



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE LA OPERACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA MODAL PARA TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS

**TESIS QUE PRESENTA:
AZUCENA ROMÁN DE LA SANCHA**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA CIVIL**

**DIRECTORA DE TESIS:
DRA. FLORENCIA SERRANÍA SOTO**

Mayo de 2008

A mis padres,
mi mayor fortuna
por su ejemplo, confianza
y amor incondicional

A Reynolds y Luis Ignacio,
mis hermanos, mejores amigos
y fuente de motivación

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN..XI

I. ANTECEDENTES..I

- I.1. Transporte público..3
- I.2. Paraderos y Estaciones de Transferencia..4
- I.3. Situación actual de las Estaciones de Transferencia Modal en México..8
 - I.3.A CETRAM Zapata..8
 - I.3.B CETRAM Tasqueña..7
 - I.3.C CETRAM Pantitlán..11
- I.4. Estado del arte de intercambiadores modales en otros países..14
 - I.4.A Alemania..15
 - I.4.B Francia..19
 - I.4.C España..21
 - I.4.D Austria..23

II. VISIÓN Y ALCANCE. OBJETIVOS ESTRATÉGICOS Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS..25

III. DESARROLLO..29

- III.1. Metodología para el diseño de una Estación de Transferencia Modal..33
- III.2. Diagnóstico de la operación..35
 - III.2.A Identificación de problemáticas..35
 - III.2.B Oferta y demanda de transporte..38
 - III.2.C Espacio físico disponible..39
- III.3. Propuesta de solución. Determinación de características con las que debe cumplir la ETRAM..40
 - III.3.A Diseño geométrico..42
 - III.3.B Diseño operativo..42
 - a. Operación básica..43
 - a.1. Descripción de la operación..44
 - a.2. Parámetros y consideraciones de la operación..47
 - a.3. Descenso de pasajeros..47
 - a.4. Ascenso de pasajeros..48
 - a.5. Frecuencias requeridas..50
 - a.6. Tiempos máximos de ascenso, descenso y permanencia..50
 - a.7. Dosificación de usuarios y vehículos..51
 - a.8. Sincronización de la operación..53
 - a.9. Consideraciones especiales para el diseño de la operación..53
 - b. Operación automatizada..54
 - b.1. Indicadores de la operación..55
 - c. Gestión de la operación..55
 - III.3.C Flexibilidad de la operación..55
 - III.3.D Versatilidad de la estación..56
 - III.3.E Dinamismo en la operación..56
 - III.3.F Servicios al usuario..56
 - III.3.G Servicios al transportista..57
 - III.3.H Autosustentabilidad..57

IV. MODELOS DE MICROSIMULACIÓN DE TRÁNSITO VEHICULAR..59

- IV.1. VISSIM. Descripción del programa..61
- IV.2. Modelos de simulación de la propuesta de solución..64
 - IV.2.A Escenario actual..64
 - IV.2.B Durante la construcción..66
 - IV.2.C Situación futura..70

V. RESULTADOS Y CONCLUSIONES..73

- V.1. Resultados de la propuesta de solución..75
- V.2. Conclusiones..79
- V.3. Anexos..82
- V.4. Referencias..8

INTRODUCCIÓN

El desarrollo urbano, armónico y equilibrado, constituye un elemento esencial para la modernización de un país y para elevar el nivel de vida de su población. La formación de zonas metropolitanas corresponde, en el mundo, con un desarrollo económico, social y tecnológico logrado por una sociedad formando espacios estratégicos que vinculan las regiones de un país. En estas zonas existe una importante actividad económica y representan también una oportunidad de propagación de desarrollo económico y social más allá de sus fronteras. En este contexto el transporte juega un papel primordial pues de él depende el desplazamiento en las ciudades de los bienes y servicios indispensables en las actividades de los distintos sectores económicos. Por otro lado el transporte público desempeña una función crítica en las grandes áreas metropolitanas, donde más del 50% de los trabajadores dependen de él para desplazarse hacia y desde su lugar de trabajo.

Uno de los problemas más graves en México es la insuficiencia e ineficiencia del transporte público. Esta situación propicia excesivos tiempos de viaje, contaminación, congestionamientos, accidentes de tránsito y demandas excesivas de infraestructura de transporte. En una cuenca ubicada a 2,240 metros sobre nivel del mar, hace más de cinco décadas inició la ocupación masiva de la Ciudad de México por una población en constante crecimiento y con actividades diversas excediendo los límites administrativos y políticos. El resultado de estos procesos sociales, económicos, políticos y tecnológicos es la configuración de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) que hoy integra a las 16 delegaciones del Distrito Federal, 58 municipios del Estado de México y uno del estado de Hidalgo, y que inicia el siglo XXI con más de 18 millones de habitantes. La importancia de la ZMVM radica en que ésta conforma la mayor concentración industrial, comercial y de servicios en la historia de México. A nivel nacional, genera un tercio del producto interno bruto y casi el 40% en el sector industrial. Además cuenta con la mayor dotación de infraestructura vial y transporte masivo, e igualmente ocupa la primera posición en cuanto a tráfico aeroportuario y carretero. Es de imaginar la gran movilidad que se presenta en la ZMVM y su dinámica en conjunto con cinco zonas metropolitanas de la región centro del país generando 21 millones de viajes diarios y el tránsito de alrededor de 3.7 millones de automóviles ¹. En este contexto, el transporte metropolitano constituye un factor de desarrollo económico, social, político y tecnológico y por lo tanto uno de los retos más importantes de la metrópoli.

En respuesta a las necesidades de movilidad el elemento estratégico más importante ofrecido por el Estado es sin duda el Sistema de Transporte Colectivo (STC). Con 37 años operando, el Metro, es el único sistema de transporte masivo en México. Integrado por nueve líneas en el Distrito Federal y dos de cobertura metropolitana traducidos en más de 200 kilómetros de

¹ Mora, Carlos. Análisis de la situación actual de la movilidad y el transporte público en la Ciudad de México. 2006.

longitud y atendiendo a casi 1,500 millones de pasajeros al año el Metro es hoy en día la columna vertebral del transporte público en la ZMVM ².

Sin lugar a dudas el STC cumple con una función primordial de integración regional entre el Distrito Federal y su Zona Metropolitana, a través de sus once líneas crea importantes conexiones entre grandes franjas industriales y habitacionales en los municipios del Estado de México y las zonas comerciales y lugares de empleo en la Ciudad de México. Sin embargo, el Metro, que es un sistema de transporte de alta capacidad, para 2005 sólo realizó el 14% de los viajes generados en la ZMVM, mientras que en 1986 los viajes realizados en este modo de transporte era del 19%, es decir, lejos de aumentar su participación en el total de los viajes ésta ha tendido a la baja. Por otro lado, mientras los transportes de alta y mediana capacidad han ido perdiendo participación en la cobertura de los viajes, los transportes de baja capacidad, es decir, los menos eficientes y también los más contaminantes, microbuses y combis han ido en aumento de manera desproporcionada. Es evidente la necesidad de revertir esta tendencia privilegiando el transporte de alta capacidad y obligando a que el Metro sea el eje del transporte metropolitano y que los transportes de mediana y baja capacidad se conformen en su mayoría como alimentadores y no competidores, de esta forma, se lograría una mejor integración del sistema de transporte público.

Como parte de una estrategia de integración regional en la ZMVM las estaciones de transferencia modal juegan un papel de importancia mayúscula siendo lugares específicamente destinados para el intercambio de modo de transporte. El Distrito Federal cuenta hoy con 45 Centros de Transferencia Modal (CETRAM) a las que llegan alrededor de 23 mil unidades diarias, 45% procedentes del Estado de México. Este tipo de infraestructura debe permitir el fácil cambio de modo de transportes para usuarios que provienen primeramente de un acceso carretero a una vialidad principal y a través del CETRAM llevar a cabo su transferencia hacia y desde el STC de forma cómoda, rápida y segura. Lamentablemente el diseño de estos espacios se ha encaminado más a la disposición de grandes territorios para la acumulación de parque vehicular que para la operación del transporte y han sido ubicadas en lugares que corresponden más a las características físicas del Metro que a las necesidades de trasbordo de los usuarios. Hoy en día el Metro cuenta con líneas con afluencia de aproximadamente 800 mil pasajeros diarios lo que representa un gran esfuerzo en el ámbito de la movilidad y el desalojo de las personas. Particularmente estaciones como Pantitlán, Indios Verdes, Cuatro Caminos, El Rosario, Observatorio, Taxqueña y Ciudad Azteca son, por su ubicación, nodos importantes de transferencia de pasajeros desde y hacia la ciudad por lo que la necesidad de espacios adecuados para llevar a cabo el intercambio modal de todos esos pasajeros se hace más imperativa y las deficiencias de la infraestructura existente es cada vez más evidente.

El diseño inadecuado de estos espacios trae consigo problemáticas como la saturación de bahías vehiculares, inadecuada ubicación de casetas de despacho e inadecuada ubicación de bases de taxis, entre otros. Por otro lado su mala operación y administración agrega aún más complicaciones como la presencia de unidades obsoletas, unidades irregulares, frecuencias de salidas abiertas, paralelismo y competencia de rutas así como permisión

² STC. El Metro de la Ciudad de México. 2007.

de pernocta de unidades. El producto de la conjunción de todos estos escenarios es lamentablemente un servicio para los usuarios totalmente deficiente con demoras, inseguridad, mala imagen y con riesgo de accidentes además de derivar en problemas mayores como contaminación ambiental y el incremento de la inseguridad al mismo tiempo que propicia el comercio informal y el desorden dentro de las estaciones. Una mejora en el diseño de los puntos de transferencia basados en ejemplos funcionales probados en otros países deberá considerar dentro de sus objetivos el desarrollo sustentable, soluciones a largo plazo, la conectividad de los centros urbanos y la disminución de la contaminación y el tráfico y traería como beneficios la promoción de la intermodalidad, un servicio eficiente para el usuario, la modernización del sistema mediante la tecnología así como seguridad e información. El camino a seguir contempla el desarrollo de planes para el desarrollo sustentable, la integración física y operativa de la estación, la innovación tecnológica, un esquema de inversión y un diseño institucional adecuados. Convencionalmente, los criterios de operación se han establecido con base en la demanda de transporte y en una proyección de crecimiento futura de esta demanda constituyendo a su vez las bases de un diseño geométrico adecuado para esa forma de operar. Este método de diseño incurre en la necesidad de grandes espacios disponibles para construir la infraestructura requerida para las maniobras de ascenso y descenso de pasajeros así como su transferencia modal, pero además para albergar en ella a los vehículos durante largos intervalos de tiempo en espera de los usuarios. La forma tradicional de atacar el problema de la operación las estaciones (bien llamadas paraderos) en la ZMVM ha sido siguiendo estos lineamientos, sin embargo, los resultados saltan a la vista con estaciones ineficientes e insuficientes y de capacidad limitada, con áreas mal utilizadas, en algunos sitios desperdiciadas y en otros saturadas. El objetivo de este documento es el de retomar la vocación de las Estaciones de Transferencia por lo que se presenta un replanteamiento total con una visión focalizada en una operación controlada y regulada que se traduciría sin duda en enormes beneficios: el primero y más importante, una verdadera integración de modos de transporte y los otros que reeditarán en una mejor explotación del área disponible, un balance entre la oferta y la demanda del transporte, mejor administración, menor contaminación y tráfico, ambientes más agradables y por lo tanto más atractivos para los usuarios. El resultado final, una mayor tendencia por parte de la población hacia el uso del transporte público creando un círculo virtuoso entre el uso y la mejora del transporte, beneficiando al mismo usuario y por lo tanto al desarrollo de la región. Esperando que su aplicación permita orientar oportunamente las acciones sobre infraestructura y los servicios de transporte de pasajeros, el siguiente trabajo ofrece una propuesta específica de esquema de operación alternativa que concibe las estaciones de transferencia modal como espacios dinámicos cuya operación debe ser estrictamente controlada de forma que el aprovechamiento de la infraestructura sea el máximo y logrando el servicio integral óptimo de la estación mediante la regulación de las frecuencias, sincronización de los itinerarios y administración de la disponibilidad y asignación del espacio. Esta propuesta incide en una mayor capacidad de operación en la estación en un área menor requerida y con la seguridad de brindar al usuario calidad en sus viajes y transbordos mediante un servicio eficiente, rápido y seguro. En

particular el diseño de la operación de la nueva Estación de Transferencia Modal (ETRAM) se refiere al establecimiento de horarios, la asignación de jornadas de trabajo, la supervisión y operación diaria de las unidades, la recolección de las tarifas y el mantenimiento mismo del sistema. La operación debe ser diseñada bajo normas y criterios que permitan lograr el objetivo de satisfacer las necesidades de demanda de los usuarios en tiempo y espacio y de forma segura, rápida y confortable. El enfoque de este documento es el de visualizar a las Estaciones de Transferencia Modal como una oportunidad para la regulación y el control de los distintos modos de transporte, incluyendo al metro, como espacios de movimiento y no como grandes estacionamientos geográficamente obsoletos. En este contexto, la integración física y operativa es propuesta como un elemento primordial para lograr un servicio de calidad. Esta etapa comprende el diseño de la infraestructura vial y de transporte así como el diseño de la operación de la flota vehicular y las áreas de transferencia.

En el primer capítulo se hablará del rol que juegan los intercambiadores modales en México y en el mundo así como los lineamientos de operación que prevalecen. Continuando en el Capítulo II serán establecidos la visión y el alcance de esta tesis así como los objetivos estratégicos y específicos. En el Capítulo III se plantea una metodología para alcanzar estos objetivos partiendo primeramente del diagnóstico de una problemática real y proponiendo una solución basada en el diseño geométrico más adecuado así como un diseño operativo e incluyendo características como versatilidad, dinamismo y flexibilidad de la estación y su operación en conjunto con servicios tanto para usuarios como para transportistas. El Capítulo IV se ha destinado para la realización de modelos de simulación de tránsito vehicular para distintos escenarios de la solución a modo de evaluación. Finalmente se presentan en el Capítulo V los resultados y conclusiones obtenidos a partir de la metodología planteada.

I. Antecedentes

I.1 Transporte público

El transporte público es aquel servicio de transporte urbano y suburbano de pasajeros al que se accede mediante el pago de una tarifa establecida y que se lleva a cabo con servicios regulares fijados en rutas marcadas, horarios establecidos y paradas específicas. El servicio de transporte público desempeña una función crítica en muchas grandes áreas metropolitanas, donde más del 50% de los trabajadores dependen de él para desplazarse hacia y desde sus lugares de trabajo. Tratándose de una actividad con una influencia predominante en las condiciones económicas, sociales, administrativas y políticas de los países, el transporte público constituye uno de los elementos esenciales de la infraestructura de éstos. Para los planificadores el transporte es uno de los elementos que más interviene en los planes, programas y proyectos que preparan, teniendo que ajustarlo y armonizarlo con la demanda, la producción y la distribución, pues la capacidad de transporte instalada y no utilizada representa un gasto inútil para los objetivos que se pretenden alcanzar, afectando una parte importante de las inversiones. Para los economistas el transporte está incluido en la infraestructura económica de los países, siendo una de las medidas utilizadas para determinar su desarrollo, pues de él depende el desplazamiento de los bienes y servicios indispensables en las actividades de los distintos sectores económicos. En un país es posible lograr la especialización del trabajo, la productividad y el intercambio de actividades en el grado en que se pueda transportar con rapidez y eficiencia a las personas, materias primas y productos acabados.

El análisis retrospectivo del historial de los sistemas de transporte público en los diversos países revela el papel que han desempeñado y demuestra cómo se fueron sucediendo a causa de la evolución tecnológica y de las condiciones económicas, geográficas, sociales y políticas. Idóneamente se esperaría que la experiencia y el avance en la tecnología condujesen a sistemas de transporte más ordenados y eficientes, con la cobertura requerida y cumpliendo con el objetivo de ofrecer movilidad a la población. Sin embargo, una tendencia presente en casi todos los centros urbanos del mundo hoy en día es el llamado congestionamiento vial crónico con repercusiones sociales y ambientales y cuyos principales factores son: alto número de automóviles particulares que circulan en una zona, saturación de rutas de vehículos de transporte público que convergen en un mismo punto rebasando la demanda de pasajeros, acumulación de personas en tránsito casa-trabajo-casa que coinciden en tiempo y espacio, deterioro del transporte público, estructura ineficaz, competencia excesiva, crecimiento desordenado del sistema, excesivo número de paradas, administración deficiente, falta de la adecuada integración de los distintos modos de transporte, escasez de información al usuario y problemas de recursos humanos. La falta de sistemas de transporte de calidad, seguros y asequibles, aunada al fenómeno de expansión urbana produce un crecimiento de la demanda de viajes y no ha sido acompañada de una red de infraestructura adecuada para el transporte público dando como resultado un aumento desmedido y desordenado del parque vehicular particular.

El transporte público en las grandes ciudades mexicanas se caracteriza primordialmente por la mala calidad en el servicio y la ineficiencia funcional en su estructura. Hay una insuficiencia grave en el transporte masivo rápido y eficiente en las grandes urbes del país. Los centros urbanos y metropolitanos, que son el motor económico de México, carecen en su mayoría de una columna vertebral que sustente la movilidad de la población de manera eficiente y ordenada. Como consecuencia de lo anterior, crece el uso del coche particular, que pasó de 17.4 a 20 % del total de viajes entre 1994 y 2003 en la ZMVM con lo cual pudiera asumirse que la lucha por un transporte público masivo de calidad y ambientalmente sustentable se está perdiendo ¹.

En la Ciudad de México, durante los últimos años, y de manera ininterrumpida, se incorporan mensualmente al parque vehicular más de 20 mil automóviles, en su mayoría nuevos, que junto con el transporte público de pasajeros, de carga y las unidades que ingresan desde municipios conurbados llegan a ser aproximadamente 3 millones 700 mil vehículos transitando y saturando los 10 mil kilómetros de vialidades disponibles en el Distrito Federal ¹. Los habitantes de la ZMVM pierden anualmente 7 mil millones de dólares por congestiones viales, accidentes, contaminación atmosférica y uso de suelo, debido al desaprovechamiento de horas-hombre, daños materiales, lesionados, muertos y costos ambientales imputables al transporte y al impuesto predial por destinar parte del sueldo a la construcción de vialidades, de acuerdo con un estudio realizado por la Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad¹. Por otro lado, actualmente del total de viajes realizados al día (20 millones aproximadamente) el 82% se realiza en el transporte público: 65% concesionado y 17% administrado por el Gobierno del Distrito Federal, mientras que el 18% restante (4 millones) se realiza en vehículos particulares. Lamentablemente, la captación de viajes por los sistemas de alta y mediana capacidad (metro, autobús y trolebús) han disminuido del 65% en 1986 al 17% en 2005. Mientras que los sistemas de baja capacidad han pasado del 35% al 83% en el mismo periodo. Particularmente el grupo compuesto por minibuses y combis ha pasado del 5.5% al 60% ³.

En adición a la problemática de distorsión e ineficiencia de los distintos modos de transporte, la falta de una integración adecuada de los diversos modos de transporte presentes en la ZMVM es otro elemento importante a tomar en cuenta. Los servicios prestados actualmente, aún siendo de mala calidad, ofrecen una gran flexibilidad para adaptarse a cambios en los patrones de origen y destino, así como la expansión urbana desordenada. Desde el punto de vista de la estructura de una red de rutas se observa la proliferación de rutas individuales sin integración, que se aglomeran en los centros y subcentros urbanos, con una ocupación y rentabilidad bajas debido a la sobreoferta de rutas y vehículos, lo que agudiza la congestión vehicular. La baja rentabilidad de las rutas retrasa programas adecuados de renovación de la flota vehicular, que en combinación con el uso intensivo de cualquier vehículo de transporte público, origina una mayor emisión de contaminantes en la atmósfera. La forma de operación de los servicios de transporte público, que en su gran mayoría se basa en el esquema de

¹ SEDESOL. Programa de asistencia técnica en transporte urbano para las ciudades medias mexicanas. 2006.

hombre-camión, significa un incentivo para que cada conductor de vehículo de transporte público luche en la calle por ganar a cada pasajero como una condición para garantizar su ingreso mínimo. Esa forma de operar aumenta el riesgo de accidentes y aturde la circulación ordenada del flujo vehicular. Lo anterior destaca la creciente importancia de los accidentes provocados por el inadecuado modelo de transportación de las personas. Por una parte, los coches particulares que mueven a la menor cantidad de personas se apropian de la mayor parte de la superficie de rodamiento de las ciudades, y por otra, la ausencia de un modelo económico equitativo obliga a los conductores de los vehículos de transporte público a luchar por ganar cada pasajero, "guerra del peso".

El servicio de transporte público masivo sigue siendo uno de los principales retos de la agenda nacional. Así se ha construido una distorsión de la estructura modal del transporte. Los coches privados, que son la mayoría, transportan a menos personas, generan el mayor impacto urbano y en conjunto contaminan más. Igualmente los medios más contaminantes por vehículo y de gran impacto urbano son el autobús, el microbús y la combi, que absorben la proporción más grande de la demanda, no representan, como están organizados, ninguna solución al problema de accesibilidad y movilidad de las personas en las ciudades. Persiste también el otorgamiento discrecional de concesiones y procesos de adjudicación, sin los estudios que demuestren un balance de oferta y demanda y sin licitación pública, a organizaciones que no son empresas formalmente constituidas, beneficiándose a grupos con los que se establecen relaciones corporativas en perjuicio del interés público. Igualmente, los términos y condiciones de las concesiones no aseguran vehículos y tecnologías eficientes y modernas, una regulación adecuada, buena calidad en el servicio, cumplimiento estricto de normas y reglamentos, e infraestructura apropiada en paraderos, estaciones, patios talleres y bases, por lo que desde su concepto deben cambiar.

