

**OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN AL INTERIOR DE LA TERMINAL ANDRÉS
SANÍN DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE MASIVO -SITM-
MIO.**



**Universidad
del Cauca**

**DIANA LORENA JOAQUÍ SAMBONÍ
JOSE LUIS GARZÓN**

Tesis de Maestría en Ingeniería de Tránsito

Director:

Carlos Alberto Becerra Chaves

Ingeniero Civil

Magister en Tránsito y Transporte

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE VÍAS Y TRANSPORTE
POPAYÁN
2019**

**DIANA LORENA JOAQUÍ SAMBONÍ
JOSE LUIS GARZÓN**

**OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN AL INTERIOR DE LA TERMINAL
ANDRÉS SANÍN DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE
MASIVO -SITM- MIO.**

**Tesis presentada a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca
para optar al título de Magíster en Ingeniería de Tránsito, modalidad
profundización.**

**DIRECTOR:
Magister CARLOS ALBERTO BECERRA CHÁVEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE VÍAS Y TRANSPORTE
POPAYÁN
2019**

Contenido

Resolución aceptación del proyecto	11
Resumen estructurado	13
Introducción	15
1. Antecedentes	17
1.1. Descripción del problema	17
1.2. Justificación	21
2. Objetivo	25
2.1. Objetivo general	25
2.2. Objetivos específicos	25
3. Alcances del Estudio	27
4. Estado del arte	29
5. Metodología	37
5.1. Actividades metodológicas	38
5.2. Descripción de la Información Secundaria suministrada por Metro Cali S.A.	38
5.3. Información primaria	41
5.4. Formulación de cada escenario	42
5.5. Evaluación multicriterio con AHP	43
5.5.1. Descripción General del Proceso	43
5.5.2. Aplicación del Proceso	44
5.5.3. Consideraciones particulares para el presente trabajo	50
6. Plan de trabajo	53
7. Diagnóstico	55
7.1. Marco contextual	55
7.1.1. Infraestructura y Equipo Rodante del SITM MIO	55
7.1.2. Estudio de movilidad de la ciudad de Cali 2015	56
7.1.2.1. El Sistema vial del MIO	59
7.1.2.2. El Sistema MIO-CABLE	60
7.1.3. Servicios que presta el SITM MIO	61
7.1.4. Terminal Andrés Sanín	62
7.2. Condiciones de Operación de la Terminal	64
7.2.1. Condiciones de Operación Actual de la Terminal Andrés Sanín	64
7.2.2. Evaluación de la Capacidad	77
7.3. Evaluación de la evolución de pasajeros	82
7.4. Condición operacional de intersecciones externas de la Terminal y de personas movilizadas.	84
8. Construcción y evaluación de alternativas	95
8.1. Configuración de escenarios para evaluar	95
8.2. Evaluación de escenarios	98
8.2.1. Escenarios mejor evaluados y adopción del mejor escenario.	102
8.2.2. Evaluación de la capacidad del Escenario priorizado (Esc 42).	105

8.3.	Construcción de simulaciones peatonales y vehiculares.	107
8.3.1.	Construcción del modelo base	108
8.3.1.1.	Red vial	108
8.3.1.2.	Parametrización de la red integrada en la operación	110
8.3.1.3.	Calibración	114
8.3.2.	Modelación de los escenarios a evaluar	118
8.3.2.1.	Escenario Base (B0)	119
8.3.2.2.	Escenario Base 1 (B1)	119
8.3.2.3.	Escenario E1	120
8.3.3.	Evaluación de resultados.....	120
8.3.3.1.	Escenario Base (B0)	121
8.3.3.1.	Escenario Base 1 (B1)	123
8.3.3.1.	Escenario E1	126
8.3.4.	Análisis de resultados del modelo.....	128
9.	Conclusiones.....	133
10.	Recomendaciones	137
11.	Bibliografía.....	141

Listado de Figuras

Figura 1 – Esquema de ocupación y uso de las zonas peatonales de espera y circulación.	16
Figura 2 - Infraestructura actual de la Terminal	18
Figura 3 - Árbol de problemas	19
Figura 4 – Evolución de los accidentes y su nivel de gravedad estimado	20
Figura 5 - Evolución de la Calificación General en aspectos de servicio en Terminales -NSU-	22
Figura 6 - Evolución de NSU detallado por Componente de E&T.	23
Figura 7 - Evolución de NSU detallado por Comuna en el Componente de E&T.	23
Figura 8 – Jerarquía de necesidades para caminar.	31
Figura 9 - Proceso de validación preliminar y final del diseño de un espacio urbano	32
Figura 10 – Distribución aforos a nivel	39
Figura 11 – Distribución aforos a desnivel	40
Figura 12 – Sitios donde se realizaron las encuestas Origen/Destino	41
Figura 13 – Estudio de aforos vehiculares. Localización e identificación de movimientos	42
Figura 14 – Formato de comparación por pares	45
Figura 15 – Formato para realizar la comparación por pares para cada alternativa respecto de cada Criterio	49
Figura 16 - Poblaciones estudiadas	56
Figura 17 - Densidad poblacional por Comunas en Cali	57
Figura 18 - Partición modal general en el área de estudio	58
Figura 19 - Partición modal de viajes en Transporte Público.	58
Figura 20- Estado actual de la infraestructura del SITM	59
Figura 21 – Localización de las estaciones de MIO-Cable	61
Figura 22 - Localización general de la Terminal Andrés Sanín	62
Figura 23 - Infraestructura actual de la Terminal	63
Figura 24 - Esquema de usos (Ingresos) del SITM MIO	64

Figura 25 - Distribución Actual de las rutas en las plataformas de la Terminal Andrés Sanín	66
Figura 26 - Rutas de influencia de la Terminal Andrés Sanín	67
Figura 27 - Esquema de agrupación de aforos peatonales a des-nivel por sentido.	68
Figura 28 – Esquema de agrupación de aforos peatonales a nivel por sentido.	69
Figura 29 - Distribución porcentual de la Cantidad de usuarios entre las plataformas centrales	70
Figura 30 - Variación horaria de la demanda de usuarios que cruzan a nivel	70
Figura 31 – Relación entre la cantidad de usuarios que cruzan a Nivel y a través del Túnel peatonal	71
Figura 32 – Matriz Origen/Destino al Interior de la Terminal Andrés Sanín	72
Figura 33 – Matriz Origen/Destino al Interior de la Terminal Andrés Sanín	73
Figura 34 – Líneas de deseo de viajes en la Estación Terminal Andrés Sanín franja pico de la mañana de 5:30 am a 8:30 am.	75
Figura 35 – Cantidad de viajes de servicios entre plataformas en la Estación Terminal Andrés Sanín franja pico de la mañana de 5:30 am a 8:30 am.	75
Figura 36 – Configuración de las paradas en la operación adoptada por el Ente Gestor.	79
Figura 37 – Información de operación en julio de 2018.	80
Figura 38 – Relación de tiempos de viaje y saturación.	82
Figura 39 – Pasajeros totales para Estaciones por semana y hora del día.	83
Figura 40 – Volúmenes vehiculares por movimientos y cuartos de hora desde las 5:30 AM hasta las 8:45 AM	84
Figura 41 – Distribución modal de vehículos por movimiento, para la Hora Pico (6-7 AM).	85
Figura 42 – Pasajeros que ingresan y salen de la Terminal en los Buses Articulados del MIO.	87
Figura 43 – Pasajeros que ingresan y salen de la Terminal en los Buses Padrones del MIO.	88
Figura 44 – Pasajeros que ingresan y salen de la Terminal en los Buses Complementarios y Padrones del MIO.	89
Figura 45 – Relación entre Vehículos y Pasajeros que se mueven en las dos intersecciones de la Terminal Andrés Sanín.	90
Figura 46 – Distribución modal de pasajeros por movimiento, Hora Pico 6:00 AM - 7:00 AM.	91
Figura 47 – Comparación de la distribución modal de pasajeros y vehículos por movimiento.	92
Figura 48 – Escala de colores según la importancia o peso que representa	99
Figura 49 – Líneas de deseo de viajes en la Estación Terminal Andrés Sanín de acuerdo con la nueva distribución de paradas en la estación. Franja pico de la mañana de 5:30 am a 8:30 am.	103
Figura 50 – Información para el escenario mejor evaluado (Escenario 42).	106
Figura 51 – Red vial del modelo en VISSIM.	109
Figura 52 – Zonas de conflicto vial modelo en VISSIM.	109
Figura 53 – Creación y parametrización de las dos intersecciones semafóricas del modelo en VISSIM.	110
Figura 54 – Configuración de los vehículos Padrones del sistema MIO, modelo en VISSIM.	111
Figura 55 – Configuración de los vehículos Complementarios del sistema MIO, modelo en VISSIM.	111
Figura 56 – Configuración de los vehículos Articulado (primer y segundo cuerpo) del sistema MIO, modelo en VISSIM.	112

Figura 57 – Configuración de las paradas y zonas de ascenso y descenso de pasajeros de los buses del MIO en cada plataforma, modelo en VISSIM.	113
Figura 58 – Asignación de distribución de pasajeros entre paradas de buses del MIO en cada plataforma, modelo en VISSIM.	113
Figura 59 – Creación de rutas y asignación de paradas de buses del MIO en cada plataforma, modelo en VISSIM.	114
Figura 60 – Gráfico de calibración de vehículos	116
Figura 61 – Escala gráfica para clasificar las densidades peatonales (peatones/m ²) en VISSIM	121
Figura 62 – Presentación de la densidad de los movimientos peatonales en el modelo en VISSIM. - Escenario BASE - Paso a desnivel	121
Figura 63 – Presentación de la densidad de los movimientos peatonales y zonas de espera en el modelo en VISSIM. - Escenario BASE - Paso a nivel	122
Figura 64 – Presentación de la densidad de los movimientos peatonales y zonas de espera en el modelo en VISSIM. - Escenario BASE - Paso a nivel y desnivel	123
Figura 65 – Presentación de la densidad de los movimientos peatonales en el modelo en VISSIM. - Escenario BASE 1 (BASE + Reja entre Plataforma 2 y Plataforma 3) - Paso a desnivel	124
Figura 66 – Presentación de la densidad de los movimientos peatonales y zonas de espera en el modelo en VISSIM. - Escenario BASE 1 (BASE + Reja entre Plataforma 2 y Plataforma 3)	125
Figura 67 – Presentación de la densidad de los movimientos peatonales y zonas de espera en el modelo en VISSIM. - Escenario 42 - Paso a desnivel	126
Figura 68 – Presentación de la densidad de los movimientos peatonales y zonas de espera en el modelo en VISSIM. - Escenario 42 - Paso a desnivel	126
Figura 69 – Presentación de la densidad de los movimientos peatonales y zonas de espera en el modelo en VISSIM. - Escenario 42 - Paso a nivel	127
Figura 70 – Presentación de la densidad de los movimientos peatonales y zonas de espera en el modelo en VISSIM. - Escenario 42 - Paso a nivel y desnivel	128

Listado de Tablas

Tabla 1 - Matriz de HADDON	29
Tabla 2 - La escala fundamental de la intensidad de los números absolutos según SAATY	46
Tabla 3 – Matriz de comparación de criterios	46
Tabla 4 – Matriz de comparación de criterios normalizada	47
Tabla 5 – Vectores valores del Índice Aleatorio (RI)	47
Tabla 6 – Vectores de Prioridad, Ponderado y Consistencia	48
Tabla 7 – Matriz de comparación de alternativas respecto de cada criterio	49
Tabla 8 – Matriz de evaluación de alternativas respecto de cada criterio	49
Tabla 9- Cronograma del plan de trabajo	53
Tabla 10 - Habitantes de cada población estudiada	56
Tabla 11 – Resultado de los aforos dentro del túnel según el lugar de paso y el intervalo	68
Tabla 12 – Resultado de los aforos peatonales entre plataformas a nivel según el lugar de paso y el intervalo	69
Tabla 13 – Características de dimensiones de plataformas de la Terminal Andrés Sanín.	77
Tabla 14 – Cantidad de paradas por plataforma por tipología (según las dimensiones).	78

Tabla 15 – Tiempos de abordaje según tipo de cobro, plataforma y dimensión de las puertas	78
Tabla 16 – Cantidad de paradas por plataforma por tipología (Usadas por el Ente Gestor).	79
Tabla 17 – Información de frecuencias de servicios y pasajeros por parada y plataforma de operación según la distribución de las rutas en las paradas que se presenta en la Figura 37 (julio 2018).	81
Tabla 18 – Saturación de paradas por plataforma de operación según la distribución de las rutas en las paradas que se presenta en la Figura 37 (julio 2018).	81
Tabla 19 – Servicios considerados dentro del estudio de la Terminal Andrés Sanín.	82
Tabla 20 – Relación volumen de pasajeros movilizados y capacidad instalada	87
Tabla 21 – Relación volumen de pasajeros movilizados y capacidad instalada	88
Tabla 22 – Relación volumen de pasajeros movilizados y capacidad instalada	89
Tabla 23 – Relación volumen de pasajeros movilizados y capacidad instalada	90
Tabla 24 – Factores adoptados para la estimación de ocupación del espacio en las vías Autos de Directo Equivalentes – ADE.	92
Tabla 25 - Escenarios de optimización planteados con los Indicadores obtenidos para el período de análisis de 5:30 am a 8:30 am	96
Tabla 26 - Vectores de priorización de criterios (evaluada por varios profesionales)	100
Tabla 27 - Vectores de priorización de escenarios (evaluada por varios profesionales)	100
Tabla 28 - Indicadores del escenario base y escenario 42 seleccionado por la Entidad Gestora.	102
Tabla 29 – Saturación de paradas por plataforma operación según Figura 50 (Escenario 42).	106
Tabla 30 – Comparación de los niveles de saturación entre el escenario inicial (Base) y final (Escenario 42), con algunos indicadores comparativos (Promedio, Desviación estándar y promedio ponderado).	107
Tabla 31 – Resultados de la modelación	116
Tabla 32 – Criterios de validación del indicador GEH	117
Tabla 33 – Resultado del Indicador GEH en cada movimiento para el tráfico mixto	118
Tabla 34 – Resultado del Indicador GEH en cada movimiento para los peatones al interior de la TAS	118
Tabla 35- Listado de escenarios y su descripción general	119
Tabla 36- Resultados de peatones entran y salen de la zona aforada en el modelo – Escenario Base (B0)	129
Tabla 37- Resultados de peatones entran y salen de la zona aforada en el modelo – Escenario Base con reja (B1)	129
Tabla 38- Resultados de peatones entran y salen de la zona aforada en el modelo – Escenario proyectado (E1)	130
Tabla 39- Comparativo de los Resultados de peatones entran y salen de la zona aforada en el modelo en cada Escenario	130

Resolución aceptación del proyecto.

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
CONSEJO DE FACULTAD
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

RESOLUCION No. 8.3.2-30.13/145 DE 2018
(23 DE JULIO DE 2018)

Por la cual se aprueba un ANTEPROYECTO DE GRADO, modalidad ESTUDIOS DE PROFUNDIZACION y se designa su Director.

EL CONSEJO DE FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL de la Universidad del Cauca, en uso de sus atribuciones funciones y,

C O N S I D E R A N D O:

Que mediante los Acuerdo 002 de 1989, 003 y 004 de 1994 y 027 de 2012, emanados del Consejo Académico de la Universidad del Cauca, se estableció el **ANTEPROYECTO DE GRADO** y por Resolución No 820 de 2014 del Consejo de Facultad de Ingeniería Civil, se reglamentó dicho Anteproyecto de Grado en las modalidades de Investigación, Pasantía, Práctica Social y Profundización Académica.

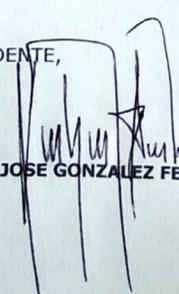
R E S U E L V E:

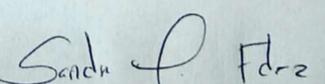
ARTÍCULO UNICO: Autorizar a los estudiantes **DIANA LORENA JOAQUI SAMBONI** con cédula de ciudadanía número 1.061.706.882 Y **JOSÉ LUIS GARZÓN**, con cédula de ciudadanía número 76.317.406, del Programa de Maestría en Ingeniería de Tránsito, para desarrollar la Propuesta de Anteproyecto de Grado modalidad Profundización titulado: "**Optimización de la Operación al interior de la Terminal Andrés Sanín del Sistema Integrado de transporte masivo- SITM-MIO.**", bajo la Dirección del Ingeniero Carlos Alberto Becerra Chávez, avalado por el Consejo de Facultad de Ingeniería Civil en sesión 12 del 23 de Julio de 2018, como requisito parcial para optar al título de **MAGISTER EN INGENIERIA DE TRÁNSITO**.

COMUNIQUESE Y CUMPLASE

Dada en el Salón de Consejo de la Facultad de Ingeniería Civil, a veintitrés (23) días del mes de Julio de dos mil dieciocho (2018).

EL PRESIDENTE,


ALDEMAR JOSÉ GONZÁLEZ FERNÁNDEZ
Decano


SANDRA MARIA FERNANDEZ
Secretaria General

Resumen estructurado

El SITM – MIO, inició la implementación y operación a finales del 2008, con una pequeña flota que fue ampliándose en la medida en que ésta llegaba a la Ciudad, de igual forma, su implementación fue dándose paulatinamente, lo que conllevó a una operación que se fue ajustando conforme se disponían de los recursos (vehículos e infraestructura). Esto generó que en las Terminales de Cabecera e Intermedias, la localización y operación de cada una de las paradas de las rutas fuese según la disponibilidad de estos recursos.

Para el caso de la operación inicial de la Terminal Andrés Sanín (TAS) se disponía de dos plataformas, localizando en éstas algunas rutas que operaban en el sector. Más adelante, y de forma paulatina entraron en operación las demás plataformas, por lo que se asignó de manera aleatoria (sin mayores estudios o evaluaciones) las rutas en las paradas disponibles. Lo anterior, en el tiempo con el incremento de usuarios dentro de la TAS generó una dinámica de interacción entre el peatón y los vehículos del sistema que no fue prevista en superficie, ya que la TAS cuenta con un paso a desnivel para los peatones, sin embargo, la deficiencia en iluminación y seguridad al interior del túnel, además de la falta de control y las dificultades en la prestación del servicio generó un comportamiento inadecuado al interior, y sin infraestructura prevista para esto en superficie conllevó a algunas dificultades operativas, que fueron en incremento hasta llegar al accidente de un peatón atropellado por un bus del MIO.

El objetivo principal con el presente trabajo, consiste en brindar una solución de interacción entre peatones y vehículos que sea equilibrada (tiempo, costo y seguridad) para los diferentes actores (usuarios, sistema y Ente Gestor), buscando mejorar la experiencia de viaje para el usuario con indicadores como tiempo de viaje, nivel de servicio de las plataformas, fricción de los peatones al interior en sus transferencias y nivel de servicio de paradas. Permitiendo con esto tener parámetros iniciales y complementar con próximas evaluaciones la parametrización para los diseños de este tipo de infraestructura, que permitan desde el inicio buenas condiciones de experiencia del usuario.

Lo anterior, se consiguió con la aplicación de la metodología de evaluaciones multicriterio (AHP); y el uso de herramientas computacionales de micro-simulación, para evaluación de zonas de espera y caminata de la transferencia de los peatones

mediante la herramienta VISWALK, y la interacción de éstos con los vehículos, mediante la herramienta VISSIM. También contamos con el apoyo de los profesionales del Ente Gestor (Metro Cali S.A.), quienes participaron activamente en el desarrollo y evaluaciones efectuadas.

Como resultado de las evaluaciones y el planteamiento efectuado se logran los objetivos específicos de: equilibrar las plataformas en términos de usuarios que están, pasan o llegan a éstas, logrando reducción del indicador Balance Entre Plataformas de 1.97 a 1.33 (usuarios de una plataforma versus otra), reduciendo de esta forma las fricciones peatonales al interior de la TAS, pasando de un nivel de saturación promedio ponderado de las paradas en la TAS de 32% a 22% con la implementación del esquema planteado.

Palabras clave:

Transferencias; Peatones; Tránsito y Transporte; micro-simulación, Fricción peatonal.

Introducción

El Sistema Integrado de Transporte Masivo de Cali MIO, fue implementado desde finales del 2008, prestando servicio de transporte a través de cuatro (4) agentes operadores de transporte y un agente de recaudo, su principal objetivo es el mejoramiento del servicio y optimización de los recursos en términos de costo y reducción las externalidades producidas por el Sistema de Transporte Colectivo (accidentalidad y contaminación). Este sistema se ha implementado en varias etapas o fases, teniendo algunas dificultades en su desarrollo, concentrando esfuerzos en la solución de éstos, dejando en segundo plano algunas condiciones necesarias a ser abordadas para proponer mejoras rápidamente. Parte de estas condiciones son las transferencias al interior de las Terminales, infraestructura que facilita la optimización y amplía las posibilidades de viaje de los usuarios.

El objetivo del presente trabajo se orienta en mejorar la experiencia del usuario al interior de estas infraestructuras, específicamente para este caso la Terminal Andrés Sanín (TAS), la cual está localizada en el oriente de Cali.

Los alcances que propone este trabajo comprenden desde la evaluación de variables técnicas de operación y diseño de infraestructura, que representan básicamente los costos de operación (componentes financieros) y el impacto de los tiempos de viajes de los usuarios dentro de la terminal (componentes económicos). Dado que estas variables plantean diferentes objetivos y consecuentemente los resultados son de difícil análisis simultáneo, se aplicaron técnicas de evaluación multicriterio, para determinar la prioridad a ser adoptada con base en múltiples criterios. Las diferentes evaluaciones culminaron en una alternativa priorizada, la cual fue evaluada posteriormente con modelos micro que permitan la simulación de las condiciones posibles de respuesta de los peatones al interior del Terminal y determinar los posibles riesgos en la operación interna.

En el presente trabajo se representan los viajes que están cautivos dentro del sistema, y no será sensible a posibles cambios que pudieran presentarse por cambios del hábito de movilidad.

La metodología empleada consideró la toma de información de diferentes variables como tiempos de paso, deseos de viaje de los usuarios, cantidad de vehículos por

cada tipo de servicio, modo, etc. la cual fue procesada y se empleó en las evaluaciones multi-criterio para luego configurar los modelos que permitieron la evaluación de los posibles escenarios planteados.

El presente trabajo representa un beneficio en la prestación del servicio y mejora la experiencia de viaje del usuario, con lo que se debería obtener mejor uso del sistema de transporte, volcando la inercia positiva hacia la movilidad sostenible.

Actualmente no existen muchas experiencias documentadas sobre los aspectos o metodología a ser tenida en cuenta para efectuar las revisiones de la infraestructura en etapas de diseño y operación. Condición que permita mejorar los resultados de estas infraestructuras. Algunos de los documentos se encuentra la “Guía de Planificación de Sistemas BRT Autobuses de Tránsito Rápido” (ITDP et al., 2010), donde se presentan algunas referencias para las estimaciones de las áreas a ser usadas para las plataformas de los buses y peatones.

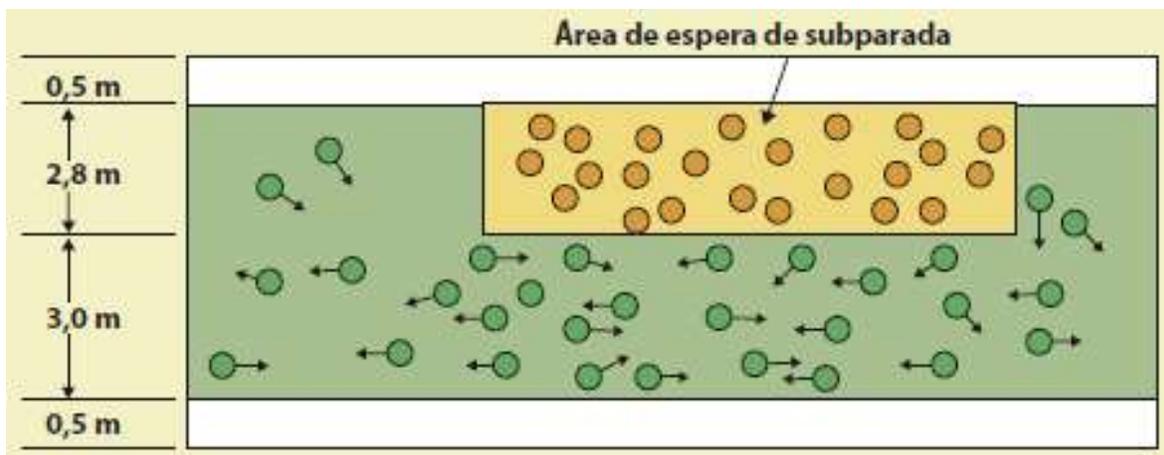


Figura 1 – Esquema de ocupación y uso de las zonas peatonales de espera y circulación.
Fuente: “Guía de Planificación de Sistemas BRT Autobuses de Tránsito Rápido” (ITDP et al., 2010).

1. Antecedentes

1.1. Descripción del problema

El SITM - MIO ha sido afectado por la pérdida de demanda que ha acumulado en el tiempo, lo cual lo deja en un ciclo negativo, debido a varios factores entre ellos: la disponibilidad de la flota y los altos requerimientos de la misma por el incremento de los tiempos de operación por eventos externos e internos, tales como accidentalidad, congestión y accesos a Estaciones y Terminales, entre otros.

La accidentalidad es un problema que afecta no solo la salud, también la movilidad y por tanto se ve involucrado el desarrollo de una Ciudad, al generar demoras en las operaciones de la red de movilidad. Cuando ocurre un evento (incidente o accidente) causa una interrupción al normal flujo, generando en el tránsito un represamiento acumulado que puede tardar varios minutos, incluso horas para normalizar la condición de operación.

En gran medida los accidentes ocurren por errores humanos, sin embargo, la infraestructura incide de forma directa o indirecta en el comportamiento de quienes hacen uso de ella, aunado a esta condición la baja cultura ciudadana, y deficiente ejecución de control, incrementa la probabilidad de ocurrencia de eventos no deseados, lo que en algunas oportunidades incluso provocan lesiones personales de importancia y en todos los eventos que se encuentran involucrados los vehículos del SITM, la pérdida de la oportunidad de la adecuada prestación del servicio de transporte.

El Sistema MIO no es ajeno a esta problemática, dadas las condiciones de interacción entre los peatones y los vehículos, considerando que el Sistema los concentra en puntos especiales llamados Estaciones o Terminales donde se presenta el intercambio de servicios para los usuarios, de tal forma que sea más eficiente en su operación.

La Terminal Andrés Sanín es uno de los puntos de mayor concentración de usuarios. Se encuentra localizada en el oriente de la Ciudad de Cali, permitiendo las conexiones entre usuarios del oriente con el centro, norte y sur de la Ciudad. La Terminal está conformada por plataformas y vías exclusivas en anillos que permiten los movimientos de los vehículos, encerrando así las plataformas donde se ubican los usuarios. Para

los intercambios entre plataformas se cuenta con un paso seguro a desnivel, en este caso un túnel peatonal. Éste esquema se ha usado históricamente para generar las transferencias (transbordos) de un bus de servicio alimentador (buses de baja y mediana capacidad) a un bus de servicio troncal de mayor capacidad, en las horas de la mañana y viceversa en horas de la tarde.



Figura 2 - Infraestructura actual de la Terminal
Fuente: Google Maps y Elaboración propia.

En la Terminal Andrés Sanín se presentaban algunas conductas de los usuarios que colocaban en riesgo su integridad y dificultaban la operación de la flota. Este fenómeno se había incrementado con el paso del tiempo, debido a la falta de un control efectivo y permanente, causando un mayor impacto negativo en las condiciones de seguridad vial de los actores internos de la Terminal y su consecuente impacto operativo.

Tal como se indicó anteriormente, las transferencias generadas por el esquema del Sistema y las distribuciones de las paradas al interior de la Terminal, hacen que el usuario camine más o que se concentren mayores volúmenes peatonales en algunos puntos o conexiones, lo que aumenta la fricción, reduciendo la velocidad y comodidad del usuario en estas conexiones internas. Lo anterior causa que el usuario busque caminos más cortos que estén a su alcance para realizar estas transferencias, y en la mayoría de los casos sin medir o evaluar sus consecuencias. En la Figura 1 se resumen las causas y consecuencias del problema que se abordará en el presente trabajo.

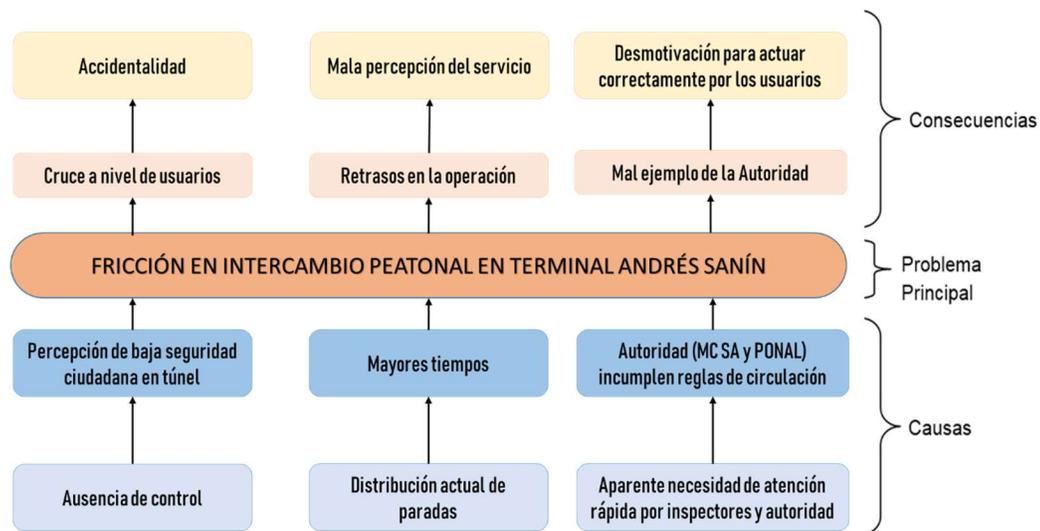


Figura 3 - Árbol de problemas
Fuente: Elaboración propia.

Como ejemplo representativo, se puede mencionar el caso del accidente ocurrido el 30 de septiembre de 2017 al interior de la Terminal Andrés Sanín, el cual se presentó como un atropellamiento, que representó dificultad operativa del Sistema MIO, observándose una caída en la capacidad de la oferta y su consecuente caída del nivel de servicio, generando congestión y la insatisfacción al usuario, que finalmente desincentiva el uso del sistema por algunos usuarios, aportando en la inercia negativa de reducción de la demanda. Vale indicar que este es el tercer caso que se presenta, siendo éste el más grave.



Imagen 1- Foto del accidente del 2017
Fuente: Elaboración propia.

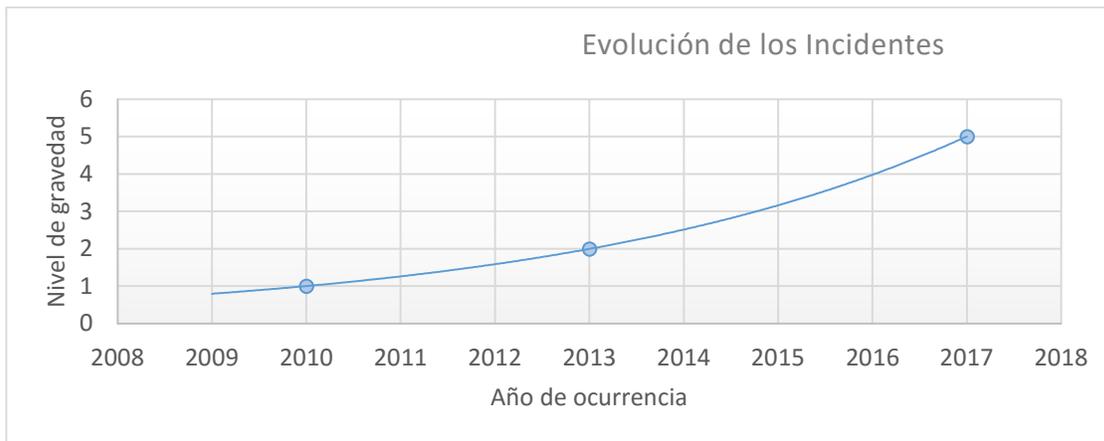


Figura 4 – Evolución de los accidentes y su nivel de gravedad estimado
Fuente: Elaboración propia.

Dadas las condiciones antes planteadas, el Ente Gestor (Metro Cali S.A.), de una forma simple eliminó el riesgo de accidentalidad instalando una reja divisoria que impide el paso de los peatones a nivel, sin embargo, esta solución no resuelve de fondo el problema de los tiempos de paso y el posible desestímulo del usuario para estas transferencias.

Por lo anterior, el presente trabajo describe el análisis que se ha realizado en la Terminal Andrés Sanín, para evaluar las condiciones de operación actuales, así como escenarios futuros de distribución de paradas en las plataformas internas, para optimizar las transferencias al interior de la Terminal, de tal forma que puedan ser identificadas soluciones de corto plazo e incluso formular recomendaciones a tener en cuenta en los diseños de este tipo de infraestructuras a futuro.

Es importante mencionar, que la operación del SITM en los últimos años ha reducido la regularidad del servicio, principalmente por la falta de disponibilidad de vehículos por parte de los Agentes Operadores, lo que ha significado una caída en los indicadores de servicio al usuario. Este factor es importante tenerlo en cuenta ya que es una de las causas de la caída de demanda de usuarios, así como en el comportamiento de los mismos, dado que la menor oferta e irregularidad en el servicio, afectan la confiabilidad del mismo lo que induce a los usuarios a tomar el camino más corto para acceder al bus que ya está en la otra plataforma y evitar tener que esperar mayor tiempo en la Terminal a que llegue el siguiente servicio.

1.2. Justificación

Considerando las dificultades en las que se encuentran actualmente los nuevos sistemas de transporte, conviene diseñar estrategias que permitan mejorar la experiencia de viaje de los usuarios. En los últimos años se ha presentado tendencia a la caída de la demanda en los modos legales, mientras que en los modos individuales e ilegales se ha visto el incremento de la misma, lo anterior, debido a variables que afectan la operación de estos Sistemas (accidentes, mayores incomodidades, mayores tiempos de viaje [espera, transferencia]), lo que ha incidido en la percepción de mal servicio. De acuerdo con los resultados obtenidos a lo largo de los últimos periodos (2015 - 2018) de calificación del Nivel de Satisfacción del Usuario -NSU- (Proyector Inteligencia de Negocios, 2018)¹, se han representado los que se muestran en la Figura 5 - Evolución de la Calificación General en aspectos de servicio en Terminales -NSU-, donde se observa que El NSU General para el período analizado, ha estado entre 58,6% y 64,9% (eje vertical), llegando en los últimos períodos de medición a los niveles más bajos. Respecto de la condición de NSU para las Estaciones y Terminales, se ha caracterizado por estar por encima de estos valores generales, lo que muestra de alguna forma que la condición promedio de la medida para las Estaciones y Terminales (E&T) es satisfactoria. Mientras que la importancia (tamaño de las figuras) indicada por los encuestados, ha ido variando de forma importante, donde los resultados para el 2017 (I y II período) fueron los más altos (30,9% y 26,4%), mientras que los años 2015 - 2018 han sido donde los usuarios han manifestado menor importancia (peso) de este componente (E&T).

¹ Encuesta a los usuarios que se adelanta cada 6 o 12 meses para evaluar el desempeño del SITM – MIO en Cali.

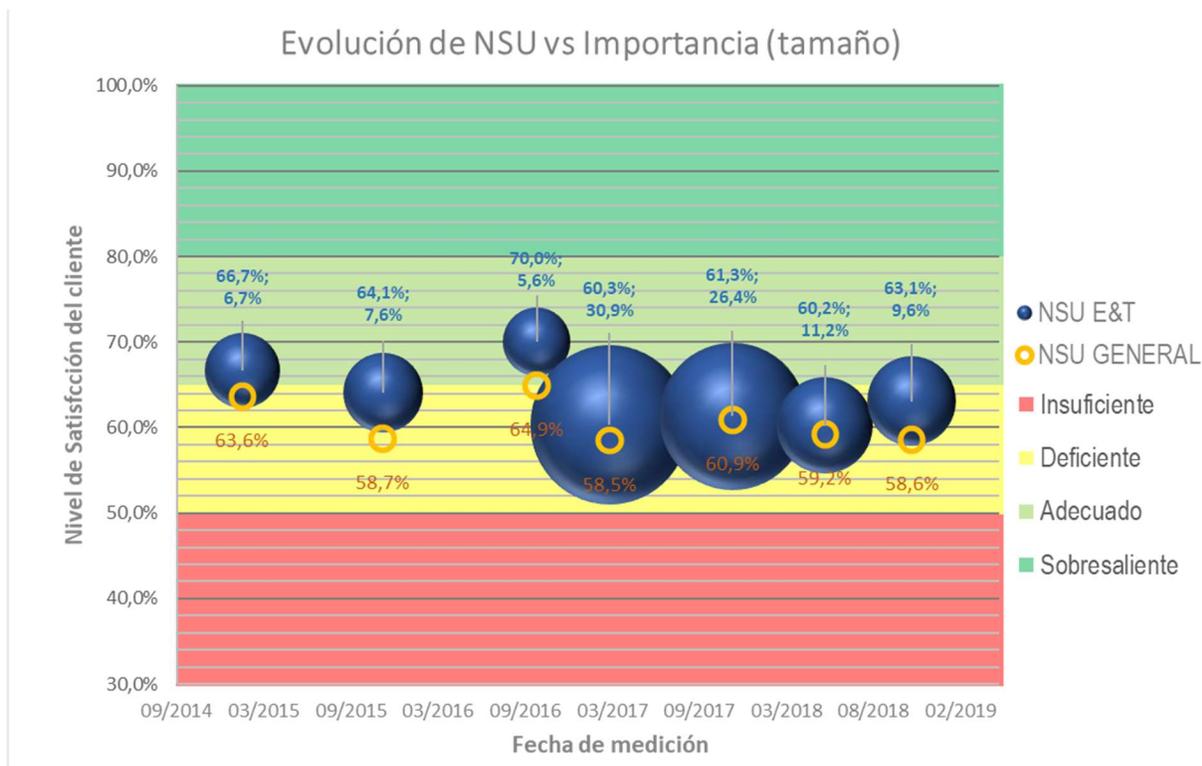


Figura 5 - Evolución de la Calificación General en aspectos de servicio en Terminales -NSU- Fuente: Elaboración propia a partir de información de Mediciones efectuadas por Metro Cali S.A. (Proyector Inteligencia de Negocios, 2018).

Sin embargo, cuando se revisa el detalle de la calificación para E&T encontramos una gran diferencia en los niveles de satisfacción de cada sub-componente medido, siendo la congestión el que representa el NSU más bajo.

En la Figura 6 - Evolución de NSU detallado por Componente de E&T. se presenta la calificación NSU obtenida para los últimos periodos, donde se puede observar que la congestión es el factor con menor calificación, es decir, requiere de pronta atención para implementar acciones de mejora.

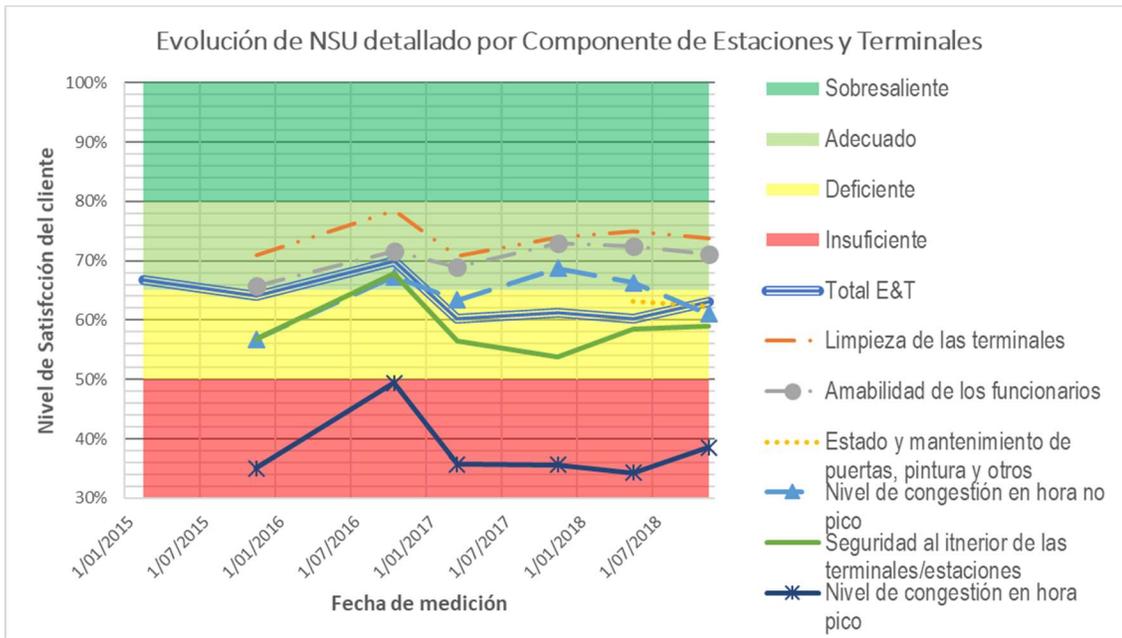


Figura 6 - Evolución de NSU detallado por Componente de E&T.

