



TRANSPORTE

Rutas y Redes. Dimensionamiento de flota

Guía de estudio. Descripción breve

El transporte como industria de red.
Estructura física de las Rutas. Ruta troncal, ramales y alimentadores. Operación de ramales y alimentadores.
Estructura física de la Red. Características y elementos de una red de transporte. Red de transporte integrada.
Programación del servicio.
Dimensionamiento de una Ruta de Transporte.
Aplicación práctica
Anexo I: Niveles de capacidad para diferentes tecnologías
Anexo II: Cálculo de la ocupación del transporte público

Versión 2.3

Ing. Civil Gustavo Luis Pastor
ingpastorh@gmail.com

Contenido

1	EL TRANSPORTE COMO INDUSTRIA DE RED.....	4
1.1	Tipos de red de transporte.....	4
1.2	Elementos de una red de transporte.....	5
1.3	La importancia de los tipos de conexiones.....	6
2	RUTAS Y REDES DE TRANSPORTE URBANO DE PASAJEROS.....	7
3	ESTRUCTURA FÍSICA DE LAS RUTAS	8
3.1	Ruta Radial.....	8
3.2	Ruta Diametral.....	9
3.3	Ruta Tangencial	10
3.4	Rutas con Lazo en su Extremos	10
3.5	Ruta Circular.....	13
3.6	Red de distintos tipos de rutas.....	14
3.7	Comportamiento de la carga para cada tipo de ruta	14
3.8	Terminales.....	15
3.8.1	Terminales Garaje	15
3.8.2	Terminal Control	16
3.9	Ruta troncal	16
3.10	Operación de ramales y troncales	18
4	ESTRUCTURA FÍSICA DE LA RED	20
4.1	Red Ortogonal	21
4.2	Red Radial.....	23
4.2.1	Efecto sobre el crecimiento urbano.....	25
4.3	Red Flexible.....	26
4.4	Red Irregular.....	27
4.5	Red con Transferencias Coordinadas.....	28
5	CARACTERÍSTICAS Y ELEMENTOS DE UNA RED DE TRANSPORTE	29
5.1	Cobertura del área de servicio o cuenca de transporte.....	29
5.2	Líneas de deseo	32
5.3	Sinuosidad de una ruta.....	33
5.4	Conectividad.....	34
5.5	Densidad del servicio.....	36
5.6	Trasbordo	37
5.7	Intervalo.....	37
6	REDES DE TRANSPORTE EN ÁREAS DE BAJA DENSIDAD	38
6.1	Problemas del transporte en áreas de baja densidad	39

6.2	Sistema de transferencias coordinadas	39
7	RED DE TRANSPORTE INTEGRADA, ejemplo	40
7.1	Troncal:	41
7.2	Servicio alimentador:	42
7.3	Servicio urbano.....	42
7.4	Otros ejemplos:	43
8	PROGRAMACIÓN DEL SERVICIO	43
9	DIMENSIONAMIENTO DE UNA RUTA DE TRANSPORTE	44
9.1	Definición de elementos básicos.....	44
9.1.1	Intervalo o intervalo entre unidades (I ; I_{HP} ; I_{HV}).	45
9.1.2	Frecuencia de servicio (F ; F_{HP} ; F_{HV})	45
9.1.3	Capacidad vehicular (C_v)	45
9.1.4	Volumen de pasajeros (V_p)	45
9.1.5	Sección de máxima demanda (SMD)	46
9.1.6	Volumen de diseño (P)	46
9.1.7	Capacidad de ruta ofrecida (C).....	46
9.1.8	Capacidad de ruta máxima (C_{max}).....	46
9.1.9	Tiempo de recorrido o Tiempo de Vuelta (T_r = TV).....	46
9.1.10	Longitud de recorrido (L)	46
9.1.11	Velocidad de operación (V_o)	46
9.1.12	Tiempo en Terminal o Tiempo de Espera en terminal (TE = T_t).....	47
9.1.13	Tiempo de ciclo o Tiempo Total (T_c = TT).....	47
9.1.14	Velocidad comercial (V_c).....	48
9.1.15	Tamaño del parque vehicular o determinación de flota (N_p).....	48
9.2	Criterios para determinar los elementos básicos de dimensionamiento	48
9.2.1	Intervalos.....	48
9.2.2	Factor de ocupación (α):.....	49
9.2.3	Tamaño del parque vehicular y la capacidad del vehículo	51
10	EJEMPLO DE DIMENSIONAMIENTO DE UNA RUTA	51
10.1	Información requerida.....	55
10.2	Resultados requeridos.....	56
10.3	Resolución.....	57
10.3.1	Hora punta.....	57
10.3.2	Hora valle	58
10.3.3	Determinación de costos de prestación, recaudación, subsidios, ipk, tarifa técnica teórica y flota total.....	59

10.3.4	Conclusiones.....	60
11	DIAGRAMA DE BARRA O DESPACHO DE FLOTA.....	62
12	PLANILLA DE HORARIO.....	63
13	PLANILLA DE ASIGNACIÓN DE UNIDADES Y TURNOS.....	63
14	ANEXO I.....	66
14.1	Niveles de capacidad para diferentes tecnologías.....	66
14.1.1	Tren de cercanías y metro (12).....	66
14.1.2	Tranvía y metro ligero (12).....	66
14.1.3	BRT / Troncales con carriles exclusivos (Transmilenio en Bogotá – Curitiba en Brasil) (12).....	67
14.1.4	Sistema de colectivos/autobuses (12).....	67
14.1.5	Capacidad de Transporte por Modo y Medios. Distancia entre estaciones.....	68
14.1.6	Buses.....	69
14.1.7	Tranvías.....	70
14.1.8	Metro.....	70
15	ANEXO II.....	71
15.1	¿Cómo calculamos la ocupación del transporte público?.....	71
16	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	75

1 EL TRANSPORTE COMO INDUSTRIA DE RED

El análisis de la producción bajo el enfoque multi producto permite considerar la actividad de las empresas proveedoras de servicios e infraestructuras de transporte desde una perspectiva más integrada. En ella, las decisiones sobre inversión en capacidad, el personal y el tamaño de la flota pueden complementarse con elecciones sobre el diseño de los movimientos o rutas (localización de terminales, paradas, etc.) y la organización general del tráfico (frecuencias, horarios, etc.) una vez que se han seleccionado el resto de factores. (15)

En algunas modalidades de transporte estas decisiones conllevan la creación de estructuras o redes físicas sobre las cuales se diseñan rutas y se prestan servicios organizados de transporte de personas y mercancías. (15)

1.1 Tipos de red de transporte.

Una red de transporte es un conjunto de paradas o escalas unidas entre sí de manera organizada por medio de líneas, rutas o conexiones. Las paradas pueden ser estaciones de tren o metro, terminales portuarias o aeroportuarias, paradas de autobús, etc. Cada ruta puede ser servida con distinta frecuencia, en función normalmente de la demanda, de factores externos (como las obligaciones de servicio público) y de su propia configuración geográfica. (15).

Las siguientes figuras se ilustran los tres principales tipos de conexiones existentes en una red de transporte.

La figura 1 refleja una ruta directa o principal que une dos estaciones designadas como A y B.



Figura 1. Ruta directa. Fuente: referencia (15)

En la Figura 2 hay tres estaciones, pero una de ellas (C) se genera a través de un ramal que genera una ruta secundaria que sale de la ruta principal. Este tema se trata más adelante.

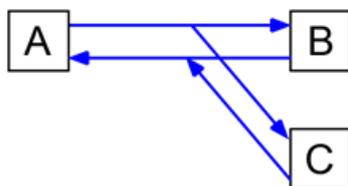


Figura 2. Ruta con ramal. Fuente: referencia (15)

Por último, la Figura 3, la tercera estación está en prolongación con respecto a la estación B y es necesario pasar por ésta para viajar de A hasta C y viceversa. Se trata de una ruta indirecta o con trasbordo, ya que no hay ruta directa entre ellas.



Figura 3. Ruta indirecta con trasbordo. Fuente: referencia (15)

La operación de rutas con ramal y trasbordo se analizan con mayor detalle al avanzar en el desarrollo del tema.

Además de caracterizar por el tipo de rutas existentes, una red también puede describirse en función de si el conjunto de rutas es servido por el mismo operador (red mono operador) o por varios operadores diferentes (red multi operador).

1.2 Elementos de una red de transporte.

Para que una red de transporte cumpla su función de permitir el desplazamiento de bienes y personas se requiere la coordinación entre varios elementos:

- operadores de transporte,
- equipo móvil,
- infraestructura e instalaciones diversas
- y sistemas de información (que llamaremos superestructura).

Como se ha mencionado anteriormente, estos componentes pueden encontrarse integrados en una sola empresa (tradicionalmente, en las empresas ferroviarias), en varias empresas (como ocurre en el transporte marítimo o aéreo) o incluso puede ocurrir que el operador de transporte sea el mismo usuario, como sucede con el automovilista privado. Estos componentes son comunes a todas las redes de transporte. (15)

La coordinación de los elementos que integran una red de transporte está determinada no sólo por factores de tipo tecnológico (especificaciones técnicas entre equipo móvil e infraestructura, por ejemplo), sino también por decisiones exógenas sobre cómo deben ser los sistemas de transporte de acuerdo con la visión de la sociedad que los utiliza. Uno de los elementos que más suele condicionar estas decisiones es la naturaleza de la demanda de transporte. (15)

De hecho, la demanda suele explicar gran parte de la configuración de las redes y la evolución de éstas en el tiempo.

En general, según su naturaleza, el servicio de transporte que se demanda puede ser clasificado como homogéneo o heterogéneo, y la configuración de una red puede depender de este grado de homogeneidad. Consideremos por ejemplo dos casos extremos: el transporte de carbón desde la mina a la empresa siderúrgica y el desplazamiento al trabajo en una ciudad. En el primer caso el producto es homogéneo y permite su concentración en trenes de mucha capacidad que se desplazarán en una única línea férrea desde la mina a la empresa. En el segundo caso, se trata de millares de orígenes y destinos entre los lugares de residencia y centros de trabajo. Ahora el "producto" es menos homogéneo y no admite un transporte tan masivo de punto a punto como el ferrocarril. Incluso en el caso de recurrir al transporte colectivo es necesario disponer de una amplia red de líneas que se ajuste al tipo de modelo territorial de la ciudad. (15)

Otras características de las mercancías como el volumen, peso y valor también afectan decisivamente al tipo de transporte que se necesitará para su desplazamiento. A principios del siglo XX la red de transporte ferroviaria convencional se ajustaba bien al transporte de mercancías de mucho peso y volumen y poco valor. Sin embargo, el cambio en la estructura industrial de los países desarrollados, con una demanda creciente de productos de mucho valor y poco peso, ha supuesto una causa importante del declive del ferrocarril, ya que se trataba de una red de transporte concebida para una demanda de ciertos bienes (materias primas y

productos agrícolas e industriales de gran volumen) cuya participación en el tráfico ferroviario se encuentra en declive. (15)

Junto a estos elementos, existen otras interrelaciones cuya consideración facilita la explicación de por qué las redes acaban tomando un tipo de configuración determinado.

1.3 La importancia de los tipos de conexiones.

Uno de esos elementos importantes en la configuración de la red de transporte es la decisión sobre el tipo de conexiones o rutas (directas o con trasbordo) que la componen. En la Figura 4 consideramos el ejemplo una red de transporte aéreo de viajeros que conecta seis aeropuertos a través de cinco rutas (flechas continuas). Se trata de un "sistema centro-radial" (hub-and-spoke): la compañía aérea ha decidido convertir B y D en aeropuertos centrales de redistribución de tráfico (hubs) en los que, por ejemplo, deben hacer escala obligatoriamente los viajeros entre A y F. Entre B y D la densidad de tráfico es alta y la compañía aérea encuentra rentable realizar vuelos directos "alimentados" con tráfico radial desde A, C, E y F. (15)

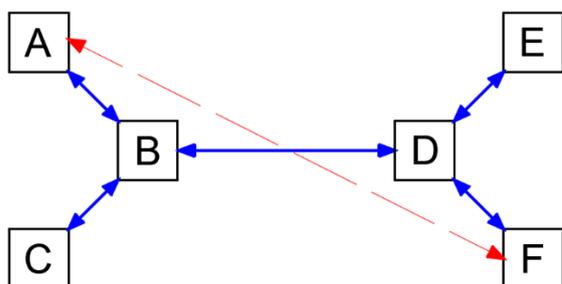


Figura 4. Redes de transporte y sistema centro radial. Fuente: referencia (15)

Con este tipo de diseño de red, si la demanda crece lo suficiente será rentable operar directamente entre A y F (flecha discontinua). Al mismo tiempo, la reordenación de rutas probablemente afectará también a otros aspectos de la producción, como el tipo de aviones a utilizar (normalmente más pequeños, con menor autonomía y menor consumo, ya que las distancias AB y CB son más cortas que la AF), la frecuencia de los viajes (puesto que ahora aumenta el tráfico intermedio) o incluso las características de las terminales aeroportuarias. De hecho, para que los beneficios de las redes hub-and-spoke puedan aprovecharse en su totalidad las compañías deben contar con suficiente capacidad aeroportuaria (que debe ser mayor en B que en A o C). La concentración del número de vuelos en unos pocos aeropuertos centrales puede generar problemas de congestión (tanto en tierra como en el espacio aéreo) que perjudican a los usuarios y elevan los costes de los operadores de transporte. (15)

Este ejemplo, que resulta igualmente válido para ferrocarriles, autobuses y líneas marítimas regulares, tanto para pasajeros como para carga, ilustra la importancia de la configuración de una red en la oferta de transporte. (15)

Desde el punto de vista de los usuarios, dicha configuración afecta al tiempo total de viaje de éstos, cuyo coste determina a su vez la demanda de transporte. Por tanto, las redes pueden verse como la configuración básica de la forma de producción de los servicios de transporte. (15)

Las conexiones directas son preferidas por los pasajeros y además son rentables para las compañías cuando se alcanza un determinado flujo de tráfico. (15)

En el caso de una red de autobuses urbanos o una red ferroviaria ocurre algo similar. Existen conexiones directas y conexiones con trasbordo. El diseño de la red de autobuses desde la perspectiva de la eficiencia económica hay que realizarlo minimizando los costes totales (del operador y los usuarios). (15)

De esta manera, el criterio económico de referencia es establecer conexiones directas siempre que el aumento del coste de producción sea menor que el valor del tiempo ahorrado por los usuarios. (15)

Sin embargo, las decisiones sobre el diseño de la red de líneas de autobuses en una ciudad no se limitan a establecer el tipo de conexión. También hay que decidir el número de paradas y su localización, el número de líneas, la frecuencia y el precio. Todos estos elementos tienen implicaciones sobre los costes de los usuarios y los productores. Por ejemplo, aumentar las frecuencias, el número de líneas o las conexiones directas reducen el tiempo de acceso, de espera y de viaje, pero eleva los costes del productor asociados a los vehículos y la infraestructura. Por el contrario, utilizar autobuses de mayor capacidad permite servir al mismo número de viajeros reduciendo la flota, pero a cambio de aumentar los tiempos de espera para los usuarios en las paradas y terminales. (15)

La interacción entre todos estos elementos determina la forma de una red de transporte que, en general, puede tener carácter fijo o flexible, dependiendo de cómo se diseñe y de la facilidad para ser modificada. Por ejemplo, normalmente la comunicación de un área geográfica en transporte público se realiza en autobús hasta alcanzar una densidad de población (o número de viajes diarios) que justifique la inversión en elementos más permanentes, como el ferrocarril, el metro o, en última instancia, aeropuertos. En una red fija (tren) los costes irrecuperables que no dependen del volumen de tráfico son muy altos, pero una vez establecidos los servicios y anunciados al público, el coste marginal de transportar a un nuevo usuario es muy bajo. En la red flexible (buses) el coste fijo es muy inferior (prácticamente todos los costes son evitables), pero el coste marginal por pasajero puede ser superior al del tren. La ventaja adicional de la red fija es que, para distancias medias o altas, o en áreas geográficas donde exista una elevada congestión del tráfico, el tiempo de viaje es menor, con lo que se reduce el coste de los usuarios. (15).

2 RUTAS Y REDES DE TRANSPORTE URBANO DE PASAJEROS

El correcto planeamiento de una red de transporte urbano de pasajeros influye en tres aspectos principales

- El desempeño de la red, que deberá ser sostenible, evaluado desde aspectos económicos, sociales, ambientales. Con una fuerte presencia de la autoridad de aplicación (gobierno municipal, provincial, nacional) -definido como gobernanza- que garantice la prestación de este servicio público en forma sostenible.
- La atracción de usuarios, buscando mejorar el reparto modal en favor de los medios masivos de transporte público.
- La operación, de menor impacto o impacto mitigado.

Esto obliga a cumplir con tres metas principales al diseñar y gestionar nuestra red o sistema de transporte urbano, siendo estas:

- Transportar al máximo número de pasajeros.

- Lograr la máxima eficiencia operativa y con ello buscar los costos mínimos para un determinado nivel de desempeño.
- Tener presentes los impactos que se inducen en los patrones de uso del suelo, así como en las metas sociales y ambientales que la comunidad busca cumplir.

3 ESTRUCTURA FÍSICA DE LAS RUTAS

Un sistema de transporte se encuentra integrado por una variedad de líneas y rutas que en su conjunto conforman a la red de transporte de una ciudad.

Es por ello que en primer lugar se tratará la estructura física de las rutas y posteriormente la conjunción de rutas en una red.

Se pueden distinguir cinco tipos fundamentales de rutas que se presentan a continuación:

3.1 Ruta Radial

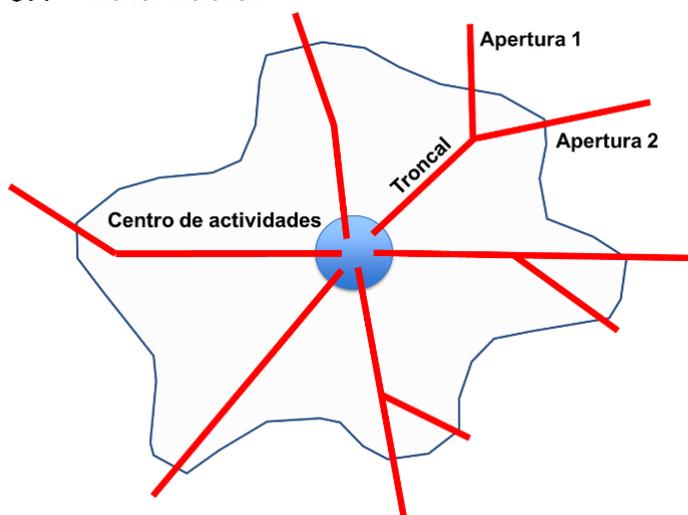


Figura 5. Ruta Radial. Fuente: referencia (1)

Es el tipo más común y un gran número de ciudades se han desarrollado en función de este tipo de rutas. Predominan en ciudades pequeñas y medias al estar la mayor parte de sus viajes canalizados a un centro de actividades o centro histórico.

En ciudades mayores a los 300.000 habitantes este tipo de rutas empieza a ser ineficiente ya que concentra los movimientos y no considera las necesidades que se presentan entre otras áreas urbanas periféricas. Esto induce a que la distribución del servicio se encuentre limitada a ciertas áreas de la ciudad y concentre las terminales en las zonas de mayor demanda, es decir en el centro de la ciudad.

La ciudad crece, se dispersa y la cobertura en estos sectores alejados del centro requiere de aperturas. Estas aperturas deberán tener la oferta adecuada a la demanda, luego, en la operación del troncal, la superposición de aperturas puede llevar a una distribución irregular de unidades en el tiempo como se verá más adelante.

Por otro lado, la vinculación entre sectores periféricos requiere de trasbordos en la zona central.

Puede ubicarse la terminal de la empresa prestadora del servicio de transporte en el extremo de una línea radial (periferia). Esto trae aparejado dos efectos contrapuesto:

- será beneficioso para el micro centro pues libera espacio destinado a otras actividades: comercial, residencial, espacio comunes (plazas, parques, etc)
- sin embargo, es muy costoso pues se requiere de varias terminales control en el extremo de cada línea radial. Cada empresa dispone, generalmente, de una sola terminal de guarda con talleres de mantenimiento, esto genera muchos kilómetros muertos pues debe trasladarse la flota al inicio y final de la jornada a esta terminal.

Es conveniente contar con una terminal reguladora de servicios (frecuencias, horarios) en el centro, zona de mayor densidad y demanda, que podría ser única y funcionar como un punto de intercambio modal.

3.2 Ruta Diametral

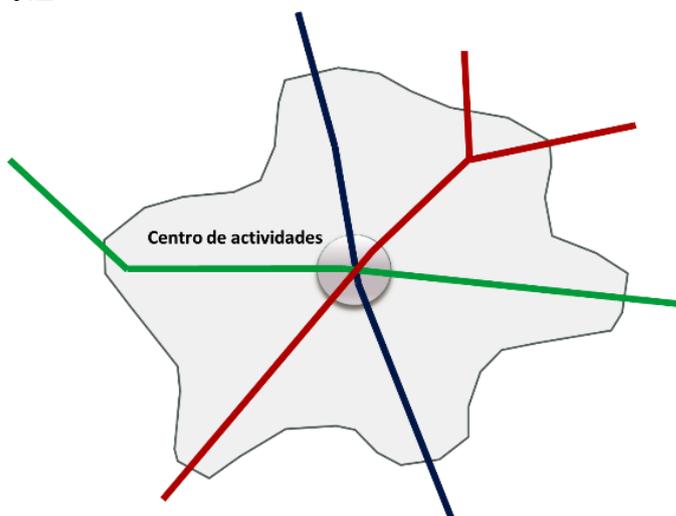


Figura 6: Ruta Diametral. Fuente: referencia (1)

Al crecer la ciudad y desarrollarse la red de transporte, un primer ajuste es la conexión de dos rutas radiales. Se forma una nueva ruta que pasa por el centro y conecta dos extremos de la ciudad y se la conoce como ruta diametral.

Se logra una mejor distribución del servicio y evita la concentración de terminales en los centros históricos o de actividades, se logra mayor eficiencia.

Una ruta diametral requiere de un balance en la demanda a ambos extremos de la ruta. Caso contrario, la operación y asignación de oferta se dificulta con los consecuentes desbalances en la relación:

$$\text{Factor de ocupación} = \frac{\text{Demanda} \left(\frac{\text{pax}}{\text{hr}} \right)_{\text{sentido}}}{\text{Oferta} \left(\frac{\text{pax}}{\text{hr}} \right)_{\text{sentido}}} \leq 1$$

La oferta queda determinada por la mayor demanda, de existir un desbalance, un tramo operará con un factor de ocupación óptimo, cercano a capacidad (capacidad es cuando el factor de

carga = 1), mientras que el otro tendrá una sobre oferta (Factor de ocupación $\ll 1$). Esto impacta en costos del servicio.

Otro inconveniente es cuando la extensión de la ruta es tal que puede ocasionar demoras, se pierde regularidad en los servicios y desbalanceo de cargas. En horas punta, estos intervalos desbalanceados generan sobreoferta en cierto momento (dos unidades juntas o muy poco separadas temporalmente). O bien, el efecto contrario, con un intervalo temporal superior al programado el cual produce un incremento de la demanda instantánea y puede llevar a colapsar, momentáneamente, la capacidad de ruta.

La ubicación de la terminal es, idealmente, en un extremo de la línea. Es la única manera de evitar trasbordos obligados a los usuarios. En caso de recorridos muy largos se necesita contar con terminal en ambos extremos con el objeto de regular horarios, intervalos, limpieza de la unidad, verificación (mantenimiento preventivo) y descanso del conductor.

3.3 Ruta Tangencial

Son rutas que pasan a un lado, por el costado, del centro de actividades o centro histórico de una ciudad. Complementan a radiales y diametrales. Ejemplo de Mendoza: Líneas del Oeste (Bº Estanzuela – DAD - UNCuyo – Hospital Lagomaggiore).

En general, presentan menores frecuencias que radiales y diametrales. Deben operar desde terminales cercanas a su fin de ruta. Como las terminales estarán en función de las rutas de mayor capacidad (mayor frecuencia), estas rutas tangenciales suelen generar kilómetros “muertos” (caso del AMM). Los km muertos son las longitudes que recorren los buses para acceder a sus terminales, pero fuera de servicio, no pueden trasladar usuarios.

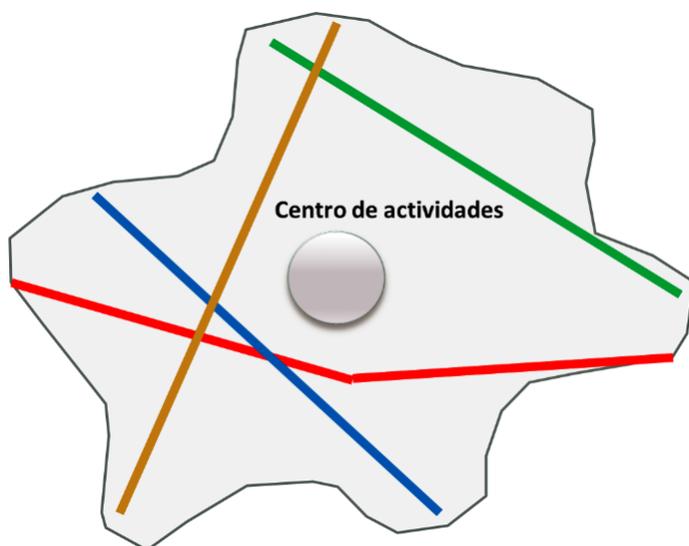


Figura. 7: Ruta Tangencial. Fuente: referencia (1)

3.4 Rutas con Lazo en su Extremos

Son rutas de configuración radial (tipo A o B) o diametral (C) en las que se presenta un lazo en uno de sus extremos lo que induce a contar con una sola terminal. Esta se debe ubicar en el extremo opuesto al lazo. Figura 8. Estos lazos se generan para incrementar el área de cobertura en las cuencas periféricas, de baja densidad población.

Cuando los lazos de diferentes rutas se superponen en el centro histórico o de actividades compartiendo la misma vía, se genera superposición de frecuencias. Ejemplo: Ciudad de Mendoza. Ver figuras 9 y 10.

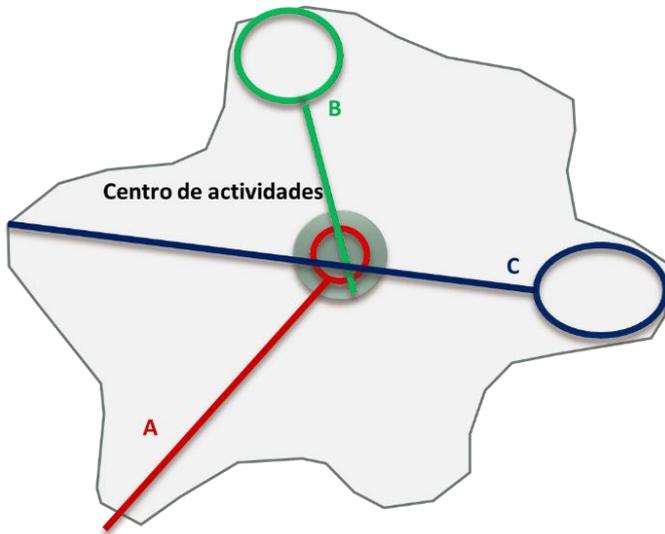


Figura 8: Ruta Radial y Diametral con lazo en su extremo. Fuente: referencia (1)

La Figura 9 muestra la Ruta 1 en toda su extensión. Brinda servicios que vinculan los barrios del Sur-Oeste con el microcentro (indicado en rojo). La Figura 10 muestra la Ruta 2 en toda su extensión. Brinda servicios que vinculan los barrios del Norte de la Ciudad con el microcentro (indicado en rojo).

Los lazos de ambas rutas, en la zona de microcentro, comparten las mismas calles. Si ambas Rutas tienen 100 frecuencias diarias, por cada calle pasan 200 unidades por día. Ver detalle de superposición en microcentro en Figura 11.