I.2 Paraderos y Estaciones de Transferencia

Como respuesta al constante crecimiento de las ciudades y en consecuencia de la demanda en el uso del transporte público surgen en el mundo distintas modalidades de transporte en función de las necesidades de movimiento y complementando a los sistemas de transporte masivos y de alta capacidad. El sistema de transporte debe ser un conjunto de modalidades interrelacionadas, organizadas, coordinadas y jerarquizadas según el valor de sus atributos con las que se busque lograr una eficaz acción recíproca entre sus componentes. Esta coordinación se refiere a las operaciones de desplazamiento de personas, de origen a destino, en las que intervienen varias modalidades o empresas de transporte.

A nivel de las variedades de las modalidades de transporte, las correlaciones de cada modalidad con las demás forman un conjunto, la eficacia de cuyas operaciones deberá resultar de la conciliación de cada modalidad con las restantes del conjunto procurando:

- El mejor conjunto de características (sistemas de calidad económica más elevada)
- El costo más barato (sistema de costo económico más bajo)
- El mejor plazo de ejecución (sistema de plazo económicamente más breve)
-

Por otro lado, la clave para una integración multimodal efectiva es la existencia de una fuerte coordinación de autoridades regionales retroactiva a los diferentes niveles de gobierno que debe cumplir con:

- Coordinación entre las modalidades de transporte y su planificación integrada
- Adaptación de cada sistema a las necesidades de su demanda típica
- Adopción de innovaciones técnicas
- Protección del medio ambiente.

La integración de estos modos de transporte de forma coordinada, cómoda y segura para los usuarios es uno de los retos más importantes en el proceso de planeación y diseño de la operación de los sistemas de transporte. La operación de sistemas de transporte integrados con infraestructura exclusiva se realizó alrededor del mundo desde mediados del siglo pasado. Estas operaciones comprenden una amplia variedad de arquitecturas y poseen un rango diverso de características físicas y operacionales con eficiencia y rendimientos variables. En realidad, la gestión de estos espacios es compleja al confluir no sólo aspectos técnicos de la operación de las flotas vehiculares (asignación de espacios en andenes, control de flujo vehicular dentro del paradero y en sus accesos, protección al peatón, etc.). La complejidad se debe, en buena medida, al frecuente conflicto de intereses entre los diversos elementos humanos que requieren del uso de las instalaciones y de éstos con los propietarios de las flotas vehiculares o de ambos con los encargados de la administración de estos lugares, entre otros². Con el objetivo de organizar el trasbordo de pasajeros entre las distintas modalidades de transporte, son construidas, en casi todas las ciudades del mundo, instalaciones que permiten la coordinación de la transferencia que se realiza, que pueden ser terminales, paraderos o centros de transferencia y según sea la función a desarrollar, se requieren diferentes instalaciones y una organización específica.

Como se ha mencionado el eje principal del transporte público en la ZMVM es el Sistema de Transporte Colectivo, con 201.3 kilómetros de vías dobles, 11 líneas en operación y 175 estaciones el metro transporta diariamente un promedio de 4.2 millones de usuarios mismos que en su mayoría requieren realizar transbordos a sistemas atomizados para llegar a su destino final. El metro de la Ciudad de

² Islas, Victor. Llegando tarde al compromiso: la crisis del transporte en la Ciudad de México. El Colegio de México. 2000.

México en la mayoría de sus estaciones terminales cuenta con espacios destinados al trasbordo de pasajeros, comúnmente llamados paraderos. En la ZMVM la mayor parte de los paraderos han sido ubicados en estaciones del STC que tienen altos volúmenes de pasajeros. Generalmente se trata de estaciones terminales de una de sus líneas y por ello se requiere de modos de transporte complementarios que lleven a cabo los tramos finales del viaje de los usuarios. Es así que la función del paradero o terminal es brindar áreas seguras para las maniobras de los vehículos, el flujo eficiente de pasajeros así como ascenso y descenso seguros.

En sus orígenes el transporte urbano y suburbano de pasajeros tenían sus terminales improvisadas en la vía pública, de manera similar a las bases de taxis colectivos actuales. Las terminales de autobuses urbanos fueron improvisadas en la vía pública y no causaban ningún problema cuando se ubicaban fuera de la mancha urbana o a las orillas de ella. Sin embargo, sí representaban un problema mayúsculo cuando se localizaban en las zonas céntricas de la ciudad debido a que constantemente obstruirían a la circulación vehicular de las calles en que se encontraban asentadas, estas problemáticas se fueron acrecentando debido al rezago de las terminales para atender a la demanda de pasajeros en aumento y a la flota vehicular, provocada por la explosión demográfica que experimentaba el Distrito Federal y los suburbios que se generaron en torno a éste en esa época. Por otro lado, el impacto generalizado del crecimiento urbano provocó también déficit en el transporte público, lo que dio como resultado la insuficiencia para satisfacer la demanda de este servicio. En respuesta a esta serie de problemáticas de movilidad se toma la decisión de construir el Sistema de Transporte Colectivo con el fin de transportar personas de forma masiva y rápida, vencer las grandes distancias, ganar tiempo y tratar de ordenar a la compleja urbe en materia de transporte urbano. Desafortunadamente, durante su planeación hubo carencia de una visión completa de la importancia que asumiría el STC al estructurar el transporte urbano y en el inicio no se previó la posibilidad de su convivencia con el transporte urbano y suburbano como alimentadores para lo cual era necesario contar con áreas exclusivas donde los usuarios realizaran el trasbordo. Esta carencia se reflejó pronto en los constantes congestionamientos de tránsito en las calles adyacentes a las estaciones del metro, principalmente en horas de máxima demanda. Debido al asentamiento improvisado e inadecuado de los cierres del circuito del transporte público ubicado en esos lugares, la producción del ruido y la contaminación ambiental alcanzaron índices insoportables⁴. Al mismo tiempo surgió un proceso de crecimiento sin control de comercio informal así como un cambio del uso de suelo en las áreas circundantes a las estaciones. La necesidad del desarrollo de un sistema de paraderos y terminales urbanas de pasajeros era evidente. Los primeros espacios destinados al intercambio modal se localizaron en las estaciones de Metro Zaragoza, Chapultepec y Taxqueña. Con la ampliación de la línea tres del STC-Metro en 1978, se vislumbró con la estación La Raza la evolución de esta área, ya que se construyeron dentro de esta superficie unas isletas con entradas subterráneas que canalizaban al pasajero en el interior del STC. Además, ya se contaba con un sentido de tránsito definido para la circulación de los vehículos en el interior del paradero, así como un área totalmente separada de la vía pública y una pasarela subterránea que

canalizaba ordenadamente al usuario, del paradero a la estación. En 1979 y 1980, con la construcción de las estaciones Indios Verdes y Zapata, respectivamente, se mejoran las especificaciones y se dan los pasos para contar con una normatividad en el diseño de los paraderos y convertirlos en las llamadas Estaciones de Transferencia Modal⁴.

I.3 Situación actual de las Estaciones de Transferencia Modal en México

Hoy en día, la Ciudad de México cuenta con 45 CETRAM ubicados en puntos geográficamente estratégicos y con demandas de transporte importantes. Desgraciadamente el diseño y la inadecuada operación de esta infraestructura no ha sido la más conveniente para el usuario y la armonía de la zona en la que se encuentran provocando problemáticas como demoras, obstrucción de avenidas principales, congestión vehicular, contaminación, mala imagen e inseguridad. A continuación se describen tres de estas estaciones elegidas por sus características en niveles de atención, operación y conectividad de la ZMVM.

1.3.A CETRAM Zapata

Ubicada en la línea 3 del metro la estación Zapata, originalmente estación terminal de la línea, genera opciones de desplazamiento hacia el centro, norte y sur de la ciudad. Con una afluencia de apenas 16,082,460 pasajeros en 2006 según cifras del STC, Tabla 1.1, esta estación resalta por ser el primer intento en la ciudad de la creación de una Estación o Centro de Transferencia Modal concebida como parte de un proyecto de renovación urbana conservando su diseño e incorporando usos complementarios a la central y pasando de un comercio irregular a uno establecido y formal aunque lamentablemente no se ha logrado un total control de la operación y ordenamiento del transporte.

1.3.B CETRAM Tasqueña

Una de las estaciones terminales de la línea 2 del STC con una afluencia de 28,543,137 en 2006, Tabla 1.2. Aunque originalmente su diseño aparentaba una operación ordenada el paradero sobrepasó su capacidad con el paso del tiempo, la solución a esta problemática fue la ampliación del mismo, Figura 1.1. Lamentablemente la falta de administración de su operación y un diseño geométrico poco favorable que se hizo sin considerar que se deben evitar los cruces entre flujos peatonales y vehiculares, ver Figuras 1.2 y 1.3, actualmente provoca gran desorden en su funcionamiento.

Tabla 1.1 Características geométricas y de operación de la CETRAM Zapata.

Ubicación	Av. Universidad y eje 7 sur (Municipio Libre) Col. Santa Cruz Atoyac
Delegación:	Benito Juárez
Superficie::	Terreno: 5 mil 846 m ² Área construida: 4 mil 599
No. de Cuerpos:	Uno .
Geometría/Autobuses:	Afirmativo
Número de bahías:	Cinco
Longitud de Bahías:	Mil 250 m
Capacidad de Cajones:	Autobuses: 26
Parque Vehicular:	Prom. Diario: 216 Prom. Mensual: 6 mil 480
Destino:	Delegaciones: Cinco
No. de Colonias:	10
No. de Empresas	D.F.: 3 empresas y 3 rutas
No. de Derivaciones:	11
Afluencia Diaria:	122 mil usuarios.
Conexión del Metro:	Línea 3 Correspondencia Indios Verdes -Universidad
Tipo de Estación:	De Transferencia

*Fuente: STC

Tabla 1.2 Características geométricas y de operación de la CETRAM Tasqueña.

Ubicación	Calz. Tasqueña Esq. Canal de Miramontes, Col. Campestre Churubusco
Delegación:	Coyoacán
Superficie:	Terreno: 26 mil 900 m ² Área construida: 150 m ²
No. de Cuerpos:	Tres.
Geometría/Autobuses:	Afirmativo
Número de bahías:	Cuatro
Longitud de Bahías:	Mil 130 m
Capacidad de Cajones:	Autobuses: 95 Microbuses: 2 mil 383
Parque Vehicular:	Prom. Diario: Mil 231 Prom. Mensual: 2 mil 383
Destino:	Delegaciones: Ocho
No. de Colonias:	42
No. de Empresas	D.F.: 14 rutas
No. de Derivaciones:	67 derivaciones
Bases de Taxis:	No existen
Afluencia Diaria:	450 mil usuarios.
Conexión del Metro:	Línea 2: Correspondencia: Tasqueña - Cuatro Caminos. Tren Ligero: Correspondencia: Tasqueña - Embarcaderos
Tipo de Estación:	De Transferencia.

*Fuente: STC



Figura 1.1 Vista aérea CETRAM Tasqueña



Figura 1.2 Saturación de bahías CETRAM Tasqueña



Figura 1.3 Problemáticas de cruces en los flujos peatonales y vehiculares. ETRAM Tasqueña.

1.3.C CETRAM Pantitlán

Una importante zona de intercambio entre distintos modos de transporte debido a la gran afluencia de pasajeros de los municipios cercanos al Estado de México así como de las delegaciones Iztapalapa e Iztacalco. Ubicada al oriente de la ciudad esta estación está integrada por dos secciones: una al oriente de la estación del metro línea 1 y otra al poniente de la misma, Figura 1.4.

Tabla 1.3 Características geométricas y de operación de la CETRAM Pantitlán.

Ubicación	Av. Río Churubusco entre Miguel Lebrija y Gustavo Díaz Ordaz
Delegación:	Venustiano Carranza.
Superficie:	Terreno: 88 mil 78 m ² Área construida: 90.00 m ²
No. de Cuerpos:	Uno y tres anexos
Geometría/Autobuses:	Afirmativo
Número de bahías:	25
Longitud de Bahías:	3 110 m
Capacidad de Cajones:	Autobuses: 260 Microbuses: 440
Parque Vehicular:	Prom. Diario: 2 mil 193 Prom. Mensual: 4 mil 764
Destino:	Delegaciones: Cinco Municipio Edo. Mex: Uno
No. de Colonias:	50
No. de Empresas	D.F.: siete, rutas 4 empresas Edo. Mex: 1
No. de Derivaciones:	103 derivaciones
Bases de Taxis:	No existen
Afluencia Diaria:	750 mil usuarios.
Conexión del Metro:	Línea 1: Correspondencia: Observatorio-Pantitlán Línea 5: Correspondencia: Pantitlán Politécnico, Línea 9 Correspondencia: Pantitlán-Tacubaya Línea A: Correspondencia Pantitlán-La Paz
Tipo de Estación:	Terminal de Transferencia.

*Fuente: STC

Esta obra está compuesta por paraderos para autobuses urbanos, suburbanos y taxis colectivos además de un estacionamiento subterráneo, pasarelas elevadas y subterráneas de distribución y correspondencia entre las líneas uno, cinco y nueve y Metro ligero con una capacidad de 138 cajones para autobuses, 130 para taxis colectivos y 118 automóviles, Tabla 1.3. El hecho de ser un nodo de conexión entre cuatro de las principales líneas del STC es ya un reto en la operación es esta estación teniendo que direccionar adecuadamente grandes volúmenes de flujos peatonales y controlar la entrada y el desalojo de un importante número de vehículos de transporte público. Nuevamente esta estación presenta problemas de operación evidentes en las bahías que han sobrepasado su capacidad, Figuras 1.5 y 1.6.



Figura 1.4 Vista aérea ETRAM Pantitlán.



Figura 1.5 Bahías y plataformas CETRAM Pantitlán



Figura 1.6 Problemáticas de saturación de bahías. CETRAM Pantitlán.

El patrón de funcionamiento de estas construcciones se repite en prácticamente todos los centros intermodales de la Ciudad de México, como resultado de basarse los mismos lineamientos técnicos para sus diseños geométricos y operativos en los que se requiere de importantes superficies para lograr la atención del gran número de usuarios que recorren estas estaciones diariamente. Estos lineamientos parten de la determinación de un área requerida en función de una demanda proyectada, de forma que el espacio disponible para las estaciones tiene de antemano un límite de atención a los pasajeros y de capacidad de los vehículos que en su mayoría ya ha sido sobrepasado. La Figura 1.7 muestra una comparación entre algunas de estas estaciones de acuerdo a sus afluencias, las superficies disponibles y las superficies construidas correspondientes.

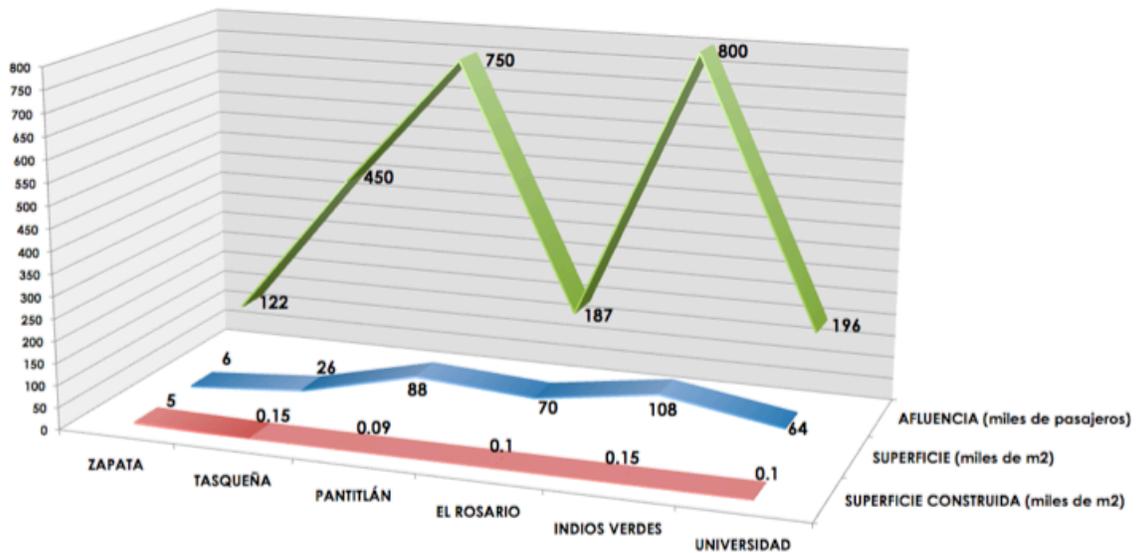


Figura 1.7. Gráfica en la que se compara la afluencia diaria y superficie de algunos CETRAM de la ZMVM.

I.4 Estado del arte de intercambiadores modales en el mundo

La intermodalidad es un concepto básico en todo sistema de transporte racional y moderno que surge de la necesidad de conseguir un funcionamiento más eficaz del transporte y trae como consecuencia la búsqueda de una mayor coordinación entre los distintos modos, a través de fórmulas que van desde las de conexión intermodal a las de tipo comercial. Los sistemas de cercanías metro-autobuses y tranvías están hoy operativos en la mayoría de las grandes ciudades europeas siendo la alternativa más sólida al automóvil para la comunicación de los suburbios entre sí y con las zonas centrales de las ciudades. El metro, el tren y el tranvía aparecen como las alternativas más generalizadas al problema de conexión al igual que los sistemas autobuses - metro de Curitiba y Bogotá, o los clásicos trolebuses, a veces subterráneos como en Boston o Seattle. A continuación se mencionan algunos ejemplos de éxito de diseño y operación de estos espacios destinados a la integración de los modos de transporte y al intercambio modal de pasajeros que van desde terminales aéreas y ferroviarias conectadas a los sistemas de transporte metropolitanos, todos pensados en brindar beneficios directos a los usuarios aprovechando las grandes afluencias en algunos casos a través de la creación de zonas comerciales. El grupo de estaciones que se describen a continuación tiene en como cualidad común la preocupación de las autoridades por la creación de sistemas de transporte que cubran de forma más conveniente las necesidades de movilidad de sus poblaciones así como la disposición y diseño de espacios propiamente trazados para brindar a los usuarios transferencias cómodas y seguras durante sus viajes en los puntos de conexión entre distintos modos de transporte. Este tipo de iniciativas fomenta el mayor uso del transporte público a través de la reducción de tiempos de espera y traslado y la mayor facilidad de acceso a los distintas modalidades de transporte disponibles reflejando beneficios colectivos como la disminución en la ocupación de las vialidades y la generación de menores impactos en el ambiente. En general la ubicación de estos edificios es el resultado de estrategias de planeación para fomentar el crecimiento económico de las regiones creando nodos de conexión entre zonas habitacionales, comerciales e industriales por lo que la afluencia de pasajeros esperada es siempre de magnitud importante. Por otro lado, es elemental la observación de las características geométricas y de operación de estas estaciones tratándose en su mayoría de edificios de dimensiones importantes principalmente por integrar sistemas de transporte férreos que así lo requieren pero que a pesar de ello conservan su vocación como integradores modales en los que el principal actor es el usuario con resultados de geometrías y esquemas de operación más favorables para el desplazamiento y movilidad de los pasajeros.

1.4.A Alemania

Berlín

El Metro de Berlín (en alemán Berliner U-Bahn) es uno de los más funcionales y prácticos de Europa, gestionado por la Berliner Verkehrsbetriebe (BVG), junto con el tren de cercanías (S-Bahn), gestionado a su vez por la Deutsche Bahn (DB), conforma una densa red urbana de transporte que facilita los desplazamientos por la capital alemana. Por otro lado, la Estación Central de Berlín (en alemán Hauptbahnhof), es un proyecto de 900 millones de euros iniciado en 1992, que empezó a ser construido en 1995, y fue inaugurada en mayo de 2006. La ciudad de Berlín y su zona de influencia cuenta con dos corredores ferroviarios: uno norte-sur (Estocolmo – Viena) y otro este-oeste (Moscú – París).



Figura 1.8 Plan general de transporte de Berlín, Concepto Callampa (Seta) . Al centro Hbf, Estación Central Berlín.

Estudios realizados hasta la fecha pronostican que por las estaciones de Berlín pasarán más de 50 millones de viajeros de larga distancia durante el año 2010 y 85 millones en los servicios ferroviarios regionales. Para cubrir estos volúmenes de tráfico se requiere un nuevo concepto ferroviario para Berlín ya que la Segunda Guerra Mundial y la división de Alemania destruyeron la importante red ferroviaria de Berlín. Esquemáticamente, el nuevo concepto de transporte ferroviario de larga distancia y regional de Berlín recuerda a una seta, Figura 1.8. La zona norte del anillo ferroviario interior y la red ferroviaria ligera este-oeste forman el sombrero y borde de la seta. Las líneas procedentes del sur con el nuevo túnel para servicios ferroviarios de larga distancia entre el Canal de Landwehr y el río Spree forman el pie. Para llevar a cabo el proyecto de manera eficaz se creó una empresa subsidiaria, DB Projekt Verkehrsbau GmbH, encargada de gestionar y dirigir la

planificación, preparación de la construcción y la vigilancia de los proyectos de transporte, incluyendo la información pública, coordinación y control de calidad de todos los proyectos. En el diseño de la nueva red ferroviaria de Berlín se ha tratado de facilitar la intermodalidad al máximo. Para ello, se ha actuado sobre estaciones existentes, reconstruyéndolas, y se ha abordado la construcción de nuevas terminales de viajeros como la estación Alexanderplatz, que fue reconstruida permitiendo recuperar su estilo arquitectónico al mismo tiempo de incorporar nuevos elementos que permiten conectar los diferentes niveles de transporte correspondientes a líneas regionales o urbanas, así como las zonas comerciales y de servicios de la estación. El diseño de la nueva red ferroviaria de Berlín ha exigido también la construcción de nuevas estaciones que faciliten el acceso a y desde el ferrocarril a los otros modos de transporte, entre ellas, la estación de la Potsdamer Platz, que proporciona acceso a los viajeros del S-Bahn al área comercial y de negocios situada alrededor de las plazas Leipziger y Potsdamer, así como al espacio urbano conocido como 'Foro de la Cultura', en el que se ubica la orquesta filarmónica, museos y la Biblioteca Estatal y en el que existen accesos a la red de metro (U-Bahn) y a la red de autobuses.