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Mediciones efectuadas por Metro Cali S.A. (Proyectar Inteligencia de Negocios, 2018).

En la Figura 7 - Evolución de NSU detallado por Comuna en el Componente de E&T., presenta la evolución para las zonas Oriente y Aguablanca, las cuales forman parte de la zona de influencia de la Terminal Andrés Sanín (TAS), efectuando un análisis de información un poco más focalizado.

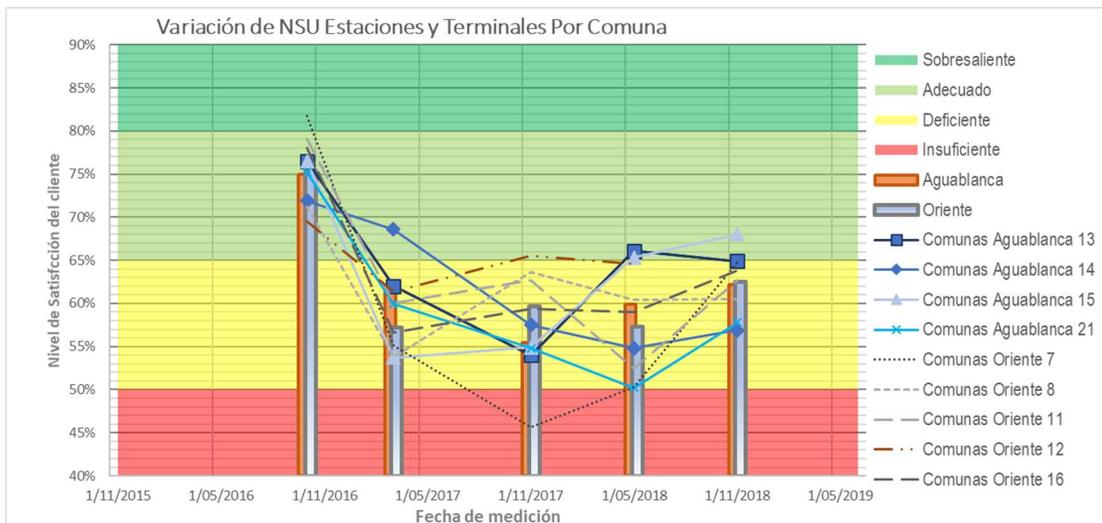


Figura 7 - Evolución de NSU detallado por Comuna en el Componente de E&T.

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Mediciones efectuadas por Metro Cali S.A. (Proyectar Inteligencia de Negocios, 2018).

Para el caso de la Terminal Andrés Sanín, el nivel de congestión está dado por el alto nivel de transferencias por cuanto conecta los servicios de oriente hacia el centro y sur de la Ciudad, esto unido con una distribución de paradas que no es muy consecuente con los volúmenes y continuidades de los viajes, contribuye a incrementar las condiciones de congestión en las plataformas de ascenso y descenso de los pasajeros aumentando los tiempos de viaje y afectando el nivel de servicio.

Esta pérdida en el nivel de servicio genera un efecto directo de la caída en la demanda, principalmente de los usuarios que tienen la posibilidad de usar otros modos de transporte, en especial hacia modos individuales, redundando en el aumento de la congestión en la red vial y afectando los tiempos de operación sobre la red de movilidad.

Si se contara con mejores condiciones de diseño de los componentes de infraestructura vial y esquemas operativos, seguramente se reducen los riesgos y los impactos generados por estas variables. Adicionalmente es importante romper la tendencia evitando el aporte en el ciclo negativo del comportamiento de los actores al interior de la infraestructura.

Por lo que hay que formular una estrategia de corto plazo, sin que requiera necesariamente mayores inversiones en infraestructura física y que permitan de forma amable con los usuarios del sistema, facilitar el uso del Sistema y sus plataformas al interior de la Terminal.

2. Objetivo

2.1. Objetivo general

Propender por una operación que brinde una buena experiencia al usuario al interior de la Terminal Andrés Sanín del SITM MIO, a través de la identificación y mejoramiento de las principales conexiones entre servicios de rutas, con la reubicación de paradas que permitan equilibrar la distribución de la cantidad de usuarios en cada plataforma, minimizando los desplazamientos peatonales, tiempos de transferencias, así como los riesgos de accidentes, con el fin de mejorar el nivel de servicio en la Terminal Andrés Sanín -TAS-.

2.2. Objetivos específicos

- Cuantificar el flujo de peatones que pasan a nivel entre las plataformas y por el túnel peatonal en las horas pico de la mañana de un día hábil de la semana.
- Cuantificar los tiempos de caminata a través del paso a nivel y por el túnel entre las diferentes plataformas.
- Identificar las conexiones entre servicios y posibles causas que motivan el paso a nivel de los peatones.
- Identificar los pares Origen - Destino (OD) que son atendidos en estas transferencias dentro de la Terminal.
- Proponer y estudiar la modificación de puntos de parada y recorrido de las rutas que atienden la Terminal.
- Formular y evaluar alternativas de solución orientadas a cumplir con el objetivo del proyecto.
- Modelar por medio de software especializado la situación observada a diciembre de 2017 y la alternativa de solución formulada en el estudio para mejorar la operación y la experiencia de los usuarios en la Terminal Andrés Sanín.

3. Alcances del Estudio

El presente estudio pretende dar una revisión de las posibles alternativas que pueden brindarse desde el componente de infraestructura por los diseñadores, considerando variables no técnicas desde la ingeniería, que permitan brindar soluciones más equilibradas entre los costos de inversión, costos de operación y los intereses de los usuarios de estas infraestructuras. Factores que generalmente son opuestos para las diferentes condiciones de diseño.

Durante del desarrollo del presente estudio, fueron involucrados profesionales con diferentes perfiles, para la evaluación de los escenarios que representaron diversas alternativas de solución.

El resultado final es plantear una alternativa que sea implementada para equilibrar la operación al interior de la Terminal Andrés Sanín, que sea lo suficientemente atractiva para el usuario y con costos de implementación y operación accesibles al sistema.

Para lograr los objetivos se han aplicado metodologías de evaluación multicriterio que permitan llegar de forma general a escenarios posibles y equilibrados desde perspectivas no cuantitativas, como lo es el componente comercial en su aplicación, y agregar componentes cuantitativos de variables operativas como longitud de recorridos, cantidad de usuarios en zonas de espera. Lo anterior buscando una participación mayor de componentes de percepción de los usuarios, los cuales se tratan de canalizar a través de los profesionales de servicio al cliente.

Las diferentes alternativas se tratan de evaluar desde todos los componentes antes de ser implementadas, para evitar implementaciones sucesivas en campo que afecten el posicionamiento del servicio.

Para lograr lo anterior, se contó con una buena cantidad de información secundaria de la entidad (Encuesta de Movilidad 2015 para Cali y su área metropolitana, las bases de datos de Ingresos del Sistema -Usos-, Diseños operacionales de las rutas -Oferta de transporte-, el trazado de las rutas, dimensiones de los vehículos y la condición de localización de las puertas, encuestas para determinar los O/D al interior de la Terminal, los aforos peatonales y estudio de Frecuencia y Ocupación Visual -FOV- de los buses al interior de la TAS) y también información primaria tomada durante el desarrollo del presente estudio, la cual consideró aforos vehiculares en las intersecciones circundantes, tiempos de ciclo y sus fases de las intersecciones, condiciones de infraestructura a nivel y desnivel.

4.Estado del arte

Si bien la información es muy escasa sobre las transferencias en estaciones de integración y estaciones terminales, así como los efectos de los accidentes en las operaciones de sistemas de transporte, se hace una referencia de los documentos encontrados para tener una base de partida que permita efectuar los diferentes análisis sobre lo que se pretende lograr con el presente trabajo.

Con respecto de la relación entre infraestructura, condiciones operacionales y accidentes se encontró una buena cantidad de literatura que nos llevó a temas de seguridad vial, prevención, entre otros donde William Haddon encontró el primer modelo que relaciona los principales factores en las lesiones en accidentes de tránsito para minimizar sus consecuencias (Haddon, 1999). Esa visión integrada como Un Enfoque Sistémico relaciona el momento del accidente (FASES: antes, durante y después), con los factores más importantes, tal como se describe en la Tabla 1.

Tabla 1 - Matriz de HADDON

FASE (TIEMPO)		FACTORES		
		HUMANO	VEHÍCULO	ENTORNO
ANTES DEL CHOQUE	Prevención del accidente	Información Discapacidad de la reglamentación por la policía	Buen estado técnico Luces Frenos Maniobrabilidad Control de la velocidad	Diseño y trazado de la vía pública Limitación de la velocidad Vías peatonales Objetos
			DURANTE EL CHOQUE	Prevención de lesiones
DESPUÉS DEL CHOQUE	Conservación de la vida	Primeros auxilios Acceso a atención médica	Facilidad de acceso de incendio Riesgo	Servicios de socorro Congestión

Fuente: INFORME MUNDIAL SOBRE PREVENCIÓN DE LOS TRAUMATISMOS CAUSADOS POR EL TRÁNSITO. Matriz de Haddon.

Tal como se indica en el documento (Margie Peden, Richard Scurfield, David Sleet, Dinesh Mohan, Adnan A. Hyder, Eva Jarawan, 2004), la matriz de Haddon resultante simula el sistema dinámico y cada una de sus nueve celdas ofrece posibilidades de intervención para reducir las lesiones causadas por el tránsito (véase la Tabla 1).

Si bien esta información nos ayuda para evitar los accidentes desde la perspectiva de la salud pública, también hay que abordar el componente operacional que se ve

afectado por eventos, como la falta de disponibilidad de la flota que genera una caída en la calidad del servicio.

Como se indicó al inicio en la literatura revisada no se encontró gran cantidad de textos relacionados con el tema de transferencias, al parecer los temas de planeación en transporte se han enfocado en componentes macro, descuidando los tiempos de espera y las transferencias, tal como se indica en el trabajo de Kujala y su equipo (Kujala, Weckström, Mladenović, & Saramäki, 2018) visto desde el componente de accesibilidad, sin embargo, F. Alberto y G. Burgos en su artículo “Flujos peatonales en infraestructuras continuas: marco conceptual y modelos representativos, 2010” (Burgos, 2010), fundamentan la modelación de flujos peatonales en infraestructuras continuas con modelos sencillos, al realizar una analogía con la física de fluidos, relacionando tres variables macroscópicas de flujo (volumen, velocidad y densidad) que permiten determinar la capacidad teórica de la infraestructura, las características operativas del flujo y cuantificar el nivel de servicio percibido por el usuario.

El nivel de servicio es la herramienta mediante la cual se determina la percepción del usuario respecto de un servicio particular, para este caso se han encontrado algunas referencias importantes como el TCRP (por sus siglas en inglés) que presenta la metodología a través de las diferentes investigaciones adelantadas por el Programa de Investigación Cooperativa de Transporte (Tcqsm, 2013). El TCRP fue iniciado en 1992 por tres organizaciones cooperantes; *Transit Federal Administration (Patrocinadora)*, *Transit Development Corporation*, una organización educativa y de investigación sin fines de lucro y las academias nacionales de Ciencias, Ingenierías y Medicina para Estados Unidos. Las investigaciones relacionan todos los aspectos del transporte público, incluido: planificación, configuración del servicio, equipamiento, instalaciones, operaciones, recursos humanos, mantenimiento, entre otros aspectos. Esta herramienta permite evaluar la condición de operación de los espacios peatonales.

También se debe tratar de converger las diferentes condiciones y deseos de los diferentes actores estudiados (Usuarios, Ente Gestor y Autoridad) para mantener un equilibrio adecuado entre los costos y la masificación del servicio, con buen nivel de calidad del mismo, tratando de llevar la movilidad de la Ciudad hacia una movilidad sostenible.

Para llegar a este planteamiento se buscan medidas que mejoren la experiencia del usuario, que según los estudios que han sido adelantados por otros autores (Alfonzo,

2005) y (Zurawik, 2014), se pondera en los siguientes cinco Factores para tomar la decisión de caminar: *Posibilidad, Accesibilidad, Seguridad, Confort y Atractivo*. Así como su orden de aplicación, por cuanto si se logra brindar desde la accesibilidad (la cual es básicamente desde la infraestructura y el entorno dónde y cómo se implementa) se puede lograr llegar a los demás factores, seguridad, confort y atractivo, tal como se indica en el trabajo *La calidad peatonal como método para evaluar entornos de movilidad urbana* (Talavera-garcia, Soria-lara, & Valenzuela-montes, 2014). Lo anterior pretende reducir la fricción de los diferentes usuarios dentro de un entorno de movilidad, tal como se pretende realizar al interior de la Terminal de Andrés Sanín. En la Figura 3 se presentan según (Alfonzo, 2005), la Jerarquía de necesidades para caminar.



Figura 8 – Jerarquía de necesidades para caminar.
Fuente: Adaptado de (Alfonzo, 2005)

Cada uno de esos factores se podría explicar de la siguiente forma: **Posible**; que se pueda efectuar la caminata entre los puntos sin que existan barreras para hacerlo, siendo el tiempo también un factor dominante. **Accesibilidad**; está asociado a la facilidad con que los usuarios llegan a las diferentes paradas y realizan los intercambios entre ellas cuando se requiere. **Seguridad**; como aporte de la reducción de los riesgos físicos del usuario ante elementos que afecten su integridad (sean accidentes con los vehículos o eventos de seguridad ciudadana) los cuales los afectan al momento de los intercambios entre plataformas a nivel, o el caso de seguridad ciudadana cuando no existen condiciones adecuadas de iluminación que fomentan

posibles eventos de delincuencia común al interior. **Confortabilidad**; factor principalmente asociado a la condición climática (sol, lluvia, temperatura), sin embargo, también se han incluido aspectos como ruido y contaminación, así como la conveniencia del individuo. **Placentero**; en este caso el autor de *La calidad peatonal como método para evaluar entornos de movilidad urbana* (Talavera-garcia et al., 2014), lo centra en el espacio público, de comercio y paisaje para interactuar, mientras que en el presente trabajo se relacionará solo con la imagen del SITM, Metro Cali S.A. ha incluido algunos aspectos artísticos tanto en los muros como artistas callejeros dentro del túnel, dando así un mejor aspecto que simplemente la infraestructura física de conexión.

Sin embargo, es posible que los niveles de necesidades en la jerarquía no siempre procedan en el orden correcto, o que el orden se invierta para algunos niveles, por ejemplo, cuando las personas se ven privadas de la necesidad de tiempo prolongado, pueden excluirlo de la jerarquía y satisfacer las mayores necesidades. Además, caminar puede estar motivado por varias necesidades de diferentes niveles de jerarquía. (Alfonzo, 2005).

Para conjugar las variables anteriores de forma que sea más fácil determinar los aspectos tangibles iniciales (posibilidad, accesibilidad y seguridad) se plantea el uso de modelos digitales, tal como lo menciona (Goyanes, Senior, & Ruiz, 2016) en su artículo “La Modelización peatonal como herramienta para la mejora del espacio urbano”, el análisis dinámico también ayuda a definir diseños que minimicen los tiempos de espera en la formación de colas peatonales sin eliminar la necesidad de realizar cálculos estáticos; convirtiendo así el análisis estático y dinámico en un ciclo iterativo. Ver Figura 9.



Figura 9 - Proceso de validación preliminar y final del diseño de un espacio urbano
Fuente: (Goyanes, Senior, & Ruiz, 2016)

Estas herramientas son importantes porque apoyan la toma de decisiones para mejorar la condición del nivel de servicio, con unas pocas variables que se abordarán en el presente trabajo con modelos de simulación de este tipo. Para adelantar las evaluaciones en el presente trabajo se ha encontrado que en el mercado existe una buena cantidad de software, que permiten modelar el comportamiento peatonal bajo diferentes ambientes, sin embargo, muchos de ellos requieren varios procesos de configuración, encontrando que la herramienta más simple para el usuario de ésta, es la desarrollada por PTV Group², por tanto para el presente trabajo se contará con el software de modelación peatonal PTV VISWALK interactuando al tiempo con el software de modelación vehicular PTV VISSIM, los dos en conjunto (PTV VISION) permitirán obtener un mayor campo de análisis sobre el comportamiento integral de la Terminal Andrés Sanín. Esta herramienta ha sido aportada para el presente proyecto por PTV Group como parte del apoyo para trabajos académicos.

En especial PTV VISWALK ha incluido un desarrollo de una teoría presentada por dos alemanes (Helbing & Molnár, 1995), *que sugieren que el movimiento de los peatones se puede describir como si estuvieran sujetos a "fuerzas sociales". Estas "fuerzas" no son ejercidas directamente por el entorno personal de los peatones, pero son una medida de las motivaciones internas de los individuos para realizar ciertas acciones (movimientos). Primero, un término que describe la aceleración hacia la velocidad deseada de movimiento. Segundo, parámetros que reflejan que un peatón se mantiene a cierta distancia de otros peatones y fronteras. En tercer lugar, un factor modelado de efectos atractivos. Las ecuaciones de movimiento resultantes son ecuaciones de Langevin³ acopladas no linealmente. Las simulaciones por computadora de multitudes de peatones que interactúan muestran que el **modelo de fuerza social** es capaz de describir la auto-organización de varios efectos colectivos observados del comportamiento peatonal de manera muy realista.*

Adicionalmente en un proceso donde convergen varios componentes, algunos cualitativos y otros cuantitativos, que no son de fácil relacionamiento, es difícil adoptar una solución, dadas las variables involucradas que eventualmente son divergentes; requiriendo aplicar procesos de evaluación multicriterio que permita, de alguna forma

² PTV Group es una empresa alemana que ha desarrollado software para la optimización de la planeación de la movilidad desde 1979. <https://www.ptvgroup.com/es/ptv-group/perfil-de-la-compania/>, Lleva las siglas de Planificación del Tránsito del Transporte en alemán (Planung Transport Verkehr).

³ En física, la ecuación de Langevin (llamada así por Paul Langevin) es una ecuación diferencial estocástica que describe la evolución temporal de un subconjunto de los grados de libertad.

cuantitativa calificar cada una de las alternativas evaluadas, con lo que se logra una solución integral y equilibrada, según los criterios que sean seleccionados por los expertos para llegar al objetivo deseado. Para esta evaluación se ha considerado apropiado aplicar el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés - Analytic Hierarchy Process-) desarrollado por Thomas L Saaty en 1980, tal como lo indica en su artículo “Decision making with the analytic hierarchy process” (Saaty, 2008), es una herramienta efectiva para manejar decisiones complejas, y puede ayudar a tomar decisiones al establecer prioridades, al reducir las decisiones complejas a una serie de comparaciones por pares y luego sintetizar los resultados.

Es importante resaltar que el comportamiento de los actores viales de la Terminal Andrés Sanín -TAS- (usuarios al interior de la TAS, conductores de los buses del MIO, personal de apoyo en la operación y la infraestructura) es muy influyente en el resultado general, es decir, las personas que circulan a través de la TAS, influyen en el resultado operativo de la misma. Es por esto que el contar con alta cultura (respecto del adecuado uso de la TAS y del SITM – MIO y del cumplimiento de las normas) es importante para lograr operaciones exitosas sin riesgos (seguridad física y confiabilidad operativa) en los menores tiempos posibles, ya que garantizar la seguridad del peatón interactuando con los vehículos requiere de especial atención, por cuanto el comportamiento humano no es estándar, ni siquiera en los diferentes puntos de una misma ciudad. Dentro del trabajo “*Aportaciones a las ciencias de la salud: El comportamiento peatonal arriesgado de chilenos y brasileros*” desarrollado por (Moyano-Díaz, Torquato, & Bianchi, 2014), se evidencia la importancia de la identificación de las causas reales para lograr el cumplimiento de la norma y las campañas focalizadas para tratar este tipo de dificultades. Los autores dentro de su trabajo se basan en el Driving Behavior Questionnaire (DBQ), el cual fue desarrollado por Reason y su equipo de la Universidad de Manchester en 2009 (Li, Shi, & Liu, 2017), (López-de-cózar, Molina, & Chisvert-Perales, 2006). Para el caso del SITM – MIO es importante plantear soluciones que mejoren el desempeño interno y que no ponga en riesgo la continuidad de viaje de los usuarios dentro del sistema.

El brindar una solución a través de infraestructura seguramente reduce el riesgo, sin embargo, si ésta infraestructura no es atractiva al usuario, es probable que éste opte por otro camino (Alfonzo, 2005), por cuanto éste podría cambiar de modo de transporte. La infraestructura por sí sola no brinda la solución, teniendo en cuenta que mantener aislados los modos (peatón y vehículo) requiere de mayores costos de inversión y mantenimiento, así como el incremento del tiempo de viaje del usuario para

los intercambios que deben brindarse en el SITM – MIO. Por otra parte, una mayor flexibilidad para los peatones dentro de la Terminal (lo que supondría una mejor experiencia del usuario al interior), puede facilitar la generación de comportamientos inadecuados de los mismos. Por tanto, es importante siempre acompañar con mayores niveles de cultura (educación sobre el uso) y control de los actores viales al interior de la TAS, dado que la falta de éstos conllevaría al incremento de las transgresiones.

Para plantear una solución que brinde equilibrio entre los costos de infraestructura que permiten segregar los modos y la facilidad (accesibilidad) de los peatones, se debe evaluar, con respecto a las condiciones básicas, para determinar si es necesario complementar con infraestructura.

5. Metodología

Para abordar el alcance del proyecto se analizó la información secundaria que tiene Metro Cali S.A., sobre los aforos peatonales a nivel, a desnivel y las encuestas origen-destino, realizados en los meses de junio y julio de 2017 antes de la instalación de la reja en el separador central entre la plataforma 2 (servicios pretroncales) y la plataforma 3 (servicios troncales) de la Terminal Andrés Sanín. Adicionalmente, realizar toma información primaria que se requiere para complementar la información secundaria, con el fin de dimensionar el problema, en cuanto a tiempo de caminatas y volúmenes en las diferentes conexiones que se dan entre los servicios prestados en la Terminal y en las intersecciones cercanas a la Terminal.

Se realizó el respectivo procesamiento y análisis de la información, con la cual se efectuó la construcción y evaluación de escenarios para mitigar la problemática operativa actual. Para ello se tuvieron en cuenta criterios como:

- Reducción de entrecruzamientos entre plataformas.
- Cantidad de cambios en rutas.
- Balance de usuarios en plataformas.
- Capacidad de paradas.
- Longitudes de recorrido al interior de la Terminal.
- Ahorro en tiempos peatonales.
- Reducción de los puntos de conflicto.

De igual manera, se determinaron los niveles de servicio en plataformas, túneles y demás tramos usados por los peatones dentro de la terminal (especialmente transferencias).

La evaluación del impacto del proyecto y el cumplimiento del objetivo, se realizó a través de indicadores, tomando como línea base los resultados de la información primaria y secundaria, priorizando las alternativas de solución planteadas a través de una evaluación multicriterio.

Posterior a esta evaluación se validó la capacidad de las paradas (vehicular y peatonal) de la solución planteada, por cuanto, la construcción de las alternativas fue productiva, obteniendo un gran número de combinaciones a ser evaluadas y consecuentemente un alto esfuerzo para lograr una propuesta de Diseño Operacional detallada al interior de la TAS, conforme la disponibilidad de la infraestructura responda a cada una de

ellas. Por tanto, esta evaluación de capacidad de paradas se efectuó sobre el escenario priorizado resultante.

Finalmente se efectuó la simulación de los diferentes escenarios con la herramienta VISION (VISSIM y VISWALK) para determinar, entre otros indicadores, la fricción peatonal en los intercambios y nivel de servicio de las plataformas peatonales.

5.1. Actividades metodológicas

- a) Analizar la Información secundaria levantada por Metro Cali S.A., compuesta por aforos peatonales y encuestas que se efectuaron dentro del estudio que se adelanta para la optimización de la operación interna.
- b) Realizar la recolección de información primaria y secundaria: Aforos de cruces peatonales a nivel y desnivel, encuestas origen destino (al interior de la Terminal) a usuarios del Sistema, estudios de frecuencia y ocupación visual – FOV (salida) que permitan expandir la muestra.
- c) Realizar el diagnóstico de la situación actual que permita evidenciar la magnitud del problema.
- d) Formular y analizar posibles escenarios de solución de problema identificado.
- e) Evaluar la viabilidad de las mejores alternativas, mediante matriz multicriterio, apoyados en el proceso de análisis jerárquico.
- f) Realizar la evaluación integral al interior de la Terminal con la ayuda del uso del modelo de microsimulación PTV – VISWALK que actúa junto con PTV – VISSIM.

5.2. Descripción de la Información Secundaria suministrada por Metro Cali S.A.

Aforos a nivel: Los estudios de aforo peatonal a nivel entre las plataformas centrales de la Terminal se realizaron entre el 09 y 12 de junio de 2017 para los periodos pico de la mañana y la tarde en los períodos de 5:30 am a 8:30 am y de 5:00 pm a 7:30 pm.

Con el fin de cuantificar el 100% de los usuarios que cruzan a nivel en las horas pico mencionadas, el separador central se dividió espacialmente en tres (3) zonas y para

cada una de ellas se asignaron dos (2) aforadores, uno para cada sentido peatonal, para un total de 6 personas realizando el aforo a nivel. Ver Figura 10.

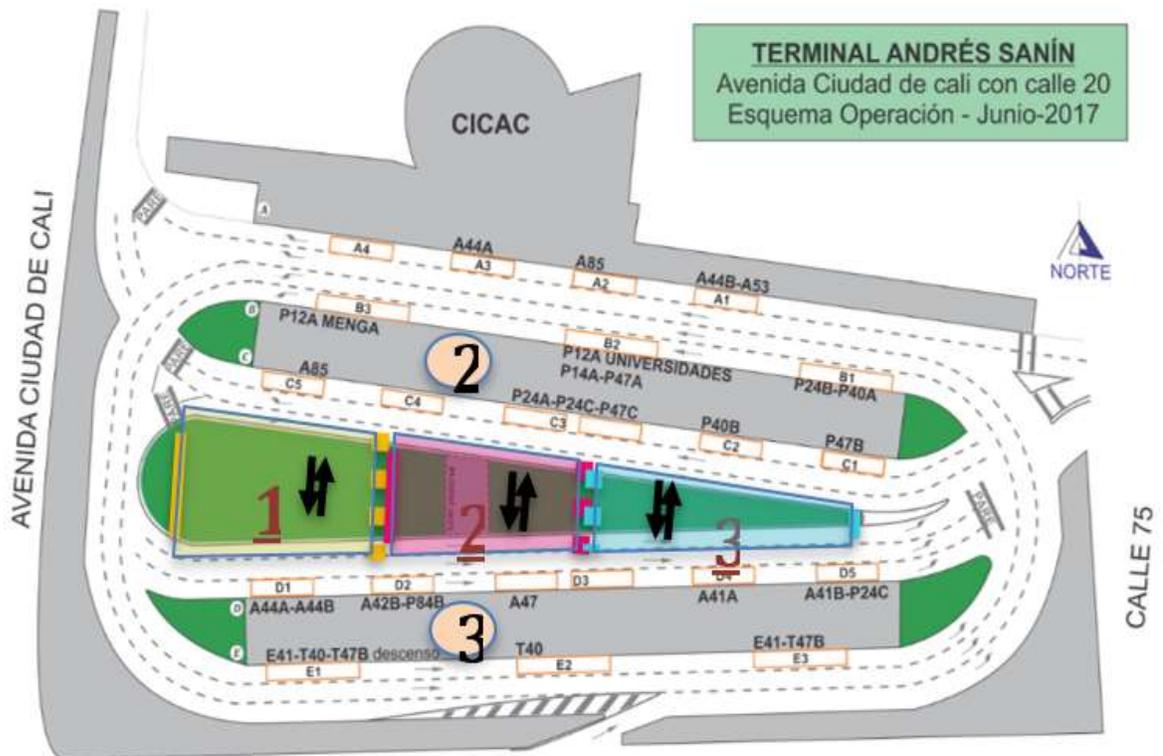


Figura 10 – Distribución aforos a nivel
Fuente: Metro Cali. S.A. Elaboración propia

Aforos a desnivel: Los estudios de aforo peatonal a desnivel entre las plataformas centrales de la Terminal se realizaron de manera simultánea con los aforos a nivel.

Con el fin de cuantificar el 100% de los usuarios que cruzan por el túnel peatonal en las horas pico de la mañana y de la tarde, se tomó el registro de todos los movimientos que hay al interior del túnel y que tienen relación con las necesidades de entrecruzamientos entre plataformas. Ver Figura 11.

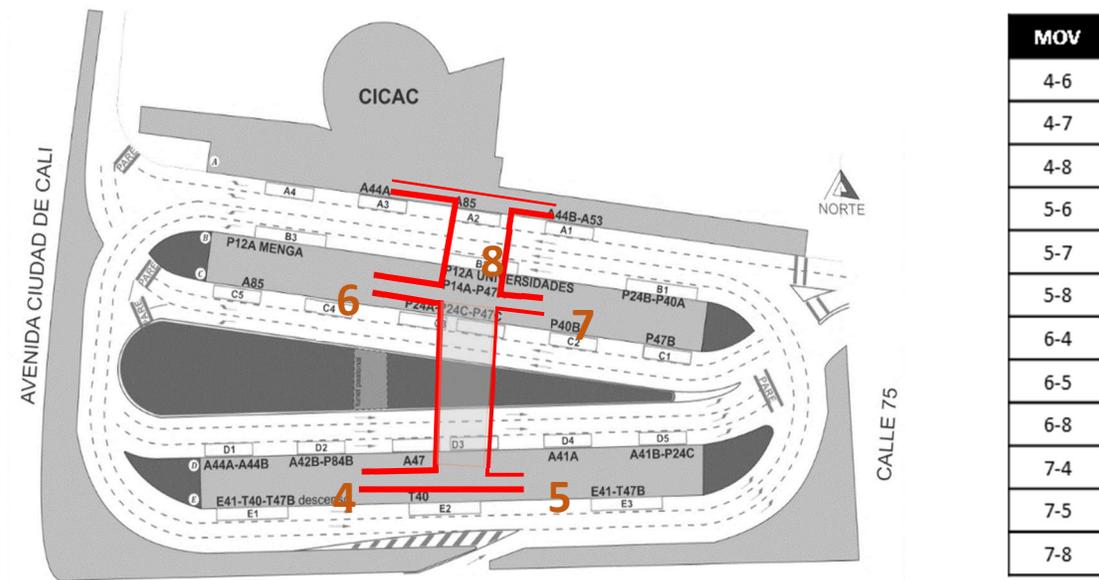


Figura 11 – Distribución aforos a desnivel
Fuente: Metro Cali. S.A. Elaboración propia

Encuestas Origen – Destino al interior de la Terminal: Los estudios de encuestas se realizaron entre el 13 de junio y el 05 de julio de 2017 para las horas pico de la mañana y la tarde de 5:30 am a 8:30 am y de 5:00 pm a 7:30 pm.

Las encuestas se tomaron para una muestra representativa de usuarios, a los cuales se les registró la ruta en la cual llegaron a la Terminal y la ruta que abordarían en su transferencia. Simultáneamente se realizaron estudios de Frecuencia y Ocupación Visual FOV con el fin de expandir la muestra de la encuesta tomada. Ver Figura 12.

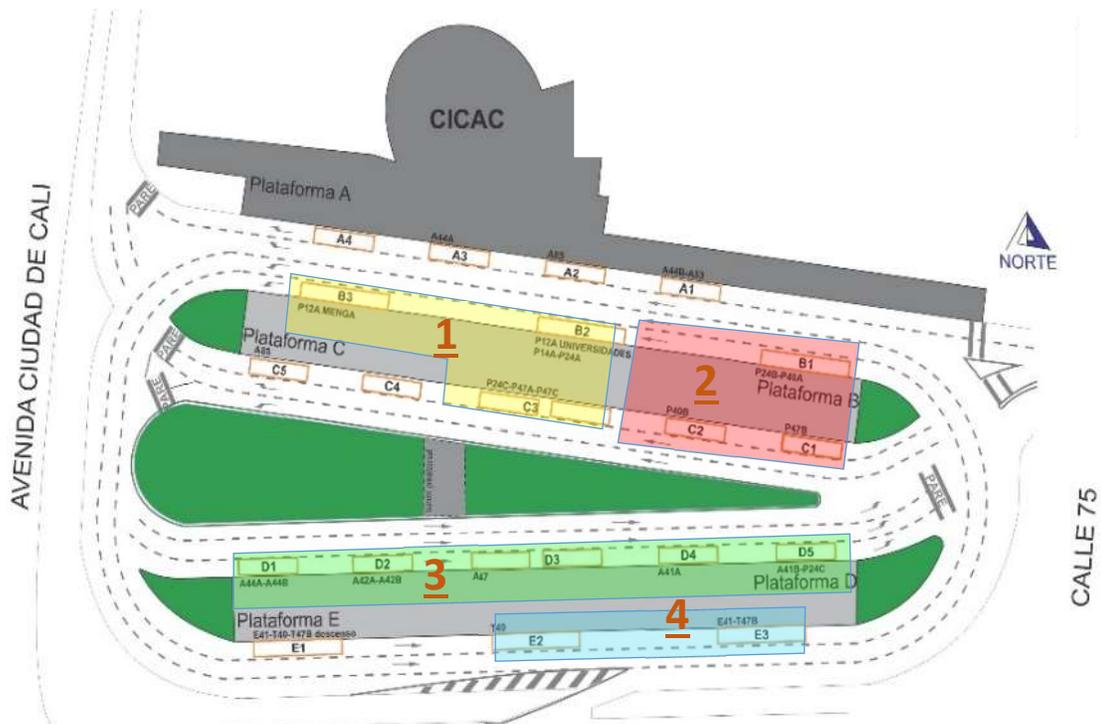


Figura 12 – Sitios donde se realizaron las encuestas Origen/Destino
Fuente: Metro Cali. S.A. Elaboración propia

Registro fílmico y fotográfico: Como apoyo visual y para dejar evidencia de la problemática de pasos a nivel y desnivel, así como la necesidad de conexiones de servicios entre las rutas que se prestan entre las dos plataformas centrales, se elaboró un video que registra el comportamiento de los usuarios al pasar de una plataforma a otra tanto a nivel como a desnivel.

5.3. Información primaria

Para complementar la información secundaria suministrada por Metro Cali S.A. se registró información sobre los volúmenes de vehículos de las intersecciones que permiten el ingreso y la salida de los buses a la terminal, con el fin de efectuar la calibración del modelo y evaluar los posibles impactos por congestión que puedan sufrir los buses en la operación. En la Figura 13 se observa el detalle de los flujos que fueron levantados.



Figura 13 – Estudio de aforos vehiculares. Localización e identificación de movimientos
Fuente: Elaboración propia apoyado en imágenes de Google

De los movimientos aforados que se indican en la Figura 13, los movimientos 6, 7, 8 y 10 son movimientos exclusivos de buses del SITM – MIO. Mientras que en los otros movimientos se encuentran todo tipo de vehículos por ser movimientos con infraestructura de uso mixto.

Para la evaluación de la intersección se hizo un pequeño análisis sobre la comparación entre volúmenes de vehículos y pasajeros, con el objeto de tener una mejor percepción del uso de la infraestructura total en términos de vehículos y pasajeros.

5.4. Formulación de cada escenario.

Con el análisis de la información levantada en campo y luego de realizar el respectivo diagnóstico de operación de la Terminal, enfocada al usuario, se construyó inicialmente un primer grupo escenarios que permitan mitigar la problemática

identificada. Para ello se tuvieron en cuenta las diferentes variables e información como:

- Cantidad de usuarios existentes en un momento dado en cada plataforma.
- Cantidad de usuarios que requerían conectarse con rutas de la misma plataforma.
- Cantidad de usuarios que requerían conectarse con rutas de otra plataforma.
- Cantidad de cambios en rutas.
- Cuantificación de variaciones en longitudes de recorridos al interior de la Terminal por parte de los vehículos.

La información anterior se obtiene de los registros de FOV y Matrices Origen y Destino de los viajes al interior de la TAS.

Los escenarios generados contemplan variaciones en la operación actual de las rutas como:

- Reubicación de paradas en las plataformas. No se consideró incluir dentro de esta configuración las rutas que operan en la plataforma 1, porque estas atienden sectores que hoy registran una fuerte venta de integraciones y que, por lo tanto, para evitar este fenómeno las rutas llegan a una zona no paga.
- Prestación del servicio de determinada(s) ruta(s) en las dos (2) plataformas centrales.
- Prestación del servicio de determinada(s) ruta(s), rutas con operación dividida en las plataformas centrales.

Con base en la primera información se debe hacer la evaluación con el grupo multidisciplinario de tal forma que pueda ser considerada la variación de los escenarios iniciales o la creación de nuevos escenarios para lograr un mejor resultado.

5.5. Evaluación multicriterio con AHP.

5.5.1. Descripción General del Proceso

Tal como se indicó anteriormente el Proceso de Análisis Jerárquico -AHP- (por sus siglas en inglés), permite tomar decisiones de una forma más simple en los casos de toma de decisiones complejas, en donde se involucran varios criterios o variables que hacen difícil adoptar una solución. El AHP, a través de criterios predefinidos que pueden ser cualitativos y/o cuantitativos, establece prioridades reduciendo las

decisiones a una serie de comparaciones por pares, simplificando los resultados y evitando errores por subjetividad. Este método permite verificar la consistencia de las evaluaciones, reduciendo el sesgo en el proceso.

El AHP se podría entender como una evaluación cruzada entre los diferentes criterios evaluados para cada uno de los escenarios o alternativas a evaluar, entre las cuales se quiere determinar la priorización de aplicación de éstas, según los criterios indicados inicialmente.

Para cada uno de los criterios que sean definidos se aplicará la evaluación de la jerarquización. Esto lo hará a partir de la comparación en parejas de los diferentes criterios que deben ser efectuados por los expertos, como resultado de esta comparación se obtiene un puntaje para cada criterio logrando la priorización de los mismos.

Por último, el AHP combina los ponderadores de los criterios y los resultados de la evaluación de cada alternativa, obteniendo una puntuación global para cada una y por consiguiente una clasificación de priorización. Esta puntuación se obtiene al efectuar la suma ponderada de la puntuación de las alternativas con respecto a todos y cada uno de los criterios.

5.5.2. Aplicación del Proceso

El proceso se aplica en seis (6) pasos, tal como lo indica (Bhushan & Rai, 2004):

- a) Definición de los criterios.
- b) Comparación por pares de los criterios.
- c) Generación de matriz de comparación de criterios
- d) Determinación del vector de prioridad.
- e) Evaluación de la consistencia.
- f) Clasificación/priorización de las alternativas.

A continuación, se presenta una breve descripción para la aplicación del Proceso de Análisis Jerárquico.

- a) Definición de los criterios.

Esta es la parte más importante y creativa del proceso, por cuanto se trata de definir los criterios que satisfacen la evaluación y que serán considerados por los expertos que efectuarán la valoración, es recomendable consolidar en la menor cantidad posible estos criterios, dado que a mayor cantidad de criterios el ejercicio crecerá de forma exponencial en su evaluación y aplicación.

b) Comparación por pares de los criterios.

