



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS, PLANEACIÓN Y
TRANSPORTE**

ÁREA DE INVESTIGACIÓN: SISTEMAS DE TRANSPORTE

**“Análisis del flujo de usuarios de transporte
público al interior de un Centro de Transferencia
Modal”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A

ROBERTO EMMANUEL CORRAL MARTÍNEZ

DIRECTORA DE TESIS:
Dra. Florencia Serranía Soto



CIUDAD UNIVERSITARIA

MÉXICO, D.F. MAYO, 2009



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la vida y el ímpetu de alcanzar mayores y mejores metas a cada instante de mi vida. Para Él sea la honra y la gloria de todo cuanto hago.

A mi familia, por estar ahí siempre para apoyarme y empujarme a mantener la esperanza, la fe y el amor. Mi madre Irma Velia Martínez Islas, mi gemela Viridiana Corral Martínez y mi padre José Roberto Corral García, que con su amor y trabajo me otorgaron de los medios morales y físicos para alcanzar esta meta. Mis hermanos Claudia, Carlos y Rodrigo que con sus éxitos me invitaron a superarme. Mis primos David, Rodrigo, Alejandro y Jorge que me inspiraron con sus sueños y esfuerzos que nunca dejaron rendirme.

A mi alma máter, la benemérita Universidad Nacional Autónoma de México, que me proveyó de las herramientas suficientes para enfrentar cualquier reto profesional. Ella me compartió en sus aulas del conocimiento y madurez que forjan al ingeniero que el mundo de hoy necesita, un humano visionario, realista y luchador. A mis profesores, a quienes les debo la oportunidad de instarme a explorar el mundo de la Ingeniería Civil, pues siempre me ofrecieron de su sabiduría y de su confianza para ser un digno competidor y emprendedor de mis ideas.

A todos mis amigos, por ser mis compañeros de vida, con quienes comparto los saltos y tropiezos que nos llevan a la felicidad. Chacho, Fernando y Mauricio, con quienes sé que cuento y cuentan conmigo con el amor de hermanos.

Por último, pero no por eso menos importante, a la Dra. Florencia Serranía Soto, una mujer completa tanto en lo personal como en lo laboral, porque a través de su método de enseñanza y ahínco logré completar esta tesis.

A todos ustedes me debo y me comprometo a ser el mejor profesionista, llevando a México con orgullo en el corazón, a dondequiera, para hacer de mi país un líder y ejemplo ante el mundo de cómo se hacen las cosas bien hechas y que reditúan en beneficiosos para su población.



I N D I C E

	Página
INTRODUCCIÓN	3
I. ANTECEDENTES.....	6
I.1 Definición de CETRAM.....	6
I.2 Estado del arte de los CETRAM en el mundo	7
I.3 Funcionamiento actual de los CETRAM en México.....	9
I.4 Psicología de la movilidad de personas.....	13
I.5 Estudios ya realizado sobre la movilidad de usuarios.....	15
II. OBJETIVO Y ALCANCE.....	19
III. MARCO METODOLÓGICO.....	21
III.1 Condiciones generales para el Usuario.....	22
III.1.1 Teoría de Wiedemann sobre el seguimiento de personas.....	22
III.1.2 Parámetros antropométricos en la transferencia de usuarios.....	25
III.1.3 Niveles de servicio	26
III.1.4 Selección de instalaciones peatonales.....	28
III.1.5 Señalización y localización de información para usuarios.....	30
III.2 Condiciones generales para el Transporte Público.....	34
III.2.1 El Sistema de Transporte Colectivo Metro: sistema troncal de diseño.....	34
III.2.2 Transporte Público semi-masivo.....	35
III.2.3 Disposición de vehículos en los paraderos.....	36
III.3 Condiciones generales para el CETRAM.....	36
III.3.1 Estudio de aforo.....	37
III.3.2 Diseño arquitectónico del CETRAM.....	38
IV. PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....	41
IV.1 Transferencia de usuarios.....	41
IV.1.1 Asignación de flujos peatonales.....	41
IV.1.2 Selección de nivel de servicio.....	43
IV.1.3 Estudio preliminar de la capacidad de instalaciones peatonales.....	44
IV.2 Alineación de la operación del Transporte Público.....	45
IV.2.1 Sistema de Transporte Colectivo Metro, sistema de diseño.....	45
IV.2.2 Configuración geométrica del Transporte Público Semi-masivo en las plataformas de transferencia.....	46
IV.3. Operación del Centro de Transferencia Modal.....	47
IV.3.1 Determinación de la Hora Pico.....	48
IV.3.2 Paradero Oriente.....	50



IV.3.2.1 Frecuencia de atención.....	51
IV.3.2.2 Puntos de ascenso.....	51
IV.3.2.3 Multifilas.....	54
IV.3.3 Paradero Poniente.....	56
IV.3.3.1 Frecuencia de atención.....	57
IV.3.3.2 Puntos de descenso.....	57
IV.4 Simulaciones.....	59
IV.4.1 Con base al estudio de aforo.....	62
IV.4.2 Con base al Sistema de Transporte Colectivo Metro.....	64
V. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	66
V.1 Empate de la oferta del Sistema de Transporte Colectivo Metro con los datos del estudio de aforo.....	66
V.2 Optimización del planteamiento arquitectónico.....	67
V.2.1 En el paradero oriente.....	67
V.2.2 En el paradero poniente.....	70
V.2.3 Implementación de la señalización para el recorrido de los transeúntes.....	73
V.3 Capacidad del CETRAM.....	78
V.3.1 Afluencia peatonal atendida.....	78
V.3.2 Colas de espera de usuarios del transporte público.....	80
V.3.3 Tiempos de recorrido de pasajeros.....	82
V.3.4 Parque vehicular atendido.....	89
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92



INTRODUCCIÓN

El caminar es, dentro de la jerarquía de modos de transporte, el más importante y, a su vez, el más vulnerable medio para trasladarse de un sitio a otro, razón por la cual mundialmente se ha hecho conciencia de dicha situación. Un ejemplo de ello, es la Carta de los Derechos del Peatón, adoptada por el Parlamento Europeo, la cual se transcribe a continuación:

- El peatón tiene derecho a vivir en un entorno sano y a disfrutar libremente de los espacios públicos en condiciones que garanticen adecuadamente su bienestar físico y psicológico.
- El peatón tiene derecho a vivir en lugares (urbanos o rurales) pensados para las necesidades de las personas y no para las de los vehículos, y a disponer de dotaciones a distancias que pueda recorrer caminando o en bicicleta.
- Los niños, las personas mayores y los discapacitados tienen derecho a que las poblaciones sean lugares que faciliten el contacto social y no lugares que agraven su propia situación de debilidad.
- Las personas con discapacidades tienen derecho a medidas específicas que mejoren su movilidad autónoma, como reformas en los espacios públicos, los sistemas de transporte y el transporte público (línea guía, señales de advertencia, señales acústicas, autobuses y vagones de tren o tranvía accesibles).
- El peatón tiene derecho a que ciertas zonas urbanas sean para su uso exclusivo, lo más extensas posible, y que no sean simples recintos peatonales sino que estén en relación con la organización general de la ciudad, y también el derecho a que conecten itinerarios cortos, lógicos y seguros.
- El peatón tiene el derecho a reclamar, en particular: 1) que se tengan en cuenta los límites en cuanto a emisiones de sustancias y ruido que se consideran científicamente tolerables; 2) el uso en todos los medios de transporte público de vehículos que no sean una fuente de contaminación aérea o acústica; 3) la creación de pulmones verdes que incluyan la plantación de árboles en áreas urbanas; 4) que se fijen límites de velocidad y que se modifique la disposición de carreteras y cruces como forma de garantizar la seguridad de la circulación a pie o en bicicleta; 5) la retirada de anuncios que animen al uso peligroso e inadecuado de los vehículos de motor; 6) un sistema de señalización de tránsito eficaz cuyo diseño tenga en cuenta las necesidades de las personas ciegas y las sordas; 7) la adopción de medidas específicas que aseguren que tanto el tránsito vehicular como el peatonal tengan facilidad de acceso y libertad de movimientos así como la posibilidad de pararse en las aceras y las calzadas respectivamente; 8) ajustes en la distribución y el diseño de los vehículos de motor para dotarles de unas líneas más suaves en las partes que más sobresalen, y hacer más eficientes los sistemas de señalización; 9) la introducción de un sistema de responsabilidad ante el riesgo, de modo que la persona que crea el peligro carga con las consecuencias económicas derivadas; 10) un programa de formación para conductores diseñado para animar a una conducción apropiada que respete a los peatones y a los usuarios lentos de las carreteras.



- El peatón tiene derecho a la movilidad total y sin impedimentos, que puede conseguirse mediante el uso integrado de medios de transporte. En particular tiene el derecho a exigir: 1) un servicio de transporte público ecológicamente sensato, extenso y bien equipado que deberá cubrir las necesidades de todos los ciudadanos, los sanos y los discapacitados; 2) la provisión de facilidades para bicicletas en todas las áreas urbanas; 3) zonas de estacionamiento situadas de tal forma que no afecten a la movilidad de los peatones ni a la capacidad de disfrutar de áreas de arquitectura notable.
- Cada estado miembro debe garantizar la difusión de información extensa sobre los derechos de los peatones y sobre medios de transporte alternativos y no contaminantes, a través de los canales más idóneos y desde los primeros niveles de enseñanza.

La necesidad del transporte o movimiento de personas surgió con los primeros pobladores de este planeta. Su condición inicial de nómadas, por la falta de alimento, los obligó a cambiar de lugar constantemente. El modo de transporte conocido hasta ese momento era el de caminar y así comenzó a poblarse la Tierra. El tránsito peatonal representa el nivel básico de modo de transporte, todo viaje comienza y termina a pie, incluso si sólo implica el llegar hasta el automóvil. El caminar es más conveniente, asequible y usualmente más rápido que cualquier recorrido vehicular hasta 400 metros (Vuchic, 2000). Las más grandes limitantes para este modo es la baja velocidad, el esfuerzo físico requerido (especialmente en caminos con pendiente positiva grande), obstáculos en zonas donde no hay fomento al tránsito peatonal e inconvenientes de caminar bajo condiciones inclementes de clima.

Debido a sus características superiores para viajes cortos, con alta densidad y diversos, el tránsito peatonal es por mucho el modo más conveniente y eficiente en zonas como Centros de Transferencia Modal (CETRAM), plazas comerciales, campus universitarios, etc. Por tal motivo, es imperante, para la eficiencia y el atractivo de estos centros, diseñarlos para la mayor conveniencia y seguridad del usuario y darle prioridad a este modo de transporte sobre el tránsito vehicular o la total separación de éste.

Aunque hay una gran variedad de opciones de transporte para diferentes tipos de condición social, política, cultural y económica, el enfoque de la capacidad y por lo tanto, del servicio, es un problema generalmente mal entendido. La mayoría de las veces, debido a una deficiente planeación o a un tiempo insuficiente para la entrega del proyecto, los sistemas de transporte no satisfacen la demanda y además son rebasados por las necesidades de los usuarios, obteniendo como resultado una mala inversión monetaria, pérdida de tiempo y una total insatisfacción por parte de las personas.

Es importante resaltar lo innegable del hecho que “la eficiencia de un sistema de transporte es un índice del desarrollo de un país” (Martínez, 2005). Recordando aquí que un sistema se define como un grupo o conjunto de partes o elementos que se utilizan para un propósito común, tan interrelacionado que el cambio de o en una de sus componentes causa un efecto cadena sobre las otras.



La planeación y organización de los sistemas de transporte puede clasificarse por sus objetivos, enfoque y jurisdicción en cuatro niveles (Vuchic, 2000) que van desde los elementos propios de un sistema de transporte hasta considerar a la ciudad como un sistema integral de transporte. El *Nivel I* se refiere a la planeación, diseño y operación de una sola parte de un sistema de transporte: un centro peatonal, una intersección, un tramo de vía férrea. El *Nivel II* abarca a la red del sistema de transporte en cuestión como puede ser un conjunto de calles o las distintas rutas de un sistema de transporte escolar. El *Nivel III* comprende el multimodalismo del transporte al poder cooperar entre diferentes modos para un fin en común. Finalmente, el *Nivel IV* y al que buscamos llegar, se ubica en el balance de las urbes y los sistemas de transporte. Aquí es donde el transporte como sistema funcional se planea en relación a las actividades residenciales, económicas y sociales, con el entorno físico o medio ambiente.

Los transportes desempeñan un papel esencial en la vida moderna. Difícilmente se puede concebir una sociedad futura en la que no continúen siendo de primordial importancia. Primero, porque se encargan de esparcir o concentrar a una población, por su carácter de interrelacionar a las personas, por ejemplo, mientras que hacen uso de un modo de transporte o cuando esperan ser atendidos en una parada de transporte público. Segundo, debido a que trae valor agregado (comercios, escuelas, oficinas) a una demarcación territorial. Y tercero, ya que garantiza seguridad de vida mediante su comunicación con bienes y servicios.

Una vez presentadas las razones de esta tesis, se continúa con la exhibición de los trabajos anteriores y conceptos fundamentales en el Capítulo II de Antecedentes que, bajo el mismo tenor, respaldan esta tesis. En el Capítulo III de Objetivo y Alcance, se fija la intención de analizar el flujo peatonal de usuarios de transporte público al interior de un CETRAM. Posteriormente, en el Capítulo IV se despliega el Marco Metodológico que incluye todos los elementos y procedimientos requeridos para el estudio requerido. La descripción de cómo se adecuarán esos componentes al esquema de trabajo de esta tesis al caso concreto del CETRAM de análisis se muestra en el Capítulo V de la Propuesta de Solución. Una vez que se hubo determinado el funcionamiento del CETRAM de diseño a través de las simulaciones se examina si lo esperado corresponde a lo real en el Capítulo VI de Análisis de Resultados. Finalmente las Conclusiones y Recomendaciones del Capítulo VII expresa lo hallado por este trabajo y las líneas futuras de investigación.

Nota: Sírvase a hallar los archivos digitales anexos en el disco compacto incluido con esta tesis:

1. Tesis completa dividida por capítulos.
2. Presentación de tesis para examen profesional.
3. Videos de simulaciones de escenarios Aforo y Metro en paraderos Oriente y Poniente.
4. Datos de tiempos de recorrido de pasajeros de escenarios Aforo y Metro en paraderos Oriente y Poniente.



I. ANTECEDENTES

En esta sección se presentan los conceptos clave de la transferencia de personas dentro de un Centro de Transferencia Modal (CETRAM). Se incluyen los avances en México y el mundo sobre este mismo tema, y las investigaciones realizadas para la comprensión del comportamiento del seguimiento entre los peatones.

I.1 Definición de CETRAM

Un CETRAM es aquella infraestructura o edificio que permite a las personas aumentar y transferir su viaje entre dos o más modos de transporte.

