



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
SECRETARÍA DE MOVILIDAD

**DISEÑO CONCEPTUAL DE LA RED DE TRANSPORTE MASIVO
METRO Y DISEÑO OPERACIONAL, DIMENSIONAMIENTO LEGAL Y
FINANCIERO DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO EN EL MARCO DEL
SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE PUBLICO-SITP- PARA LA
CIUDAD DE BOGOTÁ**

NOTA TÉCNICA

Documento complementario de Aspectos técnicos para el DNP

Nota 4 de 5

MB-GC-NT-0035

Rev.1. Mayo de 2010





TITULO DEL DOCUMENTO: NOTA TÉCNICA:

Documento complementario de Aspectos técnicos para el DNP – Nota 4 de 5

DOCUMENTO N°: MB-GC-NT-0035

Referencia: P210C25

Fichero: MB-GC-NT035 - DOC COMPLEMENTARIO ASPECTOS TÉCNICOS - ANALISIS
DEMANDA

Revisión: Rev.1.

Fecha revisión : Mayo de 2010

	Nombre	Firma	Fecha
Elaborado por	Fernando de Lucas		Mayo de 2010
	Françoise Guillerault		
	Jorge Alcalde B.		
	Johanna M ^a . Lobo Gutiérrez		
Verificado por	José Manuel Almoguera		Mayo de 2010
Aprobado por	Luis M. San Martín Esteban Rodríguez		Mayo de 2010



REGISTRO DE CAMBIOS

REV.	FECHA	SECCIÓN / PÁRRAFO AFECTADO	INICIO DEL DOCUMENTO/ RAZONES DEL CAMBIO
0	Mayo de 2010	TODOS	DOCUMENTO INICIAL



ÍNDICE

0	INTRODUCCIÓN	5
1	CRITERIOS DE DEFINICIÓN DE REDES	6
2	DESCRIPCIÓN DE ESCENARIOS DE SENSIBILIDAD	9
3	ANÁLISIS DE VARIABLES DEMANDA DE PASAJEROS: CONFORT Y ARCOS DE TRANSBORDOS.....	13
3.1	Análisis de la variable confort.....	13
3.1.1	Antecedentes.....	13
3.1.2	Metodología.....	13
3.2	Análisis de los arcos de transbordo.....	28
4	EXPANSIÓN DE LA DEMANDA ANUAL.....	36
5	EFFECTO DEL TRAZADO GEOMÉTRICO EN LA VELOCIDAD COMERCIAL.....	38
5.1	Estimación simplificada de la velocidad comercial.....	39
5.2	Efecto de la reducción de la velocidad comercial sobre la demanda:	41



0 INTRODUCCIÓN

Este documento contiene la descripción detallada de los aspectos técnicos solicitados por el Distrito con el fin de dar respuesta a las peticiones a transmitidas al Distrito y al GC por parte del equipo de Validadores del DNP, aspectos recogidos en la comunicación GEINF-20102840163391 del pasado 10 de marzo de 2010.

Concretamente, se desarrollan los siguientes temas:

- Criterios de definición de 4 redes
- Descripción de los escenarios de sensibilidad de demanda
- Análisis de variables demanda de pasajeros: confort y arcos de Transbordos
- Expansión de la demanda anual
- Efecto del trazado geométrico en la velocidad comercial

Para ello, se plantea en primera instancia una descripción general de los escenarios planteados en los ejercicios de sensibilidad de la demanda de pasajeros realizados y ya presentados en los documentos MB-GC-NT-032 y MB-GC-NT-033 que forman parte del paquete de informes preparados por el GC para atender las solicitudes planteadas por el DNP.

Posteriormente se describe el análisis de las variables confort y su incorporación en el modelo EMME así como una ampliación sobre los resultados de los análisis realizados sobre las variables confort y arcos de transbordos.

Se incluye también como fe de erratas la tabla que recoge los resultados de la demanda anual expandida para las redes de metro analizadas y la justificación de dicha errata. Por último se presentan los argumentos que muestran las implicaciones del trazado geométrico vs la velocidad comercial y sus efectos sobre la demanda.



1 CRITERIOS DE DEFINICIÓN DE REDES

Con el fin de ampliar la descripción del proceso de definición de las redes sometidas a evaluación durante la etapa 2 del estudio, a continuación se presentan algunos argumentos adicionales que sustentan la selección realizada.

Analizados, entre otros documentos, los proyectos anteriores para el metro de Bogotá, el Informe de JICA, el PMM, redactado por Cal y Mayor y Duarte, Guterman, para la entonces Secretaria de Tránsito y Transporte de la Alcaldía MAYOR DE BOGOTÁ D.C. , el POT, el Sistema Transmilenio, el anteproyecto para el tren de cercanías, estudios geológicos de la ciudad, incluso proyectos de cimentación de edificios singulares, incluso el túnel sanitario del Tunjuelo; los esquemas generales de las infraestructuras hídricas, de energía, los informes de empleo de la Cámara de Comercio, las memorias de la Empresa de Renovación Urbana, etc. A partir de la información recogida en estos y otros documentos, el equipo redactor pudo tener la información básica de la ciudad, en especial de

- La infraestructura vial jerarquizada de la ciudad
- La estrategia para la movilidad urbana
- La estrategia de desarrollo urbano
- Las localizaciones de grandes equipamientos (educacionales, de salud, comerciales..)
- Los centros urbanos de negocio
- Los polos de Renovación urbana en ejecución y proyectados
- La red de Transmilenio en explotación, y las nuevas líneas contratadas
- El Tren de Cercanías proyectado
- La demanda genérica de transporte
- Los polos de origen-destino del transporte público
- Aspectos de la densidad de población y las zonas libres para nuevos asentamientos.

En el momento de realizar unas primeras propuestas para la definición de varias redes, que después serían contrastadas con la evaluación multicriterio, con indicadores detallados y específicos, se estaban calibrando los modelos, realizando los estudios de costes, legales, etc., y no se contaba con la información detallada que permitiera medir paramétricamente las redes propuestas. En esta etapa, se trataba de seleccionar las redes que, posteriormente serían objeto de la evaluación multicriterio para la selección de una de ellas, con el objeto de obtener no sólo una red para el modo Metro, sino para definir la malla de Corredores de Transporte Masivo del Sistema Integrado de Transporte Público.



A partir de la información de los mencionados documentos y de numerosas visitas a diferentes zonas de la ciudad, viajando en diferentes medios de transporte, etc., el Grupo Consultor desarrolló una serie de esquemas de red, que se fueron depurando, a medida que se incorporaban diferentes requisitos. Las propuestas se basaron fundamentalmente en aspectos cualitativos. Se consideraron diferentes argumentos:

- Considerar, como base, la red del TransMilenio en funcionamiento y sus ampliaciones.
- El aprovechamiento de los corredores ferroviarios existentes en la ciudad.
- Que el trazado se definiera en zonas libres de edificaciones, considerando también los inconvenientes que presenta el suelo denominado de “pie de monte”
- Considerar viales no utilizados por Transmilenio
- Que la longitud total de la red estuviera entre 70 y 130 Km para acotar su longitud y evitar una dispersión en este sentido.
- Que se estructurara una malla o trama, con múltiples puntos de interconexión, coadyuvando a la formación de Nodos de intercambio de transporte público en los denominados CIM o nuevos.
- Posibilitar de que se estructurara –aunque fuera a futuro- una línea circular.
- Que la red sirviera a las centralidades: urbanas, de renovación, de equipamientos, etc.
- Que reforzara el concepto de pluricentralidades que define el POT.
- Que la red posibilitara la conexión con áreas libres, susceptibles de ser utilizados en Patios y Talleres.
- Que la malla abarcara territorios de diferentes estratos.
- Que la red propuesta constara de tres corredores como mínimo, y un máximo de seis.
- Que la red propuesta fuera compatible, al irse consolidando, con las diferentes etapas del TM y con otros modos de transporte, como Tren de Cercanías y otras líneas de transporte público.

A partir de estas premisas, se esbozaron diferentes trazados de red. Como estos trazados previos coincidían en muchos aspectos, hubo un primer descarte y finalmente se definieron diez trazados de red diferentes.

Los diferentes trazados (10) fueron analizados en conjunto por los diferentes integrantes del grupo, apreciándose que, a pesar de la selección previa, ciertos aspectos se repetían en más de uno de los propuestos. Se analizaron mediante una simple calificación, para apreciar cuáles de ellos cumplían en mejor forma con las premisas definidas anteriormente. De los 10 trazados, se descartaron seis, obteniéndose, por tanto las cuatro alternativas de redes que se someterían posteriormente a la evaluación multicriterio.

Las Alternativas de Red seleccionadas fueron en su orden:

- Alternativa 9 = **RED A**
- Alternativa 10 = **RED B**
- Alternativa 4 = **RED C**
- Alternativa 5 = **RED D**

Figura 1-1 Esquema de explotación

<ul style="list-style-type: none"> - Dos corredores lineales en sentido Norte-Sur (Verde y azul) conectados en ambos extremos. - Un corredor semicircular por el oriente o zona centro (rojo) con prolongación hacia occidente. - Un corredor semicircular por la periferia Oeste (Morado) - Un corredor desde el centro hacia el Suroeste (amarillo) 	<ul style="list-style-type: none"> - Dos corredores lineales en sentido Norte-Sur (Verde y azul) coincidentes solo en el Norte - Un corredor semicircular por el oriente o zona centro (rojo) 	<ul style="list-style-type: none"> - Un corredor lineal de Norte a Sur (Corredor verde). - Tres corredores semicirculares: rojo al oriente y, azul y morado al occidente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Explotación en anillo en el centro (Corredor rojo). - Dos corredores hacia la periferia: al Norte: corredor verde, y al Sur corredor amarillo - Dos corredores semicirculares sirviendo a la zona Oeste de la ciudad (azules)

Estas redes seleccionadas fueron sometidas al análisis multicriterio, cuyos resultados quedaron reflejados en los Productos 15 y 16 de la Consultoría.

2 DESCRIPCIÓN DE ESCENARIOS DE SENSIBILIDAD

A continuación se realiza una descripción detallada de los escenarios de sensibilidad analizados y cuyos resultados ya han sido entregados en el documento MB-GC- NT032,

Para los ejercicios solicitados por el Equipo de Validadores del DNP se plantea un escenario de partida para el modelo el cual presenta las siguientes características:

- Escenario de demanda **18860 para hora punta y 18880 para hora valle**
- Línea de metro: Línea roja, según definido en el producto de Diseño Operacional.
- Sistema de Transporte Público: SITP y Diseño Operacional entregado en los productos del Grupo Consultor
- Sin Tren de Cercanías
- Matrices de demanda: las obtenidas con efecto “metro”. Es decir, las matrices mf134 para hora punta y mf144 para hora valle

Así mismo, para la realización de los ejercicios de sensibilidad solicitados se han establecido tres nuevos escenarios los cuales resultan de la combinación no agrupada de las siguientes variables:

- Calidad/confort
- Efecto Taxi
- Efecto Moto
- Pico y Placa

La combinación de los niveles de las variables citadas anteriormente originan tres escenarios se recogen en la siguiente tabla y se describen más adelante:

Tabla 2-1 Definición de escenarios para sensibilidades.