Para desarrollar este paso, se efectúa una recolección de datos de los expertos, donde de forma esquemática (ver Figura 14 – Formato de comparación por pares) se pueda realizar la comparación de los criterios entre sí, un par a la vez, siendo el criterio A versus el criterio B, de la siguiente forma:

Criterio A	Extremadamente fuerte	Muy, muy fuerte	Muy Fuerte	Mas Fuerte	Fuerte	Mas Moderado	Moderadamente fuerte	Débil o leve	Igual	Débil o leve	Moderadamente fuerte	Mas Moderado	Fuerte	Mas Fuerte	Muy Fuerte	Muy, muy fuerte	Extremadamente fuerte	Criterio B
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	
Criterio 2						X												Criterio
Criterio 3							X											Criterio
Criterio 3									X									Criterio
Criterio 4							X											Criterio
Criterio 4										X								Criterio
Criterio 4										X								Criterio
Criterio 5															X			Criterio
Criterio 5														X				Criterio
Criterio 5																X		Criterio

Figura 14 – Formato de comparación por pares
Fuente: Adaptado a partir de (Bhushan & Rai, 2004)

En el caso ilustrado en la Figura 14, se tiene en la primera comparación el Criterio 2 (Criterio A) versus el Criterio 1 (Criterio B), siendo el Criterio 2 moderadamente más fuerte que el Criterio 1, en este caso se ha planteado una calificación intermedia entre Fuerte (5) y Moderadamente Fuerte (3), esto es una calificación (4), siendo los números pares calificaciones intermedias como lo define el autor, tal como se indica en la Tabla 2 - La escala fundamental de la intensidad de los números absolutos según SAATY, se transforman en valores, conforme los criterios (Saaty, 2008).

Tabla 2 - La escala fundamental de la intensidad de los números absolutos según SAATY

Intensidad de la Importancia	Definición	Explicación
1	Igual de importantes	Dos actividades contribuyen igualmente al objetivo
2	Débil o leve	Valor intermedio
3	Moderadamente Fuerte	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente una actividad sobre otra
4	Más moderada	Valor intermedio
5	Fuerte	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente una actividad sobre otra
6	Mas fuerte	Valor intermedio
7	Muy fuerte o demostrada	Una actividad se favorece muy fuertemente sobre otra; Su dominio demostrado en la práctica.
8	Muy, muy fuerte	Valor intermedio
9	Extremadamente fuerte	La evidencia que favorece una actividad sobre otra es del orden más alto posible de afirmación

Fuente: Toma de decisiones con el proceso de jerarquía analítica. (Saaty, 2008)

c) Generación de matriz de comparación de criterios.

Con la evaluación efectuada del paso anterior (b), de los expertos y según sus criterios, se obtienen las comparaciones por pares. El valor de los elementos de la diagonal de la matriz es de 1. Los elementos que tienen valores mayores que 1 se incorporan directamente en la matriz. En el ejemplo se tiene que el Criterio 2 es Moderadamente más Fuerte que el Criterio 1, por tanto, su valor es de 4 en el elemento (2,1), mientras que para el elemento (1,2) su valor será el recíproco (1/4). Los resultados de estas operaciones se presentan en la Tabla 3 – Matriz de comparación de criterios.

Tabla 3 – Matriz de comparación de criterios

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	1/4	1/3	1/3	7
C2	4	1	2	3	7
C3	3	1/2	1	3	6
C4	3	1/3	1/3	1	4
C5	1/7	1/7	1/6	1/4	1
Σ	11,14	2,23	3,83	7,58	25,00

Fuente: Elaboración propia

d) Determinación del vector de prioridad

El vector de prioridad es el mismo vector propio normalizado, el cual da la importancia relativa de los criterios analizados, luego de la creación de la matriz de comparación por pares descritas en el paso anterior (c), El cálculo de cada elemento se efectúa como la relación entre el valor del elemento dividido por la sumatoria de los elementos de su columna, esto es que para el elemento (2,1) sería así; $4 [tabla 3] / 11,14 [tabla 3] = 0,36 [tabla 4]$.

Tabla 4 – Matriz de comparación de criterios normalizada

	C1	C2	C3	C4	C5	Promedio
C1	0,09	0,11	0,09	0,04	0,28	12,3%
C2	0,36	0,45	0,52	0,40	0,28	40,1%
C3	0,27	0,22	0,26	0,40	0,24	27,8%
C4	0,27	0,15	0,09	0,13	0,16	16,0%
C5	0,01	0,06	0,04	0,03	0,04	3,9%

Fuente: Elaboración propia

El vector columna resultante del promedio es el vector de priorización de los criterios. Estos resultados serán los que determinan el orden de importancia que resultó de la evaluación por pares. Se determina como el promedio de cada uno de los elementos de la fila, para el caso del criterio 2 (C2), $(0,36 + 0,45 + 0,52 + 0,40 + 0,28) / 5 = 0,401$.

e) Evaluación de la consistencia.

De acuerdo con lo indicado por Saaty, debe haber consistencia en la comparación, la cual estimó adecuada con valor máximo de 10%, que se determina mediante el Indicador de Consistencia (CI) de la siguiente forma:

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$$

donde λ_{max} es el valor propio máximo de la matriz de criterios. Este IC debe compararse con el Índice Aleatorio (RI). La relación derivada, CI / RI , se denomina relación de consistencia (CR). Saaty sugiere que el valor de CR debería ser menor a 0.1, y en caso de que CR supere este valor, debería efectuarse la revisión de la comparación, hasta lograr que el CR sea menor al 10%. En la Tabla 5 se presentan los vectores de valores del Índice Aleatorio (RI).

Tabla 5 – Vectores valores del Índice Aleatorio (RI)

Tamaño de la Matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice Aleatorio (RI)	-	-	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fuente: Toma de decisiones con el proceso de jerarquía analítica. (Saaty, 2008)

Tabla 6 – Vectores de Prioridad, Ponderado y Consistencia

	Vector Prioridad	Vector Ponderado	Vector Consistencia
C1	12,3%	0,640	5,22
C2	40,1%	2,197	5,48
C3	27,8%	1,557	5,60
C4	16,0%	0,908	5,69
C5	3,9%	0,200	5,16

Fuente: Elaboración propia

El vector de prioridad se obtiene como el promedio de los elementos por cada fila (Tabla 4 – Matriz de comparación de criterios normalizada).

El vector ponderado se obtiene como el producto del vector de prioridad con la matriz de calificación (Tabla 3 – Matriz de comparación de criterios).

El valor de $\lambda_{\text{máx}}$ puede ser tomado como el promedio del Vector de Consistencia, arrojando un valor de 5,43 para el ejemplo planteado.

$$CI = (5,43 - 5) / (5 - 1) = 0,11$$

$$RC = CI / RI = 0,11 / 1,12 = 9,6\%$$

Lo que arroja que la evaluación de los criterios es consistente, porque el factor RC es menor que 10%.

f) Priorización de las alternativas

Para las alternativas a evaluar se debe efectuar el mismo procedimiento de los pasos (b), (c), (d) y (e), para las determinar la prioridad de las alternativas respecto de cada uno de los criterios planteados (b). Para el presente ejemplo se han dejado cuatro alternativas.

Alternativa A	Extremadamente fuerte		Muy Fuerte		Fuerte		Moderadamente fuerte		Igual		Moderadamente fuerte		Fuerte		Muy Fuerte		Extremadamente fuerte	Alternativa B
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	
Alt2																		Alt1
Alt3																		Alt1
Alt3																		Alt2
Alt4																		Alt1
Alt4																		Alt2
Alt4																		Alt3

Figura 15 – Formato para realizar la comparación por pares para cada alternativa respecto de cada Criterio

Fuente: Adaptado a partir de (Bhushan & Rai, 2004)

Se obtiene la matriz de comparación de alternativas (c) y vector de prioridad de alternativas respecto de cada uno de los criterios (d).

Tabla 7 – Matriz de comparación de alternativas respecto de cada criterio

C1	Alt1	Alt2	Alt3	Alt4	Promedio
Alt1					
Alt2					
Alt3					
Alt4					

Fuente: Elaboración propia

Se determina la consistencia de esta evaluación, considerando lo recomendado por Saaty.

Con los resultados obtenidos (vectores de prioridad) de cada alternativa respecto de cada criterio, se construye una matriz de resultados donde quedaría en las filas las alternativas y en las columnas los criterios.

Tabla 8 – Matriz de evaluación de alternativas respecto de cada criterio

Evaluación	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Alt1				
Alt2				
Alt3				
Alt4				

Fuente: Elaboración propia

Esta matriz se multiplica por el vector de prioridad de criterios, obteniendo la priorización de las alternativas evaluadas.

5.5.3. Consideraciones particulares para el presente trabajo

Para la aplicación de esta metodología en el presente trabajo, es pertinente hacer algunas aclaraciones sobre el perfil de los profesionales y el desarrollo de la evaluación efectuada por cada uno de los diferentes profesionales que participaron.

Para la conformación del grupo de calificación, se buscó que los profesionales que participaran, por una parte, representaran los intereses de los usuarios de forma técnica y por otra parte los intereses de la Entidad, buscando la mejora del servicio, sin que representara mayores traumatismos en la implementación.

Profesionales participantes

- Grupo de trabajo de la Dirección de Operaciones de Metro Cali S.A.
 - Profesional. Ingeniero Civil, realizar las evaluaciones necesarias para lograr la implementación de la planeación táctica.
 - Profesional especializado. Ingeniero Civil (con maestría en Ingeniero Civil con énfasis en transporte), cuya función es la realizar la planeación táctica del Sistema MIO.
 - Jefe de Oficina de Planeación de la Operación. Ingeniero Civil (con especialización en transporte público y maestría en ingeniería de tránsito y transporte), su principal función es la de proponer las estrategias para la planeación táctica y operativa de las rutas del Sistema MIO.
 - Director de Operaciones. Ingeniero Civil (con experiencia en infraestructura y operaciones de transporte en sectores público y privado), su principal función es la de velar por la adecuada y continua operación del sistema.
- Grupo de trabajo de la Dirección Comercial y Servicio al Cliente.
 - Jefe Oficina Mercadeo y Servicio al Cliente, Administrador de Empresas cuya función es adoptar estrategias para mantener y atraer usuarios al sistema.
 - Director Comercial y Servicio al Cliente, Administrador de Empresas (con especialización en mercadeo estratégico), cuya función es liderar proyectos de campaña de cultura ciudadana y lograr la comercialización del servicio y los sistemas de atención al usuario.
- Vicepresidencia de Operaciones e Infraestructura.

- Vicepresidente de Operaciones e Infraestructura, Ingeniero Civil (especialista en infraestructura vial y de transporte) quien conoce el detalle de la infraestructura y la operación del sistema y propende por mantener un adecuado equilibrio entre la infraestructura y la operación del mismo.

Aplicación de la metodología

Una vez se identifica la necesidad de evaluar criterios disímiles que requieren una mirada desde perspectivas que permitan reflejar al usuario dentro de un marco técnico, y desde los criterios teóricos con la perspectiva de diferentes profesionales involucrados en la operación, se adopta la metodología AHP por cuanto esta permite simplificar la toma de decisiones para este tipo de oportunidades con la dificultad de los criterios disímiles y reduce los errores de evaluación por la subjetividad que podría tener sin la aplicación del método.

Se construyó un formato para evaluación de cada uno de los profesionales participantes pueda efectuar la calificación de acuerdo con sus criterios, previa la explicación de la metodología. Una vez calificados se consolidan los resultados y se obtiene una calificación unificada, la cual es el resultado final.

Cada uno de los resultados parciales y consolidados se presentan en el presente trabajo.

6. Plan de trabajo

Conforme se ha avanzado en los trabajos de campo, procesamiento y análisis de información, y construcción del presente documento, se adjunta el siguiente cronograma para permitir efectuar seguimiento de las actividades proyectadas.

En el siguiente cuadro se presentan detalladas las actividades para la culminación del presente estudio.

Tabla 9- Cronograma del plan de trabajo

Detalle	Días	Fecha Ini	Fecha Fin
Verificación de página para inscripción de investigaciones			
Levantamiento información			
Información secundaria 1- PASAJEROS/DEMANDA (SECUNDARIA) 2- CONTEO PEATONES (SECUNDARIA) 3- ENCUESTAS PEATONES (SECUNDARIA) 4- FOV INTERNA DE BUSES MIO (SECUNDARIA)	15	23/07/2018	6/08/2018
Aforos vehiculares y caracterización (Información Primaria)	6	12/11/2018	17/11/2018
Levantamiento de tiempos se ciclo semáforos entorno, caracterización de infraestructura (Información Primaria)	6	12/11/2018	17/11/2018
Modelo simulación			
Visita campo para validar comportamiento de usuarios de vehículos	2	14/01/2019	16/01/2019
Visita campo para validar comportamiento de peatones dentro de las plataformas	1	21/01/2019	22/01/2019
Procesamiento de información de intersecciones	18	26/01/2019	13/02/2019
Construcción y calibración del escenario base	50	14/03/2019	3/05/2019
Revisión calibración	2	3/05/2019	5/05/2019
Ajustes calibración	5	5/05/2019	10/05/2019
Calibración del escenario base final	8	10/05/2019	18/05/2019
Construcción de escenarios para evaluar	41	18/05/2019	28/06/2019
Procesamiento de información resultante	14	28/06/2019	12/07/2019
Análisis de los resultados	14	12/07/2019	26/07/2019
Construcción de resultados según los análisis anteriores engranados con las otras evaluaciones adelantadas del trabajo	25	26/07/2019	20/08/2019
Inclusión en el documento final los resultados anteriores	20	20/08/2019	9/09/2019
Ajuste de conclusiones totales del documento	12	9/09/2019	21/09/2019
Edición fina del documento, con los nuevos resultados	3	21/09/2019	24/09/2019

Fuente: Elaboración propia.

7. Diagnóstico

7.1. Marco contextual

7.1.1. Infraestructura y Equipo Rodante del SITM MIO

La infraestructura del Sistema Integrado de Transporte Masivo SITM- MIO consta de los siguientes elementos (ver Figura 20):

- 37 km de corredores troncales con carril exclusivo, por donde transitan especialmente las rutas troncales y algunas rutas pretroncales.
- 377 km entre corredores pretroncales y complementarios, por donde transitan especialmente las rutas pretroncales y alimentadoras.
- 4 Patios y talleres, uno en el norte, dos en el oriente y uno en el sur.
- 5 Terminales de Cabecera, entre las cuales se encuentra la terminal Andrés Sanín. En la actualidad están construidas 3 (Menga, Paso del Comercio y Andrés Sanín) y dos que están en proceso de construcción (Aguablanca y Sur).
- 4 Terminales Intermedias, de las cuales están construidas dos (Cañaveralejo y Calipso), una está en proceso de construcción (Simón Bolívar) y una está en diseños fase 3.
- 55 estaciones de parada ubicadas en el separador central de los corredores troncales, las cuales son de plataforma alta (a 90 cm del pavimento).
- 2.1 km del MIO Cable, con 4 estaciones, una en Cañaveralejo y tres en el sector de Siloé.
- 190 buses articulados con capacidad para 160 pasajeros, con cuatro puertas izquierdas para acceder a las estaciones de parada, y una puerta derecha de emergencia y para el acceso del operador.
- 535 buses padrones con capacidad para 80 pasajeros con tres puertas derechas a 30 cm del pavimento y 2 puertas izquierda con plataforma alta para el acceso a las estaciones. De estos buses faltan por ingresar 26 buses.
- 186 buses complementarios con 2 puertas por el costado derecho a 30 cm del pavimento.
- 60 cabinas del MIO cable con capacidad para 10 personas, 8 sentadas y dos de pie y con una capacidad de hasta 3000 pasajeros/hora sentido.

Cerca del 60% de la flota del SITM-MIO es accesible.

La infraestructura del MIO es fundamental para brindar un servicio con las características diseñadas desde su inicio, para poder optimizar el servicio de los buses a través de las transferencias en las estaciones y terminales (pasando de zonas de alimentación a zonas de concentración), con la preferencia de carriles exclusivos (para los corredores troncales), lo que brinda una ventaja operativa en tiempos de viaje respecto de los otros modos de transporte de la red vial.

El Sistema Integrado de Transporte Masivo MIO, presenta ventajas para la movilidad de los ciudadanos en términos de reducción de índices de accidentalidad, mejoramiento en la renovación y mantenimiento de la flota vehicular, reducción de las emisiones contaminantes y quizá, la más importante en la organización del transporte, en términos de servicios e infraestructura de corredores exclusivos, paradas y zonas de integración. Lo que marca una clara ventaja de este sistema de transporte respecto de los demás.

7.1.2. Estudio de movilidad de la ciudad de Cali 2015

En 2015 se realizó el estudio de Movilidad para la Ciudad de Cali y sus municipios vecinos (ver Figura 16 y Tabla 10), (Alcaldía de Cali, Metrocali, Tranvias SAS, Steer Davies Gleave, & Consultoria, 2015). De dicho estudio, se obtuvo la siguiente información:

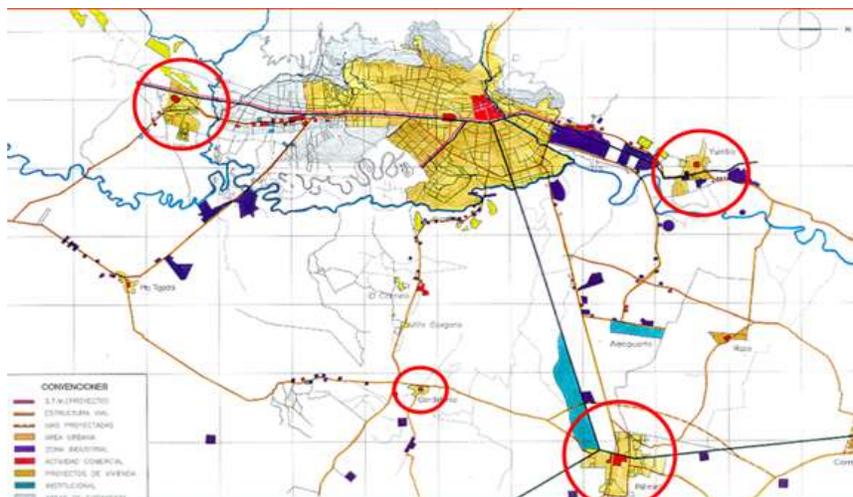


Figura 16 - Poblaciones estudiadas
Fuente: Encuesta de Movilidad 2015

Tabla 10 - Habitantes de cada población estudiada

<i>Municipio</i>	<i>Pobación</i>
Cali	2,367,106
Candelaria	58,160
Jamundí	93,962
Palmira	294,294
Yumbo	87,684

Fuente: Encuesta de Movilidad

Cantidad de habitantes en la población estudiada y las poblaciones aledañas que tienen alguna relación con la ciudad de Cali.

Densidad Poblacional: Las comunas 5, 12, 13, 14 y 20 de Cali son las que tienen mayor densidad poblacional, en las cuales predominan los estratos 1 y 2, a excepción de las comunas 5 y 12 donde predomina el estrato 3; dentro de las menos densas están las comunas 2, 4, 19, 17 y 22, en las cuales predominan los estratos 4, 5 y 6, a excepción de la comuna 4, donde predomina los estratos 1 y 2. La alta concentración de la población está asociada a estratos socioeconómicos bajos. Ver Figura 17 - Densidad poblacional por Comunas en Cali.

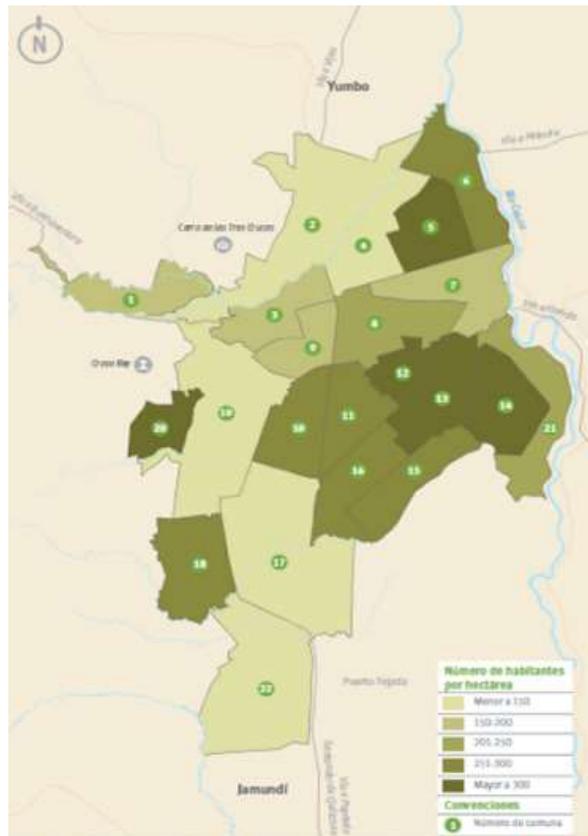


Figura 17 - Densidad poblacional por Comunas en Cali
Fuente: Encuesta de Movilidad 2015

Partición modal general de Cali: Según la información recolectada, para el área de estudio se presentan 4.396.630 viajes diarios, contando todos los modos de transporte en la Ciudad, incluyendo el transporte formal e informal. Del estudio se obtuvo que el 32% de los viajes se realizan a pie, 8% en moto, 13% en auto y 12% en el Sistema de Transporte MIO. Ver Figura 18.

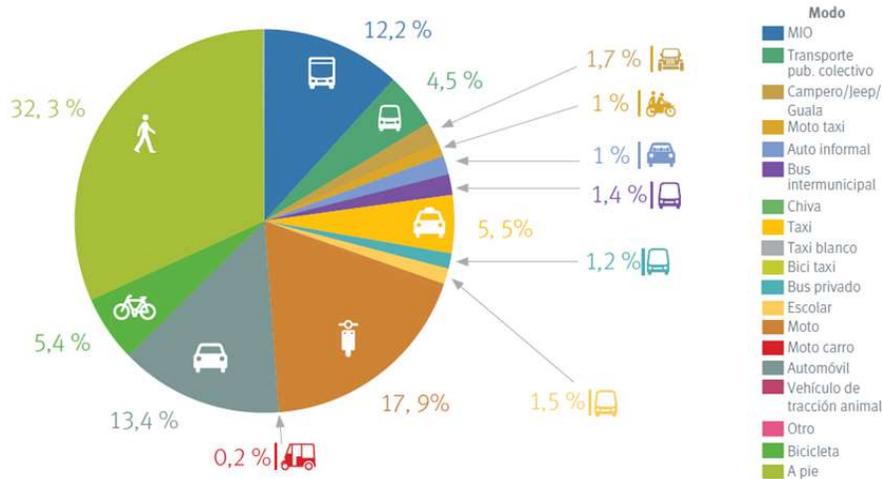


Figura 18 - Partición modal general en el área de estudio
Fuente: Encuesta de Movilidad 2015

Partición modal de viajes en transporte público: Los viajes diarios que se realizan en transporte público son alrededor de 1.234.400, de los cuales el 43% se realizan en el Sistema MIO de la Ciudad (aproximadamente 530.000 viajes). Ver Figura 19.

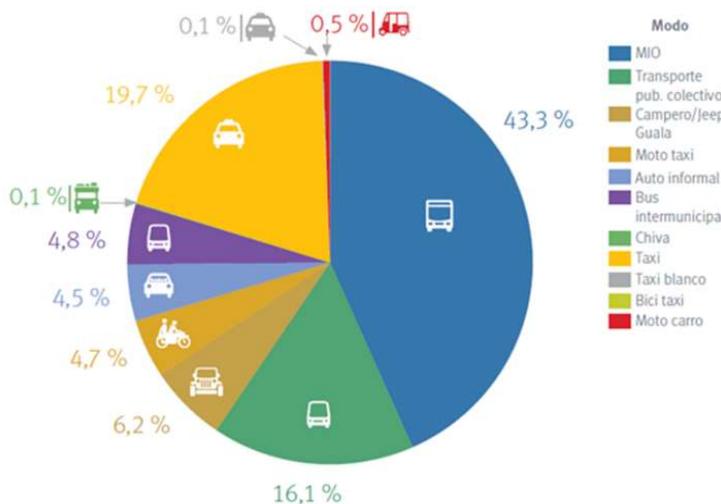


Figura 19 - Partición modal de viajes en Transporte Público.
Fuente: Encuesta de Movilidad 2015

7.1.2.1. El Sistema vial del MIO

Esta infraestructura que forma parte del Sistema, se representa en corredores troncales con una extensión aproximada de 37 km de corredor exclusivo para el SITM, 55 Estaciones de Parada, separadas en promedio cada 500 metros. La red vial para servicios Pretroncales y Alimentadores se encuentra compartida con el flujo mixto, en una longitud aproximada de 377 km, con cerca de 828 cobertizos que brindan protección ambiental a los usuarios. La infraestructura para intercambio entre los servicios alimentadores, pretroncales y troncales, compuesta por 9 Estaciones Terminales, de los cuales se encuentran en operación 5.

Así mismo, se cuenta con 2 patios y talleres definitivos en operación y 2 temporales, donde los Concesionarios de Operación de Transporte realizan las actividades de mantenimiento de la flota y funciona como su sede administrativa.

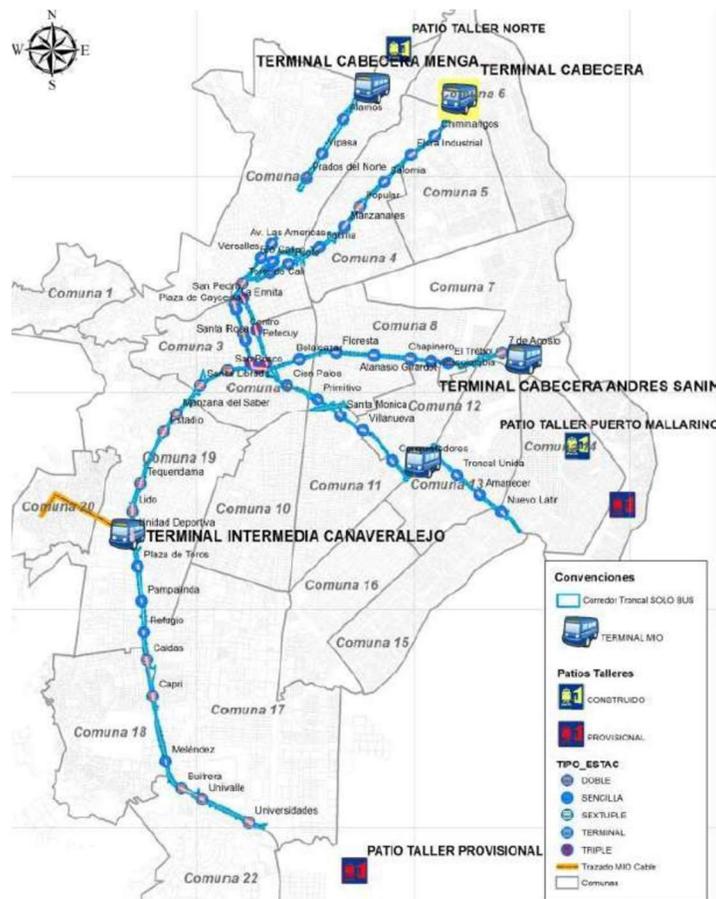


Figura 20- Estado actual de la infraestructura del SITM
Fuente: Presentación de Metro Cali S.A.

Actualmente se encuentra en desarrollo de ejecución las terminales de Lili, Aguablanca y Simón Bolívar, así como los patios y talleres de Lili y Aguablanca, con lo que cuenta con aproximadamente el 55% de las terminales y sobre los Patios y Talleres debido al ajuste de cantidad de concesiones resultante de la licitación inicial de la operación (4 concesiones), se ajustó la cantidad de patios definitivos, llegando a una operación de 2 patios definitivos construidos (50%) y en operación y 2 patios temporales en operación (50%).

Es importante considerar que el sistema con toda su infraestructura funcionando debería tener mayores ventajas sobre los modos de transporte individual, sin embargo, se requiere profundizar un poco más para entender las necesidades de los usuarios, así como de usuarios potenciales provenientes de otros modos de transporte que prefieren no tomar el MIO como opción de movilidad.

7.1.2.2. El Sistema MIO-CABLE

Es un sistema de transporte público colectivo con telecabinas suspendidas en cable. Cuenta con 3 estaciones en las zonas altas de la comuna 20 y se integra a nivel físico y tarifario con el SITM MÍO en la estación intermedia Cañaveralejo.

El sistema aéreo-suspendido, conecta el sistema de buses con el sistema de cabinas en la estación intermedia Cañaveralejo, lo que brinda esta integración físico-tarifaria, generando beneficios a la ciudadanía ampliando la cobertura.

Una desventaja actual de este sistema es su nivel de cobertura en la ladera de la comuna 20, por cuanto depende de las estaciones implantadas (Tierra Blanca, Lleras Camargo, Brisas de Mayo), con la dificultad de la pendiente de este sector, lo que reduce el acceso peatonal. Este acceso se estima con radios de cobertura de 100, 150 y 190 mt, dependiendo un poco del sentido de la caminata y la condición de seguridad de la zona, (representado en circunferencias en el siguiente gráfico), además de indicar que hoy se da esta cobertura con la red vial existente, la cual es pobre en especificaciones de dimensiones que limita la infraestructura peatonal. En muchos casos las pendientes donde ha sido desarrollado, obliga a los habitantes a efectuar recorridos mayores en comparación de zonas planas, adicionalmente el riesgo de transitar por las vías mezclados entre el tráfico de la zona que ha incrementado en vehículos tipo moto. En la Figura 21 se observan las circunferencias con centro en las Estaciones del Cable, dejando por fuera mucha área del territorio.

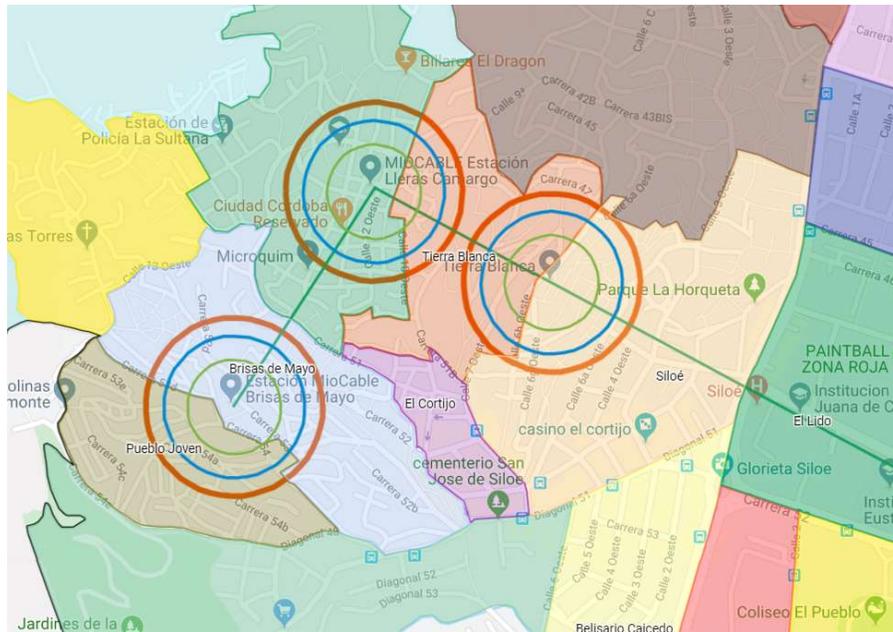


Figura 21 – Localización de las estaciones de MIO-Cable
Fuente: Elaboración propia

7.1.3. Servicios que presta el SITM MIO

El sistema MIO está concebido como un sistema tronco-alimentado complementado con un sistema pretroncal, el cual permite distribuir la flota de acuerdo con la magnitud de la demanda, de tal manera que los vehículos más pequeños son utilizados en áreas de menores densidades encargándose de conglomerar a los usuarios en una estación para integrarse con las rutas troncales y pretroncales que operan con buses de mayor tamaño y conectan la Ciudad de extremo a extremo. Esta configuración permite mayores eficiencias al sistema, aunque genera incomodidades al usuario por los transbordos que debe realizar. Los tipos de servicios que ofrece el sistema MIO son los siguientes:

Ruta Troncal: Atiende los principales corredores de alta demanda con vehículos articulados con capacidad para 160 pasajeros (4 puertas del costado izquierdo) y buses padrones con capacidad para 80 pasajeros (2 puertas del costado izquierdo) que transitan por carriles exclusivos.

Ruta Pre-Troncal: Atienden corredores de demanda media, con vehículos tipo Padrón circulando en medio del tránsito mixto principalmente y que, por la configuración de sus puertas (2 puertas del costado izquierdo y 3 del costado derecho), se pueden

incorporar a corredores troncales generando mayores beneficios en la operación e integración de los pasajeros.

Ruta Alimentadora: Atienden las cuencas de alimentación con vehículos complementarios con capacidad para 48 pasajeros (2 puertas del costado derecho) o padrones (3 del costado derecho), circulando mezclados con el tránsito mixto.

Ruta del Cable: El sistema funciona con 60 cabinas con capacidad para 10 pasajeros, 8 sentados y 2 de pie, cada góndola tiene un intervalo de paso de 14 segundos y su velocidad es constante de 5m/s equivalente a 18 km/h. La capacidad instalada es de aproximadamente 2.000 personas/hora/sentido ampliable a 3.000 personas/hora/sentido con la puesta en marcha de 30 cabinas adicionales.

7.1.4. Terminal Andrés Sanín

Localizada en el oriente de la Ciudad de Cali – Valle del Cauca, limita al norte con la carrera 19, al sur con la carrera 20, al oriente con la calle 75 y por el occidente con la Avenida Ciudad de Cali. La vía Avenida Ciudad de Cali es una vía Arteria Principal (Mapa 30 del POT). Ver Figura 22.



Figura 22 - Localización general de la Terminal Andrés Sanín
Fuente: Google Maps y Elaboración propia.

En la Figura 23 se presenta la infraestructura y los accesos y salidas que posee la Terminal Andrés Sanín, la cual cuenta con tres (3) plataformas para atender los diferentes servicios que llegan a ella, según se describe a continuación:

- *Plataforma 1*: Descenso de servicios alimentadores A44A, A85, A44B y A53.
- *Plataforma 2*: Ascenso y descenso de servicios pre-troncales
- *Plataforma 3*: Ascenso y descenso de servicios troncales y alimentadores.



Figura 23 - Infraestructura actual de la Terminal
Fuente: Google Maps y Elaboración propia.

Adicionalmente, la terminal cuenta con un túnel peatonal para la comunicación de las plataformas 1, 2 y 3; sin embargo, se ha evidenciado una problemática al interior de la Terminal en términos de seguridad, que consiste en el cruce a nivel por parte de usuarios entre las plataformas 2 y 3, lo que genera riesgo de accidentalidad y demoras en la operación.

En la Figura 24 se presenta el mapa de ingresos, donde en el esquema de la izquierda contiene la cantidad de ingresos al sistema en la mañana y el de la derecha contiene la cantidad de ingresos en la tarde.

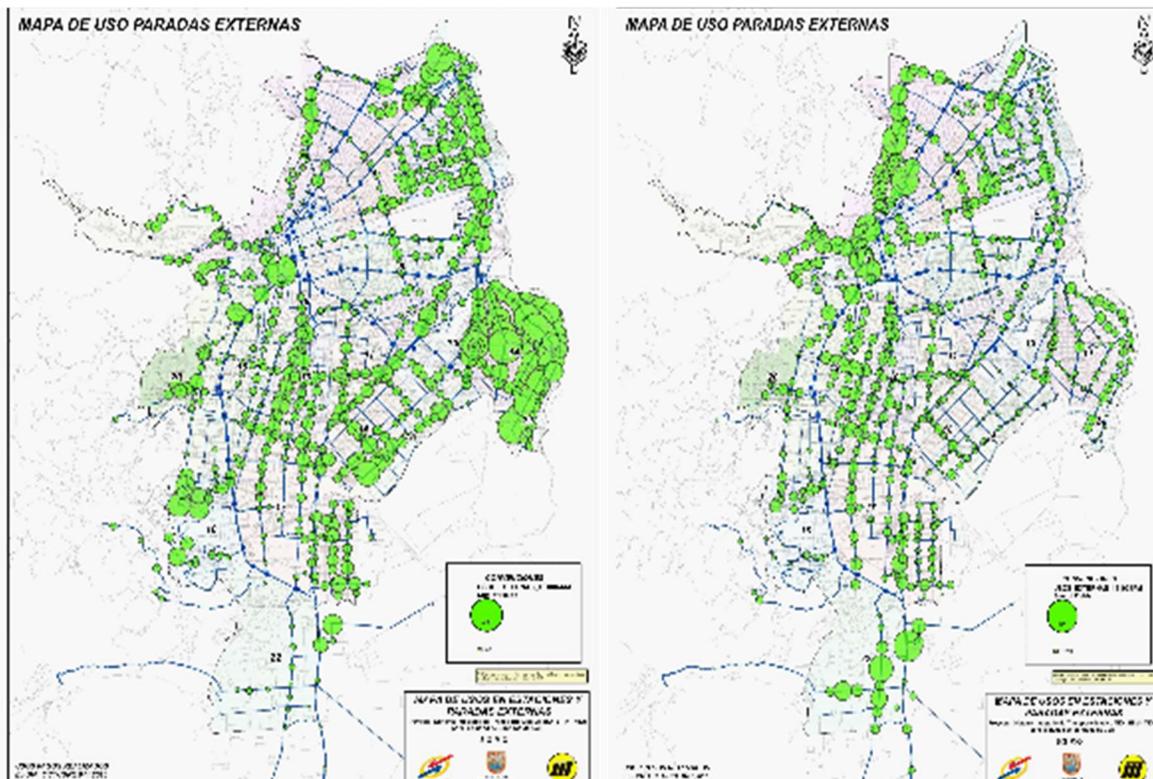


Figura 24 - Esquema de usos (Ingresos) del SITM MIO
 Fuente: Google Maps y Elaboración propia.

Es importante resaltar la cantidad de usuarios que ingresan en el sector de Agua Blanca.

La cantidad de pasajeros que se conectan en la Terminal Andrés Sanín son del orden de 6.500 en la hora pico, y aproximadamente 70.000 a lo largo del día. Lo que hace que esta Terminal tenga un gran volumen de pasajeros.

7.2. Condiciones de Operación de la Terminal

7.2.1. Condiciones de Operación Actual de la Terminal Andrés Sanín

Cuando se inició el estudio de la Terminal Andrés Sanín, en enero de 2018, existían veintiún (21) rutas del MIO que conectaban con esta Terminal.

En la Figura 25 se presenta la ubicación de cada una de las plataformas de la Terminal Andrés Sanín, con las rutas que atienden cada parada, la cantidad de buses/hora que llegan por ruta y el total de buses atienden cada parada, durante la hora pico de la mañana de 06:00 - 07:00 am, de acuerdo con la oferta de servicios programada.

Así mismo, en la Figura 26 - Rutas de influencia de la Terminal Andrés Sanín, se presentan las rutas que tienen relación con la Terminal en estudio, donde se observa que tiene conexión directa con el resto de la Ciudad a través de la TAS.

OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN AL INTERIOR DE LA TERMINAL ANDRÉS SANÍN
SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE MASIVO -SITM- MIO

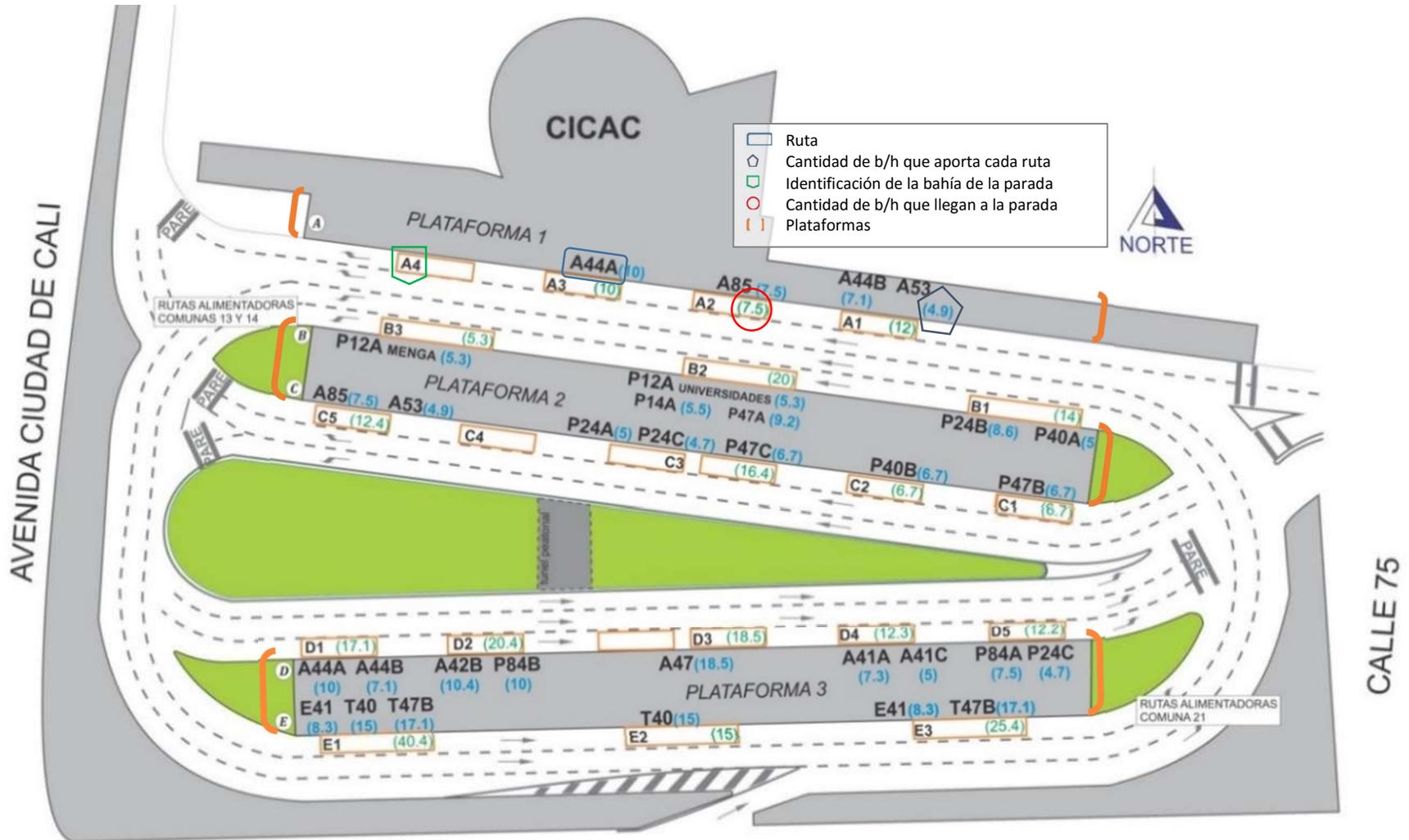


Figura 25 - Distribución Actual de las rutas en las plataformas de la Terminal Andrés Sanín
Fuente: Elaboración propia.