La logística del transporte o movilidad de las personas, que involucra a los CETRAM, tiene como objetivo reducir tiempos y costos (esfuerzo físico) en el recorrido origen-destino de los usuarios. Los tres tipos de transportación que la gente puede elegir para desplazarse son los siguientes (Vuchic, 2000):

1. El transporte privado.- incluye a los modos de caminar, bicicleta, motocicleta, automóvil privado, ofrece al usuario la mayor libertad de movimiento por ser rápido, flexible y adaptable en el tiempo-espacio.
2. El transporte público o masivo.- accesible y disponible para la mayor parte de la población en lugar de sólo para los dueños de algún vehículo. Posee mucho mayor capacidad para transportar personas por vehículo, menores requerimientos de superficie y muchos menos efectos negativos que el transporte privado como son la emisión de gases contaminantes.
3. El transporte de ruta no fija.- comprende a modos como el taxi y semejantes. Mientras que su cuota por viaje es considerablemente mayor que la del transporte público, brinda un servicio más personalizado y cómodo. En muchos lugares, este tipo de transporte es el más eficiente para atender a la gente con capacidades diferentes.

Vale la pena explicar que la palabra “modal” tiene varias acepciones dependiendo de la condición de transferencia (Martínez, 2005):

- a. Intramodalismo.- ocurre cuando el transbordo de personas es entre dos vehículos de la misma modalidad. Por ejemplo, camionetas, autobús, pesera. Normalmente se utiliza cuando la distancia a recorrer es corta.
- b. Intermodalismo.- se da cuando el transbordo de pasajeros es entre dos vehículos de distintas modalidades. Por ejemplo, la conexión existente entre el Metro y un avión, posible en la Ciudad de México a través de la estación de Sistema de Transporte Colectivo Metro: Terminal Aérea.
- c. Multimodalismo.- se utilizan varios modos de transporte para el traslado. Por ejemplo, autobús-avión-barco. En la actualidad este tipo de transferencia ha tenido mucho auge por su elasticidad en rutas y costos.



I.2 Estado del arte de los CETRAM en el mundo

La introducción de un nuevo sistema de transporte público otorga la oportunidad de integrar redes de transporte existentes, puntos de transferencia con los modos de transporte ya existentes y/o crear conexiones nuevas. Esto permite que los peatones gocen de una amplia gama de opciones para viajar de un mismo punto a otro, optimizando su tiempo de recorrido, tarifa de viaje, comodidad y seguridad.

Se presentan a continuación ejemplos de sistemas de transporte con CETRAM integrados en algunas ciudades del mundo. Estas ciudades han alcanzado un nivel de desarrollo exitoso en materia de transporte sustentable para el usuario, que implica los ámbitos ambiental, social, económico y tecnológico.

BORDEAUX y MONTPELLIER (Francia)

En Francia los nuevos sistemas de tranvía han sido utilizados como catalizadores para analizar y racionalizar al transporte público con el que se cuenta. Los tranvías franceses se encuentran separados de las demás rutas de autobuses por paradas de intercambio o CETRAM, en los que los pasajeros optan entre los diferentes modos de transporte. El diseño conceptual de los CETRAM varía desde Bordeaux, donde los puntos de transferencia entre el tranvía y los autobuses están separados pero conectados entre sí por señalamientos, hasta Montpellier donde la principal CETRAM en el centro de la ciudad, Corum, está compuesta por una misma plataforma con una cubierta de cristal que aloja a los usuarios que transfieren entre los autobuses regionales y el tranvía en el mismo paradero. El sistema de tranvía en Bordeaux fue inaugurado en el 2004 con una longitud de 25 kilómetros de vía y 47 paradas para atender a una urbe de 215 mil usuarios. Por su parte, en Montpellier, con una población de 230 mil ciudadanos, existe una red de tranvía con extensión de 15.3 kilómetros y 28 estaciones, la mayoría de las cuales cuentan con estacionamientos que hacen más atractiva la transferencia.

NOTTINGHAM (Gran Bretaña)

El nuevo sistema de transporte a base de tranvía fue inaugurado en 2004, tiene una extensión de 14 kilómetros y 23 estaciones. Es el resultado de una visión a largo plazo de la administración del tránsito y oferta de transporte público en esta urbe con una población de 270 mil personas. El objetivo principal del proyecto fue el de garantizar que las personas contaran con un acceso fácil al transporte público. Cuenta con CETRAM en las estaciones de Hucknall y Station Street que permiten al usuario optar entre el tranvía y el tren regional. El Servicio Exprés de Transporte Público de Nottingham (NET, por sus siglas en inglés) cuenta con cinco instalaciones de estacionamientos del tipo transferencia que permiten a las personas acercarse a la estación en coche, estacionarlo y abordar el tranvía a un destino más lejano, ahorrándoles gasolina y tiempo.



SAARBRÜCKEN y HEILBRONN (Alemania)

La principal meta de implementar un nuevo sistema de transporte público era la de reducir el congestionamiento vial en un 20 por ciento que entre otros aspectos negativos, generaba gases contaminantes y ruido aturdidor para los pobladores de esta región. Para lograr esto el sistema local de autobuses hubiera tenido que aumentar su flota en un 65 por ciento, lo que no era viable. En el 2001, la opción de un tren ligero considerada por los planificadores como el único modo de transporte que convendría al peatón y cumpliría con sus expectativas de un servicio rápido, cómodo y frecuente, fue posible. Las estaciones del tren ligero cuentan con instalaciones para pagar de antemano el boleto de viaje, bancas para sentarse y tablas electrónicas de tiempos de arribo con cuenta regresiva, que simplifican el estrés del que los pasajeros son víctimas al transbordar entre distintos modos de transporte. La parada de Johanneskirche cuenta con un diseño artístico que atrae a pasajeros por su ambiente vivo y agradable, mejorando el entorno social y de seguridad de la zona. Las 22 estaciones o Hauptbahnhofs cuentan con conexiones con las demás rutas de autobuses, para servir a 18 mil 500 usuarios de la zona. En Heilbronn el CETRAM que combina la estación de trenes, autobuses y tranvías ha sido diseñado de forma similar con cubiertas de cristal, resaltando la fusión de la red de transporte con el ambiente urbano. Esta CETRAM incluye el desarrollo de una plaza peatonal entre la parada del tranvía, los autobuses y la entrada principal de la línea del tren, que permite al usuario gozar de un ambiente más placentero. Tanto en Heilbronn como en Saarbrücken las rutas de autobuses comparten el uso de suelo con el tranvía así como en sus puntos de transferencia.

OSLO (Noruega)

Cuenta ya con una extenso e integrado sistema de transporte público sustentado por cinco diferentes modos: autobuses, tranvías, trenes y botes. La red de tranvías está siendo extendida de manera equitativa para apoyar la oferta del metro y garantizar que sus usuarios cuenten con una infraestructura suficiente para llegar a donde requieran. En el 2004 se terminó de construir toda la red que cuenta con 13 estaciones y atiende a una población de 500 mil habitantes. La parada en el centro de la ciudad, dentro de Town Square, permite la transferencia de pasajeros con el servicio de botes en el embarcadero. Aquí no existe un intercambio formal como una CETRAM o espacio físico con cubiertas de cristal, en cambio la estación de tranvías está situada apropiadamente entre el embarcadero y las distintas plazas peatonales, entre el centro de la ciudad y Aker brygge. En Forsknings Parken, al norte de la ciudad, existe un CETRAM donde cruzan las líneas del metro y del tranvía. La conexión ocurre a distintos niveles del suelo con el tranvía circulando por debajo del metro, gracias a una serie de rampas y escaleras. Es importante resaltar la importancia que se le ha dado al modo de transporte por bicicleta con el diseño de ciclistas, servicio de renta y acondicionamientos en las estaciones para estacionarlas. Así Oslo ofrece a sus habitantes la opción de transportarse a diferentes tarifas, por cualquier medio y con el goce de siempre ir resguardado por un vehículo o CETRAM.



I.3 Funcionamiento actual de los CETRAM en México.

Los CETRAM nacen como una necesidad en México a partir del año 1969, como instalaciones complementarias a las terminales del Metro, ejemplos de este caso son Chapultepec, Escuadrón 201, San Lázaro, Zaragoza. Para el año siguiente aparecieron las centrales de autobuses foráneas (Norte, Sur, Tapo, Observatorio) a las que también se le sumaron CETRAM como el de Taxqueña. Al mismo tiempo comenzaron a proliferar los paraderos y los destinos cubiertos por el sistema de transportes terrestres debido a la apertura de las demás líneas del Sistema de Transporte Colectivo Metro (STC-Metro), para consolidar la red existente de CETRAM. Uno de los más recientes es el CETRAM Canal de Garay que inició operaciones en marzo de 2004, el cual tiene subutilizada su capacidad (<http://www.setravi.df.gob.mx>).

Pasando por gestiones distintas desde Servicios Metropolitanos, S.A. de C.V. (SERVIMET) en 1983, luego la del STC-Metro (1986-1993) y hasta la de las delegaciones políticas, quedó finalmente a disposición de la entonces Coordinación General del Transporte, antecesora a la Secretaría de Transporte y Vialidad (SETRAVI), creada en 1995.

Entre 1999 y 2000, el Comité de Patrimonio Inmobiliario del Distrito Federal, por unanimidad acuerda que: "se autoriza la asignación de los inmuebles denominados Centros de Transferencia Modal, a favor de la Secretaría de Transportes y Vialidad (SETRAVI), para que los utilice en las áreas operativas de los CETRAM, a fin de lograr un adecuado cumplimiento de sus funciones, para la posesión, vigilancia, conservación y administración, fines de interés social y las relativas a la regularización y en su caso, a la capacidad de representar expresamente el interés del Gobierno de la Ciudad y que forma parte de la infraestructura del transporte".

En México existen 46 CETRAM de los cuales 39 conectan a estaciones del STC-Metro y/o tren ligero. Cubriendo una superficie de 791 mil 172 metros cuadrados (aproximadamente 80 hectáreas), en ellos desempeñan su trabajo 217 rutas y empresas de transporte, las cuales cubren alrededor de mil 217 destinos por la ciudad, 45 por ciento provenientes del Estado de México, con 23 mil unidades de transporte público. En la Figura I.3-1 podemos ver la distribución de esa superficie por CETRAM en el 2003.

De los 46 CETRAM, 23 son administrados directamente por la SETRAVI, 13 únicamente son supervisados y 10 no presentan ningún control. En los centros administrados participan 217 empresas de transporte que dan servicio a 1 mil 300 destinos.



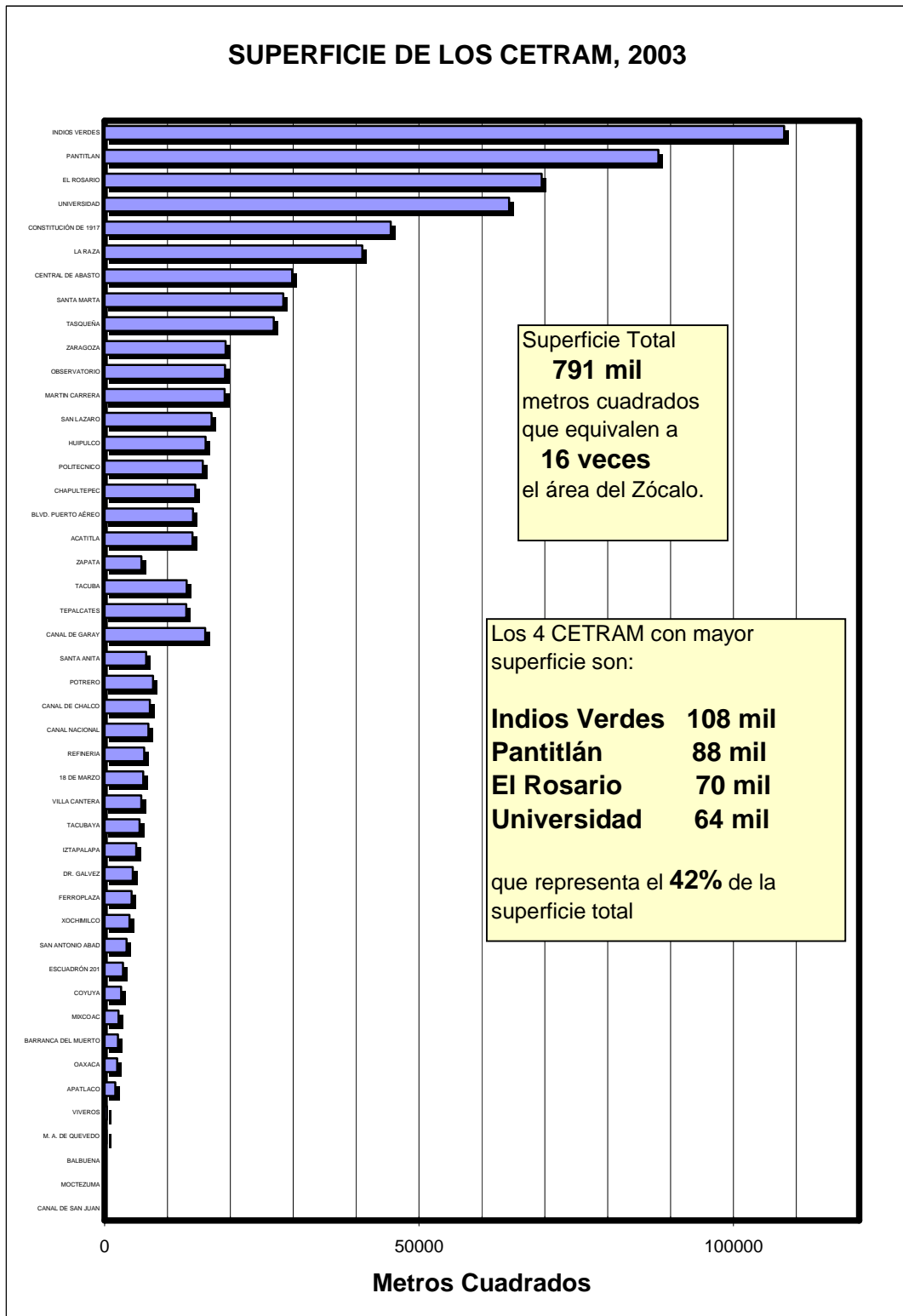


Figura I.3-1. Superficie de los CETRAM en el 2003.



El número de usuarios que utilizan los CETRAM diariamente (2003) en la zona metropolitana se estima ser de unos 4.5 millones, 33 por ciento de los cuales se reparten en Indios Verdes, Pantitlán, Taxqueña y Chapultepec, que son los CETRAM de mayor afluencia. Esta relación se exhibe en la Figura I.3-2.