Variable/ Escenario	Moderado	Medio	Pesimista
Calidad/confort	Igual al actual	Igual a TM	50% peor que TM
Efecto Taxi	No considerado	Sí considerado	Sí considerado
Efecto Moto	No considerado	Sí considerado	Sí considerado
Pico y Placa	HP y HV	HP y HV	HP sólo

- **Escenario Base GC/Moderado:** Se llama Base GC puesto que es el escenario resultado de los diferentes entregados por el Grupo Consultor. Las condiciones que han sido solicitadas para la sensibilidad han hecho coincidir a este escenario con el Escenario Moderado de la sensibilidad.

- De esta forma, la variable confort en el primer escenario se aplica tal cual se ha explicado en los diferentes productos
 - Para incluir el efecto de taxi se han considerado los criterios especificados en las consideraciones especificadas en el comentario correspondiente del documento MB-GC-NT-0032. Como criterio de reparto entre hora punta y hora valle se ha considerado en la misma proporción que el transporte público. Una vez obtenido dichos valores para cada uno de los periodos considerados se ha procedido a eliminar de la matriz estimada 2018 de TP la cantidad determinada, distribuida según se ha obtenido el crecimiento 2018/2008. Es decir, se han restado las matrices 2018 a la de 2008 y la matriz resultante se ha disminuido para cada par O/D en la proporción que cada uno de dichos O/D representan sobre la matriz total hasta llegar a eliminar de dicha matriz el número de viajeros estimados en taxi. La matriz resultante se ha distribuido al modo vehículo privado/taxi para permitir su correcta asignación y distribución modal. En el caso de este escenario la cantidad es nula al no considerar este efecto.
 - De forma similar se ha procedido con el efecto moto. En este punto, indicar, que claramente el efecto moto tiene un efecto mayor, tal y como también se explicará en apartados posteriores. En el caso de este escenario la cantidad es nula al no considerar este efecto.
 - Finalmente, se ha considerado el escenario con la política Pico y Placa aplicada a todo el día.
- **Escenario Medio:** El escenario medio de la sensibilidad recoge aquellos supuestos que limitan la captación presentada por el Grupo Consultor en un grado medio. Concretamente,
- La valoración del confort del metro se ha bajado de nivel de alta a media. De esta forma, adquiere los mismos valores que TransMilenio.
 - Para incluir el efecto de taxi se han considerado los criterios especificados en las consideraciones especificadas en el comentario correspondiente del documento MB-GC-NT-0032. Como criterio de reparto entre hora punta y hora valle se ha considerado en la misma proporción que el transporte público. Una vez obtenido dichos valores para cada uno de los periodos considerados se ha procedido a eliminar de la matriz estimada 2018 de TP la cantidad determinada, distribuida según se ha obtenido el crecimiento 2018/2008. Es decir, se han restado las matrices 2018 a la de 2008 y la matriz resultante se ha disminuido para cada par O/D en la proporción que cada uno de dichos O/D representan sobre la matriz total hasta llegar a eliminar de dicha matriz el número de viajeros estimados en taxi. La matriz resultante se ha distribuido al modo vehículo privado/taxi para permitir su correcta asignación y distribución modal. En el caso de este

- escenario la cantidad es del entorno de 6.000 viajes en hora punta y de 5.000 viajes en hora valle.
- De forma similar se ha procedido con el efecto moto. En este punto, indicar, que claramente el efecto moto tiene un efecto mayor, tal y como también se explicará en apartados posteriores. En el caso de este escenario la cantidad es nula al no considerar este efecto. . En el caso de este escenario la cantidad es del entorno de 23.000 viajes en hora punta y de 15.000 viajes en hora valle.
 - Finalmente, se ha considerado el escenario con la política Pico y Placa aplicada a todo el día.
- **Escenario Pesimista:** El escenario pesimista de la sensibilidad recoge todos aquellos supuestos que limitan la captación presentada por el Grupo Consultor. Concretamente,
- La valoración del confort del metro se ha bajado de nivel de alta a inferior al medio. De esta forma, adquiere los mismos valores de penalización de TransMilenio multiplicados por 1,5.
 - Para incluir el efecto de taxi se han considerado los criterios especificados en las consideraciones especificadas en el comentario correspondiente del documento MB-GC-NT-0032. Como criterio de reparto entre hora punta y hora valle se ha considerado en la misma proporción que el transporte público. Una vez obtenido dichos valores para cada uno de los periodos considerados se ha procedido a eliminar de la matriz estimada 2018 de TP la cantidad determinada, distribuida según se ha obtenido el crecimiento 2018/2008. Es decir, se han restado las matrices 2018 a la de 2008 y la matriz resultante se ha disminuido para cada par O/D en la proporción que cada uno de dichos O/D representan sobre la matriz total hasta llegar a eliminar de dicha matriz el número de viajeros estimados en taxi. La matriz resultante se ha distribuido al modo vehículo privado/taxi para permitir su correcta asignación y distribución modal. En el caso de este escenario la cantidad es del entorno de 6.000 viajes en hora punta y de 5.000 viajes en hora valle.
 - De forma similar se ha procedido con el efecto moto. En este punto, indicar, que claramente el efecto moto tiene un efecto mayor, tal y como también se explicará en apartados posteriores. En el caso de este escenario la cantidad es nula al no considerar este efecto. . En el caso de este escenario la cantidad es del entorno de 23.000 viajes en hora punta y de 15.000 viajes en hora valle.
 - Finalmente, se ha considerado el escenario con la política Pico y Placa aplicada sólo al periodo de hora pico. Para ello, se han obtenido nuevas matrices no considerando el efecto pico y placa para la determinación de la matriz de valle.



En resumen, las conclusiones del análisis han sido las siguientes:

- Los valores de elasticidad implican que se reducen los transbordos, lo que a criterio del GC es un buen comportamiento debido a que las condiciones de sensibilidad que se han establecido no deben aplicar igual a los usuarios con mejor accesibilidad al metro y al SITP.
- Los efectos considerados han generado en hora punta una variación del reparto modal de apenas un 2%, lo que implica una reducción de metro en hora punta del entorno del 9% mientras que de abordajes en el SITP apenas implica un 6% en hora punta.
- Para hora valle, debido al efecto del pico y placa, los efectos se incrementan, ya que en este periodo, si bien el reparto modal se varía en un 4%, los efectos sobre los abordajes de metro (17%) y de SITP (18%) son más considerables.
- Los resultados obtenidos no implican que no se puedan obtener resultados más altos de los que se han presentado, puesto que en este análisis no se han considerado efectos tales como el incremento del número de viajes por persona ni el incremento de la duración del periodo pico ni tampoco el efecto de inducción aunque si está considerado el efecto de redensificación alrededor del metro (tal y como establecía el modelo base del producto entregado por el GC).



3 ANÁLISIS DE VARIABLES DEMANDA DE PASAJEROS: CONFORT Y ARCOS DE TRANSBORDOS

3.1 Análisis de la variable confort

3.1.1 Antecedentes

Una vez concluido el primer trabajo de campo realizado por el GC, el Distrito estableció la necesidad de medir de forma particular la opinión sobre el confort y confiabilidad de los individuos en los diferentes modos de transporte público disponibles y en el metro proyectado, esta vez para todos los usuarios. Para ello el GC proyectó un trabajo de campo complementario consistente en una nueva campaña de encuestas orientada a identificar la percepción del confort y confiabilidad del servicio por parte de los individuos.

Se buscó fundamentalmente estimar valoraciones al atributo confort y confiabilidad a fin de incluirlo dentro del costo generalizado de viaje de la red multimodal.

A fin de lograr el objetivo de un modelo de elección discreta, complementario a los evaluados inicialmente, se adelantaron un grupo de encuestas de Preferencia Declarada (PD) aplicadas de manera estratificada para usuarios de transporte público y privado. Es importante resaltar que se logró combinar la información proveniente de la primera campaña de encuestas con la obtenida en la nueva toma de datos.

El enfoque trazado para la formulación del modelo complementario de reparto modal de transporte, contempla la aplicación de técnicas econométricas mediante modelos de elección discreta, fundamentados en la teoría de la utilidad aleatoria (Domencich y McFadden, 1975); de esta manera, se estimaron las valoraciones de las distintas componentes del tiempo de viaje (Gaudry et al, 1989); estas son, tiempo de espera, tiempo de caminata, tiempo de viaje en vehículo y confort en el contexto del transporte urbano del Área Metropolitana de Bogotá. A su vez, se complementó la estructura de las encuesta de preferencias declaradas adelantadas en el primer trabajo de encuestas, con la identificación de variables que permitieron la valoración del atributo confort.

3.1.2 Metodología

Los fundamentos metodológicos así como el desarrollo y análisis del Trabajo de campo realizado se presentan en detalle en el documento *MB-GC-NT-0031 NOTA TÉCNICA MODELO DE TRANSPORTE MEJORADO – Anexo B*.

A continuación se presenta un extracto de las principales premisas tomadas en cuenta para la incorporación del confort en el modelo de transporte.

- Se realizaron 750 encuestas, las cuales tomaron en cuenta usuarios de los diferentes modos de transporte público y usuarios de transporte privado.
- Las consideraciones para la evaluación del Confort son las que se enumeran a continuación.

Tabla 3-1 Evaluación del Confort por grupo de Estratos.

Estrato	Percepción del Confort
Estratos 1 y 2	Confort Bajo: Vehículo muy lleno, poca posibilidad de ir sentado, frecuencia irregular.
	Confort Medio: Vehículo lleno, poca posibilidad de ir sentado, frecuencia constante y confiable.
	Confort Alto: Vehículo semilleno, alta posibilidad de ir sentada, frecuencia constante y confiable.
Estrato 3	Confort Bajo: Vehículo muy lleno, poca posibilidad de ir sentado, frecuencia irregular.
	Confort Medio: Vehículo lleno, poca posibilidad de ir sentado, frecuencia constante y confiable
	Confort Alto: Vehículo semilleno, alta posibilidad de ir sentada, frecuencia constante y confiable
Estrato 4-5-6	Confort Bajo: Frecuencia irregular, muy variable y poco confiable. Vehículo lleno
	Confort Medio: Frecuencia constante y confiable. Vehículo lleno
	Confort Alto: Frecuencia constante y confiable. Vehículo semilleno y amplitud de espacios

Fuente: Elaboración Propia.

- Hubo necesidad de realizar dos pruebas pilotos antes de aplicar el instrumento definitivo.