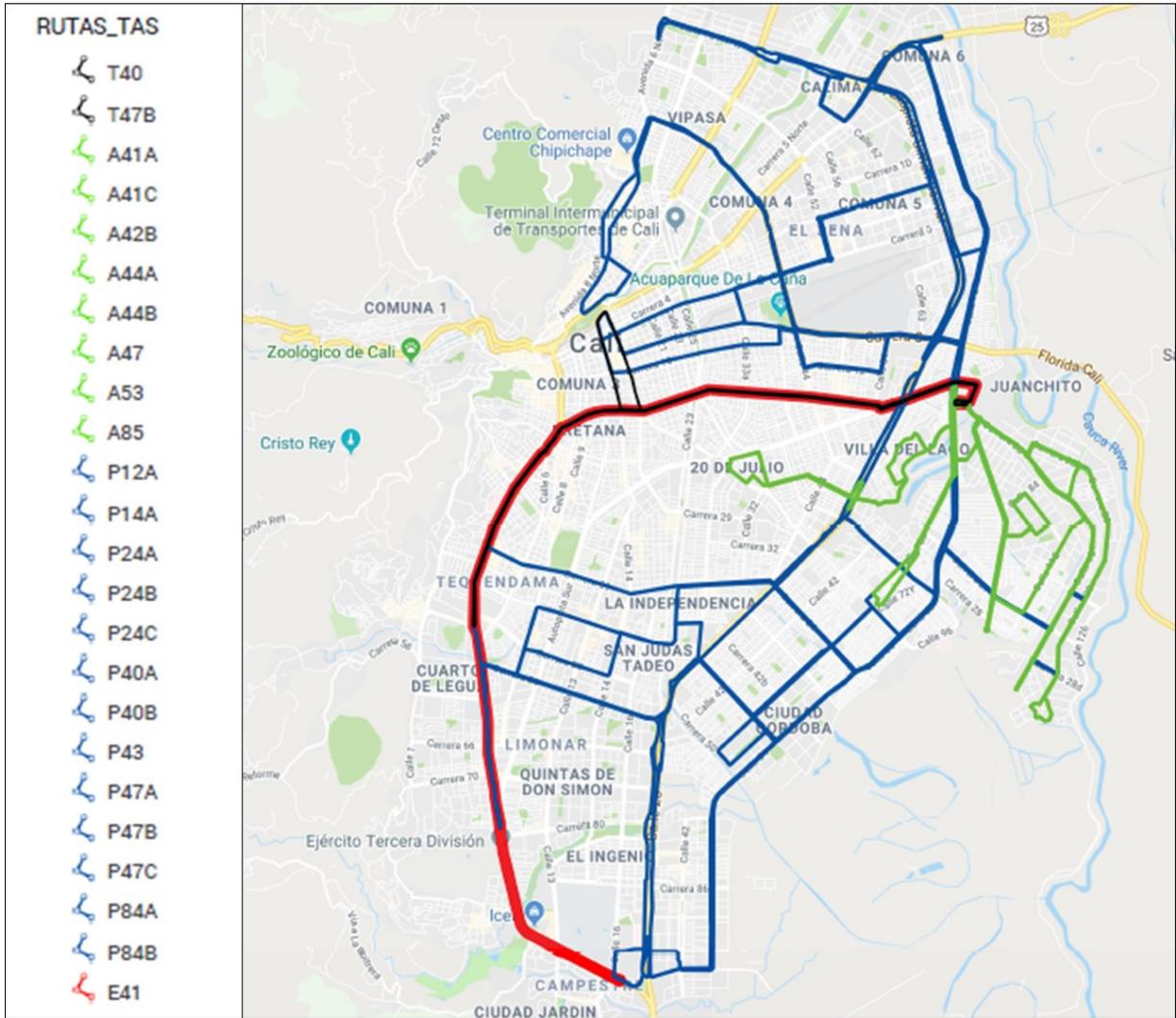


Figura 26 - Rutas de influencia de la Terminal Andrés Sanín
 Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 27 se presenta el esquema considerado de toma de información dentro del túnel, tal como se indica en el numeral 5.2 Descripción de la Información Secundaria suministrada por Metro Cali S.A.

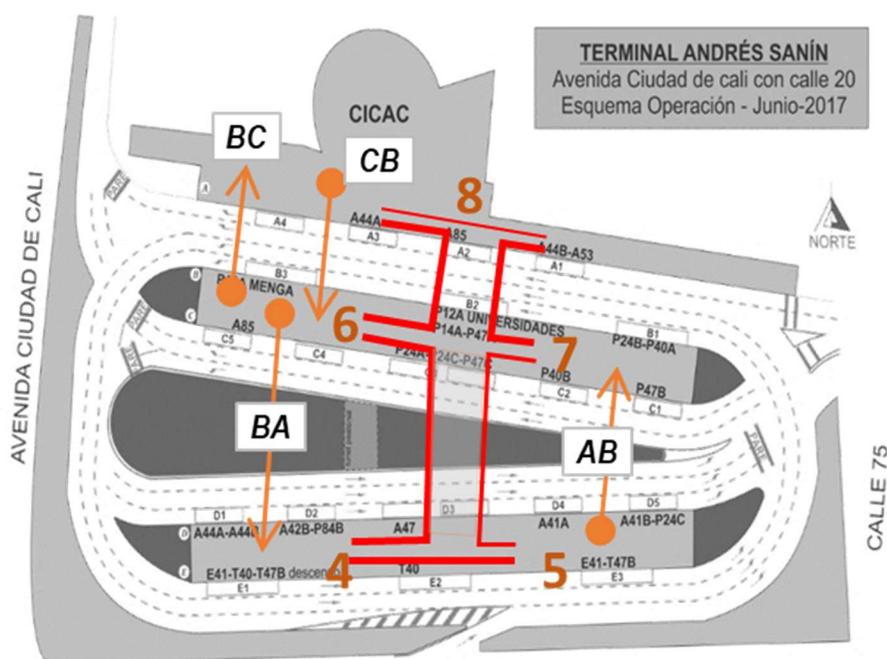


Figura 27 - Esquema de agrupación de aforos peatonales a des-nivel por sentido.
Fuente: Elaboración propia.

Para simplificar la información obtenida del Ente Gestor que fue tomada como número de personas que pasan entre los puntos designados (4, 5, 6, 7 u 8) como origen/destino, sin considerar el punto de origen, se hace la simplificación quedando consolidados los movimientos según el sentido en AB, BA, CB o BC. Esto debido a que en el modelo usado no se puede identificar los sentidos de los peatones de forma ágil dentro del mismo.

Tabla 11 – Resultado de los aforos dentro del túnel según el lugar de paso y el intervalo

Intervalo	Movimientos desnivel				Total
	BC	CB	AB	BA	
0 - 900	8		41	25	66
900 - 1800	9		57	23	80
1800 - 2700	8		49	27	76
2700 - 3600	14		60	46	106
TOTAL	39	-	207	121	367

Fuente: Elaboración propia – a partir de los aforos del Ente Gestor de 9 y 12 de junio de 2017.

En el caso de los peatones a nivel se hizo el aforo tal como se indica en el numeral 5.2 Descripción de la Información Secundaria suministrada por Metro Cali S.A. y la

clasificación de información de forma agrupada, por sentido en el cambio de las plataformas, como se indica en la figura 28

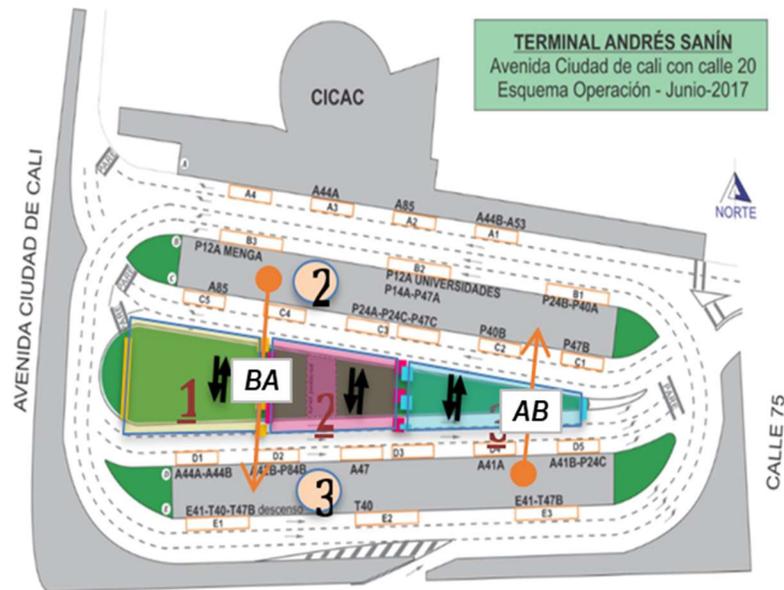


Figura 28 – Esquema de agrupación de aforos peatonales a nivel por sentido.
Fuente: Elaboración propia.

El resultado consolidado de la información de campo se presenta en la Tabla 12

Tabla 12 – Resultado de los aforos peatonales entre plataformas a nivel según el lugar de paso y el intervalo

Intervalo	Movimientos nivel		
	AB	BA	Total
0 - 900	213	262	475
900 - 1800	172	233	405
1800 - 2700	171	202	373
2700 - 3600	262	227	489
TOTAL	817	924	1.741

Fuente: Elaboración propia.

De los 22 cuartos de hora aforados (12 en la mañana y 10 en la tarde), se evidencia que tanto en los pasos a nivel como a desnivel existe una cantidad similar de usuarios que requieren conectar con servicios de una plataforma a otra, por tanto, no hay una dirección predominante de movimiento de peatones en cuanto a cruces entre plataformas se refiere. Ver Figura 29.

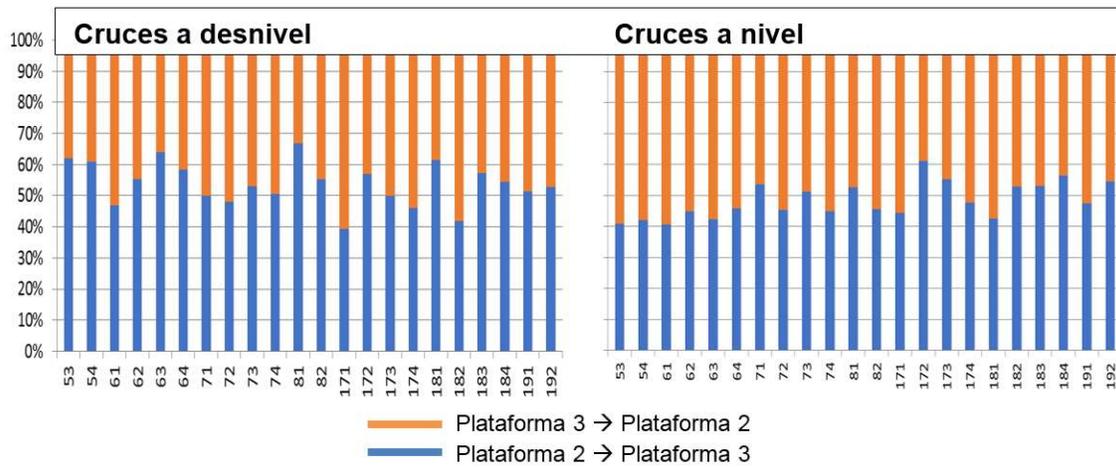


Figura 29 - Distribución porcentual de la Cantidad de usuarios entre las plataformas centrales
Fuente: Elaboración propia. Aforos peatonales del 09 al 12 de junio de 2017.

Las horas críticas de paso de peatones a nivel se registraron entre las 6:30 am y 7:30 am y entre 18:00 y 19:00, siendo más crítico en la tarde con más de 2100 peatones pasando de una plataforma a otra. Ver Figura 30.

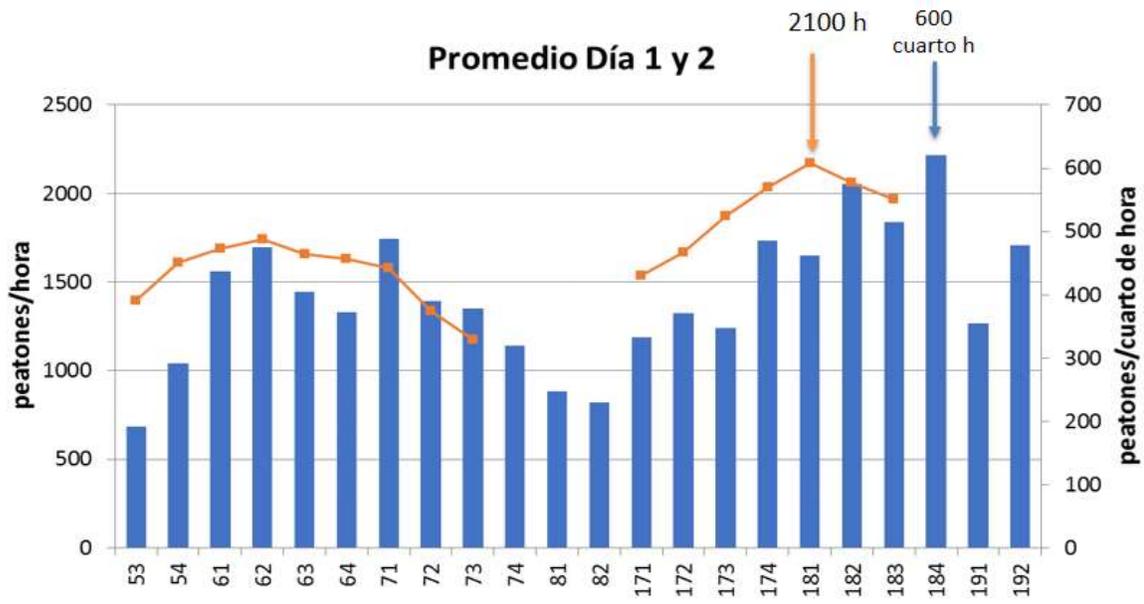


Figura 30 - Variación horaria de la demanda de usuarios que cruzan a nivel
Fuente: Elaboración propia. Aforos peatonales del 09 al 12 de junio de 2017.

En el período de la mañana existe una tendencia marcada por parte de los usuarios a realizar el cruce a nivel entre plataformas para continuar su viaje con servicios de otra plataforma diferente a la plataforma donde descienden, siendo el periodo más crítico entre las 5:30 am y 6:15 am, durante el cual se registraron hasta 14 veces más

usuarios pasando a nivel con respecto a los que cruzan a través del túnel peatonal.
Ver Figura 31.

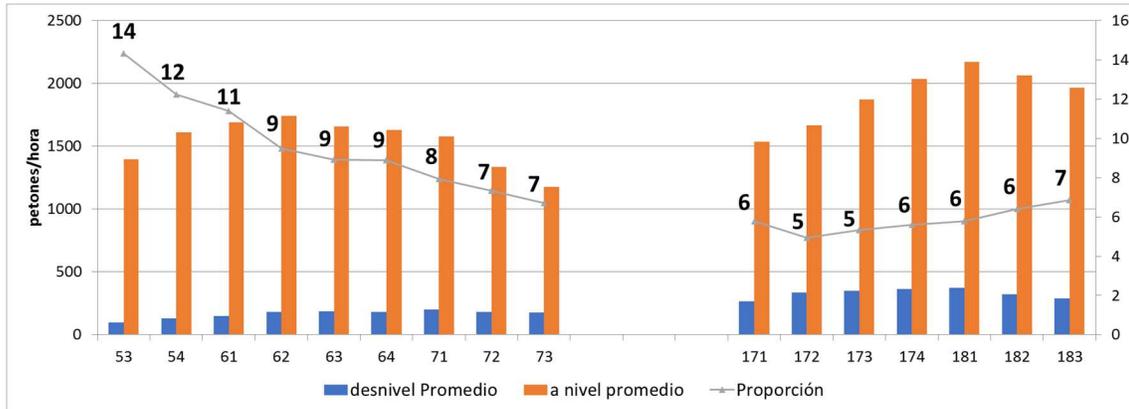


Figura 31 – Relación entre la cantidad de usuarios que cruzan a Nivel y a través del Túnel peatonal

Fuente: Elaboración propia. Aforos peatonales del 09 al 12 de junio de 2017.

De la matriz Origen – Destino se evidenciaron fuertes conexiones para las siguientes rutas:

- Ruta A47, conexión con las rutas pretroncales y troncales del Sistema para el periodo de la mañana; en la tarde importantes ascensos a la ruta A47 provenientes del servicio troncal.
- Rutas E41, T40 y T47B presentan fuertes conexiones con rutas alimentadoras del Sistema; para la tarde presentan transferencias con el servicio pretroncal, entre las más representativas, las rutas P12A y P47A.
- Se evidencia una fuerte composición de los usuarios de la ruta P24B provenientes de las rutas P84B (30%) y A47 (33%).

En las Figura 32 y Figura 33, se presentan las Matrices Origen/Destino al Interior de la Terminal Andrés Sanín, donde se muestra la relación que existe entre las diferentes rutas, obtenidas a partir de la información del estudio de encuestas expandida las tres (3) horas de estudio con base en el estudio de frecuencia y ocupación visual.

OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN AL INTERIOR DE LA TERMINAL ANDRÉS SANÍN
SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE MASIVO -SITM- MIO

		PLATAFORMA	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
		PARADA	B1	B1	B2	B2	B2	B3	C1	C2	C3	C3	C3	D1	D1	D2	D2	D3	D4	D5	D5	E2	E3	E3	
		RUTA	P24B	P40A	P12A_B2	P14A	P47A	P12A_B3	P47B	P40B	P24A	P47C	P24C_C3	A44A	A44B	A42B	P84B	A47	A41A	A41B	P24C_D5	T40	E41	T40B	
PLAT_DES	PARADA_DES	RUTA EN QUE LLEGÓ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	A1	A44B_DESC		5.7%	5.13%	4.38%	3.43%	1.59%	3.17%	2.80%	3.70%		10.37%										2.24%	1.84%	0.59%
1	A1	A53_DESC		2.60%				1.06%	1.59%	1.51%	0.74%		2.12%										0.83%	1.38%	0.39%
1	A2	A85_DESC	0.29%	1.04%		0.63%				0.86%			2.22%										0.71%	0.92%	
1	A3	A44A_DESC		1.58%	5.13%	7.30%	5.17%	11.64%	7.41%	7.76%	15.56%	12.50%	10.37%												
2	B1	P24B		0.52%		1.88%	6.90%									6.76%		4.80%	8.70%	2.04%	12.50%		1.84%	0.20%	
2	B1	P40A			2.56%	0.63%											3.20%	4.35%	2.04%					0.79%	
2	B2	P12A_B2				1.88%	10.34%	0.53%	0.53%			4.17%		1.27%			10.40%				81.25%		0.23%	2.56%	
2	B2	P14A	6.69%	19.79%		0.63%	1.72%		0.53%	4.09%	2.22%	4.17%	5.19%	0.64%	1.35%		5.60%	4.35%	12.24%			3.66%	0.46%	2.17%	
2	B2	P47A	18.31%	3.13%		2.50%		0.53%		0.22%	4.44%		2.96%		2.70%		4.00%			8.16%		2.95%	1.15%	1.18%	
2	B2 - B3	P12A		4.17%								0.74%			1.35%				21.74%	24.49%		5.79%	4.58%		
2	B3	P12A_B3	4.36%								2.80%	5.93%					5.60%								
2	C1	P47B	2.91%	4.17%	5.13%	2.50%	5.17%	1.59%				2.22%	2.96%	0.64%			8.80%					0.63%	0.46%	0.20%	
2	C2	P40B	1.45%	0.52%	5.13%	0.63%					0.74%	25.00%	0.74%	2.55%	1.35%	3.57%	8.00%	8.70%	10.20%	6.25%	0.47%	2.53%	2.95%		
2	C3	P24A			2.56%	0.63%	1.72%	0.53%				0.74%	0.74%	0.64%	8.11%		3.20%	4.35%	10.20%			0.69%	0.59%		
2	C3	P24C_C3		2.08%			8.62%	3.70%	1.06%	3.66%	2.22%		1.60%									2.01%		4.72%	
2	C3	P47C	1.45%	7.20%	2.56%	1.72%	1.72%			0.63%	1.72%	2.72%				7.14%	5.60%	8.70%	4.08%			1.65%	5.30%	4.13%	
3	D1	A44					1.72%																		
3	D2	A42B	2.62%	10.42%	7.69%	3.73%	8.62%	9.52%	10.05%	7.33%	10.37%		2.96%									11.20%	7.83%	8.46%	
3	D2	P84B	9.90%	2.56%	2.56%	5.63%	3.43%	12.17%	17.46%	18.20%	9.63%				1.35%							13.34%	4.61%	7.28%	
3	D3	A47	5.52%	20.31%	38.46%	29.38%	25.86%	39.68%	32.28%	27.39%	28.15%	25.00%	25.93%		2.70%	3.57%	1.82%					33.06%	32.72%	41.34%	
3	D4	A41A	26.45%	4.69%	10.26%	13.13%	6.90%	6.35%	15.34%	11.64%	7.41%	12.50%	12.59%	0.64%								8.03%	10.14%	6.69%	
3	D5	A41B	29.94%	1.04%	2.56%	10.63%	5.17%	9.52%	4.23%	10.66%	3.70%		3.70%									5.43%	11.29%	12.60%	
3	D5	P24C_D5				8.13%											0.80%	4.35%	2.04%				8.76%		
3	E1	T47B_DESC		0.52%		2.50%		0.53%	4.76%	0.22%	1.48%	4.17%	0.74%	38.22%	28.38%	39.29%	45.45%	16.00%	21.74%	6.12%				0.59%	
3	E1	T40_DESC		0.52%	7.69%	1.25%		0.53%	1.59%	0.22%		12.50%		38.22%	25.68%	25.00%	21.82%	5.60%	4.35%	8.16%		0.12%			
3	E1	E41_DESC			2.56%	0.63%	3.43%	0.53%		0.22%			0.74%	17.20%	20.27%	21.43%	30.91%	16.80%	8.70%	10.20%					

Figura 32 – Matriz Origen/Destino al Interior de la Terminal Andrés Sanín
(Periodo de la mañana)

Fuente: Elaboración propia. Encuestas Origen/Destino del 13 de junio al 5 de Julio de 2017.

OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN AL INTERIOR DE LA TERMINAL ANDRÉS SANÍN
SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE MASIVO -SITM- MIO

		PLATAFORMA	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
		PARADA	B1	B1	B2	B2	B2	B3	C1	C2	C3	C3	C3	D1	D1	D2	D2	D3	D4	D5	D5	E2	E3	E3	
		RUTA	P24B	P40A	P12A_B2	P14A	P47A	P12A_B3	P47B	P40B	P24A	P47C	P24C_C3	A44A	A44B	A42B	P84B	A47	A41A	A40B	P24C_D5	T40	E41	T47B	
PLAT_DESC	PARADA_DESC	RUTA EN QUE LLEGÓ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	A1	A44B_DESC					7.23%	0.75%		1.69%			4.00%										2.00%	3.45%	1.16%
1	A1	A33_DESC		6.12%				0.75%	2.86%		4.11%				0.23%					0.63%					1.16%
1	A2	A85_DESC	0.77%	2.04%	1.89%	6.38%		8.21%		11.86%	10.96%	13.79%	6.00%	0.20%			0.67%			1.57%	0.83%		6.90%	3.49%	
1	A3	A44A_DESC				2.13%	2.41%	0.75%		8.47%	5.48%		6.00%							0.31%		4.00%	3.45%	6.98%	
2	B1	P24B			17.92%	15.96%	7.23%	0.75%	20.00%	3.99%	8.22%	3.45%	2.00%		0.68%	0.52%	0.90%	0.44%	15.00%	5.97%	4.13%		1.15%	1.16%	
2	B1	P40A			8.49%	3.19%	4.82%	3.73%			2.74%			0.39%	0.68%		0.67%	1.04%	1.82%	0.63%	2.48%			2.33%	
2	B2	P12A_B2			0.94%	1.06%		3.73%	8.57%			10.34%		0.59%	0.13%		1.35%	1.18%			2.48%				
2	B2	P14A	9.23%	10.20%				0.75%	4.29%	8.47%			2.00%	0.59%	0.13%		0.22%	2.07%	4.55%	1.26%			2.30%	1.16%	
2	B2	P47A	2.31%		3.77%	3.19%	2.41%	2.99%		10.17%				0.20%	0.90%			1.33%	1.82%	1.26%			4.60%	4.65%	
2	B2- B3	P12A		4.08%									6.00%		2.93%	1.82%			4.09%	4.40%		1.00%	2.30%		
2	B3	P12A_B3	4.62%		2.83%					30.51%	8.22%								1.78%						
2	C1	P47B	1.54%		3.77%	2.13%	10.84%	8.96%		1.69%	2.74%	6.90%		0.20%	1.35%		0.90%	0.74%	3.64%	2.52%	4.96%	5.75%	1.16%		
2	C2	P40B			5.66%	7.45%	4.82%		4.29%		5.48%	20.69%	2.00%	0.78%	1.13%		1.57%	1.92%	7.27%	1.26%	6.61%	3.45%	5.81%		
2	C3	P24A			8.49%	6.38%	1.20%	0.75%	1.43%	11.86%	1.37%			0.59%	0.68%	1.56%	2.02%	1.48%	4.55%	1.57%	2.48%	1.15%	2.33%		
2	C3	P24C_C3						2.24%		5.08%								0.89%							
2	C3	P47C												0.39%	0.23%	0.52%	0.22%	1.18%	1.36%	1.89%	0.83%		1.15%	1.16%	
3	D2	A42B	5.38%	10.20%	0.94%					2.86%	1.37%	3.45%										7.00%	1.22%	10.47%	
3	D2	P84B	30.00%	14.29%				0.75%	2.86%	3.99%	1.37%		4.00%		0.23%					0.31%		31.00%	8.05%	16.28%	
3	D3	A47	33.08%	24.49%	1.89%	3.19%	6.02%	8.21%	27.34%		12.53%	10.34%	30.00%						0.45%	3.77%	3.31%	41.00%	26.44%	19.77%	
3	D4	A41A	10.77%	14.29%	1.89%	5.32%	2.41%	2.99%	8.57%	1.89%	1.37%	3.45%	10.00%							0.63%	1.65%	3.00%	18.39%	11.63%	
3	D5	A41B	2.31%		0.94%	1.06%		1.49%	1.43%		6.85%											7.00%	4.60%	2.33%	
3	D5	P24C_D5		8.16%	1.89%	4.26%	1.20%				1.37%	3.45%	2.00%	1.17%			1.57%		1.82%	0.31%		1.00%	5.75%	6.98%	
3	E1	T47B_DESC			19.81%	17.02%	25.30%	21.64%	11.48%		21.92%	13.79%	6.00%	32.08%	30.63%	61.46%	41.12%	38.39%	30.91%	34.59%	20.66%	3.00%			
3	E1	T40_DESC			16.04%	20.21%	21.69%	17.16%	2.86%		1.37%	10.34%	10.00%	40.48%	39.86%	30.21%	35.96%	21.30%	18.64%	25.16%	25.62%				
3	E1	E41_DESC			2.83%	1.06%	2.41%	13.43%	1.43%		1.37%		2.00%	22.46%	20.27%	3.91%	12.81%	28.25%	4.09%	11.95%	23.97%				

Figura 33 – Matriz Origen/Destino al Interior de la Terminal Andrés Sanín
(Periodo de la tarde)

Fuente: Elaboración propia. Encuestas Origen/Destino del 13 de junio al 5 de Julio de 2017.

Existe un gran desequilibrio en el uso y ocupación de las plataformas centrales de la Terminal por parte de los usuarios, en una relación de 1 a 1,97, dado que mientras en la plataforma central B y C, donde llegan la mayoría de los servicios pretroncales, transitan cerca de 6.000 personas durante la franja pico de la mañana de 5:30 am a 8:30 am; la plataforma central D y E, donde llegan las rutas troncales y la mayoría de las rutas alimentadoras, transitan cerca de 12.000 personas en el mismo período.

Durante las mismas tres horas pico de la mañana, cerca de 4.700 (4.200 a nivel y 500 a desnivel) usuarios requieren desplazarse entre las plataformas centrales, los cuales en su mayoría lo hacían a nivel por las calzadas vehiculares, generando un alto riesgo de ser atropellados por los buses.

Con el fin de visualizar espacialmente las conexiones que se dan entre las rutas de las plataformas centrales y la magnitud de estas, se optó por utilizar una herramienta que permitiera visualizar y analizar los datos obtenidos en campo a través de la representación de líneas de deseo de viaje con el Software TransCad. Así entonces, en la Figura 34, se presentan las trayectorias de los usuarios entre las dos plataformas centrales, para realizar la transferencia entre las rutas troncales, pretroncales y alimentadoras que operan en la Terminal en la Terminal Andrés Sanín en el periodo estudiado de la mañana, donde el espesor de la línea indica la magnitud de la cantidad de usuarios que realizan dicha conexión. De igual forma, en la Figura 35 se muestra de forma global, la cantidad de usuarios que requieren transferir de una plataforma a otra para continuar su viaje, siendo 4.700 la cantidad aproximada de usuarios que realizan este desplazamiento.

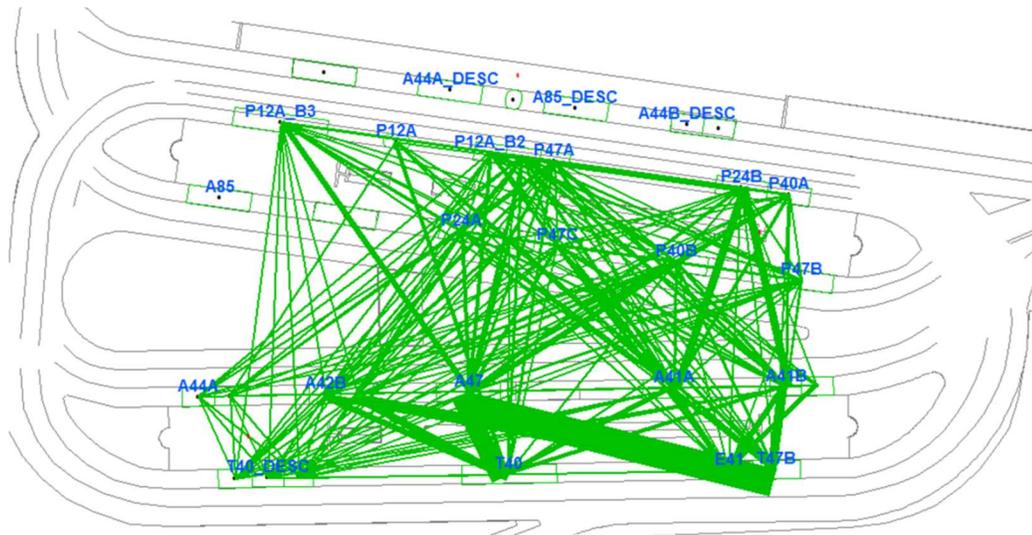


Figura 34 – Líneas de deseo de viajes en la Estación Terminal Andrés Sanín franja pico de la mañana de 5:30 am a 8:30 am.

Fuente: Elaboración Propia. Encuesta Origen – Destino del 13 de junio al 5 de Julio de 2017.

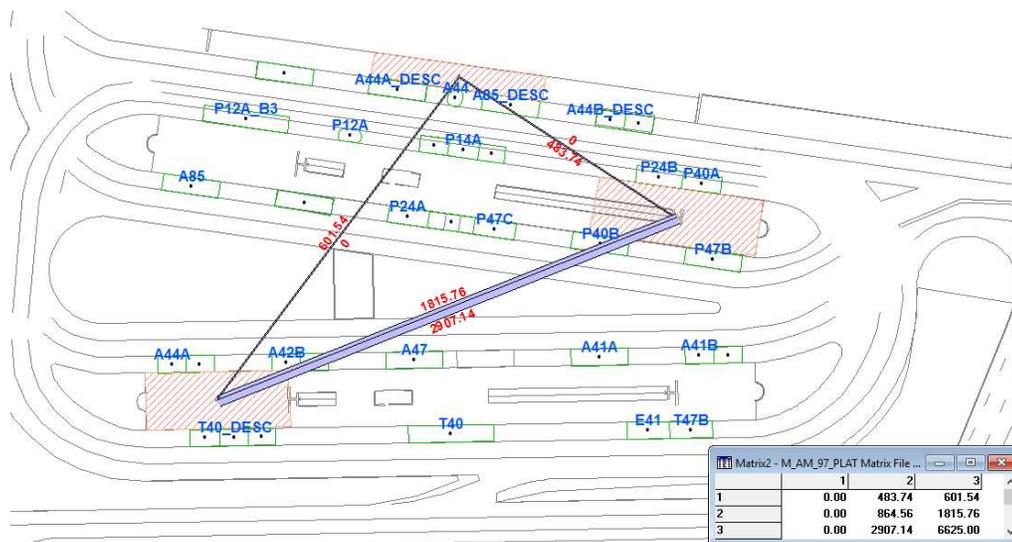


Figura 35 –. Cantidad de viajes de servicios entre plataformas en la Estación Terminal Andrés Sanín franja pico de la mañana de 5:30 am a 8:30 am.

Fuente: Elaboración Propia. Encuesta Origen – Destino del 13 de junio al 5 de Julio de 2017.

Dentro de la información tomada en campo se encuentran los tiempos de caminata, encontrando los siguientes resultados:

- Paso a nivel: 20 segundos
- Paso a desnivel: 120 segundos

En las siguientes imágenes se presenta el comportamiento de las personas pasando a nivel entre las plataformas, aún con clima lluvioso que hace incómodo realizar esta maniobra.



Imagen 2– Fotos del comportamiento peatonal en octubre del 2017
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 3– Foto de la ocupación del túnel peatonal en octubre de 2017
Fuente: Elaboración propia.

Es importante resaltar que los intercambios de pasajeros desde la plataforma 1 hacia las plataformas 2 y 3, tienen un control de acceso, dado que las rutas llegan de sectores que presentan alta venta de integración (una forma de evasión en la calle) se controla el ingreso en la llegada de la plataforma por cuanto llega a zona no paga. Por esta razón las rutas que se encuentran en esta plataforma no se cambian de ésta.

7.2.2. Evaluación de la Capacidad

Tal como se indicó en la Figura 25 - Distribución Actual de las rutas en las plataformas de la Terminal Andrés Sanín, la Terminal cuenta con 3 plataformas para la atención de los servicios, las características de estas plataformas se presentan en la

Tabla 13, las cuales tienen la denominación de Izquierda (Puertas izquierdas del bus a 90 cm del pavimento) y Derecha (Puertas derechas del bus a 30 cm del pavimento), acorde las puertas de servicio que usen los buses.

Tabla 13 – Características de dimensiones de plataformas de la Terminal Andrés Sanín.

	Plataforma 1		Plataforma 2		Plataforma 3	
	Plataforma Der. (PD)	Plataforma Izq. (PI)	Plataforma Der. (PD)	Plataforma Izq. (PI)	Plataforma Der. (PD)	Plataforma Izq. (PI)
Longitud (metros)	105	0	128	128	128	128
Ancho (metros)	4		12 ¹		12 ¹	

1. Incluye espacios de espera, circulación y amoblamiento (Oficinas recaudo, gradas, rampas)

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar la cantidad de espacios disponibles por plataforma se deben considerar las dimensiones de las mismas, adoptando maniobras que deben emplear los buses, conforme sus características (puerta izquierda o derecha, longitud de voladizos delanteros y traseros, longitud entre ejes, entre los más relevantes). En la siguiente tabla se presentan las plataformas que estarían disponibles efectuando los

cálculos, considerando que se dispondrán exclusivamente de una tipología de bus por plataforma, de modo que no se podrá sumar la combinación total expresadas.

Tabla 14 – Cantidad de paradas por plataforma por tipología (según las dimensiones).

Lugares para paradas posibles	Plataforma 1		Plataforma 2		Plataforma 3	
	Plataforma Der. (PD)	Plataforma Izq. (PI)	Plataforma Der. (PD)	Plataforma Izq. (PI)	Plataforma Der. (PD)	Plataforma Izq. (PI)
Articulado	-	-	-	3	-	3
Padrón	5	-	6	3	6	5
Complementario	8	-	9	6 ¹	9	7

Se considera que cada parada tiene la dimensión suficiente para maniobras de aproximación y salida con las otras paradas ocupadas.

¹: Se considera una distancia de maniobra de 2,3 veces la longitud del vehículo

Fuente: Elaboración propia.

La estimación de la capacidad de las plataformas, se realizó en función de los niveles de saturación, de tal forma que se brinde un servicio adecuado y no represente incrementos de tiempos de viaje a los usuarios en más de lo necesario.

Las dimensiones de los vehículos y tiempos usados para los cálculos, son datos tomados de la experiencia de la operación en el SITM – MIO y de las referencias teóricas y experiencias recogidas en la “Guía de Planificación de Sistemas BRT Autobuses de Tránsito Rápido” (ITDP et al., 2010). En la Tabla 15 se presentan los tiempos usados en las estimaciones.

Tabla 15 – Tiempos de abordaje según tipo de cobro, plataforma y dimensión de las puertas

Método de recolección de tarifa	Características de la configuración			Tiempos (segundos por pasajero por puerta)	
	Ancho de las puertas (m)	Tipo de Abordaje	Nivel piso del vehículo	Observado de abordaje	Observado de salida
Abordo, manualmente por el conductor	0,6	Escalones	Alto	3,0 ¹	NA
Abordo, con tarjeta inteligente (sin torniquete)	0,6	Escalones	Alto	2,0 ²	NA
Fuera del vehículo	0,6	Escalones	Alto	2,0 ³	1,5 ³
Fuera del vehículo	1,1	A nivel	Alto	0,75 ¹	0,5 ¹

1. Colombia, México, 2. China, 3. Brasil, NA. No disponible

Fuente: (ITDP et al., 2010). Elaboración propia

En la operación de la Terminal el Ente Gestor ha determinado la siguiente distribución de paradas por plataforma (ver Tabla 16):

Tabla 16 – Cantidad de paradas por plataforma por tipología (Usadas por el Ente Gestor).

Tipología de vehículo	Plataforma 1		Plataforma 2		Plataforma 3	
	Servicio Puerta Der. (PD)	Servicio Puerta Izq. (PI)	Servicio Puerta Der. (PD)	Servicio Puerta Izq. (PI)	Servicio Puerta Der. (PD)	Servicio Puerta Izq. (PI)
Articulado	-	-	-	3	-	3
Padrón	4	-	5	0	5	0
Complementario	Por condición de operación se deja la misma configuración de paradas de buses Padrones.					

Nota: Cada parada tiene la dimensión suficiente para maniobras de aproximación y salida con las otras paradas ocupadas. Las paradas centrales (C3 y D3) de puerta derecha de las plataformas 2 y 3 poseen una longitud que permite el arribo de dos buses padrones al tiempo separados 3m.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 36 se ilustra la configuración de las paradas de cada plataforma, como las tiene en operación el Ente Gestor.

En la plataforma 1 se restringe la capacidad de servicio para rutas, permitiendo de esta forma alojar espacios para reposicionamiento de flota en la operación, el cual es necesario en este tipo de infraestructura permitiendo la regulación de cada ruta en operación. Ver Figura 37.