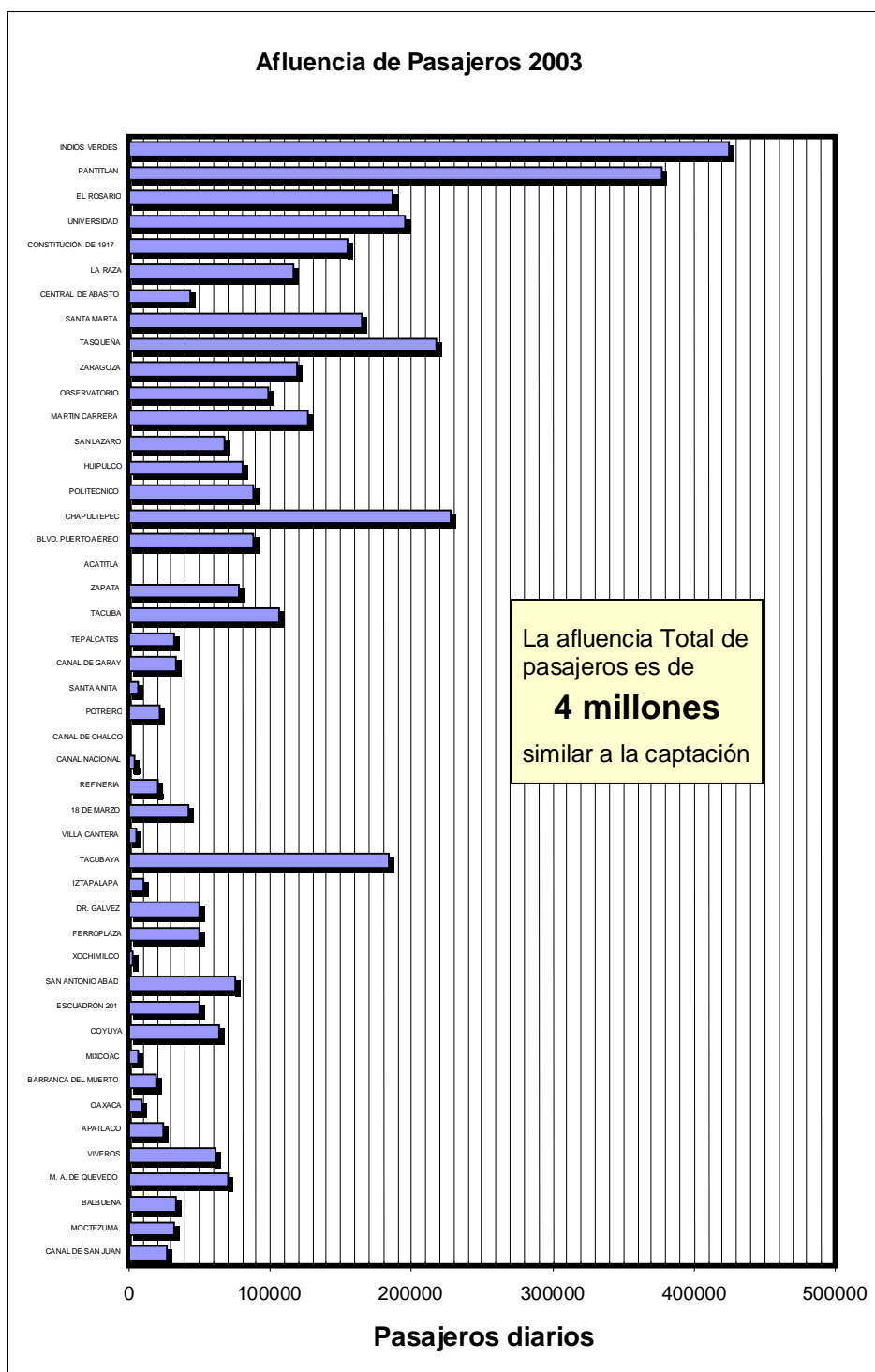


Gráfico I.3-2. Volumen de pasajeros por CETRAM en el 2003.



En la Figura I.3-3 se puede apreciar la ubicación de los CETRAM registrados con respecto a los principales ejes viales de la ciudad.

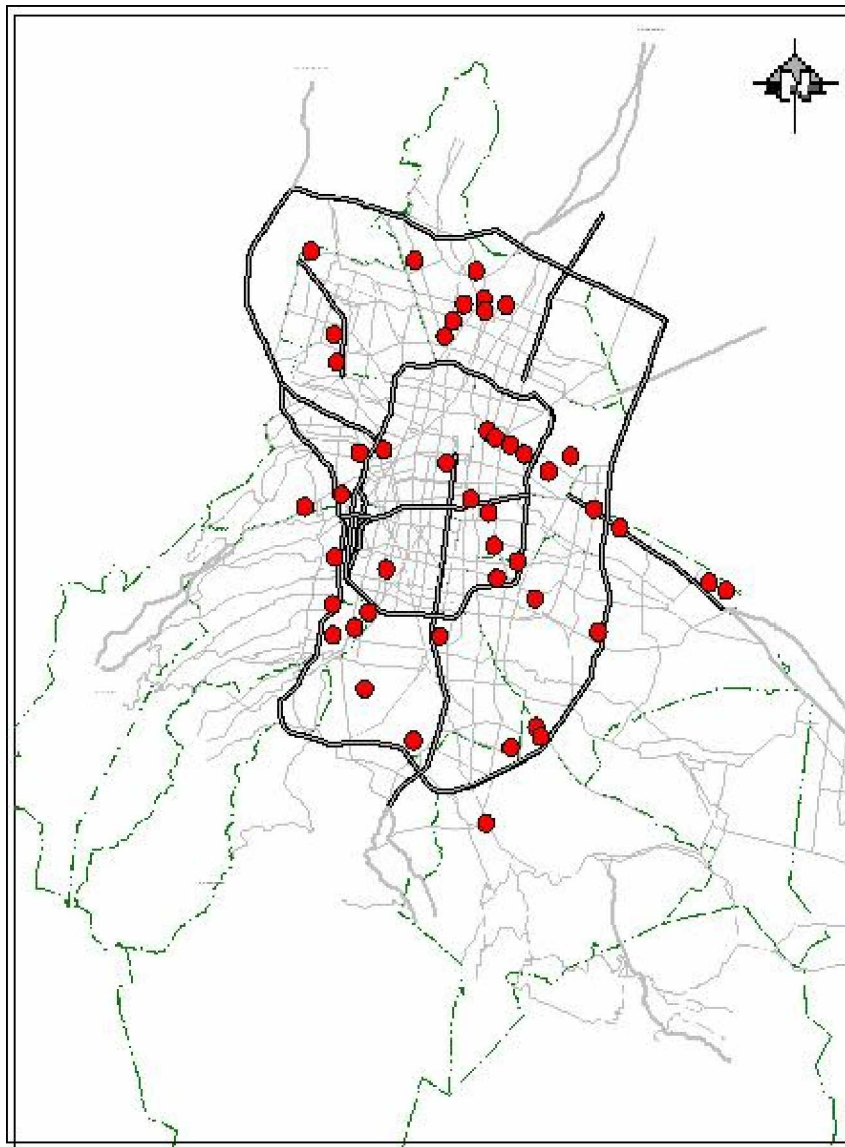


Figura I.3-3. Localización de los CETRAM en México.

Los CETRAM están distribuidos de manera estratégica en las diferentes delegaciones del Distrito Federal, exceptuando Cuajimalpa, Magdalena Contreras, Milpa Alta y Tláhuac. En la Figura I.3-4 se muestra su distribución.



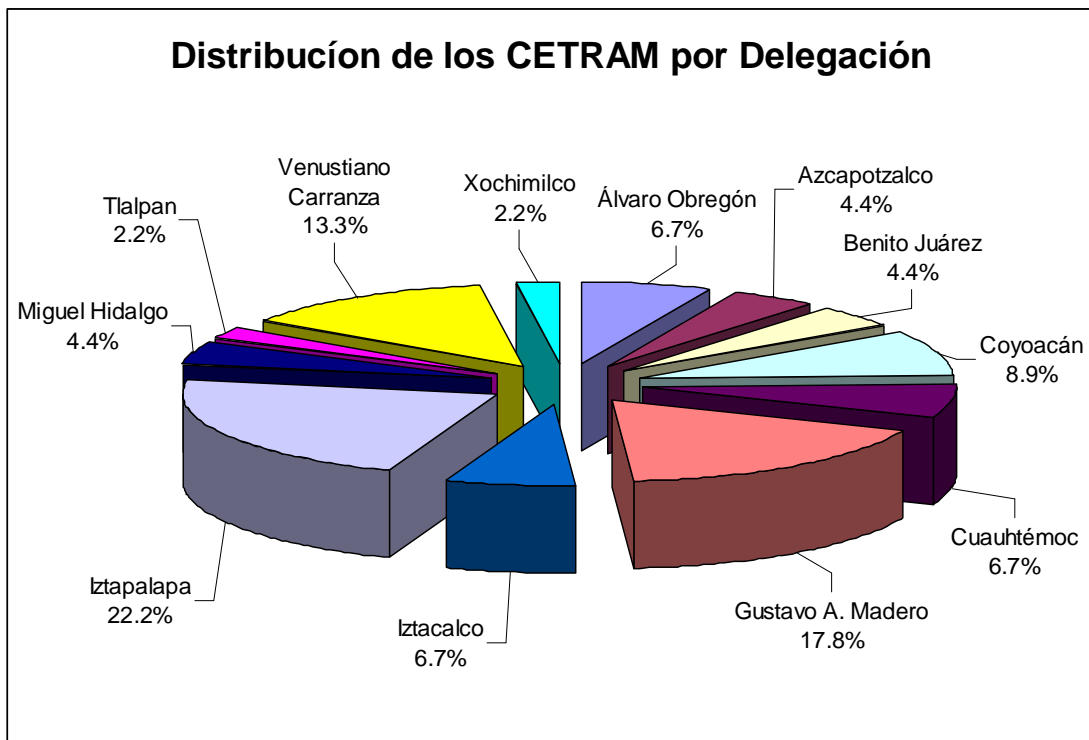


Figura I.3-4. Relación de CETRAM por delegación en el Distrito Federal.

I.4 Psicología de movilidad de las personas

El comportamiento del usuario es difícil de modelar especialmente cuando tenemos una población tan mezclada por razones sociales, económicas y de cultura. Mientras que las personas se hallen en un espacio aislado cuyas características sólo dependen de ellas mismas, es fácil conocer sus reacciones ante situaciones establecidas. Por otro lado, cuando la gente hace uso de una misma instalación y solicitan que sus características satisfagan los intereses de cada individuo ocurre una interacción inevitable. Es aquí donde la movilidad de las personas requiere de una buena planeación, pues de lo contrario dicha instalación se volvería inoperable y por ende, sucederían conflictos entre los usuarios.

Existen dos tipos de reacciones en los individuos: la *reacción física o condicionada* y la *reacción psicológica* (Cal y Mayor, 2007).

La primera se refiere a aquel comportamiento en que la persona se anticipa a la situación por conocer, de alguna forma, el resultado de la misma. Cuando el peatón ya anduvo cierto camino reconoce desde el diseño geométrico de la zona como son baches, esquinas, hasta tiempos de semáforos para el cruce de intersecciones viales. La reacción condicionada permite a los usuarios agilizar su movimiento en su recorrido a través de una ruta y una mayor velocidad de reacción al tener que cambiar de dirección. Aquí se explica la dificultad de aceptación por parte de las personas cuando se intenta implementar un cambio en



las condiciones de tránsito o restricciones como son señalamientos. Si un peatón está acostumbrado a circular por dentro una Estación de Transferencia Modal, que es el caso de esta tesis, y de un día para otro le invierten los accesos de entrada y salida, puede hasta entrar en crisis sobre si se encuentra o no en la estación correcta. Por lo general el hábito o la experiencia que ha adquirido el usuario, es la mejor defensa contra los accidentes.

La reacción psicológica, por su parte, tiene que ver con el estado físico-emocional y las condiciones psíquico-mentales del individuo. Se trata de un proceso intelectual que culmina en un juicio. Se puede imaginar el diagrama de cómo llegan esas emociones, esos estímulos, al cerebro, a través de los órganos sensitivos del hombre: tacto, oído, vista, etc. Las órdenes circulan a través de las células, los tejidos, los músculos y los aparatos del cuerpo para llegar al cerebro donde se analiza la información y se envía de vuelta la respuesta. Es importante resaltar que para este caso, de peatones y su transferencia en un sistema de transporte, el sentido que gobierna el estímulo entregado es el ojo. Los defectos más comunes de la vista son: miopía, presbicia, astigmatismo y estrabismo. Aunque éstos pueden ser corregidos a través de la adaptación de lentes o intervenciones quirúrgicas es importante considerarlos en el diseño de señalamientos e indicaciones para los usuarios con el fin de que el transporte no sea fácil y entendible accesible para todo público. Medidas que permiten este propósito son el uso de colores distintivos para cada tipo de señalamiento, figuras ortogonales específicas para cada indicación, letras grandes que incluyen sólo la información necesaria, etc.

El tiempo de reacción se define como aquel en el que ocurren los siguientes procesos:

- a) Percepción.- la capacidad del peatón de predecir y/o advertir a través de los sentidos.
- b) Identificación.- reconocer o distinguir de qué trata la situación.
- c) Juicio.- valorar las opciones existentes.
- d) Reacción.- el momento en el que se lleva a cabo la acción de seguir, parar o cambiar de dirección.

Toda acción-reacción conlleva la participación de los cuatro factores anteriores. Se ha encontrado que el tiempo mínimo de reacción promedio de los individuos, cuando no están en movimiento, es de 0.25 segundos. Este tiempo es, por ejemplo, el que tarda un peatón que está parado esperando a que abran las puertas del Metro para abordarlo y dé el primer paso. De acuerdo con pruebas que se han efectuado con semáforos para peatones aislados, los tiempos promedio de reacción fueron los siguientes: 0.25 segundos, cuando la persona estaba parada esperando a cruzar, y 0.83 segundos, cuando está andando, dependiendo de las circunstancias del tránsito y las velocidades. Se vio que en algunos casos podía llegar hasta 2 ó 3 segundos (Cal y Mayor, 2007).

Los factores que pueden modificar las facultades del peatón en el tiempo de reacción son:



- la fatiga,
- las enfermedades o deficiencias físicas,
- el alcohol y demás drogas,
- su estado emocional,
- el clima,
- la época del año,
- las condiciones del tiempo,
- la altura sobre el nivel del mar y/o
- el cambio del día a la noche y viceversa.

I.5 Estudios ya realizado sobre la movilidad de usuarios

Existe literatura abundante sobre la modelación del comportamiento de seguimiento entre peatones. Aunque es difícil comparar estos estudios entre sí por los distintos enfoques que abarcan, podemos emplear sus resultados para darnos una idea de qué esperar para el fin de esta tesis. Estas investigaciones proponen soluciones que refuerzan el marco teórico considerado para la mejor propuesta de operación del CETRAM considerado.

En Holanda, como seguimiento a la Conferencia de Simulación de Invierno, se presentó el artículo sobre la “Simulación del modelo de comportamiento de viaje de pasajeros de la red de tren” (Li *et al*, 2006). Esta investigación busca modelar los flujos peatonales de usuarios del tren en función de la diferenciación de la tarifa de recorrido con respecto al espacio-tiempo. Proponen que el comportamiento de los usuarios y por lo tanto, su elección de viaje, puede entenderse por tres rubros que se presentan en la Figura I.5-1.

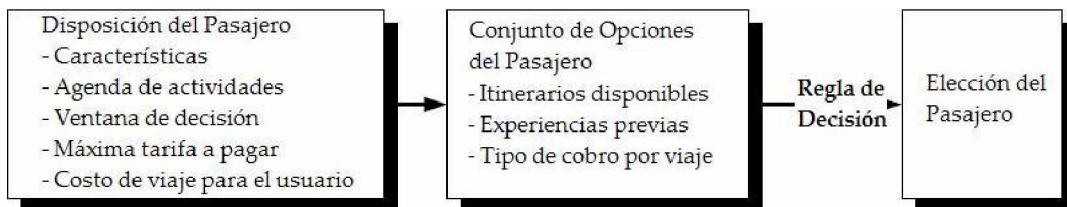


Figura I.5-1. Modelo de comportamiento de un usuario al elegir su modo de transportación propuesto por Ting Li *et al* (2006).

