenes Diarios de Pasajeros en Alternativa-F

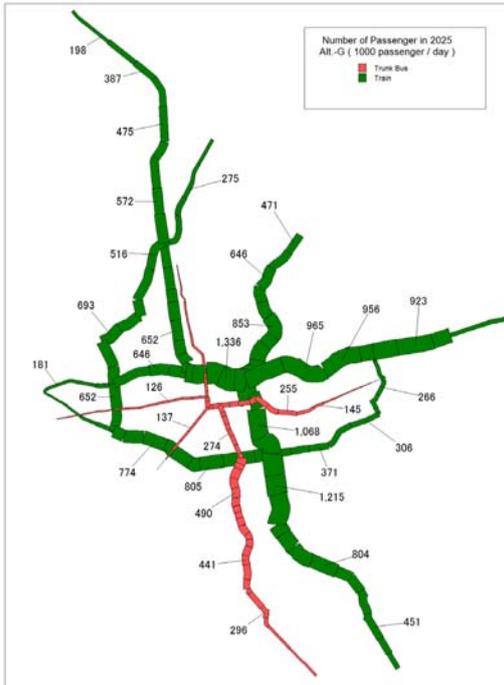


Figura 12.5-18 Volúmenes Diarios de Pasajeros en Alternativa-G

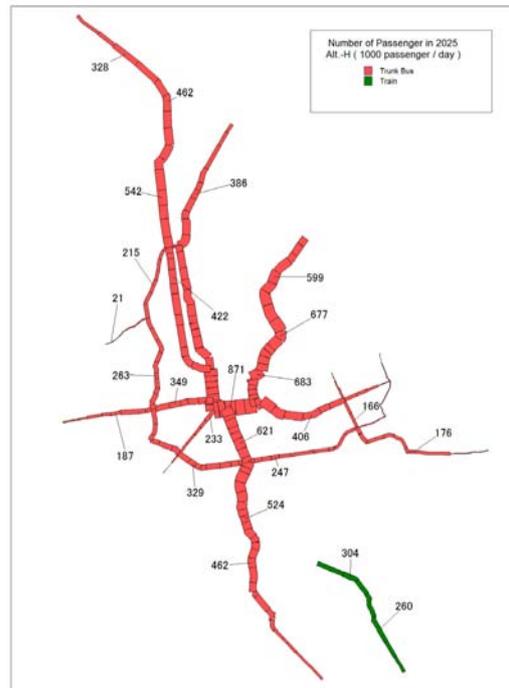


Figura 12.5-19 Volúmenes Diarios de Pasajeros en Alternativa-H

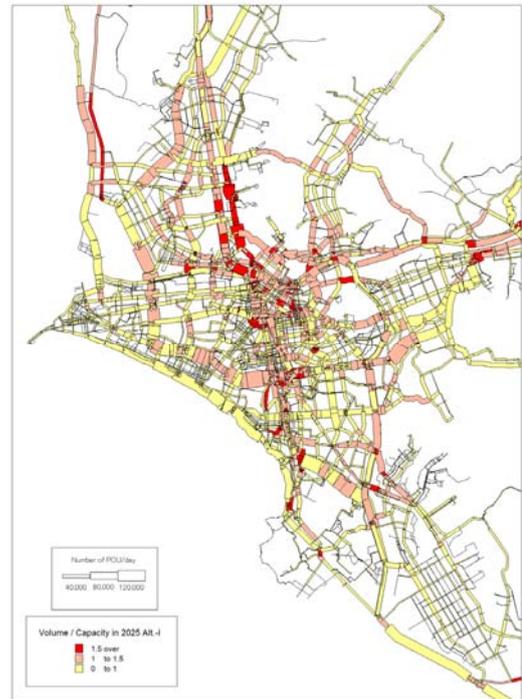
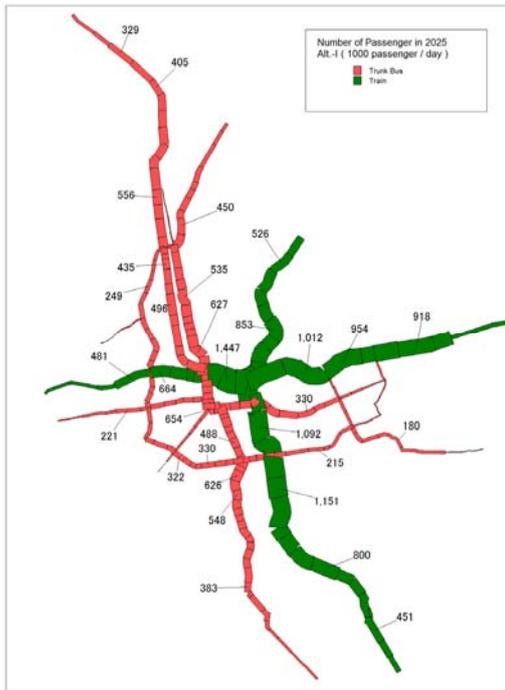


Figura 12.5-20 Volúmenes Diarios de Pasajeros en Alternativa-I Figura 12.5-21 Volúmenes Diarios de UCP en la Vía en Alternativa-I

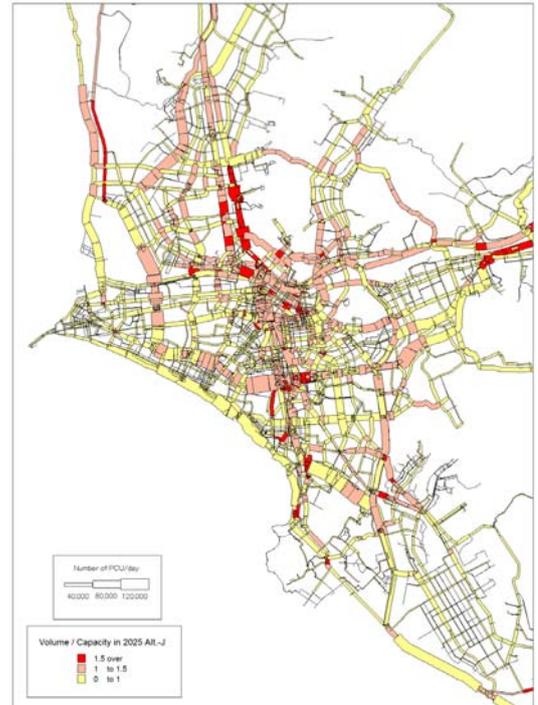
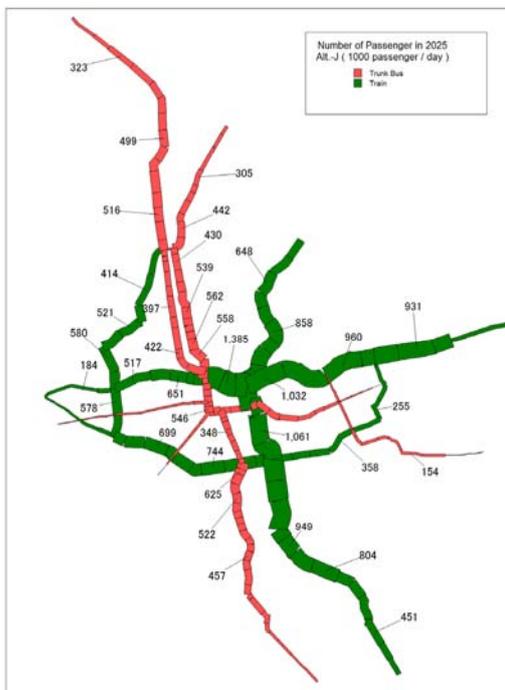


Figura 12.5-22 Vol. Diarios de Pasajeros en Alternativa-J Figura 12.5-23 Vol. Diarios de UCP en la Vía en Alternativa-J