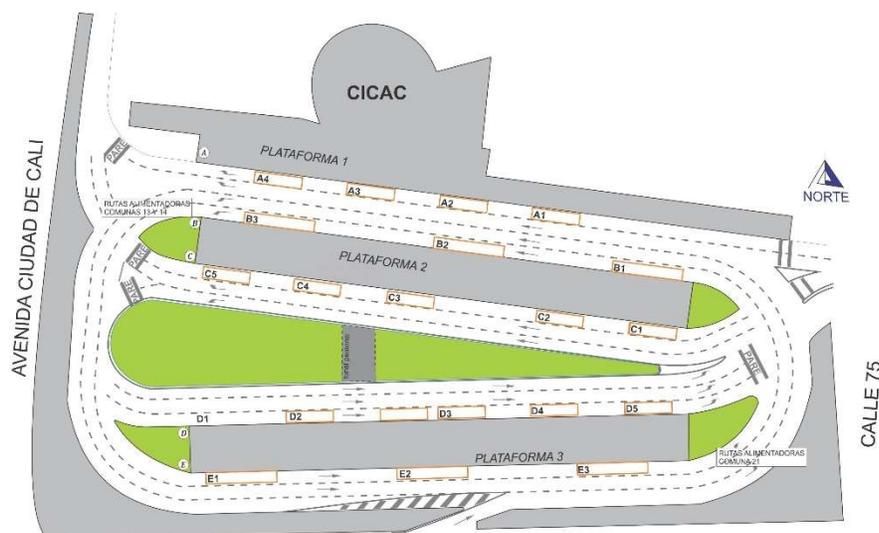


Figura 36 – Configuración de las paradas en la operación adoptada por el Ente Gestor.
Fuente: Elaboración Propia.

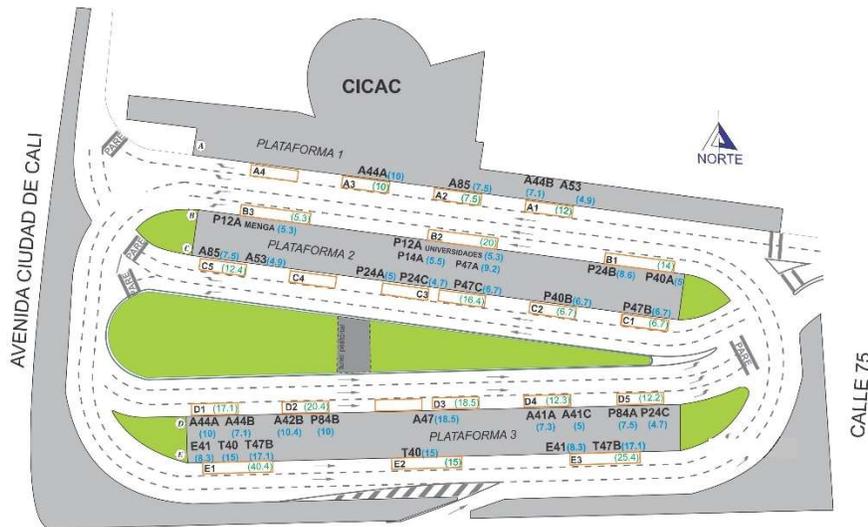


Figura 37 – Información de operación en julio de 2018.
Fuente: Elaboración Propia.

Conforme la formulación recomendada para el cálculo de la saturación de cada parada, y con la información anterior, se presentan en la Tabla 18, los niveles de saturación, manteniendo el nivel de saturación por parada hasta el 40%, como recomendación de la literatura sobre el tema (ITDP et al., 2010). Hay que considerar también que es conveniente alojar una y máximo 2 rutas por parada, por condición de mejor desempeño para el usuario, especialmente por la cantidad de éstos en las transferencias.

Saturación por parada para los buses

$$= \frac{\text{frecuencia} \left(\frac{\text{bus}}{\text{hora}} \right) \times \left[\text{Tiempo de parada} \left(\frac{\text{seg}}{\text{bus}} \right) + \text{Maniobra aproximación y salida} \left(\frac{\text{seg}}{\text{bus}} \right) \right]}{3600 \text{ seg/hora}}$$

En la Tabla 17 se presentan los datos de entrada de frecuencia de buses para cada una de las paradas dentro de la terminal, las cuales son tomadas de la información de campo (FOV), así como la cantidad de pasajeros que suben y bajan de los buses en la hora de análisis, la cual es obtenida de la matriz de viajes elaborada a partir de la toma de información de campo de Metro Cali S.A.

Los parámetros de tiempos de parada en segundos, se adoptó como maniobra de entrada y salida 14 segundos. Mientras que los tiempos de ascenso y descenso dependerán del tipo de parada (a nivel 0.90 m o con escaleras), ambas condiciones consideran de forma general que no hay validación dentro del bus para acceder, es decir que, para el caso de Cali, en los buses alimentadores se realiza por la puerta del costado derecho de atrás y en los padrones en por las dos puertas de atrás del costado

derecho. Para el presente estudio se tomaron de la Tabla 15 – Tiempos de abordaje según tipo de cobro, plataforma y dimensión de las puertas.

Tabla 17 – Información de frecuencias de servicios y pasajeros por parada y plataforma de operación según la distribución de las rutas en las paradas que se presenta en la Figura 37 (julio 2018).

Plataforma	Frecuencias					Pasajeros que suben o bajan de los buses				
	Paradas					Paradas				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1-A	12	8	10		NA	310	110	575		N/A
2-B	14	20	5	NA	NA	1677	2034	612	N/A	N/A
2-C	7	7	16		12	199	349	1685		65
3-D	17	20	19	12	12	130	1520	763	520	80
3-E	40	15	25	NA	NA	0	2716	6846	N/A	N/A

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 18 se presenta la saturación de cada una de las plataformas, considerando que por ser esta Terminal un lugar de intercambio entre servicios donde la ruta inicia o finaliza su recorrido y que está localizada en una zona donde la demanda de usuarios tiene comportamiento pendular, la cantidad de pasajeros que se suben o bajan de las unidades vehiculares es prácticamente su capacidad transportadora, para ascenso o descenso.

Tabla 18 – Saturación de paradas por plataforma de operación según la distribución de las rutas en las paradas que se presenta en la Figura 37 (julio 2018).

Plataforma	Paradas				
	1	2	3	4	5
1-A	13%	6%	20%		
2-B	14%	18%	5%		
2-C	8%	12%	54%		7%
3-D	10%	51%	29%	19%	7%
3-E	16%	20%	46%		

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados, se presentan en dos (2) paradas en la plataforma 3 (una por cada sentido) y una (1) parada en la plataforma 2 (sentido C) con saturación mayor a 40%, lo que incrementa el tiempo de operación. En la Figura 30, los autores (ITDP et al., 2010) efectúan la relación entre los tiempos de viaje y la saturación calculada, observándose que a mayor saturación el incremento porcentual en el tiempo de viaje es mayor.

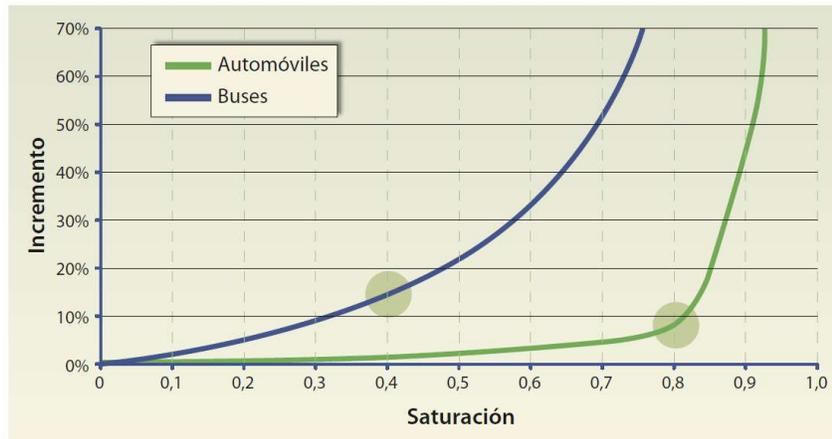


Figura 38 – Relación de tiempos de viaje y saturación.
Fuente: (ITDP et al., 2010).

Para el Transporte Público no se presenta un punto de inflexión tan claro como en el Transporte Privado, por lo que la recomendación de llegar a un máximo de 40% de saturación es solo una recomendación.

7.3. Evaluación de la evolución de pasajeros.

Dado que la toma de información se efectuó en momentos diferentes, se hizo una evaluación de la variabilidad de la demanda dentro del sistema para el sector de influencia, con base en la información que genera la plataforma tecnológica del sistema MIO, sobre los pasajeros pagos que ingresan al sistema, la cual fue suministrada por el Ente Gestor. Esta información cuenta con características muy detalladas como hora en la que ocurre; ruta o estación en la que ingresa el usuario; punto geográfico de acceso, etc. Para el caso particular se tomó la información de los servicios que tenían influencia en el sector de la Terminal Andrés Sanín por tipo de servicio, hora y las semanas cercanas a la toma de información.

Los servicios que fueron considerados de influencia en la Terminal Andrés Sanín son los que se presentan en la Tabla

Tabla 19 – Servicios considerados dentro del estudio de la Terminal Andrés Sanín.

Alimentadoras	A41A	A41B	A41C	A42A	A42B	A44A	A44B	A47	A53	A85		
Pretroncales	P12A	P14A	P24A	P24B	P24C	P40A	P40B	P47A	P47B	P47C	P84A	P84B
Troncales	E41	T40	T47B									

Fuente: Elaboración propia.

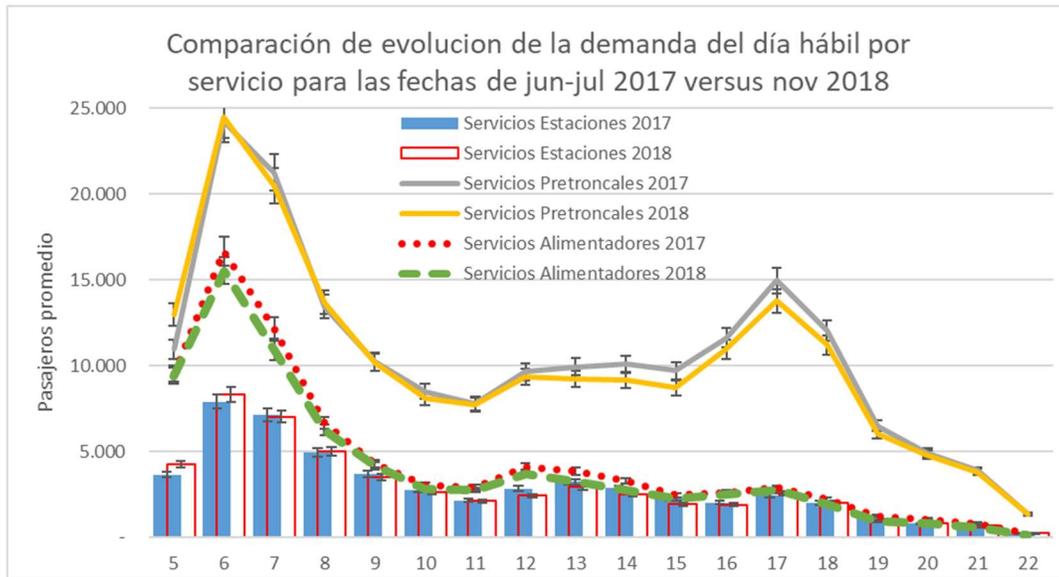


Figura 39 – Pasajeros totales para Estaciones por semana y hora del día.
Fuente: Elaboración propia. Usos del sistema (Información de recaudo)

- El comportamiento de los volúmenes para los periodos de 2017 y 2018, son muy cercanos, incluido el comportamiento a lo largo del día es prácticamente igual, quedando las diferencias dentro de los rangos de error en un porcentaje aceptable del 5%.
- Dado que la información con la que se cuenta permite ver los movimientos totales registrados en los equipos de control de acceso, siendo éstos muy abundantes y confiables.
- La información que nos interesa para el estudio está enmarcada en la mañana, información que tiene la mejor condición de captura, por cuanto en la mañana los viajes se registran en los vehículos de alimentación, mientras que en la tarde los viajes son registrados en otros lugares de la Ciudad, y los intercambios hacia estas rutas se da de forma física, sin posibilidad de registro con el mecanismo indicado, es por esta razón que en la tarde se observa la alimentación con baja demanda.
- Con base en la información anterior se puede concluir que los viajes para los periodos de 2017 y 2018 son equivalentes en cantidad de viajes y por este motivo se asumió el mismo comportamiento.

7.4. Condición operacional de intersecciones externas de la Terminal y de personas movilizadas.

Conforme se indicó en el numeral 5.3 Información primaria, en las siguientes figuras se presentan los resultados obtenidos en los aforos de las intersecciones externas a la Terminal.

La información tomada corresponde a la franja horaria de 5:30 AM a 8:45 AM, esto por cuanto se ha identificado la hora punta de la mañana como la franja más crítica del sector oriente, el cual está relacionado con la necesidad de llegada a sitios de trabajo o estudio, mientras que en la tarde se presenta la demanda de forma más aplanada y baja; en el resto del día se conforma un solo período valle. Por tanto, la necesidad de optimización de espacio se presenta cuando se registra la mayor concentración de usuarios, tanto del MIO como del sistema vial, dado que éstos últimos afectan la operación de la Terminal, tal como se indicó en la Figura 13 – Estudio de aforos vehiculares. Localización e identificación de movimientos, Av. Ciudad de Cali (Movimientos del 1 al 4) y la Calle 75 (movimientos del 6 al 11).

De forma general por volúmenes sin afectación de área ocupada se presentan los siguientes datos, para facilitar la identificación de la hora más crítica. Ver Figura 40.

Hora	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		TOTAL	
	VOL	%VOL	VOL	%VOL	VOL	%VOL	VOL	%VOL	VOL	%VOL	VOL	%VOL	VOL	%VOL	VOL	%VOL	VOL	%VOL	VOL	%VOL	VOL	%VOL	1-5	6-9
5 a. m.																								
:30	937	6,2%	94	8,2%	648	6,4%	1725	6,7%	96	11,5%	46	9,5%	58	7,1%	46	6,3%	3688	9,4%	25	5,9%	555	6,3%	3500	4.421
:45	1183	7,8%	121	10,5%	838	8,3%	2150	8,4%	96	11,5%	46	9,1%	63	7,7%	53	7,2%	4393	11,2%	28	6,7%	706	8,0%	4388	5.288
6 a. m.																								
:00	1340	8,8%	128	11,1%	970	9,6%	2298	9,0%	91	10,9%	45	8,9%	68	8,4%	60	8,2%	4915	12,5%	28	6,7%	807	9,1%	4827	5.923
:15	1388	9,1%	135	11,7%	1009	10,0%	2468	9,7%	55	6,6%	42	8,3%	67	8,2%	68	9,3%	5136	13,1%	31	7,4%	801	9,1%	5055	6.145
:30	1329	8,8%	138	12,0%	1000	9,9%	2451	9,6%	55	6,6%	44	8,7%	60	7,4%	70	9,5%	4799	12,2%	39	9,3%	739	8,4%	4973	5.751
:45	1357	8,9%	101	8,8%	904	9,0%	2403	9,4%	59	7,1%	44	8,7%	64	7,9%	69	9,4%	3800	9,7%	36	9,0%	674	7,6%	4824	4.689
7 a. m.																								
:00	1289	8,5%	84	7,3%	823	8,2%	2357	9,2%	62	7,4%	39	7,7%	59	7,2%	66	9,0%	2770	7,1%	39	9,3%	668	7,6%	4615	3.641
:15	1237	8,1%	76	6,6%	760	7,5%	2158	8,4%	62	7,4%	36	7,1%	62	7,6%	61	8,3%	2361	6,0%	35	8,3%	678	7,7%	4293	3.233
:30	1219	8,0%	58	5,0%	718	7,1%	1953	7,6%	58	6,9%	31	6,1%	73	9,0%	59	8,0%	1760	4,5%	33	7,8%	697	7,9%	4006	2.653
:45	1136	7,5%	62	5,4%	680	6,7%	1770	6,9%	54	6,5%	33	6,5%	67	8,2%	56	7,6%	1708	4,4%	33	7,8%	710	8,0%	3702	2.607
8 a. m.																								
:00	1108	7,3%	62	5,4%	670	6,6%	1583	6,2%	56	6,7%	37	7,3%	71	8,7%	53	7,2%	1779	4,5%	35	8,3%	715	8,1%	3479	2.690
:15	845	5,6%	39	3,4%	529	5,2%	1157	4,5%	42	5,0%	29	5,7%	54	6,6%	37	5,0%	1087	2,8%	28	6,7%	523	5,9%	2612	1.758
:30	550	3,6%	34	3,0%	360	3,6%	738	2,9%	32	3,8%	22	4,3%	32	3,9%	25	3,4%	647	1,7%	18	4,3%	363	4,1%	1714	1.107
:45	266	1,8%	17	1,5%	176	1,7%	349	1,4%	17	2,0%	11	2,2%	16	2,0%	11	1,5%	334	0,9%	11	2,6%	185	2,1%	825	568

Figura 40 – Volúmenes vehiculares por movimientos y cuartos de hora desde las 5:30 AM hasta las 8:45 AM

Fuente: Elaboración Propia. Aforos vehiculares del 14 al 5 de noviembre de 2017.

De la Figura 40 se puede observar que:

- Los volúmenes más representativos son los que se encuentran en los movimientos 9 (en la Calle 75 S-N), 4 y 1 (en la Av. Ciudad de Cali N-S), en orden del más cargado al menos cargado.
- Los volúmenes de la Av. Ciudad de Cali son más regulares durante las horas aforadas.
- Las intersecciones presentan un desfase de ocupación de aproximadamente 15 minutos, siendo en la Calle 75, el que ocurre más temprano.
- La franja más cargada está entre las 5:45 AM y las 7:00 AM. Por tanto, se ha adoptado como hora pico de la mañana la franja de 6:00 AM y las 7:00 AM.

Haciendo el resumen gráfico de la hora pico (6:00 AM - 7:00 AM) analizada se tienen los siguientes resultados:

El primer factor que se analiza, son los volúmenes de vehículos que se presentan en las dos intersecciones evaluadas, Av. Ciudad de Cali y la Calle 75, presentando la distribución porcentual, por movimiento, de los volúmenes de vehículos observados en los aforos. Ver Figura 33.

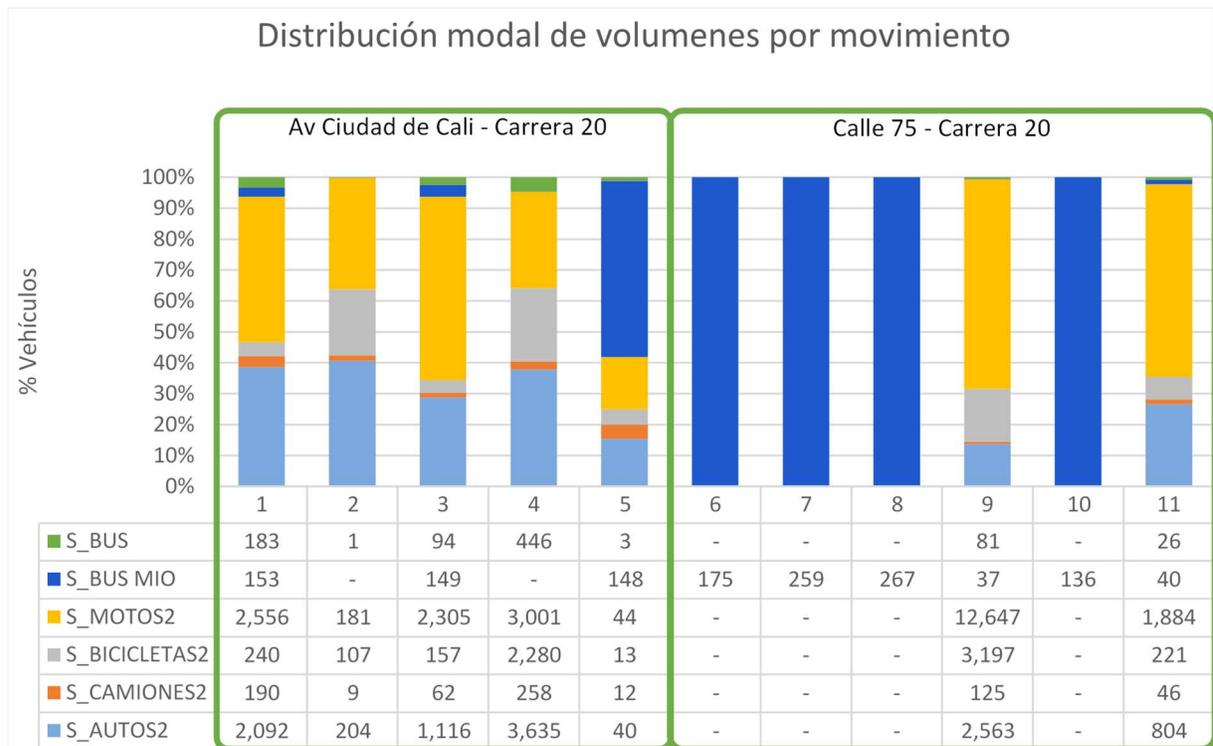


Figura 41 – Distribución modal de vehículos por movimiento, para la Hora Pico (6-7 AM).
Fuente: Elaboración Propia. Aforos vehiculares.

- Se observan los movimientos exclusivos del SITM (6, 7, 8 y 10).
- El movimiento 5 tiene una gran participación de vehículos del Sistema (cerca al 60%), por cuanto se encuentra el ingreso en sentido sur-norte de los servicios pretoncales que arriban por la Av. Ciudad de Cali.
- Aunque en la intersección de la Calle 75 se registran un poco más de 900 vehículos del MIO, por la Avenida Ciudad de Cali sólo ingresan cerca de 450 vehículos, lo que permite destacar que la condición de carril exclusivo por la Calle 75 (Movimientos 6, 7, 8 y 10) permite la operación sin mayores inconvenientes.
- En términos generales existe alta presencia de motocicletas en las dos intersecciones, promedio de 54% de los vehículos.
- Los autos son mucho más representativos en la Av. Ciudad de Cali, mientras que las motos en la Calle 75.
- Las bicicletas forman también parte de esta distribución, especialmente en la intersección de la calle 75, con una importante participación (11%).

Como un análisis preliminar, para determinar la capacidad instalada de los buses del SITM contra su uso en las horas más críticas de la mañana y la tarde (5:00 – 9:00 y 16:00 – 19:00), en las siguientes figuras se muestran los resultados de los aforos de Frecuencia y Ocupación Visual (FOV), tomados durante los días 18 y 25 de septiembre de 2018. Información que es considerada para efectuar un análisis de cantidad de personas que se mueven en las intersecciones de influencia de la Terminal Andrés Sanín. Así mismo se tomaron estos datos para estimar la cantidad de personas que se mueven en las intersecciones y efectuar una pequeña evaluación de la relación del uso de la infraestructura vial.

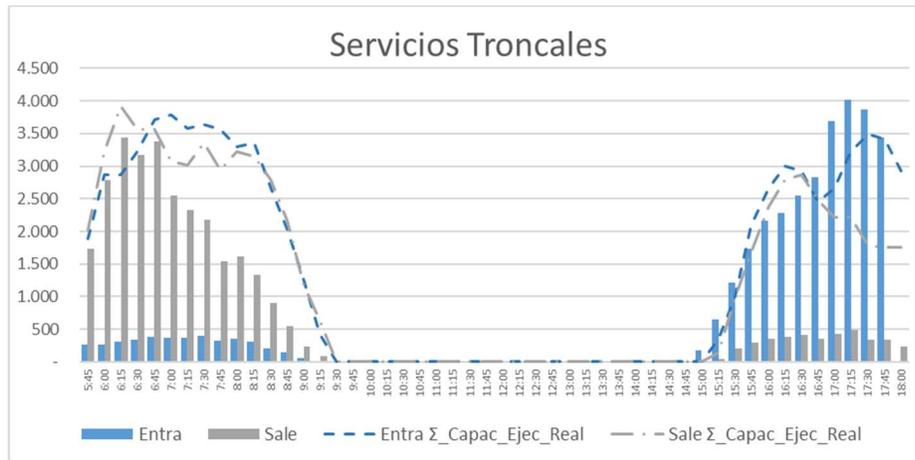


Figura 42 – Pasajeros que ingresan y salen de la Terminal en los Buses Articulados del MIO. Fuente: Elaboración Propia. Aforos FOV del 18 y 25 de septiembre de 2017 (5:00 – 9:00 y 16:00 – 19:00).

Tabla 20 – Relación volumen de pasajeros movilizados y capacidad instalada Servicios Troncales.

Movimiento	Característica	Hora Pico Mañana		Hora Pico Tarde		Total	
		Cantidad	Relación (P/C)	Cantidad	Relación (P/C)	Cantidad	Relación (P/C)
Entra	Pasajeros (P)	1,119	10%	7,999	97%	9,118	47%
	Capacidad (C)	11,203		8,248		19,450	
Sale	Pasajeros (P)	7,203	67%	1,020	16%	8,223	48%
	Capacidad (C)	10,702		6,329		17,030	
Total	Pasajeros (P)	8,322	38%	9,019	62%	17,341	48%
	Capacidad (C)	21,904		14,576		36,480	

Fuente: Elaboración Propia. Aforos FOV del 18 y 25 de septiembre de 2017, (5:00 – 9:00 y 16:00 – 19:00).

- Se observa que el uso de la capacidad es baja en la mañana para la entrada y en la tarde para la salida, esto demuestra que la demanda que usa los servicios troncales es muy pendular.
- Sin embargo, se observa una sobreoferta de alrededor del 30% en el período de la mañana, que podría ser ajustado a partir de las 7:45 AM.
- Con base en estos números se puede adoptar una ocupación para la mañana de 16 pasajeros (10%) para los buses articulados que ingresan y de 107 pasajeros (67%) para los que salen.

Para los servicios pretroncales se tienen los siguientes resultados.

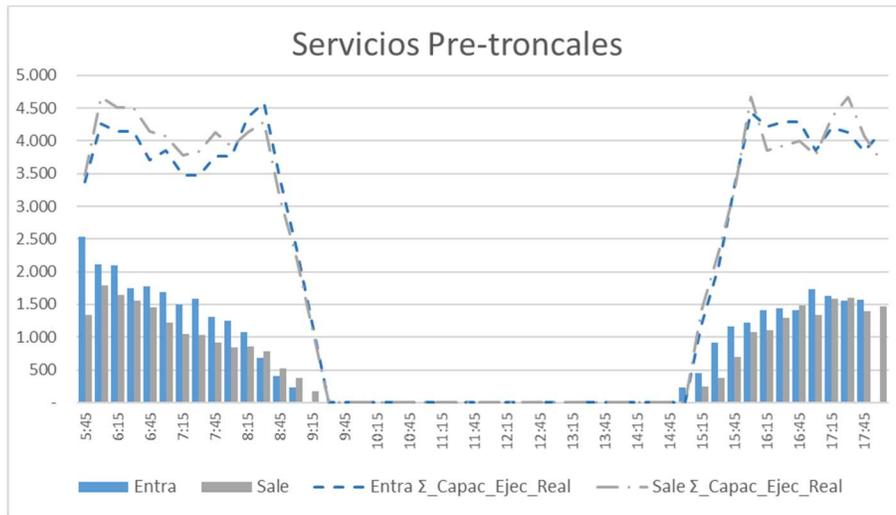


Figura 43 – Pasajeros que ingresan y salen de la Terminal en los Buses Padrones del MIO.
Fuente: Elaboración Propia. Aforos FOV del 18 y 25 de septiembre de 2017, (5:00 – 9:00 y 16:00 – 19:00).

Tabla 21 – Relación volumen de pasajeros movilizados y capacidad instalada
Servicios Pretoncales.

Movimiento	Característica	Hora Pico Mañana		Hora Pico Tarde		Total	
		Cantidad	Relación (P/C)	Cantidad	Relación (P/C)	Cantidad	Relación (P/C)
Entra	Pasajeros (P)	6,025	46%	4,155	33%	10,180	40%
	Capacidad (C)	13,164		12,424		25,587	
Sale	Pasajeros (P)	4,227	28%	3,894	32%	8,121	30%
	Capacidad (C)	14,866		12,210		27,076	
Total	Pasajeros (P)	10,252	37%	8,049	33%	18,301	35%
	Capacidad (C)	28,029		24,634		52,663	

Fuente: Elaboración Propia. Aforos FOV del 18 y 25 de septiembre de 2017, (5:00 – 9:00 y 16:00 – 19:00).

- Se observa que el uso de la capacidad es más equilibrado en la mañana y la tarde, respecto de los servicios troncales.
- Se observa que los volúmenes entre la mañana y la tarde son menos equilibrados que los que presentan los servicios troncales.
- Con base en estos valores se puede adoptar una ocupación para la mañana de 36 pasajeros para los buses padrones que ingresan y de 23 pasajeros para los que salen.

Para los servicios alimentadores se tienen los siguientes resultados.

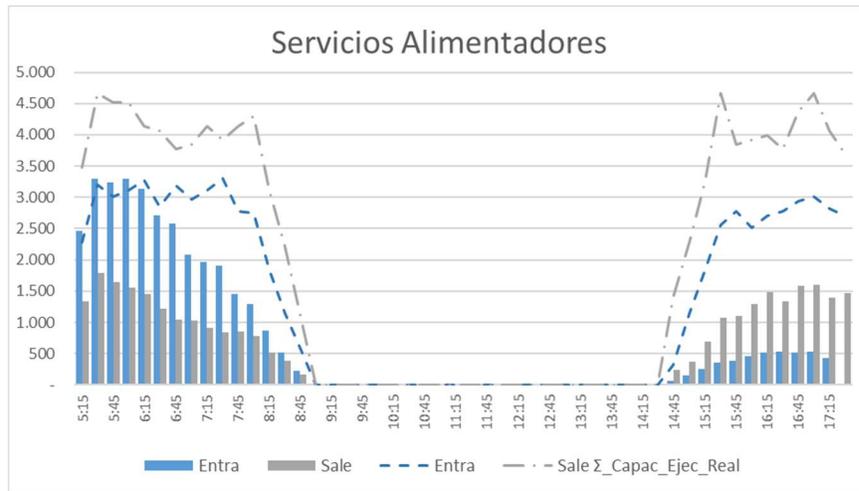


Figura 44 – Pasajeros que ingresan y salen de la Terminal en los Buses Complementarios y Padrones del MIO.

Fuente: Elaboración Propia. Aforos FOV del 18 y 25 de septiembre de 2017, (5:00 – 9:00 y 16:00 – 19:00).

Tabla 22 – Relación volumen de pasajeros movilizados y capacidad instalada Servicios Alimentadores.

Movimiento	Característica	Hora Pico Mañana		Hora Pico Tarde		Total	
		Cantidad	Relación (P/C)	Cantidad	Relación (P/C)	Cantidad	Relación (P/C)
Entra	Pasajeros (P)	8,437	80%	1,286	16%	9,723	52%
	Capacidad (C)	10,509		8,046		18,555	
Sale	Pasajeros (P)	1,306	15%	5,556	63%	6,861	40%
	Capacidad (C)	8,451		8,777		17,227	
Total	Pasajeros (P)	9,742	51%	6,842	41%	16,584	46%
	Capacidad (C)	18,960		16,823		35,782	

Fuente: Elaboración Propia. Aforos FOV del 18 y 25 de septiembre de 2017, (5:00 – 9:00 y 16:00 – 19:00).

- Se observa que el uso de la capacidad es similar al servicio troncal, con la característica pendular, siendo alto el uso de la capacidad en la mañana para la entrada y en la tarde para la salida.
- Así mismo tiene oportunidad de revisar la oferta para ser mejorada durante las diferentes horas en que se presta.
- Con base en estos números se puede adoptar una ocupación para la mañana de 38 pasajeros (80%) para los buses complementarios que ingresan y de 8 pasajeros (15%) para los que salen.

Los anteriores valores formarán parte de los factores de equivalencia para transformar los volúmenes de vehículos (en este caso buses del MIO) a pasajeros.

Para transformar la cantidad de vehículos que no son parte de los buses del MIO, se usaron los factores que se indican en la Tabla 23.

AUTOS	CAMIONES	BICICLETAS	MOTOS	BUS MIO	BUS
1,6	0,0	1,0	1,2	Ocupación calculada por movimiento ¹	25,0

Fuente: Elaboración Propia. ¹: Figura 45 – Relación entre Vehículos y Pasajeros que se mueven en las dos intersecciones de la Terminal Andrés Sanín.

Con base en la información anterior, se construye el resumen del total de los movimientos de las dos intersecciones, de volúmenes de vehículos y personas movilizadas, para tratar de representar la cantidad que pasajeros y el uso de la cantidad de vehículos que usan las intersecciones entorno a la terminal.



Comparación entre Vehículos y Pasajeros (mañana)	Movimientos											TOTAL	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1-5	6-9
Suma Vehículos	15.184	1.149	10.085	25.560	835	507	814	734	39.178	421	8.820	52.813	50.474
Suma Pax	43.467	1.759	30.943	55.816	14.116	55.973	8.968	43.669	55.832	6.736	16.419	146.101	187.597
Relación V/Pax	2,86	1,53	3,07	2,18	16,91	110,40	11,02	59,49	1,43	16,00	1,86	2,8	3,7

Comparación entre Vehículos y Pasajeros (HP)	Movimientos											TOTAL	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1-5	6-9
Suma Vehículos	5.414	502	3.883	9.620	260	175	259	267	18.650	136	3.021	19.679	22.508
Suma Pax	15.911	676	11.618	22.847	4.734	19.320	2.854	15.885	25.632	2.176	5.642	55.786	71.508
Relación V/Pax	2,94	1,35	2,99	2,37	18,21	110,40	11,02	59,49	1,37	16,00	1,87	2,8	3,2

Figura 45 – Relación entre Vehículos y Pasajeros que se mueven en las dos intersecciones de la Terminal Andrés Sanín.

Fuente: Elaboración Propia.

- De acuerdo con los datos anteriores, se observa que los volúmenes vehiculares para la hora pico de 6:00 AM a 7:00 AM son consecuentes con la cantidad de

personas movilizadas en las dos intersecciones, mientras que si se toma la franja de información completa en la mañana (5:30 AM a 9:00 AM), se presenta una inversión de los máximos de cantidad de vehículos versus personas movilizadas.

- Los factores de ocupación por vehículo, en promedio de cada movimiento son de 2,8 y 3,7 para el total de la información levantada en la mañana. Lo que demuestra que son bajos respecto del uso que podría darse a la infraestructura.
- Esto tiene efectos en la congestión, emisiones ambientales y, por tanto, en la calidad de vida de los ciudadanos.
- Con lo que se demuestra que podría mejorar la cobertura del servicio en la hora pico, por cuanto una relación entre personas movilizadas versus vehículos puede ser más alta.

En las siguientes Figuras se presenta la distribución de personas movilizadas por modo y movimiento en las dos intersecciones.

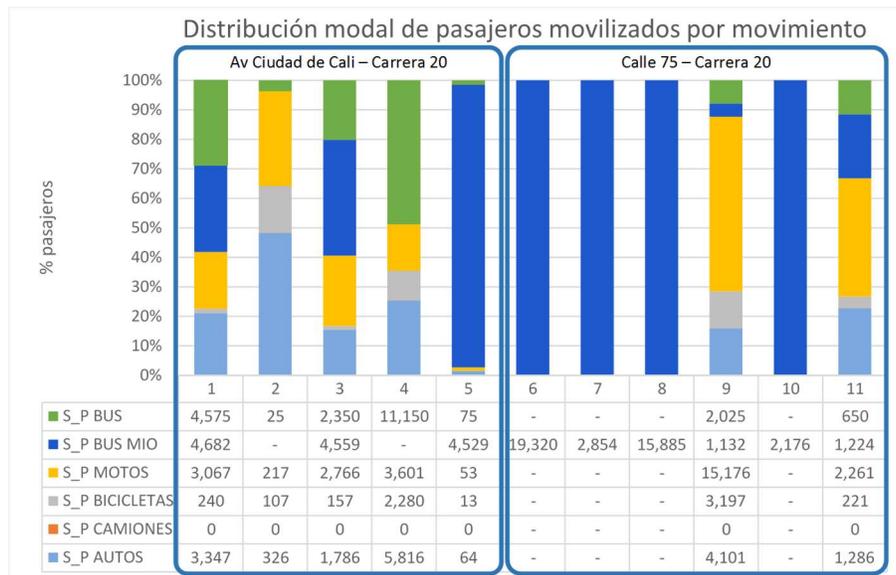


Figura 46 – Distribución modal de pasajeros por movimiento, Hora Pico 6:00 AM - 7:00 AM.
Fuente: Elaboración Propia. Aforos FOV del 18 y 25 de septiembre de 2017.

- Se observan los movimientos exclusivos del SITM (6, 7, 8 y 10) que prácticamente asumen más del 95% de los viajeros que pasan por esta intersección.
- Los volúmenes de la Av. Ciudad de Cali son más regulares durante las horas aforadas.

- La presencia de motocicletas en las dos intersecciones se mantiene, sin embargo, pasa del 54% de participación en vehículos al 21% de pasajeros.
- Se gana espacio de la distribución el modo BUS.

En la siguiente figura se presenta el resumen de la comparación de los valores de pasajeros movilizados y vehículos para cada una de las dos intersecciones analizadas y el consolidado de las dos intersecciones.

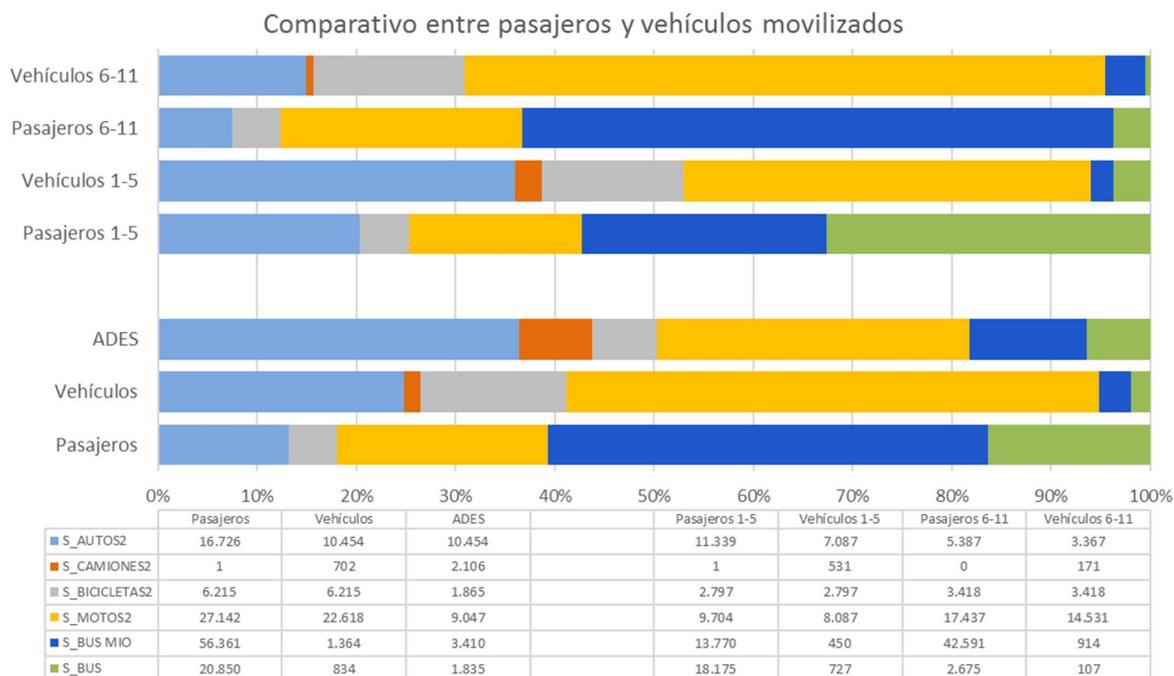


Figura 47 – Comparación de la distribución modal de pasajeros y vehículos por movimiento.

Para esta figura se ha considerado como muestra visual, la evaluación del espacio ocupado por cada modo, factores que se presentan en la Tabla 24

Tabla 24 – Factores adoptados para la estimación de ocupación del espacio en las vías
Autos de Directo Equivalentes – ADE⁴.

AUTOS	CAMIONES	BICICLETAS	MOTOS	BUS MIO	BUS
1,0	4,0	0,2	0,3	3,5	2,5

Fuente: Elaboración Propia.