1) La disposición del pasajero.- que implica sus características como son edad, ingreso, educación, posesión o disponibilidad de vehículo propio, etcétera; su agenda de actividades, es decir, la ubicación, la duración, el inicio-término y el propósito de actividad, de donde se infiere la frecuencia de viajes, distancias de traslados, propósitos de viaje y orígenes-destinos, para la planeación de traslados; ventana de decisión, desde no realizar el viaje hasta cambiar de modo al automóvil privado en vez del tren; tarifa máxima que el pasajero está dispuesto a pagar y el costo de la persona por viajar como son el tiempo de recorrido, el precio del boleto, alineación de tiempos propios con el itinerario del tren; 2) el conjunto de opciones del pasajero.- itinerarios existentes, experiencias previas y el tipo de



cobro por viaje y 3) la elección del pasajero.- con base a la oferta presentada el usuario es quien toma la última palabra, siguiendo su regla de decisión de hora de partida, ruta, modo y tarifa, con la que minimice, en la medida de lo posible su costo de viaje.

En Maracaibo, Venezuela, la Plaza Baralt fue objeto de estudio para el realce de este centro peatonal con el uso de la herramienta de simulación *Simwalk* fundamentada en la teoría de autómatas celulares. Jane Espina y Francisco Rincón, los autores de este artículo: “Simulación como herramienta de planificación urbana: Plaza Baralt” (2007), proponen tres escenarios donde analizan primero la situación actual, con los puntos de entrada, de salida y de espera de los edificios que componen la plaza para encontrar puntos conflictivos y de confort de los peatones. Luego, generando variantes en los usos y equipamiento urbano, influenciando a las personas a modificar sus recorridos por la plaza reviviendo espacios perdidos y aminorando puntos de concentración de masas. Finalmente en el escenario tres se estima la aparición de una estación del Metro en la Plaza Baralt manteniendo las variantes considerados en el escenario anterior, para conocer la capacidad del centro peatonal. En la Figura I.5-2 se observa la configuración de la propuesta desarrollada. Los flujos peatonales están representados por las líneas grises.

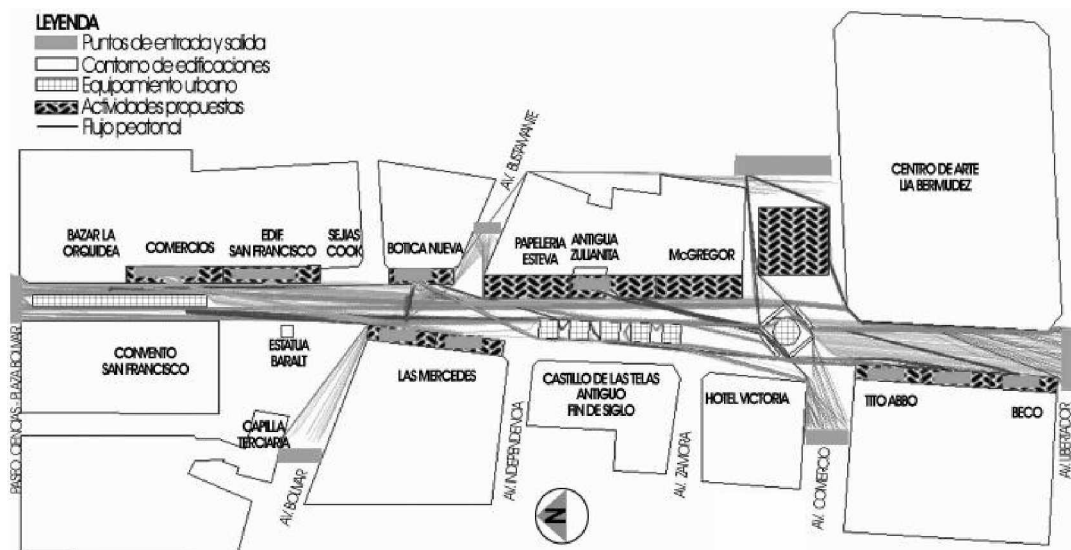


Figura I.5-2. Propuesta de solución para la Plaza Baralt en Maracaibo, Venezuela.

Hablando sobre estudios de movilidad de personas y de su comportamiento los aforos peatonales presentan resultados que, de ser bien analizados, pueden mostrarnos información determinante para pronosticar los pares origen-destino para la planeación de un centro urbano. En el ayuntamiento de Alicante, España, se condujo uno de estos estudios para conocer las horas del día en que la gente prefería desplazarse dentro de esta zona. El Plan de Recuperación del Centro Tradicional: Estudio del Área San Francisco, tuvo como meta confirmar o rechazar la hipótesis del progresivo abandono del área de San Francisco, en Alicante, en



relación con sus alrededores. Para este fin se definieron doce puntos de levantamiento de datos que circundan el área de análisis durante cuatro días a diferentes horas de la mañana y la tarde. Asimismo, se incluyeron datos de aforos vehiculares y de sus estacionamientos en el barrio de San Francisco para entender el comportamiento de los viajes por transporte público y privado. Los resultados de esta investigación demuestran el despoblamiento de la zona de San Francisco por sus espacios angostos de banqueta y arroyo vial para la circulación de transporte público que para el ascenso y descenso de pasajeros obstruye el flujo vehicular y necesita de hacer parada sobre los andaderos peatonales. Por otro lado, se planeo un resurgimiento de este barrio por su ubicación estratégica pues los barrios adyacentes son de gran atractivo comercial y turístico, pudiendo favorecerse de ello y de las grandes cantidades de población que circulan.

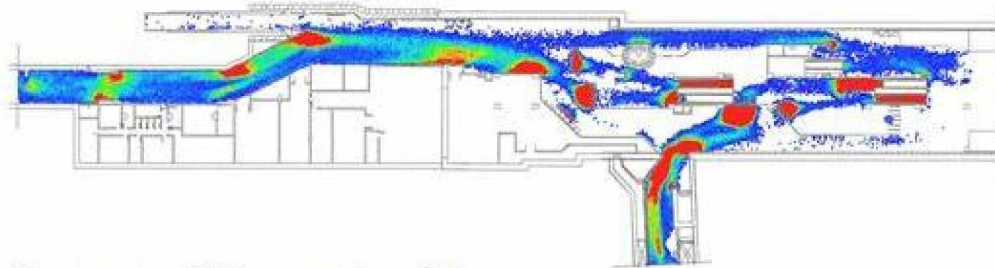
Sobre el comportamiento que siguen las personas al viajar unas detrás de otras, en condiciones de congestión o a flujo libre, Michael J. Cassidy y John R. Windover (1997), de la Universidad de California, realizaron una investigación sobre el tramo de carretera de la Interestatal 880 en Hayward, California, con una velocidad promedio de tránsito de 40 kilómetros al momento del tráfico. La intención del estudio “Memoria del Conductor: Selección y Retención de la Distancia de Seguimiento Individual entre Automovilistas en el Tránsito de Carreteras” fue de demostrar que los conductores tienen distintas personalidades para fijar sus distancias de seguimiento, además de retener esta separación en el espacio y, en los casos de interrupción del flujo, los conductores tienden a volver a esa distancia de seguimiento indistintamente. Se colocaron tres estaciones de aforo a lo largo de la carretera a una distancia de 518 metros entre ellas para tomar los tiempos y acumulación de vehículos que cruzaban por ellas. Con base a los gráficos de resultados se observa que la variación entre los datos recopilados por una estación y otra siguen el mismo patrón. Cuando se desfazan es porque ha ocurrido un cambio de velocidad en el flujo o un evento de congestión. Luego de salir de éste los datos vuelven a retomar su paralelismo corroborando la hipótesis postulada. Los autores hacen notar que sus evidencias contrastan con las obtenidas por otros modelos de flujos de tránsito como son la teoría cinética de gases (Prigogine, 1961; Prigogine y Herman, 1971; Phillips, 1977; Kuhne y Beckschulte, 1993) y las aproximaciones de fluidos de segundo orden (Payne, 1971, 1979; Michalopoulos *et al*, 1987) donde sólo se preocupan por describir tránsito carretero sin considerar la memoria de seguimiento del conductor.

Al estudiar una nueva interconexión entre para la estación de Metro Tsim Sha Tsui y el tren regional Kowloon Canton en Hong Kong, China, se requirió del auxilio de un simulador de tráfico peatonal especializado llamado *Legion* (<http://www.legion.com/case-studies/tsim-tsa-tsui.php>). Lo que necesitaban evaluar principalmente era la capacidad peatonal de la estación del Metro y la necesidad de construir una nueva entrada a la estación que auguraba ser demasiado costosa e insuficiente para atender a la nueva demanda atraída. *Legion* corroboró que la construcción del nuevo acceso era necesaria y encontró algunos cambios que mejorarían los flujos de usuarios, como reubicar la zona de casillas de cobro y modificar la operación del sentido de las escaleras eléctricas. En la Figura I.5-3 se



observan estas mejoras logradas sobre el plano arquitectónico del la estación de Metro Tsim Sha Tsui. Además, reportó un escenario de evacuación bajo condiciones extremas que la simulación encontró estar dentro de los tiempos estipulados por las normas contra incendios.

Congestión original



Congestión reducida

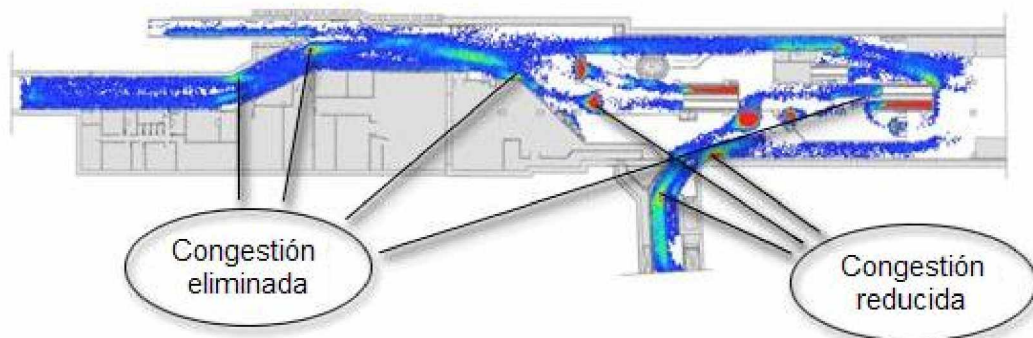


Figura I.5-3. Reporte gráfico de los flujos peatonales analizados por *Legion* en la estación de Metro Tsim Sha Tsui.

Los distintos enfoques de los estudios de tránsito expuestos en los párrafos anteriores son incluidos parcialmente en este trabajo de investigación. Desde el análisis del comportamiento de seguimiento entre personas hasta el costo-beneficio de un peatón al elegir tal o cuál ruta. Esta tesis estudiará al usuario de transporte público como un ente que solicita de la transferencia para llegar más lejos y en menor tiempo.



II. OBJETIVO Y ALCANCE

El objetivo de esta tesis es desarrollar un método de planeación, análisis y diseño, de Centros de Transferencia Modal (CETRAM) basado y enfocado hacia el peatón y sus necesidades de viaje, y más específicamente al tránsito peatonal que acontece durante la transferencia entre distintos modos de transporte.

Entre las necesidades de viaje de un usuario del CETRAM está contar con un recorrido seguro, cómodo y rápido, y con la mínima longitud posible. Los derechos del peatón enunciados en el Capítulo I de Introducción deberán ser observados a lo largo de este proceso, para lo cual habremos de disponer de una señalización que haga hincapié en ellos. Con respecto a su transferencia, el sistema de transporte público deberá ofrecerle una frecuencia confiable para que la persona pueda disponer de su tiempo más eficientemente.

La distancia de recorrido y, por lo tanto, el tiempo de traslado habrán de ser sopesados con el requerimiento de dosificar o amortiguar los volúmenes peatonales de ser éstos excesivos o extraordinarios. Esto para delimitar que el tiempo de recorrido mínimo a través del CETRAM no afecte la necesidad principal del usuario: la utilidad de lugar y la utilidad de tiempo. Es decir, que la gente se encuentre en el lugar indicado en el momento indicado.

Se revisará que la infraestructura proyectada será suficiente para sostener el flujo peatonal esperado, por lo que es requisito fundamental de esta tesis revisar que su funcionamiento sea el adecuado. Se valorarán las componentes espaciales, así como características operacionales, de pasillos, escaleras fijas y eléctricas, para cumplir con este acometido. Por lo tanto, de ser necesario, el proyecto arquitectónico propuesto se optimizará cambiando su configuración en lo pertinente.

El método a formular deberá ser un referente para el diseño de modernos o alternativos CETRAM que involucren no solamente el transporte, sino lugares de convivencia, negocio y comercio en donde el usuario también desempeñe un papel adicional: el de consumidor.

El alcance de este trabajo se acota en el desarrollo del marco metodológico planteado. Éste se encargará de validar un diseño arquitectónico a través de la simulación de los flujos peatonales posibles dentro del mismo. Con esta pretensión, se utilizará el software de simulación *VISSIM* que utiliza un modelo basado en el comportamiento físico-psicológico del peatón desarrollado por Wiedemann (1974). El modelo ha sido calibrado a través de múltiples mediciones de campo en la Universidad Técnica de Karlsruhe, Alemania.

El marco metodológico esbozado comprende tres directrices:

1. El peatón o usuario.
2. El transporte público.
3. El CETRAM o edificio de transferencia.



El peatón de estudio es aquel individuo que hace uso del CETRAM para su transferencia entre el Metro y los transportes semi-masivos: autobús, microbús y pesera. El alcance de este análisis engloba la movilidad del usuario a un nivel de contacto con otros pasajeros quienes podrán ir a su misma velocidad, mayor o menor, dependiendo de sus condiciones físicas.

El estudio de transporte público que se realice aseverará que su oferta abastecerá todo el volumen de usuarios del CETRAM. Ya que su correcta operación va de la mano con la atención al pasajero, se habrá de asegurar a todo el parque vehicular existente cabida dentro de las plataformas de transferencia, al momento ascenso y descenso de los pasajeros.

El cuadro de análisis del CETRAM incluye la propuesta arquitectónica y las instalaciones peatonales que conducirán los flujos de personas. El edificio de transferencia incluye distintos niveles donde se alojarán locales comerciales de tal manera que, al entrar en operación éstos, eleven el nivel económico de la zona atrayendo comercio formal. Asimismo está planeado para albergar espacios de estacionamiento que la hagan más atractiva para la transferencia de los usuarios. Aunque el CETRAM de diseño está propuesto para funcionar como centro comercial, la simulación de los flujos peatonales, dentro del mismo, sólo abarcará el recorrido entre el paradero del Metro y los paraderos de las rutas de transporte público semi-masivo.

Es muy importante resaltar la hipótesis inicial de diseño: la separación del flujo peatonal de usuarios de transporte público en dos, en el paradero oriente sólo el ascenso y en el paradero poniente sólo el descenso. A partir de esta idea desarrollaremos el resto de esta tesis.