Tabla 3-2 Primera prueba piloto, Modelo y Resultados

Primera Prueba Piloto	$V_{iq} = ASC_i + \beta_T T_{iq} + \beta_C C_{iq} + \beta_{TAcc} Acc_{iq} \cdot$ $+ \delta_2 \beta_{Trans} Trans_{2q} + \beta_{ConfB} ConfB_{iq} + \beta_{ConfA} ConfA_{iq}$
------------------------------	--



El modelo estimado fue el siguiente:	Parámetro		MNL1
	Coefficientes de atributos	ASC1	0
		ASC2	-1,11 (-8,41)
		ASC3	-2,15 (-4,88)
		β_T (Tiempo) (1,2,3)	-0,0306 (-2,30)
		β_C (Costo) (1,2,3)	-0,00155 (-2,81)
		β_{TACC} (Tiempo de Acceso) (1,2,3)	-0,0152 (-0,88)
		β_{TRANS} (Transbordo – Transporte Público) (1,2,3)	-0,248 (-1,90)
		β_{CONFB} (Confort Bajo) (1,2,3)	-0,765 (-3,73)
		β_{CONFA} (Confort Alto) (1,2,3)	0,392 (2,00)
		# de parámetros	8
		Logverosimilitud L(θ)	-341,116
		Test Razón de Verosimilitud LR	319,703
		χ^2 Ajustado	0,303
Resultado:	Los usuarios penalizan más el TransMilenio que el Bus. Además la variable Tiempo de Acceso, que por lo general, es penalizada mayor que el tiempo de viaje, en este caso es menor. Se destaca que en este caso se tomó como referencia para el confort el nivel medio.		

Tabla 3-3 Segunda prueba piloto, Modelo y Resultados

Segunda Prueba Piloto	Parámetro		MNL1
	Coefficientes de atributos	ASC1	0
		ASC2	-0,462 (-5,64)
		ASC3	-1,14 (-5,68)
		β_T (Tiempo) (1,2,3)	-0,0452 (-6,51)
		β_C (Costo) (1,2,3)	-0,00176 (-7,41)
		β_{TACC} (Tiempo de Acceso) (1,2,3)	-0,0547 (-4,84)
		β_{TRANS} (Transbordo – Transporte Público) (1,2,3)	-0,400 (-5,21)
		β_{CONFB} (Confort Bajo) (1,2,3)	-0,412 (-4,37)
		β_{CONFA} (Confort Alto) (1,2,3)	0,231 (2,36)
		# de parámetros	8
		Logverosimilitud L(θ)	-1351,254
		Test Razón de Verosimilitud LR	356,029
		χ^2 Ajustado	0,111



Resultado	Como resultado se obtiene la disposición a pagar de los usuarios o el Valor Subjetivo del Tiempo así:								
	<table border="1"><thead><tr><th>Modelo</th><th>MNL1</th></tr></thead><tbody><tr><td>VSTV (\$/min)</td><td>26</td></tr><tr><td>VSTAcc (\$/min)</td><td>31</td></tr><tr><td>Transbordos (\$/Transbordos)</td><td>228</td></tr></tbody></table>	Modelo	MNL1	VSTV (\$/min)	26	VSTAcc (\$/min)	31	Transbordos (\$/Transbordos)	228
	Modelo	MNL1							
	VSTV (\$/min)	26							
VSTAcc (\$/min)	31								
Transbordos (\$/Transbordos)	228								

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.3 Estimación de modelos de elección modal

Se obtuvieron valores diferentes de las disposiciones marginales a pagar por un atributo (tiempo, confort) para diferentes tipos de usuarios. Con la información tomada del trabajo de campo, se procedió a estimar modelos de reparto modal.

Especificación de modelos

Los atributos de las alternativas fueron definidos como sigue:

- **Tiempo de viaje:** Es el tiempo (min) mientras el vehículo está en movimiento
- **Tiempo de acceso.** Es el tiempo (min) para acceder al vehículo, incluye caminata antes y después de abordarlo y el tiempo de espera en el caso del taxi y del bus.
- **Costo:** Es el costo (pesos colombianos) del viaje. En el caso de transporte público y taxi es la tarifa, en el transporte privado incluye costos de combustible y estacionamiento.
- **Transbordos.** Este atributo aplica al transporte público y se relaciona con el número de transbordos entre vehículos durante el viaje.
- **Confort-Confiabilidad.** Es una variable cualitativa, medida dependiendo de la confiabilidad y regularidad de la frecuencia del transporte público y la posibilidad de ir o no sentado. Para unos casos, cuando se orientó a los estratos 4-5-6, el énfasis en la pregunta estaba en la confiabilidad del servicio, en tanto que en los estratos 1-2-3 se hizo mayor énfasis en la posibilidad de ir sentado.

A partir de los datos, se evaluaron distintos modelos, con distintas características en la definición de la matriz de covarianza, y en la forma funcional de la función de utilidad. Cada uno de los modelos es

escrutado en correspondencia con criterios estadísticos y de consistencia microeconómica para finalmente escoger los que serán utilizados en la modalidad predictiva.

El proceso de evaluación de los modelos estimados implicó realizar las siguientes verificaciones:

- **Consistencia de signos.** Considerando la teoría microeconómica, se espera que en las variables tiempo, costo y transbordos la utilidad marginal sea negativa; por tanto, el signo de los parámetros en esos casos debe tener tal. En el caso del número de autos, debería tener una marginalidad positiva para la utilización del transporte privado. Debe indicarse que durante el análisis y selección de variables debe distinguirse aquellas que consideran relevantes o “*de política*”, como el costo, el tiempo de viaje y los transbordos, de aquellas que son complementarias (como el género)
- **Nivel de significancia de los parámetros.** La prueba t permite evaluar la hipótesis nula de que los parámetros sean significativamente igual a cero. Si ese es el caso, al nivel de significación escogido, se preferirá, por parsimonia, prescindir de ella. Si se desea un nivel de significancia del 95%, el valor crítico es 1,96; a su vez, para el 90% tal valor es 1,64.
- **Prueba de razón de verosimilitud.** Esta prueba permite evaluar dos modelos en el cual uno de ellos es una versión restringida del otro. Si la prueba estadística corrobora la hipótesis nula de que dos modelos son equivalente, se preferirá el modelo más simple, nuevamente por parsimonia. Para un nivel de significancia del 95%, el valor crítico del test chi-cuadrado para un grado de libertad es 3,85, y para dos grados de libertad es 5,99. Para otros grados de libertad puede consultarse en las tablas estadísticas correspondientes.
- **Índice rho cuadrado.** Si bien los resultados de este índice deben ser evaluados cuidadosamente, permiten comparar el ajuste general de dos modelos estimados a partir de la misma muestra. Se preferirá el que tenga mayor índice.

Se estimaron modelos aprovechando la información de la primera campaña de encuestas y combinando ambas fuentes de información para tener mayor riqueza en los datos; ello se logró siguiendo el proceso econométrico para combinar datos de distintas fuentes (Hensher et al, 2000). De esta manera, los modelos estimados tienen 5 alternativas: auto, metro, bus, BRT (TransMilenio) y taxi. Para igualar las varianzas, a los datos de la segunda campaña de encuesta se le introdujo un factor de escala que debía estimarse conjuntamente; el factor de escala del primer conjunto de datos se fijó en uno.



Tabla 3-4 Análisis para evaluación de variables

Variable		Significativamente distinta de 0	No significativamente distinta de cero
Relevante o de Política	Signo correcto	OK	Mantener en el modelo
	Signo incorrecto	Problema serio	Problema
Adicional	Signo correcto	OK	Probar si es posible sacarla del modelo
	Signo incorrecto	Sacar del modelo	Sacar del modelo

Fuente: Adaptado de Ortúzar y Willumsen (2001)

En este esquema de modelación de PD, se definieron las variables de la siguiente manera:

- Viq es la utilidad sistemática de la alternativa i para el individuo q .
- Tiq : Tiempo de viaje del modo i (min); $i= 1,2,3,4,5$ para los modos auto, metro, bus, TransMilenio y taxi, respectivamente.
- $Acciq$: Tiempo de acceso del modo i (min)
- $Transiq$: Número de transbordos. Aplica para los modos 2, 3 y 4.
- Ciq : Costo del modo i (\$)
- $Sexoq$: Variable que identifica el género del individuo, toma valor 1 para hombre y 0 para mujer.
- $ConfB$: Variable muda que toma el valor de 1 si el confort es bajo, cero en otro caso.
- $ConfM$: Variable muda que toma el valor de 1 si el confort es medio, cero en otro caso. Puede notarse que para este esquema de modelación se tomó como referente el nivel de confort alto.
- $\delta_i =$ Variable muda que toma el valor de 1 para el modo i , cero para los restantes modos.
- $ZEst_456q$. Variable muda que identifica a los individuos que viven en uno de los estratos 4, 5 o 6; toma valor de 1 en tal caso, y 0 en otro caso. Se asocia con las personas de alto ingreso.
- $ZEst_3q$. Variable muda que identifica a los individuos que viven en el estrato 3; toma valor de 1 en tal caso, y 0 en otro caso.
- $ZEst_2q$. Variable muda que identifica a los individuos que viven en estrato 2; toma valor de 1 en tal caso, y 0 en otro caso.

A su vez, los parámetros a estimar son los siguientes.

- $ASCi$ es la constante específica del modo i . Se ha tomado como referencia el modo metro, 2 en el primer conjunto de datos y cinco en el segundo, para el cual la constante modal específica toma el valor de cero. Dado que se trata de dos conjuntos de dato, se decidió dejar las constantes específicas diferentes para cada conjunto.



- βC es la utilidad marginal del costo
- βT es la utilidad marginal del tiempo de viaje.
- $\beta \text{Test-456}$ es la utilidad marginal adicional del tiempo de viaje para los individuos de estrato alto; esto es, que pertenecen a alguno de los estratos 4, 5 o 6.
- $\beta \text{Test-3}$ es la utilidad marginal adicional del tiempo de viaje para los individuos pertenecientes al estrato 3.
- $\beta \text{Test-2}$ es la utilidad marginal adicional del tiempo de viaje para los individuos pertenecientes al estrato 2.
- βT_{Acc} es la utilidad marginal del tiempo de acceso, y aplica para todos los modos.
- $\beta T_{\text{AccEst-456}}$ es la utilidad marginal adicional del tiempo de acceso para los individuos de estrato alto; es decir, que pertenecen a alguno de los estratos 4, 5 o 6.
- $\beta \text{No_A}$ es la utilidad marginal del número de autos. Aplica únicamente para el modo 1, auto.
- βSexo Parámetro del sexo.
- βTrans es la utilidad marginal del número de transbordos.
- βConfB es la utilidad marginal del confort bajo
- βConfM es la utilidad marginal del confort medio
- $\beta \text{ConfB}_{\text{Est}_i}$ es la utilidad marginal del confort bajo para el estrato i
- $\beta \text{ConfM}_{\text{Est}_i}$ es la utilidad marginal del confort medio para el estrato i
- μ : Factor de escala del segundo conjunto de datos

Se especificaron varios modelos Logit Multinomial MNL para toda la muestra, involucrando las variables antes indicadas, incluyendo un modelo con efecto ingreso (Jara-Díaz y Videla 1989). Finalmente se seleccionó un conjunto de ellos, de tal manera que las formas funcionales de las funciones de utilidad se especifican en la siguiente tabla. Puede notarse que entre algunos pares de modelos se agrega una nueva variable explicativa, de tal manera que es aplicable el test razón de verosimilitud. Para los modelo MNL3_Ei, son para cada uno de los estratos involucrados, 1,2,3 y 456.