- Es muy clara la reducción de la participación porcentual de los modos versus el transporte público, llegando a ser el 60% de los viajes movilizados en las dos intersecciones.

⁴ Para la conversión de tráfico mixto a Automóviles Directos Equivalentes (ade). En Colombia no existe un estudio sobre los factores a ser usados, sin embargo, el INVIAS usa en su manual de diseño geométrico los establecidos por el Departamento de Transporte de la Gran Bretaña.

- Esto evidentemente tiene que generar el beneficio que requieren los sistemas de transporte público en el uso de la sección transversal, dado que la Av. Ciudad de Cali no cuenta con carril exclusivo para el MIO.
- La cantidad de pasajeros movilizados en MIO llega aproximadamente al 45% de los pasajeros que pasan por las dos intersecciones, mientras que en participación de número de vehículos no llega al 5% y en términos de espacio ocupado representa aproximadamente el 10%, lo que realmente es un medio eficiente con el uso del espacio.
- El MIO en términos de pasajeros es el más representativo respecto de los que usan las intersecciones estudiadas.
- Las motos son el modo más representativo en cantidad de vehículos (cercano al 54%), que transporta el 21% de los pasajeros, con una relación del espacio ocupado, cercano al 33%, sin embargo, no llega a ser tan eficiente como la relación del MIO, que ocupando el 10% lleva cerca del 45% de los pasajeros.

8. Construcción y evaluación de alternativas

8.1. Configuración de escenarios para evaluar

Con el análisis de la información levantada en campo y luego de realizar el respectivo diagnóstico de operación de la Terminal enfocada al usuario, se construyó inicialmente un primer grupo de veintitrés (23) escenarios que permitieran mitigar la problemática actual. Para ello se tuvieron en cuenta la valoración de datos como:

- Cantidad de usuarios existentes en un momento dado en cada plataforma.
- Cantidad de usuarios que requerían conectarse con rutas de la misma plataforma.
- Cantidad de usuarios que requerían conectarse con rutas de otra plataforma.
- Cantidad de cambios en rutas.
- Cuantificación de variaciones en longitudes de recorridos al interior de la Terminal por parte de los vehículos.

Los escenarios generados contemplan variaciones en la operación actual de las rutas como:

- Reubicación de paradas en las plataformas. No se consideró incluir dentro de esta configuración las rutas que operan en la plataforma 1, porque estas atienden sectores que hoy registran una fuerte venta de integraciones y que, por lo tanto, para evitar este fenómeno las rutas llegan a una zona no paga.
- Prestación del servicio de determinada(s) ruta(s) en las dos (2) plataformas centrales.
- Prestación del servicio de determinada(s) ruta(s), rutas con operación dividida en las plataformas centrales.

Luego de reuniones realizadas con el personal de la Dirección de Operaciones y la Dirección Comercial y Servicio al Cliente de Metro Cali SA, se construyó un segundo grupo de veintisiete (27) escenarios adicionales que recogían las observaciones planteadas por diferentes profesionales de las oficinas mencionadas, incluyendo escenarios que consideraran la implementación por etapas. A continuación, se presentan en la

Tabla 25 los cincuenta (50) escenarios de optimización planteados.

Dentro de los escenarios planteados se encuentran servicios que se han denominado “doble parada” que atienden las dos plataformas centrales y que generan mayores

recorridos, y los servicios denominados “divididos”, los cuales reparten la frecuencia entre las dos plataformas, que no aumentan su recorrido en distancia dentro de la terminal, pero incrementan el tiempo de espera en cada plataforma.

Tabla 25 - Escenarios de optimización planteados con los Indicadores obtenidos para el período de análisis de 5:30 am a 8:30 am

Escenario	Descripción	Entrecruza mientos	% Reducción Entrecruza mientos	Distribución entre plataformas	Rutas divididas	Rutas Doble parada	Rutas con paradas trasladadas	Rutas Modificadas (Pondera s)
Esclnicial	Distribución actual de las paradas	4723	0%	1.97	0	0	0	0
Esc1	Modificación localización de parada P24B -->	4358	8%	2.31	0	0	2	2
Esc2	Reorganización total	4455	6%	2.37	0	0	15	15
Esc3	Esc2_Doble parada ruta A47	3915	17%	2.27	0	1	0	1
Esc4	Esclnicial_Doble parada ruta A47	3542	25%	1.77	0	1	0	1
Esc5	Esclnicial_Doble parada ruta A47 + P24B	2869	39%	2.00	0	2	0	2
Esc6	Esclnicial_Doble parada ruta A47 + P24B + P47B	2715	43%	2.05	0	3	0	3
Esc7	Esclnicial_Doble parada ruta A47 + P24B + P40B	2368	50%	2.20	0	3	0	3
Esc8	Esclnicial_Doble parada ruta A47 + P24B + P12A_B2	2712	43%	2.07	0	3	0	3
Esc9	Esclnicial_Doble parada ruta A47 + P24B + P24A	2682	43%	2.07	0	3	0	3
Esc10	Esclnicial_Doble parada ruta A47 + P24B + P14A	2608	45%	2.17	0	3	0	3
Esc11	Esclnicial_Doble parada ruta A47 + P24B + P40B + P14A	1994	58%	2.38	0	4	0	4
Esc12	Esclnicial_Doble parada para todas las Alimentadoras	1982	58%	1.52	0	6	0	6
Esc13	Esclnicial_Doble parada ruta A47 + P24B + P40B + A41A	2368	50%	2.20	0	4	0	4
Esc14	Esc_CB_Dividiendo servicios troncales y pretroncales	29	99%	0.39	2	14	20	36
Esc15	Esclnicial_Doble parada para las Alimentadoras + Dividir servicios Troncales	413	91.2%	0.45	2	10	9	21
Esc16	Esclnicial_Doble parada para las Alimentadoras - A44B + Dividir servicios Troncales + MOV DESC ALIM	681	85.6%	0.48	2	11	13	26
Esc17	Esclnicial_Doble parada ruta A47 + P24B + P40B + P14A + E41 + Dividir servicio Troncal	890	81%	1.21	2	5	8	15
Esc18	Esclnicial_Doble parada ruta A47 + P24B + P40B + P14A + P12A_B2(U) + Dividir servicio Troncal + MOV DESC ALIM	1061	78%	1.65	2	5	13	20

OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN AL INTERIOR DE LA TERMINAL ANDRÉS SANÍN
SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE MASIVO -SITM- MIO

Escenario	Descripción	Entrecruza mientos	% Reducción Entrecruza mientos	Distribución entre plataformas	Rutas divididas	Rutas Doble parada	Rutas con paradas trasladadas	Rutas Modificadas (Pondera)
Esc19	Esc_CB_Dividiendo servicios troncales y pretroncales (Com 13 y 14 -> Plat 2) - P24C_D5 + MOV DESC ALIM	7	100%	1.77	2	11	19	32
Esc20	Escnicial_Doble parada ruta P24B + P40B + P14A + E41 + P12A_B2(U) + Dividir servicio Troncal + MOV DESC ALIM	1070	77%	0.93	2	5	17	24
Esc21	Esc_CB_Dividiendo servicios troncales y pretroncales - P24C_D5 (SIN MOVER DESC ALIM)	296	94%	0.41	2	11	15	28
Esc22	Escnicial_Doble parada ruta A47 + P24B + P40B + P14A + E41 + P12A_B2(U) + Dividir servicio Troncal	816	83%	1.25	2	6	13	21
Esc23	Escnicial_Doble parada ruta P24B + P40B + P14A + E41 + P12A_B2(U) + Dividir servicio Troncal	825	83%	0.71	2	5	10	17
Esc24	Escnicial_Doble parada P24B + P40B	3283.69	30%	2.58	0	2	0	2
Esc25	Escnicial_Dividiendo servicio Troncal + E41	2026.90	57%	1.02	3	0	0	3
Esc26	Escnicial_Dividiendo servicio Troncal	3233.56	32%	0.73	2	0	0	2
Esc27	Escnicial_Doble parada ruta P24B + P40B + P14A + P12A_B2(U)	2507.56	47%	3.10	0	4	0	4
Esc28	Escnicial_Doble parada ruta P24B + P40B + E41 + Dividir servicio Troncal	1004.56	79%	0.67	2	3	0	5
Esc29	Escnicial_Doble parada ruta P24B + P40B + P14A + E41 + Dividir servicio Troncal	898	81%	0.69	2	4	10	16
Esc30	Escnicial_Doble parada ruta A47 + P24B + P40B + P14A --- T47B(2) -T40 y E41(3)	2829	40%	1.15	0	4	2	6
Esc31	Escnicial_Doble parada ruta A47 + P24B + P40B + P14A --- T47B(3) -T40 y E41(2)	3552	25%	0.84	0	4	7	11
Esc32	Escnicial_Doble parada ruta A47 + P24B + P40B + P14A --- T47B-T40 y E41(3)	1994	58%	2.38	0	4	1	5
Esc33	Escnicial_Doble parada ruta A47 + P24B + P40B + P14A --- E41(2) -T40 y T47B(3)	4068	14%	1.31	0	4	2	6
Esc34	Escnicial_Doble parada ruta A47 + P24B + P40B + P14A + T47B ---T40-E41 y T47B(3)	1523	68%	1.74	0	5	2	7
Esc35	Escnicial_Doble parada ruta A47 + P24B + P40B + P14A --- T40-E41 y T47B(2)	4388	7%	0.46	0	4	8	12
Esc36	Escnicial_Doble parada ruta P24B + P40B + P14A --- T40-E41 y T47B(2) -- A47(2)	4396	7%	0.46	0	3	10	13
Esc37	Escnicial_Doble parada ruta P24B + P40B + P14A --- T40-E41 y T47B(2) -- A47(3)	8211	-74%	0.83	0	3	8	11
Esc38	Escnicial_Doble parada ruta P24B + P40B + P14A + T40-E41 y T47B --- A47(3)	1679	64%	2.03	0	3	8	11
Esc39	Escnicial_Doble parada ruta P24B + P40B + P14A + T40-E41 y T47B --- A47(2)	898	81%	0.69	0	6	8	14
Esc40	Escnicial_Doble parada ruta A47 + P40B + P14A + T47B ---T40-E41(3) -- P24B(2)	2190	54%	1.54	0	6	8	14
Esc41	Escnicial_Doble parada ruta A47 + P24B + P14A + T47B ---T40-E41(3) -- P40B (2)	1929	59%	1.59	0	4	2	6
Esc42	Escnicial_Doble parada ruta A47 + P24B + P40B + T47B ---T40-E41(3) -- P14A (2)	1818	62%	1.33	0	4	2	6
Esc43	Escnicial_Doble parada ruta P24B + P40B + P14A + T47B ---T40-E41(3) -- A47 (2)	3216	32%	1.12	0	4	2	6

Escenario	Descripción	Entrecruzamientos	% Reducción Entrecruzamientos	Distribución entre plataformas	Rutas divididas	Rutas Doble parada	Rutas con paradas trasladadas	Rutas Modificadas (Pondera)
Esc44	Esclnicial_Doble parada ruta A47 + P24B + P40B ---T47B-E41(3) -- T40 (2)	3030	36%	1.24	0	3	7	10
Esc44_E1	Esclnicial_Doble parada ruta A47 ---T47B-E41(3) -- T40 (2)	4190	11%	1.07	0	1	4	5
Esc45	Esclnicial_Doble parada ruta A47 + P24B + P40B + T47B ---T40-E41(3) -- Desc Troncal Doble parada	1759	63%	1.61	0	1	4	5
Esc46	Esclnicial_Doble parada ruta A47+ T47B ---T40-E41(3) -- Desc Troncal Doble parada	2830	40%	1.34	0	1	4	5
Esc47	Esclnicial_Doble parada ruta T47B ---T40-E41(3) -- Desc Troncal Doble parada	4008	15%	1.79	0	1	4	5
Esc48	Esclnicial_Doble parada ruta A47 + P24B + P40B + T47B + T40 ---E41(3) -- Desc Troncal Doble parada	1309	72%	0.96	0	1	4	5
Esc49	Esclnicial_Doble parada ruta P24B + P40B + T47B + T40 ---E41(3) -- Desc Troncal Doble parada	2224	53%	2.19	0	1	4	5
Esc50	Esclnicial_Doble parada ruta P24B + P40B + T47B + T40 ---E41(3) -- A47 (2) ---Desc Troncal Doble parada	2062	56%	0.85	0	1	4	5

Fuente: Elaboración Propia.

8.2. Evaluación de escenarios

Posterior a la etapa de diagnóstico y análisis de la situación actual, se generaron diferentes escenarios de evaluación e indicadores que permitieran, por medio de una metodología, priorizar los escenarios de solución planteados, teniendo en cuenta las observaciones de diferentes áreas de la Entidad, de tal forma que la solución a implementar lograra ser lo más integral posible.

Para evitar subjetividades en el proceso, la valoración de los escenarios se realizó bajo el proceso de Análisis Jerárquico propuesto por Thomas Saaty, el cual permite estructurar, medir y sintetizar diferentes escenarios de evaluación de un proyecto con el fin de seleccionar de acuerdo con unos criterios, una solución óptima para alcanzar el objetivo del proyecto.

Los criterios bajo los cuales se realizó la priorización de los escenarios planteados son:

- Porcentaje de reducción de entrecruzamientos: Porcentaje de la cantidad de usuarios que dejan de transferir de una plataforma a otra para continuar su viaje, es decir pueden realizar su conexión del servicio requerido dentro de la misma plataforma; lo que se traduce en una disminución de tiempos de desplazamiento peatonal dentro la Terminal y menores distancias de caminata.

- Distribución entre plataformas: representa la relación entre la cantidad de usuarios que se encuentran en cada plataforma central, considerando la sumatoria de usuarios que llegan y salen de la plataforma y los que se mueven sobre la misma en el período de análisis. Una mejor distribución podría balancear las condiciones de flujos en las plataformas, teniendo en cuenta las actuales dimensiones y posible saturación.
- Cantidad de rutas modificadas: Esta dada por la sumatoria de rutas que cambian sus paradas al interior de la Terminal, tales como: reubicación de la parada y adición de paradas. Un gran número de cambios podrían generar en el usuario una mala experiencia, provocando un rechazo inicial de las medidas.
- Variación en longitud del recorrido que realizan los vehículos al interior de la Terminal durante el periodo análisis: Cuantificación de kilómetros adicionales o reducción de éstos. Mayores recorridos al interior generan congestión vehicular, demoras en la circulación interna e ineficiencia en el uso de la flota.

Con la definición de los anteriores criterios y en conjunto con profesionales de la Dirección de Operaciones y la Dirección Comercial y de Servicio al Cliente de Metro Cali S.A., se realizó la valoración en importancia de cada criterio en comparación con cada uno de ellos, a través de la escala de comparación de Saaty.

A continuación, se presenta en la Tabla 26 - Vectores de priorización de criterios (evaluada por varios profesionales) la priorización de criterios según la perspectiva de cada evaluador, los Profesionales del 1 al 5 vinculados a la Dirección de Operaciones y el Profesional 6 vinculado a la Dirección Comercial y de Servicio al Cliente de Metro Cali S.A. La imagen se presenta en una escala de colores que van del rojo al verde, tal como se indica en la Figura 48, donde entre mayor sea la tonalidad de verde, mayor importancia tiene el criterio para quien evalúa y rojo para la condición menos importante. Es decir, para el caso del profesional 6 el criterio de evaluación más importante es el de Distribución entre plataformas (50%), seguido del % Reducción de entrecruzamientos (36%), Cantidad de rutas modificadas (10%), y por último y el que menor peso tiene, variación en longitud de recorridos al interior de la Terminal (4%).

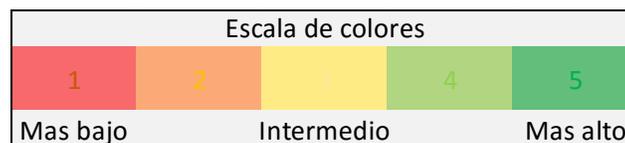


Figura 48 – Escala de colores según la importancia o peso que representa
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 26 - Vectores de priorización de criterios (evaluada por varios profesionales)

Criterio	Vector de Prioridad Prof. 1	Vector de Prioridad Prof. 2	Vector de Prioridad Prof. 3	Vector de Prioridad Prof. 4	Vector de Prioridad Prof. 5	Vector de Prioridad Prof. 6
% Reducción de entrecruzamientos	40%	25%	27%	42%	36%	36%
Distribución entre plataformas	13%	10%	8%	12%	36%	50%
Rutas modificadas	42%	55%	61%	42%	22%	10%
Δ %Long -> inicial	5%	10%	5%	4%	6%	4%

Fuente: Elaboración Propia.

La consistencia de la valoración para todos los casos de evaluación estuvo por debajo del 10%, lo que garantiza que los vectores obtenidos cumplen con los principios de transitividad y proporcionalidad de las preferencias.

De acuerdo con cada vector de priorización generado a partir de los criterios evaluados, se estimó la priorización de escenarios para cada profesional, apoyados en datos cuantitativos pertenecientes a cada escenario.

Para la valoración realizada, se adoptó un mismo peso en las variaciones de la operación actual de las rutas en cuanto a paradas se refiere (reubicación de paradas, dobles paradas, operación dividida en las plataformas centrales).

En la Tabla 27 se muestra la priorización de los escenarios más representativos, luego de relacionar los vectores de priorización de criterios y los datos cuantitativos de cada escenario. La lectura en escala de colores nuevamente se presenta en tonalidades que van de rojo a verde, donde, entre mayor sea la tonalidad de verde más beneficioso es el escenario para cada evaluador.

Tabla 27 - Vectores de priorización de escenarios (evaluada por varios profesionales)

Escenario	Vector de Prioridad Prof. 1	Vector de Prioridad Prof. 2	Vector de Prioridad Prof. 3	Vector de Prioridad Prof. 4	Vector de Prioridad Prof. 5	Vector de Prioridad Prof. 6
Esc14	2,7%	1,7%	1,8%	2,7%	3,1%	3,46%
Esc15	3,8%	3,4%	3,5%	3,9%	3,8%	3,85%
Esc16	3,4%	2,8%	2,9%	3,4%	3,6%	3,79%
Esc17	4,5%	4,2%	4,3%	4,5%	4,7%	4,96%
Esc18	3,9%	3,5%	3,6%	3,9%	4,0%	4,22%

Escenario	Vector de Prioridad Prof. 1	Vector de Prioridad Prof. 2	Vector de Prioridad Prof. 3	Vector de Prioridad Prof. 4	Vector de Prioridad Prof. 5	Vector de Prioridad Prof. 6
Esc19	3,1%	2,3%	2,3%	3,2%	3,7%	4,16%
Esc20	3,8%	3,3%	3,3%	3,8%	4,5%	4,99%
Esc21	3,3%	2,6%	2,7%	3,3%	3,4%	3,63%
Esc22	4,0%	3,5%	3,6%	4,0%	4,4%	4,81%
Esc23	4,3%	3,9%	4,0%	4,3%	4,4%	4,64%
Esc29	4,2%	3,9%	4,0%	4,2%	4,3%	4,47%
Esc30	4,70%	5,11%	5,07%	4,66%	4,76%	4,73%
Esc31	4,3%	4,7%	4,5%	4,2%	4,5%	4,53%
Esc32	4,5%	4,9%	5,0%	4,5%	3,8%	3,40%
Esc33	4,6%	5,2%	5,0%	4,5%	4,5%	4,34%
Esc34	4,7%	4,9%	5,0%	4,7%	4,5%	4,47%
Esc35	3,2%	3,9%	3,8%	3,1%	2,3%	1,55%
Esc36	2,8%	3,6%	3,5%	2,8%	2,0%	1,27%
Esc37	2,9%	4,3%	3,8%	2,7%	2,3%	1,41%
Esc38	4,5%	4,5%	4,6%	4,5%	4,4%	4,34%
Esc39	4,3%	4,1%	4,3%	4,3%	4,3%	4,29%
Esc40	4,3%	4,3%	4,3%	4,3%	4,6%	4,78%
Esc41	4,95%	5,14%	5,21%	4,95%	4,89%	4,86%
Esc42	4,84%	5,06%	5,14%	4,84%	4,76%	4,71%
Esc43	4,6%	5,1%	5,0%	4,5%	4,5%	4,37%
Esc44	4,2%	4,7%	4,5%	4,2%	3,9%	3,5%
Esc45	4,9%	5,3%	5,3%	4,9%	4,1%	3,5%
Esc46	4,7%	5,3%	5,2%	4,6%	4,1%	3,5%
Esc47	4,1%	4,9%	4,8%	4,0%	3,2%	2,4%
Esc48	5,4%	5,8%	5,6%	5,3%	5,0%	4,6%
Esc49	4,6%	5,3%	5,2%	4,6%	3,6%	2,8%
Esc50	5,0%	5,6%	5,4%	5,0%	4,5%	4,1%

Fuente: Elaboración Propia.

De lo anterior se evidenció en principio que, a pesar de las diferencias en priorización de los criterios evaluados, el Escenario 17 se destacaba para todos los profesionales de la Dirección de Operaciones, lo que lo posiciona como el escenario óptimo a implementar. Sin embargo, y atendiendo a las observaciones provenientes desde el área de Control de la Operación y la Dirección Comercial y Servicio al Cliente, se formularon nuevos escenarios (27 escenarios del 23 al 50) cuya implementación no generara mayores traumatismos en el momento de socializar con la comunidad, como era el caso del Escenario 17 en cuanto a rutas con operación dividida en las plataformas centrales se refiere. De esta manera los veintisiete (27) nuevos escenarios adicionales, que permitieron integrar y mejorar la propuesta de solución desde el punto

de vista de operación teniendo en cuenta temas como tiempo y espacio de reposición, recorrido al interior de la Terminal en función de la entrada y salida de los buses, facilidad de los buses para realizar las maniobras de retorno y reposicionamiento dentro de la Terminal, así como la facilidad para transmitir los cambios a la comunidad. De los 27 escenarios adicionales y en conjunto con las oficinas de la Dirección de Operaciones y Dirección Comercial y Servicio al Cliente, se seleccionó el Escenario 42 como el escenario óptimo a implementar, el cual presenta en la siguiente tabla los indicadores y se compara con el escenario base. Ver Tabla 28.

Tabla 28 - Indicadores del escenario base y escenario 42 seleccionado por la Entidad Gestora.

Indicador	Escenario base	Escenario propuesto
Balance entre las plataformas	1.97 6.071 (plataforma 2) y 11.949 (plataforma 3)	1.33 6.485 (plataforma 2) y 8.631 (plataforma 3)
Cantidad de transferencias	4.723	1.818 - Reducción 62%
Cantidad de rutas modificadas		Rutas reubicadas: 13 Rutas doble parada: 4

Fuente: Elaboración Propia.

8.2.1. Escenarios mejor evaluados y adopción del mejor escenario.

Como resultado de la definición de indicadores, valoración y evaluación de escenarios de solución se seleccionó el escenario 42 como la nueva distribución de rutas en las paradas de la Terminal Andrés Sanín, con los siguientes resultados:

- Mejora el nivel de servicio en la zona de espera de las paradas de las plataformas centrales de la Terminal Andrés Sanín, a través del equilibrio de la cantidad de usuarios que hacen uso de cada una de las dos plataformas centrales, con una relación de 1 a 1.33, entre los usuarios de la plataforma 2 donde quedarán transitando cerca de 6.500 usuarios y la plataforma 3 donde quedarán transitando cerca de 8.600 usuarios.
- La redistribución propuesta de las rutas en las paradas permite reducir en un 62% la cantidad de usuarios que deben cruzar entre las dos plataformas centrales a través del túnel peatonal, pasando de 4.723 a 1.817 usuarios en las tres horas pico de la mañana. En la Figura 49 se presenta la nueva trayectoria de las líneas de viaje de los usuarios, donde se observa que se reduce de manera significativa la

magnitud de la cantidad de personas que requieren seguir pasando entre las dos plataformas centrales para realizar la transferencia hacia otra ruta.

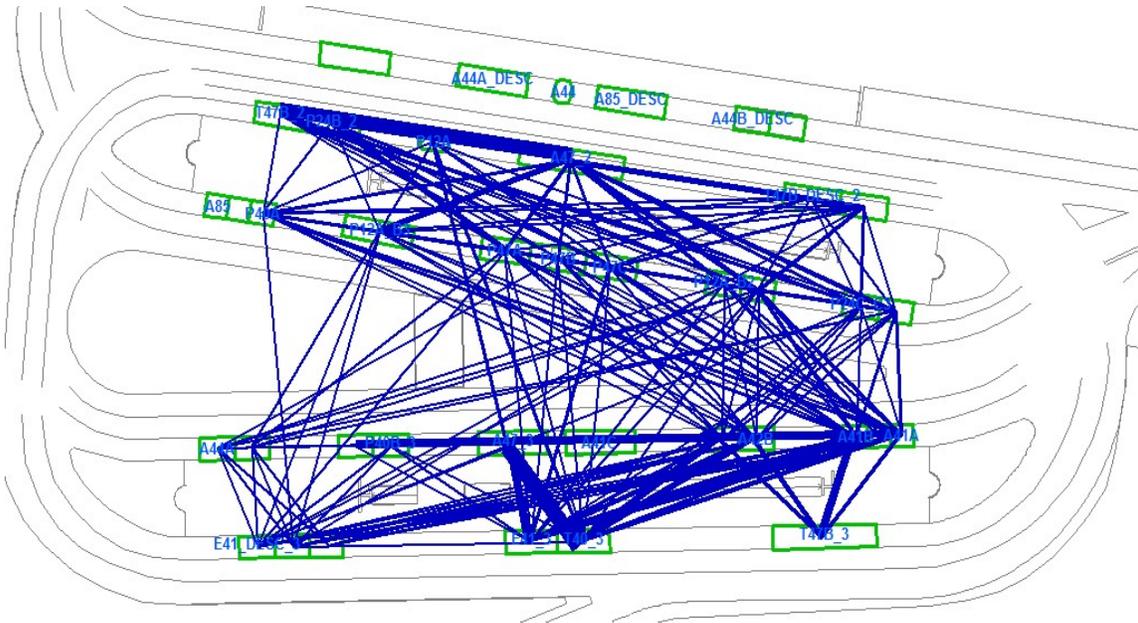


Figura 49 – Líneas de deseo de viajes en la Estación Terminal Andrés Sanín de acuerdo con la nueva distribución de paradas en la estación. Franja pico de la mañana de 5:30 am a 8:30 am.

Fuente: Elaboración Propia - Encuesta Origen – Destino del 13 de Junio al 5 de Julio de 2017.

El escenario 42 contempla los siguientes cambios:

- Tres (3) rutas, T47B, P40B, P24B, quedarán atendiendo, al llegar a la Estación Terminal Andrés Sanín una parada en cada plataforma central para permitir solo el descenso de los pasajeros, y una vez el operador cumpla con el tiempo de reposición definido en la programación, atienda nuevamente una parada en cada plataforma central para permitir el ascenso de los pasajeros.
- Una (1) ruta, A47, atenderá las dos plataformas centrales de la Estación Terminal, iniciando por la plataforma 2 (B y C), para permitir el descenso y ascenso de los pasajeros y posteriormente en la plataforma 3 (D y E) para permitir nuevamente descenso y ascenso de pasajeros. Esta ruta no tendrá tiempo de reposición en esta Terminal, por lo que éste deberá realizarse en el otro extremo de la ruta.
- Doce (12) rutas, compuestas por ocho (8) pretroncales, tres (3) alimentadoras y una (1) troncal expresa cambian de parada para el descenso y ascenso de los pasajeros. Estas rutas son: P12A, P14A, P40A, P47A, P47B, P24A, P24C, P84B, A41A, A41C, A42B y E41.

Cambios de las rutas en las paradas de la Plataforma 2 (B-C)

- **Ruta P12A (Menga)** Esta ruta pasará de la parada B3 a la parada C4.
- **Ruta P12A (universidades) y P14A.** Estas rutas pasarán de la parada B2 a la parada C2
- **Ruta P47A.** Esta ruta pasará de la parada B2 a la parada C3
- **Ruta P47B.** Esta ruta pasará de la parada C1 a la parada C3
- **Ruta P24A, P24C (Menga).** Estas rutas pasarán de la parada C3 a la parada C1
- **Ruta P40A.** Esta ruta pasará de la parada B1 a la parada C5
- **Ruta P40B.** Esta ruta pasará de la parada C2 en donde actualmente operan ascensos y descensos, a operar en las plataformas 2 y 3 como se indicó anteriormente, con ascensos en las paradas B2 y D3, y descensos en las paradas B1 y D2. Esta ruta deberá ingresar a la Terminal Andrés Sanín, atender primero la parada B1 y luego la parada D2 para permitir solo el descenso de los usuarios. Luego de cumplir con el tiempo de reposición, el operador deberá atender, primero la parada B2 y luego parada D3 para permitir el ascenso de los pasajeros.
- **Ruta P24B.** Esta ruta pasará de la parada B1, en donde actualmente operan ascenso y descensos, a operar en las plataformas 2 y 3 como se indicó anteriormente, con ascensos en las paradas B3 y E3, y descensos en las paradas B1 y D2. Esta ruta al ingresar a la Terminal Andrés Sanín, deberá atender primero la parada B1 y luego la parada D2 para permitir solo el descenso de los usuarios. Luego de cumplir con el tiempo de reposición, el operador deberá atender, primero la parada E3 y luego parada B3 para permitir el ascenso de los pasajeros.
- Las rutas A85, A53 y P47C no tendrán cambios en su ubicación.

Cambios de las rutas en las paradas de la Plataforma 3 (D-E)

- **Ruta E41.** Esta ruta seguirá atendiendo la parada E1 solo para el descenso y trasladará la parada de ascenso de E3 a la parada E2, donde compartirá la parada con la ruta T40.
- **Ruta A41C.** Esta ruta se desplazará de la parada D4 a la parada D3, donde compartirá con las rutas A47 y P40B.
- **Rutas A42B y P84B.** Estas rutas se desplazarán de la parada D2 a la parada D4. Este cambio se realiza para facilitar que las rutas P24B y P40B que quedarán descendiendo en la parada D2, tengan espacio para hacer reposición, antes de iniciar nuevamente su recorrido, sin tener que realizar una vuelta adicional dentro de la terminal.

- **Ruta A41A.** Esta ruta se desplazará de la parada D4 a la parada D5, donde compartirá la parada con las rutas P84A y P24C que también recorren la Calle 123, lo que permitirá ampliar las opciones de viaje de los usuarios en una misma parada.
- **Ruta A47.** Esta ruta deberá ingresar a la Terminal Andrés Sanín y atender primero la parada B2 y luego la parada D3 para permitir, de manera simultánea, el ascenso y descenso de pasajeros. Para los viajes que se inicien desde la Terminal contarán con una variante iniciando viaje en B2 y en seguida atendiendo la parada D3. La reposición se deberá realizar en el barrio.
- **Ruta T47B.** Esta ruta deberá ingresar a la Terminal Andrés Sanín y atender primero la parada B1 y luego la parada E1 para permitir solo el descenso de los usuarios. Luego de cumplir con el tiempo de reposición, el operador deberá atender, primero la parada B3 y luego parada E3 para permitir el ascenso de los pasajeros.
- Las rutas A44A, A44B, P84A, P24C, T40 (ascenso y descenso) y E41 y T47B (descenso en la plataforma 3), seguirán operando en la misma bahía en donde están actualmente.

8.2.2. Evaluación de la capacidad del Escenario priorizado (Esc 42).

Para tener los resultados de capacidad de la TAS bajo las consideraciones de los escenarios mejor evaluados y poder contrastar con el escenario base, se presentan en el siguiente gráfico los resultados esperados del ajuste de la distribución de las rutas y frecuencias de éstas en las diferentes plataformas y paradas.

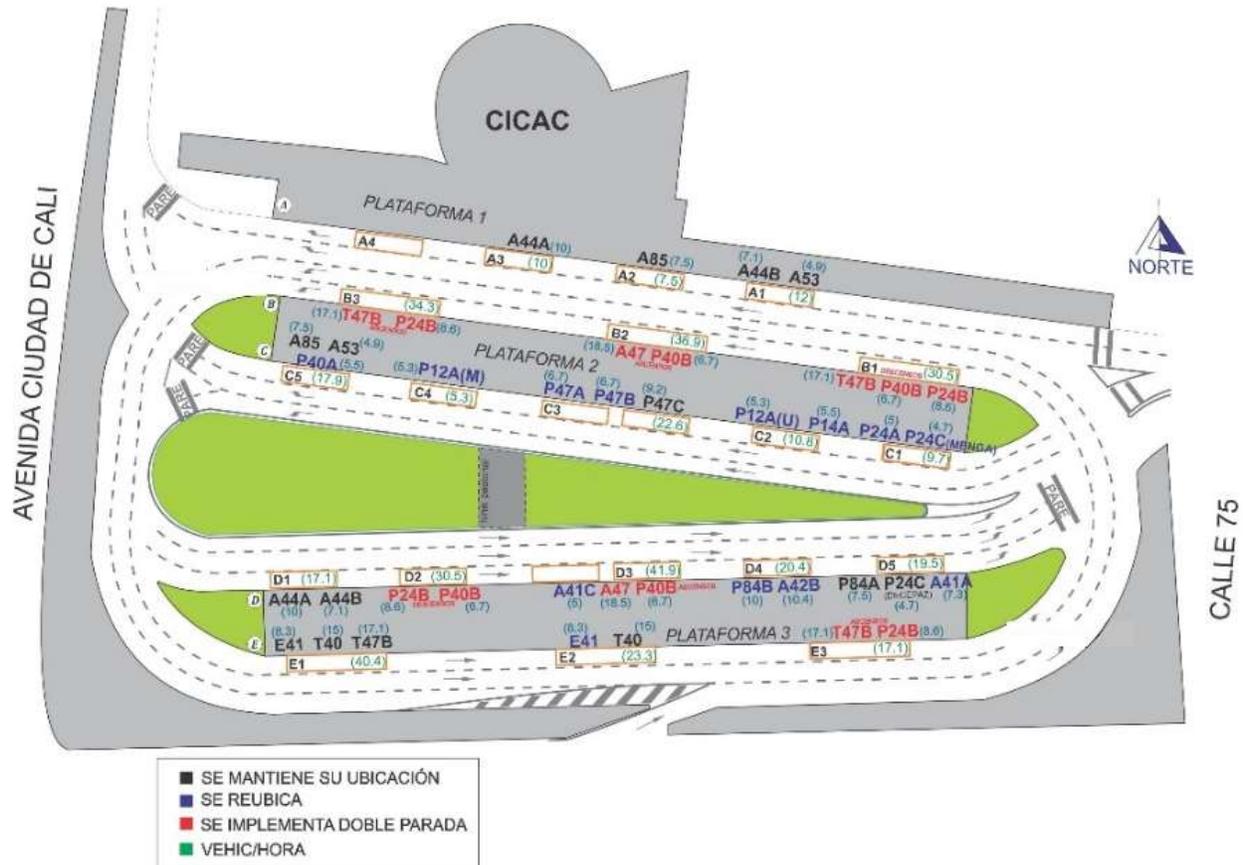


Figura 50 – Información para el escenario mejor evaluado (Escenario 42).
Fuente: Elaboración Propia.

Con base en esta información, se calcula la saturación para cada una de las paradas en las tres plataformas, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 29 – Saturación de paradas por plataforma operación según Figura 50 (Escenario 42).

Plataforma	Paradas				
	1	2	3	4	5
1-A	15%	5%	19%		
2-B	12%	18%	19%		
2-C	17%	20%	27%		17%
3-D	10%	13%	41%	39%	31%
3-E	17%	19%	15%		

Fuente: Elaboración propia.

Éstos resultados comparados con el escenario de partida (ver Tabla 18 – Saturación de paradas por plataforma de operación según la distribución de las rutas en las paradas que se presenta en la Figura 37 (julio 2018)., que se presenta en la Tabla 30,

evidencian que existe una mejora importante en el nivel de saturación, por lo que se espera también una reducción en las demoras causadas por las paradas de los buses. Esto también representa una mejora en la distribución de los usuarios en las paradas.

Tabla 30 – Comparación de los niveles de saturación entre el escenario inicial (Base) y final (Escenario 42), con algunos indicadores comparativos (Promedio, Desviación estándar y promedio ponderado).

Plataforma	ESCENARIO INICIAL					ESCENARIO FINAL				
	Paradas					Paradas				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1-A	13%	6%	20%			15%	5%	19%		
2-B	14%	18%	5%			12%	18%	19%		
2-C	8%	12%	54%		7%	17%	20%	27%		17%
3-D	10%	51%	29%	19%	7%	10%	13%	41%	39%	31%
3-E	16%	20%	46%			17%	19%	15%		

<i>Evaluación de las 18 paradas</i>	INICIAL	FINAL
Sumatoria Niveles de Saturación	356%	352%
Promedio Niveles de saturación	20%	20%
Desviación Estandar de los niveles de saturación	15%	9%

Evaluación ponderada de las 18 paradas	32%	22%
--	-----	-----

Fuente: Elaboración propia.

Se presenta una mejor distribución de los usuarios al interior de la TAS, evidenciado en la reducción de la Desviación Estándar y la reducción del promedio ponderado del nivel de servicio en el escenario final, éste último fue calculado tomando como base la cantidad de usuarios para cada parada.

8.3. Construcción de simulaciones peatonales y vehiculares.

Para el análisis del comportamiento del tránsito de vehículos y de peatones dentro y fuera de la Terminal Andrés Sanín, tanto actual como de las alternativas, se ha planteado el uso del modelo de simulación VISSIM.

Para el uso de esta herramienta se procedió a cargar los datos que corresponden para la aplicación del modelo, en cada caso, determinándose las coordenadas de cada nodo, los anchos y número de carriles, el tránsito en cada sector, los giros en cada intersección, la proporción de vehículos pesados, los tipos y tiempos de los semáforos

existentes, los flujos peatonales y las frecuencias de las rutas y asignación de las paradas para cada una de ellas.

8.3.1. Construcción del modelo base

La construcción del modelo consistió en reproducir la condición de la infraestructura (geometría) y operativa (tiempos de ciclo semafórico, sentidos viales, tipos de vehículos, etc.) de la Terminal Andrés Sanín y su entorno, para ello fue necesario apoyarse en gráficos a escala de la misma y la caracterización de la red vial efectuada, la cual se monta como imagen en el software y a partir de ésta se construye la red vial virtual (interna y externa), seguido de las áreas de plataformas peatonales, zonas de paradas, pasos peatonales a nivel y desnivel. Así mismo todo lo relacionado con las tipos y características de los vehículos y peatones.

8.3.1.1. Red vial

La red vial del proyecto de la TAS consideró la zona delimitada por las vías incluidas, así:

- Av Ciudad de Cali desde el semáforo con la Diagonal 15/Carrera 15 y el semáforo de la Carrera 21
- Calle 75 entre Carrera 15 y el semáforo de la Carrera 21
- Carrera 15, 19 y 21 entre las calles 73 (Av Ciudad de Cali) y Calle 75

La influencia de las demás calles no se consideró, ya que la zona descrita tiene los ingresos y salidas mediante semáforos y el mayor flujo de vehículos, debido a la jerarquización vial del sector, por tanto, las verificaciones de aforos se hicieron en los puntos más cercanos de la TAS.

La red vial se presenta en la Figura 51 – Red vial del modelo en VISSIM. Cada vía incluye las características geométricas (cantidad de carriles, dimensiones de los carriles, entre otras), como operacionales (sentidos viales).



Figura 51 – Red vial del modelo en VISSIM.
Fuente: Elaboración Propia.

Con la red construida, se parametrizan las zonas de conflicto, las cuales se asignan prioridades de paso entre los vehículos conforme la operación requiere. El esquema finalmente configurado se presenta en la Figura 52 – Zonas de conflicto vial modelo en VISSIM.

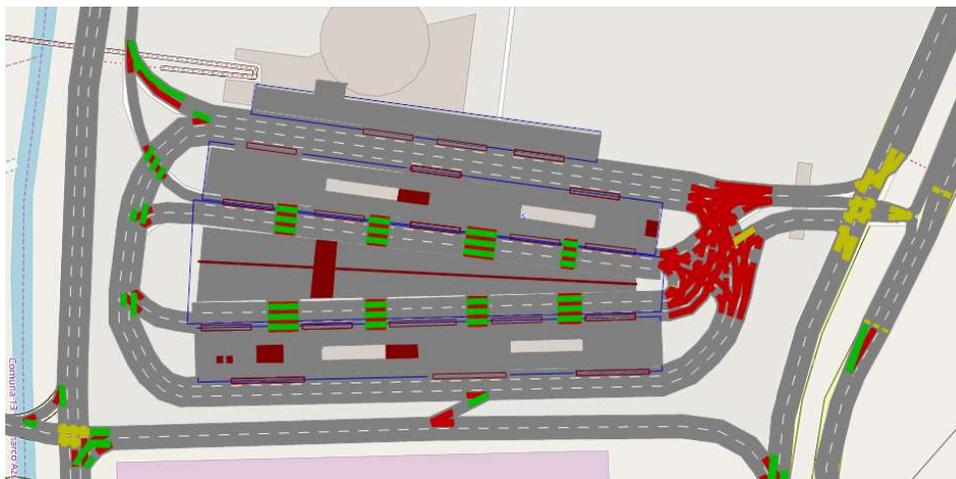


Figura 52 – Zonas de conflicto vial modelo en VISSIM.
Fuente: Elaboración Propia.