III. MARCO METODOLÓGICO

La situación actual de los Centros de Transferencia (CETRAM) en México es que aunque existen de nombre, la transferencia es poco eficiente. Los siguientes puntos nos hablan del subdesarrollo en el que operan estos inmuebles:

- distancias y tiempos de recorrido demasiado prolongadas,
- frecuencias de atención inconstantes,
- capacidad de plataformas insuficiente para acoger a los usuarios mientras esperan ser atendidos por el transporte público e
- instalaciones peatonales (escaleras, pasillos, rampas, elevadores) saturadas por falta de ordenamiento de flujo.

El presente marco metodológico pretende garantizar que esta transferencia de pasajeros sea óptima, satisfaciendo la demanda de una manera cómoda, segura y rápida. Los puntos en los que se optimizará esta transferencia son:

- distancias y tiempos de recorrido justificables en función a la dosificación de la demanda,
- frecuencias de atención del transporte público confiables,
- espacios de plataformas adecuados para albergar la espera por parte de los viajeros,
- instalaciones peatonales suficientes que aseguren la movilidad de los flujos peatonales y
- señalización adecuada que dé seguridad y confort al usuario sobre su paseo.

El marco metodológico propuesto considera primero los elementos necesarios para el análisis de los pasajeros. Partiendo del axioma: “el génesis del transporte es para mover personas, no vehículos” (Vuchic, 2000), requerimos de iniciar nuestro estudio garantizando la transferencia del individuo. Las características intrínsecas a las personas y su movilidad son la estructura física-psicológica de las primeras y el espacio vital del segundo. Estos dos aspectos determinarán el traslado exitoso de los usuarios a través de la infraestructura dispuesta para este fin. Por lo que habrá de validar su operación para el flujo peatonal esperado.

La siguiente etapa a examinar es la del de la oferta de transporte público, a saber el transporte masivo o el Metro y semi-masivo o autobuses, microbuses y peseras. Es entre estos transportes donde acontece la transferencia de las personas o la demanda de usuarios. De no existir esta oferta vehicular, el CETRAM no tendría sentido o su función objetivo se vería demeritada a sólo una plaza peatonal, sin una transferencia modal.

Una vez especificados los elementos que toman parte en la transferencia es necesario valorar el entorno físico que sustentará este movimiento. La importancia del CETRAM como espacio de infraestructura peatonal radica en que permitirá la conexión entre el transporte masivo y el semi-masivo. Es imperativo garantizar que este edificio permita contener y mover el máximo volumen de personas que nos entregue el Metro por unidad de tiempo.



III.1 Condiciones generales para el Usuario

Las personas, sin importar su condición física, económica, política, cultural y/o social, tienen derecho de viajar y realizar sus múltiples actividades, por lo cual el transporte nace como necesidad dentro de una sociedad. Antes de saber qué llevar es necesario saber a dónde y para eso uno tiene ya que conocer el otro lado del camino. Para cumplir con estos requerimientos es imprescindible predecir la toma de decisión de los usuarios respecto a la utilidad de lugar y a la utilidad de tiempo. Estos términos económicos significan, sencillamente, que la gente se halle en el lugar y en el momento indicado, es decir, qué viajes requerirán los usuarios para desarrollar sus actividades diarias. Conjuntamente es necesario conocer si la capacidad de la infraestructura disponible u oferta (estaciones, modos de transporte, operadores, ...) será suficiente para satisfacer la demanda pronosticada (volumen y frecuencia de llegada de los usuarios).

III.1.1 Teoría de Wiedemann sobre el seguimiento de personas

El concepto base del modelo propuesto por Wiedemann (1976) es que una persona con un paso más veloz comienza a desacelerar conforme se acerca a su umbral de percepción individual con respecto a otra persona con un paso más lento. Ya que la primera no puede determinar exactamente a qué velocidad viaja la segunda, su velocidad la reducirá por debajo de aquella de la persona con un paso menor hasta que poco a poco comience a acelerar al alcanzar un nuevo umbral de percepción. Esto resulta en un proceso iterativo de aceleración y desaceleración. Luego entonces, la persona se puede encontrar en uno de los siguientes cuatro estados de movilidad:

- a) Movimiento libre.- sin influencia alguna de usuarios observados precedentes. En este estado el peatón busca lograr y mantener una cierta velocidad, su velocidad de deseo individual. En realidad, la velocidad en movimiento libre difícilmente se mantiene constante, pero oscila alrededor de la velocidad de deseo del peatón. Esto debido a la capacidad reducida de los carriles por la saturación de otros usuarios.
- b) Acercamiento.- el proceso de adaptar la velocidad propia del pasajero a una menor de otro precedente. En el acercamiento, un usuario desacelera su recorrido de tal manera que la diferencia de velocidades entre los dos llegue a cero en el momento que éste alcanza su distancia de seguridad deseada.
- c) Seguimiento.- el peatón sigue al usuario que lo precede sin ningún cambio en su velocidad conciente, aceleración o desaceleración. Mantiene su distancia de seguridad más o menos constante, pero nuevamente debido a velocidades inconstantes y estimaciones imperfectas, la velocidad relativa oscila alrededor de cero.
- d) Frenado.- ocurre al implementar un rango de desaceleración de medio a alto al reducirse la separación entre personas por debajo de la distancia de seguridad lograda. Esto puede suceder si el pasajero que antecede modifica su velocidad de recorrido abruptamente o si uno tercero cambia carriles enfrente del pasajero observado.



Estos cuatro estados se aprecian en la Figura III.1.1-1.

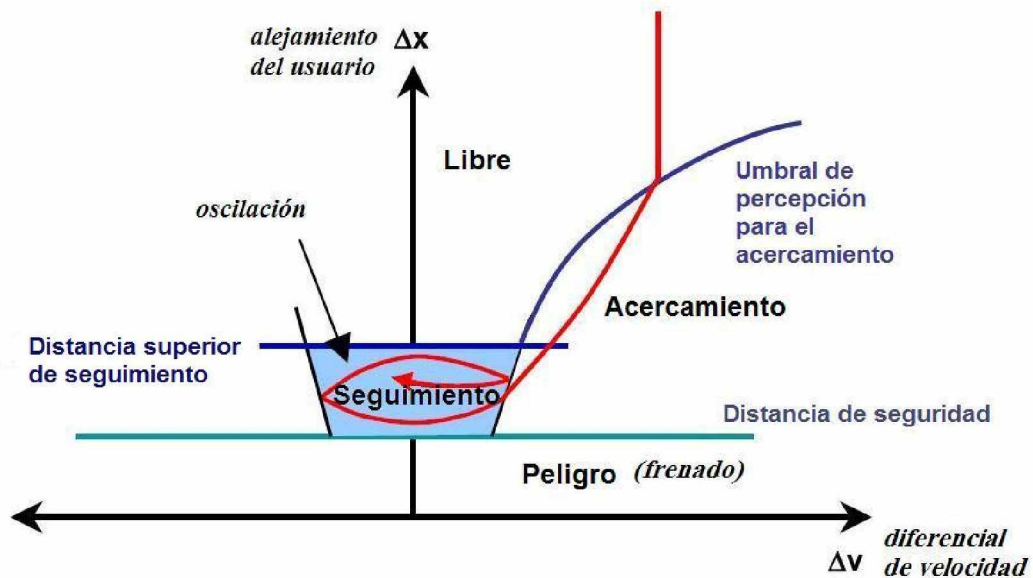


Figura III.1.1-1. Estados de movilidad o de seguimiento entre personas propuestos por Wiedemann (1976) en VISSIM.

Para cada uno de los estados anteriores, la aceleración se calcula a partir de la velocidad crucero, diferencia de velocidades, distancia y las características individuales y anatomía del usuario. La persona cambia de un estado a otro tan pronto como alcanza un nuevo umbral expresado en términos de la diferencia de velocidades y distancia. Por ejemplo, una pequeña diferencia de velocidades solamente puede ser analizada en pequeñas distancias, mientras que una diferencia de velocidad grande fuerza a los pasajeros a reaccionar más rápido. La capacidad de percibir diferencia de velocidades y estimar distancias varía entre la población, así como la velocidad de deseo y distancia de seguridad. Debido a la combinación de aspectos psicológicos y restricciones fisiológicas de la percepción del individuo, el modelo se conoce como un modelo de seguimiento físico-psicológico de peatones.

El simulador de tránsito de VISSIM, que se fundamenta en esta teoría, no sólo permite a las personas circular en calles de carriles múltiples, por ejemplo, pasos peatonales amplios y ceder el paso a personas precedentes, sino también hacerlo en la vecindad de personas sobre carriles adyacentes. Más aún, al acercarse a un señalamiento de tráfico/informativo a partir de 100 metros, la persona reducirá su velocidad al concientizarse del mismo.

Como se explicó anteriormente, la velocidad de pasajeros juega un rol muy importante para el modelado de los flujos peatonales en VISSIM. Las velocidades de deseo en VISSIM están codificadas en tres diferentes maneras. La primera sucede al momento de que los usuarios entran a la red. A cada persona se le asigna su propia y única velocidad dentro de un rango basado en una *curva*



empírica definida por el programador. Esta curva empírica puede estar definida para converger con los datos de campo o puede asumirse una velocidad límite. La velocidad de los peatones oscila alrededor de su velocidad de deseo hasta que las condiciones de tránsito, las zonas de velocidad restringida o la geometría del camino los obliga a cambiar de estado. Las zonas de velocidad restringida están codificadas a través del uso de *decisiones de velocidad de deseo*. Los usuarios no cambian su velocidad mientras que no lleguen a un punto de decisión de velocidad de deseo. Para considerar la influencia de la geometría del camino en las velocidades de recorrido, VISSIM utiliza *zonas de velocidad reducida*. El programador define la zona donde el peatón necesita disminuir su velocidad o desacelerar y luego asigna una distribución de velocidades a esa zona. Las personas comienzan a desacelerar antes de llegar a la zona demarcada de reducción de velocidad. Este comportamiento es similar al de un conductor que reduce su velocidad antes de llegar a la intersección donde quiere dar vuelta. Después de cruzar por esta zona de velocidad reducida los individuos comienzan a acelerar de regreso a su estado original de velocidad crucero. Todas las distribuciones de velocidades en VISSIM pueden hacerse dependientes del tipo de persona. Por ejemplo, una persona de edad adulta realizará un cambio de dirección a menor velocidad que un joven peatón.

VISSIM estimula el flujo de tráfico moviendo “unidades-peatonales” en una red. Cada persona, con su comportamiento específico, está asignada a una fisonomía específica. Por consiguiente, la conducta del peatón corresponde a las capacidades fisiológicas de su persona. Los atributos que caracterizan cada “unidad-peatón” se define por tres categorías:

1. Las especificaciones fisiológicas de la persona:
 - Tamaño.
 - Velocidad máxima.
 - Aceleración potencial.
 - Posición actual con respecto a la red.
 - Velocidad y aceleración actual.
2. La conducta de la unidad-peatón:
 - Umbrales de sensibilidad físico-psicológica de la persona (capacidad predictiva, agresividad).
 - Memoria de la persona.
 - Aceleración con respecto a la velocidad actual y la velocidad deseada por la persona.
3. Interdependencia entre las “unidades-peatón”:
 - Apreciación entre dirigir y seguir personas en el mismo carril y en carriles adyacentes.
 - Apreciación del camino y la siguiente intersección.
 - Apreciación del siguiente señalamiento de tráfico/informativo.



III.1.2 Parámetros antropométricos en la transferencia de usuarios.

Para una simulación certera y lo más cercano a la realidad de nuestro país es imprescindible modelarla con datos de usuarios mexicanos. Deseamos proveer a las personas de áreas peatonales que cumplan con los estándares de comodidad y seguridad de acuerdo a su tamaño y a su espacio vital.

Al trasladarse de un punto a otro, el peatón puede realizarlo a flujo libre o con impedimentos como columnas, dependiendo de su espaciamiento con otros viajeros o su propia condición física. La Figura III.1.2-1 (SNV/VÖV, 1980) nos indica en qué zona de comodidad se puede encontrar una persona.



Tabla III.1.2-1. Nivel de movimiento y comodidad de una persona.

Es importante también considerar no sólo cuando el peatón se halle en movimiento sino también cuando éste se encuentre de pie, como será cuando esté esperando abordar el siguiente transporte público. En la Tabla III.1.2-2 se muestran estas especificaciones (Molineró, 1998).

POSTURA	MEDIDAS GENERALES (m)				AREA (m ²)
	a	b	c	d	
	0.56	0.33			0.18
	0.81	0.45			0.36
	0.63	0.45	0.35	0.28	0.28
	0.56	0.60			0.34

Tabla III.1.2-2. Medidas antropométricas de un usuario mexicano de pie.



III.1.3 Niveles de servicio

Para conocer de manera cualitativa el resultado de la disposición de la infraestructura peatonal es necesario contar con un parámetro que indique del nivel de confort o satisfacción que pueden esperar los usuarios.

La clasificación de los niveles de servicio va de la 211 A a la letra F. Donde, el nivel de servicio de A representa un libre movimiento, y el nivel de servicio F representa un flujo peatonal forzado. El nivel de servicio E, igualmente, representa la capacidad máxima que puede absorber un elemento peatonal. A través de la simulación de todo el CETRAM hallaremos los valores que permitirán conocer este margen de oferta como es, la tasa de flujo y la velocidad de marcha. En la Tabla III.1.3-1 se muestra el criterio adoptado por el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM), de los Estados Unidos (TRB, 2000), para condiciones promedio en aceras y senderos.

NIVEL DE SERVICIO	ESPACIO (m ² /peatón)	TASA DE FLUJO (peatón/min/m)	VELOCIDAD (m/s)
A	> 5.60	≤ 16	> 1.30
B	> 3.70 - 5.60	> 16 - 23	> 1.27 - 1.30
C	> 2.20 - 3.70	> 23 - 33	> 1.22 - 1.27
D	> 1.40 - 2.20	> 33 - 49	> 1.14 - 1.22
E	> 0.75 - 1.40	> 49 - 75	> 0.75 - 1.14
F	≤ 0.75	variable	≤ 0.75

Tabla III.1.3-1. Parámetros de los niveles de servicio peatonales en aceras y senderos (HCM, 2000).

La razón de elegir uno y otro nivel de servicio recae en el confort deseado para el usuario final y en la posibilidad de inversión económica del proyecto.

A continuación se ofrece una explicación de cada uno de estos niveles de servicio (Lazo y Sánchez, 1979):

Nivel de servicio A.- libertad absoluta de selección de sendero, velocidad y movimientos. Este nivel de servicio es recomendable en plazas y edificios públicos donde más exista restricción.

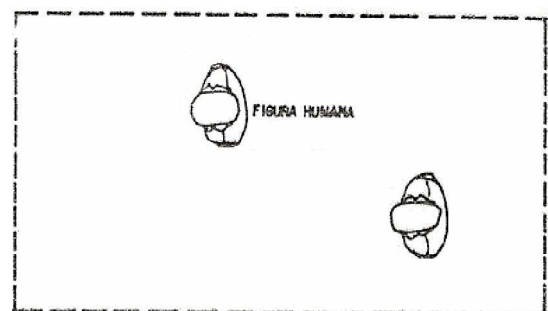


Figura III.1.3-1. Nivel de servicio A.