Tabla 3-5 Especificación de modelos Logit Multinomial MNL

Modelo	Expresión
MNL1	$V_{iq} = ASC_i + \beta_T T_{iq} + \beta_C C_{iq} + \beta_{TAcc} Acc_{iq} + \delta_i \beta_{Trans} Trans_{iq} + \beta_{ConfB} ConfB + \beta_{ConfM} ConfM$
MNL2	$V_{iq} = ASC_i + \beta_T T_{iq} + \beta_C C_{iq} + \beta_{TAcc} Acc_{iq} + \delta_i \beta_{Trans} Trans_{iq} + \delta_1 \beta_{No_A} No_A_q + \beta_{ConfB} ConfB + \beta_{ConfM} ConfM$
MNL3	$V_{iq} = ASC_i + \beta_T T_{iq} + \beta_C C_{iq} + \beta_{C^2} C_{iq}^2 + \beta_{TAcc} Acc_{iq} + \delta_i \beta_{Trans} Trans_{iq} + \delta_1 \beta_{No_A} No_A_q + \beta_{ConfB} ConfB + \beta_{ConfM} ConfM$
MNL3_Ei	$V_{iq} = ASC_i + \beta_T T_{iq} + \beta_C C_{iq} + \beta_{TAcc} Acc_{iq} + \delta_i \beta_{Trans} Trans_{iq} + \delta_1 \beta_{No_A} No_A_q + \beta_{ConfB} ConfB + \beta_{ConfM} ConfM$

Fuente: Elaboración propia

Los modelos calibrados con todos los datos de ambas fuentes de información se presentan a continuación. En todos los casos se aprecia que los signos son consistentes y los parámetros son en su mayor parte significativos al 90%. Es importante aclarar que estos modelos fueron estimados con una muestra de 16421 pseudo-individuos. En la columna parámetros se indican además las alternativas en cuya función de utilidad se encuentra cada uno de ellos, siendo los primeros cuatro modos pertinentes al primer experimento: 1. Auto, 2. Metro, 3. Taxi, 4. Bus 5. BRT (TransMilenio).



Tabla 3-6 Modelos estimados con todos los datos

	Parámetro	MNL1	MNL2	MNL3	MNL3_E1	MNL3_E2	MNL3_E3	MNL3_E456
	ASC1	0,788 (14,25)	0,235 (3,01)	0,486 (5,06)	0	0,710 (2,30)	0,296 (2,15)	0,0609 (0,62)
	ASC2	0	0	0	0	0	0	0
	ASC3	0,523 (6,14)	0,521 (6,11)	0,720 (7,23)	0	1,29 (2,71)	0,688 (4,68)	0,216 (2,00)
	ASC4	-0,278 (-8,43)	-0,116 (3,59)	-0,298 (-9,28)	-0,546 (-6,07)	-0,133 (-3,19)	-0,175 (-5,05)	-0,269 (-7,77)
	ASC5	-0,115 (-3,57)	-0,315 (-7,90)	-0,184 (-5,20)	-0,233 (-2,08)	0,0279 (0,92)	-0,142 (-3,03)	-0,363 (-6,88)
Coeficientes de atributos	\square_T (Tiempo) (1,2,3,4,5)	-0,0292 (-10,08)	-0,0291 (-9,97)	-0,0301 (-10,54)	-0,0502 (-10,55)	-0,0161 (-3,89)	-0,0179 (-8,53)	-0,0310 (-11,97)
	\square_C (Costo) (1,2,3,4,5)	0,000252 (-15,86)	0,000251 (-15,79)	-0,000508 (-8,95)	-0,00201 (-10,38)	-0,000315 (-3,89)	-0,000236 (-8,53)	-0,000230 (-11,97)
	\square_{TACC} (Tiempo de Acceso) (1,2,3,4,5)	-0,0306 (-8,81)	-0,0305 (-8,73)	-0,0309 (-9,06)	-0,0419 (-4,38)	-0,0155 (-3,34)	-0,0211 (-5,81)	-0,0290 (-7,58)
	\square_{TRANS} (Transbordo) (2,4,5)	-0,184 (-6,97)	-0,185 (-6,92)	-0,188 (-7,18)	-0,196 (-2,51)	-0,0550 (-2,25)	-0,119 (-4,41)	-0,206 (-6,83)
	\square_{NO_A} (No Autos - Auto) (1)		0,361 (9,93)	0,361 (9,92)	0	0	0,274 (3,77)	0,431 (9,56)
	\square_{Conf_B} (Confort Bajo) (2,4,5)	-0,153 (-4,89)	-0,153 (-4,88)	-0,167 (-5,29)	-0,178 (-1,72)	-0,0655 (-1,99)	-0,0780 (-2,24)	-0,225 (-4,63)
	\square_{Conf_M} (Confort Medio) (2,4,5)	-0,0514 (-2,18)	-0,0514 (-2,18)	-0,0650 (-2,66)	-0,00852 (-0,08)	-0,0159 (-0,62)	-0,0241 (-0,85)	-0,145 (-3,90)
	\square_{COST^2} (Efecto Ingreso) (1,2,3,4,5)			0,0242 (4,82)				
	\square	1,78 (3,90)	1,78 (3,87)	1,74 (4,17)	1,00 (0,00)	3,65 (2,67)	3,02 (4,14)	2,01 (5,26)
	# de parámetros	11	12	14	11	11	12	12
	Logverosimilitud L(θ)	-13139,2	-13089,0	-13077,1	-1223,6	-1638,9	-3881,81	-6134,1
	Test Razón de Verosimilitud LR	1591,4	1691,9	1715,7	171,77	206,7	424,7	1309,4
	\square^2 Ajustado	0,056	0,060	0,061	0,057	0,053	0,049	0,095

Fuente: Elaboración propia

Conocidos los atributos de cada uno de los modos considerados, se procede a calcular las utilidades sistemáticas correspondientes y utilizando la fórmula Logit estimar la probabilidad de elección de cada uno de ellos. Esta aplicación se realizará para el segmento de la población que tiene acceso al vehículo particular. Es evidente que los valores de los atributos corresponderán a los resultantes en cada uno de los escenarios evaluado, por lo cual la proporción de viajes en cada alternativa es sensible a la oferta.

El proceso a seguir es como sigue:

1. Definir el escenario de la oferta, estimar la generación de viajes y la matriz de distribución.
2. Se ha considerado que los no poseedores de auto utilizarán el sistema de transporte público, En estos casos el problema de asignación en una red multimodal considerando el costo generalizado permitirá establecer los modos de transporte público utilizado.



3. En el caso de los poseedores de auto, en cada par origen destino de la ciudad, se definen para cada segmento de la población los valores medios de los atributos, procediendo al cálculo de las utilidades y las probabilidades de elección. Los viajes de ese segmento de la población se reparten según las probabilidades halladas entre los modos alternativos. Los atributos a considerar son el tiempo de viaje, los tiempos de acceso, los costos y el número de transbordo, que resultarán de una asignación inicial, incorporando además variables socioeconómicas como el estrato y la tasa de motorización. Para incorporar la tasa de motorización hay que distinguir los hogares sin auto, de los que lo tienen; en el primer caso, claramente el auto no es una opción, en tanto que en el segundo caso en la función de utilidad se introduce el valor promedio de autos en los hogares con acceso a ese medio.
4. **La consideración del confort está asociada a la regularidad, fiabilidad y comodidad.** A un modo con muy buena regularidad en el servicio (e.g Metro), se le asigna confort alto; a uno con buena fiabilidad (e.g. TransMilenio) se le asigna confort medio; por último, a un modo con alta variabilidad y poca fiabilidad (e.g. Bus) se le asigna confort bajo. **A este respecto, el diseño operacional establecido es cierto que en el tramo más cargado en hora pico no genera un alto nivel de comodidad, pero en términos relativos hay que tener en cuenta que la regularidad y la fiabilidad del sistema de metro es superior al resto de modos rodantes, puesto que permite una regulación totalmente automática.** Debe anotarse que estas asignaciones no son estáticas, **y dependiendo de la evaluación del servicio podrían cambiarse.** Para ello es conveniente realizar periódicas evaluaciones sobre las percepciones del confort en los modos por parte de los usuarios, para lo que es útil la aplicación de encuestas.
5. Se propone aplicar los modelos por estrato. Debe tenerse en cuenta que el atributo confort deberá afectarse por el factor de escala, μ^1

Para implementar el efecto del confort en el modelo de transporte EMME se han tomado en cuenta las siguientes afirmaciones:

- Se parte de la premisa de que los usuarios conocen las condiciones de cada uno de los sistemas que se ofertan, al igual que del resto de variables que componen el costo generalizado (tarifas, tiempos en las diferentes etapas del viaje); y que eligen el modo en función de este mismo costo.
- El análisis de las PDs ha permitido evaluar las diferentes valoraciones de la calidad: por modo y por estrato.

¹ La descripción de este parámetro se ha presentado en el documento MB_GC-NT-032. Apartado 2.6.



- Esta valoración de la calidad / confort como comparación entre los modos, evaluaba como modos de mayor confort los servicios de TransMilenio.
- El confort se ha implementado como un aumento de la tarifa del servicio para cada uno de los estratos y modos a medida que se disminuye de nivel de calidad.

El proceso seguido ha sido el siguiente:

1. Partiendo de los parámetros obtenidos de las PDs se han estimado los coeficientes de valoración de la calidad respecto a la tarifa.
2. Posteriormente, se ha calculado el valor monetario de la calidad como la relación marginal de sustitución (RMS) del coste y de la calidad. Al tratarse de una función lineal de utilidad, esta RMS se obtiene como el cociente entre el coeficiente estimado de la calidad y el coeficiente estimado del coste (los coeficientes tienen la unidad inversa de la variable que aplican, puesto que la función de utilidad no tiene unidades. Así, se observa que el cociente anterior produce un valor en pesos por unidad de calidad). Esta metodología es similar a la empleada para estimar el valor del tiempo en cada estrato descrito en el Producto 31 de la Consultoría, y como se ha resumido brevemente en párrafos anteriores. De esta forma, se obtiene la cuantificación en dinero (pesos) que cada estrato da a dicha variable a los modos de transporte de baja, media y alta calidad.

-
3. Normalizando para el modo de calidad alta (Modo metro: valor de calidad=1) se han obtenido los coeficientes para los modos de baja y media calidad como el cociente entre la suma del valor total de la tarifa y la calidad y sobre la tarifa únicamente.

-
4. **Como consecuencia de relativizar el efecto sobre la tarifa, al aplicar esos coeficientes a cada embarque que el usuario realiza en cada uno de los modos se puede obtener el “coste de la calidad” para cada usuario y para cada cadena modal que desee utilizar.** Procedimentalmente, el efecto consiste en aplicar para cada modo el coeficiente de la tabla 2.9 que le corresponda en la matriz de tarifas en los embarques de cada modo.



Tabla 3-7. Coeficientes sobre TPC

MODOS DE CALIDAD	ESTRATO 1	ESTRATO 2	ESTRATO 3	ESTRATO 4
Calidad baja: busetas, alimentadoras e interurbanos	1,081	1,189	1,300	1,889
Calidad media: TransMilenio y cercanías	1,003	1,039	1,079	1,485

Fuente: Elaboración propia

Estos ratios se incorporan en los costos introducidos en la asignación: tanto las tarifas como los tiempos de abordaje.