La parametrización de las intersecciones semafóricas se efectuó con base en la información levantada en campo tal como se indicó en el capítulo 7 Diagnóstico, específicamente en el numeral 7.2 Condiciones de Operación de la Terminal del presente documento. Los principales parámetros incluidos al modelo se presentan, a

modo de ejemplo, en la Figura 53 – Creación y parametrización de las dos intersecciones semafóricas del modelo en VISSIM.

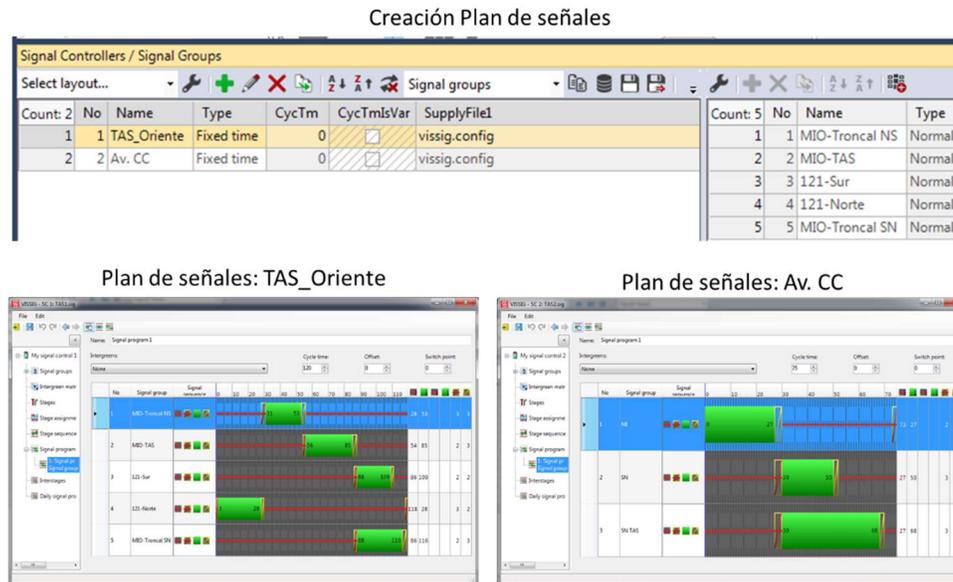


Figura 53 – Creación y parametrización de las dos intersecciones semafóricas del modelo en VISSIM.

Fuente: Elaboración Propia.

8.3.1.2. Parametrización de la red integrada en la operación

Dentro de la configuración de la red, se considera la interacción de los peatones, sin despreciar el componente vial, este componente es uno de los más importantes, dado que nuestro estudio plantea la evaluación de esta interacción de modos. Por lo que es muy importante este componente, dentro del cual se asignan las zonas por donde circulan los peatones y la priorización de los conflictos que puedan presentarse en la operación entre estos modos.

Configuración zonas de conflicto peatonales internos en la TAS

En la Figura 52 – Zonas de conflicto vial modelo en VISSIM., se presentan las prioridades establecidas para los peatones al interior de la TAS, la cual básicamente

consiste en darle prioridad al bus en el paso, de tal forma que se represente la condición operativa real.

Configuración operacional de la red, considerando el MIO

Para incluir el MIO en la TAS fue necesario parametrizar cada una de las rutas comenzando con la creación y configuración del tipo de vehículo (ver Figura 54 – Configuración de los vehículos Padrones del sistema MIO, modelo en VISSIM., Figura 55 – Configuración de los vehículos Complementarios del sistema MIO, modelo en VISSIM. y Figura 56 – Configuración de los vehículos Articulado (primer y segundo cuerpo) del sistema MIO, modelo en VISSIM.)

Count	Inde	File3D	Model2D3D	Length	Width	Shaf	JointFront	AsleFront	AsleRear	JointRea
15	4	Tram - GT8-25 joint.v3d	41: Tram - GT8-25	3.100	2.557	0.00	1.500	1.500	1.600	1.60
16	5	Tram - GT8-25 rear.v3d	41: Tram - GT8-25	13.620	2.690	0.00	-0.260	-0.260	9.770	13.50
17	1	Bike - Cycle Man 02.v3d	61: Bike - Cycle Man	1.775	0.628	0.00	0.000	0.320	1.440	1.77
18	1	Bike - Cycle Woman.v3d	62: Bike - Cycle Woma	1.775	0.656	0.00	0.000	0.320	1.440	1.77
19	1	Ped - Man 01.v3d	101: Ped - Man 01	0.456	0.575	0.00	0.000	0.000	0.050	0.00
20	1	Ped - Man 02.v3d	102: Ped - Man 02	0.409	0.631	0.00	0.000	0.000	0.050	0.00
21	1	Ped - Man 03.v3d	103: Ped - Man 03	0.442	0.596	0.00	0.000	0.000	0.050	0.00
22	1	Ped - Man 04.v3d	104: Ped - Man 04	0.435	0.591	0.00	0.000	0.000	0.050	0.00
23	1	Ped - Woman 01.v3d	201: Ped - Woman 01	0.360	0.504	0.00	-0.030	-0.030	0.000	0.00
24	1	Ped - Woman 02.v3d	202: Ped - Woman 02	0.342	0.458	0.00	-0.033	-0.033	0.000	0.00
25	1	Ped - Woman 03.v3d	203: Ped - Woman 03	0.397	0.484	0.00	-0.030	-0.030	0.000	0.00
26	1	Ped - Woman 04.v3d	204: Ped - Woman 04	0.310	0.456	0.00	-0.030	-0.030	0.000	0.00
27	1	Ped - Woman & Child.v3d	251: Ped - Woman & C	0.357	0.939	0.00	-0.055	-0.055	0.055	0.00
28	1	Ped - Wheelchair Simple.v3d	301: Ped - Wheelchair	1.236	0.797	0.00	-0.520	-0.120	0.335	0.58
29	1	Bus - C2 Standard 2-doors.v3d	302: Padrón_PDerecha	12.500	3.000	0.00	0.000	2.500	9.500	0.00
30	1	Bus - C2 Standard 2-doors.v3d	303: Complementario	9.300	3.000	0.00	0.000	1.000	5.000	0.00
31	1	Bus - C2 G 3-doors - front.v3d	305: Articulado	10.000	3.000	0.00	0.000	2.400	9.200	9.95
32	2	Bus - C2 G 3-doors - rear.v3d	305: Articulado	8.000	3.000	1.00	0.050	5.000	5.500	0.00
33	1	Bus - C2 Standard 2-doors.v3d	306: Padrón_Plazquier	12.500	3.000	0.00	0.000	2.500	9.500	0.00
34	1	Bus - C2 Standard 2-doors.v3d	307: Padrón_Dos puert	12.500	3.000	0.00	0.000	2.500	9.500	0.00

Figura 54 – Configuración de los vehículos Padrones del sistema MIO, modelo en VISSIM.
Fuente: Elaboración Propia.

Count	Inde	File3D	Model2D3D	Length	Width	Shaf	JointFront	AsleFront	AsleRear	JointRea
15	4	Tram - GT8-25 joint.v3d	41: Tram - GT8-25	3.100	2.557	0.00	1.500	1.500	1.600	1.60
16	5	Tram - GT8-25 rear.v3d	41: Tram - GT8-25	13.620	2.690	0.00	-0.260	-0.260	9.770	13.50
17	1	Bike - Cycle Man 02.v3d	61: Bike - Cycle Man	1.775	0.628	0.00	0.000	0.320	1.440	1.77
18	1	Bike - Cycle Woman.v3d	62: Bike - Cycle Woma	1.775	0.656	0.00	0.000	0.320	1.440	1.77
19	1	Ped - Man 01.v3d	101: Ped - Man 01	0.456	0.575	0.00	0.000	0.000	0.050	0.00
20	1	Ped - Man 02.v3d	102: Ped - Man 02	0.409	0.631	0.00	0.000	0.000	0.050	0.00
21	1	Ped - Man 03.v3d	103: Ped - Man 03	0.442	0.596	0.00	0.000	0.000	0.050	0.00
22	1	Ped - Man 04.v3d	104: Ped - Man 04	0.435	0.591	0.00	0.000	0.000	0.050	0.00
23	1	Ped - Woman 01.v3d	201: Ped - Woman 01	0.360	0.504	0.00	-0.030	-0.030	0.000	0.00
24	1	Ped - Woman 02.v3d	202: Ped - Woman 02	0.342	0.458	0.00	-0.033	-0.033	0.000	0.00
25	1	Ped - Woman 03.v3d	203: Ped - Woman 03	0.397	0.484	0.00	-0.030	-0.030	0.000	0.00
26	1	Ped - Woman 04.v3d	204: Ped - Woman 04	0.310	0.456	0.00	-0.030	-0.030	0.000	0.00
27	1	Ped - Woman & Child.v3d	251: Ped - Woman & C	0.357	0.939	0.00	-0.055	-0.055	0.055	0.00
28	1	Ped - Wheelchair Simple.v3d	301: Ped - Wheelchair	1.236	0.797	0.00	-0.520	-0.120	0.335	0.58
29	1	Bus - C2 Standard 2-doors.v3d	302: Padrón_PDerecha	12.500	3.000	0.00	0.000	2.500	9.500	0.00
30	1	Bus - C2 Standard 2-doors.v3d	303: Complementario	9.300	3.000	0.00	0.000	1.000	5.000	0.00
31	1	Bus - C2 G 3-doors - front.v3d	305: Articulado	10.000	3.000	0.00	0.000	2.400	9.200	9.95
32	2	Bus - C2 G 3-doors - rear.v3d	305: Articulado	8.000	3.000	1.00	0.050	5.000	5.500	0.00
33	1	Bus - C2 Standard 2-doors.v3d	306: Padrón_Plazquier	12.500	3.000	0.00	0.000	2.500	9.500	0.00
34	1	Bus - C2 Standard 2-doors.v3d	307: Padrón_Dos puert	12.500	3.000	0.00	0.000	2.500	9.500	0.00

Figura 55 – Configuración de los vehículos Complementarios del sistema MIO, modelo en VISSIM.
Fuente: Elaboración Propia.

OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN AL INTERIOR DE LA TERMINAL ANDRÉS SANÍN
SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE MASIVO -SITM- MIO

Count	Inde	File3D	Model2D3D	Length	Width	Shaf	JointFront	AxleFront	AxleRear	JointRea
15	4	Tram - GT8-2S joint.v3d	41: Tram - GT8-2S	3.100	2.557	0.00	1.500	1.500	1.600	1.60
16	5	Tram - GT8-2S rear.v3d	41: Tram - GT8-2S	13.620	2.690	0.00	-0.260	-0.260	9.770	13.50
17	1	Bike - Cycle Man 02.v3d	61: Bike - Cycle Man	1.775	0.628	0.00	0.000	0.320	1.440	1.77
18	1	Bike - Cycle Woman.v3d	62: Bike - Cycle Woma	1.775	0.656	0.00	0.000	0.320	1.440	1.77
19	1	Ped - Man 01.v3d	101: Ped - Man 01	0.456	0.575	0.00	0.000	0.000	0.050	0.00
20	1	Ped - Man 02.v3d	102: Ped - Man 02	0.409	0.631	0.00	0.000	0.000	0.050	0.00
21	1	Ped - Man 03.v3d	103: Ped - Man 03	0.442	0.596	0.00	0.000	0.000	0.050	0.00
22	1	Ped - Man 04.v3d	104: Ped - Man 04	0.435	0.591	0.00	0.000	0.000	0.050	0.00
23	1	Ped - Woman 01.v3d	201: Ped - Woman 01	0.360	0.504	0.00	-0.030	-0.030	0.000	0.00
24	1	Ped - Woman 02.v3d	202: Ped - Woman 02	0.342	0.458	0.00	-0.033	-0.033	0.000	0.00
25	1	Ped - Woman 03.v3d	203: Ped - Woman 03	0.397	0.484	0.00	-0.030	-0.030	0.000	0.00
26	1	Ped - Woman 04.v3d	204: Ped - Woman 04	0.310	0.456	0.00	-0.030	-0.030	0.000	0.00
27	1	Ped - Woman & Child.v3d	251: Ped - Woman & C	0.357	0.939	0.00	-0.055	-0.055	0.055	0.00
28	1	Ped - Wheelchair Simple.v3d	301: Ped - Wheelchair	1.236	0.797	0.00	-0.520	-0.120	0.335	0.58
29	1	Bus - C2 Standard 2-doors.v3d	302: Padrón_PDerecha	12.500	3.000	0.00	0.000	2.500	9.500	0.00
30	1	Bus - C2 Standard 2-doors.v3d	303: Complementario	9.300	3.000	0.00	0.000	1.000	5.000	0.00
31	1	Bus - C2 G 3-doors - front.v3d	305: Articulado	10.000	3.000	0.00	0.000	2.400	9.200	9.95
32	2	Bus - C2 G 3-doors - rear.v3d	305: Articulado	8.000	3.000	1.00	0.050	5.000	5.500	0.00
33	1	Bus - C2 Standard 2-doors.v3d	306: Padrón_Plzquierd	12.500	3.000	0.00	0.000	2.500	9.500	0.00
34	1	Bus - C2 Standard 2-doors.v3d	307: Padrón_Dos puert	12.500	3.000	0.00	0.000	2.500	9.500	0.00

Count	Pos	yOffset	ZOffset	Width	Side	Usage
1	4.50	1.24	1.00	1.00	Left	Both
2	5.50	1.24	1.00	1.00	Left	Both

Count	Pos	yOffset	ZOffset	Width	Side	Usage
1	1.25	1.24	1.00	1.00	Left	Both
2	5.50	1.24	1.00	1.00	Left	Both

Figura 56 – Configuración de los vehículos Articulado (primer y segundo cuerpo) del sistema MIO, modelo en VISSIM.
Fuente: Elaboración Propia.

Es necesario configurar las zonas de paradas de los buses del MIO, así como la parametrización de su operación. De la configuración de estas zonas dependerá el resultado del comportamiento del modelo, dadas las condiciones que se busca evaluar. En la Figura 57 – Configuración de las paradas y zonas de ascenso y descenso de pasajeros de los buses del MIO en cada plataforma, modelo en VISSIM.

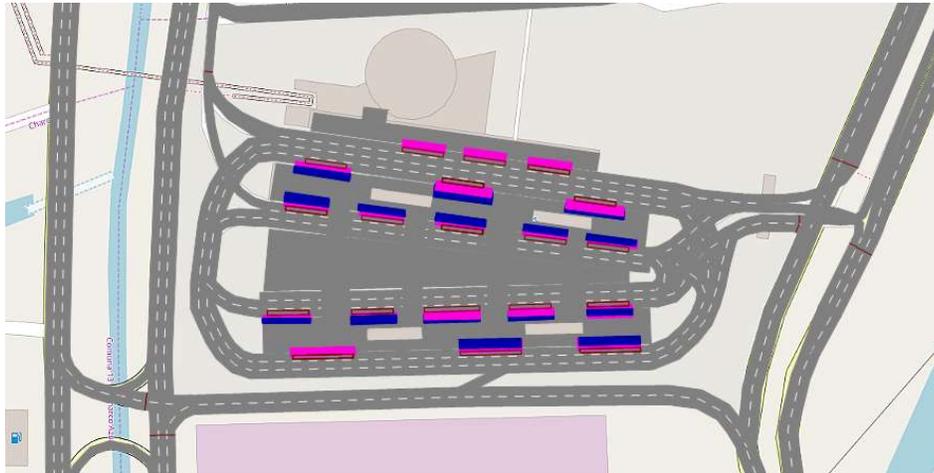


Figura 57 – Configuración de las paradas y zonas de ascenso y descenso de pasajeros de los buses del MIO en cada plataforma, modelo en VISSIM.
Fuente: Elaboración Propia.

Así mismo, se configuró la matriz de OD de peatones dentro de la TAS conforme la toma de información efectuada en campo (indicado en capítulo 7 Diagnóstico, específicamente en el numeral 7.2 Condiciones de Operación de la Terminal del presente documento), con esto se busca la mejor representación del modelo de micro-simulación limitando su acción a lo capturado en campo. Esta parametrización se hace para cada una de las 19 paradas internas de la TAS. (ver Figura 58 – Asignación de distribución de pasajeros entre paradas de buses del MIO en cada plataforma, modelo en VISSIM.)

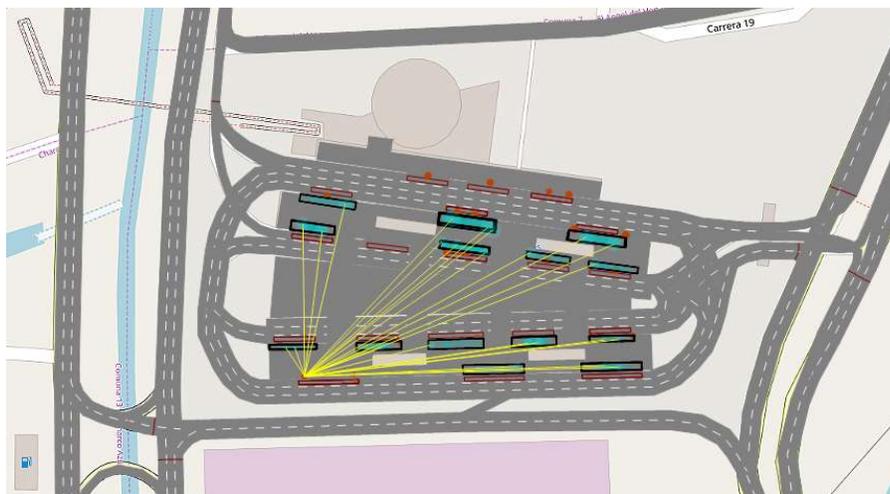


Figura 58 – Asignación de distribución de pasajeros entre paradas de buses del MIO en cada plataforma, modelo en VISSIM.
Fuente: Elaboración Propia.

La configuración de cada una de las rutas y su designación en cada parada es necesaria para lograr representar la frecuencia de cada servicio y la correcta representación del comportamiento (usuario, vehículo y densidad por parada), la cual se presenta en la Figura 59 – Creación de rutas y asignación de paradas de buses del MIO en cada plataforma, modelo en VISSIM., se presenta esta parametrización.

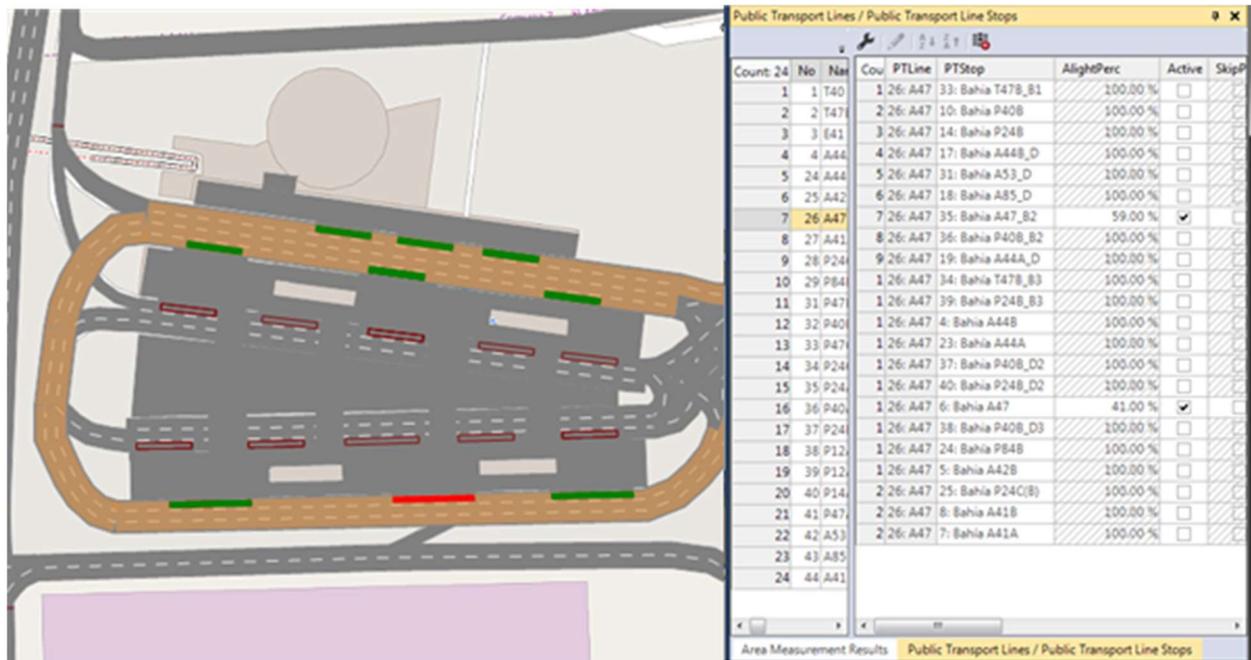


Figura 59 – Creación de rutas y asignación de paradas de buses del MIO en cada plataforma, modelo en VISSIM.
Fuente: Elaboración Propia.

8.3.1.3. Calibración

La calibración de un modelo es muy importante en cuanto se pretende lograr reproducir el comportamiento de la realidad en un modelo computacional. Esto se logra mediante el ajuste de muchos parámetros (dependerá de la herramienta usada, en nuestro caso PTV VISSIM). La verificación de que los ajustes efectuados en el modelo son adecuados y responden a la realidad se podría denominar validación de la calibración, este proceso se hace confrontando los resultados del modelo con los obtenidos en mediciones de campo.

Para la calibración del modelo se adoptó las siguientes variables e información:

- Vehículos en plataformas por unidad de tiempo (frecuencia), tanto del SITM como los particulares del entorno. Información consignada en el numeral 7.4 Condición operacional de intersecciones externas de la Terminal y de personas movilizadas. del presente documento.
- Cantidad de peatones que atraviesan las plataformas, conforme se indica en la Figura 27 - y la Tabla 11 – Resultado de los aforos dentro del túnel según el lugar de paso y el intervalo

Para la red circundante se consideraron solamente los aforos de los vehículos y sus tipologías, dado que el principal interés se centró en la operación interna de la TAS.

Como parte de los procesos de obtención de resultados en franjas de tiempo en el que la redes ya se encuentran con usuarios viales, para el modelo es necesario tener un periodo inicial en el cual se carguen vehículos y peatones (calentamiento del modelo⁵), que permitan que los resultados sean lo más cercanos a la realidad, este período inicial fue estimado en 900 segundos (esto dependerá de las distancias desde la generación de los usuarios hasta el punto de análisis).

Se efectuaron evaluaciones en intervalos de 15 minutos (900 segundos) cada uno, es decir que los intervalos de simulación son;

Intervalo 1: 900 – 1.800 seg

Intervalo 2: 1.800 – 2.700 seg

Intervalo 3: 2.700 – 3.600 seg

Intervalo 4: 3:600 – 4.500 seg

Los resultados obtenidos con el modelo luego de las diferentes corridas y ajustes para lograr los valores más ajustados a la realidad son comparados con los datos recolectados en campo (numeral 7.4 del presente documento) y la evaluación de esta comparación se presenta a continuación en la Tabla 31 – Resultados de la modelación, donde se indica por cada vía, los movimientos correspondientes a los planteados en campo y por cada tipología.

Luego de 37 simulaciones efectuadas (cada una con variantes de evaluación) se logró un escenario que fue considerado muy bueno para adoptarlo como el modelo base calibrado. Los resultados se presentan en la Tabla 31 – Resultados de la modelación.

⁵ Denominado así a la etapa de tiempo inicial del modelo, donde se inicia la simulación hasta alcanzar las condiciones operativas de campo y pueda ser obtenido el resultado del modelo con la representación de la realidad

Tabla 31 – Resultados de la modelación

Vía/ Movi /Tipología	Av Ciudad de Cali					CL75-SN	
	1	2	3	4	5	9	11
Auto	515	16	46	183	1	272	38
Camión	44	-	3	22	1	7	3
Bus	55	-	1	37	1	-	-
Bici	74	-	14	103	1	156	22
Moto	615	10	148	279	3	961	130
Total-Mixto	1.303	26	212	624	7	1.396	193

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 60 – Gráfico de calibración de vehículos se presenta el resultado de la calibración con mínimos cuadrados, logrando obtener valores muy cercanos a los deseados en un modelo, R^2 de 0,99 y pendiente de 1,01.

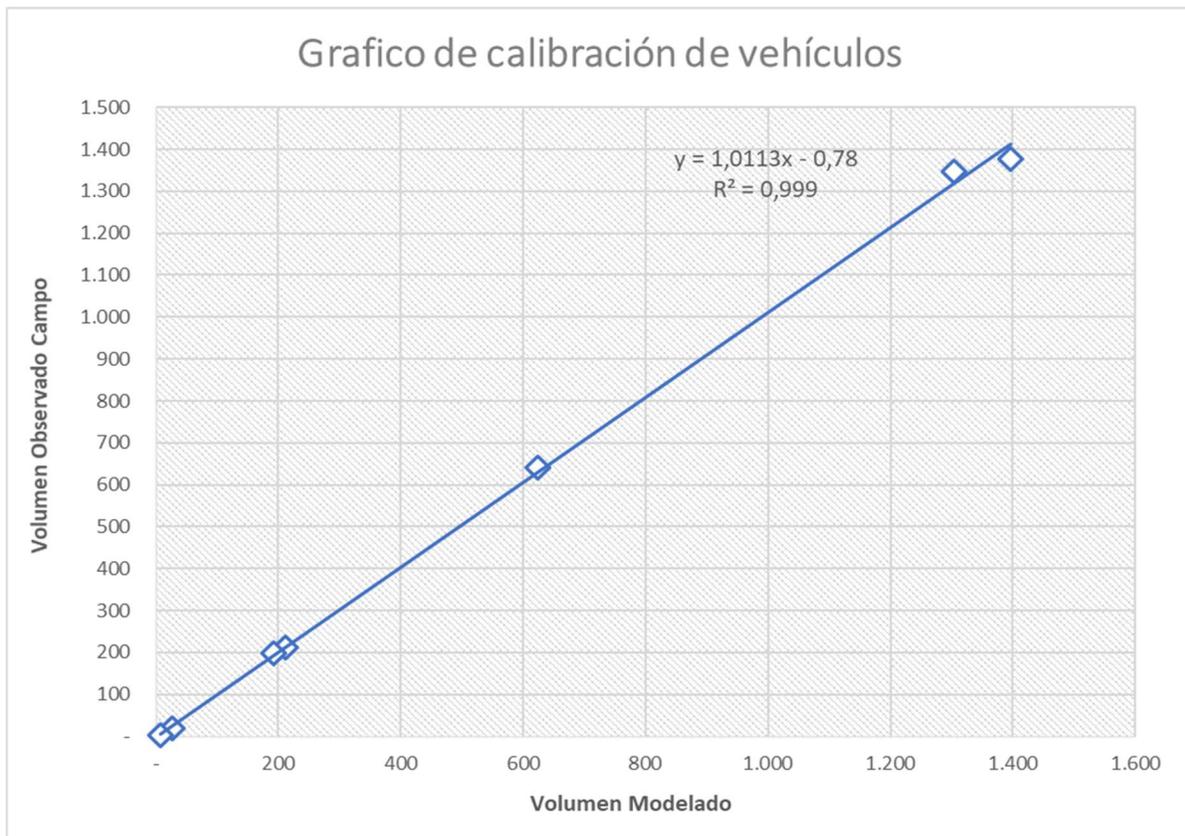


Figura 60 – Gráfico de calibración de vehículos
Fuente: Elaboración Propia.

Otro indicador muy usado en la calibración de los modelos es el estadístico GEH⁶ mediante el cual se determina la bondad de la calibración, éste indicador GEH teóricamente se ha deducido que para tener una adecuada correlación, debería estar en valores menores que 5, para correlaciones aceptables éste indicador debería arrojar un valor entre 5 y 10, para valores superiores a 10 la correlación no es adecuada y seguramente se tendrán dificultades con los resultados arrojados por el modelo para la evaluación de escenarios proyectados, según las referencias bibliográficas (Transport Roads & Maritime Services, 2003), ver Tabla 32 – Criterios de validación del indicador GEH.

Tabla 32 – Criterios de validación del indicador GEH

Rango	Descripción
0 – 5	Adecuada correspondencia de los datos
5 – 10	Moderada correspondencia de los datos
> 10	Deficiente correspondencia de los datos Alta probabilidad de tener dificultades en el punto de toma de información

Fuente: Elaboración Propia.

La fórmula para calcular el valor del indicador es la siguiente:

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}}$$

Donde:

GEH: Indicador de correlación

M: Volúmenes Modelados (resultados del modelo)

C: Volúmenes Contados (observados en campo)

En la Tabla 33, se presentan los resultados del cálculo para cada movimiento, donde se puede observar que en este caso en particular los valores están por debajo de 5,

⁶ Indicador estadístico que permite evaluar la comparación de dos conjuntos de datos, que fue desarrollado por Geoffrey E. Havers en los 1970s. Lleva las iniciales de su nombre en su honor.

siendo para un trabajo tan focalizado un buen indicador de bondad del modelo, por cuanto son inclusive menores que 3.

Tabla 33 – Resultado del Indicador GEH en cada movimiento para el tráfico mixto

Vía / Movimiento / Origen	Av Ciudad de Cali					CL75-SN	
	1	2	3	4	5	9	11
Volumen observado	1.347	20	211	641	2	1.378	199
Volumen modelado	1.303	26	212	624	7	1.396	193
GEH	1,21	1,25	0,07	0,68	2,36	0,48	0,43
Verificación	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5

Fuente: Elaboración Propia.

Para el caso de los peatones se tienen los siguientes resultados:

Tabla 34 – Resultado del Indicador GEH en cada movimiento para los peatones al interior de la TAS

Franja de Hora	VOLÚMENES		Indicador
	Observados ¹	Modelados	GEH
6:15 – 6:30	475	478	0,11
6:30 – 6:45	405	529	5,76
6:45 – 7:00	373	542	7,93
7:00 – 7:15	489	489	0,02
Total general	1.741	2.037	6,81

1: de la Tabla 12 – Resultado de los aforos peatonales entre plataformas a nivel según el lugar de paso y el intervalo.

Fuente: Elaboración Propia.

Con base en los resultados anteriores, se puede concluir que el modelo tiene una buena calibración.

8.3.2. Modelación de los escenarios a evaluar

En la siguiente tabla se presentan los escenarios que se evaluaron en el estudio, incluido el escenario base, de tal forma que se pueda identificar por su sigla cada escenario.

Tabla 35- Listado de escenarios y su descripción general

Escenario N°	Nombre	Descripción general
B0	Escenario Base	Condición de operación cuando se inició el levantamiento de información por parte de Metro Cali S.A.
B1	Escenario Base1	Condición de operación con restricción peatonal a nivel entre plataformas (instalación de reja).
E1	Escenario 1	Evaluación de alternativa mejor valorada, adoptada y aplicada.

Fuente: Elaboración Propia.

Como parte de las características a ser evaluadas son:

- Fricción de los peatones en las plataformas y pasos peatonales.
- Tiempos de operación de la flota dentro de la Terminal.
- Saturación de las paradas vehiculares y zonas de espera peatonal.

8.3.2.1. Escenario Base (B0)

Este escenario representa la condición de operación en 2017, cuando se evidencian algunas deficiencias por el Ente Gestor. Los usuarios tienen total libertad de pasar de una a otra plataforma, las condiciones del diseño operacional dentro de la TAS (diseño y estrategia de paradas al interior) se mantiene igual desde el inicio de su operación. Esta condición de libertad sin seguimiento ni generación de algún tipo de control y cultura origina comportamientos inadecuados por parte de los usuarios.

8.3.2.2. Escenario Base 1 (B1)

En el año 2018 el Ente Gestor instaló una reja que físicamente impide el paso de los peatones a nivel, entre las plataformas 2 y 3, esto con el objetivo de eliminar el riesgo de accidentes que se estaba incrementando.

En este escenario no se cambia la estrategia/diseño operacional interno de la TAS, por lo que se considera como un punto intermedio para evaluar si solo la instalación de la reja mejoraba la condición de operación interna.

Los usuarios tendrían que usar el túnel para satisfacer su necesidad de viaje.

En el modelo se representa la totalidad de los usuarios que realizan sus conexiones entre las plataformas centrales pasando por el túnel.

8.3.2.3. Escenario E1

Este escenario corresponde al diseño/estrategia operacional resultante de las diferentes evaluaciones presentadas donde se pretende el mejoramiento en la reducción de la fricción de los peatones al interior de la Terminal, así mismo, una mejor distribución en las plataformas, ajustando los sitios de paradas de cada una de las rutas y la cantidad de paradas al interior de la TAS. Este escenario E1 corresponde al denominado como Escenario 42 dentro de las evaluaciones ya indicadas en el presente documento.

8.3.3. Evaluación de resultados

Las simulaciones fueron efectuadas considerando un tiempo de simulación 4500 segundos, con resultados generados para el periodo de 900 a 4500 segundos equivalentes a una (1) hora de simulación, en periodos de 15 minutos. Se adoptó a partir de los 900 segundos, permitiendo que el modelo tenga una etapa de calentamiento.

A continuación, se presentan una serie de gráficos que ilustran el comportamiento de los peatones en 4 intervalos de tiempos de la simulación, iniciando en 900 segundos hasta 4.500 segundos que configuran la hora pico que fue calibrada, cuando se da inicio de la simulación, la escala gráfica obedece a la clasificación de intervalos según la metodología de Weidmann, y que el software VISSIM plantea en 10 niveles, conforme la Figura 61 – Escala gráfica para clasificar las densidades peatonales (peatones/m²) en VISSIM que se presenta enseguida.

Count: 10	LowerBound	UpperBound	Color
1	MIN	0.100	 (255, 0, 0, 255)
2	0.100	0.300	 (255, 0, 192, 255)
3	0.300	0.450	 (255, 0, 255, 255)
4	0.450	0.600	 (255, 0, 255, 192)
5	0.600	0.750	 (255, 0, 255, 0)
6	0.750	1.000	 (255, 255, 255, 0)
7	1.000	1.500	 (255, 255, 208, 0)
8	1.500	2.000	 (255, 255, 144, 0)
9	2.000	5.000	 (255, 255, 0, 0)
10	5.000	MAX	 (255, 255, 255, 255)

Figura 61 – Escala gráfica para clasificar las densidades peatonales (peatones/m²) en VISSIM

Fuente: Elaboración Propia a partir de VISSIM.

8.3.3.1. Escenario Base (B0)

Luego de la corrida del escenario base se obtienen los gráficos de densidades de los senderos peatonales, que se presentan en la Figura 62, mostrando inicialmente los senderos a desnivel, es decir, los que dejan los peatones que transitan por el túnel de conexión de las plataformas.

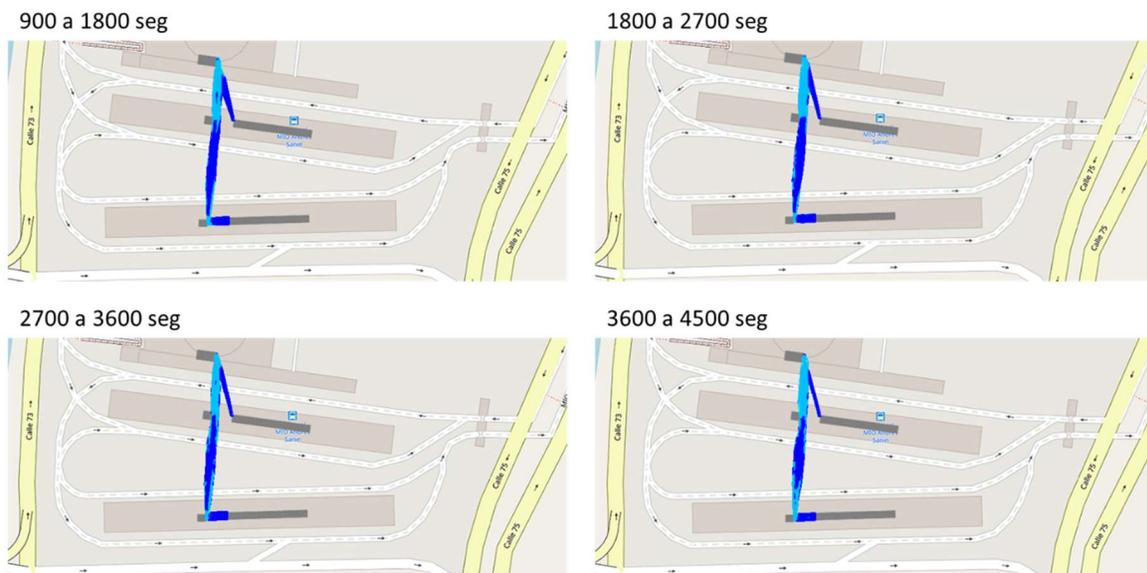


Figura 62 – Presentación de la densidad de los movimientos peatonales en el modelo en VISSIM. - Escenario BASE - Paso a desnivel

Fuente: Elaboración Propia.

Tal como se observa el volumen peatonal es muy bajo, manteniéndose en los dos primeros niveles, donde la mayor densidad se observa en la conexión entre las plataformas 1 y 2.

En la siguiente figura (Figura 63 – Presentación de la densidad de los movimientos peatonales y zonas de espera en el modelo en VISSIM. - Escenario BASE - Paso a nivel), donde se puede evidenciar la saturación marcada en la parada E2 en el último cuarto de hora, mientras que la parada E3 tiene una alta saturación en parte de la parada de forma constante durante la hora pico analizada.

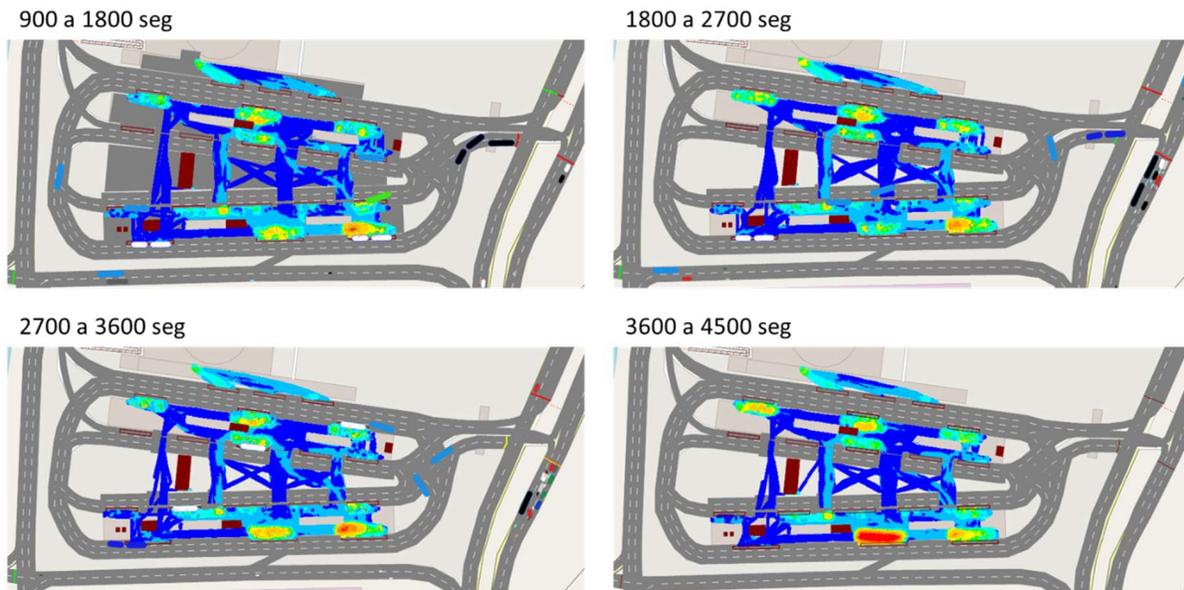


Figura 63 – Presentación de la densidad de los movimientos peatonales y zonas de espera en el modelo en VISSIM. - Escenario BASE - Paso a nivel
Fuente: Elaboración Propia.

También se puede evidenciar los recorridos de los peatones cuando transitan por la zona verde, buscando las conexiones entre las plataformas 2 y 3.