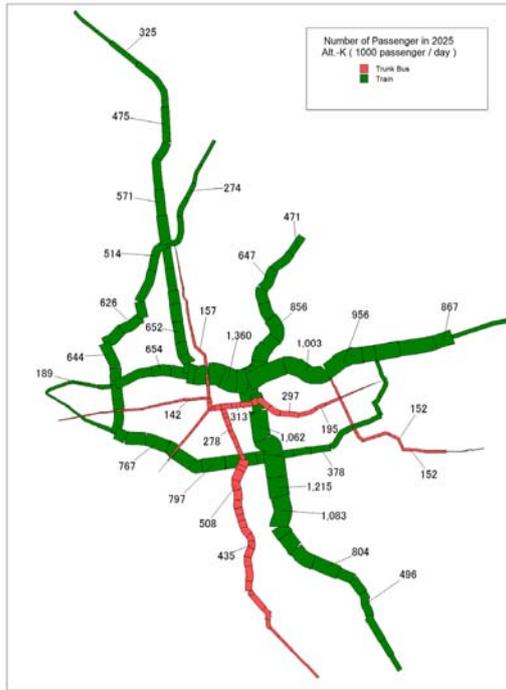


Figura 12.5-24 Volúmenes Diarios de Pasajeros en Alternativa-K

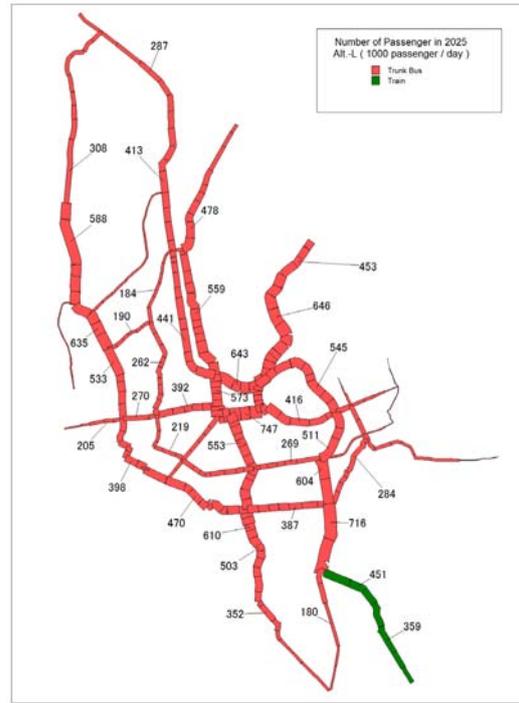


Figure 12.5-25 Volúmenes Diarios de Pasajeros en Alternativa-L

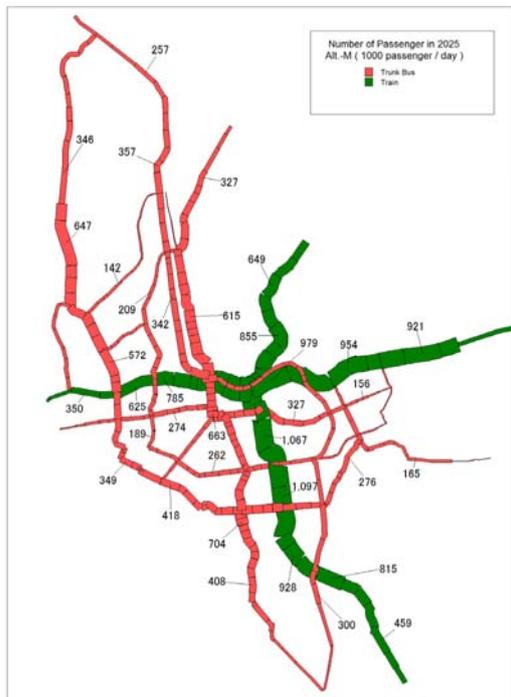


Figura 12.5-26 Vol. Diarios de Pasajeros en Alternativa-M

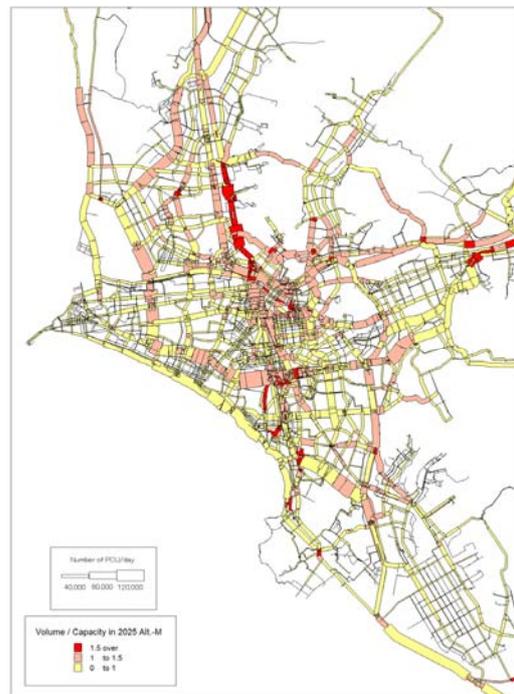


Figura 12.5-27 Vol. Diarios de UCP en la Vía en Alternativa-M

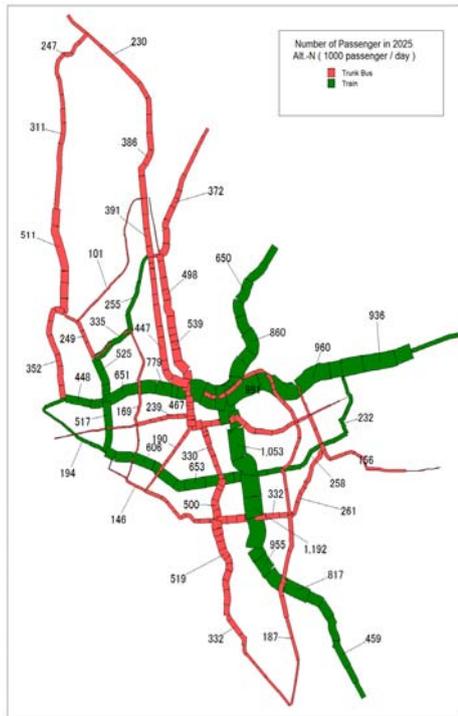


Figura 12.5-28 Volúmenes Diarios de Pasajeros en Alternativa-N

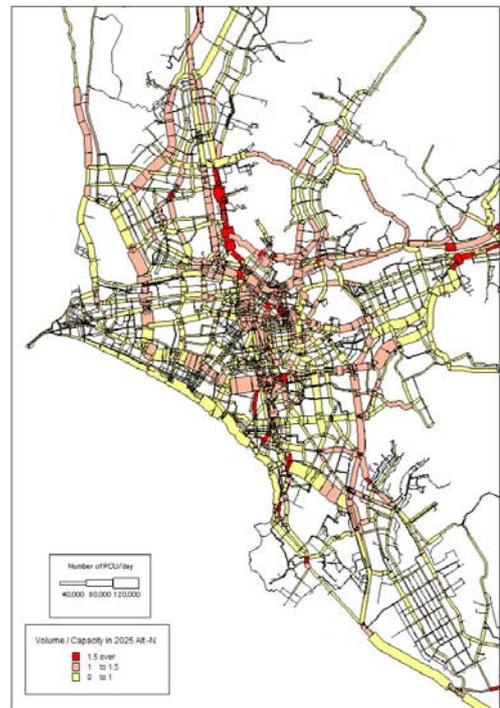


Figura 12.5-29 Volúmenes Diarios de UCP en Alternativa-N

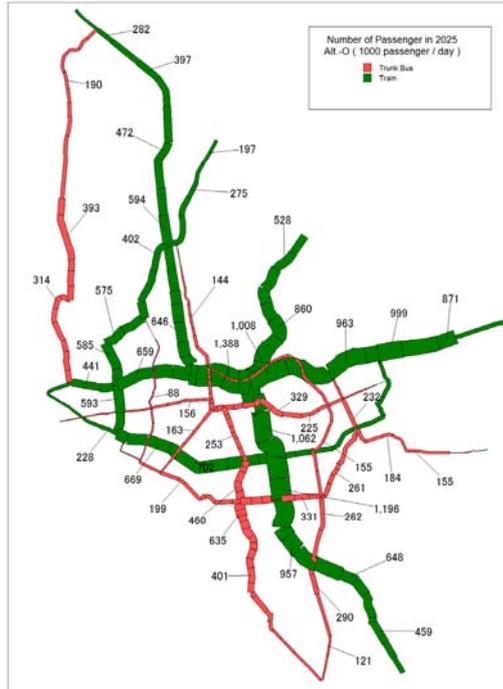


Figura 12.5-30 Volúmenes Diarios de Pasajeros en Alternativa-O

12.5.4. VERIFICACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE ALTERNATIVA POR MEDIO DEL ANÁLISIS GIS

(1) Introducción

1) *Evaluación en el Estudio del Plan Maestro*

En el estudio del Plan Maestro, la encuesta de viajes de personas es una de las herramientas más comunes que brinda información acerca de los viajes realizados en el área del estudio. Los datos de viajes obtenidos por la encuesta de viajes de personas, en general, son agregados a una zona para elaborar las matrices de Origen y Destino (OD) que son utilizadas para pronosticar la demanda. Las zonas aplicadas en el Estudio dividen a los distritos en un promedio de siete a ocho áreas. Por otro lado, en la Sección 12.5.2, se realiza el estudio de la Red Alternativa de Transporte en función a una variedad de análisis y evaluaciones, como la selección de la alineación del proyecto, pronóstico de la demanda, balance entre la demanda y la oferta, factibilidad del proyecto en cuanto a ingresos, etc. En algunos casos, el análisis no sólo necesita la información agregada, como las matrices OD, pero también información espacial más detallada. El análisis GIS (Sistema de Información Geográfica) ha atraído la atención desde este punto de vista porque puede brindar información espacial y presentación visual. Se han realizado esfuerzos anteriores para brindar un análisis más detallado utilizando el sistema GIS y se ha brindado información basada en el sistema GIS en el estudio.

2) *Base de Datos Disponible*

Se han preparado las siguientes bases de datos para el análisis:

- a) Red
- b) Matriz de Origen y Destino
- c) Información en Bloque

Una red de datos representa una estructura de transporte existente y planificado para una ciudad, en la cual existen vínculos y nodos. Los nodos representan la posición de la red, como una intersección, rampa de entrada / salida, estación, etc., y los vínculos representan la conexión entre los nodos, como secciones viales, etc. Por lo tanto, se pueden medir los indicadores, tiempo de viaje o distancia de viaje entre los nodos buscando la ruta más corta en la red.