Nivel de servicio B.- sólo ocurren conflictos muy esporádicos con otros peatones, disminuye ligeramente la velocidad media y aumenta el volumen peatonal. Las restricciones son mínimas.

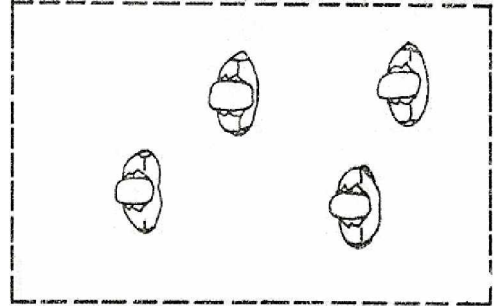


Figura III.1.3-2. Nivel de servicio B.

Nivel de servicio C.- la libertad para seleccionar la velocidad se encuentra más restringida, con una considerable posibilidad de conflicto. Es necesario que el peatón realice frecuentes ajustes de velocidad y cambios de dirección. Este nivel es común en terminales de transporte y edificios y plazas públicas con restricciones severas que impiden la flexibilidad de diseño.

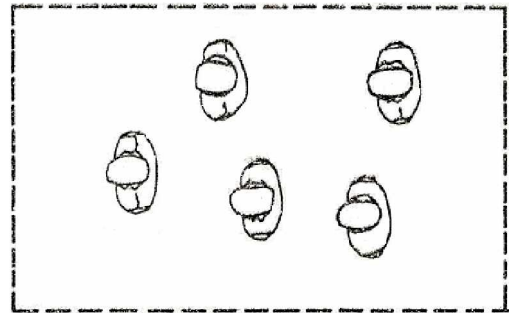


Figura III.1.3-3. Nivel de servicio C.

Nivel de servicio D.- existe considerable fricción entre los peatones, los cambios de velocidad y dirección debido a los congestionamientos son muy frecuentes para seguir avanzando. Se presentan paros momentáneos en el flujo. Este nivel de servicio se presenta con frecuencia en las aceras de las áreas centrales de la ciudad.

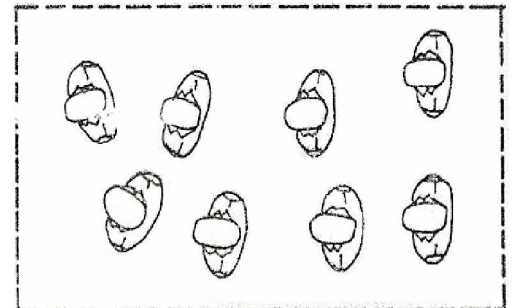


Figura III.1.3-4. Nivel de servicio D.

Nivel de servicio E.- la restricción de movimientos llega a su máximo, se avanza prácticamente arrastrando los pies y no es posible rebasar. En este nivel se presenta la máxima capacidad, sin embargo la velocidad y las molestias se vuelven intolerables y existen frecuentes interrupciones del flujo peatonal. A pesar de todo con este nivel se llegan a diseñar andenes del metro donde el patrón de volumen de llegada excede por momentos la capacidad, aunque poco tiempo después se eleva el nivel, también se usa en estadios.

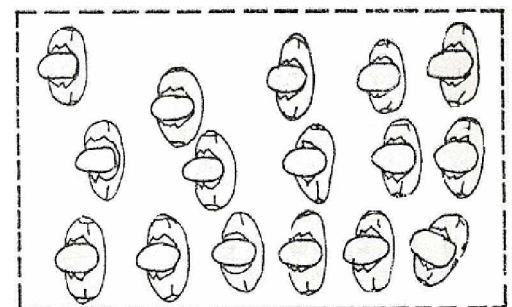


Figura III.1.3-5. Nivel de servicio E.



Nivel de servicio F.- aquí las velocidades son sumamente bajas y se presentan grandes periodos de inmovilidad y frecuentes contactos. Este nivel de servicio es más representativo de una cola de espera que de un flujo de circulación. No es recomendable en ningún caso.

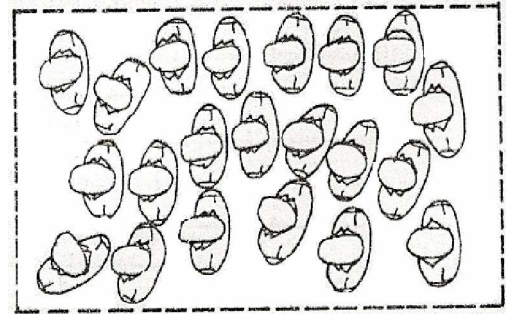


Figura III.1.3-5. Nivel de servicio E.

III.1.4 Selección de instalaciones peatonales

Las distintas instalaciones o infraestructuras dedicadas para el paseo de los usuarios dentro de la estación son muy variadas y su selección depende del nivel de servicio que se desea lograr y el recurso económico disponible. Lo que nos importa conocer de cada una de ellas son sus parámetros de operación, es decir, aquellas características que nos permitirán o limitarán el flujo de usuarios. A continuación mostramos los valores considerados para la simulación del tránsito peatonal en los distintos escenarios posibles dentro de nuestro CETRAM conforme a lo propuesto por el TCRP Report 100 (2003): pasillos, escaleras eléctricas y escaleras fijas.

PASILLOS

Las velocidades normales de paseo de personas varían en un espectro muy grande, dependiendo de distintos factores. Se ha observado que éstas disminuyen conforme la edad del individuo aumenta. Los estudios también muestran que la velocidad de paseo de los hombres es usualmente mayor que la de las mujeres. Otros agentes que afectan la operación sobre estas instalaciones son:

- la hora del día,
- el clima y la temperatura,
- la composición del tránsito peatonal, incluyendo sillas de ruedas,
- el propósito del viaje y
- la reacción al ambiente circundante.

La velocidad a flujo libre se ha encontrado que oscila entre 0.75 metros por segundo y 2.42 metros por segundo. Considerando estos parámetros, velocidades por debajo 0.75 metros por segundo representarían movimientos restringidos o entre grandes aglomeraciones de gente, mientras que velocidades mayores a los 2.42 metros por segundo serían aquellas alcanzadas corriendo. Una velocidad nominal usada comúnmente para diseño es de 1.25 metros por segundo. En la Tabla III.1.4-1 se resumen estas velocidades.

Velocidad (m/s)	Mínima	Nominal	Máxima
Pasillos	0.75	1.25	2.42

Tabla III.1.4-1. Velocidades de operación para pasillos.



Un factor importante que afecta la capacidad de los pasillos es el ancho efectivo existente. Estudios han demostrado que los peatones mantienen una distancia libre de 0.5 metros separados de las paredes, del borde de las plataformas de transferencia y otro tipo de obstáculos como botes de basura, postes de señalamiento, etc. En general, una separación de 0.5 metros debe de considerarse junto a cualquier tipo de obstrucción, incluyendo paredes pequeñas con alturas de 1 metro.

ESCALERAS FIJAS Y ELÉCTRICAS

En los CETRAM donde las plataformas de transferencia se encuentran a distintas elevaciones con respecto a los accesos principales a la estación y de su exterior, las escaleras fijas y/o eléctricas han sido empleadas exitosamente como el principal sistema de movilidad vertical para los usuarios. Los dos sistemas son de gran ayuda y se complementan mutuamente cuando no existen elevadores (o cuando el aspecto económico no justifique su implementación) y las limitaciones físicas impiden a las personas subir las escaleras fijas o para la atención de personas con problemas de la vista o lazarillos, pues estos peatones no utilizan las escaleras eléctricas y los perros guía están entrenados para evitarlas.

Mientras que es fácil notar que la capacidad de estas instalaciones depende de su amplitud, lo que define su operabilidad es la velocidad asignada al tránsito peatonal. En el caso de la escalera fija, ya que los usuarios requieren de una mayor cantidad de energía para subir las escaleras comparado a descenderlas, el intervalo de menor velocidad de ascenso debe considerarse para el análisis y diseño. El rango de variación para esta velocidad es de 0.2 a 0.35 metros por segundo, medidos en la dirección vertical. Una velocidad promedio de 0.25 metros por segundo puede ser considerada como de diseño. En la Tabla III.1.4-2 se resumen estas velocidades.

Velocidad (m/s)	Mínima	Nominal	Máxima
Escalera fija	0.20	0.25	0.35

Tabla III.1.4-2. Velocidades de operación para escalera fija.

La pendiente de elevación de la escalera afecta la comodidad, seguridad y velocidad de los usuarios. Los estudios revelan que los usuarios alcanzan su velocidad normal de ascenso a un espacio de 0.9 metros cuadrados por persona. Arriba de 1.9 metros cuadrados por persona las personas con un paso más rápido alcanzan su velocidad libre de ascenso y pueden adelantar a gente con un paso lento.

Con respecto a las escaleras eléctricas, el ángulo normal de inclinación es de 30 grados y el ancho de sus escalones es de 0.6 a 1.1 metros. Su velocidad de operación es comúnmente de 0.46 metros por segundo aunque una velocidad de 0.61 metros por segundo es preferida cuando las normas así lo permiten. En la Tabla III.1.4-3 se resumen estas velocidades.



Velocidad (m/s)	Mínima	Nominal	Máxima
Escalera eléctrica	0.46	0.54	0.61

Tabla III.1.4-3. Velocidades de operación para escalera eléctrica.

Los estudios demuestran que incrementar la velocidad de operación de 0.46 a 0.61 metros por segundo sólo permite una mejora del 12 por ciento en su capacidad. Un hallazgo interesante es que la costumbre de caminar sobre las escaleras eléctricas no aumenta significativamente su capacidad.

Se observa que en lo general la gente prefiere utilizar las escaleras eléctricas sobre las fijas un 80 por ciento de las veces.

III.1.5 Señalización y localización de información para usuarios

Para el correcto direccionamiento de los flujos peatonales dentro del CETRAM necesitamos de contar con una señalización que, primero, asegure mantener bien enterado al usuario sobre qué, cómo y hacia dónde moverse y, segundo, que permita llamarle la atención a los pasajeros en el caso de que incurran en una falta que entorpezca la movilidad pretendida.

Para nuestro fin, dispondremos de dos tipos de señales de tránsito de peatones: las verticales, que incluyen señales informativas y reglamentarias (prohibiciones y obligaciones), y las horizontales, que denotan las demarcaciones de pasos peatonales (Carmona et al., 2004). Las señales de prevención se dejarán fuera de esta tesis por resultar irrelevantes para los objetivos que se persiguen.

Es importante hacer notar que para que la señalización cumpla con su cometido debe de estar colocado a una altura apta para todo público, visibles a cualquier hora del día y bajo cualquier condición climática. Para ello, se confeccionarán con materiales apropiados y se someterán a procedimientos que aseguren su retroreflexión o inclusive iluminadas.

El color de la señal juega un papel fundamental para su correcto entendimiento de los usuarios (NOM-003-SEGOB-2002). Los dos colores que componen a una señal vertical son el del fondo o de seguridad y el del símbolo o de contraste. Las señales verticales reglamentarias incluyen un tercer color, el rojo, para su franja diametral de prohibición. En la Tabla III.1.5-1 se exhibe la nomenclatura del color de fondo y en la Tabla III.1.5-2 la del color del símbolo.



COLOR DE SEGURIDAD	SIGNIFICADO
ROJO	Alto Prohibición Identificación de equipo contra incendio
AMARILLO	Precaución Riesgo
VERDE	Condición segura Primeros Auxilios
AZUL	Obligación Información

Tabla III.1.5-1. Colores de seguridad o de fondo utilizados para señales.

COLOR DE SEGURIDAD	COLOR CONTRASTANTE
ROJO	Blanco
AMARILLO	Negro
	Magenta
VERDE	Blanco
AZUL	Blanco

Tabla III.1.5-2. Colores de contraste o de símbolo respecto al color de seguridad o de fondo utilizados para las señales verticales.

Por otro lado otro aspecto a considerar en las señales es la forma geométrica. Cada tipo de señal vertical necesita ser identificada por forma para ayudar a su reconocimiento y por ende, fácil entendimiento y pronta ejecución, por parte del individuo. En la Tabla III.1.5-3 se muestra la forma geométrica que debe seguir cada tipo de señal vertical (NOM-003-SEGOB-2002).

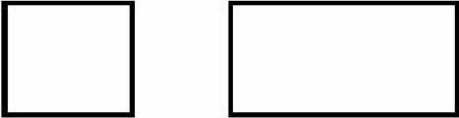


SEÑAL DE	FORMA GEOMETRICA	SIGNIFICADO
Información		Proporciona Información
Prohibición		Prohibición de una acción susceptible de riesgo
Obligación		Prescripción de una acción determinada

Tabla III.1.5-3. Formas geométricas para los distintos tipos de señales verticales.



SEÑALES INFORMATIVAS

Las señales verticales informativas son aquellas que indican a las personas sus distintas opciones de viaje, garantizándoles el recorrido más corto, seguro y confortable. Así mismo, muestran lugares de interés, servicios y ciertas recomendaciones que conviene observar. Su empleo es de vital importancia para salvaguardar a los pasajeros en caso de siniestros o desastres, mostrando rutas de evacuación, salidas de emergencia y para ubicar herramientas como extintores, alarmas, hidrantes, teléfonos de emergencia, etc. Además incluye señalización especial para gente con capacidades diferentes que requieren de una entrega de información especializada.

En este caso, proponemos la implementación de señales que muestren a los pasajeros el camino a seguir para encontrarse con su ruta de transporte público semi-masivo deseado al salir del Metro y viceversa. Estas señales exhibirán el nombre de la ruta o del Metro al lado de una flecha que indique la dirección que deben seguir. Es importante definir el sentido de esta flecha para evitar confundir a la gente. Así, la flecha que se halla en forma vertical apuntando hacia arriba, indicará “sírvese a seguir derecho” cuando se encuentre sobre un pasillo y “sírvese a subir” cuando se encuentre a la entrada de unas escaleras. Una flecha colocada apuntando hacia abajo verticalmente señalará que en el sitio debajo de ella o en su cercanía próxima se encuentra el lugar buscado por el peatón y en caso de colocarse esta flecha al inicio de unas escaleras o rampa, indicará que el destino requerido se encuentra bajando dichas escaleras o rampa. Las flechas acostadas en cualquiera de los dos sentidos indicarán “sírvese a ir por la derecha” o “sírvese a seguir por la izquierda”, respectivamente. Se evitará el empleo de señales con flechas en diagonal, en cualquier sentido, por representar éstas vagamente o confusamente una dirección a seguir. En la Figura III.1.5-4 se muestra un ejemplo de este tipo de señalización.