Estación Berlín-Spandau

Es la puerta de salida occidental para los trenes expresos hacia Hamburgo y Hannover. Construida entre 1995 y 1998 en el emplazamiento de la antigua estación Spandau-West, permite la transferencia de viajeros entre los expresos de larga distancia y el S-Bahn y U-Bahn, así como con numerosas líneas de autobuses.

Estación Berlín-Gesundbrunnen

Es la nueva puerta de Berlín al Báltico. En ella se detendrán los trenes expresos de larga distancia y los expresos regionales a Stettin, Stralsund y Rostock. La estación también está integrada en las redes S-Bahn y U-Bahn.



Figura 1.9 Estación Central de Berlín. Trenes en diferentes niveles

Estación Papestrasse

Será la salida ferroviaria sur de Berlín. Las conexiones ferroviarias desde Sachsen-Anhalt y Dresde finalizarán en la conexión norte-sur, en dirección a la Estación Central.



Figura 1.10 Flujos peatonales en la Estación Central de Berlín.

Estación Hauptbahnhof *Estación Central*

La Estación Hauptbahnhof proveerá el intercambio de servicios de tren nacionales, internacionales y locales al mismo tiempo de ser la conexión de

numerosas redes. La nueva estación está formada por cinco niveles, con un área total de 185 mil metros cuadrados. La explanada principal y el área de estacionamiento se encuentran en un sótano y otro sótano más alberga las líneas norte-sur de ferrocarril. Conexiones con autobuses, tranvías y taxis están situadas a nivel junto a las líneas férreas este-oeste. Un nivel más está destinado a los peatones en el último piso. La Estación Central es el nudo central de transferencia de la nueva red ferroviaria de Berlín. Se encuentra en la intersección de los ejes ferroviarios principales que llevan a Berlín, su planta mide 260 metros de longitud por 50 metros de ancho y está diseñada para atender diariamente 240 mil viajeros al día.

Se caracteriza funcionalmente por dividir los tráficos utilizando tres de los niveles de la estación, Figuras 1.9 y 1.10. El primero se sitúa a 15 metros bajo la cota de la calle y sigue la orientación norte-sur. En ese nivel se disponen cuatro andenes con ocho vías destinadas a dar servicio a trenes de alta velocidad y regionales. El segundo se establece a la cota de la calle. Desde este nivel se facilita el acceso de automóviles, peatones, autobuses y tranvías. En este nivel también está previsto el acceso a una estación de Metro subterránea, con dos vías adicionales. Los autobuses y líneas de tranvía, así como la línea 5 del Metro (U-Bahn) facilitarán las conexiones de la estación con las diferentes zonas de la ciudad. Finalmente, el tercero se ubica a 10 metros sobre la cota de la calle. En él se han previsto cuatro vías para servicios de regionales y de larga distancia y dos vías para trenes de cercanías, en sentido este-oeste. Exteriormente se trata de dos edificios paralelos, Figuras 1.11 y 1.12, de 50 metros de ancho y 170 metros largo, atravesados por las 6 vías en dirección este-oeste a 10 metros de altura.



Figura 1.11 Vista exterior Estación Central. 14 vías de trenes.



Figura 1.12 Vista exterior frontal de la Estación Central de Berlín.

En los mencionados edificios se alojan espacios comerciales, de servicios y un hotel. El proyecto total afecta a 164 mil metros cuadrados. De ellos, 75 mil metros cuadrados serán destinados a zonas comerciales, 4 mil 300 metros cuadrados al ferrocarril y 19 mil 500 metros cuadrados para el desarrollo de las actividades relacionadas con el transporte y la distribución. Los andenes cubren una área de 35 mil metros cuadrados. La Estación Central de Transferencia es el nudo más importante de transporte de Berlín con medios de intercambio con la red urbana de transporte público y los sistemas regionales.

1.4.B Francia

El sistema de transporte francés es uno de los mejores del mundo, es muy efectivo y ágil, permite la conexión con todas las zonas urbanas, suburbanas y rurales. Particularmente la ciudad de París cuenta con 16 líneas de metro, - cuyas estaciones se identifican con la palabra metropolitain o la letra M - cinco trenes suburbanos (RER), que se identifican con letras de la A a la E y sesenta líneas de autobús. El sistema de metro de París es el segundo más antiguo del mundo y transporta alrededor de 4.4 millones de personas por día. Tiene una longitud de más de 190 kilómetros de pista y 380 estaciones y ofrece una gran cobertura en toda la ciudad, Figura 1.13. Para desplazarse en tren, al interior de Francia o al extranjero, París cuenta con seis grandes estaciones: Gare de l'Est, Gare du Nord, Gare de Lyon, Gare d'Austerlitz, Gare St-Lazare y Gare Montparnasse.

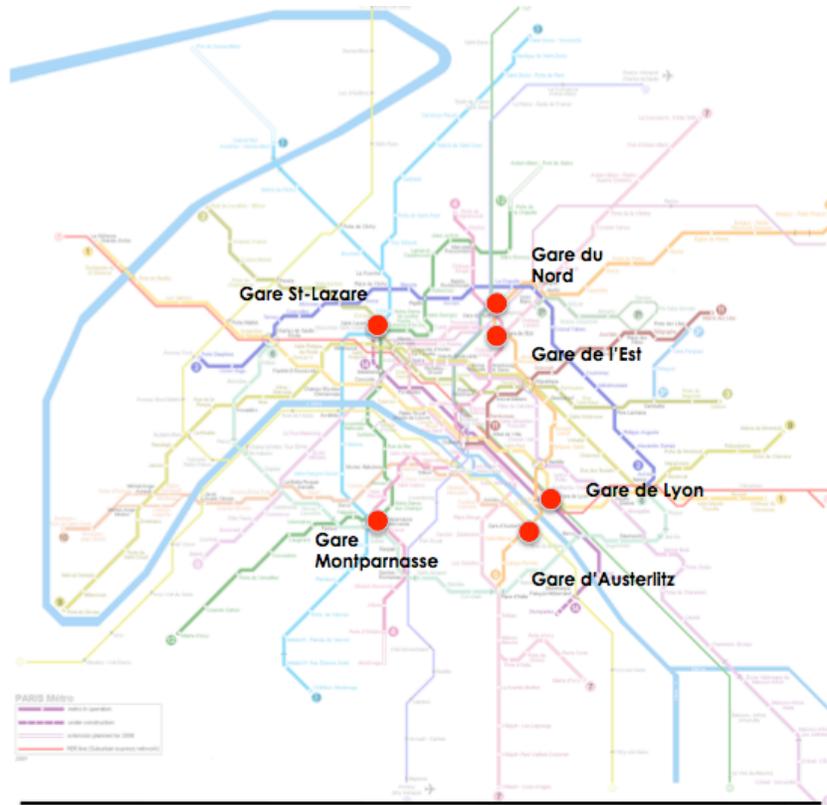


Figura 1.13 Mapa red de transporte metropolitano de París. En rojo, estaciones de trenes más importantes.

Gare d'Austerlitz, París

Esta estación forma parte de las líneas 5 y 10 del Metro de París y del RER lo que la convierte en una pieza más del intercambiador modal con los andenes de una de las líneas dentro de la estación ferroviaria, Figura 1.14, y la otra subterránea bajo la estación. La estación comprende una estación terminal de superficie operando con 21 vías que acogen el tráfico de grandes líneas (París-Toulouse) y de locales; y una estación subterránea con 4 vías pasantes y 2 andenes centrales que cubren la demanda de la línea RER C, Figura 1.15.



Figura 1.14 Gare d'Austerlitz. Convergencia de distintos modos de transporte.



Figura 1.15 Vista interior de la Gare d'Austerlitz. Plataformas.

1.4.C España

En los últimos años se han desarrollado en España intercambiadores para los autobuses interurbanos orientados a resolver la movilidad del municipio de Madrid y muchos otros, se han reorganizado espacios, aprovechando la iniciativa y promoción pública y privada, para mejorar la accesibilidad al transporte público en diversos entornos, concentrando actuaciones en parcelas afectadas por obras ligadas a diversos tipos de infraestructuras. Algunos casos interesantes por su diseño y capacidad de atención a pasajeros son la estación de trenes Delicias en la ciudad de Zaragoza y el nuevo proyecto de mejora para el Aeropuerto de Barcelona.

Delicias, Zaragoza

La estación Delicias constituye un gran nudo de comunicaciones que permite la intermodalidad entre los diferentes medios de transporte que convergen en ella y potencia la situación estratégica de Zaragoza, por su localización geográfica, en el ámbito empresarial. Autobuses, trenes regionales, de largo recorrido y de alta velocidad, conviven con hoteles, un centro de negocios, un gimnasio, zonas comerciales y de ocio y oficinas, conformando una mini ciudad a disposición de los usuarios. La funcionalidad es uno de los grandes lemas que ha acompañado al proceso de diseño del edificio. Su estructuración interior, Figura 1.16, a modo de gran aeropuerto ferroviario, permite una correcta ordenación de los flujos de pasajeros, sin que existan interferencias y minimizando los recorridos. La situación de la Estación Central de Autobuses, al mismo nivel que los andenes ferroviarios, formando parte del edificio, permitirá un correcto intercambio de pasajeros entre dos medios de transporte que son complementarios, facilitando la intermodalidad. Un espacio que, a pesar de sus grandes dimensiones, resulta acogedor, aleja al usuario de la incertidumbre y apacigua tensiones. Los diferentes niveles del interior diáfano, hacen posible que al entrar el pasajero perciba de una sola vez la totalidad del espacio, familiarizándose de inmediato con el mismo.

Uno de los aspectos funcionales más valorados del proyecto es la disposición centrada de un tercer vestíbulo subterráneo, denominado "transfer". Situado transversalmente por debajo del nivel de las vías, y dotado de luz natural, comunicando éstas con los grandes aparcamientos de la zona sur junto a la avenida de Navarra, con la estación de autobuses y con los aparcamientos de lado norte. Este vestíbulo hace posible que los viajeros puedan acceder en escasos minutos desde cualquier medio de transporte, bien sea autobús, taxi o vehículo particular, al ferrocarril o en sentido inverso, reforzando el concepto de intermodalidad. En él se ubican las taquillas de venta boletos, que una vez sean puestas en servicio, evitarán largos recorridos innecesarios que el estado actual de las obras obliga a realizar. Esta intermodalidad caracteriza y define el gran espacio de la estación. La integración de los diferentes medios de transporte, tren de alta velocidad, trenes regionales, cercanías, autobuses de larga distancia, interurbanos y urbanos, junto con los diferentes equipamientos, hoteles, centro de negocios, oficinas, gimnasio, zonas comerciales y de ocio, han convertido al edificio en mucho más que una estación de trenes, Figura 1.17.



Figura 1.16 Vista interior Estación Delicias en la que se aprecian algunos trenes y plataformas



Figura 1.17 Vista exterior Estación Delicias

AENA, Barcelona

Para afrontar el reto del aumento de pasajeros en la próxima década, AENA transformará definitivamente la fisonomía del Aeropuerto de Barcelona con la implantación de una nueva terminal entre pistas, situada al sur de la actual. La nueva terminal ocupará un edificio de 525 mil 500 metros cuadrados repartidos en cinco plantas, con capacidad para acoger más de 25 millones de pasajeros al año. Todas las zonas de la terminal (procesos y embarques), sistema ferroviario, autobuses y aparcamientos se concentrarán bajo este techo único para evitar que el pasajero tenga que cruzar cualquier vía de tráfico rodado. Los cambios de nivel estarán minimizados y adaptados a personas con movilidad reducida y el 90% de los viajeros serán embarcados y desembarcados en un estacionamiento de contacto o mediante pasarelas. Los grandes espacios de la Terminal Sur han

sido diseñados para hacer atractiva y confortable la espera, gracias a un estilo diáfano y luminoso. Tendrá accesos diferenciados en salidas y llegadas para los vehículos, así como un acceso peatonal independiente para todos los medios de transporte concentrados en una Gran Plaza Intermodal. Asimismo, las distancias entre las zonas de facturación, espera y embarque se han minimizado para facilitar el vuelo a los viajeros, que no necesitarán hacer un gran recorrido hasta las puertas de embarque. La terminal contará con una amplia oferta de servicios comerciales (salas VIP, cafeterías, restaurantes, etc.) en la zona de embarque y un aparcamiento para 7 mil 500 vehículos particulares, además de 40 plazas para autobuses y 150 para taxis.

1.4.D Austria

Estación Central, Stuttgart

El proyecto Stuttgart 21 pretende dotar a la ciudad de nuevos espacios públicos y mejorar la infraestructura de ferrocarriles, todo mediante una nueva estación central enterrada. Este proyecto presenta un profundo trabajo a favor de la sostenibilidad, no solo en cuanto al ahorro de energía, si no también por la creación de nuevos parques, la gestión de los recursos, la integración del tejido urbano existente y de edificios antiguos. Este proyecto, en desarrollo desde 1997, Figura 1.18, ganó el premio Awards Oro 2006 que premia a los mejores proyectos de construcción sostenible a nivel mundial. La antigua ciudad y la nueva se encontraban separadas por las líneas de tren, pero al hundir toda esa infraestructura, ambas zonas de la ciudad quedan conectadas. Los terrenos resultantes de este soterramiento de las vías y la estación subterránea generan 100 hectáreas de nuevos espacios públicos, junto a un parque que conecta el centro de la ciudad con el río Neckar. La estación tiene una longitud de 420 metros, un ancho de 80 metros y una altura de 12 metros. Este sistema lleva tras de sí un gran proceso de ingeniería, ya que permite disponer de 14 horas de iluminación natural continua, con el consiguiente ahorro de energía, Figura 1.19.

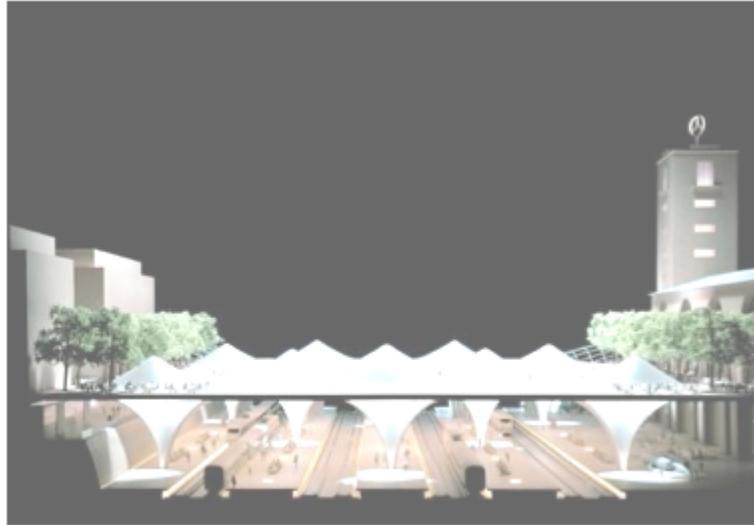


Figura 1.18 Modelo del diseño geométrico de la Estación Central de Stuttgart.



Figura 1.19 Modelo de las plataformas. Estación Central de Stuttgart.

Es evidente que los métodos de diseño de los centros intermodales para pasajeros de nuestro país difieren mucho de aquellos llevados a cabo en países europeos, cuyos gobiernos parecen tener claro el rol que juegan los sistemas de transporte público para el mejor desarrollo de las zonas metropolitanas invirtiendo en recursos técnicos y tecnológicos para el avance y la mejora constante de este servicio. A modo de resumen de este capítulo la Figura 1.20 muestra una comparación de algunos parámetros de operación de estas Estaciones de

Transferencia Modal en la que resulta especialmente interesante la comparación de las superficies (de construcción) contra las afluencias. En el caso de estaciones europeas se observa una mayor preocupación en la atención a las necesidades de los viajeros, quienes disponen de estaciones construidas de forma adecuada permitiendo la inclusión de una serie de servicios que mejoran de forma importante la calidad de viaje de los usuarios, a pesar de ser un número reducido. Por el contrario los centros intermodales mexicanos atienden a un gran número de pasajeros en instalaciones amplias pero limitadas en servicios y ajustes estructurales y arquitectónicos.

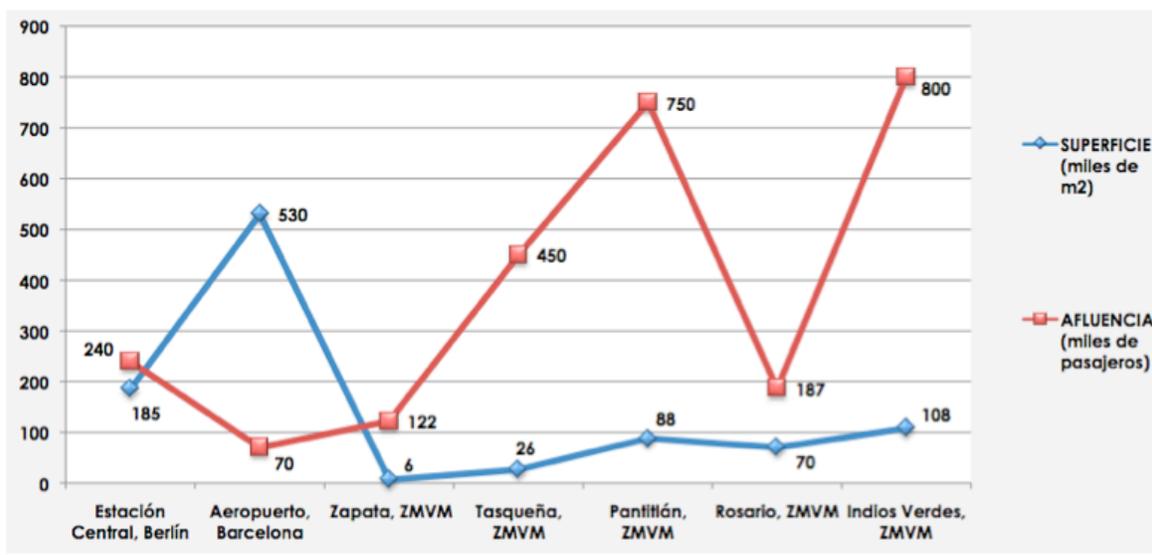


Figura 1.20 Gráfica de comparación de dimensiones y niveles de atención de algunos intercambiadores modales en el mundo.

II. Visión y alcance.
Objetivos
estratégicos y
objetivos
específicos

Alcance

La línea B del Sistema de Transporte Colectivo con las 21 estaciones que la integran y una afluencia mayor a los 55 mil pasajeros diarios en 2006 (página oficial del STC) constituye un importante punto de transferencia entre los distintos modos de transporte disponibles en sus alrededores conectando la zona nororiente con el norponiente del centro de la ciudad. La estación terminal norte de esta línea es hoy un espacio que presenta importantes problemáticas de vialidad y movilidad. La falta de ordenamiento y regulación de la transferencia entre un modo de transporte troncalizado a uno atomizado así como la ausencia de una visión integradora de los distintos modos de transporte convergentes en la zona genera mala calidad en el servicio de transporte público lo que se refleja en demoras, congestiones en la vialidades principales, afectaciones al ambiente, mala imagen e inseguridad. Por otro lado y en suma a estas problemáticas la ausencia de infraestructura adecuada destinada a la transferencia y pensada principalmente para el beneficio de los usuarios de los diversos modos de transporte impide la generación de condiciones que mejoren el escenario. La estación cuenta hoy con un paradero ubicado al poniente de la estación, de espacio insuficiente para atender al número de vehículos que acceden diariamente y que a falta de administración opera de forma ineficiente.

Surge entonces la necesidad de realizar un completo replanteamiento de las reglas de operación del paradero convirtiéndolo en una verdadera estación de transferencia modal con visión y objetivos claros que resulten en una operación controlada y regulada y que permita brindar al usuario calidad en sus viajes y una transferencia cómoda y segura. El método de diseño tradicional de los paraderos en México se basa en la determinación de una demanda futura y un área necesaria a un horizonte de planeación a largo plazo lo que ha llevado a destinar grandes superficies para este tipo de obras. Sin embarbo, bajo un esquema nuevo e innovador de operación se presenta aquí el diseño de a operación de una estación de transferencia modal para transporte público de pasajeros cuyos principales lineamientos serán considerar a la estación como un lugar con movimiento constante que logrará la convivencia armónica de los distintos modos de transporte que coincidan en ella y con la consideración de que el Metro será la columna vertebral y quien determine los parámetros de operación de los demás modos de transporte de menor capacidad.

Visión

Diseñar una estación de transferencia modal que garantice al usuario de transporte público una mejor calidad de viaje mediante el control y regulación de la operación de la misma.

Objetivos estratégicos

1. Diseñar una infraestructura adecuada que garantice los flujos vehiculares y de usuarios óptimos, así como su interconexión
2. Diseñar un sistema de control y regulación que logre una operación eficaz de la estación

Objetivos específicos

1. Trazar una propuesta de la geometría de la estación que cumpla con los requerimientos técnicos y se adapte a las limitantes físicas
2. Realizar una revisión detallada de las corridas en el paradero en función de la demanda de transporte
3. Definir los parámetros que determinarán la operación de la estación
4. Replantear la solución de operación de la estación hasta llegar a aquella que cubra de mejor forma las necesidades de los usuarios
5. Simular las distintas propuestas de panoramas futuros de la estación y proponer un esquema de operación de flujos con base en las simulaciones realizadas.

III. Desarrollo

III.1. Metodología para el Diseño de la Operación de una Estación de Transferencia Modal

Con la finalidad de definir las problemáticas existentes en la zona de influencia de la Estación Terminal Norte de la Línea B del STC y proponer soluciones sólidas que faciliten su ordenamiento, se planteó y aplicó un proceso metodológico que encierra actividades como: un diagnóstico de la operación actual de la estación a partir del análisis de información de oferta y demanda de transporte de la zona, obtenida de un estudio de factibilidad que fue realizado para un proyecto con fines comerciales y de mejoramiento de la movilidad de la región; y la propuesta y evaluación de una solución mediante la formulación de un plan y programa de operación que controle y ordene el transporte público del lugar y se ajuste a las condiciones de espacio, tiempo y principalmente de necesidad de movilidad de los usuarios. Esta metodología se observa claramente en la Figura 3.1 en la que se representan esquemáticamente los niveles y relaciones de las actividades involucradas en el proceso.