El viaje es una actividad que se realiza desde un punto geográfico hasta otro. Una matriz OD expresa el volumen total de viajes agregado en cada par de zonas. El elemento de la matriz representa cuantos viajes existen entre una y otra zona. La última base de datos que se brinda para el análisis GIS es la información en los Bloques. Un bloque es un sistema de cuadrados numerados desarrollado en un mapa cubriendo toda el área del estudio, y contiene varios datos. Un área de 100 metros cuadrados se ha aplicado para el análisis en el Estudio.

3) *Análisis GIS*

Utilizando la base de datos mencionada anteriormente, se realiza el siguiente análisis en esta sección.

- a) Evaluación de la Red Alternativa de Transporte
- b) Población Cubierta por la Línea Ferroviaria

Una evaluación de la red alternativa intenta comparar el mejoramiento del tiempo de viaje utilizando la información de bloques. Este análisis sólo se aplica en los casos alternativos M, N y O de la red del Plan Maestro. En el Plan Maestro, se determinan las estaciones en

cada línea ferroviaria. En función a la ubicación de las estaciones tentativas planeadas en la línea ferroviaria, se examina la población cubierta en este análisis. La población cubierta parece ser el potencial de la demanda ferroviaria. Por lo tanto, el análisis puede ser un indicador para seleccionar alternativas de rutas ferroviarias.

(2) Como Ofrecer una Base de Datos

1) Población

La información más importante para el análisis GIS es la población en bloques, en el presente y en el futuro. Esta sección describe como proveer la población en bloque. La estimación de la población en bloques está compuesta por dos pasos; la estimación de la población actual y la estimación de la población en el futuro. En el primer paso, la siguiente figura ilustra la idea básica de formular a la población actual en un bloque. Por lo tanto, la población en cada zona de tránsito está dividida en bloques de “manzanas” de acuerdo a la población por bloque de “manzana”, y luego la población de cada bloque de “manzana” es dividida en bloques. Sin embargo, el sistema de “manzanas” y su población se basan en el Censo realizado en 1992. Por lo tanto, se actualizó la información, especialmente en el asentamiento humano Pachacútec, antes de aplicarla al enfoque.

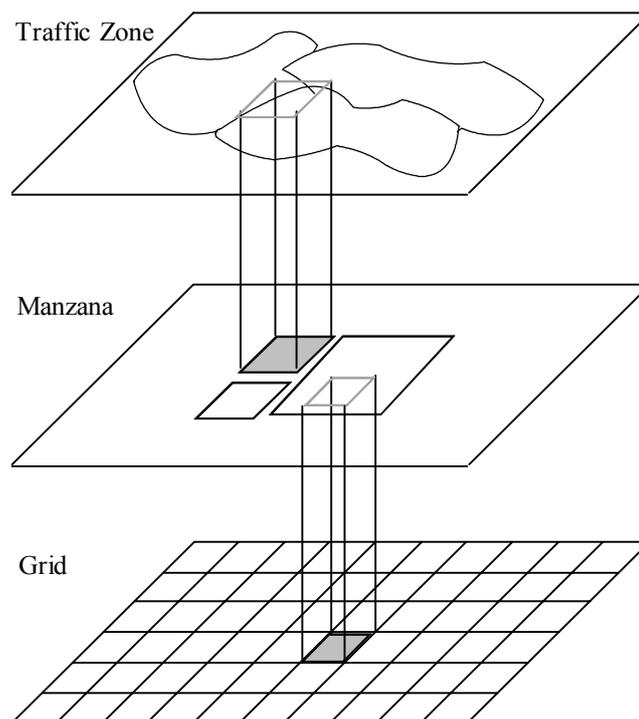


Figura 12.5-31 Formulación de la Población en Bloque

En el segundo paso, la futura población en la zona de tránsito se divide en bloques, que también incluye la futura área urbanizada considerando la discusión realizada para el marco futuro. La Figura 12.5-31 muestra los bloques urbanizados actuales y futuros.