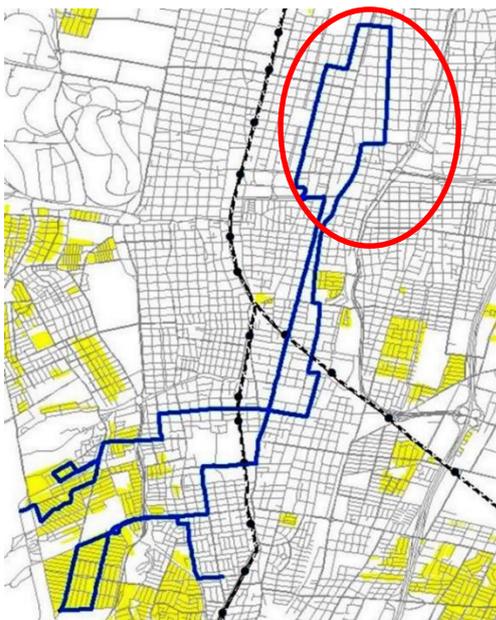


Fig. 9. Ruta 1. Frecuencias=100bus/día

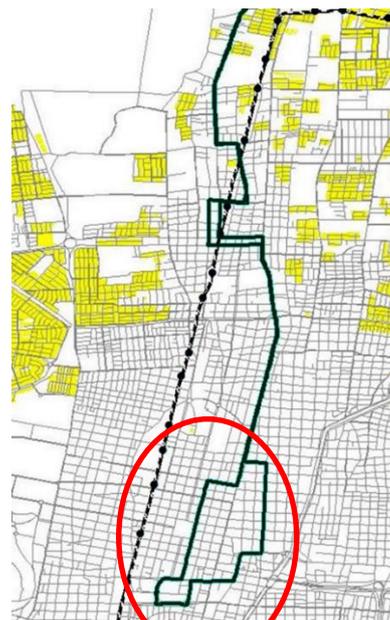


Fig. 10. Ruta 2. Frecuencias=100bus/día

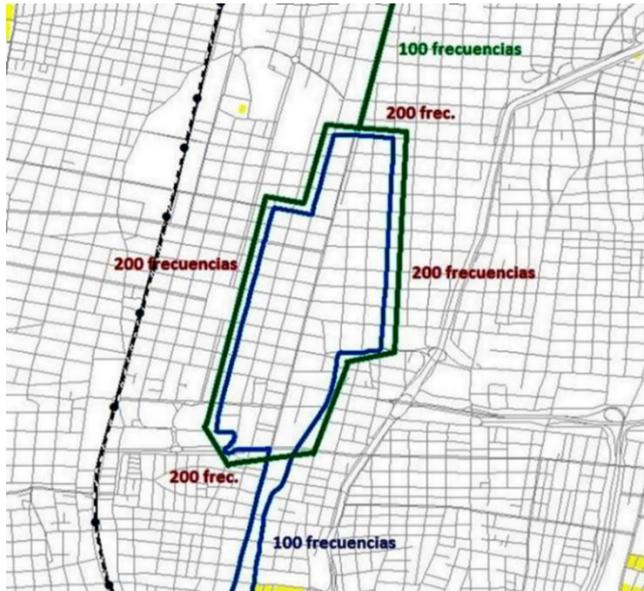


Figura 11. Rutas 1 + 2. Frecuencias = 200bus/día

Las demandas de ambos recorridos radiales con lazo están compensadas en sus extremos, esto se deduce de la igualdad de frecuencias (oferta). Pueden unificarse y convertirse en una ruta diametral. Ver Figura 12.

Los usuarios de las rutas radiales con lazo 1 y 2, al transformarse en diametral, Ruta 3, verán afectada la cobertura. Así quienes utilizaban Ruta 1, han perdido la cobertura en el microcentro en el sector Oeste (izquierda de la imagen). Los usuarios de Ruta 2, han perdido la cobertura en el microcentro en el sector Este (derecha de la imagen). Esto es importante destacar pues se debe cubrir con servicios transversales y trasbordo, o bien, en forma peatonal.

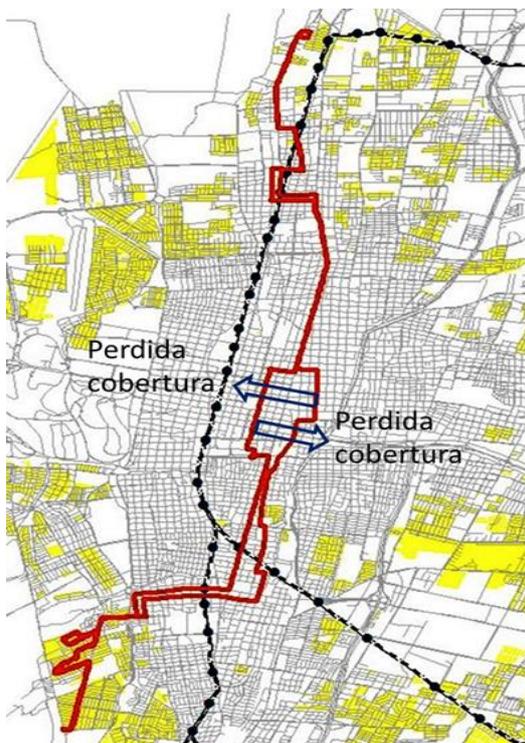


Figura 12. Fusión de rutas radiales con lazo en una ruta diametral

3.5 Ruta Circular

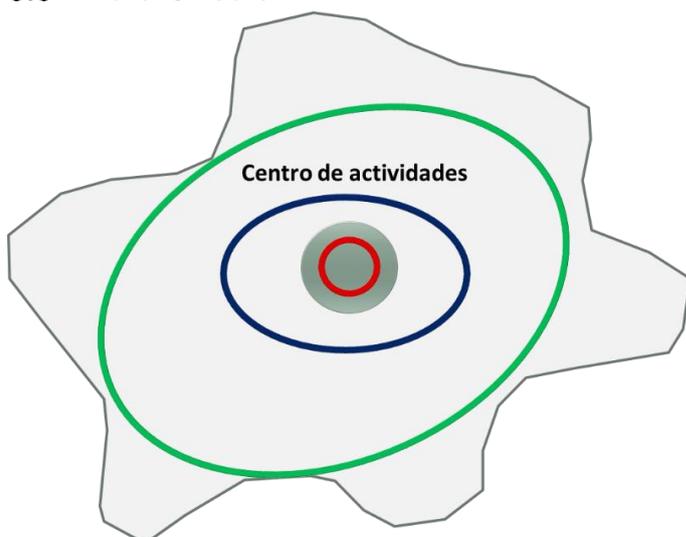


Figura 13. Ruta Circular. Fuente: referencia (1)

Sirven de rutas conectoras con radiales y diametrales permitiendo una mejor distribución de los usuarios, así como una mejor utilización de la flota del sistema de transporte.

Complementan las rutas radiales y diametrales logrando una mejor cobertura y distribución de la demanda. Una configuración de red de estas características requiere trasbordo como parte del sistema.

Estas rutas suelen tener sentido de circulación horario y antihorario. Esto trae aparejado el inconveniente de la cantidad de frecuencias que debe tener el anillo. Lo usual es tener la misma cantidad de frecuencias en ambas direcciones. De esta manera, un usuario elige el sentido más conveniente para acceder a su destino en el menor tiempo posible. La Ruta A es más conveniente que la Ruta B para vincular Origen y Destino, Figura 14.

Podría realizarse el anillo unidireccional, las frecuencias serían el doble y los intervalos entre unidades se reducirían a la mitad. El inconveniente es que algunos usuarios incrementarían el tiempo de viaje al no tener opción de elegir la ruta de menor longitud (y menor tiempo de viaje) a su destino. El anillo unidireccional reduce el intervalo de espera. Por lo cual tener uno o doble sentido dependerá del tiempo de vuelta y el intervalo función de la demanda o calidad de servicio que se decida prestar.

La ruta circular presenta el inconveniente de la ubicación de la terminal desde la cual opera o se regula el servicio de transporte. Figura 14. En algún momento la unidad sale de recorrido e ingresa a terminal. ¿qué sucede con el pasajero que viene por la Ruta A y el bus ingresa a la terminal, previo a llegar a su destino? Deberá trasbordar obligatoriamente. Para ello hay que coordinar los horarios de ingreso y egreso de las unidades a la terminal; se debe dar el trasbordo garantizando continuidad al servicio de transporte en el anillo, con el menor tiempo de espera posible.

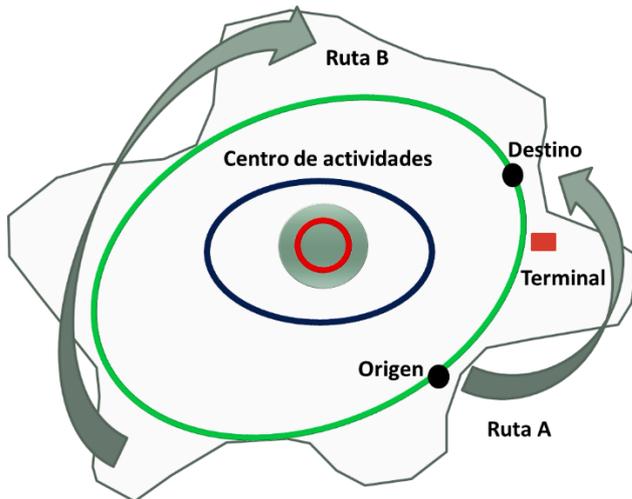


Figura 14. Ruta Circular

Pueden presentarse rutas en forma de arco o segmentos de círculo que no pasan por el centro de la ciudad.

3.6 Red de distintos tipos de rutas

Lo usual en una ciudad es encontrar distintos tipos de rutas que configuran la red del sistema.

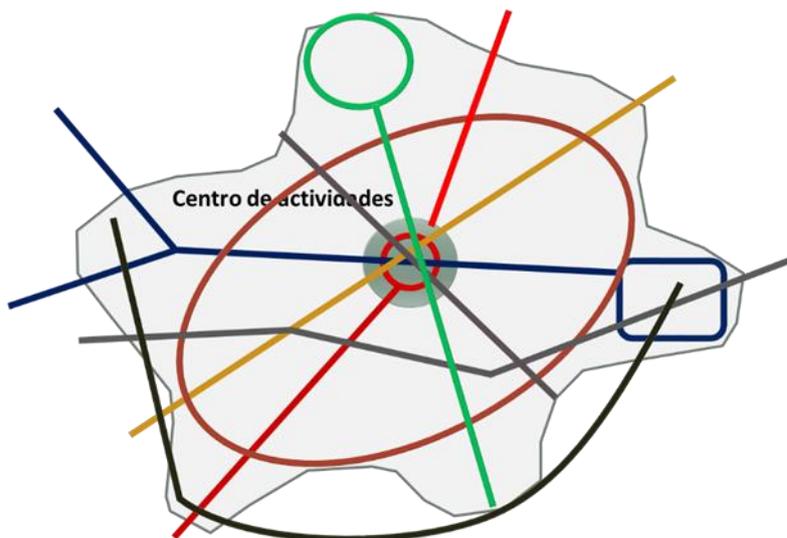


Figura 15. Red de distintos tipos de Rutas

3.7 Comportamiento de la carga para cada tipo de ruta

La Figura 16 muestra el comportamiento esquemático de la demanda para rutas radiales, diametrales y circulares en hora punta mañana.

En la ruta radial, la carga de pasajeros, usualmente, presenta la mayor demanda en la periferia de la ciudad, la cuenca de carga. Luego, a medida que se acerca a la zona central de actividades, se va produciendo el descenso de los pasajeros y disminuye la demanda. Al producirse el retorno del centro de actividades a la cuenca origen, o barrios extrarradio, la demanda es muy baja. Esto es un inconveniente pues la flota se utiliza a pleno en la mitad de su recorrido.

En las rutas diametrales, de cuencas extremas balanceadas, la demanda crece desde los extremos y llega a su máximo valor antes de arribar al centro de actividades, donde descarga una porción importante de usuarios; luego vuelve a tomar demanda para distribuir a lo largo del resto de la ruta.

En AMM Mendoza, nunca se compensa la carga luego de pasar por el centro en hora punta mañana. Es decir, los buses continúan su ruta diametral descompensados en demanda. Hay una diferencia notoria del Factor de Ocupación. Cabría preguntarse por qué no se hacen radiales. La respuesta es que se busca evitar doble pisada en el microcentro. Por otro lado, uno podría plantear regular la oferta con una terminal en zona centro. No lo permite la regulación de uso del suelo en la Ciudad de Mendoza.

Las rutas circulares mantienen una carga relativamente uniforme a lo largo de todo su recorrido.

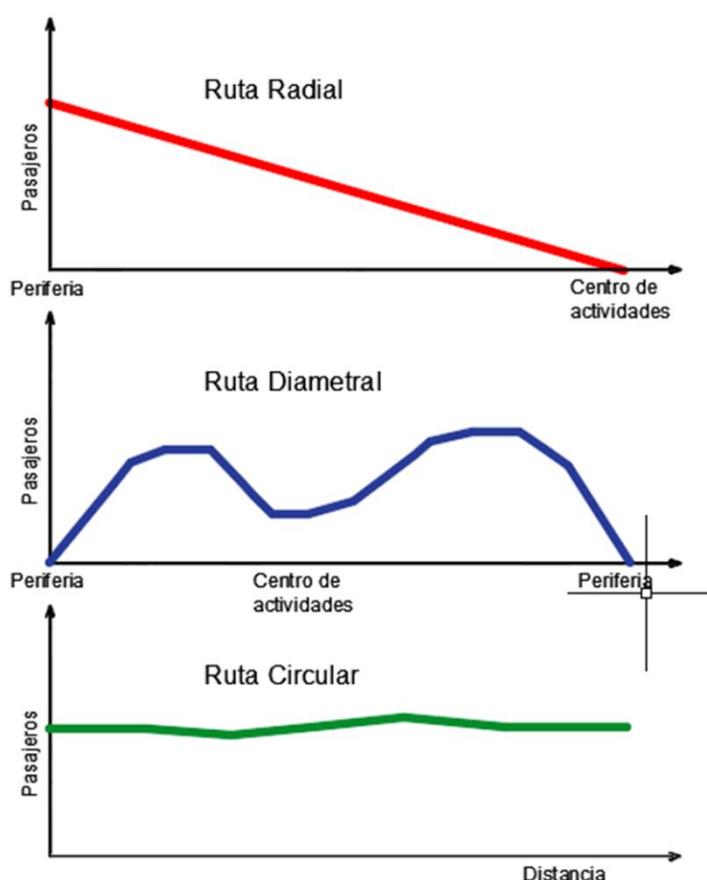


Figura 16. Comportamiento esquemático de la demanda para cada tipo de ruta. Fuente: referencia (1)

3.8 Terminales

En el presente documento, al referirnos a estaciones terminales, características, ubicación, debe tenerse en cuenta que corresponde a terminales de sistemas de transporte prestados por buses. En el caso del Área Metropolitana Mendoza se definen como:

3.8.1 Terminales Garaje

Aquellas que cumplen la función de guarda del total de la flota que se opera, mantenimiento y reparación de unidades, administración, supervisión de los servicios, expendio de pasajes en todas sus modalidades e información al usuario.

Las mismas deberán ubicarse preferentemente en la periferia urbana, en predios cerrados, reuniendo las necesarias condiciones de comodidad, higiene y seguridad, para el personal.

La ubicación se definirá teniendo en cuenta el área a servir y los recorridos asignados al prestador. Sus emplazamientos, la relación y coordinación con los recorridos a ser operados desde cada una de ellas, se determinarán con el objetivo de minimizar los kilómetros muertos (longitud que debe desplazarse la unidad para tomar servicio de línea durante la cual no traslada usuarios, no está habilitado el bus a prestar servicio).

Puede existir más de un Terminal Garaje por empresa. Esto dependerá de la extensión de la red, cobertura, logística propia del prestador del servicio.

3.8.2 Terminal Control

Son aquellas que cumplen la función de regulación de horarios y frecuencias; cuentan con sanitarios para los conductores y público usuario, carga de sistema prepago en todas sus modalidades e información al usuario.

Estas deberán ser dispuestas en relación a la categoría de los recorridos, longitud de los mismos, zona de cobertura, horarios, frecuencias y tiempos de vuelta; de manera que no se supere el tiempo reglamentado para la conducción continua de los choferes.

Estas terminales control deben ser dispuestas en el inicio y/o finalización del recorrido, y contarán con vehículos de auxilio para garantizar la prestación de los servicios autorizados.

La/s terminal/es control garantizan las condiciones de prestación óptima de servicios en aquellos casos que los mismos no operan desde Terminal Garaje debido a la característica de cobertura asignada.

Los prestadores del servicio de transporte público de pasajeros deben presentar el esquema de operación de su flota (gestión y tráfico), relacionando los recorridos con la ubicación de las distintas terminales garaje y control.

3.9 Ruta troncal

Las rutas de transporte público normalmente convergen en una sola línea o ruta “troncal” conforme se acercan al centro histórico o centros atractores de viajes. Esto da origen a dos tipos de rutas, conocidas como “ramales” y “alimentadores”

- 1- **Ramales**: se integran al tramo troncal sin necesidad de realizar trasbordos
- 2- **Alimentadores**: permiten cubrir el área (cuenca) y transportar al usuario a un punto de trasbordo donde el usuario hace uso de un medio de transporte de igual o mayor capacidad.

La Figura 17 esquematiza una Troncal formado con la incorporación de Ramales y otro por Alimentadores.

Es común que se considere el uso de **ramales** en corredores que presentan volúmenes de pasajeros altos (alta demanda). En este caso se considera el uso de un solo medio de transporte.

Es deseable el uso de **rutas alimentadoras** en corredores donde los volúmenes de pasajeros son bajos, conectándose con una ruta troncal. En este caso es factible el uso de dos o más medios de transporte: uno para el tramo alimentador y el otro para la troncal. Se adapta la unidad (oferta) a la demanda. De usar la misma unidad, las frecuencias necesarias para cubrir

la demanda son muy bajas en los alimentadores. Esta decisión del tamaño de unidad debe evaluarse con mayor detalle dado que se busca un equilibrio entre oferta y demanda, pero contemplando otros aspectos como son los costos y el impacto social del servicio prestado.

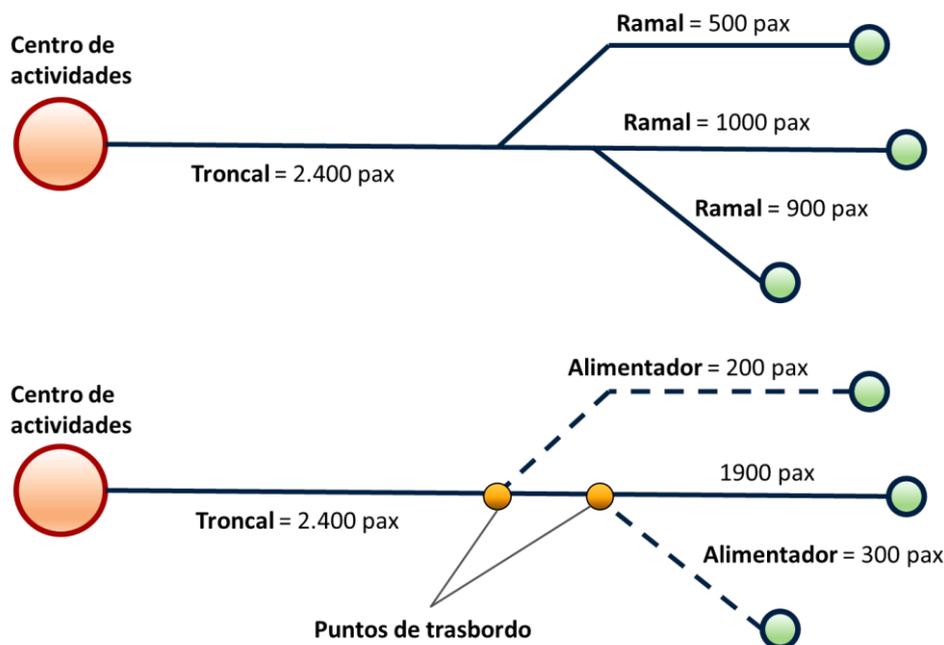


Figura 17. Troncal formado por Ramales o Alimentadores. Fuente: referencia (1)

Las **rutas alimentadoras** presentan las siguientes características en comparación con los ramales:

- (+) Se pueden utilizar diferentes medios de transporte, adaptar la flota a la demanda.
- (+) Se pueden lograr factores de ocupación más uniformes al poder utilizar una flota de diferente capacidad.
- (+) Las irregularidades que se presentan en las alimentadoras no afectan a la ruta troncal.
- (-) Requiere de trasbordos. Deben estudiarse con especial atención estos puntos.
- (-) Suele incrementarse el tiempo de viaje de no lograr una buena cobertura en la cuenca (mayor tiempo de caminata) y una coordinación en los puntos de trasbordo entre alimentador y troncal, cuando éste no tenga intervalos cortos de tiempo entre unidades (elevadas frecuencias).

Las **rutas con ramales** difieren de las rutas alimentadoras en los siguientes aspectos:

- Sin trasbordo: se presentan conexiones directas entre los ramales y la troncal. Un usuario que se dirige al centro de actividades no debe abandonar la unidad en que se desplaza. No hay pérdida de tiempo en trasbordo.
- Un medio de transporte: se utiliza el mismo tipo de unidad para todo el sistema. Solamente varía el tamaño de la unidad de transporte conforme a las rutinas y políticas operacionales. Por ejemplo, unidades más chicas en hora valle o servicios nocturnos. No es lo usual.
- Confiabilidad: depende de los ramales. Las diferencias en los derechos de vía entre troncales y ramales (de existir) reduce la confiabilidad. Con el mismo derecho de vía se logra una mayor fidelización de los usuarios a los itinerarios en el caso de los ramales que

- en el caso de los alimentadores. El mismo derecho de vía para troncal y ramal iguala la calidad de servicio respecto al uso de infraestructura.
- Menor utilización de la capacidad. La capacidad de la unidad de transporte en los ramales debe acomodar los volúmenes de usuarios a lo largo de todo el recorrido y en especial dentro del troncal, donde se hace un uso razonable de la capacidad de la unidad de transporte. Los alimentadores hacen un mejor uso de la capacidad debido a la operación segmentada.
 - Fuerte identidad del sistema: una red con ramales presenta una mayor identidad de sistema que una troncal con alimentadores. Esto refiere a la imagen del sistema por parte del usuario. Hay una apropiación más fuerte de este tipo de conformación de sistema basado en el hecho de evitar trasbordo.
 - Cambios en la demanda: en función del medio de transporte, una troncal con ramales puede fácilmente absorber los cambios y fluctuaciones en la demanda, situación que se dificulta con los alimentadores.
 - Menor tiempo de terminal. El tiempo terminal total será menor con ramales que con alimentadores. Se mejora la utilización del parque vehicular.
 - Tiempo de viaje. Normalmente es menor con ramales.

3.10 Operación de ramales y troncales

La operación de ramales y troncales puede ser de varios tipos. Sus diferencias radican principalmente en la regularidad del servicio, el factor de ocupación, los niveles de servicios en los tramos troncales y los ramales.

Si designamos:

P = volumen de usuarios en la sección de máxima demanda

n = número de buses o coches por unidad de transporte (metro)

f = frecuencias de servicio

UT = unidad de transporte

- a) Primer caso: dos ramales con igual número de pasajeros, de capacidad y de frecuencias; lo que permite contar con frecuencias uniformes en ambos extremos. Figura 18. Si consideramos que la circunferencia de la izquierda representa la distribución temporal en 60 minutos de las unidades de transporte; la condición del primer caso nos permite intercalar la oferta (unidades iguales), en forma uniforme. Es decir que cada 7 min, 30 seg, pasan unidades de la misma capacidad. O bien 4 frecuencias P_1 intercaladas con 4 frecuencias P_2 , todas de la misma capacidad.

CASO 1

$P_I = P_{II}$ $n_I = n_{II} = 4$ carros $f_I = f_{II}$
 Troncal con dos ramales. Volúmenes de pasajeros iguales. Tamaños de las unidades iguales (igual oferta, 4 coches). Frecuencias iguales

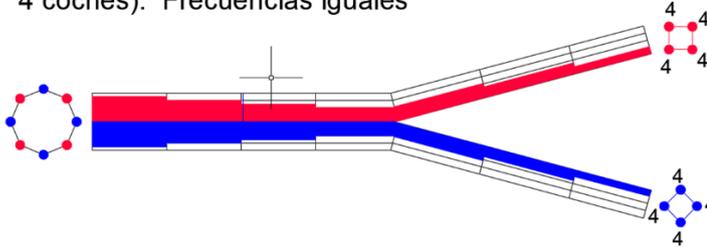


Figura 18. Primer caso. Fuente: referencia (2; 3)

- b) Segundo caso: en el tramo troncal operan dos ramales con volúmenes diferentes (demanda) y capacidades diferentes, pero con frecuencias iguales. Esto permite que se mantenga una regularidad en el servicio, pero con cargas diferentes. Figura 19. Si consideramos que la circunferencia de la izquierda representa la distribución temporal en 60 minutos de las unidades de transporte; la condición del segundo caso nos permite intercalar la oferta (pero son unidades distintas), en forma uniforme. Es decir que cada 7 min, 30 seg, pasan unidades de distinta capacidad. O bien 4 frecuencias P1 intercaladas con 4 frecuencias P2, de distinta capacidad. Esto puede ocasionar que la demanda instantánea ocupa toda la capacidad de la unidad menor (P2), en consecuencia, los usuarios que no accedieron deben esperar a la siguiente unidad.

CASO 2

$P_I > P_{II}$ $n_I = 4 > n_{II} = 2$ $f_I = f_{II}$
 Troncal con dos ramales y Volúmenes de pasajeros diferentes. Unidades diferentes (distinta cantidad de coches). Frecuencias iguales

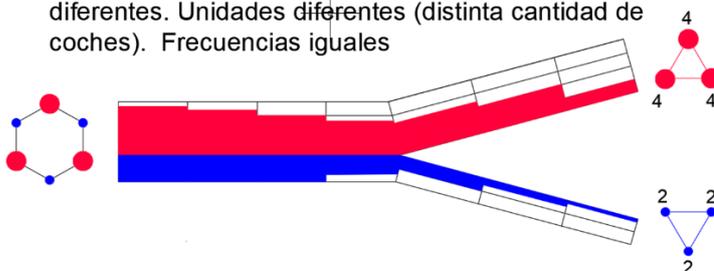


Figura 19. Segundo caso. Fuente: referencia (2; 3)

- c) Tercer caso: se manejan volúmenes diferentes de pasajeros (demanda), así como distintas frecuencias, pero se mantienen la misma capacidad de las unidades, lo que induce a diferencias en la regularidad del servicio y variaciones en los factores de carga en el tramo troncal. Figura 20. No hay manera de regularizar el servicio, temporalmente, en el troncal. En este ejemplo en cada ramal los servicios estarían cada 30 minutos (P1) y 15 minutos (P2). Al superponerse en el troncal se ve la irregularidad en la imagen de la izquierda. Esto puede ocasionar que la demanda instantánea ocupa toda la capacidad de la primera unidad que llega luego del intervalo de 15 minutos, en consecuencia, los usuarios que no accedieron deben esperar a la siguiente unidad.

CASO 3

$P_I < P_{II}$ $n_I = n_{II} = 3$ $f_I < f_{II}$
Troncal con dos ramales. Volúmenes de usuarios diferentes. Tamaño de unidades iguales y Frecuencias distintas

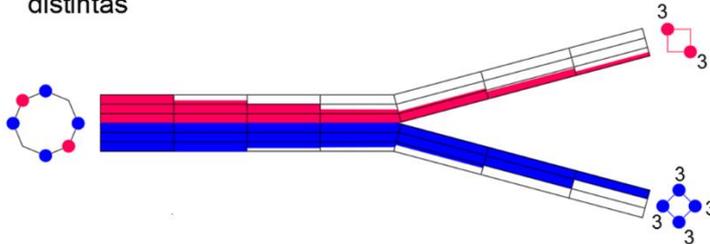


Figura 20. Tercer caso. Fuente: referencia (2; 3)

- d) Cuarto caso: muestra variaciones en la frecuencia, capacidad y volumen de pasajeros (demanda), lo que induce a irregularidades en los tramos troncales, así como variaciones en los factores de carga en el tramo troncal y un reparto desbalanceado en los volúmenes. Figura 21. No hay manera de regularizar el servicio, temporalmente, en el troncal. En este ejemplo en cada ramal los servicios estarían cada 30 minutos (P2) y 15 minutos (P1). Al superponerse en el troncal se ve la irregularidad en la imagen de la izquierda.

CASO 4

$P_I > P_{II}$ $n_I = 4 > n_{II} = 2$ $f_I > f_{II}$
Troncal con dos ramales. Volúmenes de usuarios diferentes. Tamaño de unidades y Frecuencias distintas

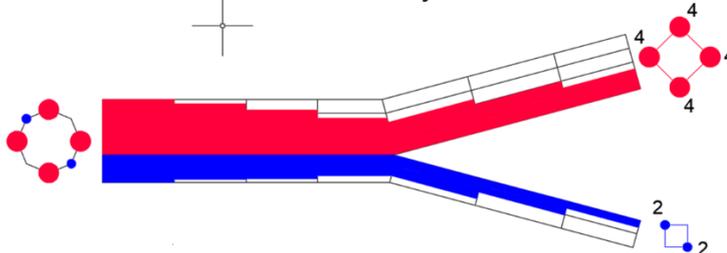


Figura 21. Cuarto caso. Fuente: referencia (2; 3)

4 ESTRUCTURA FÍSICA DE LA RED

La forma o estructura de una red de transporte público puede ser clasificada en varios tipos generales. Dependen de:

- la red vial con que cuenta la ciudad,
- de su forma urbana: calles ortogonales (damero español); calles ortogonales con diagonales; trazados irregulares; otros esquemas.
- patrones de uso del suelo, densidades, etc.,
- la topografía del lugar,
- barreras naturales (ríos, lagos, montañas, etc);
- barreras físicas antrópicas (autopista, FFCC, barrios cerrados, aeropuerto, etc.)
- una serie de factores adicionales (zonas de exclusión por problemas de asentamientos de suelo o vibraciones, por características geotécnicas locales, reservas patrimoniales, etc).