El diseño de la operación de la estación se dividió en cuatro niveles antes de llegar a la aprobación de alguna propuesta de solución. El primero consistió en la evaluación del conjunto de características y circunstancias presentes en la zona de estudio para dar un diagnóstico de la operación actual para lo cual fue necesario inicialmente la identificación de las problemáticas en materia de transporte público y de tránsito vehicular que son posibles de apreciarse a simple vista. En el mismo nivel y con el fin de ofrecer un diagnóstico real y fundamentado, la siguiente actividad fue la determinación de la oferta y la demanda de transporte y de los horarios de máxima demanda matutino y vespertino, con base en la información de los estudios antes mencionados. Para concluir el diagnóstico acertadamente la última actividad de este nivel fue el reconocimiento de las oportunidades de espacio físico disponible para el desarrollo de una propuesta de solución.

A continuación se formularon diversas propuestas de solución para el conjunto de problemáticas presente recordando los lineamientos fundamentales plasmados en los objetivos de este trabajo, los que se busca rijan la operación de la estación. Para esto, se fijaron ocho características principales e imprescindibles para lograr el mejor diseño de la estación. La primera fue el trazo de una geometría adecuada en función de los límites físicos de los cuerpos de operación, el número y tipo de vehículos que accederán así como el número de usuarios esperado. Con base en esta geometría el siguiente paso fue la formulación de un diseño operativo que incluyó la ubicación de puntos de ascenso y descenso; parámetros de operación como frecuencia, tiempos de ascenso y descenso de pasajeros y tiempo de permanencia de unidades; la determinación de la dosificación de vehículos y pasajeros en la estación para los horarios de máxima demanda; y algunas otras consideraciones especiales. La inclusión de otras propiedades como flexibilidad, versatilidad, dinamismo y autosustentabilidad se espera permitan que la estación y su esquema de operación sean capaces de ajustarse a cambios en los parámetros de operación dándole mayor amplitud a su vida útil. Adicionalmente, con el fin de ofrecer un servicio de transferencia de calidad se pensó necesario considerar una serie de servicios a usuarios y transportistas,

actores principales en prácticamente todas las actividades relacionadas con la operación.

La evaluación de las propuestas planteadas se realizó a través del desarrollo de microsimulaciones de tránsito vehicular para los escenarios presente y futuro e incluyendo un comportamiento esperado durante la etapa de construcción de la ETRAM utilizando los datos de oferta, demanda y frecuencias reales y esperadas. Los resultados de esas simulaciones fueron determinantes para la elección de la propuesta que finalmente se consideró óptima por ajustarse de mejor forma a las necesidades requeridas por la estación y sus parámetros de operación.

Para su mejor comprensión, un esquema de los niveles de esta metodología se puede ver en la Figura 3.1.



Figura 3.1 Esquema de niveles y relaciones de actividades que integran la metodología propuesta

III.2 Diagnóstico de la operación

III.2 A Identificación de problemáticas

Iniciando con la metodología y el diagnóstico de la operación actual de la estación se identificaron las distintas problemáticas presentes en orden de operación del transporte público. Ubicada en el límite entre el Estado de México y el Distrito Federal la Estación Terminal Norte de la Línea B del STC es sin duda un punto muy importante de transferencia al ser la puerta de entrada de más de un millón de personas a la Ciudad de México. La vialidad principal que sirve como conexión de esta zona la constituye la Avenida Carlos Hank González sobre la que precisamente se encuentra dicha estación, Figura 3.2., en la que para el 2006 se realizaron más de 14 millones de viajes, según cifras del STC, atendiendo a más de 55 mil usuarios diariamente.

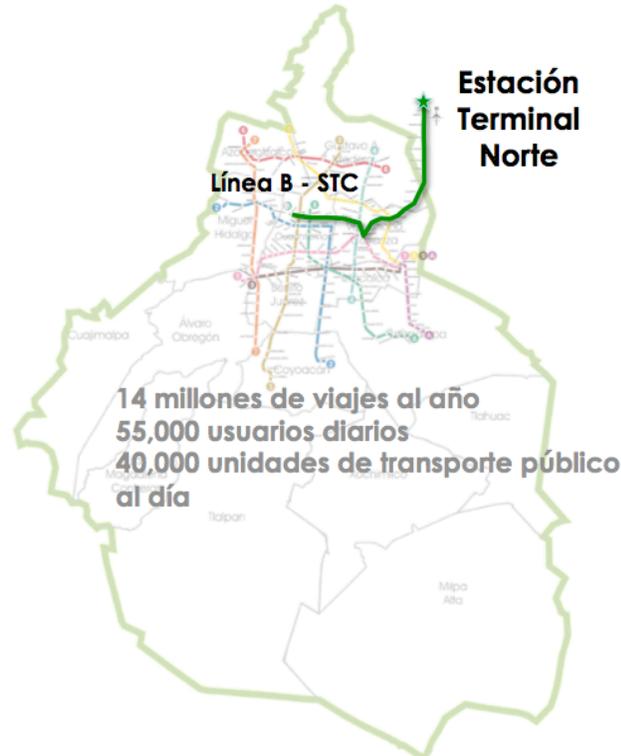


Figura 3.2 Localización de la Estación Terminal Norte, Línea B. Sistema de Transporte Colectivo.

Con base en un estudio de las necesidades de movilidad de la región se sabe que por esta avenida transitan diariamente 100 mil vehículos aproximadamente, de los cuales 60 mil son vehículos particulares mientras que los 40 mil restantes forman parte de la flota vehicular de transporte público. Estas unidades corresponden a las 22 rutas que atienden la demanda de transporte de la zona generada en su mayor parte por el metro. La ausencia de instalaciones

destinadas al intercambio modal entre un sistema troncalizado a sistemas atomizados, provoca graves problemáticas de tránsito en las vialidades que conforman la red vial, principalmente en las laterales de la Av. Central. Esta situación aleja mucho al sistema de transporte público de brindar un servicio de calidad a los usuarios que diariamente realizan esta transferencia con demoras, tiempos de espera excesivos e inseguridad.

Actualmente existe un cuerpo al poniente de la estación de aproximadamente 4,600 m² destinado a operaciones de transporte público, con 25 m divididos en dos bahías de 210 m de largo cada una y conformadas por una plataforma para pasajeros de 3.8 m y dos carriles de 3.5 m, uno para realizar movimientos de ascenso y descenso de pasajeros y otro para rebase, Figura 3.2. Desafortunadamente, el diseño geométrico del paradero es poco favorable para el número de vehículos que acceden diariamente y la falta de administración de los distintos modos de transporte que convergen en él provocan que éste se encuentre por lo general con problemas de saturación de bahías, albergando unidades por intervalos de tiempo que en muchos casos sobrepasan los 15 minutos lo que anula la operatividad y dinamismo de este espacio, Figura 3.3. Podemos asegurar que el diseño geométrico del paradero poniente obedece a un diseño tradicional que surgió con la construcción del Metro de la Ciudad de México. Dicho diseño preveía la necesidad de recibir al transporte de superficie que alimentaría al sistema masivo, su tamaño fue determinado por el número aproximado de vehículos, distribuidos en bahías paralelas. Aunque en un principio se denominó Centro de Transferencia Modal, en un corto plazo se convirtió en un paradero de vehículos debido a la obsolescencia del diseño geométrico.



Figura 3.3 Vista aérea Estación Terminal Norte - Línea B STC, Cuerpo Poniente, Puente Vehicular, Cuerpo Oriente y Avenida Carlos Hank González.

En cuanto al oriente, actualmente existe únicamente un predio de aproximadamente 7,800 m², como se observa en la Figura 3.4, sin alguna construcción destinada al intercambio modal de pasajeros. Este estado obliga a transportistas y usuarios a utilizar la lateral de la Avenida Carlos Hank o Avenida Central para realizar paradas que, similar al cuerpo poniente, se llevan a cabo en períodos de más de 15 minutos provocando congestiones importantes en esta

vialidad, Figura 3.5. Este Centro de Transferencia, así como el resto de las que se encuentran en las terminales del STC, tienen como característica principal que el lugar de llegada, salida, estacionamiento y pernocta de vehículos se hace sobre el mismo espacio, ocasionado una inmovilidad que no permite la operación.



Figura 3.4 Situación actual en el Cuerpo Oriente



Figura 3.5 Situación actual en el Cuerpo Poniente

III.3 B Oferta y demanda de transporte

El siguiente paso consistió en el conocimiento claro de la oferta y demanda del servicio de transporte público haciendo uso de información obtenida a partir de estudios realizados para un proyecto gubernamental para el mejoramiento de esta zona de transferencia con integración de un área comercial con fines de aprovechamiento del gran número de personas que coinciden en esta estación. Se realizó un análisis de esta información determinando el número de rutas y unidades presentes en la estación así como los horarios de máxima demanda (HMD) matutino y vespertino. Por otro lado, la demanda de transporte se consideró bajo los datos proporcionados por el Sistema de Transporte Colectivo. De acuerdo a esta información y a aforos y mediciones realizadas en la estación en estudio se determinó la frecuencia y ocupación del metro para los dos horarios de mayor demanda. Los resultados finales de este análisis se observan en las Figuras 3.6 y 3.7.

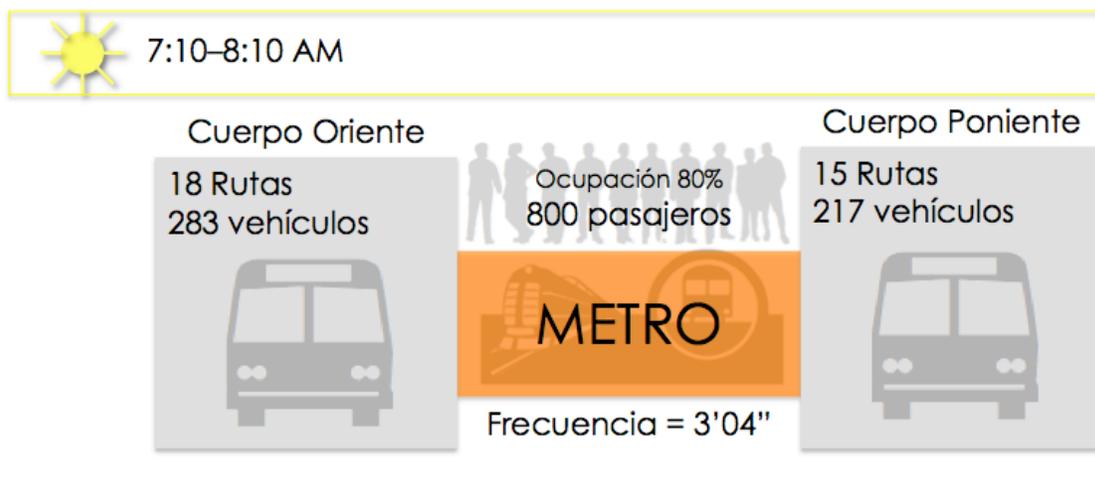


Figura 3.6 Oferta y demanda de transporte Cuerpo Oriente y Cuerpo Poniente. HMD matutina.

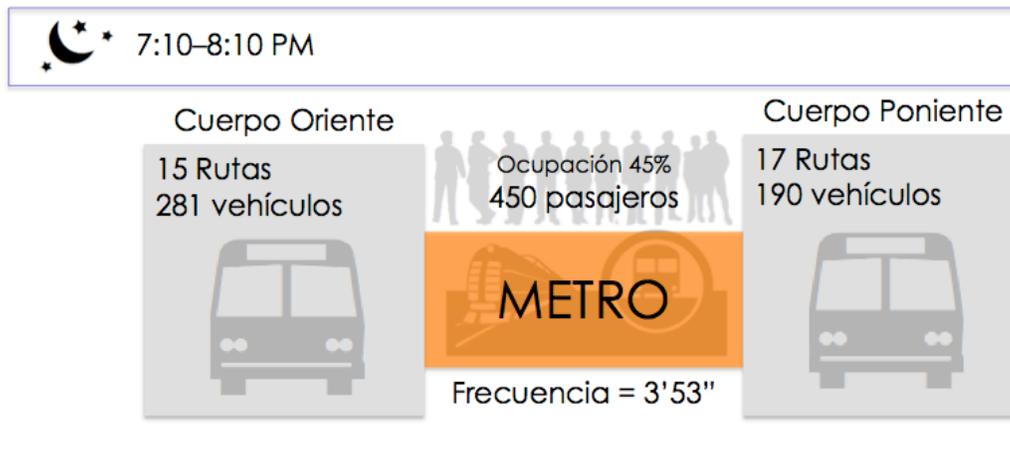


Figura 3.7 Oferta y demanda de transporte Cuerpo Oriente y Cuerpo Poniente. HMD vespertina.

III.3 C Espacio físico disponible

La construcción de una Estación de Transferencia Modal (ETRAM) es actualmente parte del plan de desarrollo del Municipio de Ecatepec y está incluida en un proyecto con alcances comerciales importantes. El diseño arquitectónico de este proyecto contempla dos cuerpos de operación, uno de cada lado de la estación y conectados por un puente vehicular ya construido que se presenta esquemáticamente en la Figura 3.8. Este diseño contempla: al poniente (CP), la misma superficie presente actualmente con algunas adecuaciones geométricas destinando una de las bahías (200 m) para transporte público concesionado y la otra bahía de 190 m para la atención de rutas de vehículos articulados; al oriente (CO), un espacio de mayores dimensiones, de igual forma con características estructurales y geométricas a tener en cuenta como son accesos, columnas, escaleras y elevadores que se observan en los planos arquitectónicos (Anexo de tablas y figuras) así como la disposición de 4 bahías de 100 m para transporte público concesionado y 2 bahías de 90 m para rutas de vehículos articulados. La ubicación de cada bahía se observa en la Figura 3.9.

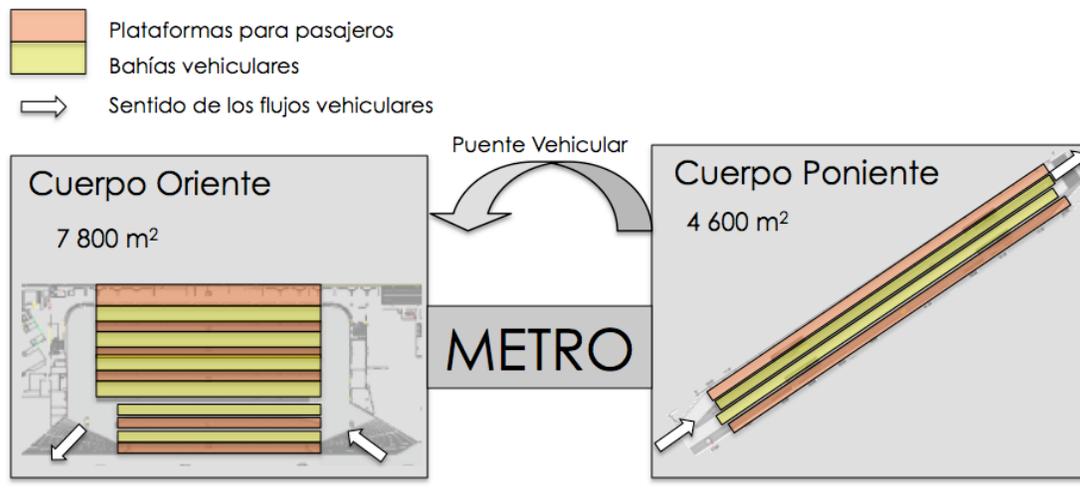


Figura 3.8 Superficie disponible dividida en bahías y plataformas. Cuerpo Oriente, Cuerpo Poniente y Puente Vehicular.



Figura 3.9 Ubicación de bahías de acuerdo al modo de transporte. Cuerpo Oriente y Cuerpo Poniente.

III.3 Propuesta de solución. Determinación de características con las que debe cumplir la ETRAM

Continuando con la metodología propuesta y cumpliendo con el objetivo de diseñar una estación que de solución a los necesidades de movilidad de la zona y brinde a los usuarios de transporte público nivel y calidad de viaje en sus transbordos, se analizaron varias propuestas para la definición de la operación planteando un funcionamiento integral de la estación con el aprovechamiento de la infraestructura existente así como la disposición de nuevos edificios

considerando todos los modos de transporte que convergen actualmente en la estación y aquellos se espera que se integren en el futuro: metro, vehículos articulados y transporte concesionado de distintos tipos de vehículos: microbuses, autobuses y peseras.

Partiendo de un esquema que consiste en priorizar los sistemas de transporte público masivos frente a los sistemas de transporte individuales y con el fin de estructurar un sistema integrado de transporte que favorezca una mayor calidad, seguridad y confianza a los usuarios en el área de esta estación se presenta aquí una solución para la operación de este espacio en la que se ha dispuesto de una infraestructura diseñada y destinada de forma específica con equipos de transporte con especificaciones funcionales y técnicas particulares que permitirán transportar un alto volumen de pasajeros y darán respuesta a las necesidades de movilidad de la zona. Retomando como objetivo principal nuestra visión de diseñar un espacio de transferencia en el que sea el usuario y no el transportista el objetivo central de la ETRAM se describirá y definirá a continuación la que se ha considerado la mejor alternativa para lograrlo mediante la operación eficiente de la estación en un espacio confinado y llegando a una autorregulación del sistema a través del control y la regulación de frecuencias de las rutas, tiempos de permanencia en la estación, puntos de ascenso y descenso, dosificación regulada de usuarios y de la sincronización de la operación entre los cuerpos oriente y poniente. El diseño que se propone para la Estación Terminal Norte de la Línea B toma como visión ofrecer al usuario de transporte público soluciones de vanguardia durante sus transferencias de viaje mediante el diseño y operación de una estación de clase mundial. Esta estación estará centrada en el usuario y su transferencia. Enclavada en un centro comercial y de servicios ofrecerá al usuario una mejor calidad de viaje, por lo que es necesario ofrecerle mayor disponibilidad de servicio de transporte, confiabilidad, reducción de tiempo en la transferencia, seguridad, comodidad y convivencia.

Las características mínimas para que la ETRAM funcione de manera óptima consideran:

- Diseño geométrico adecuado
- Diseño operativo
- Operación flexible
- Estación versátil
- Operación dinámica
- Servicios al usuario
- Servicios al transportista
- Autosustentable

III.3 A Diseño geométrico

La ETRAM cuenta con dos cuerpos de funcionamiento debido a sus características geométricas. El diseño geométrico debe desincentivar tiempos muertos y estancia de vehículos dentro de las zonas de ascenso y descenso y promover la operación dinámica de los vehículos a través de una circulación continua en puntos definidos de ascenso y descenso de pasajeros. Particularmente en este caso, la operación de la ETRAM debe apegarse a una disposición geométrica ya determinada en la que no es posible hacer modificaciones en elementos estructurales como columnas ni en los accesos como elevadores o escaleras. Para realizar el mejor diseño de la operación deben considerarse:

- ✓ Geometría del terreno y espacios disponibles
- ✓ Número de usuarios y su necesidad de transferencia a lo largo del día
- ✓ Tipo de transportes que generan la intermodalidad (vehículos articulados, autobús, microbús y peseras)
- ✓ Diseño considerando los flujos peatonales, accesos de entrada y salida, lugares de ascenso y descenso
- ✓ Diseño considerando los flujos vehiculares, entrada, salida y estancia eficientes
- ✓ De acuerdo con los factores anteriores se realizaron algunos ajustes en los accesos y salidas de los cuerpos con el fin de asegurar a capacidad de la estación para recibir cualquier modo de transporte de mayores dimensiones al existente.

III.3 B Diseño operativo

El diseño de la operación de la estación fue dividido en tres grandes procesos directivos, que a su vez comprenden todos los procedimientos necesarios para alcanzar los objetivos planteados anteriormente. Para cada uno de estos bloques fueron desarrollados los subprocesos y actividades para finalmente ser integrados en una matriz de procesos (Anexo de tablas y figuras) con el fin de tener mayor claridad y orden en el diseño de las operaciones de la estación. Estos bloques son:

Operación Básica

Operación Automatizada

Gestión de la Operación

En la Figura 3.10 se puede apreciar un diagrama de estos bloques así como los procedimientos que los integran (Se anexa matriz de procesos correspondiente a cada uno de estos rubros). De igual forma, para garantizar el buen funcionamiento del proyecto dentro de todos estos conceptos se deberán desarrollar manuales de procedimientos y reglamentos de operación enfocándose a nivel de usuarios, transportistas y administración de la estación.



Figura 3.10 Diagrama de procesos para el diseño de la operación de la ETRAM.

El presente trabajo se enfocará en el desarrollo de los procesos de operación básica sin olvidar que aquellos que componen la operación automatizada y la gestión de la operación son indispensables para asegurar el control y ordenamiento adecuados de la estación.

a. Operación básica

La operación del transporte público de la estación debe acoplarse a los límites geométricos y físicos existentes. Debido a la presencia de la estación del metro entre ambos cuerpos y de un puente vehicular con un solo sentido, se decidió como primera regla de operación la separación de los movimientos de ascenso y descenso de pasajeros destinando el cuerpo poniente sólo para movimientos de descenso, mientras que el cuerpo oriente será solo para los de ascenso. Esta decisión traerá consigo grandes ventajas como son evitar paralelismo de rutas de transporte público con el metro, evitar cruces en flujos

peatonales además de ser la única forma de garantizar control y ordenamiento en la dosificación de vehículos. Como siguiente característica de la estación, el diseño operativo considera la existencia de un control y regulación vehicular que asegure y fuerce el flujo obligado de los vehículos por lo que incluye la asignación y establecimiento de:

- Puntos específicos de ascenso de pasajeros
- Puntos específicos de descenso de pasajeros
- Frecuencias de paso de los vehículos considerando las horas de máxima demanda
- Tiempos de ascenso y descenso de pasajeros dependiendo del vehículo y hora del día
- Dosificación de usuarios y vehículos
- Sincronización entre la operación

Adicionalmente, para llevar a cabo el control y la regulación de la operación se ha diseñado un Manual de Operación que tiene como objetivo establecer lineamientos, procedimientos, programas y reglas que, adicionales a la normatividad gubernamental en materia de transporte y comunicación, deberán atender los diferentes actores que convergen en la operación sustantiva de la Estación de Transferencia Modal, asignando responsabilidades y obligaciones que serán parte de los convenios y contratos que se realicen con concesionarios y permisionarios de transporte público y sus operadores. La observancia del manual, permitirá asegurar el cumplimiento de los objetivos de la concesión de la estación. El Manual de Operación se erige como el documento guía que fija la metodología para la implementación de procedimientos y programas que regularán y promoverán el uso eficiente de la ETRAM, dando a los operadores de transporte, a los administradores y a los usuarios la certeza operativa y jurídica necesaria para su óptima operación.

a.1 Descripción de la operación

Se presenta a continuación la descripción del esquema de operación básico elegido para la Estación de Transferencia Modal cuyos principales lineamientos son el considerar este espacio como un lugar con movimiento constante que logrará la convivencia armónica de los distintos modos de transporte que coincidan en él y con la consideración de que el Metro será la columna vertebral que determina los parámetros de operación de los demás modos de transporte de menor capacidad. El principal objetivo de este diseño de operación será el de satisfacer la demanda de viajes de los usuarios brindando un servicio de calidad a través de su transferencia fácil y rápida. Para lograrlo es necesario el ordenamiento de la estación mediante la determinación los parámetros controlables que tengan impacto en la operación y con la implementación de un sistema de control que lo permita.