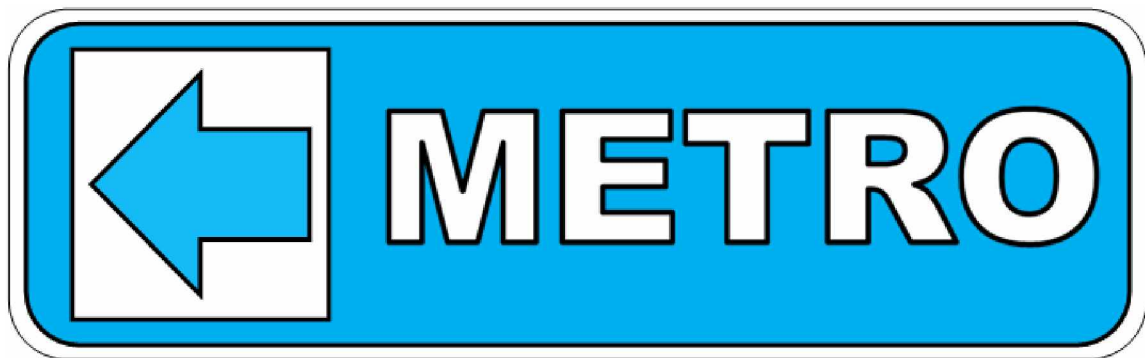


Figura III.1.5-4. Ejemplo de señal vertical informativa.

SEÑALES REGLAMENTARIAS

Las señales verticales reglamentarias buscan ubicar al usuario sobre las autorizaciones y restricciones que tiene a través de su recorrido, los derechos de paso para los distintos tipos de viajero (tercera edad, niños, con capacidades diferentes).



A partir de esta señalización los agentes de seguridad en el CETRAM cuentan con un marco normativo con el que pueden llamar la atención o, en un momento dado, sancionar a los usuarios por irresponsabilidad civil. Finalmente se busca que entre los mismos usuarios se solidaricen a seguir este tipo de reglamentación ya habiéndose acostumbrado a que de hacerlo así, todos conviven en un recorrido más agradable y fluido para todos.

El principal interés de utilizar las señales reglamentarias es el de lograr que las personas con un paso más rápido tengan un carril libre sobre aquellos viajeros que elijan una marcha más lenta. La Figura III.1.5-5 muestra la señal reglamentaria con la que se pretende que la gente entienda que debe caminar del lado izquierdo si va con prisa o del lado derecho si prefiere avanzar a un paso de lento a normal. Esta figura se deberá colocar a la vista sobre la instalación peatonal cuyo flujo se busque ordenar de manera que se muestre a la vista de todos.



Figura III.1.5-5. Señal reglamentaria vertical de separación de flujos peatonales.

SEÑALES HORIZONTALES

Señales horizontales, también denominadas marcas, comprenden líneas o rayas, símbolos y letras que se pintan sobre la vía de circulación. Al dibujar estas señales sobre el piso es importante prever que el material a utilizar sea antideslizante. Además, incluyen a los objetos que se colocan sobre la vialidad para regular o canalizar los flujos peatonales como reflejantes, boyas, etc.

La función que se pretende llevar a cabo con este tipo de señalamiento, al igual que con el señalamiento reglamentario, es la de separar los flujos peatonales permitiendo el rebase a los usuarios con un paso más veloz por la izquierda.

La manera en que se implementarán estas señales horizontales en la CETRAM de estudio es mediante líneas pintadas sobre las instalaciones peatonales a manera de dividirlos en dos carriles: uno para el tránsito lento a la derecha y el otro para el



tránsito rápido y/o rebase a la izquierda. Estos carriles se diferenciarán a través de flechas, del mismo color, que indicarán, primero, el sentido del flujo y, segundo, con una estela de flecha más pronunciada el carril para el flujo rápido. En la Figura III.1.5-6 se muestra este tipo de señalización horizontal que se busca.

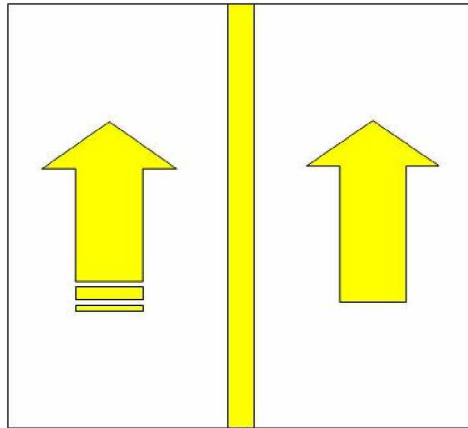


Figura III.1.5-6. Señal horizontal a utilizar en las instalaciones peatonales del CETRAM.

III.2 Condiciones generales para el Transporte Público

Claro está que todos buscamos una mayor privacidad y comodidad que el coche particular ofrece, pero considerando que éste tiene un porcentaje de ocupación alrededor de 1.2 personas por vehículo y que por su valor agregado de status socio-económico, todos buscan tener el suyo, aunado a una poca confiabilidad hacia el uso del sistema de transporte público, este problema se agrava conmensurablemente. Es claro para toda persona el problema vial o de tráfico que esto implica, 60 personas que bien podrían caber en un sólo autobús ocupando sobre el pavimento sólo el área de éste, al utilizar cada una su propio automóvil saturan la capacidad de un tramo de calle inmediatamente. Empero esta visión no pretende colocar al coche particular como el enemigo a vencer o desaparecer, más bien pretende controlar su uso, evitando congestionamientos viales y sus impactos negativos –lo que Elmer Jonson, uno de los vicepresidentes de General Motors catalogó como “la colisión entre las ciudades y los coches” (Vuchic, 2000). Esto mediante medidas que promuevan el uso de transporte público, haciéndolo más atractivo para la población, y medidas que desincentiven el uso desmedido del coche particular, como son carriles confinados para transporte público, preferencia de derecho de vía para vehículos con mayor ocupación o pasajeros abordo, etc.

III.2.1 El Sistema de Transporte Colectivo Metro: sistema troncal de diseño

El Metro será quien gobierne el diseño de la operación del CETRAM. Esto debido a que es un sistema de transporte masivo en todos los aspectos: capacidad de usuarios, número de vehículos o vagones por tren y longitud de ruta. Tiene valor



trascendental en el análisis de peatones ya que se encargará de alimentar al transporte público semi-masivo, del que se hablará en la siguiente sección.

Su actual operación en el CETRAM de estudio, es el escenario más crítico que podemos considerar. Ya que el alcance de esta tesis sólo abarca a los usuarios del CETRAM que pueden transferir entre el Metro y el transporte público, el 100 por ciento de viajeros del Metro es el máximo volumen de usuarios que podemos esperar. Cualquier resultado al que podamos llegar habrá que avalarlo con los datos del Metro para asegurar que sí funcione.

La página de internet del Metro de la Ciudad de México (<http://www.metro.df.gob.mx/operacion/index.html>) facilita los parámetros de modelación de este transporte público masivo para incluirlo en la simulación. Los distintos esquemas en que se puede evaluar la operación del metro son los mostrados en la Tabla III.2.1-1.

Tren	Capacidad		
	Sentados	Parados	Total
6 vagones	240	780	1,020
9 vagones	360	1,170	1,530

Tabla III.2.1-1. Número de pasajeros del Metro por tren (datos actualizados al 12/03/08).

En lo consecutivo se hablará de transporte público masivo y Metro indistintamente.

III.2.2 Transporte Público semi-masivo

Los tipos de vehículos de transporte público semi-masivo que harán uso de los paraderos son tres: autobús, microbús y pesera o combi. En la Tabla III.2.2-1 se muestra la capacidad u ocupación total de dichos vehículos y su configuración geométrica.

Vehículo	Capacidad (pasax/veh)	Longitud (m)	Ancho (m)
Autobús	80	9.00	3.00
Microbús	60	6.00	2.50
Pesera	15	3.69	2.00

Tabla III.2.2-1. Capacidad y longitud de vehículos de transporte público.

En lo siguiente, se hablará de transporte público semi-masivo o autobús, microbús y pesera indistintamente.



III.2.3 Disposición de vehículos en los paraderos

Mientras que el transporte masivo cuenta con su propio, el transporte semi-masivo ocupa un andén para tres tipos de vehículos distintos: autobús, microbús y pesera. Esto remite a establecer una configuración de espacios o bahías por andén que permita los movimientos de llegada y salida de estos vehículos ordenadamente y en el menor tiempo posible.

VÖV/VDA (1979) propone la disposición de bahías que garantiza movimientos libres entre los vehículos. Un movimiento libre se refiere a que en no más de un movimiento, sin necesidad de hacerse en reversa, se puede ingresar o salir de la bahía. La Figura III.2.3-1 exhibe este acomodo, para L igual a 14 metros.

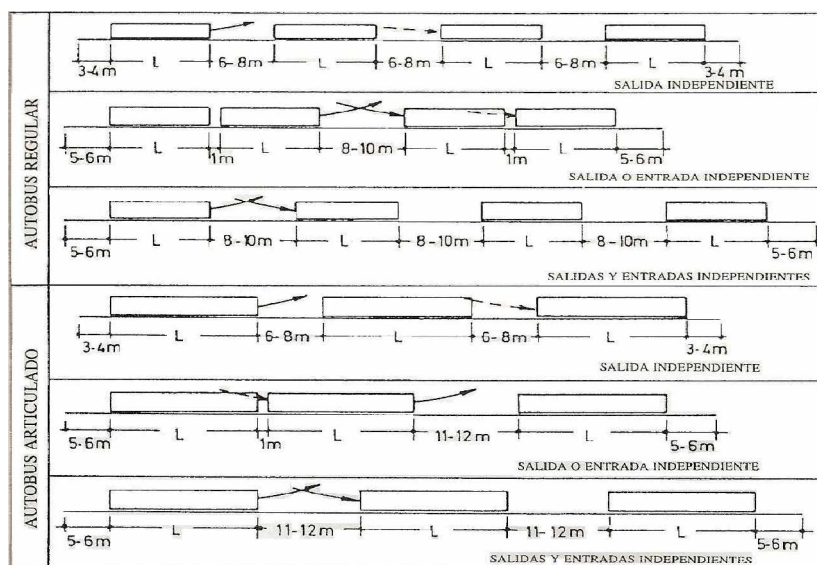


Figura III.2.3-1. Dimensionamiento de un paradero longitudinal.

III.3 Condiciones generales para el CETRAM

El inmueble en donde ocurrirán los flujos peatonales es el Centro de Transferencia Modal (CETRAM) de análisis. Además de que éste comprenderá espacios comerciales y de estacionamientos, su principal función es el de alojar a las personas y proveerles de una estancia segura mientras que cambian de modo de transporte.

El CETRAM propuesto se encuentra en medio de una calzada, cuyos arroyos separan al paradero de transporte público semi-masivo en oriente y poniente. Hacia el sur del CETRAM existe una herradura para el retorno de los vehículos que circulan a lo largo de esta calzada de norte a sur. Esta descripción se aprecia mejor en la Figura III.3-1.





Figura III.3-1. Foto panorámica del CETRAM en cuestión.

Para determinar si será operable, es decir, si dará cabida y transferencia a toda la gente que entregue el Metro de una manera eficaz y segura, es necesario contar con los datos de operación que necesita satisfacer y su disponibilidad de espacios físicos para distribuir a los usuarios. Esta información se tiene a partir de un estudio de aforo y de un diseño arquitectónico o planos constructivos.

III.3.1 Estudio de aforo

Un estudio de aforo o levantamiento de datos de campo es imprescindible para contar con información real y actual de la operación del sistema de transporte público. Sin éste no existiría un punto de partida sobre el cual comenzar a diseñar para al menos cubrir la demanda presente.

La información con la que se cuenta permitió fijar los valores índices de diseño para el análisis de flujos peatonales. Esta recopilación de datos cuenta con los campos de:

- Paradero: oriente o poniente, para distinguir el ascenso del descenso, respectivamente.
- Movimiento: acceso o salida, de vehículos de transporte público a los paraderos.
- Fecha: lunes 7, martes 8, miércoles 9, viernes 11, sábado 12, domingo 13 y lunes 14 de mayo de 2008.
- Hora: de las seis de la mañana a las ocho de la noche.
- Intervalos: de cada diez minutos por hora.
- Ruta: se refiere a los diferentes derroteros posibles hacia o desde el CETRAM.
- Tipo de vehículo: autobús, microbús o pesera.
- Porcentaje de ocupación: nivel de ocupación del modo de transporte público de 0% (sin pasajeros) a 100 por ciento (completamente lleno).



Todos estos valores reportados por el aforo son en función a la oferta de transporte público. Es decir que los pasajeros aquí contemplados son sólo los que hacen uso de las distintas rutas de transporte público semi-masivo y no todos aquellos que viajan abordo del Metro.

El aforo considerado muestra un total de 32 rutas divididas entre los dos paraderos. Mientras que en el oriente sólo aparecen 15 de ellas en el poniente aparecen las mismas más otras 17 nuevas dando un total de 32 rutas. En la Tabla III.3.1-1 vemos esta distribución.

RUTAS				
	ORIENTE	PONIENTE		
1	A	A	Ñ	AC
2	B	B	O	ACH
3	C	C	P	
4	CH	CH	Q	
5	D	D	R	
6	E	E	S	
7	F	F	T	
8	G	G	U	
9	H	H	V	
10	I	I	W	
11	J	J	X	
12	K	K	Y	
13	L	L	Z	
14	M	M	AA	
15	N	N	AB	

Tabla III.3.1-1. Distribución de rutas por paradero.

Con este levantamiento de datos operativos del CETRAM se podrá determinar el volumen de transeúntes que ocupará el mismo inmueble durante la hora pico (HP).

III.3.2 Diseño arquitectónico del CETRAM

La idea arquitectónica del CETRAM conecta a la estación del Metro con los dos extremos de la vialidad, construyendo del lado oriente un edificio de seis niveles y un sótano y en el poniente, de 3 niveles. Todo este complejo representa el CETRAM, que aparte de fungir como edificio de transferencia, servirá como centro comercial alojando tiendas de distintos índoles. En la Figura III.3.2-1 se exhibe un corte de los pisos de sus paraderos que conforman el CETRAM. A la izquierda de la figuras se encuentra el paradero poniente y a la derecha el paradero oriente, conectados entre sí por los pasos peatonales elevados o pasarelas mostradas con la estación del Metro que se halla a la mitad de los dos edificios de transferencia.



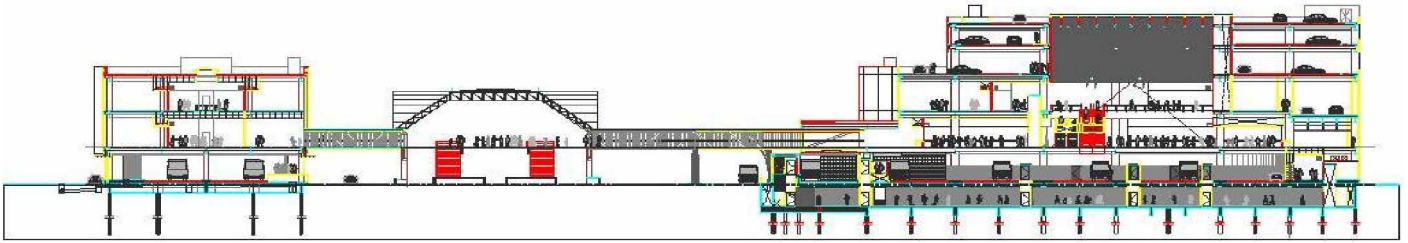


Figura III.3.2-1. Corte de la sección transversal del CETRAM.