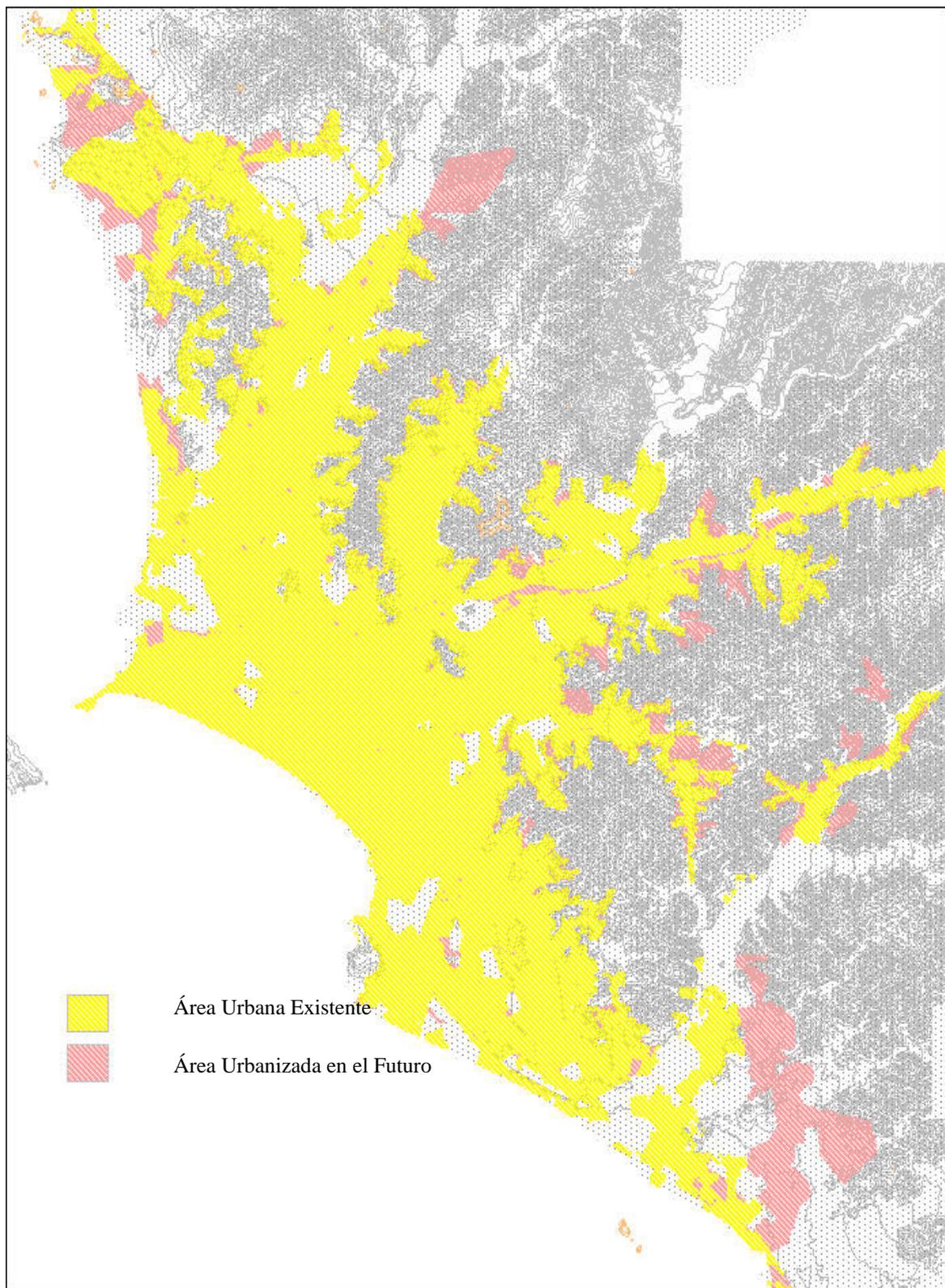


Figura 12.5-32 Futura Población en Bloque

2) Matriz OD

Como se explicó en la sección anterior, la matriz OD se produce compilando el comportamiento de viaje obtenido de la encuesta de viajes de personas con zonas de tránsito. Por lo tanto, la matriz OD debe ser dividida en bloques para que la información OD pueda ser utilizada para el análisis GIS. La siguiente figura ilustra los conceptos básicos utilizados para dividir a la matriz OD en un bloque.

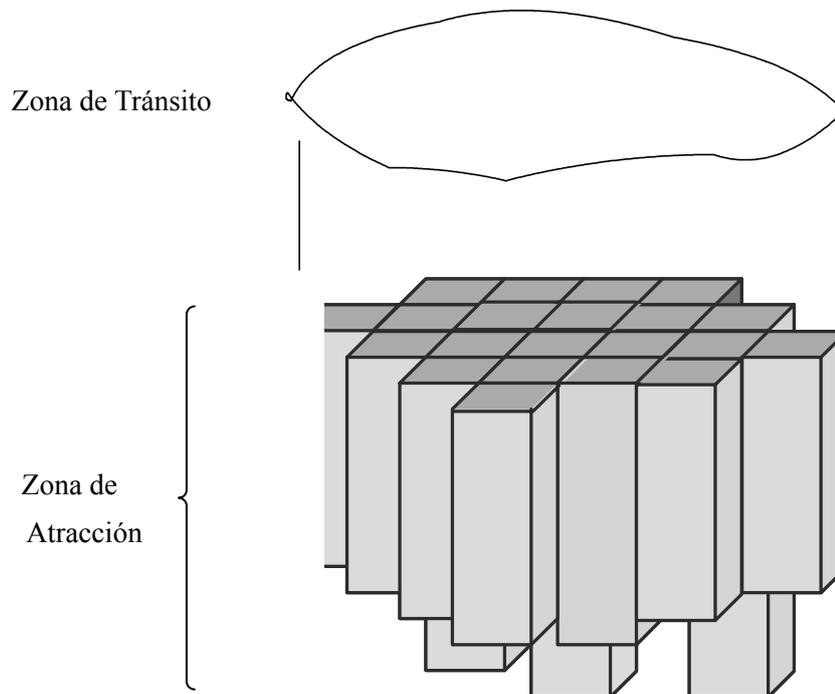


Figura 12.5-33 Formulación de Matriz OD en Bloque

En detalle, el número de viajes entre una y otra zona se divide entre el número de viajes de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$v_j^k = V_{ij} \cdot \frac{P^k}{\sum_l P^l}$$

en donde, v_j^k : el número de viajes desde el bloque k hasta la zona j

V_{ij} : el número de viajes desde la zona i hasta la zona j

P^k : población en bloque k

(3) Análisis GIS

En esta sección, se discute el análisis de la Red Alternativa del Plan Maestro y las líneas ferroviarias utilizando la información GIS mencionada anteriormente.

1) Mejoramiento por medio de la Red Alternativa del Plan Maestro

El tiempo de viaje es uno de los indicadores mas importantes para comparar y evaluar las redes alternativas. Con este indicador, es fácil imaginar como la red alivia la peor condición. El tiempo de viaje se define con la siguiente formula en este análisis.

$$t_k = \frac{1}{\sum v_j^k} \cdot \sum_j (w_{kp} + u_{pj}) \cdot v_j^k$$

en donde, t_k : tiempo de viaje promedio desde el bloque k en función a la futura demanda

v_j^k : el número de viajes desde el bloque k hasta la zona j

w_{kp} : tiempo caminando desde el bloque k hasta el nodo p mas cercano en la red

u_{pj} : tiempo de viaje entre el nodo p y la zona de atracción j

El tiempo caminando se puede estimar dividiendo la distancia desde el centro del bloque hasta el nodo mas cercano en la red con una velocidad promedio caminando, y el tiempo de viaje entre el nodo mas cercano y la zona de atracción puede ser calculado buscando la ruta mas corta en la red. Además, esta estimación incluye los siguientes supuestos:

- Velocidad caminando es de 3.6km/h
- Velocidad de viaje por tren es de 50 km/h
- Velocidad de viaje por camión es de 45 km/h
- Velocidad de viaje en el resto de los modos es de acuerdo a la red vial utilizada.

Estimación de tiempo de viaje en cada bloque para los Caso Alternativos M, N y O del Plan Maestro, como se muestra en la Figura 12.5-34 a la Figura 12.5-36, respectivamente, y los indicadores calculados en toda el área del estudio se resumen en la Tabla 12.5-3. La Tabla muestra que mas del 12% del tiempo de viaje puede ser mejorado con tres planes alternativos. La reducción de los tiempos de viaje entre los tres planes alternativos no presentará diferencias importantes.

Tabla 12.5-3 Evaluación de las Alternativas del Plan Maestro

Indicadores	Existente	Caso Alternativo del M/P		
		Alt - M	Alt - N	Alt - O
Tiempo de Viaje Total (millones de horas)	6.88	6.05	6.03	5.99
Mejoramiento	-	12.1%	12.4%	12.9%
Tiempo de Viaje Promedio (horas / viaje)	0.561	0.493	0.491	0.488

Nota: El caso existente se calcula considerando la demanda de viaje en la red futura y actual.