Figura 3.11 Ubicación de cuerpos de operación

El cumplimiento de la demanda de viajes se logrará mediante el establecimiento de frecuencias y horarios por ruta y su asignación a los puntos de ascenso. Es importante destacar que este tipo de operación cumplirá con el objetivo de favorecer y dar prioridad a la operación de los autobuses articulados asignándole derecho de vía y preferencia sobre todos los demás modos de transporte de menor capacidad. En la Figura 3.11 se muestra un plano de la estación, el Cuerpo Oriente (CO) y Poniente (CP) de la estación, retorno Norte-Sur (Boulevard de los Aztecas), los puntos de ascenso y descenso en los cuerpos correspondientes y el puente de retorno Sur-Norte (PV).

La operación considera la continuidad de los flujos del Metro. Es decir, los flujos matutinos que actualmente vienen del Norte continúan en ese sentido haciendo el descenso sobre el nuevo Cuerpo Poniente de la Estación de Transferencia como se muestra en la Figura 3.12 para integrarse al flujo del Metro que los llevará a su lugar de destino sobre la Línea B en el mismo sentido del flujo (Norte-Sur).



Figura 3.12 Esquema del recorrido de los flujos matutinos en los cuerpos de operación

En cuando al flujo vespertino y nocturno se hará igualmente de forma cotidiana con la única diferencia de que el ascenso será hecho en el Cuerpo Oriente de la estación como una continuación de la Línea B. Es decir, los pasajeros, en su mayoría en el regreso a los puntos donde se originaron sus viajes, que en general tienen como destino el Norte, harán una transferencia del Metro al Cuerpo Oriente de la ETRAM para continuar su viaje en rutas de vehículos articulados, sobre la misma línea de flujo (Sur-Norte). Ver Figura 3.13. Los flujos secundarios existentes de viajes que se generan en un radio de aproximadamente 3 Km. deberán respetar los mismos sentidos del flujo. La conexión entre el Cuerpo Poniente y Oriente del paraderos se hace mediante el Puente Vehicular situado en el extremo sur del Cuerpo Oriente, PV, según la Figura 3.11 y el retorno Norte-Sur, avenida Boulevard de los Aztecas.



Figura 3.13 Esquema del recorrido de los flujos vespertinos en los cuerpos de operación

La operación considera un flujo continuo que se describe a continuación:

Horario Matutino:

Todos los vehículos dirección Norte-Sur ingresan al CP y hacen el descenso en los lugares designados sobre la Bahía 1 CP, aquellos que continúan su viaje hacia el sur, a la CD. de México, paralelos al Metro, se incorporarán a la Av. Central y aquellos que regresan al Edo. de México con destino a su lugar de origen, toman el puente PV para hacer el ascenso de pasajeros y continuar su viaje al norte. Por su parte, las rutas de vehículos articulados hacen el descenso en la Bahía 2 CP y continúan su recorrido sobre el puente (PV) para hacer el movimiento de ascenso sobre el Cuerpo Poniente CP y continuar su viaje hacia el Norte.

Horario vespertino y nocturno:

Todos los vehículos recogerán al usuario cuyo destino final es el Edo. de México y que llega a la Estación Terminal Norte de la Línea B harán su llegada al CO, en donde estarán designados los puntos de ascenso. Durante este momento del día el Cuerpo Poniente CP podrá ser utilizado como lanzadera de modo que los vehículos podrán esperar en las bahías del CP hasta ser llamados por un Centro de Control de Operaciones para realizar el ascenso de pasajeros en el Cuerpo Oriente de forma que los vehículos accederán al CO sólo en el momento que se requieran.

a.2 Parámetros y consideraciones de la operación

Este diseño ha tomado en consideración dos factores fundamentales:

- Infraestructura de Metro
- Número máximo de vehículos para atender la demanda.

Actualmente el número de vehículos que atienden la demanda presenta una sobre oferta y un alto porcentaje de desocupación según el aforo hecho por el Estado de México. La proyección es que en un escenario futuro a 5 años, el número de autobuses, microbuses y peseras disminuya, lo que traería una mejora de eficiencia de la terminal. La estación ha sido diseñada para atender:

- 470 vehículos (peor escenario, hp vespertina cuerpo oriente)
- 900 usuarios (peor escenario, hp matutina cuerpo poniente)

a.3 Descenso de pasajeros

Como se mencionó anteriormente se decidió que el descenso de pasajeros se realice libremente y únicamente a lo largo de los 200 m de cada bahía-plataforma en el cuerpo poniente, Figura 3.14. Los vehículos podrán realizar las maniobras en cualquier punto de la bahía cuidando la seguridad de los pasajeros y evitando provocar congestionamiento de la estación. De ser necesario el

cuerpo poniente podrá utilizarse también como lanzadera siempre y cuando no se provoque una saturación en la bahía.

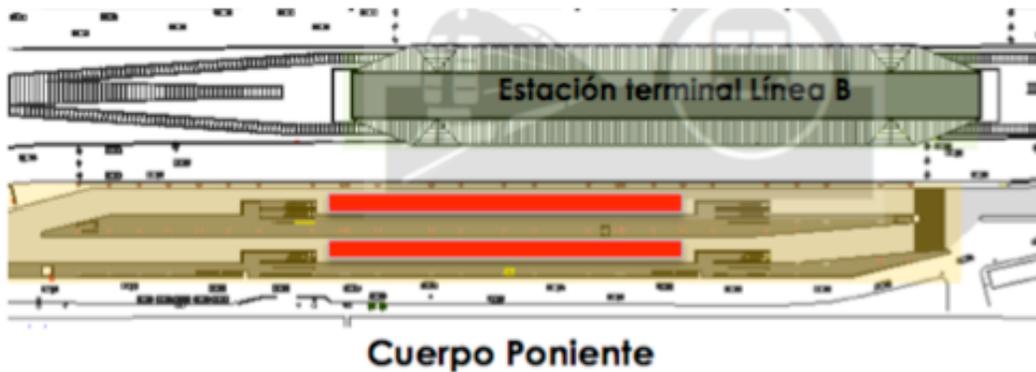


Figura 3.14 Ubicación de los puntos de descenso en el Cuerpo Poniente.

a.4 Ascenso de pasajeros

Debido a las limitantes físicas que presenta el diseño geométrico de la estación, al gran número de unidades necesarias para atender la demanda en horas pico y después de diversas propuestas evaluadas, se concluyó en ubicar puntos únicos de ascenso sobre las bahías vehiculares y multifilas para pasajeros dirigidas a dichos puntos sobre las plataformas, ver Figura 3.15. La presencia de elevadores, columnas y las direcciones de las escaleras de acceso a la estación obligaron a proponer una distribución asimétrica de los puntos y las multifilas para lograr el mayor aprovechamiento del espacio con la configuración final que se muestra en la Figura 3.16. El control de movimientos de ascenso de pasajeros se realizará desde un Centro de Control de Operaciones que operará los 8 puntos únicos de ascenso y 16 multifilas para pasajeros dirigidas a dichos puntos. Los vehículos accederán a la estación y recibirán instrucciones para ocupar alguno de estos puntos, en caso de que el punto asignado se encuentre ocupado el vehículo deberá incorporarse a la línea de espera de ese punto particular. Por su parte, los pasajeros serán dirigidos desde su salida del metro hacia las plataformas a través de pasarelas, escaleras y túneles dentro del centro comercial. Durante este recorrido los pasajeros serán informados de la ubicación de cada una de las rutas así como el tiempo estimado de espera en multifila. Al llegar a las plataformas los usuarios tendrán conocimiento de la multifila en la que deberán ubicarse de acuerdo a la ruta que desean abordar. La Tabla 3.1 muestra las dimensiones y capacidades de puntos de ascenso y multifilas considerando vehículos tipo autobús de 9 m lo longitud y para las multifilas tomando en cuenta una ocupación de 2 pasajeros por metro lineal.



Figura 3.15 Ubicación de los puntos de ascenso en el Cuerpo Oriente.



Figura 3.16 Configuración final del Cuerpo Oriente. Ubicación de los 8 puntos de ascenso, dimensión de líneas de espera de vehículos y ubicación de las 16 multafilas para pasajeros. (Acotaciones en metros)

Tabla 3.1 Dimensiones y capacidades de puntos de ascenso y multifilas

PUNTO DE ASCENSO	LONGITUD DE LÍNEA DE ESPERA (m)	Capacidad de la línea de espera (vehículos)	MULTIFILAS CORRESPONTIENTES	Capacidad de multifilas (pasajeros)	Capacidad total del punto de ascenso (pasajeros)
A	28.25	3	1	56	156
			2	50	
			3	50	
B	70.79	8	4	145	290
			5	145	
C	70.74	8	6	53	106
			7	53	
D	28.36	3	8	156	156
E	55.65	6	9	51	102
			10	51	
F	43.45	5	11	80	160
			12	80	
G	70.9	8	13	53	106
			14	53	
H	23.55	3	15	47	94
			16	47	
CAPACIDAD TOTAL		44			1170

a.5 Frecuencias requeridas

Un parámetro de operación muy importante en este diseño es la frecuencia de vehículos requerida por ruta. Este valor estará en función de la demanda referente de cada ruta. El peor escenario posible de presentarse en la estación indica que, de acuerdo a la afluencia y frecuencia del metro, la ETRAM deberá desalojar 450 pasajeros en menos de 4 minutos, la solución para la atención de esta demanda que se constituirá recibiendo 10 vehículos en el cuerpo poniente cada 2 minutos, es decir, 20 vehículos con una capacidad promedio de 25 pasajeros, atendiendo en promedio 500 pasajeros cada 4 minutos.

a.6 Tiempos de máximos de ascenso, descenso y permanencia

El control del tiempo de atención a los usuarios se logrará estableciendo límites en los tiempo de ascenso y descenso de pasajeros así como en el tiempo de permanencia permitido para los vehículos, esta regla de operación obedece a dos objetivos principales: el primero, asegurar el flujo de vehículos dentro de la estación y las frecuencias y horarios establecidos en el programa de operación diario; y el segundo, garantizar el desalojo de los pasajeros en función de la ocupación y frecuencia del metro evitando saturación de multifilas. Se establecieron tiempos máximos de ascenso y descenso en función, nuevamente, de las frecuencias del metro en horas de máxima demanda.

Los límites estimados bajo las consideraciones de esta propuesta de solución son los siguientes:

Tiempo de ascenso = 2 minutos

Tiempo de descenso = 1 minuto

Tiempo máximo de permanencia = 2 minutos

a.7 Dosificación de usuarios y vehículos

El resultado de la integración de los parámetros y reglas de operación antes establecidos permitió determinar la dosificación de usuarios y vehículos necesarios en el cuerpo oriente que fue realizada para el peor escenario posible, es decir, las horas pico matutina y vespertina. Por un lado la dosificación de pasajeros en las plataformas se realizó en función de la demanda existente por ruta y la capacidad de las multifilas siendo esta demanda quien determine la asignación del punto de ascenso y la multifila correspondiente para los usuarios. Las Tablas 3.3 y 3.4 muestran una primera distribución sugerida para el Cuerpo Oriente con base en la frecuencia de operación en las horas pico matutina y vespertina, respectivamente. Sin embargo, es importante observar que, debido a la distribución heterogénea de la demanda a lo largo del día, esta distribución será modificada constantemente.

Aunado al proceso anterior, la dosificación de vehículos tendrá como objetivo cubrir la demanda de transporte en tiempo y espacio evitando la saturación de la estación. El principal procedimiento será el de la asignación de rutas en los distintos puntos de ascenso en función de tipo y número de vehículos requeridos por ruta y hora del día y de la capacidad del CO de la estación para recibirlos, en este proceso el CP juega un papel importante al realizar la función de lanzadera en horarios de máxima demanda.

Una consideración especial en el diseño de la nueva operación, particularmente en este proceso, fue la determinación del número de unidades totales que se esperan en cada uno de los cuerpos ya que fue necesario tomar en cuenta dos factores: primero, que los todos los vehículos que actualmente realizan descenso por la mañana en el poniente lo realizarán ahora en una sola bahía; segundo, que los vehículos que realizan ascenso en ambos lados tanto por la mañana como por la noche lo harán sólo en el cuerpo oriente. Para cumplir con esta condiciones se realizó la integración necesaria del número de unidades y rutas para evaluar correctamente la dosificación de los vehículos en la ETRAM en el nuevo escenario, los resultados de esta integración se muestran de igual forma en las Tablas 3.2 y 3.3.

El escenario más problemático a solucionar fue el que se presenta en el Cuerpo Oriente entre las 7:10 y las 8:10 PM. En este horario se necesitan atender a más de 20 vehículos cada 4 minutos, de lo contrario se presentarán problemas tanto de saturación de las bahías como en las multifilas de pasajeros. La mejor solución que se encontró fue la utilización de los 8 puntos de ascenso con un tiempo máximo de permanencia de 2 minutos para los vehículos con la particularidad de que

para el punto de ascenso B (bahía 1 CO) será necesaria la utilización de los 70 metros disponibles en la línea de espera de vehículos realizando ascenso simultaneo de las unidades necesarias, sólo de esta forma será posible desalojar las 11 unidades requeridas para atender la demanda de la ruta con mayor número de usuarios: Autobuses del Valle de México.

Tabla 3.2 Propuesta de asignación de puntos de ascenso y multifilas por ruta en HMD matutino (7:10-8:10 AM). Cuerpo Oriente.

	RUTA	NÚMERO DE UNIDADES	NÚMERO APROX. DE PASAJEROS	ANDEN	MULTIFILA
1	RUTA 2	1	3	A	1
2	RUTA 5	1	4	D	18
3	RUTA 18	1	9	H	15
4	RUTA 47	2	14	C	6
5	RUTA 51	0	0	A	3
6	RUTA 57	2	17	F	11
7	AUTOBUSES DEL VALLE DE MÉXICO	6	59	B	4 y 5
8	AUTOBUSES NEZAHUALPILLI	0	0	G	13
9	RUTA B	1	4	H	16
10	FLECHA AMARILLA	0	0	C	7
11	GUADALUPANOS	0	0	F	12
12	JAJALPA	2	12	E	9
13	NEZAHUALCOYOTL	2	21	G	13
14	PERIFÉRICOS	0	0	E	10
15	SAN PEDRO SANTA CLARA	0	0	E	10
16	TEOTIHUACÁN	0	0	G	14
17	TLATOANI	0	0	G	14
18	VIAJERO	1	4	A	2
	TOTAL GENERAL	19	147		

Tabla 3.3 Propuesta de asignación de puntos de ascenso y multifilas por ruta en HMD vespertino (7:10-8:10 PM). Cuerpo Oriente.

	RUTA	NÚMERO DE UNIDADES	NÚMERO APROX. DE PASAJEROS	ANDEN	MULTIFILA
1	RUTA 2	1	8	A	1
2	RUTA 5	1	14	A	2
3	RUTA 18	2	23	D	8
4	RUTA 47	3	20	E	9
5	RUTA 51	0	0	A	3
6	RUTA 57	2	18	E	10
7	AUTOBUSES DEL VALLE DE MÉXICO	11	158	B y C	4,5,6 y 7
8	AUTOBUSES NEZAHUALPILLI	0	0	A	3
9	RUTA B	1	9	F	11
10	FLECHA AMARILLA	0	0	A	3
11	GUADALUPANOS	1	16	F	12
12	JAALPA	3	35	G	13
13	NEZAHUALCOYOTL	3	42	G	14
14	PERIFÉRICOS	1	9	H	15
15	SAN PEDRO SANTA CLARA	0	0	A	3
16	TEOTIHUACÁN	0	0	A	3
17	TLATOANI	1	15	H	16
	TOTAL GENERAL	30	367		

a.8 Sincronización de la operación

Finalmente será imprescindible la adecuada sincronización de la operación entre los cuerpos poniente y oriente, que por un lado debe controlarse tomando en cuenta el tiempo de recorrido de los vehículos desde el CP hasta el CO a través del puente vehicular (tiempo de recorrido = 5'30") y que, por otro, debe permitir conocer oportunamente el número de vehículos disponibles en el Cuerpo Poniente cuando éste haga la función de lanzadera (HMD), así como el porcentaje de saturación de las bahías en ambos cuerpos para evitar congestionamientos. Este proceso será posible a través de un sistema de comunicación entre los transportistas y un Centro de Control de Operaciones con el que contará la ETRAM. El control de esta sincronización también hará evidente si existe el fenómeno de sobre oferta en las rutas de transporte concesionado.

a.9 Consideraciones especiales para el diseño de la operación

Es importante mencionar que para que el esquema de operación antes descrito brinde los resultados esperados se ha asumido que prevalecerán una serie de consideraciones especiales:

- * Que el aumento en la demanda generado por una mejora en los servicios de transferencia será la misma que la demanda absorbida por la introducción de nuevas rutas de autobuses articulados.
- * Que el diseño geométrico y arquitectónico del edificio comercial que alberga a la ETRAM tendrá la capacidad para dirigir los flujos peatonales adecuadamente hacia las plataformas de abordaje.
- * Que la ETRAM contará con el sistema de control y vigilancia más conveniente de acuerdo a las necesidades y limitantes físicas.

Al mismo tiempo es importante tener presente que al tratarse de una estación terminal, la ETRAM estará afectada por factores externos que podrían alterar la demanda y por lo tanto sus parámetros de operación. La observación pertinente de estos agentes permitirá el diseño de un nuevo plan de operación de forma oportuna.

Factores que podrían provocar una disminución de la demanda:

- Disminución de trenes en la Línea B
- Aumento de la frecuencia de paso de los trenes
- Creación de otro sistema de transporte paralelo al Metro en ese tramo
- Creación del Tren Suburbano Línea 2 que llegue a Martín Carrera, ya que estaría dentro de la zona de influencia.

Factores que podrían influir en el crecimiento de la estación:

- Entrada en servicio del Metrobús Tecamac- Estación Terminal Norte Línea B
- Entrada en servicio del Metrobús Lechería- Estación Terminal Norte Línea B

b. Operación automatizada

La operación básica planteada será efectiva sólo mediante la introducción de un conjunto de sistemas de control que así lo permitan. Un sistema de comunicación que sirva como enlace entre la estación, los transportista y los usuarios será indispensable en los procesos de asignación de frecuencias, dosificación de vehículos y usuarios así como la sincronización de los cuerpos de operación. Los procesos de ascenso y descenso de pasajeros serán controlados a través de un sistema de video vigilancia y señalización el cual también permitirá el direccionamiento correcto de los flujos peatonales y vehiculares dentro de la estación. Los procesos involucrados en la operación automatizada de la ETRAM se observan en la Figura 3.10. Finalmente, será fundamental la generación de una serie de índices de operación que permitan conocer los niveles de atención de la ETRAM. Estas relaciones serán determinadas en función de los parámetros que posibles de medir mediante los sistemas de control y dirigidos a la optimización de los servicios de intercambio modal de transporte.

b.1 Indicadores de la operación

A través del conocimiento de datos como el número de vehículos que accedan a la estación, el número de usuarios, las frecuencias de operación, los tiempos de permanencia, y en general los parámetros de operación planteados originalmente, se tendrá la posibilidad de conocer oportunamente el nivel de atención y servicio de la estación, brindando la oportunidad de mejorar continuamente la calidad de sus servicios ofrecidos. Estos niveles serán determinados mediante el establecimiento de indicadores, que para este caso en particular se han pensado y dividido en dos categorías: indicadores de operación e indicadores de gestión.

Indicadores de operación

- ✓ Índice de desalojo y capacidad en multifilas
- ✓ Índice de equilibrio entre la oferta y la demanda de transporte
- ✓ Índice de ocupación de la estación

Indicadores de gestión

- ✓ Índice de eficiencia en la transferencia
- ✓ Índice de utilización de la estación
- ✓ Índice de impacto por infracciones

c. Gestión de la operación

Los procesos relacionados con la gestión de la operación de la estación son igualmente importantes de considerarse oportunamente para poder asegurar que el diseño operativo descrito se lleve a cabo adecuadamente y ofreciendo los resultados esperados. Algunos de estos procesos se observan en el diagrama de la Figura 3.10, es evidente que la colaboración y el trabajo conjuntos entre autoridades y el sistema de administración de la estación serán imprescindibles.

III.3 C Flexibilidad en la operación

La operación estará regida por la necesidad del usuario de servicios de transporte público y por lo tanto por la demanda de los viajes generados por el sistema de transporte masivo. El esquema previsto tendrá la capacidad de generar nuevos programas de operación basados en las necesidades del usuario y su modo de transporte. Es decir, responderá al incremento o decremento en la demanda a mediano y largo plazo, modificando los siguientes parámetros:

Mayor número de vehículos

Mayor frecuencia de unidades

Menor tiempo de ascenso y descenso de usuarios

Por otro lado su flexibilidad permitirá la introducción inminente de nuevas rutas de vehículos articulados que sustituirán en su totalidad a las existentes de transporte público concesionado. Esta modificación en la flota vehicular facilitará el acceso de taxis a la estación que harán uso de las bahías antes destinadas a autobuses, microbuses y peseras.