Una diferencia fundamental se presenta en las redes con medios de transporte que operan en derechos de vía Tipo C (tránsito mixto) y aquellas redes que operan exclusivamente en derechos de vía Tipo A o confinados (carriles exclusivos). Figura 22.

REDES CON MEDIOS DE TRANSPORTE EN DERECHOS DE VÍA TIPO C	REDES CON MEDIOS DE TRANSPORTE EN DERECHOS DE VÍA TIPO A
Sigue el trazo vial	Alineamiento independiente
La distribución y recolección de usuarios es un elemento primordial	Operación de líneas para cubrir mayores distancias
Paradas más cercanas, lo que propicia velocidades menores	Paradas más lejanas, lo que propicia velocidades mayores
Trabaja bajo control manual	Trabaja bajo control por señal
Mayor frecuencia	Menor frecuencia
Redes más densas	Redes menos densas
Menor imagen	Mayor imagen

Figura 22. Principales diferencias entre redes con derecho Tipo C y Tipo A. Fuente: referencia (1)

Aun cuando cada tipo de red tiene características específicas, ciertas formas de redes presentan características de servicio y operacionales que las distinguen.

4.1 Red Ortogonal

Este tipo de red se encuentra en muchas ciudades con vialidades conformando una retícula uniforme que induce a que las rutas sean trazadas siguiendo estos patrones.

Este tipo de red ofrece una gran cantidad de trasbordos en sus puntos de intersección y por ello se tiene una cuenca de servicio extensa y uniforme y ofrece una buena conectividad. A su vez, no presenta un problema de convergencia excesiva y de concentración de rutas, situación característica de una red radial.

Esta red permite al usuario orientarse fácilmente pero no siempre sigue las líneas de deseo principales, haciendo que un buen porcentaje de los viajes requieran de un trasbordo.

Este tipo de red opera adecuadamente en áreas con densidades de población uniforme y que cuentan con una retícula vial en forma de damero, ocasionando que se requiera una calidad más o menos uniforme en el servicio de transporte.

La red ortogonal aumenta y homogeniza la población atendida, la cobertura de la misma es muy homogénea en toda el área donde se desarrolla la red. Ejemplos de este tipo de ciudad es Barcelona. Figura 23 y Figura 24.

La Figura 25, muestra la amplia cobertura que se logra a partir de la distribución ortogonal de las rutas. Para ello se gráfica un área de acceso al servicio de 300m a 500m de radio, en correspondencia con las paradas de buses o estaciones de metro, es decir, los puntos de acceso a la red.



Figura 23. Red de transporte público urbano de Barcelona.

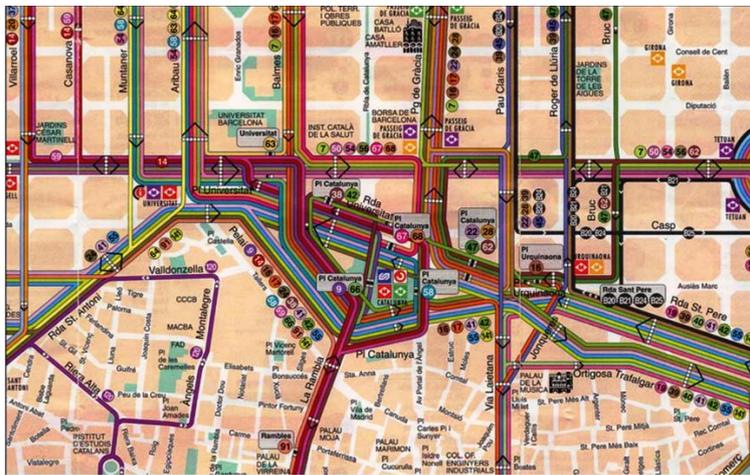
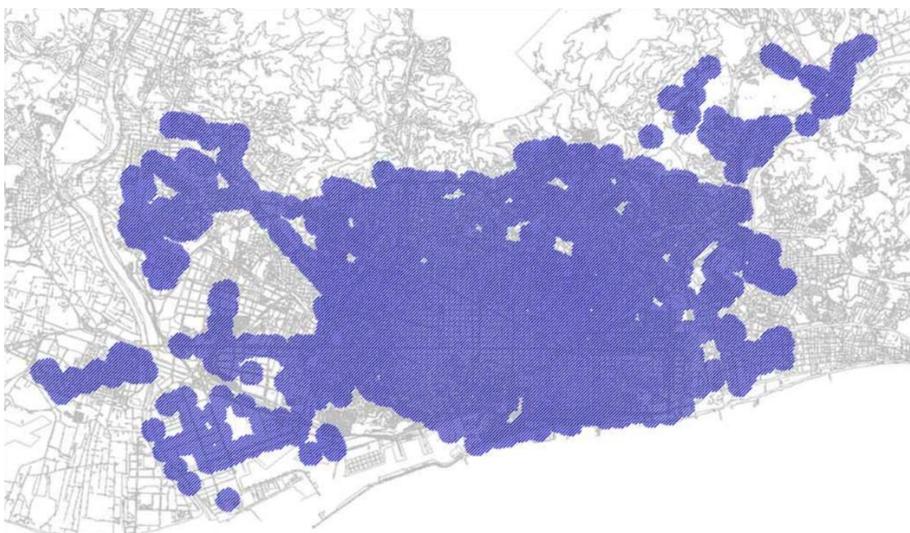


Figura 24. Red de transporte público urbano de Barcelona. Casco histórico.



La red ortogonal aumenta y homogeniza la población atendida

Figura 25. Red de transporte público urbano de Barcelona. Cobertura.

“Un esquema de red ortogonal se ha revelado como el más eficiente en sistemas urbanos. Esta red asegura la isotropía del territorio, es decir, cubre por igual todas las partes del municipio. De este modo se mejora la conectividad entre las líneas y la accesibilidad para todos los usuarios.

Este esquema no sólo es más funcional, sino también más “legible”, ya que se estructura de forma similar al metro y se convierte en una red fácilmente comprensible. Además, la gran mayoría de destinos se alcanzan con un solo trasbordo, simplificando el uso de la red de autobús y evitando la necesidad actual de conocer cada línea individualmente.

Otras características que potencia a la red ortogonal son la circulación segregada de los autobuses (lo que reduce las fricciones del bus con otros modos de transporte y facilita el aumento de la velocidad comercial y la frecuencia de paso) y la cobertura a zonas de nueva centralidad. La red ortogonal también potencia la intermodalidad, situando estratégicamente las paradas para facilitar la conexión entre líneas y a su vez con otras redes de transporte (tranvía, metro, préstamo de bicicletas, etc.). <http://www.bcnecologia.net/es/modelo-conceptual/red-ortogonal-de-autobuses>”

4.2 Red Radial

Esta red está integrada predominantemente por rutas radiales o diametrales que se enfocan al centro histórico de una ciudad o en un centro de actividad suburbano. Por ello, tiende a seguir las líneas de deseo más cargadas en forma de radiaciones desde punto focal a varias direcciones y ramificándose con una menor intensidad de servicio hacia la periferia y áreas de baja densidad.

La duplicación de rutas en el centro de la ciudad permite ofrecer una capacidad adecuada para atender la concentración de viajes en estos tramos de la red.

En la planeación y preparación de itinerarios en los ramales, se debe analizar la regularidad del servicio en los tramos comunes para evitar la formación de convoyes en los que el primer vehículo viene demorado y sobrecargado mientras que el segundo va con una carga baja, situación que puede tornarse grave especialmente a la hora de máxima demanda. Asimismo, es un aspecto negativo el empalme de estaciones y paradas que fomentan la concentración de usuarios en una misma área urbana

La red radial presenta una menor conectividad que la red ortogonal y se acostumbra contar con rutas circunferenciales para permitir viajes puerta a puerta más directos para los viajes que propiamente no son radiales. Puesto que la cobertura de área y la intensidad del servicio de una red radial no son uniformes ya que decrecen del centro hacia la periferia, esta red opera mejor en ciudades con una alta concentración de viajes y que presentan una configuración vial radial.

La mayoría de las redes regionales y suburbanas de transporte muestran esta configuración, entre las que se pueden citar la red de Toulouse, Figura 26. La red de Metros de Moscú, Figura 27. La red de transporte urbano de la ciudad de Córdoba-Argentina, Figura 28.



Figura 26. Red de transporte público urbano de Toulouse-Francia. Radial.



Figura 27. Red Radial. Metro de Moscú. <https://es.wikipedia.org/>

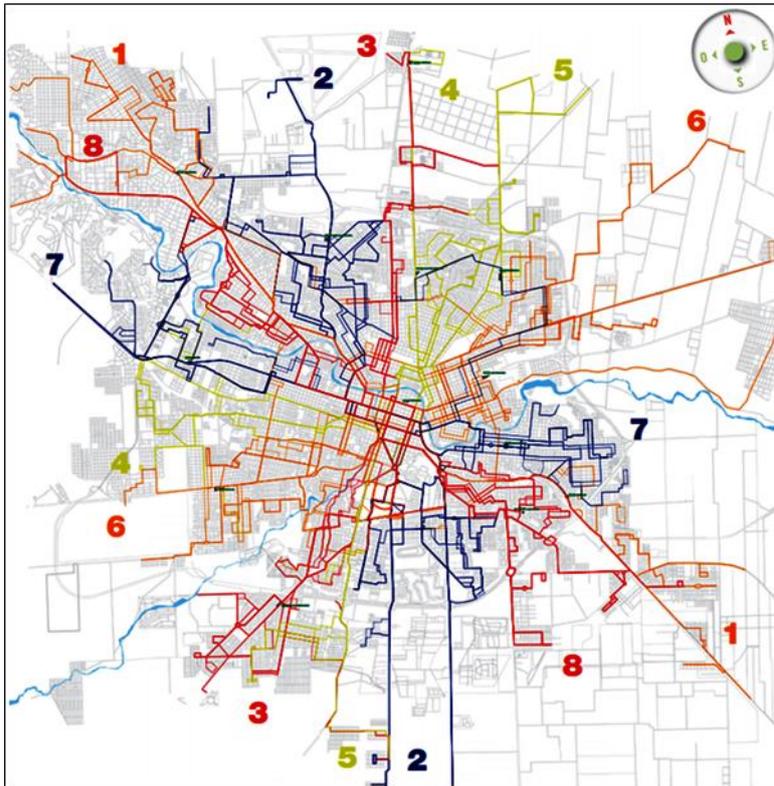
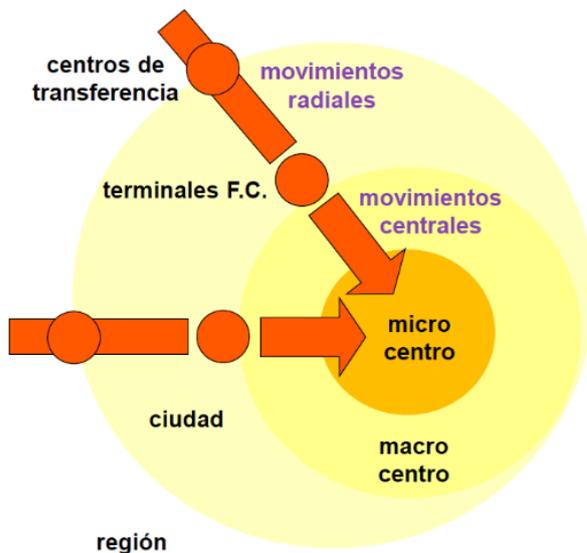


Figura 28. Red Radial. Ciudad de Córdoba. Argentina. <https://es.wikipedia.org/>

4.2.1 Efecto sobre el crecimiento urbano

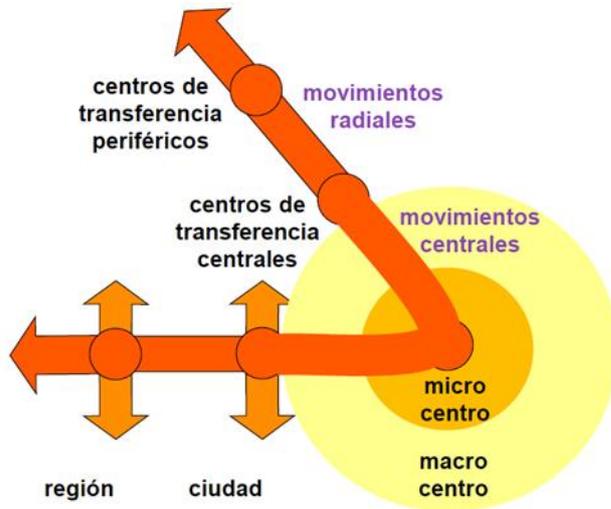
Las redes radiales generan un fuerte impacto en el crecimiento urbano.



Esquema A. Sistema centralizado radial.

Esquema A: los sistemas centralizados responden a un esquema predominantemente radial. La ciudad original tiene un peso dominante frente a la metrópoli. La población del conurbano crece con rapidez en relación con la del centro. La escasez y especialización del empleo sobresalen como características de los suburbios. Las interrelaciones son primordialmente radiales y la morfología de la red de transporte trae como consecuencia un pronunciado

gradiente en la accesibilidad desde las áreas centrales hacia las periféricas. Decece la calidad de prestación de los servicios en cobertura, frecuencias.



Esquema B. Sistema policéntrico o desarrollado.

Esquema B: la planificación debe orientarse hacia un modelo “policéntrico” o “desarrollado”. La aparición de subcentros tiende a reequilibrar funcionalmente el territorio. La red de interrelaciones deja de ser radial y pasa a ser diversificada. Las condiciones de empleo evolucionan positivamente en aquellos núcleos urbanos de la periferia que mayor impulso adquieren en el proceso de descentralización. La demanda de transporte aumenta entre subcentros y se completan los accesos con vías de circunvalación. Estos producen una redistribución en el territorio de las condiciones de accesibilidad generando en las intersecciones de las vías radiales y de circunvalación nuevos puntos de gran accesibilidad relativa, tendiéndose al reequilibrio espacial del sistema.

4.3 Red Flexible

Este tipo de red se presenta en los servicios de respuesta a demanda y otros tipos de transporte en donde el derrotero está determinado por la demanda de usuarios o de grupos de individuos.

Este tipo de red se puede clasificar en tres distintos tipos:

- Muchos a uno (o uno a muchos), el cual se utiliza principalmente en alimentadoras a rutas radiales principales y consiste en servir muchos destinos con un punto atractor final. Figura 29.

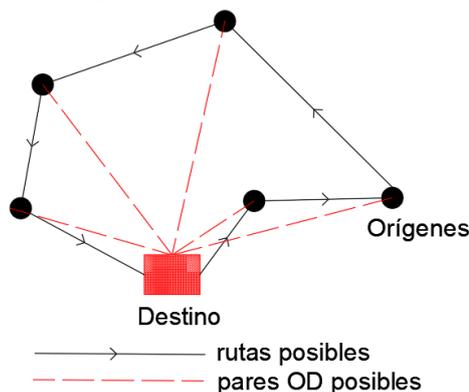


Figura 29. Muchos a uno. Fuente: referencia (1)

- Muchos a pocos, el cual se utiliza en áreas con varios puntos focales (estaciones, centros comerciales) y que están rodeados por áreas de baja densidad. Este tipo de red implica atender muchos destinos con unos cuantos puntos atractores, situación que se muestra en la Figura 30.

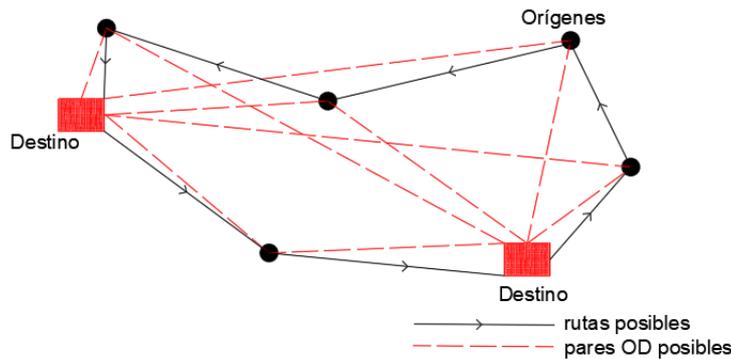


Figura 30. Muchos a pocos. Fuente: referencia (1)

- Muchos a muchos, esquema que se utiliza para atender zonas de baja densidad sin puntos focales, implicando con ello el atender muchos destinos con muchos puntos atractores. Figura 31.

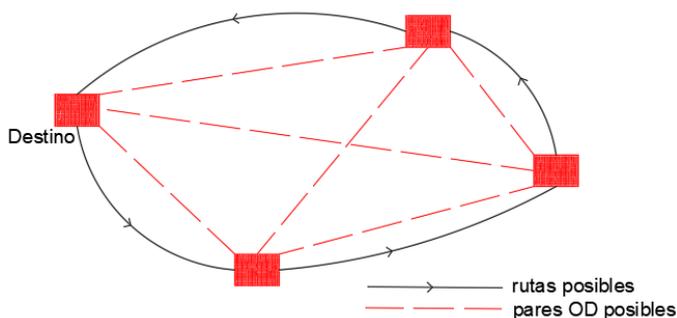


Figura 31. Muchos a muchos. Fuente: referencia (1)

4.4 Red Irregular

Todas aquellas redes que no siguen ningún esquema geométrico, encontrándose principalmente en muchas ciudades con trazos viales irregulares, con barreras topográficos (ríos, montañas, otras) y artificiales u otros condicionantes locales que influyen en el trazo mismo de la red. Figura 32.

No se puede hacer ninguna caracterización general sobre sus cuencas de transporte, conectividad, sinuosidad y otros aspectos puesto que no responden a casos específicos.

Este tipo de red es frecuente en ciudades donde su desarrollo urbano ha seguido trazos viales irregulares. Aún donde la traza es prácticamente ortogonal o sigue patrones radiales, existen redes irregulares las cuales prestan un servicio de transporte inadecuado



Figura 32. Red Irregular. León. España. <http://www.alesa-alsa.com/>

4.5 Red con Transferencias Coordinadas

Este tipo de red tiene, por definición, **puntos focales y tramos fijos de rutas entre estos puntos**. Figura 33.

Las distancias entre estos puntos focales son medianamente uniformes, excepto si se presentan variaciones en las velocidades de operación. En este caso las longitudes de los tramos “tienden” a incrementarse con la reducción en las velocidades. Es el “costo” en tiempo perdido que el usuario percibe, menor velocidad (mayor tiempo de viaje) equivale a mayor distancia si lo compara con su percepción sobre el otro tramo de mayor velocidad (menor tiempo de viaje). Su propósito principal es considerar no solamente el trazo físico de la red, sino buscar un esquema operativo que facilite los trasbordos y permita una adecuada conectividad entre las diferentes rutas que componen la red.

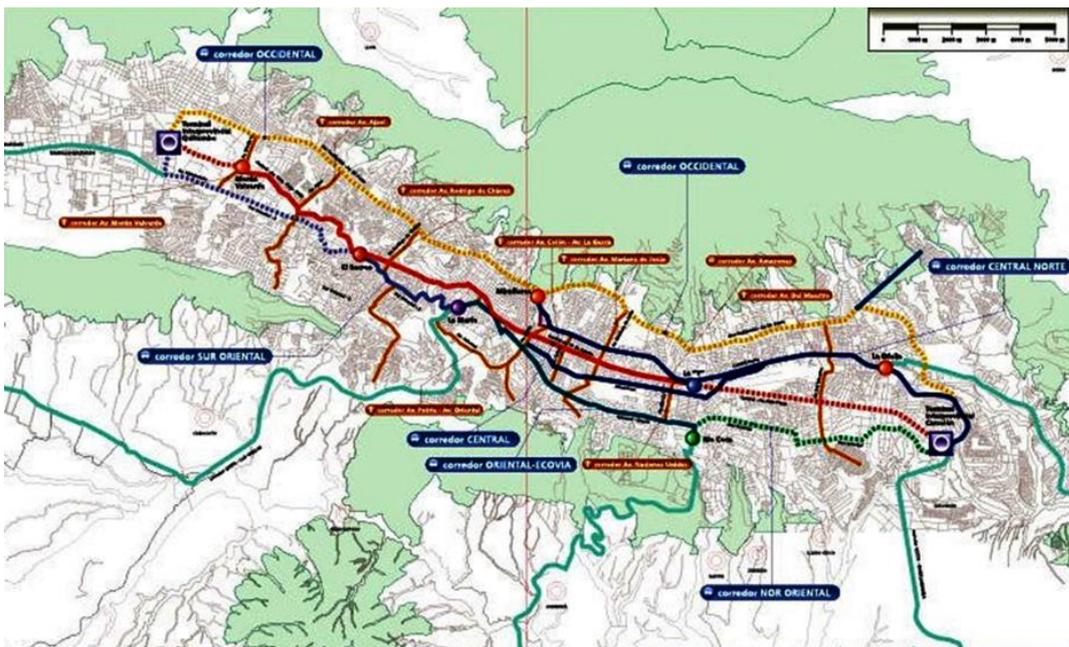


Figura 33. Línea Metro de Quito. Estaciones = puntos focales

5 **CARACTERÍSTICAS Y ELEMENTOS DE UNA RED DE TRANSPORTE**

El diseño eficiente de una red de transporte público y de las rutas individuales que la componen es un aspecto que influye significativamente en el desempeño, la atracción, los resultados económicos y la operación misma del sistema. Para su diseño se deberán considerar los siguientes elementos:

- buscar un diseño sencillo en el trazo de la red
- si los corredores presentan cargas equitativas y una red densa, es recomendable el establecimiento de troncales
- tener presente que el cuello de botella de una línea es su terminal por lo que éstas deben ser diseñadas para operar rápida y eficientemente. Toma gran valor la logística del operador de la línea
- lo mismo sucede con los puntos de intercambio modal, se pueden convertir en un cuello de botella ante un error de diseño o falta de coordinación entre los distintos modos y medios que operan en su zona de influencia.
- conforme el número de troncales aumenta, la operación debe ser más rigurosa
- la infraestructura peatonal de las áreas de influencia de la red debe ser de calidad, accesible, brindar seguridad ciudadana, entre otras condiciones básicas.

El desempeño y la eficiencia de una red de transporte, y del servicio que prestan, puede ser medido por varias características que afectan a uno o varios de los grupos que participan en el transporte:

- Cobertura de área o cuenca de transporte, afecta a usuario y comunidad
- Líneas de deseo
- Sinuosidad, a usuarios
- Conectividad, a usuarios
- Densidad del servicio, usuarios y comunidad
- Traslados, usuarios
- Velocidad o Tiempo de viaje, a usuarios, prestatarios del servicio y comunidad
- Infraestructura, Estado, prestatario y comunidad toda (usuarios y no usuarios)
- Costos de operación, prestatario, Estado y comunidad toda (usuarios y no usuarios)

5.1 **Cobertura del área de servicio o cuenca de transporte**

Este requerimiento muestra la extensión de una red dentro del área o cuenca en la que se presta el servicio, así como el desempeño individual de cada ruta.

Área de servicio o cuenca de transporte es el área servida por el sistema de transporte público siendo su unidad de medida el tiempo o la distancia recorrida a pie y que resulta aceptable caminar.

Este valor puede estar relacionado con un porcentaje de la población a la que sirve. Ejemplo: se establece una cobertura de una ruta con un radio de 400 m (desde sus paradas) y que cubre el 90% de las oportunidades de trabajo.

Normalmente, la cobertura en los centros históricos de las poblaciones se acerca al 100% y va disminuyendo conforme se tiende a áreas de una menor densidad o atracción. Por ello, al

examinar la cobertura se debe considerar la extensión de la red, la provisión de medios de acceso a la red y la cobertura que se logra en el centro de actividades de una ciudad.

La cobertura toma relevancia cuando el sistema de transporte no es subsidiado, o bien el subsidio no es condicionado. Los prestadores buscan las zonas de mayor densidad con el objetivo de mejorar sus ingresos.

Generalmente se considera como **cuenca primaria** la distancia que puede ser recorrida a pie en 5 minutos (+/- 400m) desde cualquier estación o parada. Este valor se relaciona con el usuario (edad, discapacidad motriz, visual, otras), tipo de terreno (pendiente), calidad de la infraestructura de uso por parte del peatón, existencia de veredas o aceras, (dimensión, superficie, iluminación, etc). Semáforos, señalización vial, sendas peatonales, otros elementos que garanticen la seguridad peatonal. Clima (temperaturas extremas, lluvia, nieve, viento).

La **cuenca secundaria** define a todos aquellos puntos que se encuentran entre cinco y diez minutos y representan una menor captación de usuarios potenciales.

La Figura 34 muestra este concepto para una estación de metro o tren regional. En este caso hay cobertura primaria para acceder directamente a la estación de metro o tren regional, o bien para hacerlo a otro modo, ejemplo transporte público de pasajeros prestado por buses; en este segundo caso, el bus debe llegar a una estación de intercambio modal y se genera el trasbordo. Quien posee automóvil puede acceder a un estacionamiento de transferencia y hacer el cambio de modo al metro o tren regional; o bien acceder al destino (centro histórico) en forma directa en su vehículo particular.

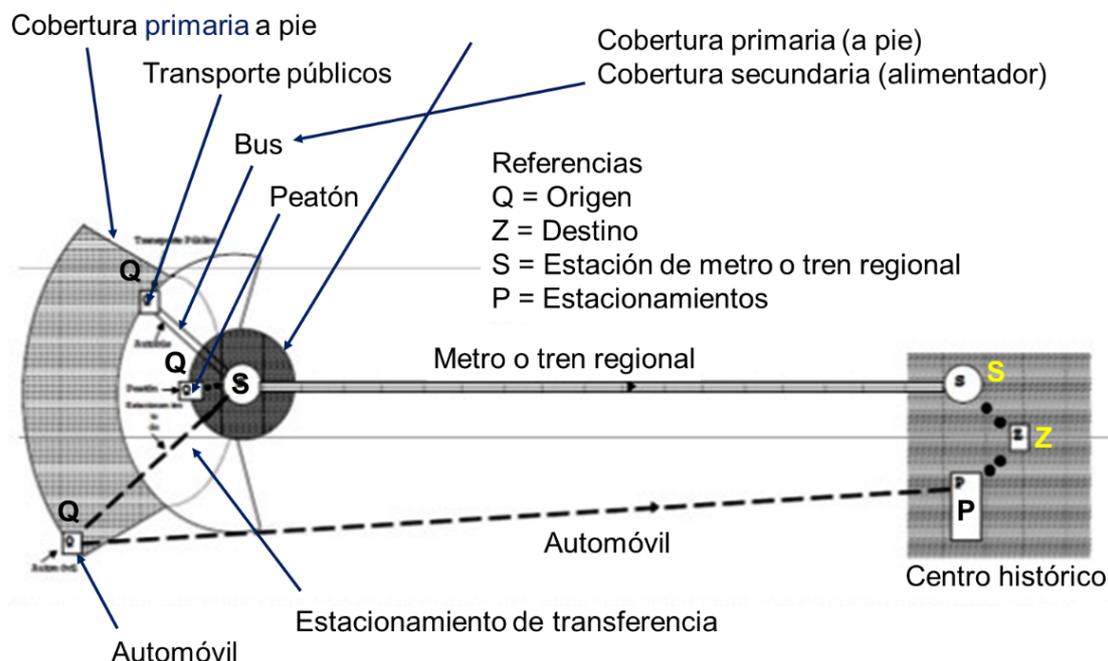


Figura 34. Cobertura primaria y secundaria a una estación de metro. Fuente: referencia (5)

Para el caso de rutas de transporte público que no cuentan con paradas previamente establecidas, se utiliza el concepto de una “banda de cobertura o cuenca continua”, bajo las mismas consideraciones anteriores. Esto sucede en rutas provinciales y nacionales, en servicios periurbanos.