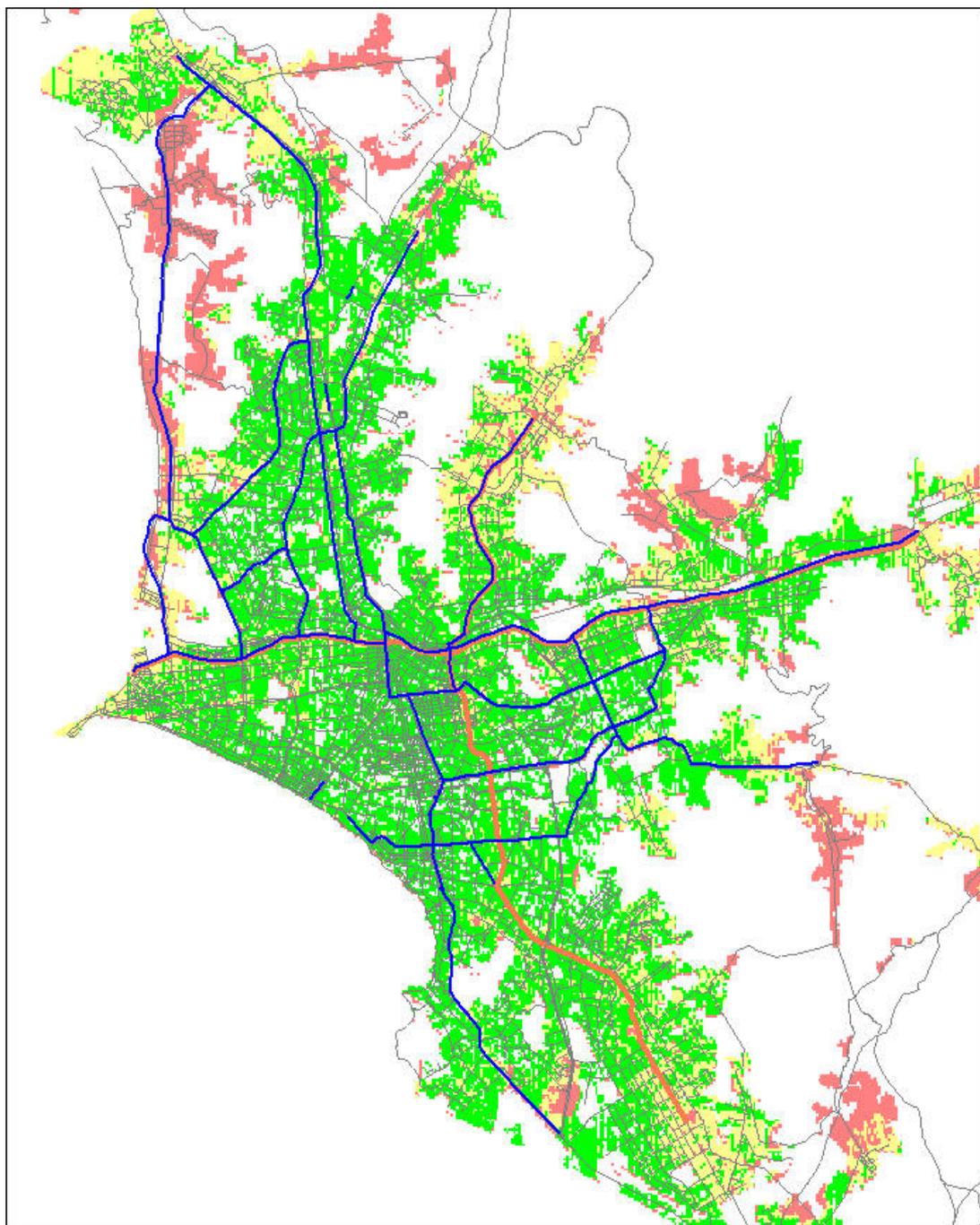


Figura 12.5-34 Caso Alternativo – M del Plan Maestro

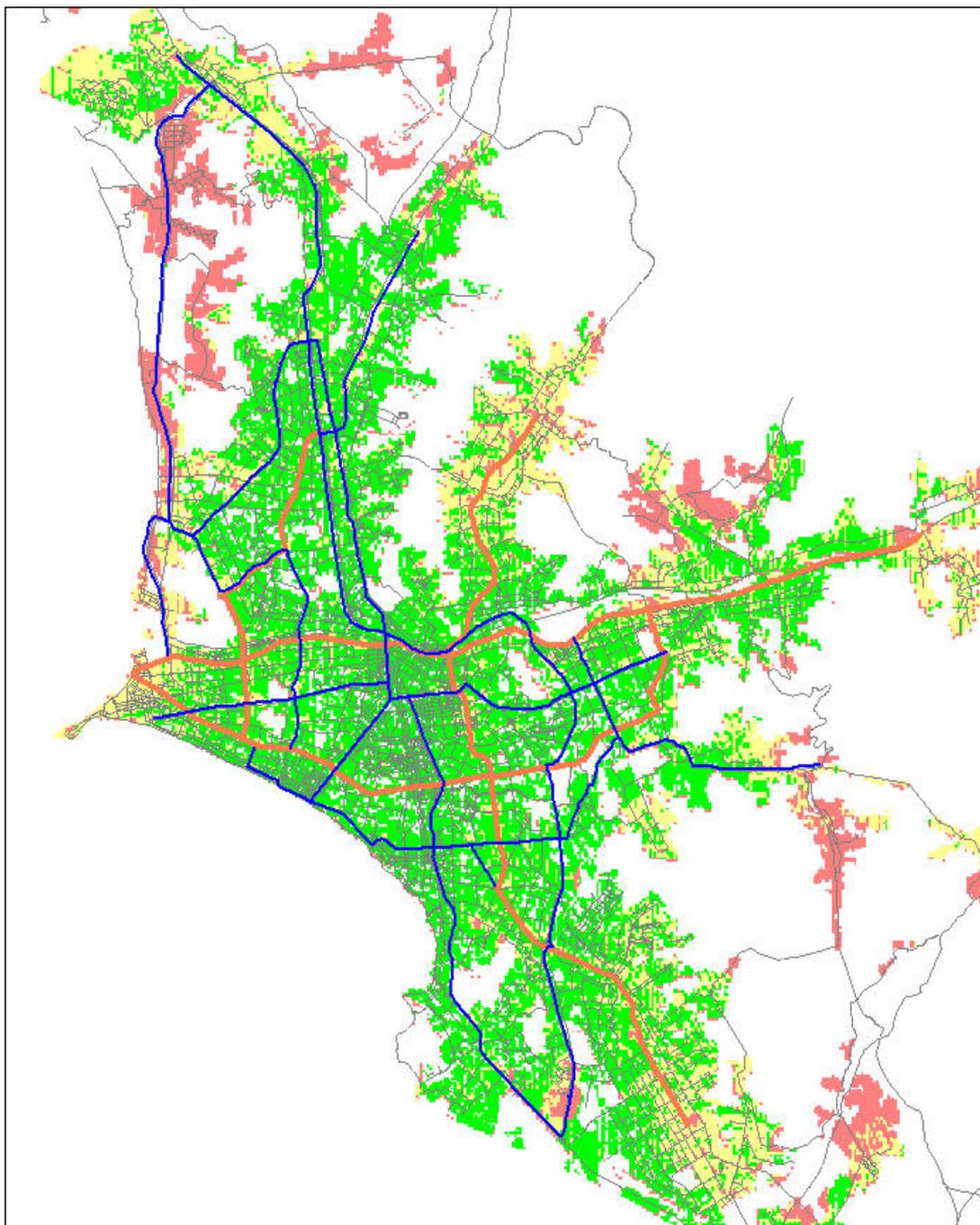


Figura 12.5-35 Caso Alternativo – N del Plan Maestro

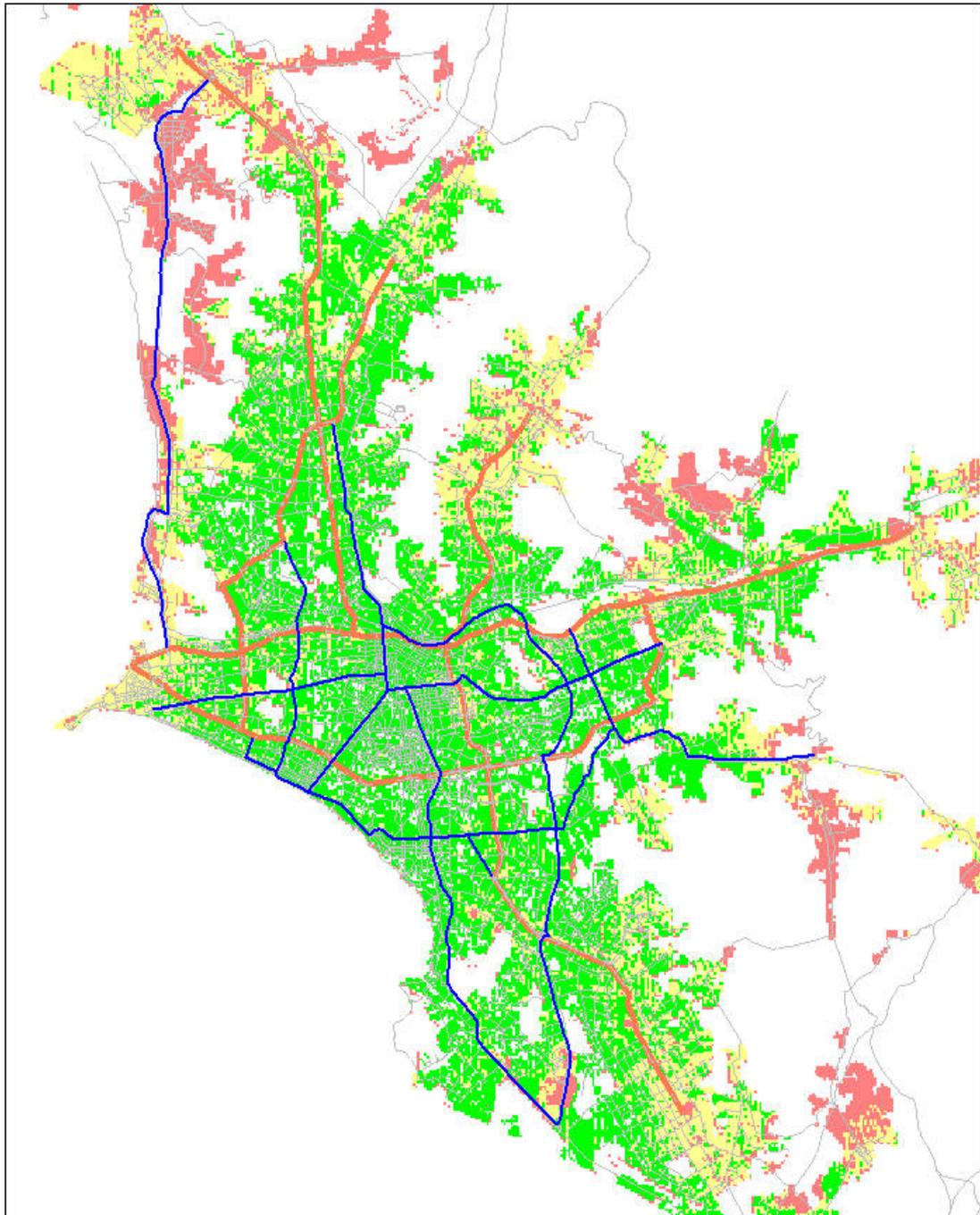


Figura 12.5-36 Caso Alternativo – O del Plan Maestro

2) Población Cubierta por la Línea Ferroviaria

El análisis GIS puede brindar información con respecto a los pasajeros ferroviarios. Si el área de captación de una estación ferroviaria debe ser un círculo con radio de 1 km, se puede estimar el número de residentes cubiertos por una estación en cada línea ferroviaria como se muestra en la Figura 12.5-37 a Figura 12.5-41. Esta información también se resume en la siguiente Tabla 12.5-4.

Tabla 12.5-4 Población Cubierta por la Línea Ferroviaria

Línea No.	Largo Total (km)	Población Cubierta (personas)	No. de Estaciones (Tentativas) (volumen)	No. Promedio de la Población Cubierta por la Estación (personas)	No. Promedio de la Población Cubierta por km (personas)
No. 1	33.9	1,876,000	26	72,000	55,000
No. 2	29.0	1,097,000	18	61,000	38,000
No. 3	28.1	1,273,000	22	58,000	45,000
No. 4	24.6	927,000	14	66,000	38,000
No. 5	40.1	979,000	14	70,000	24,000

La línea ferroviaria No. 1 cubre la mayor parte de la población de acuerdo al análisis anterior. La población cubierta es de 1.88 millones en total, y el número promedio de la población cubierta por estación indica 72 mil. La línea No. 3 indica la segunda mayor población en 1.27 millones. Sin embargo, no se puede sugerir que esta línea atrae el gran potencial de pasajeros debido a las características de las personas que residen a lo largo de la línea. En función a los resultados del análisis, se deben realizar más proyectos ferroviarios.