III.3 D Versatilidad de la estación

El diseño geométrico propuesto obedece al tipo de vehículos que actualmente ingresan a la estación pero también tiene la capacidad de ser modificado si existiera algún cambio en modo de transporte de superficie. La ETRAM considera la operación simultánea de dos líneas de metrobús, 34 microbuses, 406 peseras y 31 autobuses (en ambos cuerpos en horas de máxima demanda) así como una segunda fase de operación en donde se tenderá a atender únicamente rutas de vehículos articulados.

III.3 E Dinamismo en la operación

Debido a que existirá una administración formal, un reglamento y la señalización necesaria, la estación ofrecerá una operación dinámica que permitirá fluidez dentro de ésta durante sus horas de servicio, promoviendo la mayor reducción posible en los tiempos de ascenso y descenso de pasajeros así como los tiempos de permanencia de las unidades de transporte público.

III.3 F Servicios al usuario

Tratándose de una estación pensada primeramente en el usuario y su transferencia, la disposición de servicios que faciliten y favorezcan su uso serán piezas importantes para su crecimiento. Es así que el usuario podrá contar con información en tiempo real de itinerarios, cambios, rutas alternas, contingencias, entre otros tales como servicios de emergencia y sanitarios beneficiándose de forma importante mientras la estación promueve el mayor uso del transporte público. Esta información estará disponible tanto en las instalaciones de la ETRAM como fuera de ella a través de la creación de una página web y de sistemas de información vía teléfonos celulares.

III.3 G Servicios al transportista

Una mayor armonía entre los distintos actores involucrados en las operaciones de la estación se logrará por medio de servicios disponibles que coadyuven a la mejor realización de las actividades propias. En particular el transportista contará con servicios tales como:

- ✓ Reglamentos de operación
- ✓ Información de tiempo real de sus itinerarios
- ✓ Recomendaciones para mejorar la operación
- ✓ Sistema claro y transparente de sanciones
- ✓ Servicios de sanitarios, emergencia y registro de vehículos

III.3 H Autosustentabilidad

La estación considera que sus costos de operación puedan ser sufragados con servicios al transportista que incluyen cuotas de uso de la ETRAM y cuotas por sanciones, multas y recargos.

IV. Modelos de microsimulación de tránsito vehicular

Con el objetivo de evaluar y validar las distintas alternativas de solución planteadas, se consideró necesaria la realización de modelos de simulación virtual de tránsito vehicular que reflejaran las condiciones actuales y futuras de operación de la zona. Existen dos tipos principales de simulaciones en computadora utilizadas en la ingeniería de transporte: macrosimulaciones y microsimulaciones. Las primeras utilizan ecuaciones que reflejan parámetros generales de la corriente vehicular, como velocidad, densidad y caudal. Muchas de las ideas detrás de estas ecuaciones están tomadas del análisis de flujo de líquidos o gases o de relaciones halladas empíricamente entre estas cantidades y sus derivadas. Las segundas simulan cada vehículo o persona individualmente y hacen uso de ecuaciones que describen el comportamiento de estos vehículos o personas cuando siguen a otro (ecuaciones de seguimiento vehicular) o cuando circulan sin impedimentos. Hoy en día existe una gran cantidad de programas especializados en realizar micro y macro simulaciones de tránsito vehicular y redes de transporte público. La mayoría se basan en métodos que consideran a vehículos y peatones como elementos seguidos unos por otros con la ventaja de que permiten calibrar cada modelo de simulación con datos obtenidos en campo lo que brinda confianza en los resultados obtenidos. Una importante herramienta especialmente orientada a la simulación y el modelado de sistemas dinámicos complejos la constituye el software VISSIM cuya principal característica es que ofrece la integración de modelos de microsimulación de tránsito con modelos de planeación estratégica de transporte. Este programa tiene la habilidad de asignar elementos (vehículos) a una red utilizando alguno o la combinación de tres métodos. El método base consiste en considerar la distribución del tráfico como una función estocástica a través de rutas bien definidas por el usuario en su inicio y fin. Por otro lado se puedan también asignar rutas dinámicas permitiendo que el tráfico sea dinámico también, en rutas especificadas por el usuario.

IV.1. VISSIM. Descripción del programa

VISSIM es componente de un conjunto de programas llamado PTV Vision Suite y la herramienta más eficaz disponible hoy en día para la simulación de flujos multimodales de tráfico incluyendo vehículos, camiones, autobuses, tranvías, trailers, bicicletas y peatones. La flexibilidad en la estructura de su red permite modelar cualquier tipo configuración geométrica y un único comportamiento operacional del conductor encontrados en el sistema de transporte.

Es importante tener en cuenta que VISSIM fue creado y desarrollado en Alemania empleando el ambiente y el perfil de conductores existentes en el área por lo que su aplicación debe ser adaptada a las condiciones de la zona de estudio. En Alemania los conductores respetan las reglas del tráfico y la preferencia de los vehículos. Este programa crea modelos de simulación microscópicos, de pasos en el tiempo y basados en el perfil y comportamiento de los conductores y fue desarrollado con el fin de modelar el tráfico en zonas urbanas y operaciones de tránsito, con la posibilidad de realizar análisis de tráfico y operaciones de tránsito bajo restricciones tales como configuración de los carriles, composición del tráfico, señalamientos de tráfico, paradas de tránsito, etc. lo que lo lleva a ser una

útil herramienta para la evaluación de diversas alternativas basada en la ingeniería de tránsito y medidas de planeación.

VISSIM puede ser aplicado como un instrumento en una gran variedad de problemas de transporte y es utilizado para el diseño de sistemas de tráfico con control actuado. Los modelos llamados de seguimiento de vehículos son clasificados considerando la lógica que utilizan. Los modelos utilizados en VISSIM se pueden clasificar como modelos psico-físicos. VISSIM incorpora estos modelos originalmente creados por Wiedemann utilizado inicialmente en 1974 y mejorado continuamente desde entonces.¹

El simulador VISSIM consiste internamente de dos partes: el detector de intercambio de señales y el estado de las señales a través de una interfase. El simulador genera una visualización online de las operaciones de tráfico así como archivos que reúnen datos estadísticos como tiempos de viaje y longitudes recorridas. El simulador de tráfico es un modelo microscópico de simulación de flujo de tráfico que incluye el seguimiento de vehículos y la lógica de cambio de carril. El generador del estado de señales es un software de control de señales que investiga información del simulador de tráfico en una base de datos discreta de pasos en el tiempo. Entonces determina el estado de las señales para el paso siguiente y regresa esta información al simulador de tráfico.

La existencia de un modelo de simulación de tráfico depende de la calidad de modelado de los vehículos, de la metodología del movimiento de los vehículos en la red. En contraste con modelos de menor complejidad que utilizan velocidades constantes y lógicas deterministas de seguimiento de vehículos, VISSIM utiliza el modelo de comportamiento psico-físico del conductor desarrollado por WIEDEMANN (1974). El concepto básico de este modelo es que el conductor de un vehículo de mayor velocidad empieza a desacelerarse cuando alcanza su umbral de percepción individual de un vehículo de menor velocidad y ya que es imposible determinar la velocidad de ese vehículo, su velocidad disminuirá más que la de ese vehículo hasta que comience a acelerar de nuevo después de alcanzar otro umbral de percepción lo que lleva a un proceso iterativo de aceleración y desaceleración. El modelo está constituido por umbrales formando sistemas de reglas (regímenes). Los desarrolladores de VISSIM, PTV, hacen referencia a Wiedemann para un entendimiento más completo de la serie de números aleatorios utilizados en el modelo. La verdadera diferencia entre los car-following modelos utilizados en VISSIM y los de Wiedemann no es públicamente conocida.

VISSIM fue desarrollado por la Universidad de Karlsruhe en Alemania durante los años 70s. Este modelo de simulación estocástico es capaz de simular operaciones de tráfico en áreas urbanas poniendo especial atención en el transporte público; representa una serie de características en una red y en una animación en 3D incluyendo peatones y transporte público en la que los usuarios pueden construir redes utilizando imágenes de fondo. VISSIM es diferente de los típicos modelos de simulación microscópicos principalmente por la independencia de cada estructura nodo-conector, estos modelos son aquellos donde los vehículos llegan a un nodo y necesitan un nodo de entrada y otro de salida para continuar su

¹ PTV Vision Suite. Manual para usuarios VISSIM.

trayectoria. En VISSIM, los vehículos llegan al final del conector y entonces deciden tomar el conector que les permita llegar a su destino final. Es posible construir intersecciones complejas representando las condiciones de la red real como reemplazo de conexiones generadas por la computadora. Las distribuciones estocásticas de la velocidad y los umbrales reproducen las características individuales del comportamiento del conductor. El modelo ha sido calibrado y mejorado gracias a numerosos estudios de campo en la Universidad Tecnológica de Karlsruhe en Alemania. Estudios de campo periódicos y la resultante actualización de los parámetros modelo reafirman que los cambios en el comportamiento del conductor y las mejoras en el vehículo deben ser considerados. Este simulador de tráfico no sólo permite a los conductores de varios carriles reaccionar a los vehículos precedentes (2 de entrada), también vehículos vecinos en carriles adjuntos son tomados en cuenta. Más aún, la aproximación a un señalamiento de tráfico da como resultado una mayor alternancia de conductores a una distancia de 100 metros frente a la línea de alto. VISSIM simula el flujo de tráfico moviendo unidades vehículo-conductor a través de una red. Cada conductor con sus características específicas de comportamiento es asignado a un vehículo específico. Como consecuencia, el comportamiento al conducir se corresponde con las capacidades técnicas de su vehículo. Los atributos que caracterizan a cada unidad vehículo-conductor pueden ser clasificados en tres categorías:

Especificaciones técnicas del vehículo

- Longitud
- Velocidad máxima
- Aceleración potencial
- Posición actual en la red
- Velocidad y aceleración actuales

Comportamiento de la unidad vehículo-conductor

- Sensibilidad psico-física del conductor (habilidad para estimar, agresividad)
- Memoria del conductor
- Aceleración basada en velocidades actuales y velocidades deseadas por el conductor.

Independencia de las unidades vehículo-conductor

- Referencia a vehículos líder y vehículos en seguimiento en carriles y adyacentes.
- Referencia al conector actual y la próxima intersección.
- Referencia a la próxima señal de tráfico.

Éste es un programa maestro que envía segundo a segundo valores detectados al programa de control de señales que decide las propiedades de la señal actual. VISSIM recibe estas propiedades y la siguiente iteración del flujo de tráfico comienza. La simulación es microscópica (análisis vehículo a vehículo, y segundo a segundo) y estocástica (no determinista del perfil del conductor y el ambiente no es completamente determinado por el estado previo).

IV.2. Modelos de simulación de la propuesta solución

La posibilidad del desarrollo de modelos de microsimulación del tránsito dentro del paradero permitió evaluar las distintas alternativas consideradas como posibles soluciones. Este modelo se realizó mediante la utilización de VISSIM, software de simulación estocástico capaz de simular operaciones de tráfico en áreas urbanas poniendo especial atención en el transporte público representando las características en una red y en una animación en 3D incluyendo peatones y transporte público.

En este programa fue posible la construcción de la red utilizando planos como imágenes de fondo con la cualidad de calibrar el modelo dando las características de tránsito de las vialidades a cada segmento creado. A partir de los datos recabados y su procesamiento en tableros de información se realizaron distintas simulaciones para los escenarios importantes para llegar a la propuesta de operación. Los escenarios que se tomaron en cuenta fueron primeramente el de la situación actual del paradero como método de calibración, en seguida un escenario que se espera se presentará durante la etapa de construcción de la ETRAM y finalmente los escenarios que se tendrán con la alternativa de solución.

IV.2.A Escenario actual

Los modelos de simulación fueron calibrados a través de la realización de microsimulaciones del escenario que actualmente se presenta en la estación. Estas animaciones se realizaron bajo las consideraciones geométricas, de tránsito vehicular, de demanda y tiempos de permanencia que se agrupan en la Tabla 4.1. Algunas imágenes de estas simulaciones se presentan en las Figuras 4.1, 4.2 y 4.3.

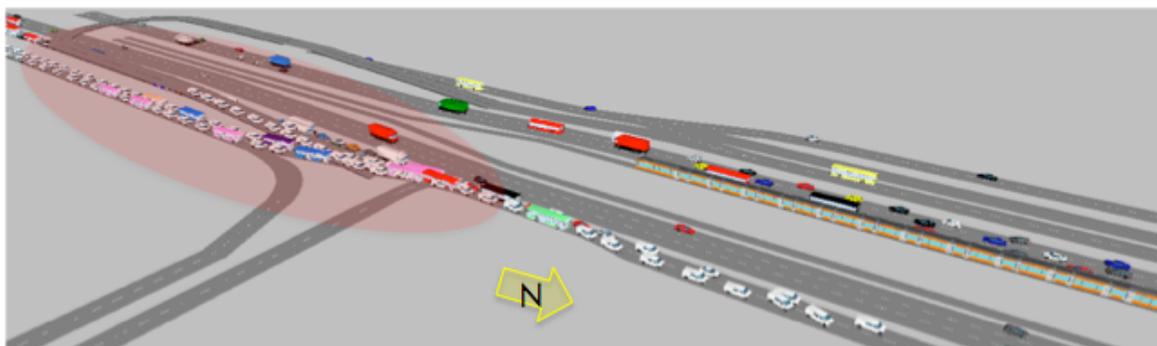


Figura 4.1 Imagen del modelo de simulación de la situación actual. Se observa el Sistema de Transporte Colectivo y congestión en la lateral oriente.

Como se puede observar en los videos anexos, los principales problemas viales se presentan son: durante la mañana, en ambos lados de la estación del metro con congestión en las bahías del cuerpo poniente debido a los largos intervalos de tiempo que las unidades permanecen estacionados y de igual forma en la lateral de la avenida principal debido su utilización como parada de

los vehículos a falta de bahías para transporte público; durante la noche, nuevamente el bloqueo se produce en ambos lados aunque se observa más marcado en el lado oriente a causa de las direcciones de los flujos (los vehículos que ascienden pasajeros en el lado poniente utilizan el puente vehicular y si es necesario vuelven a parar en el la lateral oriente para realizar ascenso de más pasajeros).

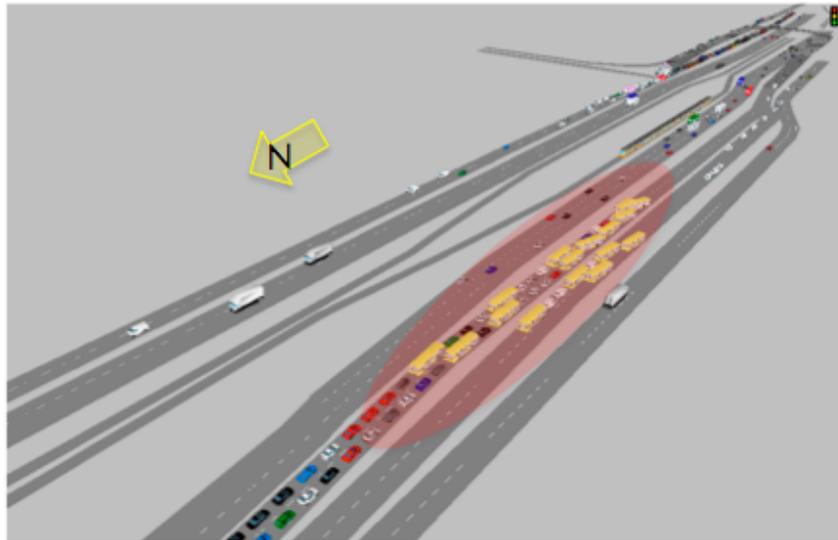


Figura 4.2 Imagen de la simulación de la situación actual en la que se aprecia el bloqueo de bahías en el Cuerpo Poniente por unidades de transporte público y vehículos particulares.

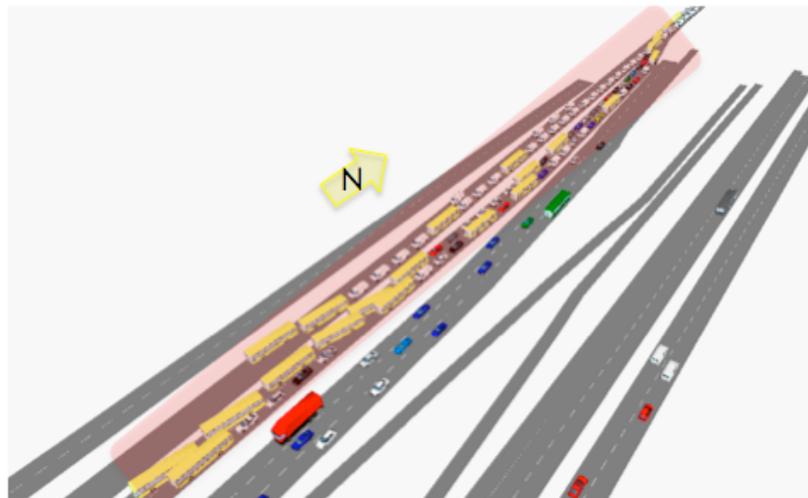


Figura 4.3 Imagen de la simulación de la situación actual. Se observan autobuses y peseras bloqueando el Cuerpo Poniente y una larga fila de vehículos.

Tabla 4.1 Parámetros para la simulación del escenario actual

Escenario Actual		
Velocidad = 12 km/hora Tiempo de permanencia = 10 a 15 minutos		
7:10 - 8:10 AM	ORIENTE	PONIENTE
No. vehículos particulares	1057	4230
No. de rutas	18	15
No. de vehículos de Transporte Público	283	217
Demanda atendida	2460	1425
Frecuencia (veh/min)	5	4
Espacios destinados al Transporte Público	ninguno	2 bahías/400 m
7:10 - 8:10 PM	ORIENTE	PONIENTE
No. vehículos particulares	3542	885
No. de rutas	15	17
No. de vehículos de Transporte Público	281	190
Demanda atendida	5235	1205
Frecuencia (veh/min)	5	3
Espacios destinados al Transporte Público	ninguno	2 bahías/400 m

IV.2.B Durante la construcción

El siguiente escenario evaluado fue el que incluye las condiciones esperadas a presentarse durante la construcción de la nueva estación y las adecuaciones geométricas requeridas. Se espera que durante la construcción de la ETRAM los vehículos sigan realizando el ascenso y descenso de pasajeros como normalmente lo hacen, utilizando el Cuerpo Poniente con las condiciones actuales y la lateral de la Avenida Central en el oriente pero bajo un programa de tránsito de vialidades que permita controlar lo mejor posible la circulación de la zona, especialmente la de transporte público. Las variables que se consideraron en cuanto a volúmenes de flujos permanecen fijos mientras que los tiempos de permanencia considerados fueron reducidos en gran medida con el fin de evitar el congestionamiento de la avenida principal, estos datos se muestran en la Tabla 4.2 y una imagen de esta simulación puede verse en la Figura 4.4. En este escenario las simulaciones muestran mayor fluidez en las vialidades y el cuerpo de operación poniente debido a la reducción en los tiempos de permanencia que se espera se logre a través de la implementación de un riguroso dispositivo con personal de vigilancia en la zona.

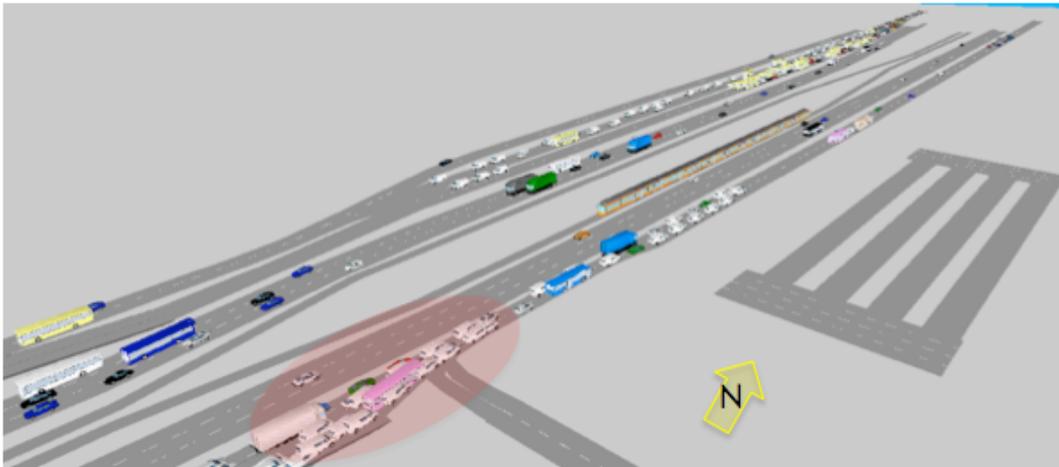


Figura 4.4 Imagen de la simulación de la situación esperada durante el proceso de construcción de la ETRAM. En rojo, problemas viales sobre la lateral.

Tabla 4.2 Parámetros para la simulación del escenario en la etapa de construcción.

Escenario durante la construcción		
Velocidad = 12 km/hora		
Tiempo de permanencia = 2 a 4 minutos		
7:10 - 8:10 AM	ORIENTE	PONIENTE
No. vehículos particulares	1057	4230
No. de rutas	18	15
No. de vehículos de Transporte Público	283	217
Demanda atendida	2460	1425
Frecuencia (veh/min)	5	4
Espacios destinados al Transporte Público	ajustes temporales en la vialidad	2 bahías/400 m
7:10 - 8:10 PM	ORIENTE	PONIENTE
No. vehículos particulares	3542	885
No. de rutas	15	17
No. de vehículos de Transporte Público	281	190
Demanda atendida	5235	1205
Frecuencia (veh/min)	5	3
Espacios destinados al Transporte Público	ajustes temporales en la vialidad	2 bahías/400 m

La etapa de construcción de la estación será un período especialmente complejo por sus posibles afectaciones en el tránsito de la zona así como en la oferta de los servicios de transporte público, por lo que el desarrollo de un plan de operación en cada paso del proceso de construcción es absolutamente necesario y conveniente. De acuerdo a la programación de obra del proyecto la primera etapa comprenderá la construcción parcial del edificio oriente, con el objetivo de que en la siguiente etapa sea posible aprovechar el espacio para operaciones de transporte público ubicado en este edificio. La segunda etapa vislumbrará la construcción de bahías, plataformas y elementos estructurales del cuerpo poniente impidiendo por completo el acceso de unidades a este edificio. A continuación se describe el plan de operación del transporte público para estas dos etapas.