Ahora bien, ¿qué sucede en servicios de media y larga distancia? No siempre es posible generar paradas en lugares establecidos debido a la carencia de una demanda estable en el tiempo y la gran distancia que presenta a los potenciales usuarios. Imaginemos la Ruta Provincial 153, Las Catitas – General Alvear, provincia de Mendoza, donde una familia que vive y trabaja en un puesto de la zona requiere acceder al transporte. Lo hará en el punto más cercano sobre la ruta a su ubicación permanente, sitio que muchas veces se encuentra a distancia considerable de su locación. No hará un traslado que demande mayor distancia pues, es probable, que lo deba hacer en forma peatonal.

La Figura 35 muestra un ejemplo hipotético de la cobertura, tanto en ejes de transporte urbano como regionales. A su vez, en el caso de paradas previamente establecidas es más frecuente el uso de radios de cobertura, tal y como se muestra en la Figura 35.

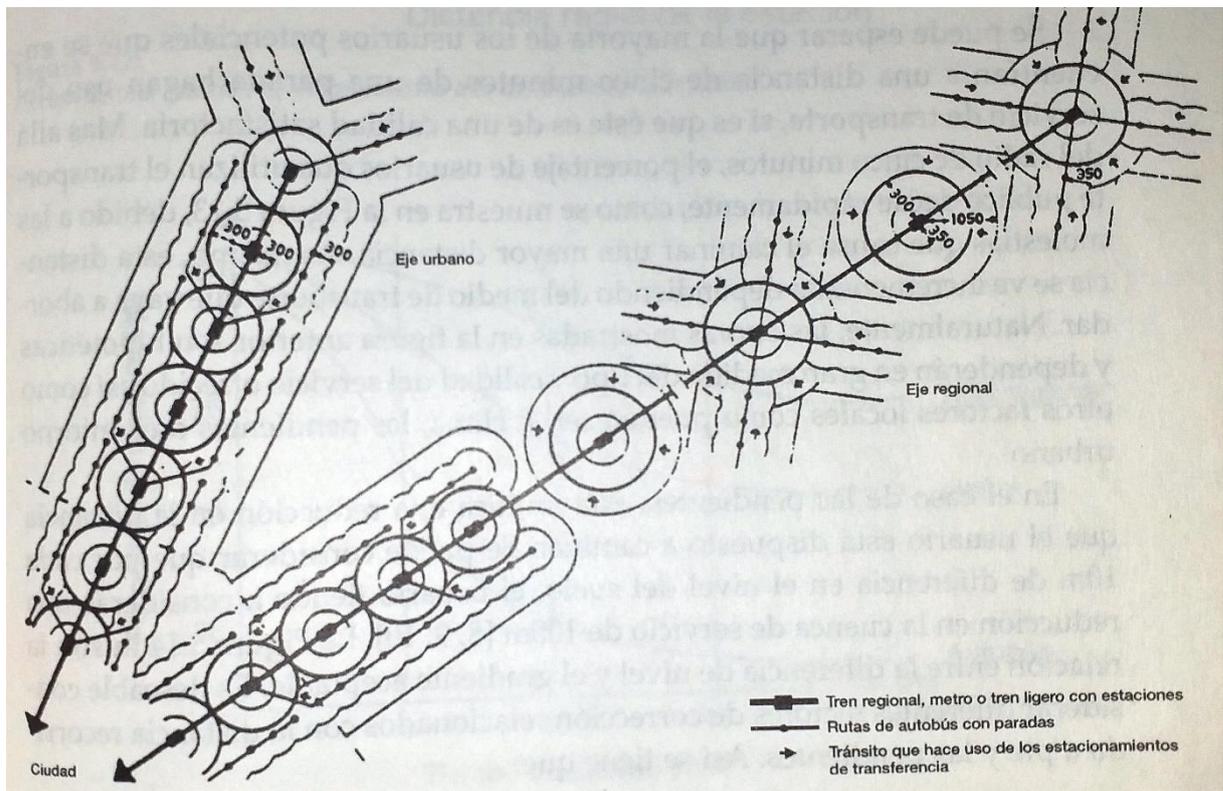


Figura 35. Cobertura urbana y regional. Fuente: referencia (1)

La **cobertura de área o cuenca de transporte urbana** se puede expresar como un porcentaje del área urbana que es prestada por el servicio de transporte:

$$\text{Cobertura (\%)} = \frac{\text{área cubierta por el servicio de transporte}}{\text{área urbana}}$$

Algunos estudios en **estaciones del metro** han establecido que en un radio de 200 metros prácticamente todos los viajes que llegan a ella se hacen a pie; a partir de los 600 metros ya aparecen algunos viajes en bus, 10%, que traspasan al metro; a partir de esta distancia declinan rápidamente los viajes peatonales. El uso de autobús como medio de acceso se incrementa rápidamente después de los 800m y aparece el uso de las estaciones de transferencia. Por ello, es importante definir la cuenca de servicio en base al medio de transporte que se esté considerando, siendo más amplia para el caso de transporte férreo que para el caso de autobuses. La Figura 36 muestra esta situación.

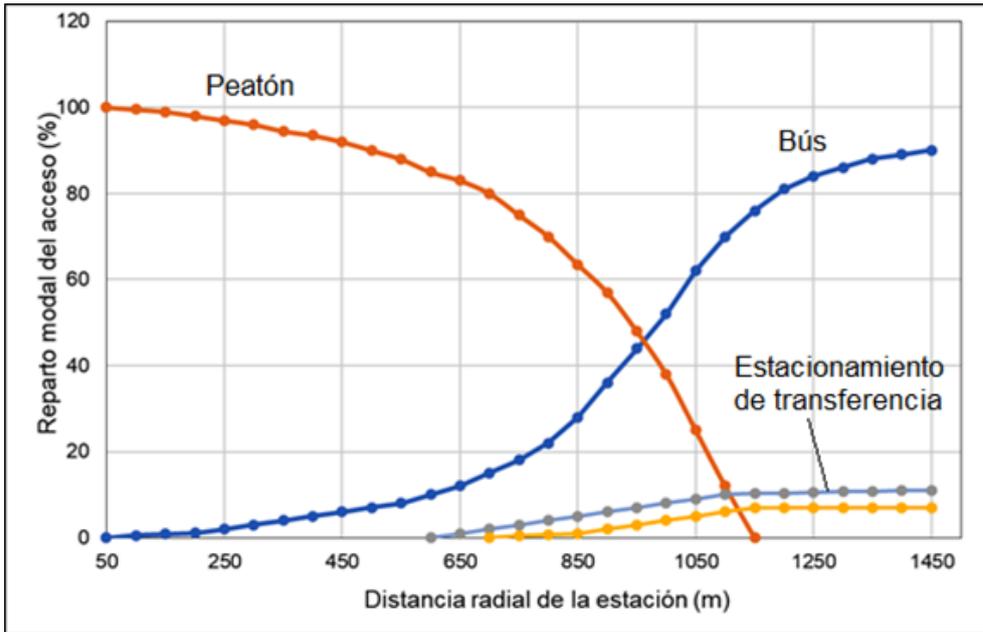


Figura 36. Acceso a una estación de metro relativa a la distancia de la estación. Fuente: referencia (1)

Se puede esperar que la mayoría de los usuarios potenciales que se encuentran a una distancia de 5 minutos de una parada, hagan uso del servicio de transporte, si es que éste es de una calidad satisfactoria (buena frecuencia, accesibilidad a las unidades). Más allá del radio de 5 minutos, el porcentaje de usuarios que utilizan el transporte público decae rápidamente, como se muestra en la Figura 37, debido a las molestias que causa el caminar una mayor distancia. Asimismo, esta distancia se ve incrementada dependiendo del medio de transporte que vaya a abordar. Naturalmente, las curvas mostradas en la figura anterior son hipotéticas y dependerán en gran medida del tipo y calidad del servicio ofrecido, así como otros factores locales: clima, pendientes, calidad urbana, seguridad ciudadana, etc.

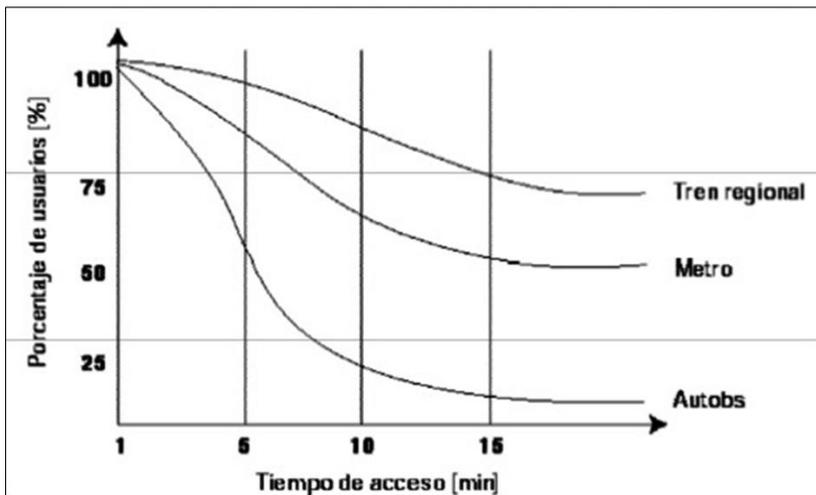


Figura 37. Usuarios potenciales en función del tiempo de acceso. Fuente: referencia (1)

5.2 Líneas de deseo

En el diseño de una red o ruta de transporte es necesario conocer los puntos de origen y destino o líneas de deseo que el usuario cautivo y potencial desea seguir con el fin de que las rutas de

transporte se adecúen de la mejor manera a este requerimiento y reduzcan los tiempos de recorrido por parte del usuario.

Este tema se desarrolla en Metodologías de Planificación y Modelos de Transporte.

5.3 Sinuosidad de una ruta

Es la relación entre la distancia recorrida por el vehículo entre dos puntos y la distancia en línea recta entre estos mismos puntos. El caso deseable es que esta relación tienda a uno, pero el trazo de las rutas se ve influenciado por la vialidad, la topografía y por obstáculos naturales y artificiales que evitan en la mayoría de los casos que esta relación sea igual a uno.

$$\text{sinuosidad de una ruta} = \frac{\text{distancia recorrida entre AB}}{\text{distancia línea recta entre AB}}$$

Una red ideal contempla rutas de transporte que conectan los grandes generadores de viajes a través de rutas directas, estableciendo las mismas a lo largo de las principales líneas de deseo o corredores con mayor concentración de viajes sirviendo lo más posible a las áreas habitacionales. Para el caso de Mendoza, Rutas por las siguientes calles y Avenidas: Ruta 110: por Av. San Martín (Las Heras-Ciudad-Godoy Cruz). Ruta 120: por carril Godoy Cruz (Guaymallén)-centro-UNCuyo.

Aun cuando esta situación es una meta deseable, generalmente existe un conflicto con la cobertura del servicio, la cual debe ser la mayor posible. Lógicamente, se puede lograr una mayor cobertura si se incrementan los recorridos tortuosos, situación que ocurre frecuentemente en áreas de baja densidad donde la demanda de transporte es baja o se encuentra dispersa. Es importante destacar que no es el único motivo que genera sinuosidad, la inseguridad ciudadana es otro gran problema que afecta la accesibilidad y genera demanda de usuarios buscando acortar la distancia de caminata, ergo, se generan recorridos sinuosos. Figura 38 y Figura 39.

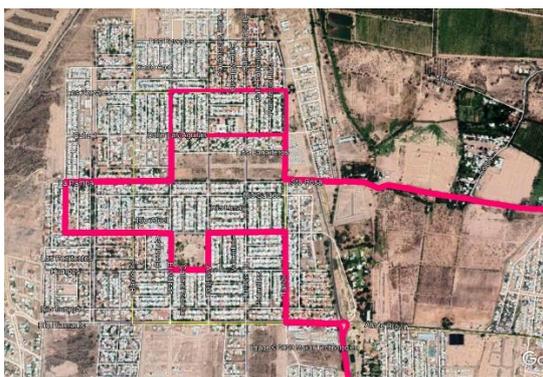


Fig. 38. Ruta en Las Heras



Fig. 39. Ruta en Guaymallén

Donde la demanda es alta, es factible lograr buena cobertura con rutas directas. Sin embargo, en áreas de baja demanda, el servicio se traduce en tiempos de espera demasiados largos (baja frecuencia) si solamente se utilizaran rutas directas.

Cuando se requiere utilizar rutas sinuosas es deseable que su tramo sinuoso ocurra en los tramos periféricos de tal forma que el menor número posible de usuarios sufran recorridos innecesarios y con ellos tiempos mayores a bordo de las unidades. La figura 40 muestra tres ejemplos esquemáticos de la forma que pueden adoptar los recorridos. Así, por ejemplo, se

muestra una combinación de recorridos sinuosos que pueden complementarse para lograr viajes directos y una cobertura aceptable.

Esta situación puede normarse estableciendo la longitud del viaje (en tiempo o distancia) dentro de una base comparable como lo puede ser el automóvil para un determinado número de viajes, **es recomendable establecer que dicha longitud no se exceda en más de un 20% del recorrido realizado en automóvil para cuando menos el 80% de todos los viajes que se efectúan en el transporte público.** Caso contrario pierde “competitividad” para aquel usuario que tiene la posibilidad de acceder a un vehículo particular y en su ecuación de costo el tiempo empieza a tener un valor preponderante frente al costo directo que surge de pagar el bus o mover su automóvil.

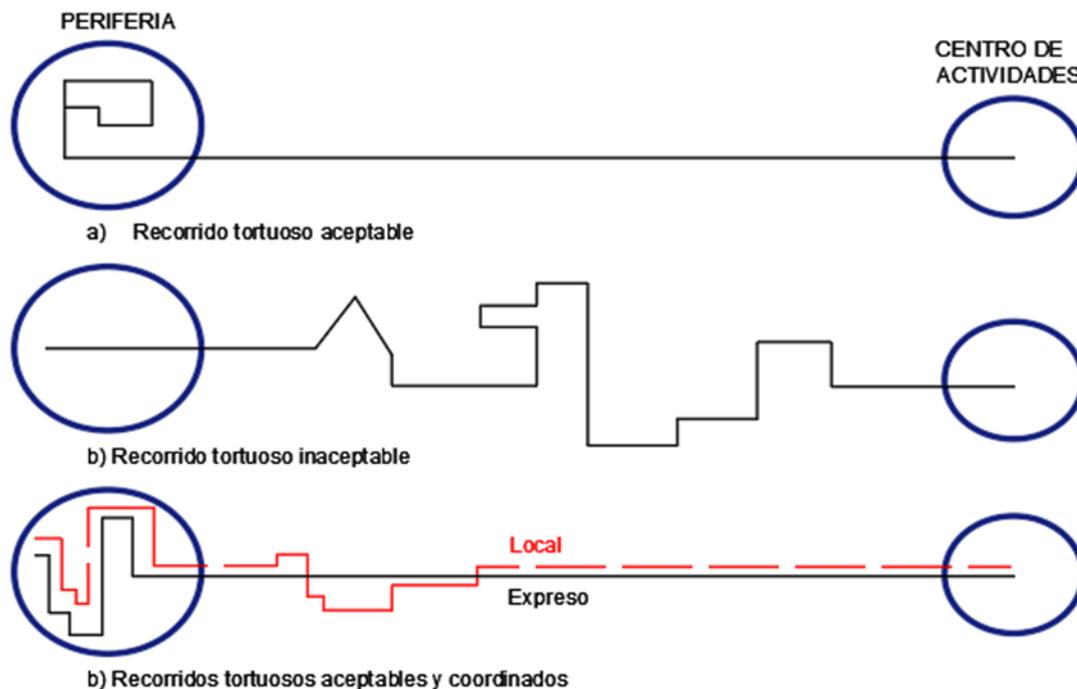


Figura 40. Ejemplos de recorridos sinuosos en el transporte público. Fuente: referencia (4)

5.4 Conectividad

Esta se expresa por el porcentaje de viajes que se pueden realizar sin trasbordos y depende de los patrones de viaje y la red de transporte existente, así como la relación entre rutas y líneas. Para ello es necesario definir la diferencia existente entre rutas y líneas.

Una ruta de transporte es un conjunto de vialidades por donde circulan unidades de transporte en servicio entre dos puntos terminales.

Las líneas de transporte se conforman por las vialidades por donde opera una o más rutas de transporte. En Mendoza, línea es equivalente a pisada de la red. La suma de los kilómetros de vialidad que es pisada por la red (no importa la cantidad de rutas y frecuencias de las mismas), es la infraestructura que utiliza el transporte.

En otras palabras, la longitud de ruta de una red es la suma de todas las longitudes de las rutas, mientras que la longitud de líneas es la suma total de los tramos de vialidades por donde circula el transporte público. Por lo tanto, la longitud de ruta puede ser igual o mayor que la longitud de línea.

La Figura 41 muestra una red de transporte operada de dos maneras diferentes. En el caso (a), solo operan dos rutas (A; B) mientras que en el segundo caso (b), cuatro rutas (A; B; C; D) sirven a la misma vialidad. La longitud de línea (pisada) son iguales para ambos casos, mientras que la longitud de ruta en el segundo caso es el doble que en el primer caso. La frecuencia en todas las líneas es la misma.

Caso (a): Frecuencia ruta A = Frecuencia ruta B = 12 bus/hr. Intervalo = 5 min/bus

Caso (b): Frecuencias rutas A; B; C; D = 6 bus/hr. Intervalo = 10 min/bus. Esto permite tener la misma frecuencia por línea.

El número de trasbordos en el segundo caso (b) son considerablemente menores que en el primer caso (a). Por lo tanto, la primera red presenta una menor conectividad, pero una mayor frecuencia en las rutas que la segunda red (b). El primer caso (a) implica un mayor número de trasbordos con un menor tiempo de espera que en el segundo caso (b).

Ejemplo: supongamos querer realizar un viaje desde Origen a Destino (ver Figura 41)

Caso (a): para ir de Origen a Destino, debo trasbordar de ruta A, a ruta B. Las frecuencias son 12 bus/hr, los intervalos de espera serán de 5 min/bus.

Caso (b): las rutas A, B, C y D tienen frecuencias de 6 bus/hr, intervalo 10 min/bus. Ambas suman 12 bus/hr con intervalo de 5 min/bus, por línea. Para ir de Origen a Destino directo, sin trasbordo, Ruta C, la frecuencia es de 6 bus/hr, es decir el intervalo de espera es mayor, 10 min/bus.

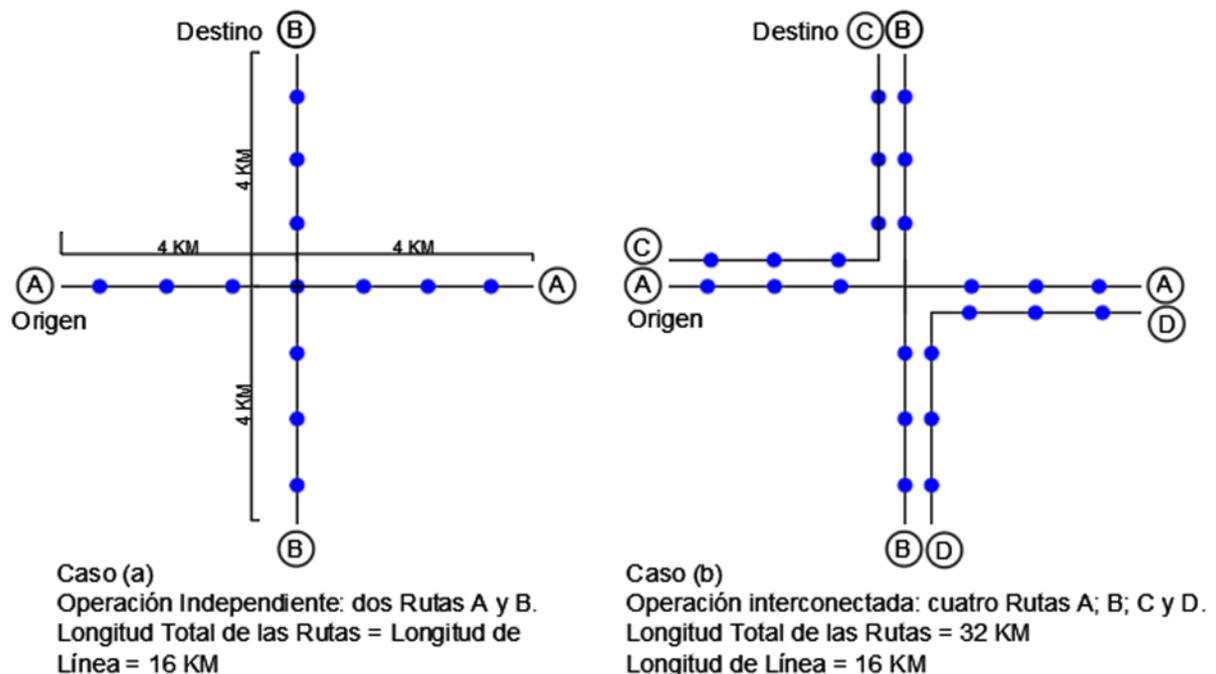


Figura 41. Concepto de conectividad. Fuente: referencia (6)

El grado de conectividad en una red de transporte también se expresa en función de la relación de su longitud de ruta contra su longitud de línea. Esta relación permite contar con una característica a nivel sistema mientras que el porcentaje de viajes que incluyen trasbordos reflejan características de su utilización.

5.5 Densidad del servicio

Esta característica está estrechamente relacionada con las cuencas de transporte y describe que tan intensamente está servida un área urbana. Se puede medir por varios indicadores, tales como la longitud de línea, de ruta o los vehículos-kilómetros por hora que se prestan dentro del área de servicio.

La densidad de las redes de transporte, o kilómetros de red por kilómetro cuadrado de área está normalmente determinado como un balance entre la amplitud de la red y la frecuencia del servicio. Así, por ejemplo, la ruta que se muestra en la Figura 42 sirve un corredor de ancho (W) con una cuenca de transporte que tiene demanda para (F) vehículos por hora (frecuencia). El servicio puede prestarse de diferentes maneras.

En el primer caso, una ruta presta el servicio lo que conduce a que la distancia máxima de caminata de cualquier punto dentro del corredor es $W/2$, mientras que la distancia promedio es de $W/4$, suponiendo una densidad de población uniforme a lo largo del corredor. La frecuencia en la ruta es (F).

En el segundo caso, el servicio lo proporcionan dos rutas, cada una con una frecuencia $F/2$. Esto da como resultado una distancia máxima de caminata de $W/4$ y el promedio es $W/8$.

Por último, si se tienen tres rutas, se ofrece una frecuencia de $F/3$ unidades por hora en cada ruta, pero con un decremento en la distancia máxima de caminata a $W/6$ y en promedio de $W/12$.

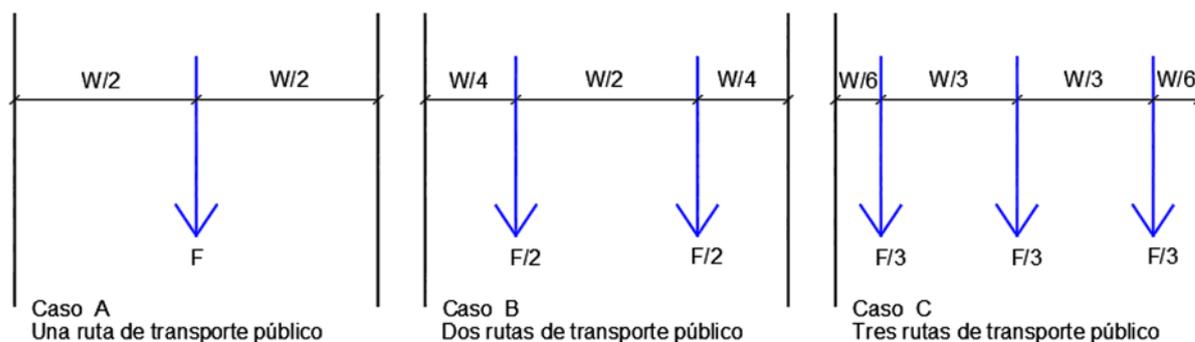


Figura 42. Densidad del servicio. Fuente: referencia (4)

Por ello, el compromiso existente entre la distancia de acceso (caminata) y el tiempo de espera en la selección de la densidad de la red se hace obvio. Esto implica que el tiempo de espera es proporcional al número de rutas mientras que el tiempo de caminata es inversamente proporcional al número de rutas. “Camino menos, espero más”

Se considera que una red está cercana a su situación ideal, en cuanto a cobertura y frecuencia cuando los tiempos de espera y caminata son semejantes.

Si el tiempo de espera supera al de caminata, es factible una reducción en los tiempos de espera si se reestructura la red y se reduce el número total de rutas. Si, por el contrario, los tiempos de caminata superan los de espera, entonces se recomienda incrementar la cantidad de rutas. Naturalmente, si ambos valores son semejantes, no se obtiene una ganancia apreciable. (7)

Es interesante señalar que para cocientes de estos dos tiempos menores al 50% la reducción en el tiempo al corregir la red es significativo, mientras que con valores superiores al 70% la

reducción que se logra al optimizar es despreciable. Para una red ortogonal, la distancia óptima entre rutas (7) viene dada por:

$$d = \frac{8000}{f} \cdot (1 + i_i)$$

Donde:

d = distancia entre rutas (m)

f = frecuencia media de las rutas (veh/hr)

i_i = índice de irregularidad (-). Fuente: referencia (7)

5.6 Traspordo

Aun cuando es deseable que se minimicen los trasbordos entre rutas de transporte debido a que implica mayores tiempos de espera para el usuario, estos representan un componente importante en los recorridos del transporte público. No existe una red de transporte que pueda servir a todos los viajes mediante rutas directas y sin trasbordos. Cuánto más trasbordos existan, mucho más fácil es diseñar y operar eficientemente las distintas rutas que conforman una red ya que cada ruta puede ser diseñada específicamente para cubrir determinadas condiciones físicas, de volumen y tipo de demanda.

La programación de los trasbordos, así como la planeación y el diseño adecuado de las instalaciones fijas repercuten tanto en la eficiencia del sistema como en la conveniencia que éste da al usuario y con ello su atracción hacia el sistema. Si el sistema provee de trasbordos fáciles, sencillos, rápidos y convenientes, entonces la red entera puede ser operada eficientemente y puede atraer a la mayoría de sus usuarios potenciales. Si, por otra parte, los puntos de traspordo están mal ubicados, mal diseñados, son inseguros y desagradables y sus itinerarios no están coordinados, los trasbordos pueden ser un obstáculo que inhibe a un buen número de usuarios potenciales a utilizar el servicio de transporte.

En el análisis del traspordo se deben considerar dos aspectos fundamentales, siendo éstos el intervalo y el tipo de ruta que se trate. Las características del servicio que se examinan incluyen la conveniencia de efectuar los trasbordos, el tiempo necesario para llevarlos a cabo, el número de trasbordos posibles, su dirección y la importancia para el funcionamiento de diferentes redes de transporte.

5.7 Intervalo

Entre los factores que el usuario toma en cuenta para realizar sus decisiones sobre qué medio de transporte va a utilizar está el intervalo ya que éste afecta directamente el tiempo de espera y de traspordo, y por ello el tiempo total de recorrido. Bajo este orden de ideas, las rutas de transporte se pueden clasificar en aquellas con intervalos cortos (≤ 10 minutos) y aquellas con intervalos largos (> 10 minutos), situación que hace que los trasbordos presenten las características que se señalan en el cuadro de la Figura 43.

		RUTA DE DESTINO	
		INTERVALO CORTO	INTERVALO LARGO
RUTA DE ORIGEN	INTERVALO CORTO	CASO I Tiempo de transbordo cortos y convenientes	CASO III Varía. Se requiere información sobre conexiones
	INTERVALO LARGO	CASO II Tiempos de transbordo cortos y convenientes	CASO IV Varía dependiendo del intervalo 1- Igual y simultáneo. Transbordos convenientes 2- Igual pero no simultáneo. Transbordos en una dirección convenientes si se coordinan 3- Diferentes. Imposibles de coordinar. Tiempo de transbordo largo

Figura 43. Tiempo de trasbordo entre rutas con intervalos largos y cortos

Los trasbordos de una ruta con intervalo corto a una que también presenta intervalo corto, implican tiempo de trasbordo bajos y es típico en rutas con alta demanda. Por ello no es necesario buscar una coordinación entre horarios. Esta situación se presenta en el caso de rutas alimentadoras a un troncal.

En el caso de trasbordos entre un troncal y una ruta alimentadora, los tiempos de espera pueden variar de muy pequeños a valores similares a los del intervalo largo en la ruta alimentadora (de baja demanda). Por ello, la conveniencia al usuario varía aleatoriamente, situación que puede controlarse cuando se ofrecen a los usuarios los horarios para todas las rutas, de tal forma que pueda planear su viaje y abordar la unidad en la troncal que conecta a la ruta alimentadora con la demora mínima. Finalmente, los trasbordos entre rutas con intervalos largos varían según sean estos iguales y simultáneos; iguales, pero no simultáneos; y diferentes.