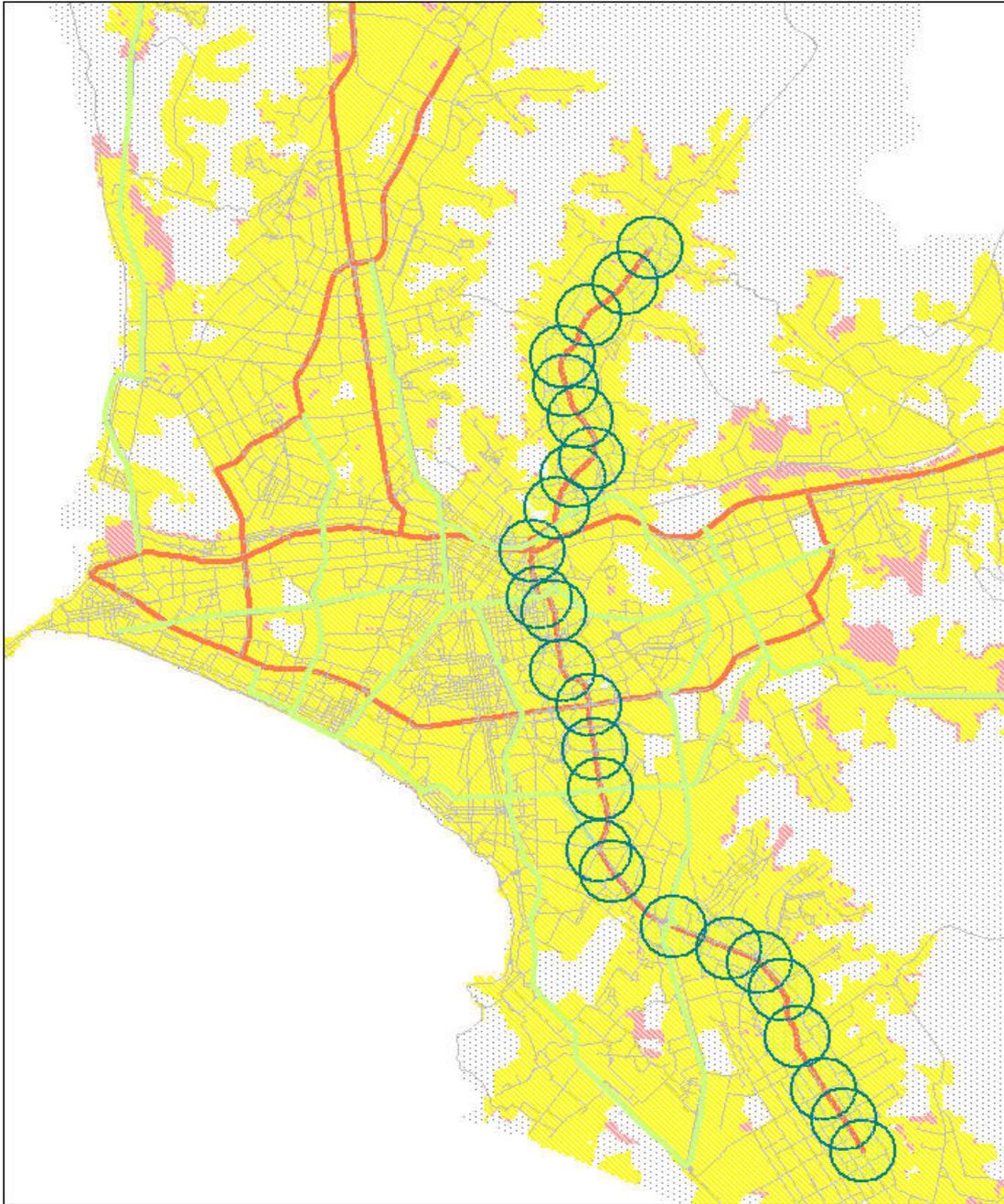


Figura 12.5-37 Estaciones en la Línea N° 1

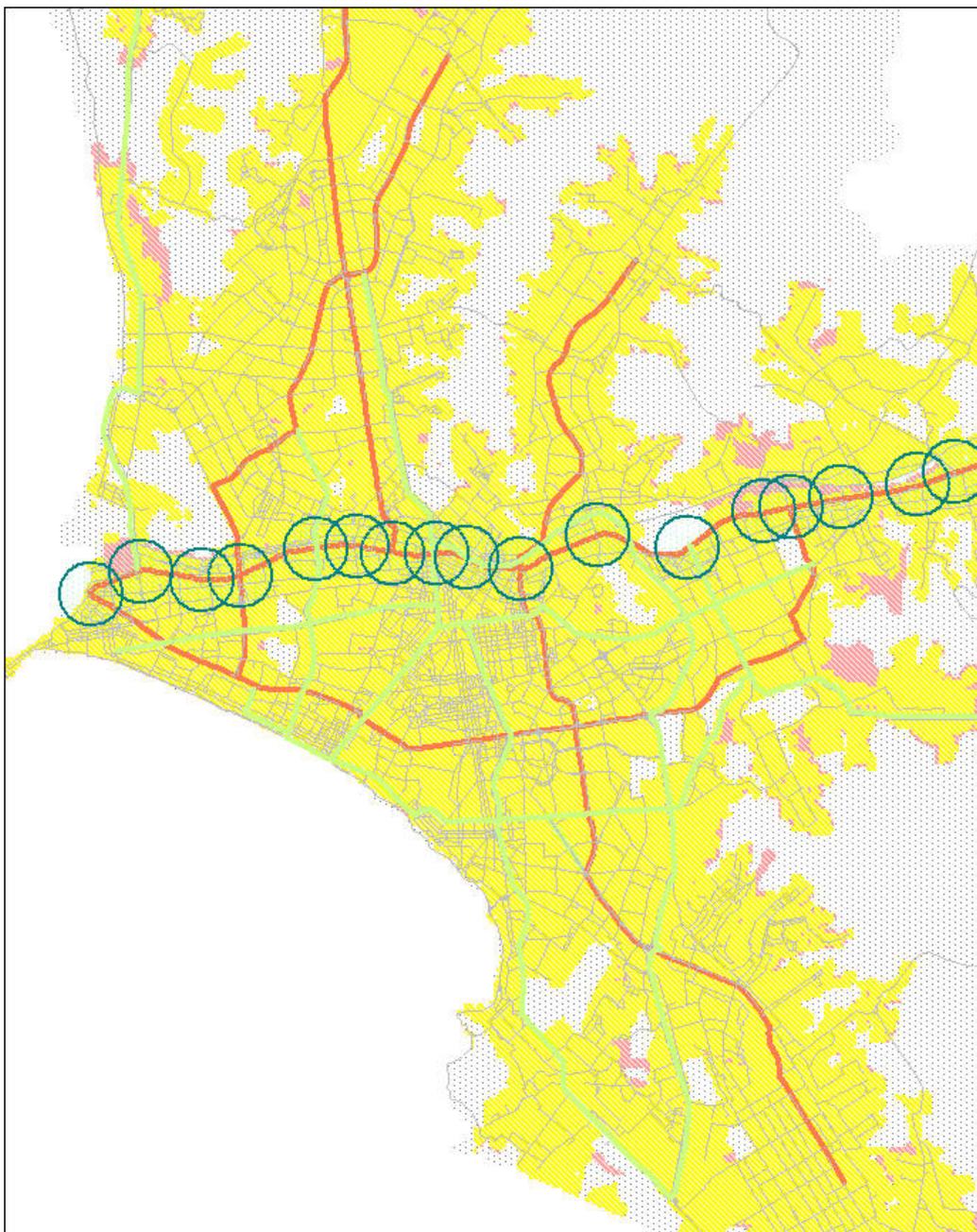


Figura 12.5-38 Estaciones en la Línea N° 2

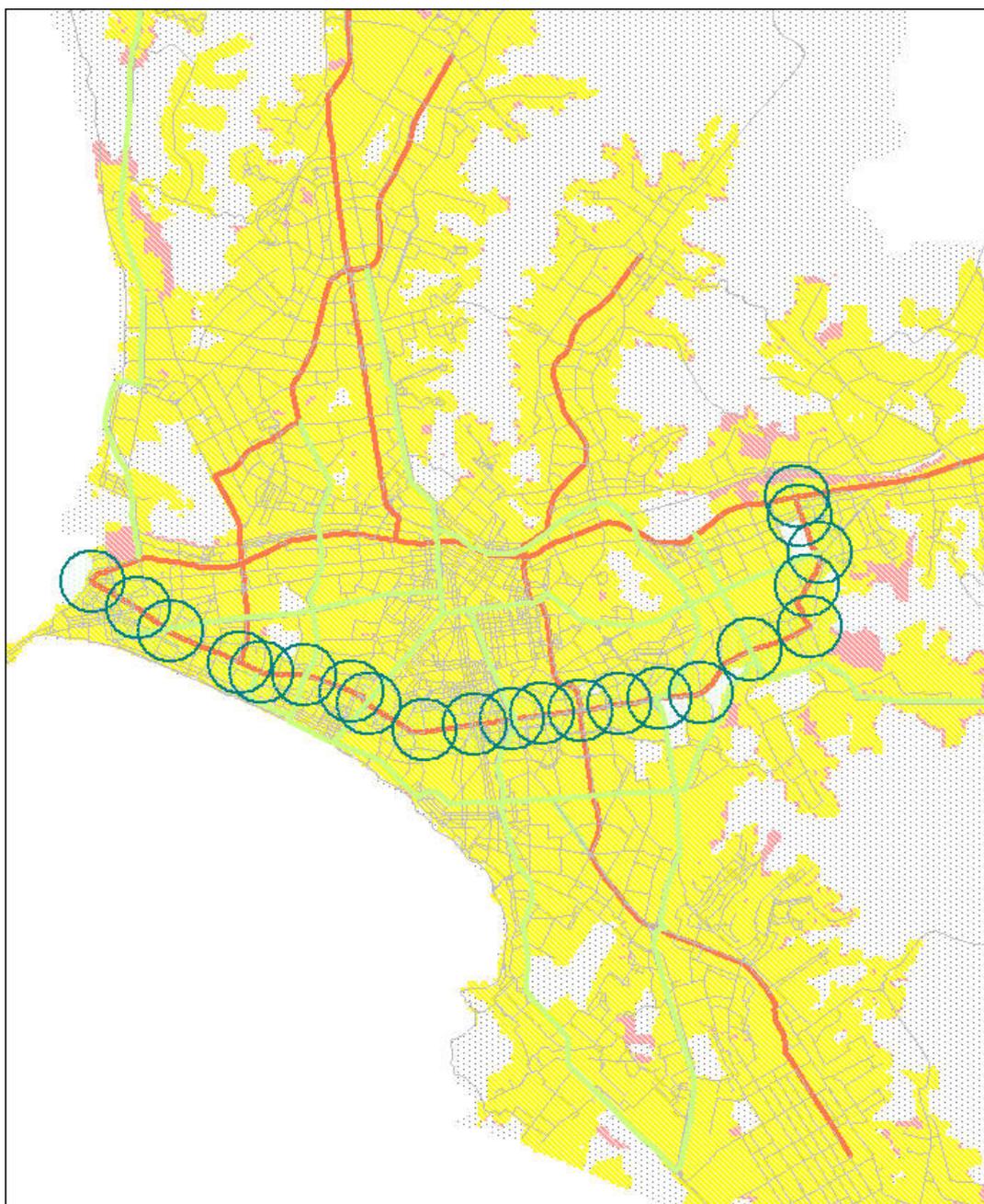