Los cuadros finales de las tarifas se presentan a continuación:

Tabla 3-8. Tarifas equivalentes 2008 Estrato 1

T_E-2008 E-1	PEATÓN	ALIMENTADORA	BUSETA	TRANSMILENIO	METRO /CERCANÍAS	INTERURBAN A
Peatón	\$ -	\$1.405	\$ -	\$1.304	\$1.304	\$ -
Alimentadora	\$1.405	\$1.405	\$1.405	\$1.304	\$1.304	\$1.405
Buseta	\$ -	\$1.405	\$ -	\$1.304	\$1.304	\$ -
TransMilenio	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Metro/Cercanías	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Interurbana	\$ -	\$1.405	\$ -	\$1.304	\$1.304	\$ -

Fuente: Elaboración propia



Tabla 3-9. Tarifas equivalentes 2008 Estrato 2

T _E -2008 E-2	PEATÓN	ALIMENTADORA	BUSETA	TRANSMILENIO	METRO /CERCANÍAS	INTERURBANA
Peatón	\$ -	\$ 1.546	\$ -	\$ 1.350	\$ 1.350	\$ -
Alimentadora	\$ 1.546	\$ 1.546	\$ 1.546	\$ 1.350	\$ 1.350	\$ 1.546
Buseta	\$ -	\$ 1.546	\$ -	\$ 1.350	\$ 1.350	\$ -
TransMilenio	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Metro/Cercanías	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Interurbana	\$ -	\$ 1.546	\$ -	\$ 1.350	\$ 1.350	\$ -

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-10. Tarifas equivalentes 2008 Estrato 3

T _E -2008 E-3	PEATÓN	ALIMENTADORA	BUSETA	TRANSMILENIO	METRO /CERCANÍAS	INTERURBANA
Peatón	\$ -	\$ 1.691	\$ -	\$ 1.402	\$ 1.402	\$ -
Alimentadora	\$ 1.691	\$ 1.691	\$ 1.691	\$ 1.402	\$ 1.402	\$ 1.691
Buseta	\$ -	\$ 1.691	\$ -	\$ 1.402	\$ 1.402	\$ -
TransMilenio	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Metro/Cercanías	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Interurbana	\$ -	\$ 1.691	\$ -	\$ 1.402	\$ 1.402	\$ -

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-11. Tarifas equivalentes 2008 Estrato 4/5/6

T _E -2008 E-4/5/6	PEATÓN	ALIMENTADORA	BUSETA	TRANSMILENIO	METRO /CERCANÍAS	INTERURBANA
Peatón	\$ -	\$ 2.456	\$ -	\$ 1.930	\$ 1.930	\$ -
Alimentadora	\$ 2.456	\$ 2.456	\$ 2.456	\$ 1.930	\$ 1.930	\$ 2.456
Buseta	\$ -	\$ 2.456	\$ -	\$ 1.930	\$ 1.930	\$ -
TransMilenio	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Metro/Cercanías	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Interurbana	\$ -	\$ 2.456	\$ -	\$ 1.930	\$ 1.930	\$ -

Fuente: Elaboración propia

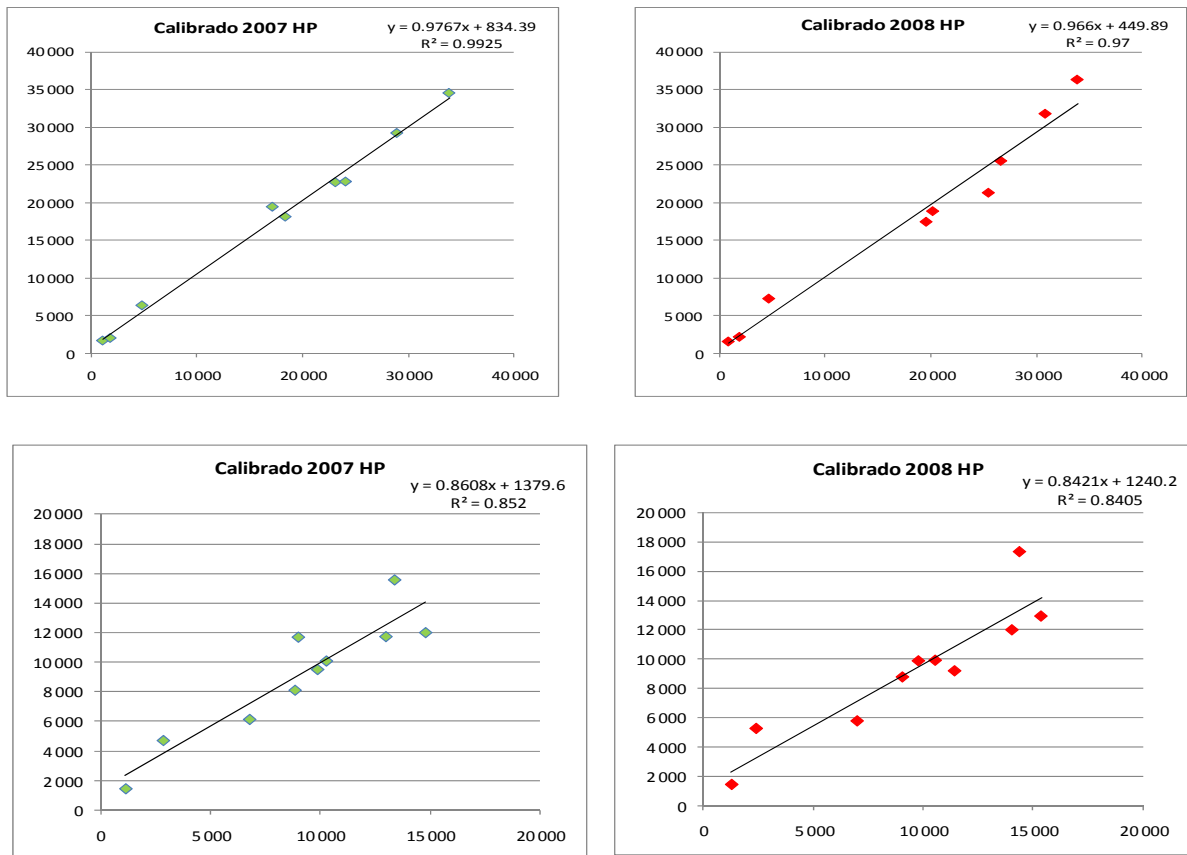
Se comprueba, por tanto, que el segmento de estratos más altos (4, 5 y 6) son los que mayor valoración dan a los aspectos de calidad, y por tanto mayores coeficientes presentan. En cuanto a la comparativa

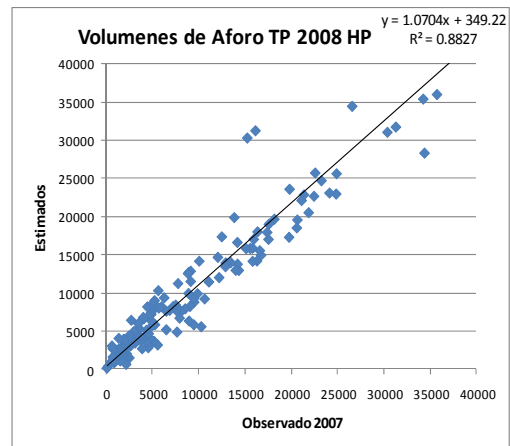
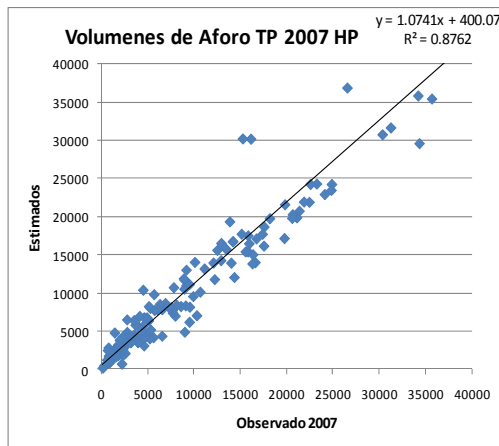
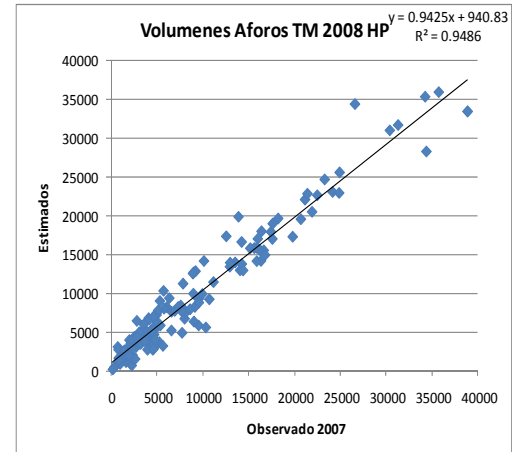
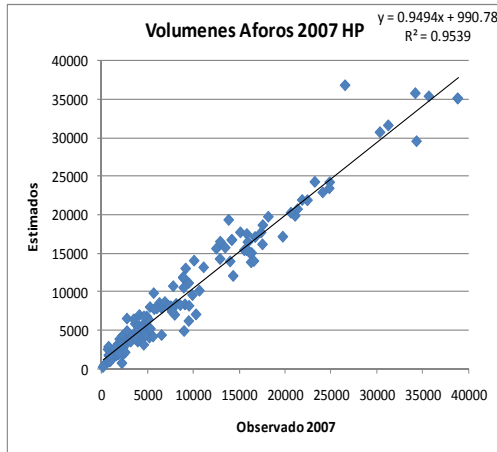
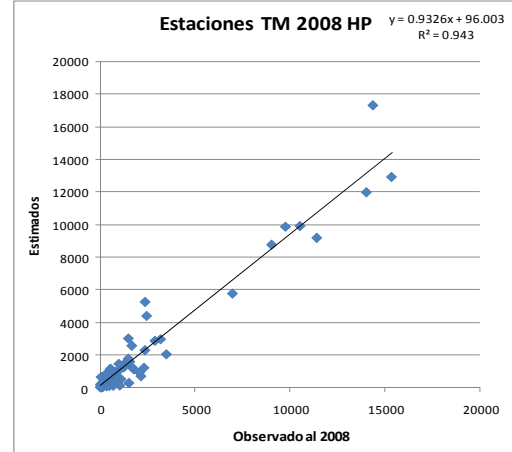
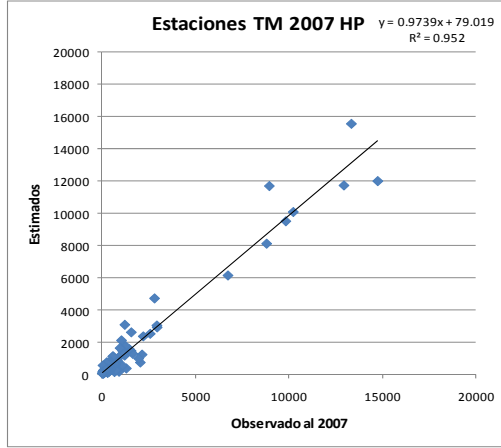


modal, los modos más eficientes sobre plataforma reservada (TransMilenio, cercanías y futuro metro) son los que presentan mejores valoraciones, siendo los modos convencionales los más perjudicados (buseta, alimentadora e interurbana).