6 REDES DE TRANSPORTE EN ÁREAS DE BAJA DENSIDAD

Por su propia naturaleza, el transporte público opera eficientemente donde existe cierta agregación de la demanda de viajes. Puesto que en las áreas de baja densidad la tenencia de automóviles tiende a ser alta, la demanda de viajes por transporte público se presenta de tal forma que los transportistas encuentran difícil proveer un nivel de servicio adecuado en ciudades con una baja densidad a un costo aceptable. Esto sucede cuando el nivel socioeconómico del sector permite la movilidad individual (vehículos particulares). En área urbana, el servicio de transporte debe prestarse pues no todas las personas tienen acceso a un vehículo particular. Imaginemos un barrio privado donde hay que garantizar acceso a quienes trabajan en el mismo (seguridad, limpieza, cuidado de niños, jardinería, etc.) y a los habitantes del barrio menores de edad o cualquier potencial usuario.

El fenómeno se agrava cuando se trata de barrios de bajo nivel socioeconómico y baja densidad, zona periurbana o rural, donde es imprescindible el servicio de transporte público de pasajeros, ahí aparecen los subsidios en sus diferentes maneras de implementación. Este tema se ha tratado en otros apartados de la materia.

Se considera que el transporte público puede desempeñar dos diferentes papeles en áreas de baja densidad:

- **Proveer la movilidad primaria para aquellos que no tienen acceso al automóvil.** Este segmento de la población es importante en nuestras ciudades y cuando existe este servicio, puede proveer un número substancial de viajes a la escuela, trabajo, compras, salud y otros servicios. Debemos garantizar la movilidad de la comunidad.
- **Proveer un servicio alternativo al usuario que tiene acceso al automóvil.** Esto es factible si se proporciona un nivel de servicio competitivo con el automóvil.

6.1 Problemas del transporte en áreas de baja densidad

La situación que guarda el transporte público en este tipo de áreas muestra que estos servicios son, en la mayoría de los casos, deficientes. El servicio de taxis, remis, Uber, Cabify, etc, puede servir solamente a una fracción muy pequeña de la población. A su vez, el servicio de transporte público, cuando existe, ofrece una cobertura limitada y un servicio irregular tanto en los horarios como en la coordinación de los trasbordos. Como resultado, el transporte público se vuelve inconveniente para muchos viajes, particularmente si los orígenes y destinos del usuario no coinciden con una ruta dando lugar a que se realicen los trasbordos sin una infraestructura adecuada o sin la coordinación de horarios.

La dificultad fundamental de dar un servicio de buena calidad en el transporte público en áreas de baja densidad se centra en que la baja afluencia de pasaje hace que mejoras como una mayor densidad de la red o mejores frecuencias de servicio, sean difíciles de justificar, lo que hace que los subsidios por pasajero sean normalmente mayores que en las áreas internas de una ciudad, aquellas de mayor densidad poblacional.

Es importante señalar que el problema de generar un número adecuado de usuarios para mantener una frecuencia de servicio aceptable, se relaciona con la misma densidad poblacional. Una menor densidad implica un menor número de usuarios en la cuenca de servicio de cualquier ruta. Por ello, una de las soluciones puede ser la adopción de un sistema de transferencias coordinadas donde el esquema de servicio pasa de un sistema de rutas individuales – sin coordinación o interacción alguna – a una red integrada que puede atraer una mayor afluencia que la que actualmente se presenta en las áreas de baja densidad.

6.2 Sistema de transferencias coordinadas

Este esquema operativo implica la reestructuración de una red de transporte público cuya característica principal consiste en reducir y aun eliminar las demoras del usuario al momento de realizar una transferencia entre rutas de baja frecuencia. Esto implica naturalmente la convergencia simultánea de las unidades de transporte en los puntos de trasbordo y un sistema de información al usuario on line, que muestre el comportamiento de las unidades en la red.

La tecnología existente permite un seguimiento en tiempo real del posicionamiento espacial y temporal de las unidades que componen la red de transporte, a través de dispositivos GPS (Global Positioning System) y GPRS (General Packet Radio Service) sobre las unidades. De esta manera, los operadores pueden regular la marcha de las unidades, cumplir con la hora predeterminada de paso por paradas y llegadas a terminales de transferencia coordinada.

Por otro lado, la autoridad de aplicación (Gobernanza), puede contar con sistemas de monitoreo y comunicación con los siguientes servicios:

- operadores del servicio de transporte público de pasajeros,

- red de semáforos,
- cámaras de monitoreo en intersecciones conflictivas,
- paneles de mensajes variables ubicados en la vía pública
- Policía vial
- comunicación con los usuarios a través de diversos sistemas on line (web, apps, telefonía, etc).
- control de túneles, puentes, intercambiadores conflictivos
- polos de intercambio modal, terminales
- paradores relevantes de la red
- etc

De esta manera se formaliza un sistema ITS (Intelligent Transportation Systems) que permite garantizar la prestación eficiente de los servicios de transporte.



Figura 44. Panel control ITS. SSP-Mendoza. WARA



Figura 45. Centro de Monitoreo y Gestión de la Movilidad Urbana. CABA

7 RED DE TRANSPORTE INTEGRADA, ejemplo

<https://www.transmilenio.gov.co/>

El **Sistema Integrado de Transporte Público (SITP), Bogotá – Colombia (BRT. Bus Rapid Transit)**, es el sistema que tiene como objetivo integrar, reducir y modernizar el número de empresas prestadoras del servicio a sólo 13, las cuales operan en igual número de zonas en las que la ciudad está dividida.

Comprende las acciones para la articulación, vinculación y operación integrada de los diferentes modos de transporte público, las instituciones creadas para la planeación, la organización, el control del tráfico y el transporte público, la infraestructura requerida para la accesibilidad y circulación.

- Lograr una cobertura del 100% en la prestación del servicio de transporte público de la ciudad.
- Integrar la operación y la tarifa, equilibrando la demanda de buses en todas las zonas.
- Ajustar tecnológicamente la flota actual, reduciendo los índices de accidentalidad y mejorando la accesibilidad.

Consiste en vías para servicios troncales que corresponden a los carriles centrales de las principales avenidas de la ciudad. Estos carriles exclusivos se acondicionan especialmente

para soportar el paso de los buses y se separan físicamente de los carriles de uso mixto, disponibles para circulación de vehículos particulares, camiones, taxis, etc.



Figura 46. Transmilenio - Bogotá



Figura 47. Transmilenio - Bogotá

7.1 Troncal:

Transita por las vías troncales de la ciudad conectando las estaciones y los portales del Sistema. El pago se realiza en el ingreso a las estaciones y portales del sistema. No se paga en la unidad. Esto agiliza el ingreso de los usuarios. Se distinguen por letras y color.

Tipo de Vehículos: Actualmente se usa dos tipos de vehículos en el Sistema TransMilenio: los articulados y los biarticulados.

Articulados: Como su nombre lo dice estos vehículos cuentan con una articulación en el medio, de color gris, llamado fuele. Su capacidad promedio es de **160 pasajeros**, cuentan con tableros electrónicos y sistema de voz electrónico para indicar próximas paradas. En la parte frontal exterior y hacia el lado de las puertas del articulado hay tableros electrónicos que indican el número de ruta y el destino del vehículo. Mide **18 metros de largo por 2,60 de ancho**.



Figura 48. Transmilenio. Bus articulado

Biarticulado: como su nombre lo indica estos vehículos cuentan con dos articulaciones. Su capacidad promedio es de **250 pasajeros**. Cuentan con tableros electrónicos internos y externos y sistema de voz electrónico para indicar próximas paradas. Los buses biarticulados de TransMilenio tienen una **longitud de 27,20 metros** convirtiéndose así en el bus biarticulado más largo del mundo.



Figura 49. Transmilenio. Bus biarticulado

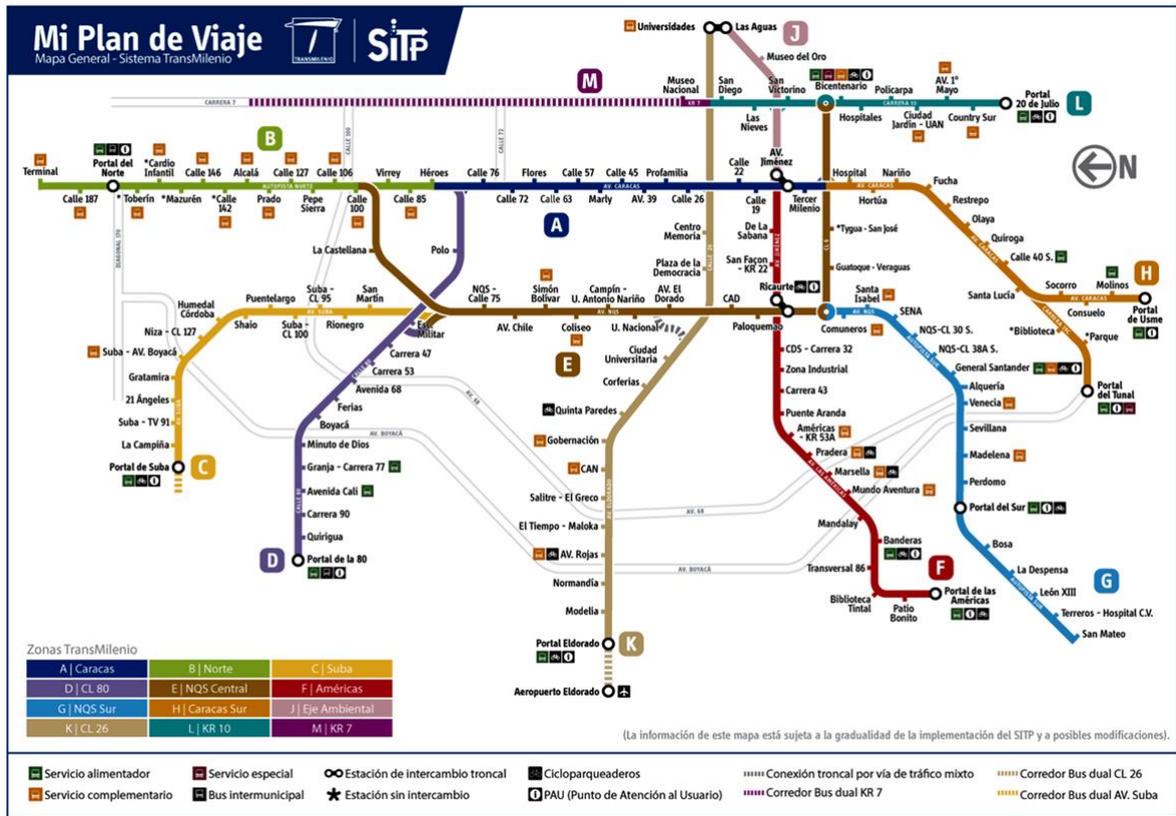


Figura 50. Red de Troncales del Sistema TransMilenio – Bogotá

7.2 Servicio alimentador:

Su color característico es el verde. Sirve para movilizarse desde y hacia zonas aledañas a los portales y estaciones intermedias del Sistema TransMilenio.

Tipos de Vehículos: los vehículos alimentadores son similares en su diseño interior a los articulados, la gran mayoría cuentan con tres puertas, aunque de menor tamaño, y un tablero electrónico que indica la ruta y el destino. Su color es verde, carente de articulación y son del tamaño de un bus normal. Tienen una capacidad promedio de **90 personas**.



Figura 51. Transmilenio. Bus alimentador

7.3 Servicio urbano

El servicio Urbano transita por las principales vías de la ciudad, conectando paraderos de las rutas establecidas. Transita por carriles mixtos. Su color característico es el azul. El pago se realiza en los vehículos con la tarjeta del sistema.

Tipos de Vehículo: Bus de **(80 pasajeros)**. Busetón **(50 pasajeros)** - Buseta **(40 pasajeros)**. Microbus **(19 pasajeros)**



Figura 52: Bus



Figura 53: Busetón o buseta



Figura 54: Microbus

Transmilenio suma a estos servicios detallados el: Servicio Complementario - Servicio Especial – Ciclo parqueaderos. Y se encuentra en proyecto el cable en Bogotá y un Tren Ligero



Figura 55: ciclo parqueaderos



Figura 56: ciclo parqueaderos

7.4 Otros ejemplos:

- Curitiba - Brasil
<https://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/transporte/rede-integrada-de-transporte>
- Barcelona - España
<https://www.tmb.cat/es/transporte-barcelona>
- Redes de metro en distintos países
<https://mapa-metro.com/es/>

8 PROGRAMACIÓN DEL SERVICIO

La calidad de un servicio de transporte público es un concepto amplio que engloba varios aspectos, entre los que se incluyen consideraciones relativas a la comodidad y seguridad dentro de la unidad de transporte, los tiempos empleados en la realización del viaje y la conveniencia y existencia de infraestructura que apoye el servicio.

Sin embargo, al revisar el servicio que se presta en una ruta de transporte no es factible considerar un buen número de aspectos cualitativos, pero si es factible tomar en cuenta las variables más importantes para el usuario. De esta manera, entre los principales parámetros relativos a la calidad del servicio y que se incluyen en el dimensionamiento de un servicio de transporte, se encuentran:

- capacidad del vehículo
- intervalo entre unidades y frecuencia del servicio
- horario de servicio
- la elaboración de itinerarios
- la determinación del tipo de vehículo

La cantidad de vehículos es el parámetro que mejor refleja el equilibrio entre la oferta y la demanda del transporte colectivo. Así, por ejemplo, en el caso de contar con más unidades en servicio que los requeridos se produce un exceso de oferta y una ociosidad del equipo, lo cual conduce a un alto costo en la operación que invariablemente se traduce en tarifas excesivas para el usuario, o bien, altos niveles de subsidios.

Por otra parte, si se cuenta con un parque vehicular por debajo de los requerimientos reales, se presenta una mala calidad del servicio que se traduce en molestias e inseguridad al usuario. Imposibilidad de acceso al servicio en hora punta, pérdida de tiempo. Es por ello que tanto el área encargada de la operación dentro de la empresa como las autoridades correspondientes tendrán la difícil tarea de encontrar el balance adecuado entre la oferta y la demanda.

El conocimiento de las necesidades de la población y el uso de las técnicas de planeación del servicio y su dimensionamiento evitan el desperdicio de recursos, tanto humanos como económicos y contribuyen a lograr un ajuste racional dentro del sistema de transporte o la empresa misma.

9 DIMENSIONAMIENTO DE UNA RUTA DE TRANSPORTE

El dimensionamiento de una ruta de buses o la elaboración de su esquema de operación puede ser realizado manualmente siguiendo los procedimientos que se detallan a continuación o bien mediante la utilización de software que permiten definir los intervalos óptimos de una determinada ruta.

9.1 Definición de elementos básicos

La Figuras 57 muestra la representación gráfica comúnmente utilizada en la operación de rutas de transporte público. A continuación, se definen los elementos básicos necesarios para el dimensionamiento de una ruta (2; 4; 8; 9; 10).

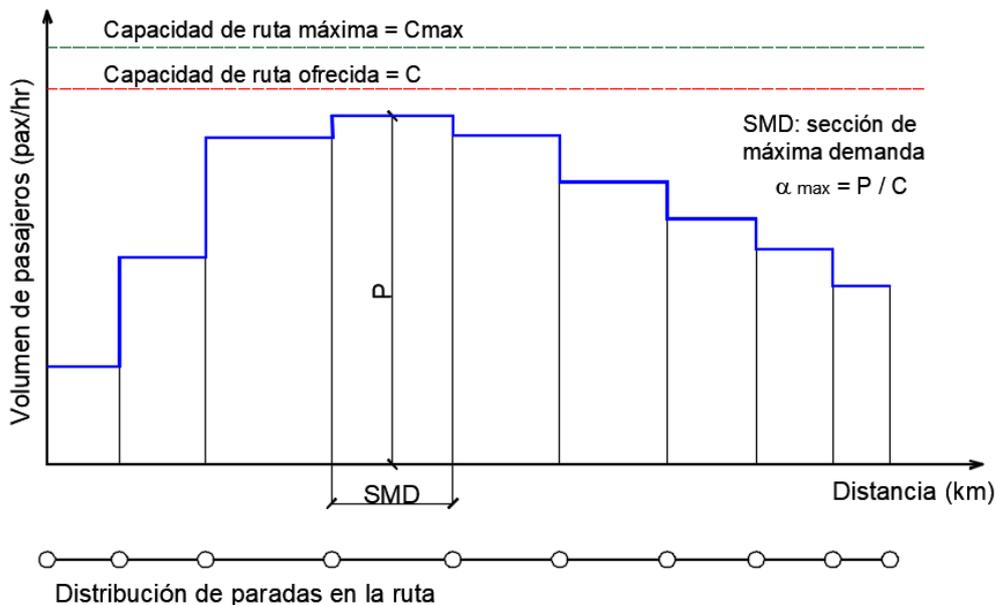


Figura 57. Representación gráfica de términos relativos a la distribución de la demanda de pasajeros y capacidad a lo largo de una ruta.

9.1.1 Intervalo o intervalo entre unidades (I; I_{HP}; I_{HV})

Porción de tiempo entre dos salidas sucesivas de unidades de transporte público en una ruta. Tiempo que separa a dos unidades del mismo recorrido o ruta. Puede determinarse en hora punta y hora valle. Ejemplo: intervalo en hora punta: I_{HP} = 6 minutos

El usuario está interesado en contar con un servicio con intervalos cortos para minimizar el tiempo de espera en la parada. Sin embargo, para un volumen de pasajeros dado por hora, resulta más barato operar un número más pequeño de vehículos grandes que un número mayor de vehículos pequeños, por lo que el transportista está interesado en operar con vehículos de mayor capacidad a intervalos más grandes. Consecuentemente, los intervalos son determinados buscando el equilibrio entre el tiempo de espera del usuario en la parada y los costos de operación que afronta la empresa transportista. No se puede obviar que, si se incrementa el intervalo pensando en reducir costos, el usuario internaliza el costo del tiempo perdido y puede tomar la decisión de modificar su medio de viaje, se pasa, de ser factible, al vehículo particular.

9.1.2 Frecuencia de servicio (F; F_{HP}; F_{HV})

Número de unidades que pasan por un punto dado de la ruta analizada (metro, bus, otro) durante un período de tiempo, en un sentido. (bus/hora/sentido – tren/día/sentido - metro/hora/sentido). Ejemplo: frecuencia en hora punta: 10 unidades / hora. Puede determinarse en hora punta y hora valle.

$$F = \frac{60}{I}$$

Donde:

- 60 = factor de conversión de minutos a horas
- F = frecuencia (veh/hr)
- I = intervalo (minutos)

La frecuencia es la inversa del intervalo. Recordar que 60 se introduce como factor de conversión de unidades.

9.1.3 Capacidad vehicular (C_v)

Número total de espacios para ocupar por los usuarios en el vehículo o unidad. Se calcula sumando el número de asientos más los espacios de pie. Esta definición es aceptable para el metro, autobuses urbanos, trolebuses, tranvías. Para trenes y autobuses regionales (media y larga distancia), con longitudes de viaje considerable y donde hay baja rotación de pasaje, así como para taxis de ruta fija (taxi colectivo), la capacidad de asientos es la que determina la capacidad vehicular. En el primer caso, los tiempos de recorrido son grandes y va en detrimento de la comodidad del usuario. En el caso de que los buses recorran caminos de montaña, está prohibido llevar pasajeros de pie por un tema de seguridad.

9.1.4 Volumen de pasajeros (V_p)

Número de usuarios que pasan por un punto fijo durante una hora, u otro periodo de tiempo específico. El volumen de pasajeros varía a lo largo de la ruta conforme las variaciones de la hora del día, semana, y época del año.

9.1.5 Sección de máxima demanda (SMD)

Es la sección o punto dentro de la ruta donde ocurre la máxima demanda de pasajeros a bordo de las unidades y establece el volumen de diseño de la ruta. Figura 57.

9.1.6 Volumen de diseño (P)

El volumen de diseño es el que se presenta en la sección de máxima demanda de una ruta y, en consecuencia, el mayor volumen de pasajeros determinado en cualquier parada o sección a lo largo de la ruta. Figura 57. Este volumen es el parámetro básico para determinar la capacidad de ruta que debe ofrecerse.

9.1.7 Capacidad de ruta ofrecida (C)

Es el número total de espacios ofrecidos en un punto fijo de una ruta durante una hora. La capacidad de ruta es básica para la planeación y diseño del transporte público, es resultado del producto de la frecuencia y la capacidad vehicular. Naturalmente, se debe proveer de una capacidad igual o mayor que el volumen de diseño (P).

$$C = F \cdot C_v$$

Donde:

- C = capacidad de ruta (pasajeros/hora = pax/h)
- F = frecuencia (unid/h)
- C_v = capacidad del vehículo (pax/unid) (pax/veh)

9.1.8 Capacidad de ruta máxima (C_{max})

Es el número máximo de pasajeros por hora que una ruta puede llevar con el intervalo mínimo posible. Este parámetro se obtiene como el producto de la frecuencia máxima y la capacidad del vehículo

$$C_{max} = F_{max} \times C_v = \frac{60 \cdot C_v}{I_{min}}$$

9.1.9 Tiempo de recorrido o Tiempo de Vuelta (T_r = TV)

Intervalo de tiempo programado entre salidas de un vehículo de una terminal (cierre de circuito) y su llegada a la terminal opuesta en una ruta, o en su caso, a la misma terminal de partida. El tiempo de recorrido se expresa usualmente en minutos u hora: minutos.

9.1.10 Longitud de recorrido (L)

Longitud entre el punto de salida de un vehículo de una terminal y su llegada a la terminal opuesta en una ruta (circuito abierto), o en su caso, a la misma terminal de partida (retorno, circuito cerrado). Se lo mide en kilómetros. Ejemplo: L=33,530 kilómetros (son 33 km y 530 metros).

9.1.11 Velocidad de operación (V_o)

Es la velocidad promedio de una unidad de transporte, en la cual se incluye el tiempo de parada en estaciones, paradores o paradas (ascenso y descenso de pasajeros), como las demoras esperadas por razones de tránsito (semáforos, congestión, etc.)

$$V_o = \frac{60 \cdot L}{T_r}$$

9.1.12 Tiempo en Terminal o Tiempo de Espera en terminal ($T_E = T_t$)

Es el tiempo adicional que un vehículo espera en terminal o en el cierre de circuito requerido para el ascenso y descenso normal de pasajeros. Su propósito es contar con tiempo para dar vuelta al vehículo o cambio de cabina de mando (metro); para dar un descanso al operador y; para permitir los ajustes necesarios en el horario. Este tiempo permite además de las consideraciones anteriores, mantener un intervalo uniforme y / o recuperar las demoras a las que se ha incurrido.

Por ello, el tiempo de terminal generalmente está determinado en función de los descansos de los operadores, del tiempo requerido para realizar las actividades de chequeo por parte del despachador (limpieza, verificaciones protocolares, etc) y a las demoras en la ruta.

Normalmente, el tiempo mínimo de descanso es fijado dentro del Contrato Colectivo de Trabajo en base a estudios de tiempos necesarios para la recuperación de la fatiga, mientras que los tiempos de descanso y de recuperación de demoras está en función del tiempo que la unidad está en operación, por lo que el tiempo de terminal para sistema de superficie se expresa a través de un cociente (H) que relaciona el tiempo terminal y el de recorrido:

$$H = \frac{T_t}{T_r}$$

El rango para este coeficiente **H se ubica entre 0,12 y 0,18**, depende de las condiciones de trabajo, del tránsito, de las variaciones en el volumen de pasajeros y otros factores locales. Uno de ellos es la logística de la empresa. Revisión, limpieza, mantenimiento, disposición de choferes, etc. Lo ideal que este valor sea lo mínimo posible.

En ciertas rutas y durante ciertos periodos del día donde el congestionamiento es serio, el tiempo de recorrido varía considerablemente por lo que en algunos casos se permiten tiempos terminales mayores, lográndose con ello que la hora de salida del viaje de regreso pueda mantenerse y se puedan conservar los horarios aun cuando sucedan demoras moderadas. Esto trae aparejado un incremento de unidades o flota.

Para el metro u otros sistemas de gran confiabilidad de horarios, el tiempo de terminal es independiente del tiempo de recorrido y longitud de ruta, pudiendo ser mucho más corto que para rutas superficiales que operan en tránsito mixto.

9.1.13 Tiempo de ciclo o Tiempo Total ($T_c = TT$)

Tiempo total de viaje redondo para una unidad de transporte, esto es, el tiempo que tarda en volver a pasar la misma unidad por un punto determinado, el cual se expresa normalmente en minutos. Ese tiempo está dado, en el caso de que sus tiempos de recorrido y terminal sean iguales en cada dirección por:

$$T_c = 2 \cdot (T_r + T_t)$$

Para una unidad cuya ruta inicia y termina en la misma terminal, el tiempo de ciclo o vuelta es:

$$T_c = T_r + T_t$$

9.1.14 Velocidad comercial (V_c)

Velocidad promedio que una unidad de transporte mantiene para dar una vuelta completa.

$$V_c = \frac{L}{T_c}$$

Donde:

- V_c = velocidad comercial (km/h)
- T_c = tiempo de ciclo (h)

La velocidad comercial determina directamente (junto con el intervalo) el tamaño requerido del parque vehicular (flota) y los costos de operación. La velocidad comercial siempre será menor que la velocidad de operación ya que la primera incluye los tiempos en terminal, $V_c < V_o$.

9.1.15 Tamaño del parque vehicular o determinación de flota (N_p)

El tamaño del parque vehicular (N_p), es el número total de unidades que operan en una ruta y la suma de éstas representa el parque total con que cuenta la empresa de transporte (flota).

Este valor se determina de la siguiente manera:

$$N_p = N + N_r + N_m$$

Donde:

- N : número de vehículos requeridos para el servicio durante la hora de máxima demanda en todas las rutas
- N_r : vehículos en reserva o auxilio
- N_m : vehículos que están en mantenimiento y reparación

En el Área Metropolitana Mendoza, los pliegos de concesión autorizan al concesionario a disponer de una flota de auxilio que cumple la siguiente relación $(N_r + N_m) \leq 10\%$ de N .

9.2 **Criterios para determinar los elementos básicos de dimensionamiento**

Los criterios básicos están enfocados a los aspectos de: intervalos, factores de ocupación, tamaño del parque vehicular y la capacidad vehicular, principalmente.

9.2.1 Intervalos

Los requerimientos para determinar los intervalos son los siguientes

- Proveer de una capacidad adecuada que permita cumplir con la demanda de usuarios
- Ofrecer cierta frecuencia mínima con el fin de mantener un servicio público adecuado

La frecuencia que dará la capacidad necesaria para cumplir con la demanda se obtiene dividiendo la carga en la sección de máxima demanda o volumen de diseño (P) entre el número promedio de pasajeros asignados a cada vehículo a través de la selección de un valor para el factor de ocupación (α). Esto se expresa en términos de frecuencia (F) como:

$$F = \frac{P}{\alpha \cdot C_v}$$

O bien, como intervalo (I)

$$I = \frac{60 \cdot \alpha \cdot C_v}{P}$$

Donde:

- F: frecuencia (unid/hr)
- I: intervalo (minutos)
- P: carga en la sección de máxima demanda
- α : factor de ocupación
- C_v : capacidad del vehículo (pax/unid) (pax/veh)

El factor de ocupación (siempre menor que 1) se introduce en la expresión de cálculo de manera de calcular fuera de capacidad (evitar un cálculo de intervalo límite), esto nos permite luego, adaptar el intervalo calculado conforme al siguiente criterio:

Para facilitar la memorización del intervalo y la elaboración de horarios, es recomendable que los intervalos mayores de 6 minutos se repitan cada hora. Por lo tanto, el intervalo debe ser divisible como número entero entre 60, esto es: I = 6; 7,5; 10; 12; 15; 20 y 30 (minutos). Esto no quita que 5 minutos sea un intervalo adecuado de cálculo. I = 5; 7,5; 10; 15; 20; 30.

Nota: En caso de calcular intervalos en una ruta de metro, con servicios de alta frecuencia, los intervalos surgen del cálculo. No se adopta un valor divisible como número entero de 60 y mayor que 6. Puede dar 3min 30 seg. La automatización de estos servicios permite trabajar con intervalos pequeños manteniendo la seguridad de operación.

Al utilizar intervalos mayores de 30 minutos es recomendable el manejo de valores de 40, 45, 60 minutos por lo que el intervalo debe ser redondeado **hacia abajo** al valor más cercano a estos valores. Esto incrementa la oferta.