Imagen 4– Foto del paso de los peatones a nivel (2017)
Fuente: Elaboración propia.

El siguiente gráfico consolida la densidad de los peatones a nivel como a desnivel.

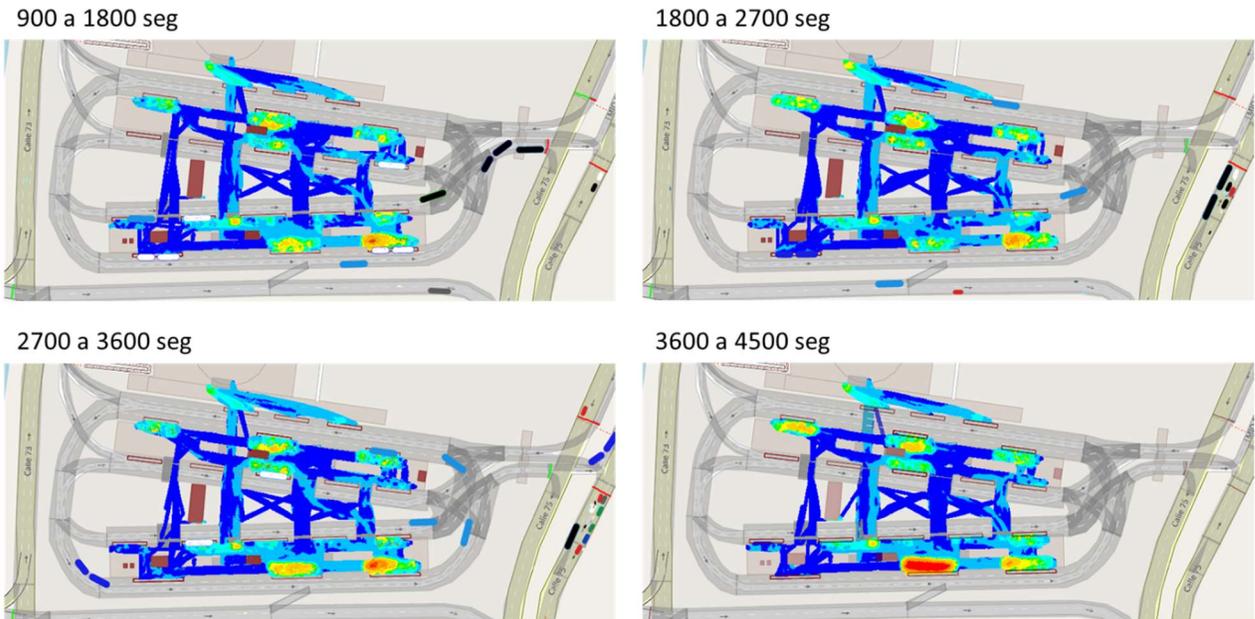


Figura 64 – Presentación de la densidad de los movimientos peatonales y zonas de espera en el modelo en VISSIM. - Escenario BASE - Paso a nivel y desnivel
Fuente: Elaboración Propia.

8.3.3.1. Escenario Base 1 (B1)

El escenario B1, es prácticamente el mismo B0, con la diferencia de la instalación de una barrera física entre las plataformas 2 y 3, lo que impide el paso de los peatones a

nivel. Con esta implementación el modelo responde de forma positiva, aumentando el paso de los peatones por el túnel.

En la Figura 62, se observa una mayor cantidad de peatones transitando a desnivel por el túnel, así mismo se observa una mayor densidad a lo largo del túnel, no solamente entre las plataformas 1 y 2. Ya se observa que llegan a la segunda escala de densidad el tramo de túnel entre las tres plataformas.

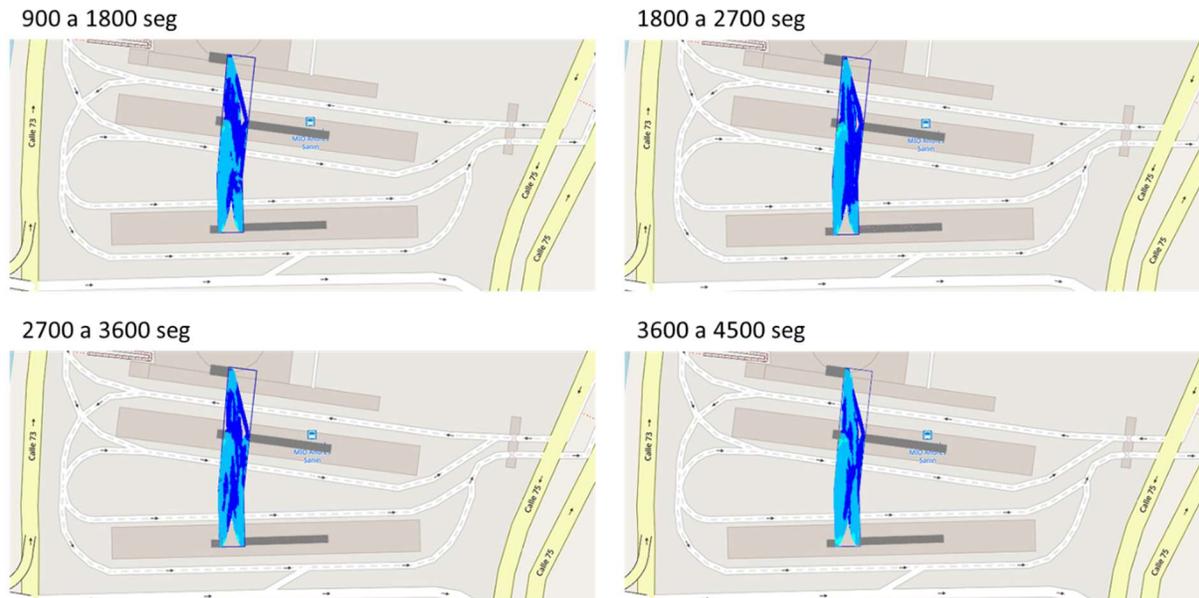


Figura 65 – Presentación de la densidad de los movimientos peatonales en el modelo en VISSIM. - Escenario BASE 1 (BASE + Reja entre Plataforma 2 y Plataforma 3) - Paso a desnivel

Fuente: Elaboración Propia.

En la siguiente figura se presentan sólo las conexiones a nivel, la primera observación es que los peatones ya no atraviesan las vías, tal como se veía en la Figura 63, sin embargo, dado que no se cambian las paradas de las rutas al interior, se observan algunos conflictos que se incrementan en la parada B2 y B3,

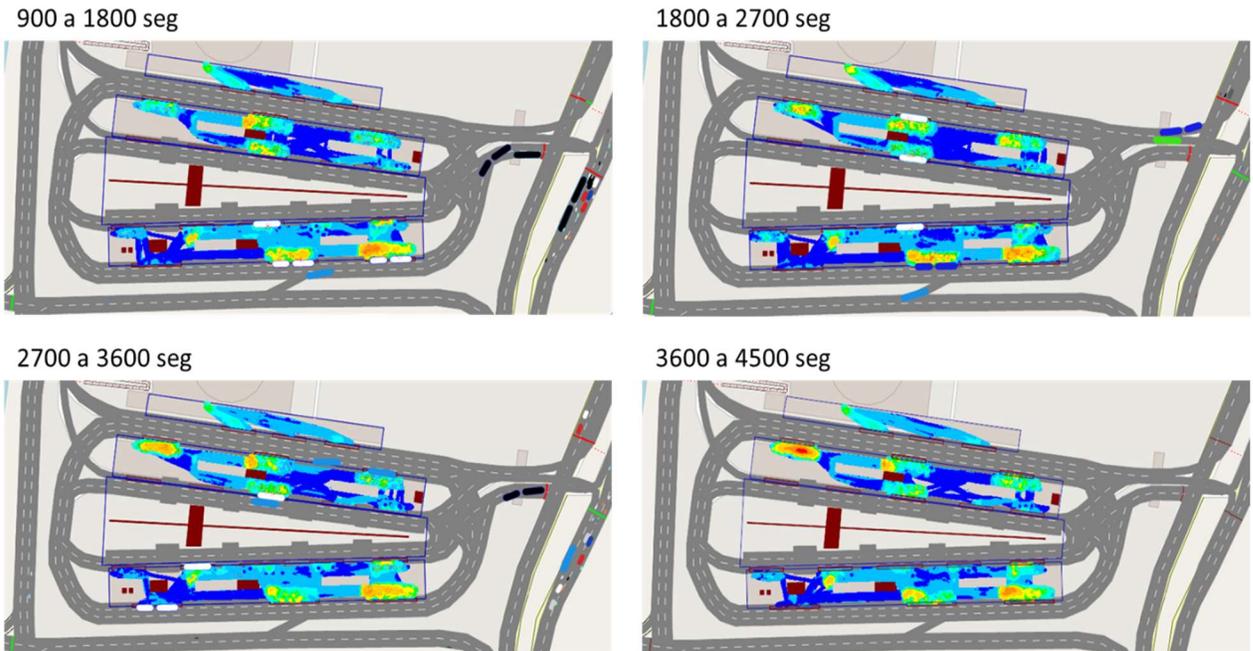


Figura 66 – Presentación de la densidad de los movimientos peatonales y zonas de espera en el modelo en VISSIM. - Escenario BASE 1 (BASE + Reja entre Plataforma 2 y Plataforma 3)
3)

Fuente: Elaboración Propia.

En este escenario se observa que ya no se presentan peatones por en medio de las plataformas debido a la restricción física existente. De manera muy particular se observa que la plataforma B3 incrementó la participación de peatones, así como la reducción de peatones interactuando en la plataforma E2. Pero no se observa un equilibrio de los usuarios en las mismas, de una forma deseable.

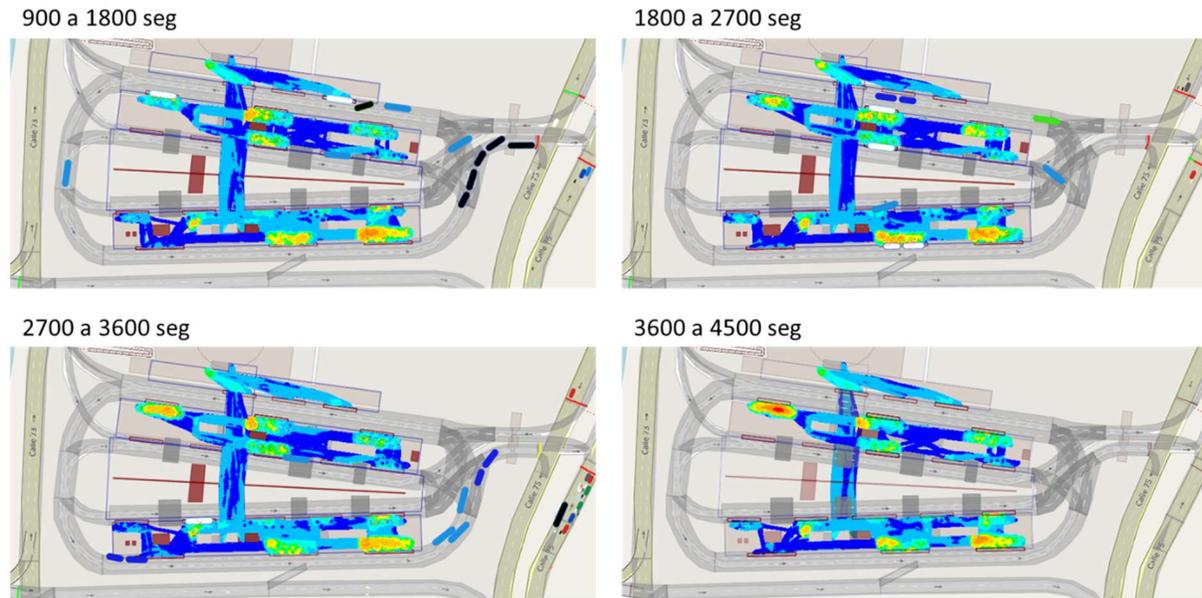


Figura 67 – Presentación de la densidad de los movimientos peatonales y zonas de espera en el modelo en VISSIM. - Escenario 42 - Paso a desnivel
Fuente: Elaboración Propia.

8.3.3.1. Escenario E1

Gráficamente no se observa mucha variación en el paso a desnivel respecto del Escenario B1.

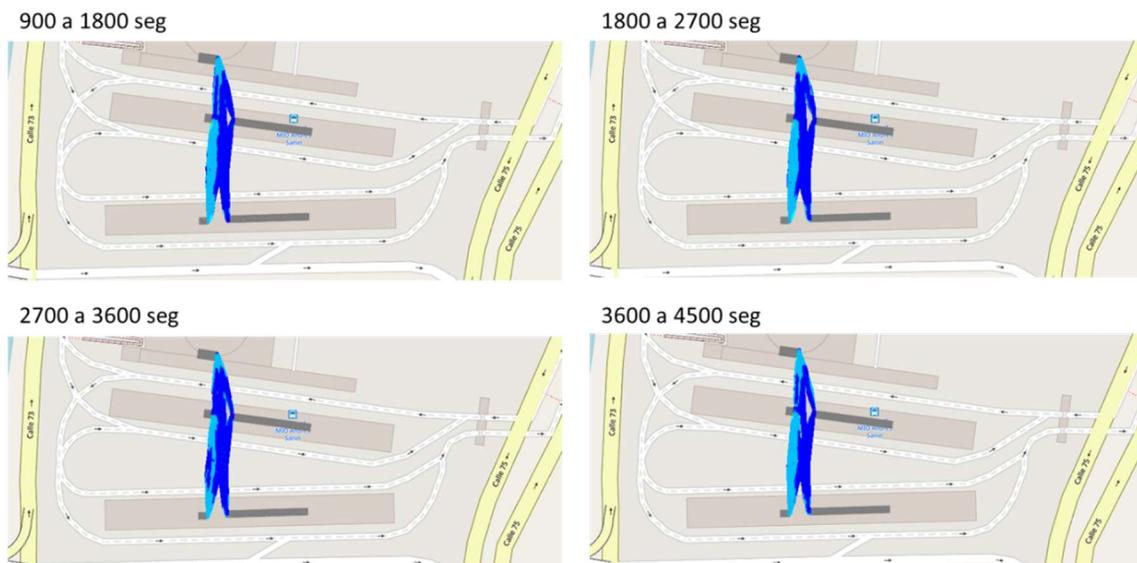


Figura 68 – Presentación de la densidad de los movimientos peatonales y zonas de espera en el modelo en VISSIM. - Escenario 42 - Paso a desnivel
Fuente: Elaboración Propia.

Para el caso de los volúmenes en las plataformas se observa una desconcentración de las paradas B2, B3 y E3, así como una mayor uniformidad dentro de cada plataforma, lo que estaría mostrando que se logró el objetivo de equilibrar las plataformas con los peatones (usuarios del MIO).

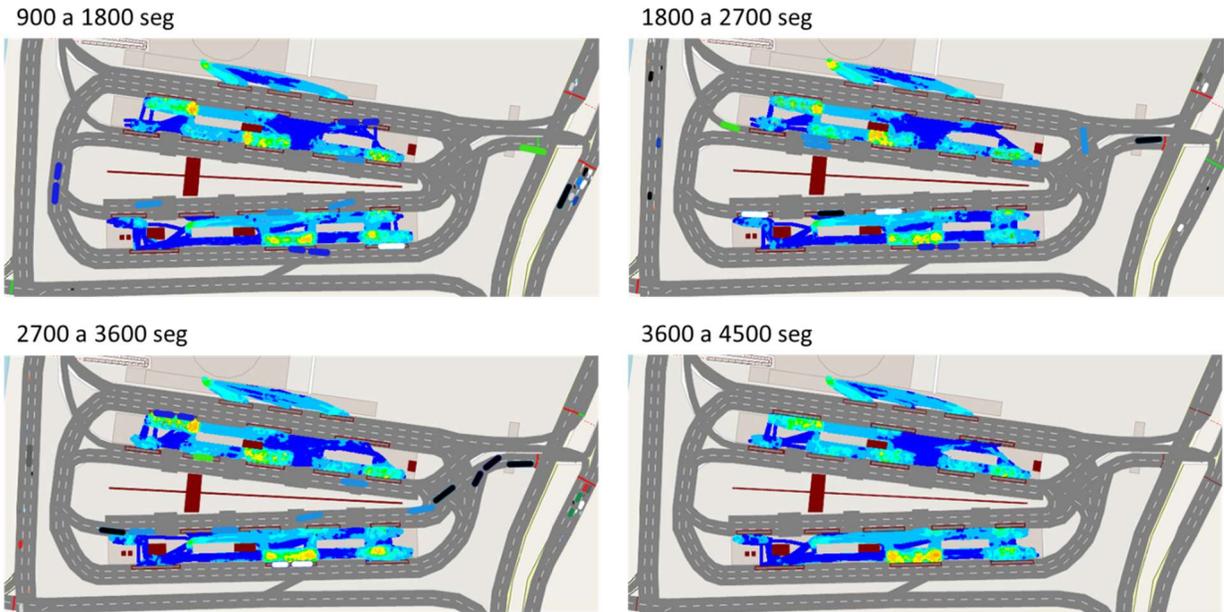


Figura 69 – Presentación de la densidad de los movimientos peatonales y zonas de espera en el modelo en VISSIM. - Escenario 42 - Paso a nivel

Fuente: Elaboración Propia.

En la siguiente gráfica se observa tanto el volumen peatonal a nivel como los que pasan por el túnel.

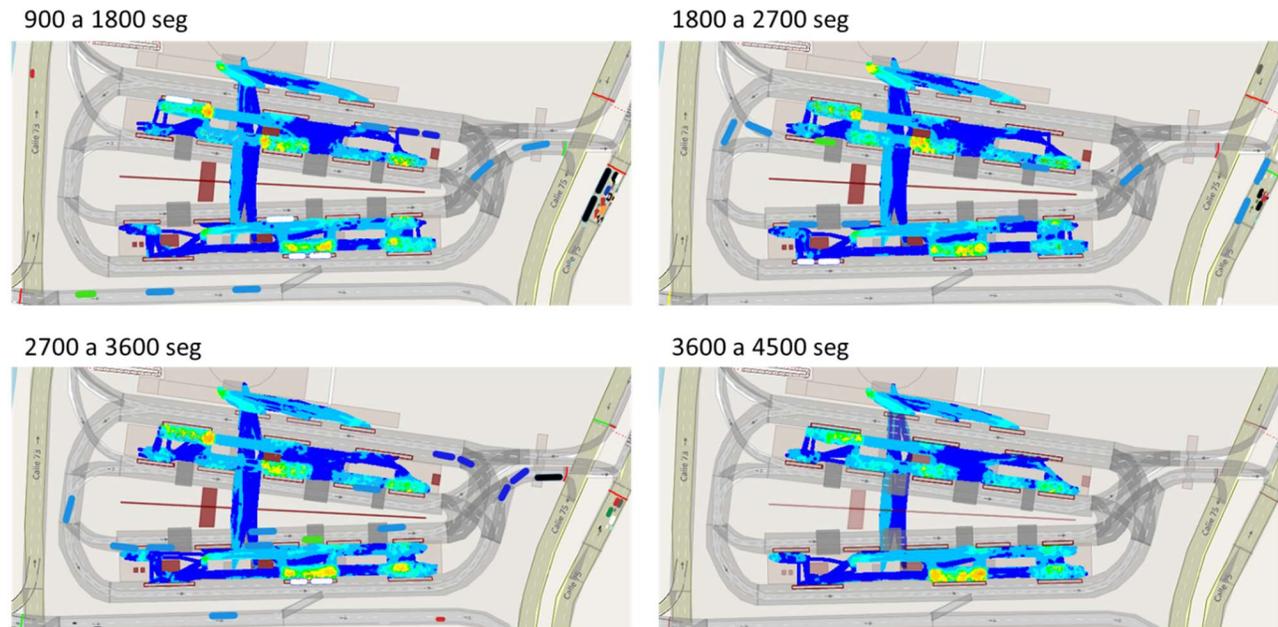


Figura 70 – Presentación de la densidad de los movimientos peatonales y zonas de espera en el modelo en VISSIM. - Escenario 42 - Paso a nivel y desnivel
Fuente: Elaboración Propia.

8.3.4. Análisis de resultados del modelo.

Partiendo de la base que el modelo se encuentra calibrado conforme el numeral 8.3.1.3 Calibración, se asume que los resultados obtenidos del modelo son cercanos a los que sucederían realmente. Bajo esta consideración, se realiza una pequeña evaluación que demuestra la reducción de la fricción interna.

Los volúmenes que se presentan en las tablas Tabla 35, Tabla 36, Tabla 37 y Tabla 38, son volúmenes de peatones que ingresan a las plataformas que son censados por la herramienta de simulación.

Tabla 36- Resultados de peatones entran y salen de la zona aforada en el modelo – Escenario Base (B0)

SALIDA DEL MODELO	Separador Central	Plataforma DE	Plataforma BC	Plataforma A	Túnel	TOTAL
ID Zona	1	2	3	4	5	
Intervalo						
900-1800	478	723	1.171	281	253	2.905
1800-2700	529	831	986	270	212	2.828
2700-3600	542	735	1.120	318	225	2.940
3600-4500	489	635	805	234	187	2.350
Total	2.037	2.924	4.082	1.103	876	11.022

* Para las zonas 1 y 5, se considera la mitad de los valores, por cuanto los que entran son los mismos que salen de la zona.

Fuente: Elaboración Propia – reportes VISSUM

Tabla 37- Resultados de peatones entran y salen de la zona aforada en el modelo – Escenario Base con reja (B1)

SALIDA DEL MODELO	Separador Central	Plataforma DE	Plataforma BC	Plataforma A	Túnel	TOTAL
ID ZONA	1	2	3	4	5	
INTERVALO						
900-1800	-	756	1.198	275	611	253
1800-2700	-	747	1.023	272	679	212
2700-3600	-	716	1.187	316	661	225
3600-4500	-	644	980	232	615	187
TOTAL	-	2.863	4.388	1.095	2.565	10.911

* Para las zonas 1 y 5, se considera la mitad de los valores, por cuanto los que entran son los mismos que salen de la zona.

Fuente: Elaboración Propia – reportes VISSUM

Tabla 38- Resultados de peatones entran y salen de la zona aforada en el modelo – Escenario proyectado (E1)

MODELO	Separador Central	Plataforma DE	Plataforma BC	Plataforma A	Túnel	TOTAL
ID Zona	1	2	3	4	5	
INTERVALO						
900-1800	-	570	601	299	447	253
1800-2700	-	585	623	274	459	212
2700-3600	-	488	663	314	398	225
3600-4500	-	496	639	232	389	187
TOTAL	-	2.139	2.526	1.119	1.692	7.476

* Para las zonas 1 y 5, se considera la mitad de los valores, por cuanto los que entran son los mismos que salen de la zona.

Fuente: Elaboración Propia – reportes VISSUM

Dado que los resultados demuestran un comportamiento sensiblemente homogéneo en cada cuarto de hora, se tomará el total de la hora analizada para comparar los tres escenarios, ver Tabla 39.

Tabla 39- Comparativo de los Resultados de peatones entran y salen de la zona aforada en el modelo en cada Escenario

MODELO	Separador Central	Plataforma DE	Plataforma BC	Plataforma A	Túnel	TOTAL
ID Zona	1	2	3	4	5	
Esc -B0	2.037	2.924	4.082	1.103	876	11.022
Esc -B1	-	2.863	4.388	1.095	2.565	10.911
Esc -E1	-	2.139	2.526	1.119	1.692	7.476

* Para las zonas 1 y 5, se considera la mitad de los valores, por cuanto los que entran son los mismos que salen de la zona.

Fuente: Elaboración Propia – reportes VISSUM

Se observa que en el Escenario base se presentaban aproximadamente 2.000 peatones que cruzaban a nivel entre plataformas 2 y 3, un volumen alto para un lugar sin demarcación que no brinda condiciones adecuadas para hacer este paso peatonal.

Una vez instalada la reja, este volumen se traslada al túnel, no totalmente, porque seguramente habrá cambio de estrategia de algunos viajes, pasando el túnel de 800 peatones (Escenario B0) a 2.500 peatones (Escenario B1) considerando que no se ha cambiado la estrategia/diseño operacional de la TAS, sin embargo, con el cambio de estrategia/diseño operacional (Escenario 42) este volumen pasa a 1.600 peatones, logrando una reducción interesante.

Para el caso de la plataforma 2 (BC), mientras se mantiene similar entre Escenarios B0 y B1, si presenta una reducción importante con el cambio de estrategia/diseño operacional de la TAS, pasando de 2.924 peatones a 2.139 con el Escenario E1.

Igual condición se da al mantener los volúmenes peatonales en la plataforma 3, se mantiene similar entre los dos primeros Escenarios B0 y B1, sin embargo, para el escenario E1, se baja de 4.082 a 2.526 la cantidad de peatones que ingresan y salen de la misma, que representa una reducción del 38%. También se observa que el Escenario E1 mejora y equilibra la cantidad de pasajeros entre las plataformas 2 y 3 pasando de tener 2.924 y 4.082 pasajeros en las plataformas 2 y 3 en el escenario Base B0 a tener en el escenario E1 2.139 y 2.526 pasajeros en las plataformas 2 y 3, mejorando el nivel de servicio para el usuario.

La plataforma 1 no cambia mucho, por las condiciones operacionales previstas, descenso de alimentación que necesariamente tendría que mantener su esquema original. Adicionalmente es la plataforma con menor cantidad de usuarios, por lo que no es consecuente con la búsqueda de equilibrio, el bajar este número.

Finalmente, los volúmenes totales de peatones que entran y salen de las plataformas son reducidos de forma importante entre el escenario base (B0) y el escenario final (E1). Esto significa una reducción de peatones entrando y saliendo de las plataformas en búsqueda de sus rutas para llegar a sus destinos, generando reducción de las caminatas más largas realizadas por el túnel.

Todo lo anterior se traduce en reducción de la fricción al interior de la TAS.

9. Conclusiones

- El volumen de peatones que pasan a nivel entre las plataformas y por el túnel peatonal en las tres horas pico de la mañana de un día hábil es de alrededor de 4.700 (4.200 a nivel y 500 a desnivel) usuarios.
- Los tiempos de caminata registrados a través del paso a nivel y por el túnel peatonal fueron de 20 segundos y 120 segundos, respectivamente.
- Con base en los resultados obtenidos, se concluye que, aunque los tiempos de caminata de los usuarios dentro de la terminal, bajo la condición de operación original (paso a nivel con alto riesgo), son menores que los que hacen uso del túnel peatonal, no es adecuado ni conveniente mantener esta condición por la probabilidad de ocurrencia de un accidente y afectar en mayor escala la operación, dado que la terminal no fue diseñada para esta operación.
- Con la mejora de las condiciones de seguridad y confort dentro del túnel y la restricción de la reja entre las plataformas 2 y 3, se mejora la condición de seguridad de las transferencias al interior de la TAS, sin embargo, no resuelve la necesidad de conexión de viajes de los usuarios.
- Mediante consultas efectuadas a algunos usuarios en la TAS se perfilan que las posibles causas que motivaban el paso a nivel de los peatones estaban relacionadas con temas de seguridad ciudadana (iluminación escasa del túnel), mayores tiempos de caminata (prácticamente 6 veces más que a nivel) y la falta de cultura (fue un hábito que se estaba arraigando incluso en el mismo personal de control del SITM).
- Se identificaron las diferentes conexiones entre servicios, construyendo una matriz O/D de las TAS para las horas pico de la mañana y la tarde, donde se observa una trama de mayores entrecruzamientos con las rutas A47, T47B, P24B y P40B, reduciendo estas fricciones al efectuar parada de estas rutas en cada una de las plataformas 2 y 3.
- La optimización de la operación en una Terminal de transferencia como es el caso de la Terminal Andrés Sanín, debe considerar no solo la operación y movilidad de los buses sino también la movilidad de los peatones y usuarios que requieren realizar para acceder a los diferentes servicios, los cuales fueron considerandos en el análisis desarrollado en el presente estudio.

- La redistribución propuesta de las rutas en las paradas permite reducir en un 62% la cantidad de usuarios que deben cruzar entre las dos plataformas centrales a través del túnel peatonal, pasando de 4.700 a 1.800 usuarios en las tres horas pico de la mañana. Por lo tanto, se reduce de manera significativa la magnitud de la cantidad de personas que requieren seguir pasando entre las dos plataformas centrales para realizar la transferencia hacia otra ruta.
- Los pasos a nivel serán mucho más rápidos y accesibles, sin embargo, estos deben ser diseñados considerando la operación y la fricción que se presenta entre los actores internos.
- El logro del equilibrio de los usuarios en las plataformas de espera y abordaje, es significativo al momento de la reducción de la congestión y consecuentemente mejora los tiempos de parada de los buses, por lo que se pudo mejorar el nivel de servicio de las paradas de 32% a 22% como resultados de calificación promedio ponderado por la cantidad de usuarios (Tabla 30).
- Como resultado de este trabajo se logró evidenciar que efectivamente las soluciones netamente técnicas desde la ingeniería no son lo suficientemente buenas desde la perspectiva del comportamiento humano, dado que es importante involucrar todas las disciplinas de forma integral, buscando un equilibrio para garantizar una satisfacción del usuario mediante la infraestructura, y la sostenibilidad en todos los aspectos (financiero y ambiental).
- Se presentó una mejoría en el nivel de servicio en la zona de espera de las paradas de las plataformas centrales de la TAS, a través del equilibrio de la cantidad de usuarios que hacen uso de cada una de las dos plataformas centrales, con una relación de 1.00 a 1.33, entre los usuarios de la plataforma 2 donde quedarán transitando cerca de 6.500 usuarios y la plataforma 3 donde quedarán transitando cerca de 8.600 usuarios.
- Para este caso el uso de la herramienta de simulación (VISION de PTV) ha brindado gran apoyo para poder evaluar realmente la condición crítica de abordaje y/o descenso, permitiendo plantear mejoras en la operación. Como resultado de las simulaciones se obtuvieron los diagramas de calor que facilitaron la identificación de las dificultades en las zonas de espera, las cuales están afectadas por la cantidad, dimensión y localización de las puertas que

posean los vehículos, los tiempos de espera y nivel de acceso a los servicios que se tenga al interior de la TAS. Con lo anterior se pudo ratificar que la alternativa adoptada con doble parada de algunos servicios (los más demandados), fue una solución adecuada sin afectar los tiempos de los vehículos al interior de la TAS.

- El uso de un modelo apoya de forma importante las evaluaciones y consecuentemente las decisiones para llegar a soluciones más acertadas con menor impacto negativo, que pueden ser causados al implementar muchos cambios sucesivos por no lograr los objetivos deseados.
- Se observa que los resultados obtenidos con el modelo de simulación, son consistentes con los resultados de los análisis iniciales.

10. Recomendaciones

- El desarrollo de los diferentes proyectos inicia por la necesidad de los usuarios, generalmente éstos no son los que diseñan las soluciones, por lo que es importante contar con varias disciplinas, en los equipos de trabajo que puedan complementar las necesidades tanto en sus etapas de diseño como en la implementación, especialmente para los proyectos de transporte, esto es necesario en la medida que los usuarios se hacen más exigentes con los servicios que le son prestados y la libertad que tienen para seleccionar su modo de transporte.
- Todos los diseños siempre serán el resultado de un proceso iterativo, que inicia con algunas disciplinas, y que durante el desarrollo se van incorporando otras complementarias, esto favorece la maduración de los diseños. El resultado no siempre será el mejor valorado desde el componente netamente técnico, por tanto, se han recogido las necesidades de las otras disciplinas, lo que genera una verdadera satisfacción del diseño.
- En el presente estudio no se involucró el grupo de Concesionarios Operadores de Transporte (COT), sin embargo, se recomienda para próximas evaluaciones vincularlos a través de sus conductores, pues son quienes tienen el conocimiento particular de cada situación y lugar en la operación.
- Con base en lo anterior, es importante contar con el tiempo para este desarrollo, y lograr mejores resultados, que permitan obtener una verdadera integralidad, dado que quien usa y califica generalmente no es el diseñador. Bajo esta consideración es relevante considerar retroalimentar los diseños una vez construidos e implementados con la realización de encuestas al usuario con el fin de validar si la infraestructura logró el resultado previsto en los diseños y su nivel de satisfacción y funcionalidad.
- Es importante que el Ente Gestor en su próxima evaluación del Nivel de Servicio al Usuario - NSU, pueda efectuar una medición de la variación de satisfacción del usuario con la implementación del escenario operativo finalmente seleccionado respecto de la pasada medición, de forma que sirva de retroalimentación para efectuar los ajustes que puedan ser implementados en otras Terminales.

- Conforme con lo anterior, parte de las recomendaciones será siempre tratar de diseñar los pasos de los peatones a nivel ordenados y protegidos, considerando condiciones adecuadas para ello, y con volúmenes aceptables que no afecten la operación de los buses. Esto debe realizarse con un adecuado estudio, el cual permita evaluar la percepción de los usuarios para identificar si éstos prefieren tomar otros modos de transporte, antes de tener mayores caminatas para lograr integración.
- Para poder tener una mejor caracterización de los usuarios y la operación de cada sistema, sería relevante hacer una evaluación de los tiempos de ascensos y descensos de los pasajeros en cada una de las plataformas y condiciones de operación, con el objetivo de plantear mejoras de optimización de la misma.
- Una vez el sistema logre alcanzar la regularidad de la oferta (buses en operación regular) ésta mejora supone una mejor condición del usuario, sin embargo, también supone un incremento del riesgo de congestión en las vías internas de la TAS. Por lo tanto, se recomienda realizar un estudio (incluido los resultados detallados de saturación y fricción de los pasajeros) que permita evaluar el escenario del MIO con la terminal Aguablanca y aprovechando mejor la Terminal Calipso para lograr un equilibrio en el uso de la infraestructura del MIO y de esta manera, mejorar las condiciones operativas en la TAS al igual que en las otras terminales, y así poder ofrecerle un mejor servicio al usuario.
- Es importante introducir los criterios de evaluación de los tiempos de espera y las transferencias en los procesos operativos de planeación previo y durante la operación de los sistemas, de tal forma que siempre se esté evaluando esta condición y permita hacer los correctivos respectivos, ya sea por cambios de rutas en la operación, cambios físicos u operativos en la infraestructura, etc.
- Para próximos estudios puede ser evaluado a posterior los cambios introducidos mediante encuestas a usuarios, donde se pueda medir la aceptación o no de estos cambios, así mismo, la caracterización de los usuarios dependiendo del lugar de actividad para poder focalizar las acciones y tipos de éstas (Moyano-Díaz et al., 2014).
- Sería muy interesante poder realizar un estudio sobre los tiempos de abordaje y descenso de pasajeros, bajo las diferentes configuraciones de las puertas de los buses y tipologías de los mismos, dado que el MIO ha incursionado en

esquemas de operación diferentes a nivel nacional y que permita tener parámetros para futuros estudios de planeación y la misma puesta en operación y mejoras operativas.

- La reducción de la fricción entre los peatones y buses dentro de la Terminal es un factor fundamental para lograr la convivencia de los mismos. De tal forma, que se garantice un adecuado entorno de infraestructura, que permita los pasos de los peatones entre plataformas de abordaje a nivel de forma segura y la menor afectación a la operación de los buses en el sistema.
- Para mejorar el desempeño de la infraestructura se plantea que los elementos fijos dentro de las plataformas (barandas de las rampas, gradas o construcciones) no queden con ángulos que dificulten la circulación peatonal.
- Los tiempos de espera y los trayectos adicionales de viaje (caminatas de transferencias) son los más complejos de administrar, sin embargo, se pueden plantear estrategias como las mencionadas por (Alfonzo, 2005) y (Zurawik, 2014), donde lleva al peatón a disfrutar de este trayecto, esto es que pueda ser dinámico estos tramos, de tal forma que los usuarios vean cambios en su entorno que hagan placentero este proceso (logrando cubrir los factores menos técnicos desde la ingeniería –la Confortabilidad y lo Placentero del viaje).

11. Bibliografía

- Alcaldía de Cali, Metrocali, Tranvias SAS, Steer Davies Gleave, & Consultoria, C. N. de. (2015). *Encuesta de Movilidad Cali 2015*. Cali.
- Alfonzo, M. A. (2005). *To Walk or Not to Walk?: The Hierarchy of Walking Needs*.
- Bhushan, N., & Rai, K. (2004). The Analytic Hierarchy Process. In Springer (Ed.), *Strategic Decisión Making* (pp. 11–21). Retrieved from <http://www.springer.com/978-1-85233-756-8>
- Burgos, F. A. G. (2010). *Flujos peatonales en infraestructuras continuas : marco conceptual y modelos representativos Pedestrian Flows in Continuous Infrastructures : Conceptual Framework and Representative Models Fluxes Piétonniers dans infrastructures conceptuel et modèles repr.* (29), 179–203.
- Goyanes, R., Senior, C., & Ruiz, R. (2016). La Modelización peatonal como herramienta para la mejora del espacio urbano. *CIT2016 – XII Congreso de Ingeniería Del Transporte València, Universitat Politècnica de València, 2016*, (28014). Retrieved from <http://dx.doi.org/10.4995/CIT2016.2016.2415>
- Haddon, W. (1999). The changing approach to the epidemiology, prevention, and amelioration of trauma: The transition to approaches etiologically rather than descriptively based. *Injury Prevention*, 5(3), 231–235. <https://doi.org/10.1136/ip.5.3.231>
- Helbing, D., & Molnár, P. (1995). Social force model for pedestrian dynamics. *Physical Review E*, 51(5), 4282–4286. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.51.4282>
- ITDP, Arias, C., Castro, A., Martins, W. C., Custodio, P., Diaz, J. C., ... Zimmerman, S. (2010). *Guía de Planificación de Sistemas BRT Autobuses de Tránsito Rápido*. 37.
- Kujala, R., Weckström, C., Mladenović, M. N., & Saramäki, J. (2018). Travel times and transfers in public transport: Comprehensive accessibility analysis based on Pareto-optimal journeys. *Computers, Environment and Urban Systems*, 67, 41–54. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.08.012>
- Li, P., Shi, J., & Liu, X. (2017). Driving Style Recognition Based on Driver Behavior Questionnaire. *Open Journal of Applied Sciences*, 07(04), 115–128. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2017.74010>
- López-de-cózar, E., Molina, J. G., & Chisvert-Perales, M. (2006). *Traducción y adaptación del Driver Behaviour Questionnaire a la población española*. Retrieved from https://www.uv.es/metras/docs/2006_encuestas_lopez_de_cozar_acta.pdf
- Margie Peden, Richard Scurfield, David Sleet, Dinesh Mohan, Adnan A. Hyder, Eva Jarawan, C. M. (2004). INFORME MUNDIAL SOBRE PREVENCIÓN DE LOS TRAUMATISMOS CAUSADOS POR EL TRÁNSITO. Anexo estadístico. *World*,

52–53. [https://doi.org/10.1016/S1131-3587\(07\)75236-6](https://doi.org/10.1016/S1131-3587(07)75236-6)

- Moyano-Díaz, E., Torquato, R. J., & Bianchi, A. (2014). Aportaciones a las ciencias de la salud: El comportamiento peatonal arriesgado de chilenos y Brasileños. *Terapia Psicológica*, 32(3), 227–234. <https://doi.org/10.4067/S0718-48082014000300005>
- Proyector Inteligencia de Negocios. (2018). *Nivel de Satisfacción del Usuario - NSU, II-2017*. Cali.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98. Retrieved from <http://www.inderscience.com/info/inarticletoc.php?jcode=ijssci&year=2008&vol=1&issue=1>
- Talavera-garcía, R., Soria-lara, J. A., & Valenzuela-montes, L. M. (2014). *La calidad peatonal como método para evaluar entornos de movilidad urbana*. 60, 161–188.
- Tcqm. (2013). TCRP Report 165: Transit Capacity and Quality of Service Manual. *Transit Capacity and Quality of Service Manual, 3rd Edition*. Retrieved from <http://www.trb.org/main/blurbs/169437.aspx%5Chttp://www.worldtransitresearch.info/research/4941/>
- Transport Roads & Maritime Services. (2003). *Traffic Modelling Guidelines* (1st ed.; N. © 2013 Roads and Maritime Services, ed.). Retrieved from www.rta.nsw.gov.au/doingbusinesswithus/downloads/technicalmanuals/technicalmanuals_dl1.html
- Zurawik, M. A. (2014). Socio-ecological perspective on walking. *COLDNOON: TRAVEL POETICS (INTERNATIONAL JOURNAL OF TRAVEL WRITING)*, 9(5), 81–98. Retrieved from https://coldnoon.com/wp-content/uploads/2015/09/Marta_Ann_Zurawik_Jan14.pdf