De esta forma, se obtuvieron los nuevos modelos calibrados, obteniendo los resultados siguientes:

Figura 3-1 Modelos Calibrados





Fuente: Elaboración propia a partir del Modelo Emme

3.2 Análisis de los arcos de transbordo.

Como se ha descrito los productos de la Consultoría MB-027 y MB031, el modelo cuenta con los valores del tiempo calibrados para los cuatro grupos socioeconómicos así como el peso del valor del tiempo de espera. El peso del tiempo de caminata y el de espera considerado es igual para todos los estratos. A continuación se presenta la tabla con los valores descritos anteriormente.

Tabla 3-12 Codificación del valor del tiempo y pesos del mismo

Grupo socioeconómico	Valor Subjetivo del tiempo	Peso del tiempo de espera	Peso del tiempo de caminata	Peso del tiempo de abordaje
<i>GE</i>	<i>VST</i>	<i>Esperando</i>	<i>Caminando</i>	<i>Abordando</i>
G1 (Estrato 1)	25	1.49	2	1
G2 (Estrato 2)	51	1.60	2	1
G3 (Estrato 3)	76	1.88	2	1
G4 (Estratos 4,5 y 6)	135	1.88	2	1

Fuente: Elaboración propia con datos del modelo Metro-SITP.

El total de tiempo incluido en el costo generalizado de transporte² se compone del tiempo en el vehículo, el tiempo de espera, el de abordaje y el tiempo de caminata.

El modelo presenta la característica que estos tiempos de abordaje están diferenciados para cada modo de origen y destino (como una matriz) y para un total de 9 tipos de estaciones:

- Estaciones de acceso a nivel
- Estaciones de acceso a desnivel
- Intersecciones a nivel
- Intersecciones a desnivel
- Portales y estaciones de integración
- Estaciones de acceso e intercambio (3 en NQS)

² El costo generalizado de cada desplazamiento viene definido por la tarifa, el valor del tiempo de cada usuario y el tiempo total del desplazamiento

- Portal del Norte
- Portal de la calle 80
- Portal de las Américas, Suba, Banderas y Usme

Cada una de las estaciones se encuentra codificada bajo código de 1 al 9 a través del atributo de nodo con nombre @marct.

Los tiempos proceden de observaciones medias en cada uno de los tipos de estaciones. Se muestra a continuación las matrices de tiempos de abordaje que se implementan a través del proceso de asignación del modelo:

Tabla 3-13 Tiempos de abordaje (minutos) codificados para accesos

ESTACIONES ACCESO A NIVEL						
Tipo 1	Auxiliares	Troncales TM	Alimentadoras	Metro/Ferroviano	Peatón	Intermunicipales
Auxiliares	5	6	5	6	2	5
Troncales TM	6	3	3	3	3	6
Alimentadoras	5	3	5	3	0	5
Metro/Ferroviano	6	3	3	3	3	6
Peatón	2	3	0	3	0	0
Intermunicipales	5	6	5	6	0	5

ESTACIONES ACCESO A DESNIVEL						
Tipo 3	Auxiliares	Troncales TM	Alimentadoras	Metro/Ferroviano	Peatón	Intermunicipales
Auxiliares	6	10	6	10	2	6
Troncales TM	10	3	4	3	4	10
Alimentadoras	6	4	5	4	0	6
Metro/Ferroviano	10	3	4	3	4	10
Peatón	2	4	0	4	0	0
Intermunicipales	6	10	6	10	0	6

Fuente: Elaboración propia con datos del modelo Metro-SITP.

Tabla 3-14 Tiempos de abordaje (minutos) codificados para intersecciones

INTERSECCIONES A NIVEL

Tipo 2	Auxiliares	Troncales TM	Alimentadoras	Metro/Ferrovialario	Peatón	Intermunicipales
Auxiliares	5	6	5	6	0	5
Troncales TM	6	3	3	3	0	6
Alimentadoras	5	3	5	3	0	5
Metro/Ferrovialario	6	3	5	3	0	6
Peatón	0	0	0	0	0	0
Intermunicipales	5	6	5	6	0	5

INTERSECCIONES A DESNIVEL

Tipo 5	Auxiliares	Troncales TM	Alimentadoras	Metro/Ferrovialario	Peatón	Intermunicipales
Auxiliares	8	8	8	8	0	8
Troncales TM	8	8	8	8	0	8
Alimentadoras	8	8	8	8	0	8
Metro/Ferrovialario	8	8	8	8	0	8
Peatón	0	0	0	0	0	0
Intermunicipales	8	8	7	8	0	8

Fuente: Elaboración propia con datos del modelo Metro-SITP.

Tabla 3-15 Tiempos de abordaje (minutos) codificados para intercambios e integración

PORTALES Y ESTACIONES DE INTEGRACION

Tipo 4	Auxiliares	Troncales TM	Alimentadoras	Metro/Ferrovialario	Peatón	Intermunicipales
Auxiliares	6	10	6	10	3	6
Troncales TM	10	3	2	3	3	10
Alimentadoras	6	2	4	3	3	6
Metro/Ferrovialario	10	3	3	3	3	10
Peatón	3	3	3	3	0	0
Intermunicipales	6	10	6	10	0	6

ESTACIONES ACCESO E INTERCAMBIO A DESNIVEL 3 EN NQS

Tipo 6	Auxiliares	Troncales TM	Alimentadoras	Metro/Ferrovialario	Peatón	Intermunicipales
Auxiliares	6	10	6	10	2	6
Troncales TM	10	10	4	10	4	10
Alimentadoras	6	4	5	4	0	6
Metro/Ferrovialario	10	10	4	10	4	10
Peatón	2	4	0	4	0	0
Intermunicipales	6	10	6	10	0	6

Fuente: Elaboración propia con datos del modelo Metro-SITP.

Tabla 3-16 Tiempos de abordaje (minutos) codificados para Portales

PORTAL DEL NORTE

Tipo 7	Auxiliares	Troncales TM	Alimentadoras	Metro/Ferroviario	Peatón	Intermunicipales
Auxiliares	6	10	6	10	2	6
Troncales TM	10	3	3	3	4	0
Alimentadoras	6	3	4	3	4	6
Metro/Ferroviario	10	3	3	3	4	0
Peatón	2	4	4	4	0	0
Intermunicipales	6	0	6	0	0	6

PORTAL CALLE 80

Tipo 8	Auxiliares	Troncales TM	Alimentadoras	Metro/Ferroviario	Peatón	Intermunicipales
Auxiliares	6	10	6	10	3	6
Troncales TM	10	3	2	3	3	0
Alimentadoras	6	2	4	3	3	6
Metro/Ferroviario	10	3	3	3	3	0
Peatón	3	3	3	3	0	0
Intermunicipales	6	0	6	0	0	6

PORTALES AMERICAS, BANDERAS, USME Y SUBA

Tipo 9	Auxiliares	Troncales TM	Alimentadoras	Metro/Ferroviario	Peatón	Intermunicipales
Auxiliares	6	10	6	10	3	6
Troncales TM	10	3	2	3	3	10
Alimentadoras	6	2	3	3	3	6
Metro/Ferroviario	10	3	3	3	3	10
Peatón	3	3	3	3	0	0
Intermunicipales	6	10	6	10	0	6

Fuente: Elaboración propia con datos del modelo Metro-SITP.

En cada caso se ha corregido el tiempo de penalización para el modo ferroviario con un aumento del 15% para responder de forma simplificada a la dificultad que puede implicar el intercambio en las estaciones subterráneas así como la facilidad en las estaciones en superficie.

No obstante, se ha revisado dicho factor para las relaciones de TransMilenio- Metro en los presentes análisis, con el objetivo de lograr una valoración más precisa y cercana a la realidad, incrementando en medio minuto para las estaciones del tipo 1 el tiempo de acceso y en 2'5 minutos para las torres de tipo 2

(que son las que han planteado más dudas, San Victorino concretamente). En el primer caso, se añade ese tiempo para considerar el tiempo en el andén. En el segundo caso se añade, además, un tiempo de caminata adicional que como tiempo de abordaje se traduce en tres minutos, tal y como se aprecia en las tablas adjuntas.

Tabla 3-17 Tiempos de abordaje (minutos) ajustados

ESTACIONES ACCESO A NIVEL

Tipo 1	Auxiliares	Troncales TM	Alimentadoras	Metro/Ferrovionario	Peatón	Intermunicipales
Auxiliares	5.0	6.0	5.0	6.9	2.0	5.0
Troncales TM	6.0	3.0	3.0	4.5	3.0	6.0
Alimentadoras	5.0	3.0	5.0	3.0	0.0	5.0
Metro/Ferrovionario	6.9	4.5	3.0	3.0	3.5	6.9
Peatón	2.0	3.0	0.0	3.5	0.0	0.0
Intermunicipales	5.0	6.0	5.0	6.9	0.0	5.0

INTERSECCIONES A NIVEL

Tipo 2	Auxiliares	Troncales TM	Alimentadoras	Metro/Ferrovionario	Peatón	Intermunicipales
Auxiliares	6.0	10.0	6.0	11.5	2.0	6.0
Troncales TM	10.0	3.0	4.0	6.0	4.0	10.0
Alimentadoras	6.0	4.0	5.0	4.0	0.0	6.0
Metro/Ferrovionario	11.5	6.0	4.0	3.0	4.6	11.5
Peatón	2.0	4.0	0.0	4.6	0.0	0.0
Intermunicipales	6.0	10.0	6.0	11.5	0.0	6.0

ESTACIONES ACCESO A DESNIVEL

Tipo 3	Auxiliares	Troncales TM	Alimentadoras	Metro/Ferrovionario	Peatón	Intermunicipales
Auxiliares	5.0	6.0	5.0	6.9	0.0	5.0
Troncales TM	6.0	3.0	3.0	3.5	0.0	6.0
Alimentadoras	5.0	3.0	5.0	3.0	0.0	5.0
Metro/Ferrovionario	6.9	3.5	5.0	3.0	0.0	6.9
Peatón	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Intermunicipales	5.0	6.0	5.0	6.9	0.0	5.0

PORTALES Y ESTACIONES DE INTEGRACION

Tipo 4	Auxiliares	Troncales TM	Alimentadoras	Metro/Ferrovionario	Peatón	Intermunicipales
Auxiliares	8.0	8.0	8.0	9.2	0.0	8.0
Troncales TM	8.0	8.0	8.0	9.2	0.0	8.0
Alimentadoras	8.0	8.0	8.0	8.0	0.0	8.0
Metro/Ferrovionario	9.2	9.2	8.0	8.0	0.0	9.2
Peatón	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Intermunicipales	8.0	8.0	7.0	9.2	0.0	8.0

INTERSECCIONES A DESNIVEL

Tipo 5	Auxiliares	Troncales TM	Alimentadoras	Metro/Ferroviario	Peatón	Intermunicipales
Auxiliares	6.0	10.0	6.0	11.5	3.0	6.0
Troncales TM	10.0	3.0	2.0	3.5	3.0	10.0
Alimentadoras	6.0	2.0	4.0	3.0	3.5	6.0
Metro/Ferroviario	11.5	3.5	3.0	3.0	3.5	11.5
Peatón	3.0	3.0	3.5	3.5	0.0	0.0
Intermunicipales	6.0	10.0	6.0	11.5	0.0	6.0