En el caso de las horas de baja demanda u horas valle, durante los fines de semana o en aquellas rutas con poca demanda, normalmente se maneja una frecuencia mínima requerida para mantener el servicio y por ello las empresas y/o autoridad fijan un intervalo mínimo. Este intervalo se le conoce como **intervalo mínimo de servicio** (I_s) el cual, en zonas urbanas, no debe ser mayor que una hora y es recomendable que no sea mayor a los 30 minutos,

Si se calcula el intervalo a las horas de mínima demanda en función de las cargas y factores de ocupación con la meta de alcanzar cargas en la unidad iguales a la capacidad de asientos, se logran ahorros en cuanto a la cantidad de servicio ofrecido (vehículos-kilómetro) y operado (vehículos-hora). Sin embargo, el número de unidades se verá reducido y los intervalos de espera del usuario se verán incrementados. Es por ello que este intervalo mínimo de servicio, depende de la posibilidad financiera de la empresa de prestar el servicio, de las metas sociales que persiga la autoridad y del tamaño de la fuerza laboral existente durante las horas de máxima demanda y con la que se cuenta durante las horas valle.

9.2.2 Factor de ocupación (α):

Es el cociente del número de pasajeros en un vehículo / la capacidad del vehículo. Cociente entre demanda / oferta. Un valor alto de α indica que la unidad de transporte está saturada,

haciendo factible que algunas unidades no cuenten con la capacidad suficiente para recoger a todos los usuarios que esperan (remanente).

$$\alpha = \frac{\text{número pasajeros en un vehículo}}{C_v}$$

El valor de este factor influye en las siguientes características de la operación del transporte público:

- *El nivel de comodidad del usuario.* Un valor alto de α trae como resultado un número considerable de usuarios de pie y la sobrecarga del vehículo.
- *Costos de operación.* El uso de un valor alto de α , implica un menor número de unidades para transportar un número dado de usuarios que en el caso de utilizar un valor bajo de α . A su vez, una menor cantidad de unidades operando da en consecuencia una menor frecuencia y con ello mayores tiempos de espera al usuario. Finalmente, un valor alto de α resulta en un mayor tiempo de ascenso / descenso, con lo cual se reduce la velocidad de operación y afecta directamente a los costes de la operación.

La selección de un valor de α debe ser realizada de tal forma que se logre un balance entre los factores antes mencionados (4). El operador o empresario al determinar el valor de α considera también los siguientes factores que influyen en la comodidad del usuario y en los costos de operación. Tabla Figura 58.

Condiciones que requieren un valor α bajo	Condiciones que requieren un valor α alto
Variaciones grandes en el volumen de usuarios	Volumen de usuarios relativamente constante
Se desea una relación asientos / de pie, mayor	Se desea una relación asientos / de pie, menor
Longitud promedio de recorrido grande	Longitud promedio de recorrido pequeña
Alto porcentaje de usuarios de la tercera edad	Alto porcentaje de niños en edad escolar

Figura 58. Factor de ocupación. Condiciones de elección.

Es usual que el operador determine un valor de α para cada periodo de programación de horarios (mayor en las horas punta, menor en las horas valle) calculando primeramente el cociente del número de asientos de la unidad (C_s) y la capacidad total del vehículo C_s / C_v , y a partir de los valores encontrados se utilizan los siguientes lineamientos.

- El valor mínimo de α debe ser un poco menor que la relación C_s / C_v . Este valor garantiza asientos a todos los usuarios excepto por algunos periodos cortos.
- El valor máximo de “ **α recomendable es de 0,9**” el cual debe ser utilizado para horas de máxima demanda en el caso de contar con una sección de máxima demanda corta y donde el volumen de pasajeros no varía significativamente de un día a otro (4).

9.2.3 Tamaño del parque vehicular y la capacidad del vehículo

Para un volumen dado de pasajeros en una ruta, el servicio puede ser proporcionado por una cantidad pequeña de unidades de gran capacidad o bien, por una cantidad mayor de unidades de baja capacidad. La segunda combinación resulta de una mayor frecuencia, pero requiere una inversión y costos de operación mayores que la primera combinación.

Es saludable que una empresa de transporte o la autoridad de aplicación realice un análisis detallado de los costos de operar determinado tipo de unidad, establezca las condiciones en que operará el equipo y evalúe la calidad del servicio que resultará del uso de cada tipo de vehículo antes de efectuar cualquier compra de unidades. Es fundamental que la empresa especifique y establezca las condiciones más importantes que deben cumplir las unidades y en función de estos resultados determine el kilometraje y vida útil esperada.

Al planear la compra de unidades nuevas, la empresa de transporte debe examinar los posibles compromisos entre un vehículo pequeño y uno grande. Si se compara las ventajas (+) y desventajas (-) que presentan tanto las unidades de gran capacidad contra las de baja capacidad, se tiene que las segundas presentan el siguiente esquema:

- (+) el costo de operación por vehículo-km es menor para las unidades de baja capacidad. Esto implica que por el mismo costo total de operación la empresa puede operar intervalos más cortos con unidades más pequeñas y por lo tanto atraer más pasajeros al ser sus tiempos de espera menores y contar con un servicio más frecuente. Acá es importante destacar el impacto que genera el incremento de flota circulando en zona congestionadas de microcentro. Es un análisis que debe realizar la autoridad de aplicación y el municipio involucrado, pues va afectar la gestión del tránsito (estacionamientos permitidos o no, sentidos de marcha único, carril exclusivo de buses, paradores de grandes dimensiones, etc.), la congestión y consecuente contaminación ambiental. Pérdida de calidad de vida de los usuarios y no usuarios (vecinos de la zona).
- (+) Los recorridos a través de zonas congestionadas son más rápidos y sencillos. Esto dentro de valores razonables de demanda vehicular particular y transporte público de pasajeros.
- (-) El costo total de adquisición y el costo de operación del parque vehicular de minibuses es mayor ya que se deben comprar y operar más de ellos (más choferes) para cubrir el volumen de pasajeros que se presenta a la hora de máxima demanda.

El parque vehicular (**N**) se determina mediante la aplicación de la siguiente expresión:

$$N = \frac{T_c}{I}$$

Donde:

- T_c = tiempo de ciclo (minutos)
- I = intervalo (minutos)

10 EJEMPLO DE DIMENSIONAMIENTO DE UNA RUTA

Si estuviéramos proyectando una nueva red de transporte público de pasajeros, los valores correspondientes a demandas por arcos se obtienen a través de macro modelos de transporte.

Los procedimientos de planeamiento y modelación de redes no son parte del presente material de estudio.

Veamos un ejemplo aplicado para el Área Metropolitana de Mendoza (AMM) partiendo de datos conocidos. Vamos a estudiar y dimensionar la **Ruta 1** que presta servicio en un departamento que hemos designado como Belgrano y se vincula con el centro del AMM. Esta ruta pertenece a un grupo concesionario designado como **Grupo A**.

Mendoza cuenta con información de oferta y demanda de varios años a la fecha. En el año 2010 se realizó la última encuesta de Origen-Destino en el AMM y, desde 2005, se conoce toda la operación de la flota (oferta) y las transacciones ejecutadas por los pasajeros (demanda) gracias al sistema prepago con tarjeta de proximidad RedBus y su dispositivo de GPS.

La siguiente Figura 59 muestra esquemáticamente la variación estacional de la oferta (que es, obviamente, función de la demanda) que prestan los concesionarios del servicio de transporte público de pasajeros en el AMM.

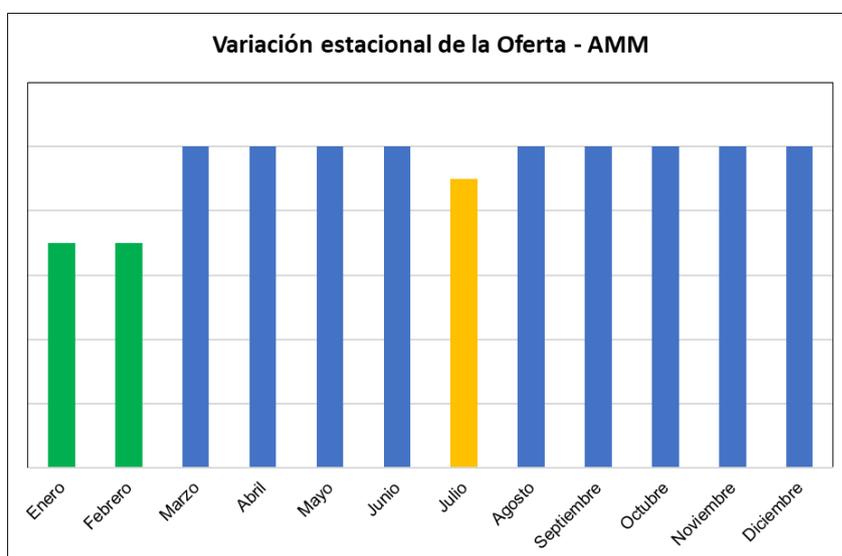


Figura 59. Variación estacional – esquemática - de la oferta en el AMM.

Se distinguen tres periodos de prestación diferenciado

- En azul, los meses donde se verifica la **mayor demanda. Corresponde al periodo de clases en los distintos niveles educativos.**
- En amarillo, 15 a 21 días del mes de Julio que corresponde al receso escolar e invierno. A esto se suman licencias laborales de otras actividades, sin embargo, no alcanzan las mismas los niveles de verano.
- En verde, los meses de verano donde a la inactividad del sistema educativo se le suman las licencias del resto de actividades. Son los meses de menor demanda.

Con la base de datos históricos se puede determinar el mes de mayor demanda y el día del año de mayor demanda. Esto es variable, se relaciona con la situación socio económica del país y la región. En general, la demanda es creciente en el tiempo (a lo largo de los años) acompañando, aproximadamente, a la tasa de crecimiento poblacional.

No siempre coincide que el día de mayor demanda corresponda al mes de mayor demanda. Esto puede originarse por algún motivo particular. Ejemplo, primer día luego de un fin de semana largo de inactividad (cuatro días sin actividad, feriado puente, inicio de mes).

Conocido el día de mayor demanda estudiamos la variación horaria, Figura 60. En esta figura se ha graficado la variación horaria de la demanda en el **Grupo A**, prestador del servicio de la ruta de transporte público de pasajeros en estudio. No es la Ruta 1, sino todas las rutas que presta servicio el operador designado como Grupo A. Total usuarios por día: 78.920 pax/día. El total de usuarios por día es el área total del gráfico obtenido.

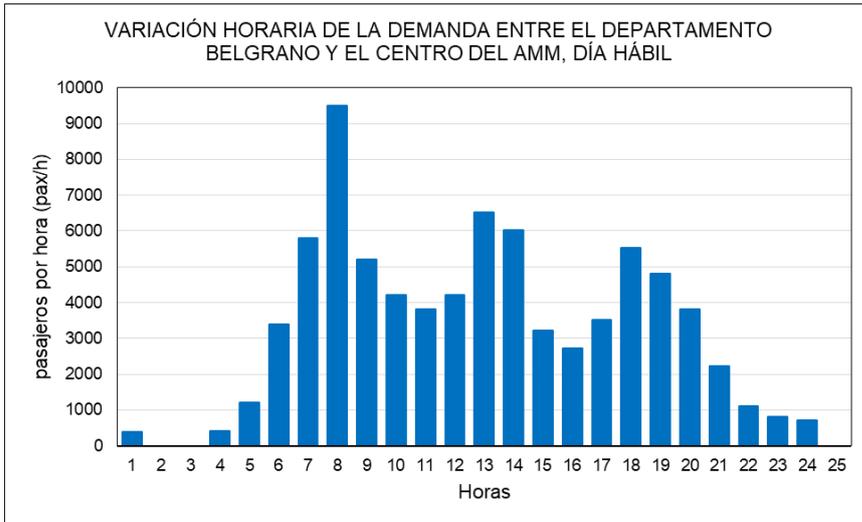


Figura 60. Variación horaria de la demanda correspondiente al día de mayor carga en todo el Grupo A.

Vemos que la mayor demanda se genera en el horario comprendido entre las 7 y 8 AM. Debemos verificar si el comportamiento de la demanda de la ruta en estudio es similar.

Con los datos correspondientes a la ruta en estudio obtenemos la Figura 61, variación horaria de la demanda para Ruta 1. El valor de máxima demanda se produce entre las 7 y 8 AM. El comportamiento de la Ruta en estudio es similar al del Grupo A, al cual pertenece.

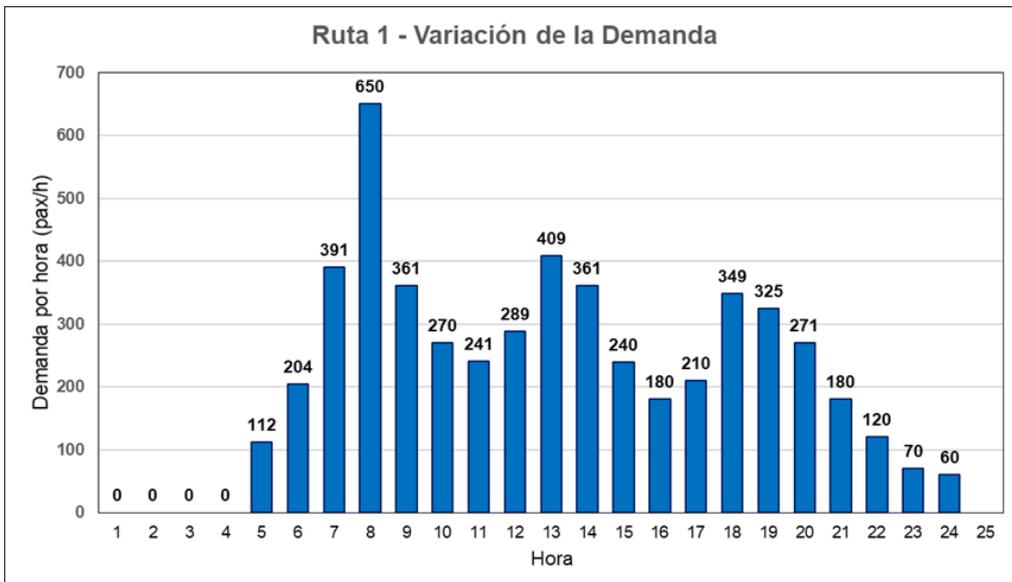


Figura 61. Variación horaria de la demanda horaria en Ruta 1.

Con los datos que se obtienen de las transacciones realizadas con el sistema prepago (RedBus o SUBE), se puede conocer donde acceden los usuarios a cada Ruta (hora y posición georeferenciada). Luego, a través de estudios que se basan en big data, teniendo en cuenta la pendularidad de la movilidad de los usuarios de viaje obligado (trabajo y estudio que constituyen el 68% de la demanda), se puede estimar los patrones de flujos origen-destino (OD). Es decir, conocer una aproximación de matriz OD y determinar el arco de la ruta donde se produce la mayor demanda (SMD: sección de máxima demanda).

De la Figura 61 obtenemos la Máxima Demanda en Hora Punta que es 650 pax/h. La suma total de carga horaria en la Ruta 1 que es la demanda diaria: 5293 pax/día. Con estos dos valores se puede determinar el Factor de Hora Punta: $FHP = 650/5293 = 12,3\%$

$$FHP = \frac{\text{Demanda en Hora Punta}}{\text{Demanda diaria}} = \frac{P_{HP}}{D_d}$$

Conocer los ascensos y descensos de pasajeros que se producen en cada parador permite determinar donde se encuentra la SMD y para dicha sección y su demanda se dimensiona la ruta.

La figura 62 muestra los ascensos y descensos de pasajeros por paradas, lo cual permite calcular la demanda por arco o sección de Ruta; es decir, cuál es el volumen de pasajeros por sección (pax/h) y dónde se encuentra la Sección de Máxima Demanda (650 pax/h). Todos estos datos corresponden a la Hora Punta de la **Ruta 1** en estudio.

La tabla de Figura 63, sintetiza los datos de ascenso / descenso de pasajeros por arcos y la determinación del volumen de cálculo que corresponde a la SMD.

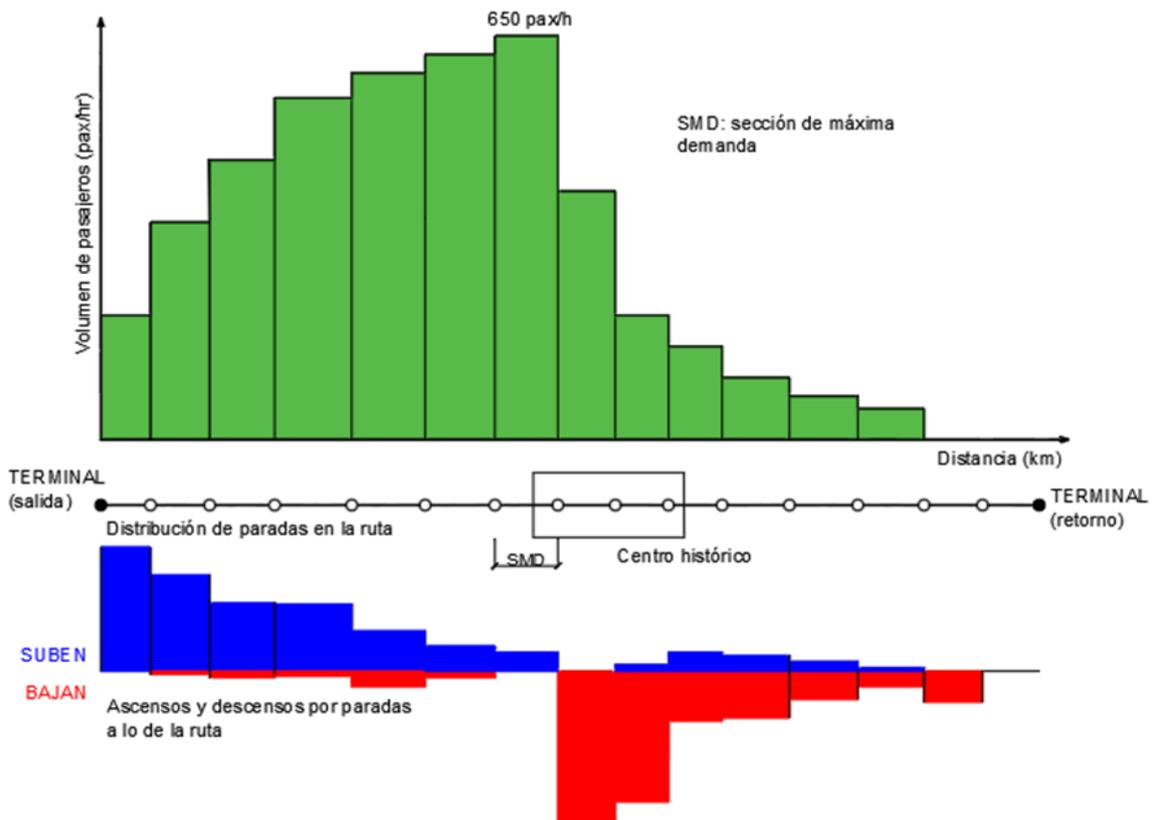


Figura 62. Ascensos y Descensos de pasajeros por paradas. Volumen de pasajeros por sección (pax/h). Sección de máxima demanda (650 pax/h). Datos correspondientes a Hora Punta.

	Terminal	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	Terminal	TOTAL
SUBEN (pax/h)	200	155	110	108	65	40	30	0	10	30	25	15	5	0	0	793
BAJAN (pax/h)	0	5	10	8	25	10	0	250	210	80	75	45	25	50	0	793
PASAJEROS POR ARCO (pax/h)	200	350	450	550	590	620	650	400	200	150	100	70	50	0	0	

Figura 63. Tabla de ascensos / descensos por paradas. Pasajeros por arco

Durante la hora de máxima demanda, **los usuarios que utilizan la Ruta 1 son 793 pasajeros.** El arco comprendido entre las paradas P6 y P7, es la **SDM (sección de máxima demanda) con 650 pax/h** y corresponde al arco o sección anterior al ingreso de la Ruta 1 al centro histórico.

Cuando uno modifica una ruta o se encuentra planificando una nueva red, las estimaciones corresponde hacerla a través del uso de un macro modelo de transporte. Este macro modelo utiliza, entre otros, datos obtenidos de encuestas de hogares que evalúan el comportamiento de la movilidad y generan matrices de Origen Destino para los distintos modos, tipos de usuarios (nivel socio económico), motivos de viajes, si es propietario de vehículo particular, edad, sexo y otros tipos de consideraciones. Sumado al conocimiento del territorio y su dinámica; la oferta; la demanda. Con estos datos se calibra el modelo y se está en condiciones de evaluar alternativas a la red base o una nueva red de transporte.

Los estudios de movilidad realizados en Mendoza en el año 2010 permiten conocer valores y comportamientos de la demanda como los siguientes:

Características de los viajes - Distribución Horaria. Fuente: PIM 2030. (11)

“La cantidad de viajes generados diariamente en la zona de estudio es 1.772.905. Existen tres períodos de punta; uno en la mañana entre las 7:00 y las 9:00 am, otro a medio día entre las 12:00 y 14:00, y uno en la tarde a las 18:00.

El período punta más marcado es de las 7:00 a las 8:00, con 12,6% de los viajes, sin embargo, en el periodo entre las 13:00 y 14:00, se mueven 12,3% de los viajes. En definitiva, en el periodo entre las 12:00 y 14:00, se realizan 23,77% y entre las 7:00 y las 9:00, 21.51%. Lo que hace que el periodo de punta de medio día, en volumen, es más importante que el de la mañana, pero la hora punta más cargada es la de las 7:00 a las 8:00.

En el periodo punta de la tarde más cargado, de 18:00 a 19:00, sólo se mueve 7,86% de los viajes. Lo que reduce la problemática de la congestión en la tarde”.

Como vemos, la distribución horaria de viajes que surge de la encuesta de hogares coincide con los valores obtenidos de evaluar las transacciones del sistema prepago RedBus o SUBE. Por otro lado, nos indica que la demanda que corresponde a la hora punta representa el 12,6% del total de los viajes, este valor se conoce como Factor de Hora Punta (FHP). Esto permitiría estimar el valor diario de demanda conociendo solo los datos de una hora punta.

10.1 Información requerida

- Longitud total de la Ruta 1, con retorno a terminal, ciclo completo: L = 30 km
- Tiempo de recorrido en hora punta: $T_r = 100$ minutos = 1 hr 40 minutos
- Tiempo de recorrido en hora valle: $T_r = 80$ minutos = 1 hr 20 minutos

- **NOTA:** cuando se trata de un proyecto que involucra dimensionar una nueva ruta de bus o una red completa; tranvía, metro, FFCC de cercanía; **NO se conoce el tiempo de recorrido. Se parte de un parámetro característicos de cada uno de estos medios que es la Velocidad Comercial (se adopta). A partir de esta se determina el Tiempo de Ciclo y los valores necesarios para el cálculo.**

- Volumen de diseño (Hora Punta) en sección de máxima demanda (SMD):
 $P_{HP} = 650 \text{ pax/h}$
- Volumen de diseño (Hora Valle) en sección de máxima demanda (SMD):
 $P_{HV} = 270 \text{ pax/h}$
- Capacidad del vehículo. **Bus urbano (adoptado): $C_v = 70 \text{ pax/unid}$**
- En hora punta, la demanda corresponde al 12,6% de la demanda diaria. FHP = factor hora punta = 12,6%, según los datos de la EOD 2010 (encuesta origen destino). De no contarse con el valor total de demanda diaria, se puede estimar a partir de P_{HP} y FHP.

$$FHP = \frac{\text{Demanda en Hora Punta}}{\text{Demanda diaria}} = \frac{P_{HP}}{D_d}$$

- Factor de ocupación en hora punta (adoptado): $\alpha_{HP} = 0,90$
- Factor de ocupación en hora valle (adoptado): $\alpha_{HV} = 0,75$

La prestación del servicio se deber realizar, conforme a exigencia de la autoridad de aplicación de la siguiente manera:

- Total de Horas Punta: HP = 9 hrs
- Total de Horas Valle: HV = 11 hrs
- Total de horas de prestación del servicio = HT = 20 hrs. Esto implica: dos turnos de personal de 8 horas (servicio diurno) y un turno nocturno de 4 horas. Esto es importante de conocer a efectos de programar los turnos de choferes y la liquidación de haberes (no se paga lo mismo turno diurno que nocturno).
- Los intervalos de hora valle, se sugiere sean igual al doble del intervalo de hora punta. De conocerse los valores de demanda en hora valle, los intervalos se determinan en base a los mismos y se verifica el cumplimiento de lo solicitado por la autoridad de aplicación, caso del ejemplo.
- El costo de operación por kilómetro recorrido es: $CO_{KM} = 90 \text{ \$/km}$
- La tarifa plana que abonan los usuarios es de $B_P = 18 \text{ \$/pax}$

10.2 Resultados requeridos

- Determinación de Factores Operativos en Hora Punta y Hora Valle
- Determinación del parque móvil: **N**
- Determinar costo diario de operación de la ruta: **CO_D**
- Recaudación diaria: **R_d**
- Subsidio diario: **SUB_D**
- Índice pasajero kilómetro: **IPK**
- Tarifa Técnica Teórica Ruta 1: **TTT_{R1}**
- Número total de unidades de la flota: **Np**

10.3 Resolución

10.3.1 Hora punta

10.3.1.1 Determinación de los factores operativos en Hora Punta

- Velocidad de operación = **$V_o = 18 \text{ Km/h}$** $V_o = \frac{60 \cdot L}{T_r}$
- Tiempo de terminal = 10 minutos $H = \frac{T_t}{T_r}$
- Tiempo de ciclo = $T_r + T_t = \mathbf{T_c = 110 \text{ minutos}}$
- Velocidad comercial = **$V_c = 16,36 \text{ km/h}$** $V_c = \frac{60 \cdot L}{T_c}$
- Intervalo en Hora Punta: $I_{HP} = 5,82 \text{ minutos}$ $I = \frac{60 \cdot \alpha \cdot C_v}{P}$

El valor del **intervalo debe ser redondeado hacia abajo** al valor práctico más cercano. Con ellos se logra que los tiempos de salida de las unidades se repitan cada hora.

En este caso, **se adopta** como Intervalo de Hora Punta: $I_{HP} = 5 \text{ minutos}$

- Frecuencia en Hora Punta: $F_{HP} = 12 \text{ bus /h}$ $F_{HP} = \frac{60}{I_{HP}}$

10.3.1.2 Determinación del tamaño del parque móvil Hora Punta

- Tamaño del parque móvil o flota: $N = 22 \text{ bus}$ $N = \frac{T_c}{I_{HP}}$

El valor del parque vehicular N debe ser un valor entero, el resultado de la expresión anterior se redondea hacia arriba al siguiente número entero.

Para el cálculo se utiliza el valor de I_{HP} adoptado

10.3.1.3 Eficiencia del itinerario en Hora Punta

- Capacidad de ruta ofrecida: $C = 840 \text{ pax/h}$ $C = F \cdot C_v$

- Eficiencia del itinerario: $E_f = 77\%$ $E_f = \frac{P}{C}$

El valor de eficiencia de itinerario es muy bajo para hora punta. Se decide modificar intervalo de hora punta a 6 minutos y recalcular.

En este caso, **se adopta** como Intervalo de Hora Punta: **$I_{HP} = 6 \text{ minutos}$**

- Frecuencia en Hora Punta: **$F_{HP} = 10 \text{ bus /h}$** $F_{HP} = \frac{60}{I_{HP}}$

10.3.1.4 Redeterminación del tamaño del parque móvil Hora Punta

- Tamaño del parque móvil o flota: **$N = 19 \text{ bus}$** $N = \frac{T_c}{I_{HP}}$

El valor del parque vehicula N debe ser un valor entero, el resultado de la expresión anterior se redondea hacia arriba al siguiente número entero.

Para el cálculo se utiliza el valor de I_{HP} adoptado

10.3.1.5 Redeterminación de Eficiencia del itinerario en Hora Punta

- Capacidad de ruta ofrecida: **$C_{HP} = 700 \text{ pax/h}$** $C = F \cdot C_v$

- Eficiencia del itinerario: **$E_f = 93\%$** $E_f = \frac{P}{C}$

Este valor no se aleja demasiado del 90% solicitado por la autoridad de aplicación. La importancia de esta decisión se manifiesta al evaluar costos de operación y subsidios, como se verá más adelante.

$C_{HP} = 700 \text{ pax/h (oferta)} > P_{HP} = 650 \text{ pax/h (demanda)}$

10.3.2 Hora valle

10.3.2.1 Determinación de los factores operativos en Hora Valle

- Velocidad de operación = **$V_o = 22,50 \text{ Km/h}$** $V_o = \frac{60 \cdot L}{T_r}$
- Tiempo de terminal = 8 minutos $H = \frac{T_t}{T_r}$
- Tiempo de ciclo = $T_r + T_t =$ **$T_c = 88 \text{ minutos}$**
- Velocidad comercial = **$V_c = 20,45 \text{ km/h}$** $V_c = \frac{60 \cdot L}{T_c}$

Como la autoridad de aplicación ofrece la variación diaria de la demanda (Figura 61), se opta por elegir un valor de demanda en Hora Valle y adoptar un valor menor para el Factor de Ocupación en Hora Valle. Este valor de hora valle (obtenido de Figura 61) debe ser mayor a las 10 horas restantes de hora valle según la exigencia de la autoridad de aplicación.