1ª Etapa: Cuerpo Oriente

El plan de operación para esta etapa incluye un importante operativo de tránsito en el que deberán participar autoridades conjuntamente con la administración de la ETRAM. Serán necesario personal de vigilancia y señalización en las laterales de ambos lados de estación del metro, especialmente en la lateral oriente ya que seguirá siendo éste el lugar donde las unidades realicen el ascenso y descenso de pasajeros con la diferencia de que ahora existirá una fuerte disminución en los tiempos de permanencia de las unidades (máximo 3 minutos). Por otro lado, el cuerpo poniente seguirá operando bajo las mismas reglas de ascenso y descenso de pasajeros pero igualmente sufrirá un cambio en los tiempos de permanencia de las unidades (máximo 3 minutos).

2ª Etapa: Cuerpo Poniente

La segunda etapa será el período más difícil para las operaciones de la estación ya que el cuerpo poniente se encontrará completamente restringido y sólo se contará con el cuerpo oriente para brindar servicios de transporte atendiendo al cien por ciento de unidades y usuarios de la estación. Con el fin de asegurar la operación ordenada dentro de la ETRAM será necesaria la integración del total de vehículos y pasajeros así como la asignación temporal de bahías para ascenso y bahías para descenso de pasajeros. El principal objetivo de este plan de operación será el de impedir la migración de la demanda a la siguiente estación del metro.

Este plan incluirá:

- Operativo de patrullas
- Multas
- Volanteo
- Atención a usuarios
- Información anticipada

Por otro lado no se debe olvidar que la cooperación de las autoridades del Estado de México (particularmente con el Municipio de Ecatepec) y autoridades del STC será clave para su aplicación eficiente y oportuna. Los flujos matutinos y vespertinos esperados y su operativo correspondiente se describen a continuación:

Plan de operación matutino

No. de vehículos = 500
 No. de pasajeros = 16,000 pasajeros/hora
 Tiempo de permanencia = 1 minuto



Figura 4.5 Flujo matutino durante la segunda etapa de construcción.

Plan de operación vespertino

No. de vehículos = 450
 No. de pasajeros = 6,750 pasajeros/hora
 Tiempo de permanencia = 2 minutos

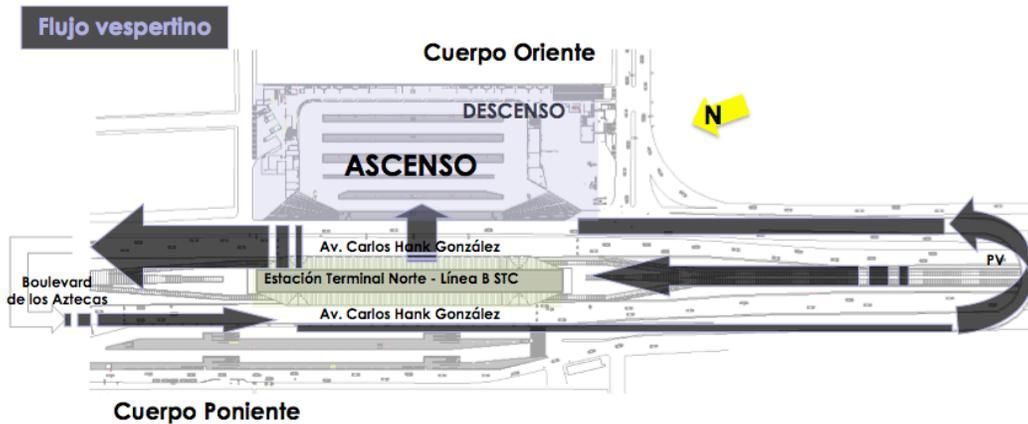


Figura 4.6 Flujo vespertino durante la segunda etapa de construcción.

IV.2.C Situación Futura

Finalmente la simulación de la nueva propuesta de operación permitió entre otras cosas, confirmar los cálculos y el funcionamiento esperado de la operación permitiendo a su vez realizar ajustes que afinaran aún más cada uno de los procesos descritos anteriormente. Se realizaron un gran número de simulaciones de todas las distintas propuestas que fueron surgiendo durante el diseño. Se presentan aquí los parámetros considerados para la calibración del modelo de la solución final, Tabla 4.3 y algunas vistas de las simulaciones realizadas, Figuras 4.7 y 4.8.



Figura 4.7 Imagen del modelo de simulación realizado para evaluar la propuesta de solución. En el escenario futuro es notoria la fluidez en ambos cuerpos de operación así como en las vialidades.



Figura 4.8 Imagen del modelo de simulación realizado para evaluar la propuesta de solución en la que se aprecian los distintos modos de transporte: metro, vehículo articulado y autobús.

Tabla 4.3 Parámetros para la simulación del escenario futuro

Escenario Futuro		
Velocidad = 12 km/hora Tiempo de permanencia = 2 a 4 minutos		
7:10 - 8:10 AM	ORIENTE	PONIENTE
No. vehículos particulares	1057	4230
No. de rutas	18	15
No. de vehículos de Transporte Público	283	217
Demanda atendida	2460	1425
Frecuencia (veh/min)	5	4
Espacios destinados al Transporte Público	4 bahías / 400 m 2 bahías/180 m vehículos articulados	1 bahía/210 m 1 bahía/210 m vehículos articulados
7:10 - 8:10 PM	ORIENTE	PONIENTE
No. vehículos particulares	3542	885
No. de rutas	17	3
No. de vehículos de Transporte Público	433	38
Demanda atendida	6199	241
Frecuencia (veh/min)	7	1
Espacios destinados al Transporte Público	4 bahías / 400 m 2 bahías/180 m vehículos articulados	1 bahía/210 m 1 bahía/210 m vehículos articulados

Las simulaciones realizadas para la nueva operación exponen importantes progresos en el tránsito de las vialidades y flujos vehiculares adecuados dentro del par de cuerpos que compondrán la ETRAM. Por un lado, el Cuerpo Poniente recibe un menor número de vehículos que a su vez permanecen menos de 2 minutos en él. En cuando al oriente, los flujos vehiculares en las seis bahías es continuo sin observarse mayores problemas de bloqueo. De igual forma los accesos y salidas de ambos cuerpos no provocan problemáticas en los flujos vehiculares en las laterales de la avenida principal por lo que se puede asegurar que el arreglo y distribuciones de rutas sugeridos en los ocho puntos de ascenso son adecuados para los requerimientos actuales de la estación. Finalmente se observa que las rutas de vehículos articulados no tendrán ningún cruce en sus recorridos dando certeza en que se cumplirá con las frecuencias requeridas para este tipo de modo de transporte.

V. Resultados y conclusiones

V.1 Resultados de la propuesta de solución

La integración de las numerosas alternativas de solución planteadas para lograr el control de la operación de la ETRAM ubicada en la Estación Terminal Norte de la Línea B del STC, así como la realización de un gran número de simulaciones de tránsito para los distintos escenarios permiten confirmar que el diseño geométrico trazado y el esquema de operación formulado se ajustan y son convenientes para atender las necesidades de transporte de la estación. El resultado de la nueva operación cumple con el objetivo atender la demanda de los 900 pasajeros generados por esta estación cada 4 minutos, recibiendo más de 500 unidades de transporte público cada hora en ambos cuerpos y tendiendo a una autorregulación y equilibrio entre la oferta y la demanda. La capacidad de la estación garantizará que en la ETRAM no se presentarán congestionamientos en ninguno de los dos cuerpos incluso en horarios pico al igual que la fluidez del tránsito vehicular de la Av. Carlos Hank. Esta operación favorecerá también el fácil acceso de los pasajeros y su ordenamiento además de reducir los tiempos de espera de éstos y evitar cruces en los flujos.

Finalmente será imprescindible la implementación de sistemas de control y comunicación así como la determinación y observación de índices que permitan conocer el buen o mal funcionamiento de las operaciones de la ETRAM basados en mediciones ya sean diarias o periódicas durante el día de parámetros tales como el número de pasajeros y vehículos que acceden y se desalojan, las frecuencias de operación y los tiempos de permanencia tanto de vehículos como de usuarios. Estos indicadores deberán estar estrictamente dirigidos al monitoreo del equilibrio entre la oferta y la demanda del transporte, la eficiencia en la transferencia y la capacidad de desalojo de la estación.



Resultados:

Geometría y esquema final de operación

El arreglo geométrico final integrado al esquema de operación de la estación se observa en la siguiente Figura 5.1:

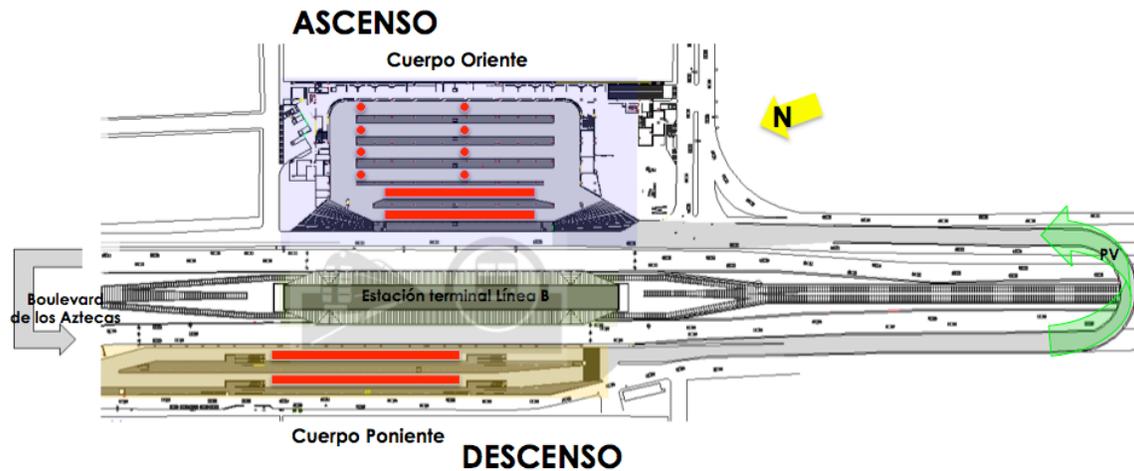


Figura 5.1 Esquema final de los cuerpos de operación

Frecuencia de operación

La frecuencia base de la operación de este centro de transferencia será de 4 minutos, obedeciendo a la frecuencia del metro. La ETRAM recibirá 10 vehículos en el cuerpo poniente cada 2 minutos, es decir, 20 vehículos con una capacidad promedio de 25 pasajeros, atendiendo en promedio 500 pasajeros cada 4 minutos.

Número de pasajeros atendidos

De acuerdo a la frecuencia de operación establecida para la ETRAM, ésta será capaz de recibir en el cuerpo poniente a 900 usuarios que accederán al STC durante la hora pico matutina. Sin embargo, su mayor cualidad será la de ser capaz de desalojar hasta 500 pasajeros cada 4 minutos haciendo operar el cuerpo poniente durante la hora pico vespertina.

Número de vehículos desalojados

Para los peores escenarios se espera que la ETRAM reciba y desaloje 10 unidades cada 2 minutos en el cuerpo oriente mientras que el cuerpo poniente lo hará con 25 unidades cada 4 minutos.

Tiempo máximo de espera de los pasajeros

La reducción del tiempo de espera de los pasajeros es una de las principales características de la operación de la ETRAM garantizando su disminución a menos de 4 minutos.

Ventajas de la propuesta de solución

Este diseño operativo traerá consigo ventajas que se reflejarán en el corto y mediano plazo contribuyendo a la mejora constante y continua de la operación, algunos de estos beneficios serán:

- Tendencia a la autorregulación de la operación
- Equilibrio de la oferta y la demanda
- Promoción de dinamismo en la operación
- Mejora en el servicio del transporte público y por lo tanto promoción de su utilización
- Generación de viajes.

El diseño logrado para la ETRAM en la Estación Terminal Norte - Línea B representará una nueva etapa en la conexión y el crecimiento entre el municipio de Ecatepec y la Ciudad de México convirtiéndose en un fuerte y mejor atractor de viajes gracias al incremento en la calidad de los servicios de transporte público y a la versatilidad en el diseño de la estación para adecuarse y recibir las futuras modalidades de transporte planeadas para la región. La instalación de diversos sistemas que permitirán ordenar y controlar las flotas vehiculares en función de la demanda de transporte permitirá cubrir las necesidades de movilidad de los usuarios de este servicio de forma más ágil, cómoda y segura propiciando el mayor uso del transporte público contra los vehículos particulares lo que significa reducción de la ocupación de vialidades y menores efectos en el ambiente.

La creación de una red urbana y metropolitana, integral e integrada, coordinada desde un plano único, con el ciudadano como centro desde quienes pivota el diseño intermodal, con una estructura tarifaria coherente, con frecuencias de paso eficaces, velocidad adecuada, con combustibles poco contaminantes o eléctricos, con espacios exclusivos peatonales, territorialmente equilibrada, concebida para el conjunto del universo metropolitano y con una apuesta intensiva por la educación hacia el transporte público en disminución del trayecto ordinario en el coche particular, es no solo posible sino necesario, si se desea resolver a largo plazo los agudos, crecientes y complejos problemas metropolitanos del tráfico de personas por nuestros alrededores y por nuestras calles. Por otro lado, la introducción de nuevas ideas y métodos de diseño de los centros inter modales en nuestro país es una clara necesidad para alcanzar el objetivo de una verdadera integración regional. Estos métodos deben aplicarse bajo un esquema de operación con preferencia hacia los modos de transporte masivos constituyendo un factor de primordial relevancia en el proceso de diseño con ventajas y beneficios claramente probados en el mundo que lejos de ignorarse debe ser un punto base en la planeación de proyectos de transporte público en áreas metropolitanas. La búsqueda de soluciones para zonas de gran

afluencia y con proyecciones de crecimiento importantes debe realizarse partiendo de un aumento en las frecuencias y tiempos y capacidades de desalojo dando dinamismo a las estaciones y no en el incremento de las superficies requeridas. El uso de nuevas herramientas disponibles hoy en día para la ayuda en los procesos de diseño, como el uso de software que permite el modelado del tránsito vehicular calibrado a partir de información real de las condiciones de la zona de estudio, representa otra gran oportunidad para la evaluación de más y mejores propuestas de solución en las problemáticas en cuestión. La mejor integración de los factores antes mencionados conducirá a ofrecer resultados más innovadores para el transporte público de pasajeros y un mayor acercamiento a las soluciones óptimas para cada caso particular.

V.2 Conclusiones

El transporte público se enfrenta a una serie de importantes retos en todo el mundo. Durante las últimas décadas, los viajes urbanos y suburbanos han experimentado grandes cambios en términos de calidad y cantidad fruto de varios factores: la extensión de la urbanización que ha provocado un fuerte aumento en los trayectos de las afueras a los suburbios, y largos trayectos de las afueras al centro; el aumento del poder adquisitivo de las familias y la democratización del coche que provoca un rápido aumento del parque automovilístico; creación de sistemas variados como respuesta a la dispersión causada por las políticas de planificación urbana que están menos adaptadas a la estructura radial de las grandes redes de transporte público que a su vez fomenta el uso del coche privado; y, cambios en el estilo de vida que han determinado un aumento de los viajes de ocio y para compras, los cuales no se prestan fácilmente al uso del transporte público. Actualmente se están produciendo cambios en los modelos de movilidad debido a que las ciudades, donde se registra un aumento de la población, generan mayores y más diversas demandas de movilidad. Además, la economía actual cada vez más orientada al servicio fomenta el que las personas quieran poder elegir dentro de un abanico amplio y flexible de servicios de transporte. Los ciudadanos no sólo exigen más movilidad – es decir una movilidad más frecuente y más extendida – sino también una movilidad de mayor calidad. Como fueron construidos en una época en la que la mayoría de los viajes eran fijos y rutinarios, la mayor parte de los sistemas existentes de transporte público se ven obligados ahora a cambiar radicalmente de enfoque. El transporte público tiene que adoptar un enfoque mucho más flexible y competitivo para satisfacer las necesidades de los viajeros de hoy en día. Si se desea que el desarrollo del transporte público progrese de forma significativa, éste tiene que estar aún más orientado al servicio teniendo que mejorar su calidad, puntualidad, frecuencia, imagen y comodidad, factores que tienen un impacto en su productividad. Esto significa esencialmente ofrecer diferentes servicios de movilidad que se dirijan lo mejor posible a las necesidades individuales de cada viajero. La integración de todos estos servicios de movilidad será la clave del éxito de la oferta de transporte público. La elección de los modos de transporte y las articulaciones entre los mismos constituyen un aspecto fundamental de la intermodalidad: desde los trenes de alta velocidad hasta los taxis a demanda, pasando por las redes viarias y ferroviarias en las zonas rurales y suburbanas – sin olvidar el automóvil, la bicicleta y los desplazamientos a pie. Las articulaciones entre los diferentes modos de transporte deben ser mejoradas y revisadas teniendo en cuenta las necesidades de los usuarios, los rendimientos técnicos, las áreas relevantes y los parámetros financieros que presenta cada uno de los modos. Por otro lado, la comodidad y la imagen atractiva de los sistemas de transporte público dependen en gran medida de la calidad de los transbordos e intercambios entre los modos de transporte público y entre los mismos y el coche. A este respecto, no cabe duda de que los puntos de intercambio intermodal son la clave de una evolución positiva del transporte público, ya que se trata de un factor decisivo en la elección del transporte por parte de los

usuarios. Las estadísticas muestran que un porcentaje muy alto de usuarios del transporte público y de automovilistas pasan todos los días por puntos de intercambio de transporte. Por consiguiente, es esencial optimizar los puntos de transbordo y de intercambio entre los diferentes modos con el objetivo de que sean funcionales y agradables.

El hecho de que los intercambios se estén convirtiendo en espacios vitales y estén cada vez más integrados en su entorno constituye un desarrollo importante. Éstos ofrecen comercios y servicios complementarios a los pasajeros, como por ejemplo servicios de conveniencia tales como teléfonos y cajeros automáticos y servicios más diversificados como centros comerciales y supermercados. De hecho, puede considerarse que los intercambios intermodales ocupan el primer plano en el entorno urbano. En este sentido, tiene que considerarse que cada punto de intercambio es único, teniendo en cuenta las oportunidades y restricciones locales. Ello requiere un trabajo preliminar concienzudo y una buena planificación, así como una buena comprensión de las necesidades y expectativas de los viajeros, de modo que los servicios se ajusten a sus requisitos. Conlleva una cooperación entre los diferentes operadores de transporte y proveedores de servicios y supone que se creen numerosas asociaciones, especialmente desde un punto de vista financiero, que determinarán la calidad del servicio ofertado a los viajeros.

Otro aspecto importante de un buen transporte intermodal es la coordinación de los horarios, sincronizando lo más posible las horas de llegada y de partida entre los diferentes modos. El objetivo es minimizar el tiempo de viaje y de espera del pasajero. Finalmente, proporcionar una información puerta a puerta de calidad es un elemento esencial para mejorar el sistema de transporte intermodal. Informar a los clientes sobre las diferentes posibilidades de transporte a fin de que puedan definir y planificar sus desplazamientos es una etapa importante en la promoción del transporte público. Dar a los clientes acceso a la información y a una infraestructura de calidad para que sepan en qué lugar y de qué modo de transporte pueden disponer puede consolidar o debilitar una organización.

No sirve de mucho crear un sistema de transporte eficaz si los pasajeros no saben cómo usarlo. La información debe proporcionarse antes del viaje (en casa, en el lugar de trabajo o en un lugar público), en las paradas y durante el viaje (a bordo de los vehículos, en los intercambios) a través de una serie completa de medios de información (información impresa, teléfono, Web, etc.) a fin de garantizar que todas las categorías de usuarios estén cubiertas. La implementación de sistemas complementarios también contribuye a mejorar el sistema de transporte intermodal, alentando a los automovilistas a estacionar el coche en un lugar situado en las afueras de la ciudad y a viajar en tren suburbano, metro o autobús por un carril prioritario donde no se producen bloqueos.

El objetivo final de la integración es facilitar el uso del transporte público. Para ello, el sistema en su totalidad tiene que ser eficaz, y no sólo cada uno de sus componentes. Por lo tanto es vital la coherencia entre los diferentes modos y partes interpuestas. Esto plantea el problema de cómo deberían coordinar las instituciones la movilidad urbana. La coordinación institucional es esencial ya que sin ella no puede haber integración sostenible. El órgano integrador, ya sea la autoridad organizadora, el principal operador o una organización tercera, debe

disponer de los medios necesarios para garantizar la unidad y la continuidad del sistema de transporte en colaboración con todos los actores a fin de conseguir una movilidad sin interrupciones a todos los niveles: físico, operacional, tarifario, informativo, etc. Todo ello es necesario para mantener la calidad de vida en nuestras ciudades, y el transporte urbano tiene la oportunidad de desempeñar un papel primordial en la producción de espacios urbanos que sean apropiados para vivir en ellos.

V.3. Anexos

Tabla 1.A Número de vehículos por ruta en HMD matutina. Cuerpo Oriente.

HORA	7:10 - 8:10
	AM
MOVIMIENTO	SALIDA

ORIENTE - 7:10-8:10 AM	
RUTA	UNIDADES
2	8
5	9
18	20
47	25
51	1
57	26
AUTOBUSES DEL VALLE DE MEXICO	95
AUTOBUSES NEZAHUALPILLI	4
B	9
FLECHA AMARILLA	2
GUADALUPANOS	6
JAJALPA	23
NEZAHUALCOYOTL	34
PERIFERICOS	6
SAN PEDRO SANTA CLARA	1
TEOTIHUACAN	0
TLATOANI	6
VIAJERO	9
Total general	283

Tabla 2.A Número de vehículos por ruta en HMD matutina. Cuerpo Poniente.