ESTACIONES ACCESO E INTERCAMBIO A DESNIVEL 3 EN NQS

Tipo 6	Auxiliares	Troncales TM	Alimentadoras	Metro/Ferroviario	Peatón	Intermunicipales
Auxiliares	6.0	10.0	6.0	11.5	2.0	6.0
Troncales TM	10.0	10.0	4.0	11.5	4.0	10.0
Alimentadoras	6.0	4.0	5.0	4.0	0.0	6.0
Metro/Ferroviario	11.5	11.5	4.0	10.0	4.6	11.5
Peatón	2.0	4.0	0.0	4.6	0.0	0.0
Intermunicipales	6.0	10.0	6.0	11.5	0.0	6.0

PORTAL DEL NORTE

Tipo 7	Auxiliares	Troncales TM	Alimentadoras	Metro/Ferroviario	Peatón	Intermunicipales
Auxiliares	6.0	10.0	6.0	11.5	2.0	6.0
Troncales TM	10.0	3.0	3.0	3.5	4.0	0.0
Alimentadoras	6.0	3.0	4.0	3.0	4.6	6.0
Metro/Ferroviario	11.5	3.5	3.0	3.0	4.6	0.0
Peatón	2.0	4.0	4.6	4.6	0.0	0.0
Intermunicipales	6.0	0.0	6.0	0.0	0.0	6.0

PORTAL CALLE 80

Tipo 8	Auxiliares	Troncales TM	Alimentadoras	Metro/Ferroviario	Peatón	Intermunicipales
Auxiliares	6.0	10.0	6.0	11.5	3.0	6.0
Troncales TM	10.0	3.0	2.0	3.5	3.0	0.0
Alimentadoras	6.0	2.0	4.0	3.0	3.5	6.0
Metro/Ferroviario	11.5	3.5	3.0	3.0	3.5	0.0
Peatón	3.0	3.0	3.5	3.5	0.0	0.0
Intermunicipales	6.0	0.0	6.0	0.0	0.0	6.0

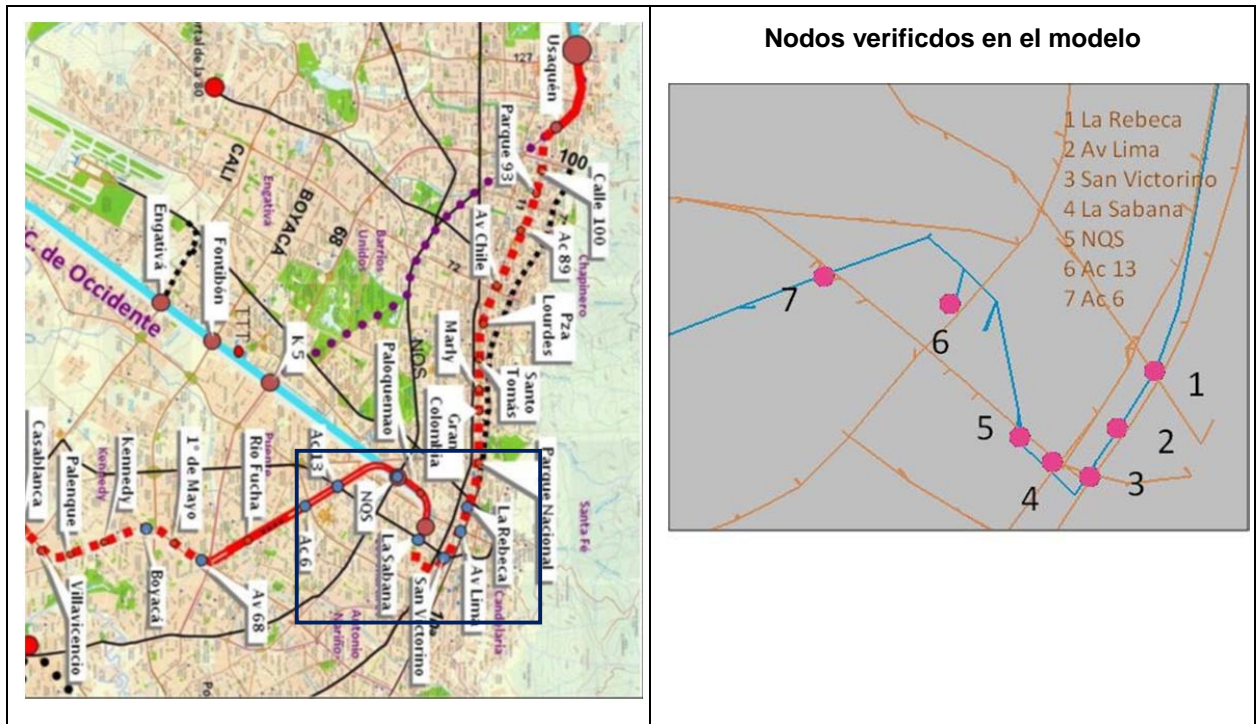
PORTALES AMERICAS, BANDERAS, USME Y SUBA

Tipo 9	Auxiliares	Troncales TM	Alimentadoras	Metro/Ferroviario	Peatón	Intermunicipales
Auxiliares	6.0	10.0	6.0	11.5	3.0	6.0
Troncales TM	10.0	3.0	2.0	3.5	3.0	10.0
Alimentadoras	6.0	2.0	3.0	3.0	3.5	6.0
Metro/Ferroviario	11.5	3.5	3.0	3.0	3.5	11.5
Peatón	3.0	3.0	3.5	3.5	0.0	0.0
Intermunicipales	6.0	10.0	6.0	11.5	0.0	6.0

Fuente: Elaboración propia con datos del modelo Metro-SITP.

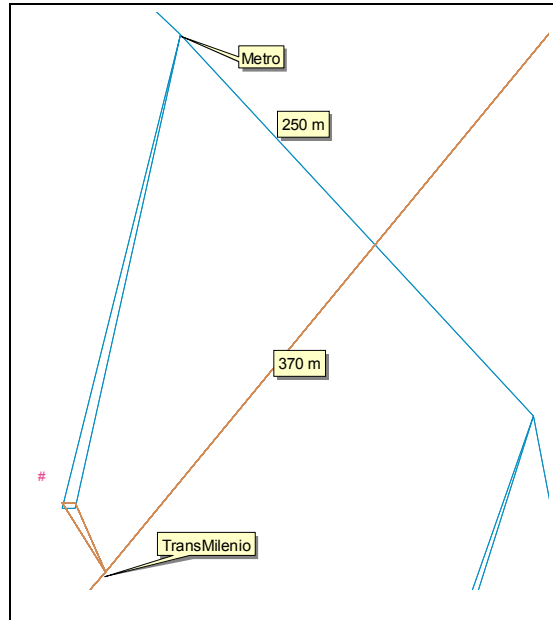
Gráficamente, se muestra en la siguiente figura la razón de estas aplicaciones. Únicamente, son los puntos magentas los que representan una aplicación de la penalidad de transbordo de metro a TransMilenio. El resto de conexiones se realiza en el modelo vía modo peatón. En la figura la distancia con la línea azul muestra el grado de distancia a recorrer. Como se observa, únicamente es San Victorino la que presenta una distancia apreciable entre metro y TransMilenio, por lo que se justifica que sólo a esta estación se la penalice con tres minutos más de acceso.

Figura 3-2 Nodos verificados en la PLM



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-3 Nudo de San Victorino en el Modelo Emme



Fuente: Elaboración propia



4 EXPANSIÓN DE LA DEMANDA ANUAL.

FE DE ERRATAS

En el documento “MB-GC-NT-0032- Nota Técnica: Documento complementario de Aspectos técnicos para el DNP” en la tabla 2-3 se presentaron los datos de demanda expandida, tal y como se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 4-1. Resultados de demanda - Expansión de la Demanda diaria a Demanda Anual – Redes y Líneas de Red Seleccionada

DEMANDA	Alternativa A	Alternativa A PRIMA	Alternativa C
Número total de viajeros en Metro (Hora pico)	362.720	302.239	297.590
Número total de viajeros en Metro (Hora Valle)	115.612	98.218	95.825
Número total de viajeros en Metro (día laboral)	3.018.566	2.528.313	2.483.300
Sábado (70% día laboral)	2.112.997	1.769.819	1.738.310
Domingo (30% día laboral)	905.570	758.494	744.990
Festivo (30% día laboral)	905.570	758.494	744.990
Número total de viajeros en Metro (Anual)	915.229.357	766.584.565	752.936.681

Fuente: *Elaboración propia*

Cabe anotar que una vez verificadas las características de la red se encontró un error de codificación dentro del modelo relacionado con la longitud de la Línea Morada. Dicha línea se incluyó en la red **red A'** con una longitud de 36,74 Km, longitud correspondiente a la de la línea Morada de la **red A** y no de 23, 82Km que es la longitud de esta línea para la red **A'** seleccionada. Dicho error generó un resultado erróneo sobreestimado de la demanda en cada periodo analizado para el conjunto de la red y por tanto a la hora de aplicar la metodología de expansión para la obtención de la demanda anual.

Una vez revisadas las longitudes y ejecutada nuevamente la asignación en el modelo, los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:



DEMANDA	Alternativa A	Alternativa A PRIMA	Alternativa C
Número total de viajeros en Metro (Hora pico)	362.720	267.927	297.590
Número total de viajeros en Metro (Hora Valle)	115.612	85.320	95.825
Número total de viajeros en Metro (día laboral)	3.018.566	2.229.155	2.483.300
Sábado (70% día laboral)	2.112.997	1.560.408	1.738.310
Domingo (30% día laboral)	905.570	668.746	744.990
Festivo (30% día laboral)	905.570	668.746	744.990
Número total de viajeros en Metro (Anual)	915.229.357	675.879.726	752.936.681

*Datos de demanda sin la Reestructuración del SITP

Fuente: *Elaboración propia*

Como se puede observar en la tabla anterior la variación principal de la demanda radica en una reducción de la demanda en hora pico de un 13,1% y en hora valle de un 11,8% lo que en términos absolutos representa al año un valor de 90.704.839 pasajeros/año.

Resaltar así mismo que las líneas que conforman la red seleccionada sí estaban codificadas correctamente por lo que los datos calculados y presentados en el primer informe no han sufrido ninguna variación.

Una vez más resaltar que estos datos de demanda son datos del número de viajeros para el sistema, y son cifras previas a la incorporación de la demanda que pueda inducirse por la reestructuración del SITP.

5 EFECTO DEL TRAZADO GEOMÉTRICO EN LA VELOCIDAD COMERCIAL

- Revisar la afectación que tiene sobre la demanda captada por la PLM cuando el diseño geométrico obliga a reducir la velocidad, por debajo de la velocidad comercial con la que se realizó el diseño operacional.