- Volumen de diseño (Hora Valle), se obtiene de los datos de Figura 61, es importante destacar que se va a trabajar con tres intervalos de Hora Valle (Mañana, Tarde, Noche, ver Figura 64): **$P_{HV} = 270 \text{ pax/h}$**
- Intervalo en Hora Valle: $I_{HV} = 11,67 \text{ minutos}$ $I = \frac{60 \cdot \alpha \cdot C_v}{P}$

El valor del **intervalo debe ser redondeado hacia abajo. Sin embargo, en este caso** hemos adoptado el valor superior pues da un valor que permite que los tiempos de salida de las unidades se repitan cada hora. Si bien es 20% mayor que el solicitado por la autoridad de aplicación, al determinar costos se verá su influencia. Por otro lado, el Intervalo de Hora Punta es 6 minutos, al elegir 12 minutos en hora valle, se facilita el manejo de la información por parte del usuario. Se cumple con el pedido de la autoridad de aplicación.

En este caso, **se adopta** como Intervalo de Hora Valle: **$I_{HV} = 12 \text{ minutos}$**

- Frecuencia en Hora Punta: **$F_{HV} = 5 \text{ bus /h}$** $F_{HV} = \frac{60}{I_{HV}}$

10.3.2.2 Determinación del tamaño del parque móvil Hora Valle

- Tamaño del parque móvil o flota: **$N = 8 \text{ bus}$** $N = \frac{T_c}{I_{HV}}$

Es importante observar que si bien la frecuencia de hora valle es la mitad de hora punta (o el intervalo el doble), la flota necesaria en Hora Valle NO es la mitad; esto se debe a que el tiempo de recorrido es menor, es decir se opera a una velocidad mayor. La flota está en relación inversa a la velocidad comercial.

10.3.2.3 Eficiencia del itinerario en Hora Valle

- Capacidad de ruta ofrecida: **$C = 350 \text{ pax/h}$** $C = F \cdot C_v$

- Eficiencia del itinerario: **$E_f = 77\%$**

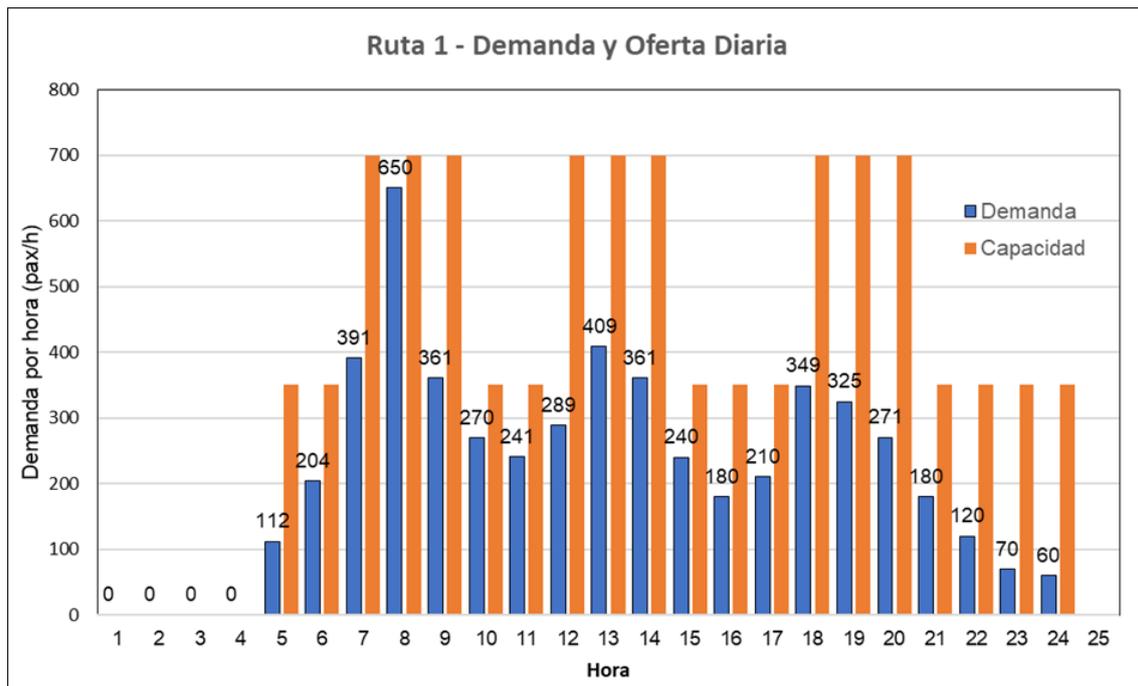
$$E_f = \frac{P}{C}$$

Este valor no se aleja demasiado del 75%. La importancia de esta decisión se manifiesta al evaluar costos de operación y subsidios, como se verá más adelante.

$C_{HV} = 350 \text{ pax/h (oferta)} > P_{HV} = 270 \text{ pax/h (demanda)}$

La Figura 64 sintetiza el comportamiento de la demanda por hora a lo largo del día; se incluye la oferta que surge de la prestación del servicio ofrecida en la ruta de estudio.

Obsérvese la demanda (azul) y la oferta (naranja) ofrecida conforme a los resultados obtenidos.



La Figura 64. Comportamiento de la demanda por hora y de la Oferta que surge de la prestación del servicio ofrecida en la ruta de estudio.

10.3.3 Determinación de costos de prestación, recaudación, subsidios, ipk, tarifa técnica teórica y flota total

El primer paso es conocer la demanda total diaria. Si se tiene el dato del sistema prepago, se utiliza este que representa cabalmente la cantidad de usuarios. En este caso, que no se conoce, partimos del dato obtenido en la encuesta Origen Destino que determinó que en hora punta, la demanda corresponde al 12,6% de la demanda diaria. Esto nos permitirá calcular la demanda total de la ruta partiendo del FHP = 12,6%.

FHP = factor hora punta = 12,6%

$$FHP = \frac{\text{Demanda en Hora Punta}}{\text{Demanda diaria}} = \frac{PP_{HP}}{D_d}$$

- Demanda diaria: **$D_d = 5159 \text{ pax/d}$**
- Recaudación Diaria: $R_d = D_d \cdot B_P = \mathbf{R_d = \$92.857,14}$

En el AMM de Mendoza, **el Estado paga al prestador por KM realizado** y recauda a través del sistema prepago RedBus o SUBE. Para determinar los costos del sistema es necesario determinar los kilómetros totales que ha realizado la empresa concesionaria del servicio. Para eso se tiene en cuenta las frecuencias en hora punta y hora valle, la cantidad de horas punta y valle, y la longitud de la Ruta 1

$$L_{TD} = L \cdot (F_{HP} \cdot HP + F_{HV} \cdot HV)$$

- Longitud total diaria recorrida = **$L_{TD} = 4.350 \text{ km}$**
- Costo diario de operación de la ruta: $CO_D = CO_{KM} \cdot L_{TD} = \mathbf{CO_D = \$391.500,00}$
- Subsidio diario: $SUB_D = R_d - CO_d = \mathbf{SUB_D = - \$298.642,86}$

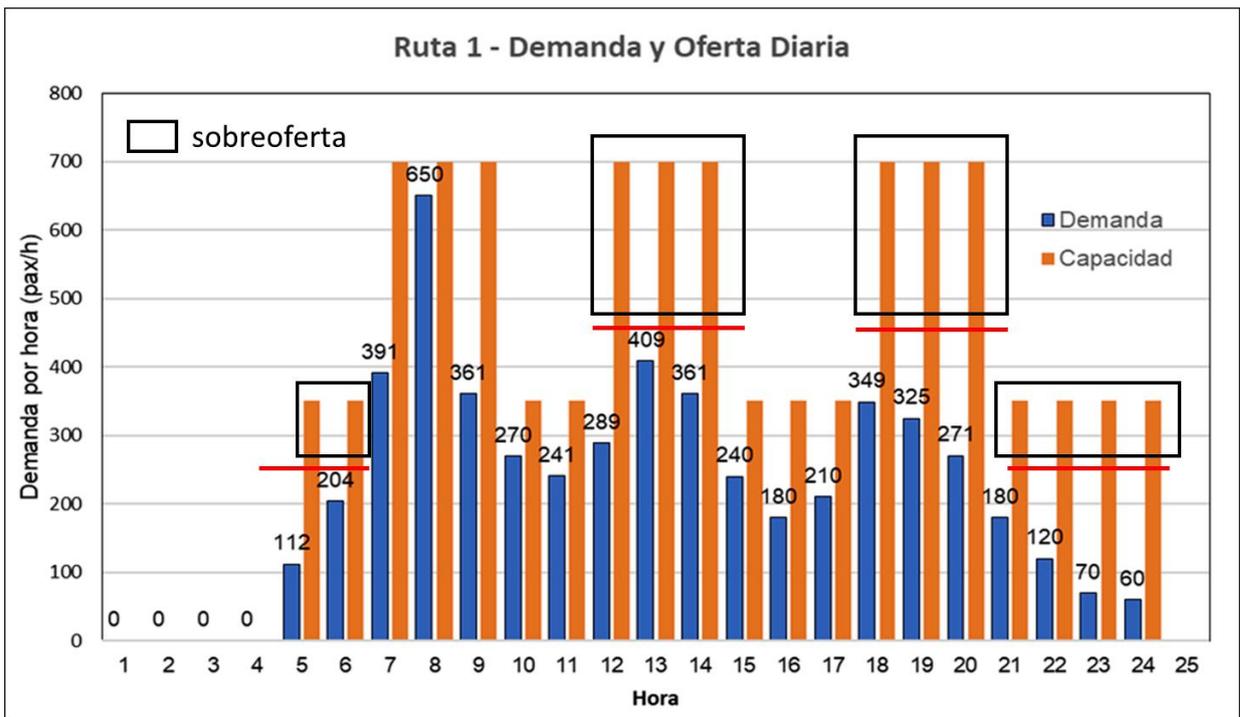
Es decir que, del costo total, el Estado subsidia un 76,28%. Esto justifica las decisiones de optimizar el uso de la flota conforme a demanda. Buscar incrementar la eficiencia de la ruta en hora punta y valle.

- Índice Pasajero Kilómetro $IPK = D_d / L_{TD} = \mathbf{IPK = 1,19}$
- Tarifa Técnica Teórica Ruta 1: $TTT_{R1} = CO_{KM} / IPK = \mathbf{TTT_{R1} = \$75,89}$
- Por último, el tamaño de flota de determina como: $N_p = N + N_r + N_m$.
En el AMM, la autoridad de aplicación sugiere que: $(N_r + N_m) \leq 10\%$ de N.
Adoptando 10%. $N_p = N \times 1,10 = 19 \times 1,10 = \mathbf{N_p = 21 \text{ buses urbanos}}$

10.3.4 Conclusiones

- 1) El nivel de subsidio es elevado. La recaudación solo cubre el 23,72% de los costos de operación de la Ruta.
- 2) El Índice Pasajero Kilómetro es bajo, para el AMM, el valor medio es de 2,5 pax/km.
- 3) Hay oferta sobredimensionada en horas punta medio día y hora punta tarde. Podría generarse un nuevo intervalo de hora punta calculado a partir de la máxima demanda de estos horarios. El valor a considerar sería 409 pax/h que se produce entre las 12 y 13 hr.
- 4) Hay oferta sobredimensionada en horas valle. Podría generarse un nuevo intervalo de hora valle calculado a partir de la máxima demanda de estos horarios. El valor a considerar sería 180 pax/h. Los horarios donde se utilizaría este nuevo intervalo y oferta correspondiente serían al inicio de los servicios, 5 horas (AM), y en la noche a partir de las 21 horas. Lo ideal es que el intervalo obtenido sea tal que los tiempos de salida de las unidades se repitan cada hora (para esta nueva hora valle).
- 5) La curva de demanda muestra el comportamiento de la movilidad de una ciudad chica, donde se verifican los retornos al hogar al medio día y se concentran los ingresos a las distintas actividades en la primera hora de la mañana. Esto genera una flota desproporcionada. Toda la flota debe estar operativa muy pocas horas al día, el resto del tiempo esta subutilizada. El resultado es un incremento de los costos de inversión que terminan afectando el costo/km innecesariamente.
- 6) Una manera de salvar este inconveniente es distribuir o desfasar los ingresos a primera hora, tender a horario corrido en ciertas actividades, en síntesis, aplanar la punta de la hora de mayor demanda y estirar su duración. Gestionar la demanda. De esta manera la eficiencia en el uso de la flota mejora sustancialmente y con ello, a igual demanda

- (recaudación), se bajan los costos operativos por kilómetro y totales. Se incrementa el IPK, se reducen los subsidios.
- 7) La Tarifa Técnica Teórica es \$75,89, lo que deberían pagar todos los usuarios para cubrir los costos del servicio. El valor que pagan es de \$18. Es decir, se subsidia a cada usuario en \$57,89 (76,28%).
 - 8) Lo anterior es sin tener en cuenta los descuentos por Bonificaciones de diversos tipos (descuentos a estudiantes, jubilados, otros), Gratuidades (docentes, HIV, policía, bomberos, otros), Traslado. Es decir, el nivel del subsidio teniendo en cuenta estas bonificaciones, es mayor.
 - 9) La siguiente Figura 65, presenta un esquema de cómo se podrían reducir frecuencias en ciertos intervalos (oferta) y mejorar el índice de eficiencia. Las líneas rojas indican el nivel donde podría ubicarse la oferta. Esto bajaría los costos por kilómetros. El inconveniente es para los usuarios ya que hay una menor oferta temporal, crecen los intervalos entre unidades. Puede salvarse este inconveniente teniendo distintos tipos de unidades, de distintas capacidades. No se justifica por las características de carga de la ruta y el impacto en los costos. Debe evaluarse el comportamiento de todo el grupo para tomar tal determinación, así como la topología de la red (troncales con ramal y/o alimentadoras, o bien red topológicamente mixta)



La Figura 65. Comportamiento de la demanda por hora a lo largo del día de mayor demanda. Propuesta para reducir la sobreoferta en ciertos intervalos de tiempo

- 10) Pueden calcularse otros indicadores tales como Capacidad productiva o Índice de Kilómetros por Vehículo (IKV).

11 DIAGRAMA DE BARRA O DESPACHO DE FLOTA

El gráfico de barras de realiza colocando en la parte superior (eje X), todo el intervalo horario de operación de la Ruta en estudio, dividido por minutos. En este caso, y con el fin de simplificar, se incluye parte de la hora punta, de una sola Ruta. En el eje Y, se ubican las unidades de la flota y el orden de despacho. Figura 66.

El jefe de tráfico o despacho de flota debe coordinar la utilización de las unidades de manera de prestar el servicio a las distintas rutas, buscando optimizar la utilización del parque móvil y del plantel de choferes, asignando de manera tal que se cubran los servicios totales con la menor cantidad de unidades y operarios. Hay que tener presente que las diferentes rutas tienen distintas longitudes, velocidades, frecuencias, por lo que las unidades se intercalan a lo largo del día evitando su ociosidad y coordinando las tareas de mantenimiento, revisiones técnicas obligatorias y otras que requieren un quede de algunas unidades en terminal.

En el siguiente ejemplo, los datos son los siguientes:

- Tiempo de recorrido en hora punta: $T_r = 60$ minutos
- Tiempo de terminal: $T_t = 10$ minutos
- Tiempo de ciclo: $T_c = 70$ minutos
- Intervalos entre unidades: $I_{HP} = 5$ minutos
- Determinación de flota = $T_c / I_{HP} = 14$ buses

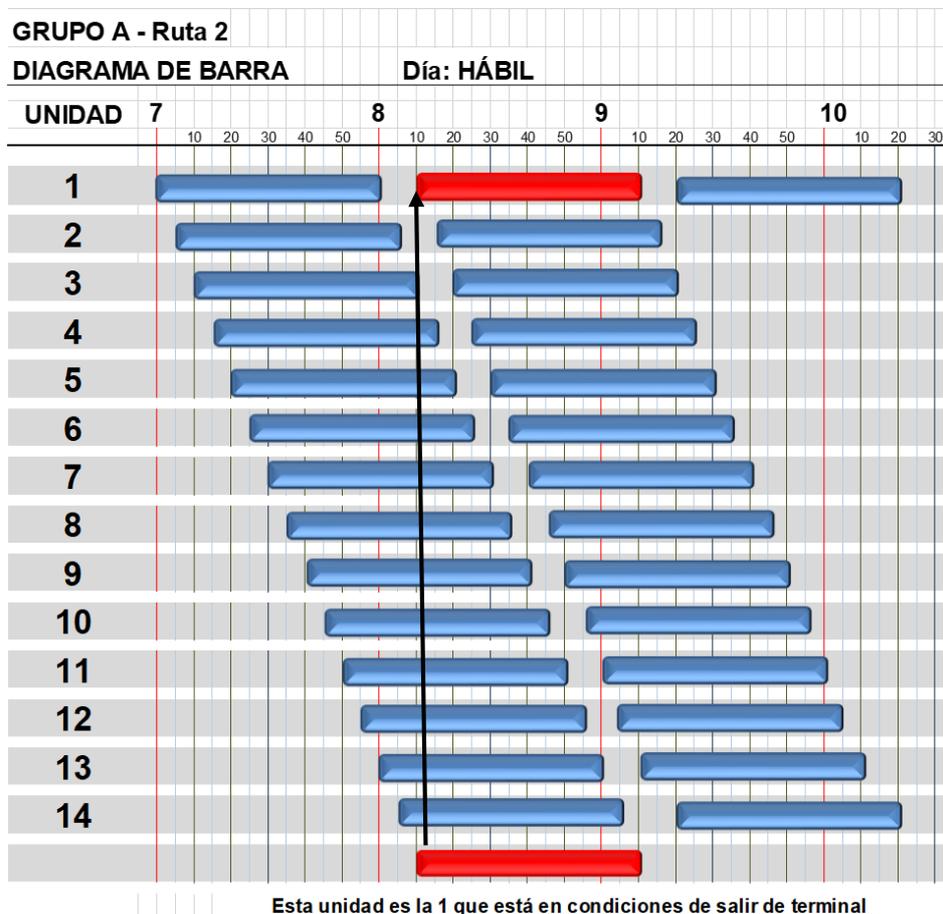


Figura 66. Diagrama de barras. Despacho de flota

En hora punta, la primera unidad (1) salió a las 7 horas y retorno a terminal a las 8 horas. Luego de un tiempo de quede en terminal de 10 minutos, queda habilitada a salir nuevamente a prestar servicio a las 8:10 p.m.

La unidad (2), sale a las 7:05 minutos, y, así sucesivamente cada 5 minutos vuelven a salir distintas unidades hasta llegar a la hora 8:10 (desde la 2 hasta la 14), donde la primera unidad (1) está habilitada a tomar servicio. En total se necesitan $N = 14$ unidades en la hora punta. Como vemos a través del diagrama de barras podemos determinar la cantidad de unidades necesarias para cubrir la demanda.

12 PLANILLA DE HORARIO

De forma similar, se puede determinar la flota a partir de la planilla de horario del jefe de despacho o tráfico de la empresa, según se observa en la siguiente Figura 67.

Unidades	Intervalo	Salida	Llegada	Quede	Disponible
1		7:00:00	8:00:00		8:10:00
2	0:05:00	7:05:00	8:05:00	0:10:00	8:15:00
3	0:05:00	7:10:00	8:10:00	0:10:00	8:20:00
4	0:05:00	7:15:00	8:15:00	0:10:00	8:25:00
5	0:05:00	7:20:00	8:20:00	0:10:00	8:30:00
6	0:05:00	7:25:00	8:25:00	0:10:00	8:35:00
7	0:05:00	7:30:00	8:30:00	0:10:00	8:40:00
8	0:05:00	7:35:00	8:35:00	0:10:00	8:45:00
9	0:05:00	7:40:00	8:40:00	0:10:00	8:50:00
10	0:05:00	7:45:00	8:45:00	0:10:00	8:55:00
11	0:05:00	7:50:00	8:50:00	0:10:00	9:00:00
12	0:05:00	7:55:00	8:55:00	0:10:00	9:05:00
13	0:05:00	8:00:00	9:00:00	0:10:00	9:10:00
14	0:05:00	8:05:00	9:05:00	0:10:00	9:15:00
1	0:05:00	8:10:00	9:10:00	0:10:00	9:20:00
2	0:05:00	8:15:00	9:15:00	0:10:00	9:25:00
3	0:05:00	8:20:00	9:20:00	0:10:00	9:30:00
4	0:05:00	8:25:00	9:25:00	0:10:00	9:35:00
5	0:05:00	8:30:00	9:30:00	0:05:00	9:40:00
6	0:05:00	8:35:00	9:35:00	0:05:00	9:45:00

Figura 67. Planilla de horarios. Despacho de flota

13 PLANILLA DE ASIGNACIÓN DE UNIDADES Y TURNOS

Una vez determinados los factores operativos para cada una de las rutas que componen un grupo prestador de servicios, para nuestro ejemplo el Grupo A, se debe diagramar la operación de unidades y los turnos de choferes de manera de prestar todos los servicios (oferta) optimizando los recursos (unidades y choferes).

El diagrama de barras no se realiza para cada ruta, como en el ejemplo visto, sino para todas las rutas del grupo. Se alterna el uso de unidades en distintos recorridos buscando optimizar el uso de la flota. Figura 68

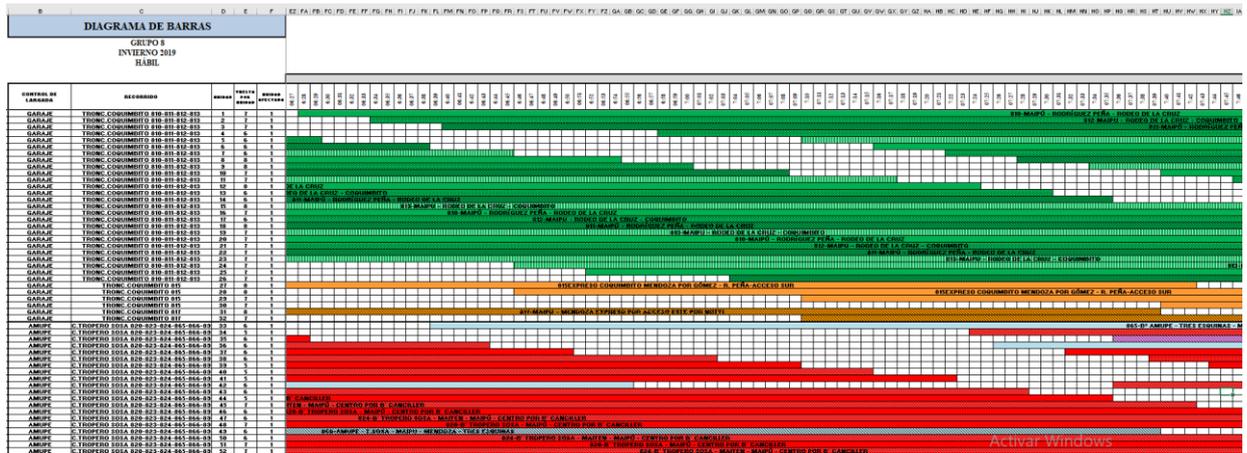


Figura 68. Diagrama de asignación de unidades a rutas. Fuente: Grupo 800, Empresa Maipú.

El diagrama anterior se acompaña por la planilla de despacho de flota y control de servicios (Figura 69). En esta planilla se asigna para cada terminal o punto de control la hora de salidas que corresponde a cada servicio durante el día (hábil, sábado, domingo/feriado).

LUNES A VIERNES		INVIERNO 2020																	
ÚLTIMA MODIFICACIÓN: 8/8/2020																			
RECORRIDO	CONTROL	MAIPU	COVARRZUELA PZ	ZANICHELLI	ROTONDA	UVITA	PKM 4	LIBERTAD	CATARIJO	LIBERTAD	DELA CRUZ	PGCRUZ	UVITA	TRIANGULO	ZANICHELLI	COZARREAS	MAIPU	CONTROL	
812	04:40	04:41	04:47	---	04:59	---	---	05:10	05:16	05:30	---	---	05:46	05:56	06:06	06:10	---	06:19	06:20
811	04:53	04:55	---	05:02	05:14	05:21	05:31	---	05:47	06:01	06:14	---	---	06:23	06:28	---	06:37	06:38	06:38
813	05:06	05:08	---	05:16	05:29	---	---	05:40	05:47	06:01	---	---	06:25	06:37	06:49	06:55	---	07:07	07:08
810	05:22	05:24	---	05:32	05:44	05:52	06:03	---	06:21	06:35	06:49	---	---	06:59	---	07:11	---	07:16	07:16
812	05:36	05:38	05:45	---	05:59	---	---	06:10	06:17	06:32	---	---	06:56	07:08	07:20	07:26	---	07:38	07:39
811	05:44	05:46	---	05:54	06:06	06:14	06:25	---	06:43	06:59	07:14	---	---	07:26	07:32	---	07:44	07:45	07:45
813	05:50	05:52	---	06:00	06:13	---	---	06:26	06:34	06:50	---	---	07:14	07:26	07:38	07:44	---	07:56	07:57
810	05:56	05:58	---	06:07	06:20	06:28	06:39	---	06:59	07:15	07:30	---	---	07:42	---	07:55	---	08:02	08:02
812	06:03	06:05	06:12	---	06:27	---	---	06:39	06:47	07:03	---	---	07:27	07:39	07:51	07:57	---	08:09	08:10
811	06:09	06:11	---	06:20	06:34	06:42	06:54	---	07:14	07:30	07:45	---	---	07:57	08:03	---	08:15	08:16	08:16
813	06:16	06:18	---	06:27	06:41	---	---	06:53	07:01	07:17	---	---	07:41	07:53	08:05	08:11	---	08:23	08:24
810	06:22	06:24	---	06:34	06:48	06:57	07:09	---	07:29	07:45	08:00	---	---	08:12	---	08:25	---	08:32	08:32
812	06:30	06:32	06:40	---	06:55	---	---	07:07	07:15	07:31	---	---	07:55	08:07	08:19	08:25	---	08:37	08:38
811	06:35	06:38	---	06:48	07:02	07:11	07:23	---	07:43	07:59	08:14	---	---	08:26	08:32	---	08:44	08:45	08:45
813	06:42	06:45	---	06:55	07:09	---	---	07:21	07:29	07:45	---	---	08:09	08:21	08:33	08:39	---	08:51	08:52
810	06:48	06:52	---	07:02	07:16	07:25	07:37	---	07:57	08:13	08:28	---	---	08:40	---	08:53	---	09:00	09:00
812	06:55	06:59	07:07	---	07:23	---	---	07:35	07:43	07:59	---	---	08:23	08:35	08:47	08:53	---	09:05	09:06
811	07:02	07:06	---	07:16	07:30	07:39	07:51	---	08:11	08:27	08:42	---	---	08:54	09:00	---	09:12	09:13	09:13
813	07:09	07:13	---	07:23	07:37	---	---	07:49	07:57	08:13	---	---	08:37	08:49	09:01	09:07	---	09:19	09:20
810	07:16	07:20	---	07:30	07:44	07:53	08:05	---	08:25	08:41	08:56	---	---	09:08	---	09:21	---	09:28	09:28

Figura 69. Planilla de despacho de flota y control de servicios. Fuente: Grupo 800, Empresa Maipú.

Luego, conforme al convenio colectivo de trabajo, teniendo en cuenta las horas de trabajo y descanso entre turnos, la empresa realiza la determinación de turnos por choferes (Figura 70). De esta manera cada chofer, con 48 horas de anticipación, tiene asignada las rutas que debe cumplir y la unidad asignada.

MAIPU-COQUIMBTO			INVIERNO 2020			COCHE N°		011
R.PEÑA-GOMEZ-EXPRESO						AHM001		
DIAS	MES	AÑO	HORA TOMA DE SERVICIO			03:55		
14/8/2020			HORA DEJA DE SERVICIO			11:55		
CONDUCTOR			LEGAJO	FIRMA		LINEA / RAMAL		
						L 812	L 811	
						L 810	L 810	

RECORRIDO	COD. SUBE	AUXILIAR	CONTROL	MAIPU	COVARRAZUEPZ	ZANICHELLI	ROTONDA	UVITA	PGCRUZ	KM14	LIBERTAD	CYCATAMARCA	LIBERTAD	RCRUZ	PGCRUZ	UVITA	TRIANGULO	ZANICHELLI	COZARREAS	MAIPU	CONTROL
812	2944	04:00	04:40	04:41	04:47	----	04:59	----	----	05:10	05:16	05:30	----	----	05:46	05:56	06:06	06:10	----	06:19	06:20
810	2940		06:48	06:52	----	07:02	07:16	07:25	07:37	----	----	07:57	08:13	08:28	----	----	08:40	----	08:53	----	09:00
811	2942		09:27	09:31	----	09:41	09:55	10:04	10:16	----	----	10:36	10:52	11:07	----	----	11:19	11:25	----	11:37	11:38
810	2940		12:10	12:14	----	12:24	12:38	12:47	12:59	----	----	13:19	13:35	13:50	----	----	14:02	----	14:15	----	14:22

OBSERVACIONES : *PRESENTACION 15 MINANTES DEL INICIO DEL TURNO*
 (si cambia de coche anotar numero de interno)

Figura 70. Turno por chofer. Fuente: Grupo 800, Empresa Maipú.