Figura 12.5-39 Estaciones en la Línea N° 3

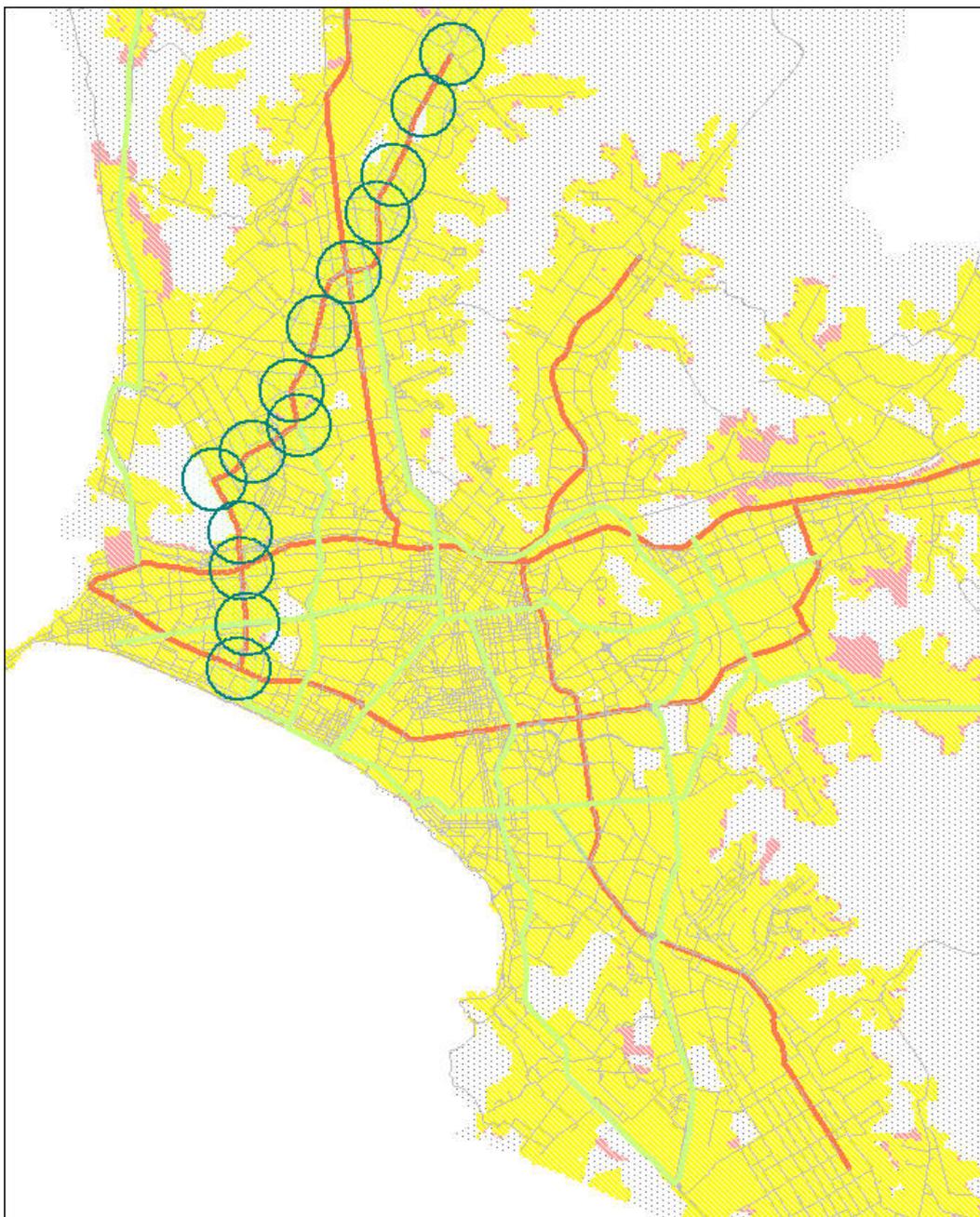


Figura 12.5-40 Estaciones en la Línea N° 4

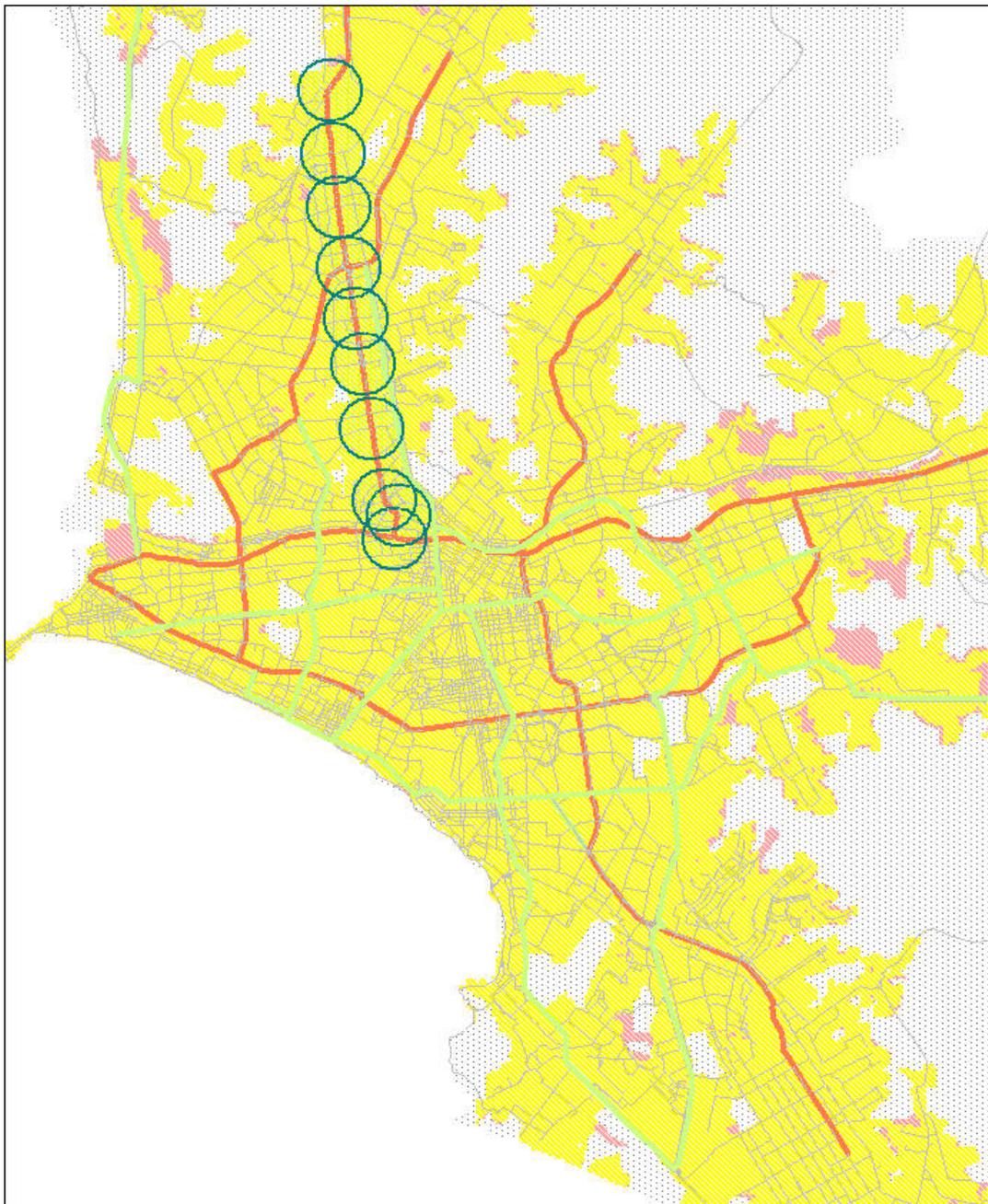


Figura 12.5-41 Estaciones en la Línea N° 5