HORA	7:10-8:10
	PM
MOVIMIENTO	SALIDA

ORIENTE - 7:10-8:10 PM	
RUTA	UNIDADES
2	7
5	4
18	13
47	20
51	1
57	22
AUTOBUSES DEL VALLE DE MEXICO	101
AUTOBUSES NEZAHUALPILLI	3
B	9
GUADALUPANOS	9
JAJALPA	21
NEZAHUALCOYOTL	29
PERIFERICOS	5
TLATOANI	9
VIAJERO	28
Total general	281

Tabla 3.A Número de vehículos por ruta en HMD vespertina. Cuerpo Oriente.

HORA	7:10 - 8:10
	AM
MOVIMIENTO	SALIDA

PONIENTE - 7:10-8:10 AM	
RUTA	UNIDADES
18	34
47	22
51	2
57	4
A02	12
A05	8
AUTOBUSES DEL VALLE DE MEXICO	71
AUTOBUSES NEZAHUALPILLI	3
B	1
GUADALUPANOS	8
JAALPA	16
NEZAHUALCOYOTL	31
PERIFERICOS	4
TEOTIHUACAN	0
TLATOANI	3
Total general	217

Tabla 4.A Número de vehículos por ruta en HMD vespertina. Cuerpo Poniente.

HORA	7:10 - 8:10
	PM
MOVIMIENTO	SALIDA

PONIENTE - 7:10-8:10 PM	
RUTA	UNIDADES
18	24
47	20
51	1
57	3
A02	6
A05	16
AUTOBUSES DEL VALLE DE MEXICO	63
AUTOBUSES NEZAHUALPILLI	2
B	1
FLECHA AMARILLA	1
GUADALUPANOS	7
JAALPA	17
NEZAHUALCOYOTL	20
PERIFERICOS	6
SAN PEDRO SANTA CLARA	1
TEOTIHUACAN	1
TLATOANI	3
Total general	190

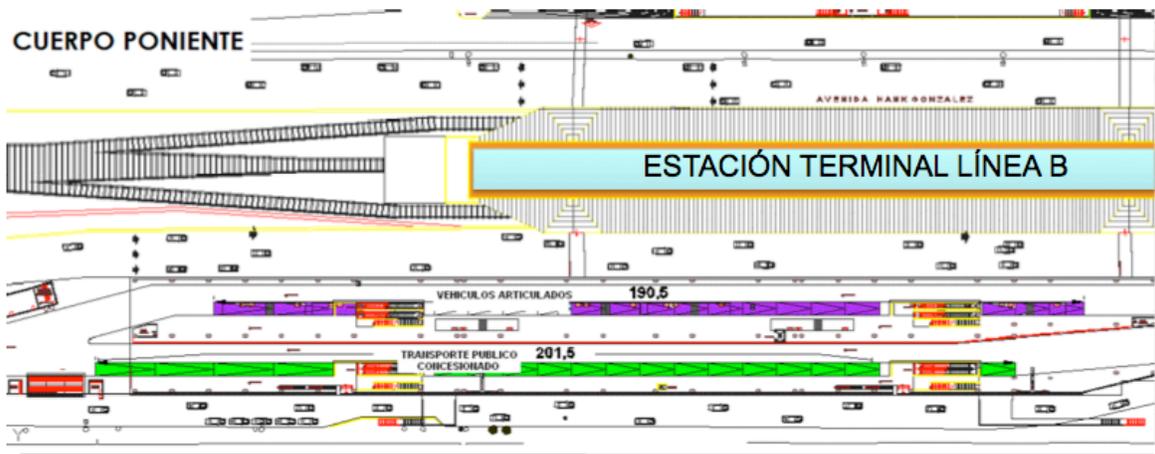


Figura 1.A Plano Cuerpo Poniente.

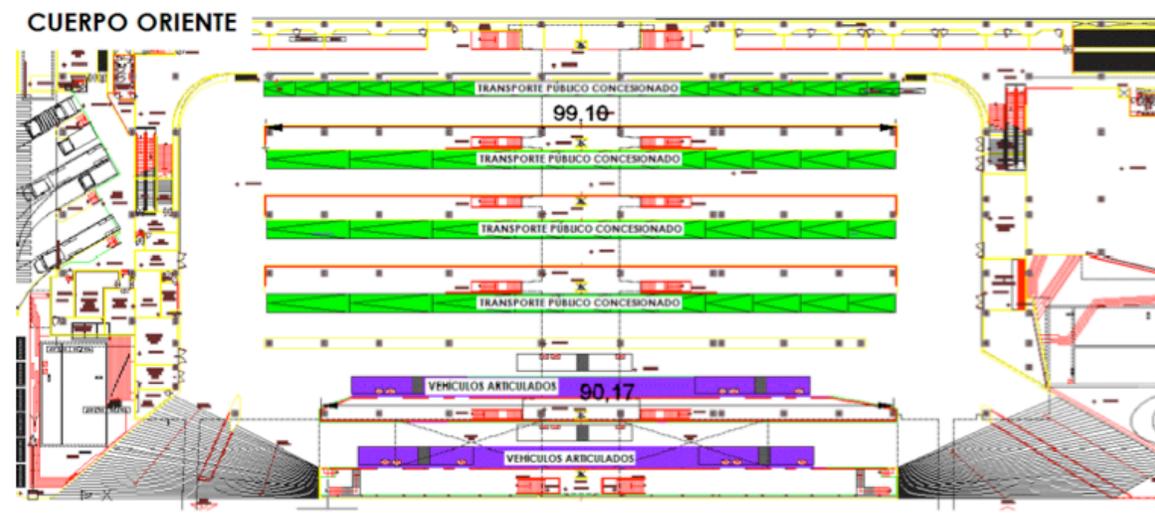


Figura 1.B Plano Cuerpo Oriente.

PROCESO	Precedimientos	Disparadores/Iniciadores	Tiempo	Parámetros controlables
ASCENSO	<ol style="list-style-type: none"> Llegada del usuario al punto de ascenso Llegada del vehículo al punto de ascenso 	<ol style="list-style-type: none"> El usuario solicita el servicio de transporte. 	<p>Determinado por la demanda y tipo de vehículo*</p>	<p>Ubicación de puntos de ascenso Tiempo de permanencia en el punto de ascenso</p>
SINCRONIZACIÓN	<ol style="list-style-type: none"> Acomodo de los vehículos en las bahías de ascenso Regulación de oferta del transporte entre ambos cuerpos Regulación de frecuencias entre rutas de máxima y baja demanda 	<ol style="list-style-type: none"> Demanda del servicio de transporte Llegada simultanea de distintas rutas, con distinta demanda y distintos tipos de vehículos Imprevistos en la dinámica vehicular 	<p>Proceso en tiempo real</p>	<p>Frecuencias de las distintas rutas Velocidades de los vehículos Tiempo de permanencia en las bahías de ascenso y descenso Tiempo de respuesta de los sistemas de control</p>
DESCENSO	<ol style="list-style-type: none"> Llegada de los vehículos al punto de descenso Desalijo de los usuarios del cuerpo de descenso 	<ol style="list-style-type: none"> El usuario solicita la transferencia a otro modo de transporte El usuario concluye su viaje 	<p>Determinado por la ocupación de cada vehículo*</p>	<p>Ubicación de puntos de descenso Tiempo de permanencia en el punto de descenso</p>
ENTRADA VEHICULAR	<ol style="list-style-type: none"> Entrada vehicular al cuerpo oriente Entrada vehicular al cuerpo poniente 	<ol style="list-style-type: none"> Transporte que solicita el uso de la ETRAM con o sin ocupación Transporte que solicita el uso del cuerpo de descenso como transición hacia el oriente 	<p>Determinado por el número de vehículos en al ETRAM</p>	<p>Frecuencias de las distintas rutas Velocidades Accesos a la ETRAM</p>
SALIDA VEHICULAR	<ol style="list-style-type: none"> Salida de vehículos del cuerpo oriente Salida de vehículos del cuerpo poniente 	<ol style="list-style-type: none"> Transporte que abandona la ETRAM con o sin ocupación 	<p>Determinado por el número de vehículos en la ETRAM</p>	<p>Velocidades</p>

Figura 1.C Matriz de desarrollo de algunos de los procesos de operación de la ETRAM

PROCESO	Parámetros controlables	Actores/ Roles	Actividades del proceso	Resultados
ASCENSO	<p>No. de vehículos por ruta presentes</p> <p>No. de vehículos en las proximidades</p> <p>Tiempo de ascenso de pasajeros</p>	<p>Usuarios: solicitantes del servicio</p> <p>CCD y SE: monitorean y controlan los parámetros de ascenso</p> <p>Transportistas: prestadores del servicio de transporte</p> <p>Punto de acceso: espacio físico asignado</p> <p>Vehículo: unidades de transporte público</p>	<p>Asignación de los lugares de ascenso</p> <p>Información al usuario sobre los lugares de ascenso</p> <p>Medición del tiempo de permanencia de cada vehículo</p> <p>Medición del tiempo de ascenso de pasajeros</p> <p>Modificación de las líneas de ascenso de acuerdo a la demanda</p>	<p>Tiempo de desdaje (límites)</p> <p>Reducción de demoras</p> <p>Tráfico vehicular fluido en el cuerpo de ascenso</p>
SINCRONIZACIÓN	<p>No. de vehículos por ruta presentes</p> <p>No. de vehículos en las proximidades</p>	<p>Demandas de transporte: administradores de la oferta de vehículos</p> <p>CCD y SE: controlan frecuencias y niveles de tránsito</p> <p>Transportistas: prestadores del servicio de transporte</p> <p>Vehículo: unidades de transporte público</p>	<p>Medición del porcentaje de ocupación de las tablas</p> <p>Orientación a los vehículos a la banda correspondiente</p> <p>Determinación de la desviación necesaria por ruta en función de la demanda</p> <p>Señalización de tránsito</p>	<p>Coordinación ligera entre unidades y su demanda</p> <p>Tránsito entre oriente y poniente fluido</p>
DESCENSO	<p>Tiempo de descenso</p>	<p>Usuarios: solicitantes del descenso</p> <p>CCD: regulan y controlan los parámetros de descenso</p> <p>Transportistas: prestadores del servicio de transporte</p> <p>Punto de descenso: espacio físico asignado</p> <p>Vehículo: unidades de transporte público</p>	<p>Asignación de los lugares de descenso</p> <p>Medición del tiempo de permanencia de cada vehículo</p> <p>Medición del tiempo de descenso de pasajeros</p> <p>Señalización al transportista sobre la oferta requerida en el oriente</p>	<p>Descenso rápido y cómodo para el usuario</p> <p>Tráfico vehicular fluido en el cuerpo de descenso</p> <p>Oferta potencial de transporte para el oriente</p>
ENTRADA VEHICULAR	<p>No. de vehículos</p> <p>Capacidad de los vehículos</p>	<p>Transportistas: solicitantes del uso de la ETRAM</p> <p>CCD y SE: justifican el acceso de los vehículos</p> <p>Vehículo: unidades de transporte público</p>	<p>Detección y monitoreo de los vehículos que acceden a la ETRAM</p> <p>Señalización de tránsito a la entrada</p>	<p>Ordenamiento de los vehículos que ingresan</p> <p>Reporte del ingreso vehicular</p>
SALIDA VEHICULAR	<p>No. de vehículos que salen</p>	<p>Transportistas: prestadores del servicio de transporte</p> <p>CCD y SE: monitorean la salida de los vehículos</p> <p>Vehículo: unidades de transporte público que abandonan la ETRAM</p>	<p>Detección y monitoreo de los vehículos que acceden a la ETRAM</p> <p>Señalización de tránsito a la salida</p>	<p>Abandono rápido y ordenado de la ETRAM</p>

Figura 1.D Matriz de desarrollo de algunos de los procesos de operación de la ETRAM

PROCESO	Procedimientos	Disparadores/Iniciadores	Tiempo	Parámetros controlables
ATENCIÓN DE AVERÍAS Y CONTINGENCIAS	<ol style="list-style-type: none"> Contingencias por siniestros (sismos, inundaciones e incendios) Emergencias médicas Contingencias por accidentes vehiculares Contingencias por averías 	<ol style="list-style-type: none"> Siniestros Usuarios o transportistas con requerimientos médicos urgentes Vehículos que necesiten desalojarse de la ETRAM urgentemente Ingreso de servicio de emergencia a la ETRAM 	<p>Determinado por los servicios de la llegada y óptimo de los servicios</p>	<p>Accesos a la ETRAM</p> <p>Salidas de la ETRAM</p> <p>Velocidades de los vehículos de transporte público</p> <p>Posiciones de los vehículos de transporte público</p>
ASIGNACIÓN DE VEHÍCULOS EN BAHÍA	<ol style="list-style-type: none"> Identificación de tipos de ruta en función de la demanda Monitoreo de capacidades y ocupación de las multillas Información al transportista de bahía y punto de ascenso asignado Preferencia de paso 	<ol style="list-style-type: none"> Demanda de transporte por ruta 	<p>Tiempo real</p>	<p>Frecuencia del punto de ascenso</p> <p>Ocupación de la línea para punto de ascenso</p> <p>Jerarquías de paso</p>
PERMANENCIA EN BAHÍAS	<ol style="list-style-type: none"> Reglas de ordenamiento en la línea de espera Definición de distancias entre vehículos Sanciones 	<ol style="list-style-type: none"> Llegada de vehículos a la línea de espera 	<p>En función de la ocupación de la línea de espera</p>	<p>Velocidades de los vehículos de transporte público</p> <p>Distancias entre vehículos</p> <p>Ocupación de la línea para punto de ascenso</p>
ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS	<ol style="list-style-type: none"> Identificación de rutas con alta demanda Identificación de tipos y capacidades del parque vehicular disponibles por ruta 	<ol style="list-style-type: none"> Demanda de transporte por ruta 	<p>Tiempo real</p>	<p>Velocidades de los vehículos de transporte público</p>
GENERACIÓN Y MONITOREO DE INDICADORES	<ol style="list-style-type: none"> Generación de indicadores Monitoreo de los indicadores 	<ol style="list-style-type: none"> Los procesos anteriores 	<p>Tiempo real</p>	<p>Frecuencia de generación de indicadores</p>
ATENCIÓN E INFORMACIÓN AL USUARIO	<ol style="list-style-type: none"> Generación de la información Despliegue de la información 	<ol style="list-style-type: none"> Cambios del estado de la operación Cambios en la oferta de transporte 	<p>Tiempo real</p>	<p>Información desplegada al usuario</p> <p>Medio para el despliegue: auditivo, visual o mixto</p>

Figura 1.E Matriz de desarrollo de algunos de los procesos de operación de la ETRAM

PROCESO	Parámetros controlables	Actores/Roles	Actividades del proceso	Resultados
ATENCIÓN DE AVISAS Y CONTINGENCIAS	No. de avisos Tipo de avisos Tiempo de llegada de los servicios de emergencias * excepto gratis	CCO y SE: controlan la circulación en las vías internas de la ETRAM Servicios de emergencia: atienden la contingencia y sus afectados Transportistas: cooperan con las indicaciones de los operadores Rutas de evacuación: guiar a los usuarios a las zonas de seguridad Zonas de seguridad: resguardar al usuario en lugares seguros Personal de seguridad: mantener el orden dentro de la ETRAM y orientar a los usuarios sobre los procedimientos en caso de una emergencia	Identificar el tipo de contingencia Solicitar el servicio de emergencia adecuado Coordinación de los recursos de la ETRAM para el rápido acceso y desalojo de los servicios de emergencia Orientación al usuario por parte del centro de control Coordinación entre personal de seguridad y centros de control Ubicar el lugar de la contingencia	Atención pronta de la contingencia Salvaguarda de la integridad de los usuarios Impacto mínimo a la operación e infraestructura de la ETRAM
ASIGNACIÓN DE VEHÍCULOS EN BAHÍA	Ocupación y capacidad de multillas Tipo de vehículos por ruta (tipos/vehículos)	CCO y SE: identifican necesidades de cada punto de acceso e informan a los transportistas Transportistas: prestadores del servicio de transporte Líneas de espera para vehículos: espacio asignado para el acomodo Vehículos: unidades de transporte público	Monitorizar ocupación de multillas Dar a conocer a los transportistas las rutas y el número de vehículos requeridos Monitorizar de puntos conflictivos Monitorizar de ocupación de líneas de espera para vehículos	Atención eficiente a la demanda requerida por cada ruta Ocupación regulada de las líneas de espera
PERMANENCIA EN BAHÍAS	Tiempo de acceso Tipo de vehículos por ruta	CCO y SE: monitorean que se cumplan las reglas de ordenamiento en la línea de espera Transportistas: prestadores del servicio de transporte Líneas de espera para vehículos: espacio asignado para el acomodo Vehículos: unidades de transporte público	Monitorizar ocupación de líneas de espera Verificar rutas en espera Monitorizar de velocidades de vehículos	Tiempo mínimo en la línea de espera Orden en rutas próximas a salir
ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS	Demanda de transporte No. de vehículos disponibles Capacidad de los vehículos	CCO y SE: monitorean ocupación en multillas, informan a transportistas del requerimiento de vehículos Transportistas: prestadores del servicio de transporte Vehículos: unidades de transporte público	Monitorizar ocupación en multillas Dar a conocer a los transportistas las rutas y el número de vehículos requeridos	Atención eficiente a la demanda requerida por cada ruta Reducción de demoras Evitar congestiones y saturación interna de la ETRAM
GENERACIÓN Y MONITOREO DE INDICADORES		CCO y SE: monitorean la recepción de parámetros y la generación de los indicadores y verifican su fiabilidad Herramientas de software: Procesan los parámetros y generan los indicadores	Observación y llenado de reportes periódicos con los indicadores * Supervisión del correcto funcionamiento de los instrumentos de software * Coordinación entre la supervisión interna y el CCO para verificar la fiabilidad de los indicadores	Bases de reportes de indicadores actualizados y confiables, tanto física como electrónica Visualización gráfica y medible del estado de la operación
ATENCIÓN E INFORMACIÓN AL USUARIO		CCO: Generación de la información y monitoreo de su fiabilidad SE: Verificación de la fiabilidad de la información y comunicación al CCO Usuarios: Recopilar de la información	1- Verificación de la correcta, suficiente y actualizada cantidad de parámetros e indicadores necesarios para la generación de información * 2- Generación de la información * 3- Verificación de la correcta elección del medio para enviar la información 5- Monitoreo de la información desplegada	Puntos confiables y clara de información del usuario

Figura 1.F Matriz de desarrollo de algunos de los procesos de operación de la ETRAM

V.4. Referencias

Referencias bibliográficas

- Mora, Carlos. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA MOVILIDAD Y EL TRANSPORTE PÚBLICO EN LA CIUDAD DE MÉXICO. México. 2006
- STC. EL METRO DE LA CIUDAD DE MÉXICO. 2007.
- SEDESOL. PROGRAMA DE ASISTENCIA TÉCNICA EN TRANSPORTE URBANO PARA LAS CIUDADES MEDIAS MEXICANAS. 2006.
- Arias, Carlos Alberto. CRITERIOS BÁSICOS DE DISEÑO DE CENTROS DE TRANSFERENCIA MODAL PARA LA CIUDAD DE MÉXICO. México, 2007.
- Silva, Miguel Ángel. EVOLUCIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS. SITUACIÓN VIAL DE LAS PRINCIPALES AVENIDAS DE LA CIUDAD. México. 2006.
- Moliner, Ángel. TRANSPORTE PÚBLICO: PLANEACIÓN, DISEÑO, OPERACIÓN Y ADMINISTRACIÓN. UAEM. 1997.
- BUS RAPID TRANSIT PLANNING GUIDE. The William and Flora Hewlett Foundation. USA. 2007.
- Dowling, Richard. GUIDELINES FOR APPLYING TRAFFIC MICROSIMULATION MODELING SOFTWARE. USA. 2002.
- Rico, Alfonso. GUÍA METODOLÓGICA PARA EL ESTUDIO DE SISTEMAS REGIONALES DE TRANSPORTE. Instituto Mexicano del Transporte. México. 2001.
- Guill, Mosseri. VISSIM MICRO-SIMULATION MODELING OF COMPLEX GEOMETRY AND TRAFFIC CONTROL: A CASE OF STUDY OF OCEAN PARKWAY, NY.
- Laufer, Julian. THE OPTIMISATION OF BUS STATION OPERATIONS IN VISSIM MICROSIMULATION. Australia. 2005.
- Robusté, Francisc. UN MODELO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO URBANO EN SUPERFICIE CONSIDERANDO EL TRÁFICO EN LA CIUDAD. Santander, España. 2002.

- Fernández, Rodrigo. MODELACIÓN DE PASAJEROS, BUSES Y PARADEROS EN MICROSIMULACIONES DE TRÁFICOS, REVISIÓN Y EXTENSIONES. España, 2006.
- CITIES ON THE MOVE: A WORLD BANK URBAN TRANSPORT STRATEGY REVIEW. The World Bank. USA. 2002.
- Julia, Jordi. METROPOLITAN NETWORKS. España. 2006.

Referencias electrónicas

- <http://www.metro.df.gob.mx/operacion/afluencia06.html>
- <http://www.revistalineas.com/Lineas16/noticia05-01.htm>
- <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/543/618>
- <http://www.fundicot.org/ciot%203/grupo%202/013.pdf>
- <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3414/6/42789-6.pdf>
- http://redpgv.coppe.ufrj.br/arquivos/Estudo_comparativo_sistemas_media_capacid.pdf
- <http://peit.cedex.es/encuentro5/ponencias/jordi.pdf>
- http://www.construmatica.com/construblog/2007/10/20/Las_ciudades_Top_5_en_Transporte_publico/
- <http://www.factoriaurbana.com/transportes/estaciones.php?id=2&a=Estaci%F3n%20Zaragoza%20Delicias>
- <http://www.paris.org/Gares/Austerlitz/>