La línea propuesta cuenta con las siguientes estaciones:

Tabla 5-1 Distancias entre Estaciones

Pk centro	Nombre	Interdistancia
1+070	PORTAL AMÉRICAS	
1+835	CASABLANCA	765
2+592	VILLAVICENCIO	757
3+450	PALENQUE	858
4+280	KENNEDY	830
5+339	BOYACÁ	1059
6+065	1º DE MAYO	726
6+790	AV. 68	725
8+190	RIO FUCHA	1400
9+600	AC.6	1410
10+710	AC.13	1110
12+100	NQS	1390
12+765	AC.22 PALOQUEMAO	665
13+965	LA SABANA	1200
15+396	SAN VICTORINO	1431
16+072	AC.19 AV. LIMA	676
16+840	LA REBECA	768
17+773	AC.34 PARQUE NACIONAL	933
18+703	AC.42 GRAN COLOMBIA	930
19+478	MARLY	775
20+253	SANTO TOMÁS	775
21+254	PLAZA DE LOURDES	1001
22+219	AV. 72 CHILE	965
23+294	CALLE 85	1075
24+289	PARQUE 93	995
25+128	CALLE 100	839
26+524	USAQUÉN	1396
28+214	CALLE 127	1690

Fuente: Elaboración propia

La velocidad de proyecto para el diseño geométrico de la línea es de 80 Km/h ó 22,22 m/s.

5.1 Estimación simplificada de la velocidad comercial

Para realizar una estimación simplificada de la velocidad comercial, se asumen los siguientes parámetros:

Tabla 5-2 Distancias entre Estaciones

Parámetro		Valor
a	aceleración de los trenes	0,9 m/s ²
tp	tiempo de parada en estaciones	30 segundos

Fuente: Elaboración propia

Con estos datos se puede aproximar el tiempo de recorrido de un tren desde la primera estación (Portal Américas) hasta la última (Calle 127).

El recorrido entre dos estaciones se compone de un tramo de aceleración, seguido de un tramo recorrido a velocidad constante y finalizado por un tramo de frenado. El tiempo de aceleración y el frenado es el mismo:

- t_1 tiempo de aceleración/frenado
- t_2 tiempo a velocidad constante
- s_1 distancia recorrida en el periodo de aceleración/frenado
- s_2 distancia recorrida en el periodo de velocidad constante



Tabla 5-3 Tabla de tiempos y distancias de recorrido

Nombre	Interdis tancia	Vmax	v	s1	s2	t1	t2	t	tp	ttotal
		Km/h	m/s	m	m	s	s	2*t1+t2	s	s
PORTAL AMÉRICAS										
CASABLANCA	765	80	22,22	274,35	216,30	24,69	9,73	59,12	30,00	89,1
VILLAVICENCIO	757	80	22,22	274,35	208,30	24,69	9,37	58,76	30,00	88,8
PALENQUE	858	80	22,22	274,35	309,30	24,69	13,92	63,30	30,00	93,3
KENNEDY	830	80	22,22	274,35	281,30	24,69	12,66	62,04	30,00	92,0
BOYACÁ	1.059	80	22,22	274,35	510,30	24,69	22,96	72,35	30,00	102,3
1° DE MAYO	726	80	22,22	274,35	177,30	24,69	7,98	57,36	30,00	87,4
AV. 68	725	80	22,22	274,35	176,30	24,69	7,93	57,32	30,00	87,3
RIO FUCHA	1.400	80	22,22	274,35	851,30	24,69	38,31	87,69	30,00	117,7
AC.6	1.410	80	22,22	274,35	861,30	24,69	38,76	88,14	30,00	118,1
AC.13	1.110	80	22,22	274,35	561,30	24,69	25,26	74,64	30,00	104,6
NQS	1.390	80	22,22	274,35	841,30	24,69	37,86	87,24	30,00	117,2
AC.22 PALOQUEMAO	665	80	22,22	274,35	116,30	24,69	5,23	54,62	30,00	84,6
LA SABANA	1.200	80	22,22	274,35	651,30	24,69	29,31	78,69	30,00	108,7
SAN VICTORINO	1.431	70	19,44	210,05	1010,90	21,60	51,99	95,20	30,00	125,2
AC.19 AV. LIMA	676	80	22,22	274,35	127,30	24,69	5,73	55,11	30,00	85,1
LA REBECA	768	80	22,22	274,35	219,30	24,69	9,87	59,25	30,00	89,3
AC.34 PARQUE NACIONAL	933	80	22,22	274,35	384,30	24,69	17,29	66,68	30,00	96,7
AC.42 GRAN COLOMBIA	930	80	22,22	274,35	381,30	24,69	17,16	66,54	30,00	96,5
MARLY	775	80	22,22	274,35	226,30	24,69	10,18	59,57	30,00	89,6
SANTO TOMÁS	775	80	22,22	274,35	226,30	24,69	10,18	59,57	30,00	89,6
PLAZA DE LOURDES	1.001	60	16,67	154,32	692,36	18,52	41,54	78,58	30,00	108,6
AV. 72 CHILE	965	80	22,22	274,35	416,30	24,69	18,73	68,12	30,00	98,1
CALLE 85	1.075	80	22,22	274,35	526,30	24,69	23,68	73,07	30,00	103,1
PARQUE 93	995	80	22,22	274,35	446,30	24,69	20,08	69,47	30,00	99,5
CALLE 100	839	80	22,22	274,35	290,30	24,69	13,06	62,45	30,00	92,4
USAQUÉN	1.396	80	22,22	274,35	847,30	24,69	38,13	87,51	30,00	117,5
CALLE 127	1.690	80	22,22	274,35	1141,30	24,69	51,36	100,74	0,00	100,7

TOTAL

27.144

2683,1

Fuente: Elaboración propia

El tiempo total de recorrido para los 27,144 Km entre las estaciones extremas es de 2.683 segundos, o lo que es lo mismo 44,72 minutos, ó 0,745 horas.

Con estas hipótesis, la velocidad comercial resulta:

$$V_{comercial} = \frac{27,144 \text{ Km}}{0,745 \text{ horas}} = 36,42 \text{ Km / hr}$$

Esto indica que el trazado permite mantener la velocidad comercial media de 35 Km/h propuesta en los cálculos de demanda.



5.1.1 Efecto de los tramos con limitación de velocidad inferior a 80 Km/h:

En el trazado existen dos tramos interestaciones con limitaciones de velocidad inferiores a la general del trazado:

- Entre la estación de La Sabana y San Victorino existe una curva con una limitación de velocidad de 70 Km/h = 19,44 m/s.
- Entre las estaciones de Santo Tomás y Plaza de Lourdes se limita la velocidad a 60 Km/h = 16,67 m/s

El tiempo de recorrido con estas velocidades para cada uno de los tramos es:

Tabla 5-4 Tramos con limitaciones de velocidad en la PLM

Tramo	t con limitación	t sin limitación	Diferencia
Sabana - San Victorino	125,2	119,1	6,1
Santo Tomás - Plaza Lourdes	108,6	99,7	8,9
	Total		15,0

Fuente: Elaboración propia

Dicha limitación ya se encuentra incluida en el cálculo de velocidad comercial para el total del trazado presentado en la tabla anterior. La diferencia en tiempo de recorrido es de 15 segundos, sobre un total de 2.683 segundos, un 0,56%.

Por lo tanto el efecto de las limitaciones de velocidad derivadas de del diseño geométrico de los tramos del trazado de la PLM citados sobre la velocidad comercial es mínimo Dicha limitación ya se encuentra incluida en el cálculo de velocidad comercial para el total del trazado presentado en la tabla anterior. La diferencia en tiempo de recorrido es de 15 segundos, sobre un total de 2.683 segundos, un 0,56%.

Por lo tanto el efecto de las limitaciones de velocidad derivadas del diseño geométrico de los tramos del trazado de la PLM citados sobre la velocidad comercial es mínimo.

5.2 Efecto de la reducción de la velocidad comercial sobre la demanda:

El modelo de transporte ha considerado como dato de entrada una velocidad comercial de 35 Km/hr. Sin embargo, y dadas las restricciones que pueden derivarse del trazado y de las variables operacionales del metro, se ha simulado una variación drástica de la velocidad comercial, con el fin de obtener los

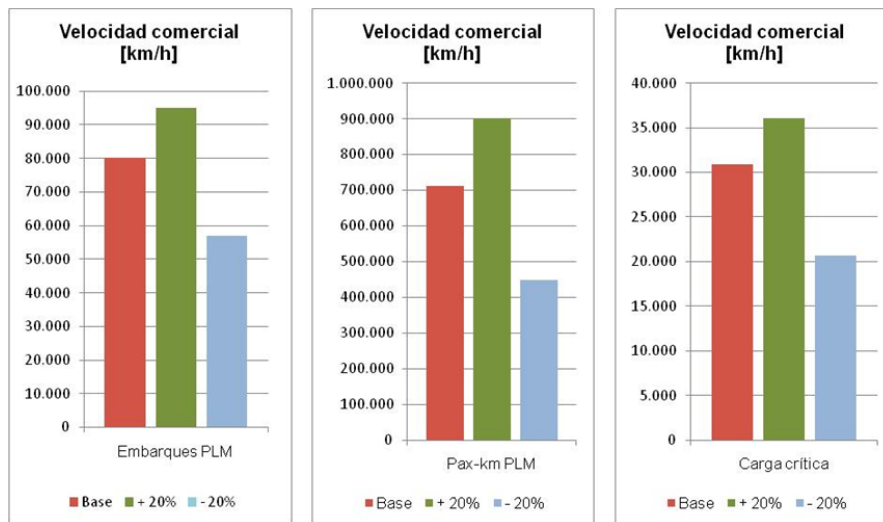
resultados más cercanos a los valores críticos y evaluar la sensibilidad de la demanda ante dichas variaciones. La variación considerada ha sido de un aumento y disminución del 20% de la velocidad comercial de referencia, obteniendo las siguientes simulaciones:

- Velocidad -20% de la referencia: 28 Km/h
- Velocidad de Referencia: 35 Km/h
- Velocidad +20% de la referencia: 42 Km/h

El aumento de la velocidad comercial propuesto resulta poco probable en la realidad, toda vez que ello implica, principalmente, modificaciones en la localización de las estaciones para lograr una mayor interdistancia, y un incremento en las velocidades que el trazado actual no permite. Sin embargo la reducción de la velocidad de referencia puede presentarse por un aumento en los tiempos de parada en las estaciones, tiempos de maniobras, u otros. En ambos casos estas simulaciones deben interpretarse únicamente como herramienta de medida de la sensibilidad de la demanda de metro.

A continuación se presentan los resultados del análisis realizado.

Figura 5-1 Sensibilidad a la velocidad



Fuente: Elaboración propia

Puede verificarse que cuando se incrementa la velocidad comercial existe un incremento en el número de embarques y de la carga crítica en el tramo más cargado, y un incremento mayor en la medida de Pax-km que refleja un aumento de la distancia media recorrida sobre la PLM. La demanda del metro es aún

más sensible a una reducción de la velocidad comercial, con unas disminuciones considerables del total de embarques, de los pasajeros-km así como de la carga crítica.

En la siguiente tabla se pueden ver las variaciones relativas de los resultados en cuanto al escenario de referencia.

Tabla 5-5. Variación de la demanda por la velocidad comercial del metro

Indicadores de demanda	Velocidad comercial	
	+ 20%	- 20%
Embarques PLM	+ 19%	- 29%
Pax-km PLM	+ 27%	- 37%
Carga máxima	+ 17%	- 33%

Fuente: Elaboración propia

Al aumentar la velocidad del metro en un 20% se logra un aumento del nº de embarques de la misma magnitud, sin embargo cuando se disminuye la velocidad el resultado es de una reducción del 30% de los embarques.