Estas tareas requieren un esfuerzo muy importante de la logística interna de la empresa dado que debe optimizar todo el sistema de mantenimiento preventivo, correctivo, revisiones técnicas obligatorias, desinfecciones y demás tareas en las unidades. Respecto de los choferes: turnos días hábiles, sábado, domingos y feriados; horarios diurnos y nocturnos, rotación de choferes por licencia, parte de enfermo, respeto de horas de descanso, etc.

14 ANEXO I

14.1 Niveles de capacidad para diferentes tecnologías

14.1.1 Tren de cercanías y metro (12)

Son los de mayor capacidad. La plataforma de uso exclusivo les permite circular sin interferencias de ningún tipo y admiten vehículos de capacidades muy elevadas. La frecuencia dependerá de la velocidad comercial y del número de vehículos disponibles. Figura 71 y Figura 72.

El tamaño de los vehículos y su velocidad de circulación dependerá del gálibo de la infraestructura: a mayor gálibo, mayor velocidad, vehículos más grandes, mayor número de personas transportadas, pero también más inversión de construcción.

Al tener una infraestructura propia con un gran coste de construcción y mantenimiento, sólo resulta rentable económica, social y ambientalmente cuando la ruta ha sido diseñada para una demanda mínima y tengan lugar unas tasas de ocupación aceptables.

Son los medios de menor número de emisiones, y ruido, además de que consumen el menor espacio público, y mínima accidentalidad.

Son adecuados en ciudades grandes y muy grandes, con poblaciones superiores a los dos millones de personas, y rangos de concentración de actividades y densidades de edificación superiores a $2 \text{ m}^2 / \text{m}^2$.



Figura 71. Tren de cercanía



Figura 72. Tren de cercanía

14.1.2 Tranvía y metro ligero (12)

Estos medios de transporte ferroviario, muy similares a los anteriores, se diferencian en que presentan una plataforma con tramos de ruta de uso exclusivo, pero no en su totalidad. Su infraestructura dispone de un gálibo menor y por tanto los vehículos y su velocidad de circulación son menores. Figura 73 y Figura 74.

El número de personas que pueden transportar es menor, pero también los costos de construcción y mantenimiento, de ahí que resulten óptimos para cubrir demandas de población mayores que para las que resulta adecuado un sistema de autobuses, pero menores que las necesarias para justificar la fuerte inversión que supone un metro o un tren de cercanías.

Son adecuados en ciudades medias, con poblaciones hasta los dos millones de personas, o como parte de sistemas integrados en ciudades de mayor tamaño poblacional y rangos de concentración de actividades y densidades de edificación entre $1 \text{ m}^2 / \text{m}^2$ y $2 \text{ m}^2 / \text{m}^2$.

En cuanto a su circulación, el metro ligero cuenta con prioridad total de paso y cruces con distinto nivel en vías de alta intensidad de tráfico. El tranvía en cambio, no tiene porqué contar con prioridad de paso, sino que estará regulado semafóricamente en intersecciones.



Figura 73. Tranvía



Figura 74. Metro ligero

14.1.3 BRT / Troncales con carriles exclusivos (Transmilenio en Bogotá – Curitiba en Brasil) (12)

Sistemas de transporte de autobuses sobre plataforma reservada muy extendido para demandas medias y altas, pues pueden cubrir satisfactoriamente una demanda de hasta **20.000 pasajeros por hora y sentido** en el caso de plataformas de 1 carril y de hasta 45.000 pasajeros por hora y sentido para plataformas de 2 carriles, con sobrepaso de vehículos según paradas.

El BRT cuenta con prioridad semafórica en intersecciones (de tal manera que se consiga la llamada “onda verde” al paso de sus vehículos).

Los costes de infraestructura son muy bajos comparados con los modos ferroviarios descritos con anterioridad, de tal manera que en ocasiones no han necesitado de subvenciones públicas para su implantación.

Permite una velocidad comercial próxima al metro ligero y una alta frecuencia de paso por lo que, a igual capacidad, el BRT es más barato que éste. Es por ello que en ocasiones se implantan adaptándose a los requisitos de una futura plataforma ferroviaria, para un posible acondicionamiento cuando crezca la demanda en un determinado horizonte.

14.1.4 Sistema de colectivos/autobuses (12)

Es el sistema de transporte que mejor funciona para demandas bajas y medias debido a su gran versatilidad ante la demanda –tanto a lo largo del tiempo como incluso a lo largo del día-, en el trayecto –por su flexibilidad de circulación–, y en la demanda –por la variabilidad en la capacidad de los vehículos.

Su bajo coste de implantación y mantenimiento, hace al autobús económica y ambientalmente más competitivo en itinerarios en los que la demanda no es suficiente para sufragar los costes económicos y/o energéticos de la construcción de una vía exclusiva y su mantenimiento.

Aún más eficaz, es el sistema de autobuses semi-rápido/sobre plataforma preferente y/o exclusiva, que absorbe demandas de transporte más elevadas, aunque el coste de la infraestructura y el mantenimiento también se ve incrementado, y es muy adecuado en su implantación para ciudades medias y pequeñas, de hasta dos millones de personas, o como

parte de sistemas integrados en ciudades de mayor tamaño, siendo más flexible el rango de concentración de actividades y densidades.

14.1.5 Capacidad de Transporte por Modo y Medios. Distancia entre estaciones

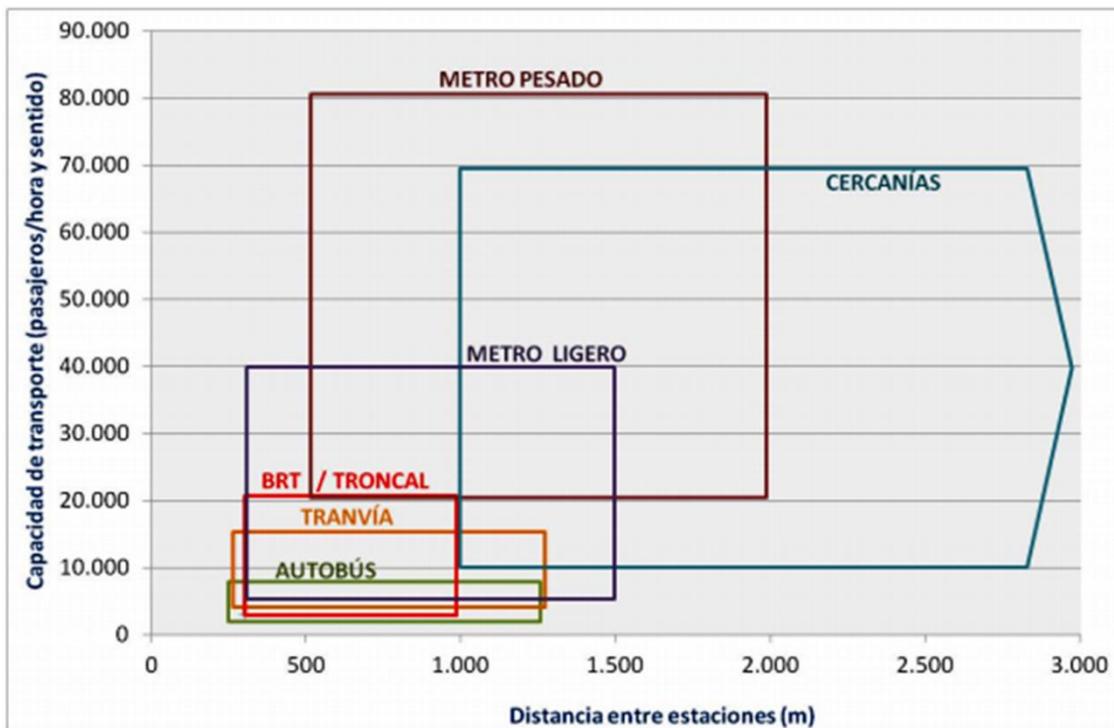


Figura 75. Distancia entre estaciones. Capacidad del medio. Fuente (12)

Medio de Transporte	N° pasajeros / Hora / Sentido	Velocidad (Km/h)		Intervalo Mínimo (minutos)	
		Máxima	Comercial	Hora Punta	Hora Valle (línea simple)
Tren cercanías	10.000 - 70.000	80 a 130	40 a 80	15 a 30	30 - 45
Metro convencional	20.000 - 80.000	80 a 100	25 a 60	3 ³ a 6	10 a 15
Tranvía - metro ligero	6.000 - 40.000	60 a 120	18 a 40	3 a 10	12 a 15
BRT / Troncal¹	3.000 - 20.000	40 a 80	15 a 30	3 a 10	12 a 15
Colectivos²	2.400 - 8.000	40 a 80	10 a 20	3 a 10	12 a 15

Idoneidad del medio de transporte en función de la demanda y distancia entre estaciones. Fuente: elaboración propia sobre datos de Rafael Soler y José M. Herrero. Escuela Técnica de Ingeniería de Obras Públicas de Madrid

¹ Capacidad referida a BRT de un carril con doble carril y sobrepaso de vehículos puede alcanzar los 45.000 pasajeros por hora y sentido. BRT

² Los valores corresponden a cierta gestión del tránsito vehicular: regulación semafórica, paradores suficientemente espaciados, optimización de su competitividad con el resto de modos motorizados con los que comparte calzada, etc.

³ Con señalización ATP, ATO o CBTC puede tener un intervalo mínimo de 1,5 minutos

Figura 76. Medios. Capacidad (pax/hr/sentido). Velocidad comercial. Intervalos mínimos. Fuente (12)

Modo	Intervalo Minutos	Coches formación	Pasajeros por coche	Pasajeros por hora (hora punta – día hábil)
Metro	5 – 1,5	4 – 6 - 8	200	9.600 a 64.000
Metro liviano	4 – 2	3	200	6.000 a 24.000
BRT 2 carriles	4 – 0,5	1	150	2.300 a 18.000
BRT 4 carriles	3 – 0,25	1	150	3.000 a 36.000

Figura 77. Modos, formación, capacidad por unidad, intervalos tipo, pasajeros/hr. Fuente: METROVÍAS – Metro de Medellín - Colombia

Modo	Velocidad comercial Km / hora	Accesibilidad: distancia entre paradas (metros)
Metro	30	800
Metro liviano	30	500
BRT 2 carriles	25	500
BRT 4 carriles	30	500

Figura 78. Modos, velocidad comercial, distancia entre paradas. Fuente: METROVÍAS – Metro de Medellín – Colombia

14.1.6 Buses

BUSES

Marca	Ciudad	Largo (m)	Capacidad (pax)	Tipo	Observaciones
Volvo - 7300 Articulado	Bogotá	18	160	Piso alto - 1m	Parador especial a 1 m
Volvo - 7300 Bi Articulado	Bogotá	25	240	Piso alto - 1m	Parador especial a 1 m
Materfer	Argentina	11	70		Bus urbano común
Metalpar	Argentina	12	80		Bus urbano común
Volvo - B290R		13	100	Piso bajo	Bus urbano común
Metalpar - Tronador	Argentina	18	120		Bus urbano articulado
Italbus	Argentina		140		Bus urbano articulado
Volvo - B360S		28	220	Piso bajo	Bus urbano bi-articulado

Figura 79. Tipo de buses. Dimensión. Capacidad. Fuente: SSP – Mendoza.

14.1.7 Tranvías

TRANVIAS

Marca	Ciudad	Largo (m)	Capacidad (pax)	Tipo	Observaciones
Alstom - Citadis 302	Niza	36	300	Piso bajo - 5 modulos	6 puertas
Alstom - Citadis 302	Barcelona	33	294	Piso bajo - 5 modulos	6 puertas
Siemens - Avanto 670	Paris - L4	37	242	Piso bajo - 5 modulos	5 puertas
Alstom - Citadis Dualis		42	234	Piso bajo - 4 modulos	4 puertas
Alstom - Citadis Dualis		42	251	Piso bajo - 4 modulos	4 puertas
Alstom - Citadis Dualis		42	251	Piso bajo - 4 modulos	5 puertas
Alstom - Citadis Dualis		52	292	Piso bajo - 5 modulos	6 puertas
Alstom - Citadis Spirit		28	175	Piso bajo - 3 modulos	4 puertas
Alstom - Citadis Spirit		30	190	Piso bajo - 3 modulos	4 puertas
Alstom - Citadis Spirit		32	230	Piso bajo - 3 modulos	5 puertas
Alstom - Citadis Spirit		37	265	Piso bajo - 3 modulos	5 puertas
Alstom - Citadis Spirit		42	280	Piso bajo - 4 modulos	7 puertas
Alstom - Citadis Spirit		48	340	Piso bajo - 4 modulos	7 puertas

Se pueden acoplar módulos de la misma marca y tipo

Figura 80. Tipo de tranvías. Dimensión. Capacidad. Fuente: Fabricantes Alstom – Siemens

14.1.8 Metro

METRO

Marca	Ciudad	Capacidad unidad (pax)	Formación de:	Capacidad (pax)	Longitud unidad (m)	Longitud Total (m)
Bombardier	Mexico	170	3 unidades	510	16,5	50
Bombardier	Mexico	170	6 unidades	1020	16,5	99
Bombardier	Mexico	170	7 unidades	1190	16,5	116
Bombardier	Mexico	170	9 unidades	1530	16,5	149
Alstom	Panamá	200	3 unidades	600	20	60
Alstom	Panamá	200	4 unidades	800	20	80
Alstom	Panamá	200	5 unidades	1000	20	100
CAF	Medellín	250	3 unidades	750	23	69
CAF	Medellín	250	4 unidades	1000	23	92
CAF	Medellín	250	5 unidades	1250	23	115

Se pueden acoplar módulos de la misma marca y tipo

Figura 81. Tipo de metro. Dimensión. Capacidad Fuente: Fabricantes Alstom – CAF – Bombardier

15 ANEXO II

15.1 ¿Cómo calculamos la ocupación del transporte público?

30 agosto, 2016. Por: Ricard Riol.

Artículo elaborado por PTP, publicado originalmente en transportpublic.org [CAT].

<https://www.ecomovilidad.net/global/calculamos-la-ocupacion-del-transporte-publico/>

Es bastante conocido que por norma general el transporte público genera menos impactos que el privado respecto a consumo energético, emisiones, ocupación de espacio y seguridad vial, entre muchas otras ventajas. ¿Pero cómo se llega a esta conclusión si tenemos en cuenta que los vehículos grandes, generalmente empleados en el transporte público colectivo, consumen más energía y espacio que los pequeños turismos? La razón es muy clara, **los impactos se calculan por usuario y no por vehículo**. Para evaluar los impactos de la movilidad en un área de estudio, **resulta tanto o más determinante que 15 usuarios escojan 1 bus en lugar de 15 coches**, que la tecnología del motor que empleen los respectivos vehículos.

Por tanto, para calcular los impactos que la movilidad genera sobre la sociedad y el territorio, como son los consumos de energía, de espacio o de tiempo, **además de estudiar los vehículos hay que tener presente el grado de ocupación**, que nos indica cuánta gente los aprovecha. Para ser sostenible, el transporte público colectivo necesita ocupar mínimamente sus vehículos de acuerdo a la capacidad que ofrezcan: bus de barrio (20 personas), bus convencional (60 personas), bus articulado (100 personas) o biarticulado (140 personas), tranvía (200-300 personas), tranvía doble (400 personas), metro (600 personas) o tren de cercanías (500-1000 personas). **Interesa que el transporte público no circule prácticamente vacío a la ida y a la vuelta para cumplir con su función social y ecológica**. Generalmente, el transporte público y el coche rondan ocupaciones medias del 20% de su capacidad en zona urbana.

Ocupación y captación

A menudo existe cierta confusión entre dos ratios que relacionan oferta y demanda: por una parte, tenemos **la ocupación**, que indica cómo de lleno va el vehículo teniendo en cuenta la subida y bajada de viajeros; y por otra **la captación**, que indica sólo cuántos viajeros suben en cada viaje o por cada kilómetro de recorrido. La ocupación se obtiene dividiendo los pasajeros-kilómetro por los vehículos-kilómetro de un servicio, mientras que la captación se obtiene dividiendo el número de pasajeros por el número de viajes o vehículos-kilómetro. En el siguiente gráfico se muestran **cuatro ejemplos de cálculo de ocupación y de captación para una ruta de bus**. Figura 82.

Maneras de medir la demanda de tres viajeros

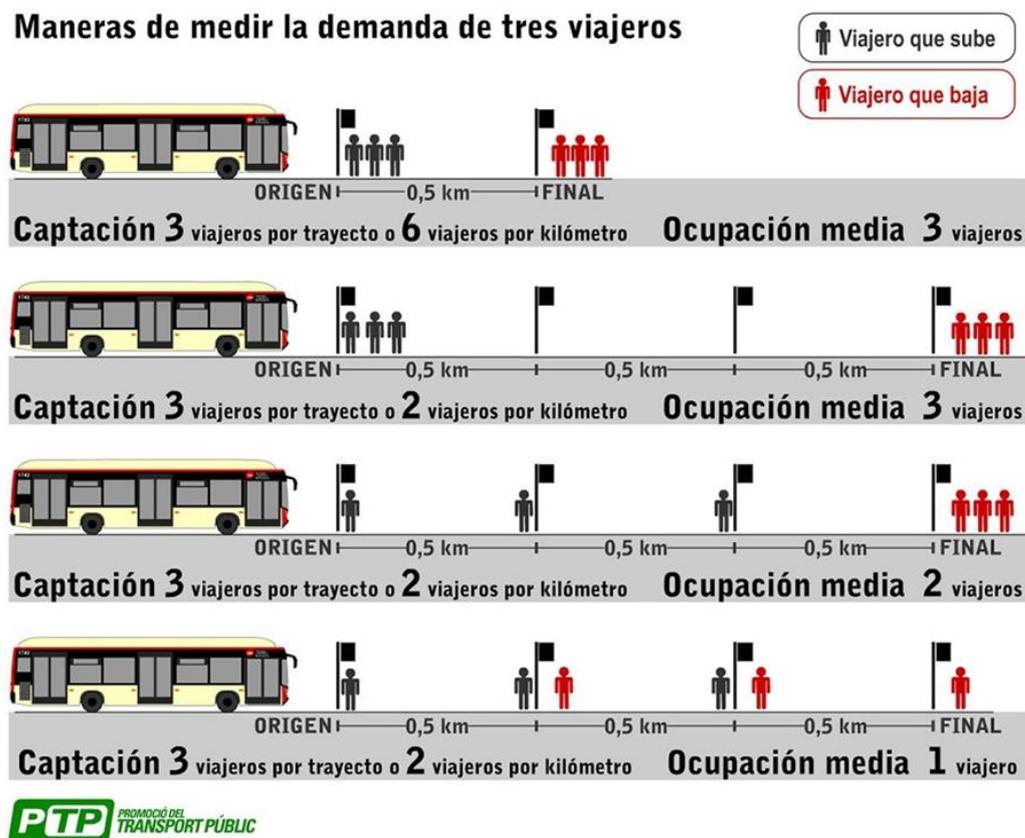


Figura 82. Manera de medir la demanda de tres viajeros. Fuente: PTP Promoción del Transporte Público

La ocupación es una ratio más indicada para dimensionar el servicio y hacer la evaluación ambiental respecto al coche, moto, etc. La captación es una ratio más indicada para parámetros económicos (recaudación, necesidades de subvención, etc). Tanto las ocupaciones como las captaciones están referidas a un periodo de tiempo determinado:

- Si son de red, se hace la media entre todos los tipos de servicios, desde un bus de barrio hasta el corredor de principal demanda.
- Si son diarios, se hace la media mezclando ida y vuelta, hora punta y hora valle. La demanda de hora punta en laborable suele ser el 10% de la demanda de todo el día.
- Si son semanales o mensuales, se hace la media mezclando días laborables, sábados y festivos. La demanda en festivos puede caer perfectamente más del 50% respecto a un día laborable.
- Si son anuales, se hace media mezclando meses de verano, vacaciones de Navidad y meses de pleno rendimiento.

La reciente publicación de los **Datos Básicos de TMB 2016** (demanda de 2015) es una buena ocasión para analizar y distinguir los dos conceptos. Figura 83.

Dades de les xarxes / Network data

(31.12.2015)

Oferta		Service provided	
		Places-km (millions) Places-km (millions)	Cotxes-km útils (milers) Cars/Vehicle-km in operation (thousands)
Metro	Metro	15.086,12	82.295,51
Autobusos	Buses	3.338,25	40.111,66
Total TMB	Total TMB	18.424,37	122.407,17

Demanada (Milions)		Demand (Millions)		2015
Viatges xarxa Metro		Trips on Metro network		385,00
Total Ferrocarril Metropolità, S.A.				385,00
Viatges xarxa Bus		Trips on Bus network		182,26
Viatges Tramvia Blau		Trips on Tramvia Blau		0,17
Viatges Barcelona Bus Turístic		Trips on Barcelona Bus Turístic		5,36
Total Transports de Barcelona, S.A.				187,79
Viatges Telefèric		Trips on Cable Car		1,35
Total Telefèric de Montjuïc, S.A.				1,35

Ratio		Ratio		2015
		Metro Metro	Autobusos Buses	
Viatgers/cotxe-km útil	Cars/vehicle-km in operation	4,68	4,68	
Viatgers-km (places-km/1000)	Passengers-km (places-km/1000)	127,60	157,51	
Recorregut mitjà per viatge en km	Average distance per trip (km)	5,00	2,80	



Figura 83. Datos de las redes. Fuente: TMB Transporte Metropolitano de Barcelona

Cuando nos indican que el metro tiene una ratio de 4,68 viajeros por coche-km útil y el bus de 4,68 viajeros por coche-km, nos están dando una cifra de captación por kilómetro, no la ocupación media de metro y bus. Teniendo en cuenta que el metro tiene 5 coches por tren, cada tren tendría una captación de 23,4 (4,68 x 5) viajeros por tren-km o vehículo-km útil. Eso quiere decir que **cada vez que un tren de metro recorre un kilómetro, se suben 23,4 personas**, mientras que en un bus se suben 4,68 viajeros.

Entonces, ¿cuál es la ocupación del metro y del bus?

Como se ha explicado anteriormente, hay que **dividir la demanda expresada en pasajeros-km por la oferta expresada en vehículos-km**; y en este caso lo haremos por el periodo anual, que es el que ofrecen los Datos Básicos de TMB.

Los pasajeros-km se pueden obtener multiplicando el total de pasajeros anuales de cada subred por el recorrido medio que hacen: en metro 385 millones de viajeros por 5 km de

recorrido medio hacen 1.925 millones de viajeros·km. En el bus, 182,26 millones de viajeros por 2,8 km de recorrido medio hacen 510 millones de viajeros·km. En TMB el recorrido medio de los usuarios se obtiene mediante encuestas. En servicios como el AVE o Larga Distancia de Renfe los recorridos se obtienen automáticamente porque cada billete tiene marcado un origen y un destino.

En metro, dividiendo los 82,29 millones de coches·km por 5 coches por tren, resulta un total de 16,59 millones de tren·km o vehículo·km. En el bus el coche·km y el vehículo·km es lo mismo, 40,1 millones. Hacemos la división y comparando con el vehículo privado resulta lo siguiente: Figura 84.

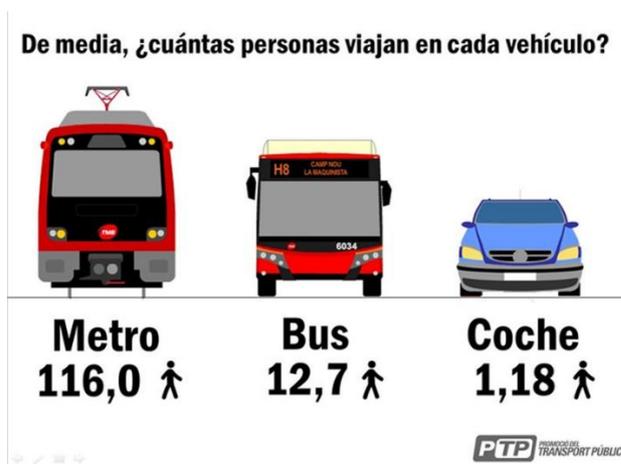


Figura 84. Personas que viajan por vehículo. Fuente: PTM Promoción del Transporte Público

¡Recuerda!

- Para calcular **el éxito de público de la prolongación de una ruta** utilizaremos la captación.
- Para calcular la **subvención media por viajero de una ruta**, utilizaremos los costes de explotación totales y la recaudación, ambos aspectos relacionados con la captación.
- Para comparar **el nivel de saturación de dos rutas**, utilizaremos la ocupación media, a ser posible por tramos de ruta.
- Para calcular **las emisiones de CO₂** u otros contaminantes urbanos (NO_x, PM₁₀) utilizaremos la ocupación media.
- Para demostrar **la menor peligrosidad del autobús** respecto al coche, utilizaremos la ocupación media.

¿Cuál es el umbral de eficiencia del transporte público colectivo? Se pueden utilizar criterios exclusivamente ambientales o también sociales. Para los criterios sociales hay que tener en cuenta que para demandas muy bajas existen transportes más adecuados como son los taxis o buses a demanda, que sólo se activan cuando hay usuarios que los solicitan con cierta antelación. Por lo que demuestra el grado de ocupación de TMB en Barcelona, **las cifras demuestran una elevada eficiencia ambiental respecto al uso del coche.**

El presente documento de estudio ha sido elaborado tomando como base el libro Transporte Público: Planeación, Diseño, Operación y Administración, de Ángel Molinero Molinero - Ignacio Sánchez Arellano (1). Se han incorporado definiciones de autores citados, comentarios y recomendaciones surgidas de la experiencia en el planeamiento y gestión del transporte en el Área Metropolitana Mendoza por parte de quien realiza la compaginación del trabajo.

16 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- 1- Ángel Molinero Molinero; Ignacio Sánchez Arellano. Transporte Público: Planeación, Diseño, Operación y Administración. Fundación ICA. (1998). ISBN 968 7508 42-6.
- 2- Thor K. Haatveit. Transit Operations. Filadelfia: University of Pennsylvania, 1980.
- 3- A.W. Wardrop. In Search of Standards of Service for Urban Public Transport. Canberra. Departamento of Capital Territory, 1979.
- 4- Vukan R. Vuchic. Transit Operating Manual. Harrisburg: Pennsylvania Department of Transportation, 1978.
- 5- Norbet Klein. Stadbahnssystema und ihre Einsatzgrenzen, Aachen: Schweers + Wall, 1978.
- 6- Vukan R. Vuchic, Ángel Molinero y Richard Clarke. Timed Transfer System Planning, Design and Operation. Washington, DC: UMTA, 1981.
- 7- SEDESOL. Programa de Asistencia Técnica en Transporte Urbano para las Ciudades Medias Mexicanas. Operación del Transporte Público. México: SEDESOL 1994.
- 8- Hermann Flieger. Handbuch der Verkehrswirtschaft. Düsseldorf: Alba Buchverlag GmbH, 1978
- 9- Michael Krüger, et al. Grundlagen des Fahrzeug – und Personaleinsatzes in Nahverkehrsunternehmen. Munich. MAN, 1980
- 10- ANTP. Dimensionamiento de Linhas de Ônibus. Sao Paulo: ANTP, 1990.
- 11- Plan Integral de Movilidad para el Gran Mendoza. Secretaría de Servicios Públicos. Gobierno de Mendoza, 2016.
- 12- Estudios de Reestructuración de la Red de Autotransporte 2015 en el AMGM. Consultor: EZQUIAGA – BB&J – DESIGNA. Programa DAMI – BID – Provincia de Mendoza.
- 13- Gustavo Luis Pastor. JTP Cátedra Transporte. Facultad de Ingeniería. UN Cuyo
- 14- Dirección de Planificación – Secretaría Servicios Públicos – Gobierno de Mendoza. Año 2020
- 15- Ginés de Rus; Javier Campos; Gustavo Nombela. Economía del Transporte. Universidad de las Palmas de Gran Canaria. Edición: Antoni Boschi. 2003
- 16- Vukan R; Vuchic. Urban Transit Systems and Technology. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey (2007)
- 17- Documentos y fuentes detalladas.