En el paradero oriente, sólo se simulará el flujo de usuarios para las cuatro plataformas interiores de las seis existentes. Esto porque las dos exteriores están destinadas para un futuro próximo, mas no tangible aún, para la parada del Metrobús. En la Figura III.3.2-2 se observa el plano arquitectónico de la planta baja del paradero oriente. Aquí se muestran las cuatro plataformas en donde se acomodará el flujo peatonal de usuarios de transporte público esperado, a la vez de darle cabida a todas las rutas de transporte público semi-masivo activas durante la hora pico de diseño.

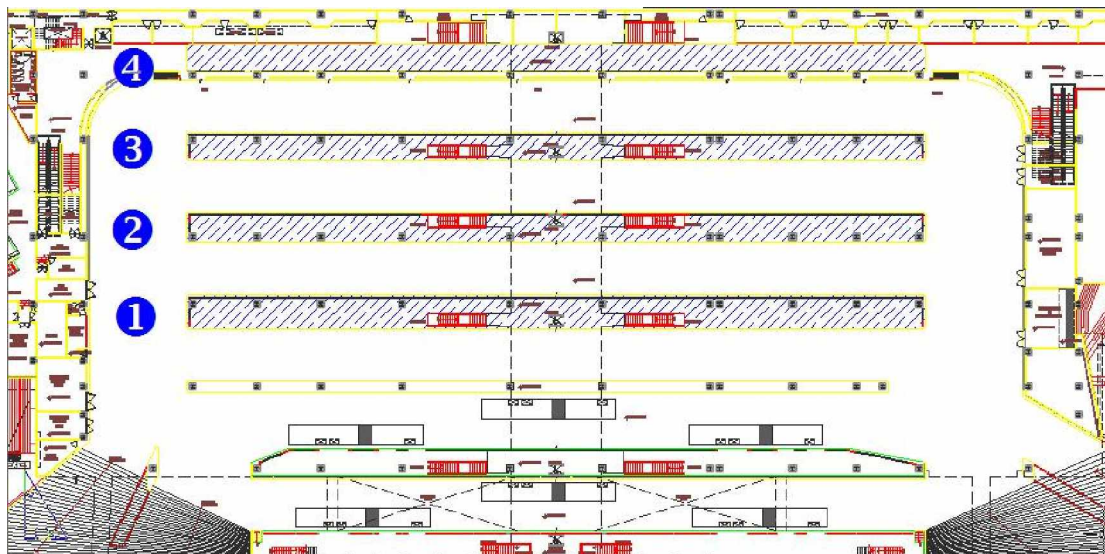


Figura III.3.2-2. Plataformas de ascenso de usuarios en el paradero oriente.

La longitud efectiva de estas plataformas es de 85.5 metros que resulta de sustraer de la longitud total de 100 metros de cada una, el espacio de conexión entre escaleras de acceso a las plataformas y el sótano. De tal manera podemos dividir las plataformas por alas, norte y sur, con longitudes de 42.75 metros. Su ancho efectivo, o espacio libre para el movimiento de personas, depende de la ubicación de las columnas estructurales sobre ellas. Esta información se recopila en la Tabla III.3.2-1.



PLATAFORMA	LONGITUD Defectiva (m)	ANCHO efectivo (m)
4	85.5	3.6
3	85.5	2.3
2	85.5	2.5
1	85.5	2.8

Tabla III.3.2-1. Geometría de las plataformas de ascenso del paradero oriente.

En el caso del paradero poniente se cuenta con dos plataformas para el descenso de pasajeros. Una de ellas está dispuesta para la parada del Metrobús por lo que para el análisis actual no será considerada. La longitud del paradero es de 227 metros y su ancho efectivo es de 4.25 metros. En la Figura III.3.2-3 vemos a la plataforma 1, de estudio, y la plataforma 2 destinada para el Metrobús.

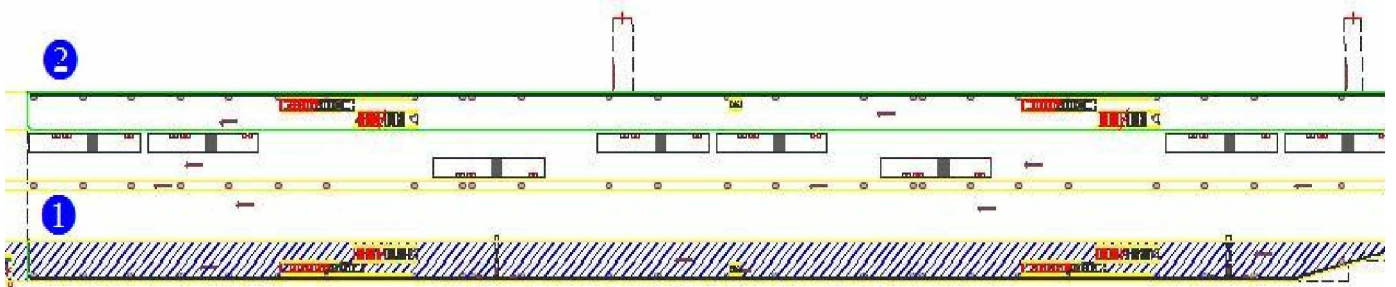


Figura III.3.2-3. Plataforma de descenso de usuarios en el paradero poniente.



IV. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Una vez solicitados los elementos necesarios para el análisis eficaz del flujo peatonal de usuarios de transporte público, procedemos a explicar cómo hacemos uso de esta información para alinearla con nuestro propósito.

En este capítulo se aborda el planteamiento de la transferencia de usuarios dentro del Centro de Transferencia Modal (CETRAM) que les permita un paseo cómodo, seguro y rápido. Asimismo, se fija el funcionamiento del Metro y el acomodo del transporte público de acuerdo a la configuración arquitectónica de los planos. Se presenta también cómo operará el CETRAM y sus paraderos para la transferencia, partiendo de la definición de la hora pico (HP) de diseño. Finalmente, se explica la conformación de las simulaciones que permitirán analizar la eficiencia del traslado peatonal dentro del CETRAM.

IV.1 Transferencia de usuarios

Al analizar los flujos peatonales de usuarios de transporte público al interior del CETRAM resaltamos la existencia de una transferencia. Como se describió en el objetivo de esta tesis, esta transferencia debe de satisfacer la demanda de la manera más óptima posible.

A manera de ordenar y asegurar este traslado de peatones entre el transporte público semi-masivo y el masivo, primero sugerimos el esquema de movilidad de los usuarios en el CETRAM. Esto incluye la separación de flujos entre los dos paraderos que conforman el edificio de transferencia. Paso seguido, fijamos el funcionamiento esperado para los tipos de instalación peatonal. Lo último para proponer la modificación a la infraestructura peatonal o nuevas instalaciones en función al requerimiento de la demanda de usuarios del CETRAM que se abordará en la Sección VI de Análisis de Resultados.

IV.1.1 Asignación de flujos peatonales

El inmueble descrito en la Figura III.3.2-1 encierra el desplazamiento que la gente podrá realizar dentro del CETRAM. Este movimiento necesita cubrir dos aspectos fundamentales:

1. ser el más corto y seguro para los peatones y
2. permitir la dosificación del volumen de pasajeros de tal manera que se eviten los cuellos de botella.

Conjuntamente, como ya se especificó, partimos de la hipótesis de la separación de flujos peatonales. En el paradero oriente el sentido será de la estación del Metro hacia los puntos de ascenso de las rutas de transporte público semi-masivo y en el paradero poniente a la inversa.



Bajo este tenor se han trazado los recorridos vislumbrados para los flujos peatonales de usuarios de transporte público al interior del CETRAM propuesto, que se exhiben en la Figura IV.1.1-1, dentro del paradero oriente, y en la Figura IV.1.1-2 dentro del paradero poniente. Las flechas de color verde reflejan los flujos horizontales y las azules los flujos verticales. El recorrido en los dos paraderos es el mismo, que busca conducir al individuo por los locales comerciales y servir como amortiguador para todo el volumen de usuarios del transporte público.

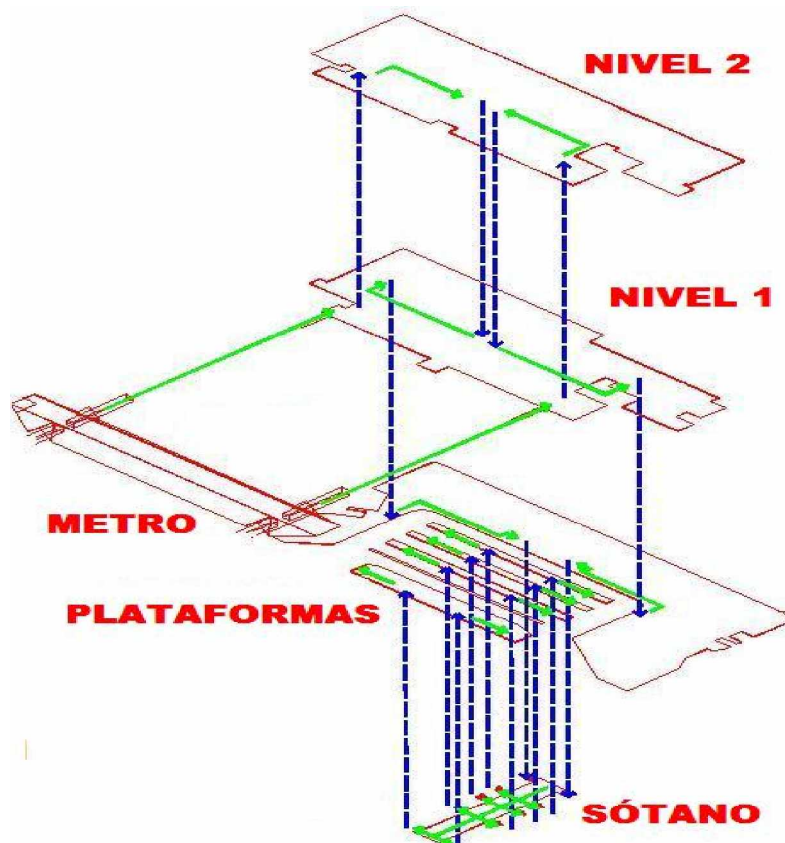


Figura IV.1.1-1. Isométrico del flujo peatonal en el paradero poniente.

El camino de ascenso al transporte público semi-masivo: autobús, microbús y pesera, sucede del lado oriente. Comienza cuando la gente sale del *Metro* a 5.70 metros hasta llegar al *Nivel 1* del CETRAM. Luego los pasajeros ascienden al *Nivel 2* a 11.20 metros. Nuevamente regresan al *Nivel 1* (5.70 metros) donde, ahora sí, pueden bajar al área de plataformas a 0.50 metros. Aquí, si su ruta deseada se halla dispuesta en la plataforma más interior, es decir, en la número 4 de la Figura III.3.2-3, podrán abordar directamente sin necesidad de mayor paseo. Mientras que para los pasajeros cuyas rutas deseada se hallen dispuestas en las otras plataformas, necesitarán descender hacia el *Sótano* a menos 3.25 metros e interconectar entre ellas. Finalmente, habiendo encontrado la plataforma en la que se halla su ruta deseada, suben a nivel de *Plataformas* a 0.50 metros para esperar su vehículo de transporte público. Lo último, para proteger a las personas de no realizar el cruce entre plataformas a nivel de las mismas y pudiera suceder un accidente como el atropellamiento.



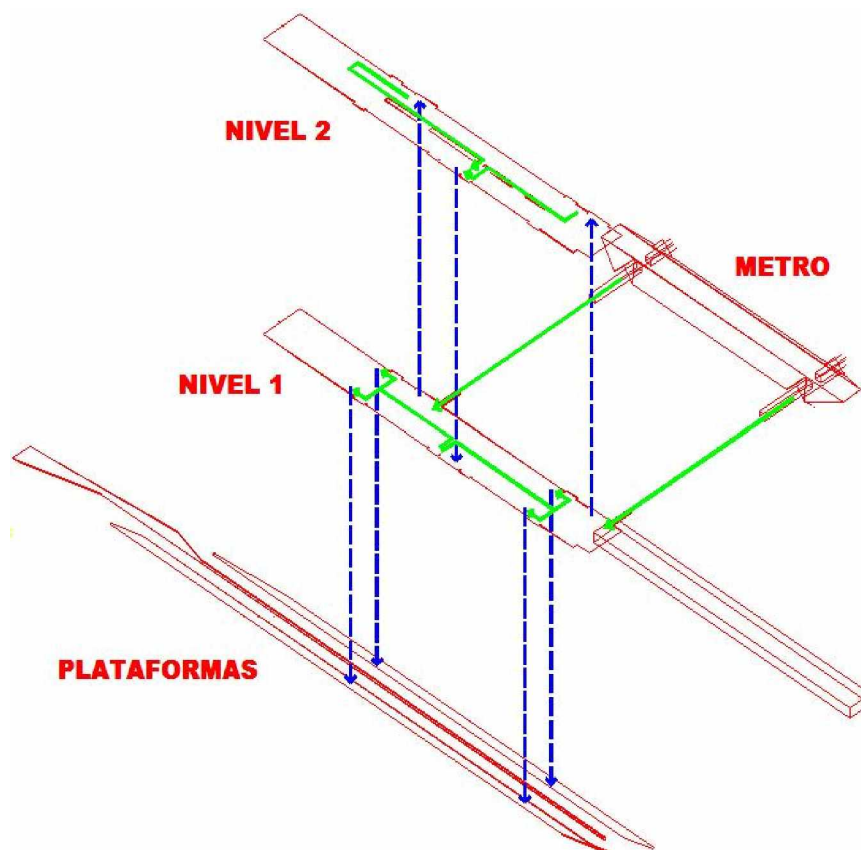


Fig. IV.1.1-2. Isométrico del flujo peatonal en el paradero poniente.

En el caso del paradero poniente, donde sucede el descenso de las personas del transporte público semi-masivo, ocurre el mismo paseo del oriente en sentido opuesto, sin considerar el sótano, pues sólo existe una plataforma de transferencia. Esta plataforma es la número 1 de la Figura III.3.2-3.

IV.1.2 Selección de nivel de servicio

Para elegir qué nivel de servicio es el óptimo para ofrecer a los usuarios dentro del CETRAM hay que analizar un término muy sonado hoy en día con la globalización. La *sustentabilidad* se refiere a un proyecto ambientalmente efectivo, económicamente viable y socialmente aceptable (Monterrubio, 2006). Y es esto justamente lo que se busca que el CETRAM de diseño refleje.

Pretender un nivel de servicio A resultaría lo más óptimo para el usuario pero lo más caro de construir económicamente y ambientalmente por el espacio requerido. Por otro lado un nivel F pudiera ser lo más barato a construir, pero lo más perjudicial para el usuario al no poder atender su volumen y tiempos de recorrido demandados. De tal suerte, se ha de diseñar para un nivel de servicio intermedio.



En la Sección III.1.3 se propone para un Centro de Transferencia Modal, que es nuestro caso, un nivel de servicio de C a E por lo que se seleccionará el término medio, el nivel de servicio D, pudiendo oscilar en ese rango.

IV.1.3 Estudio preliminar de la capacidad de instalaciones peatonales

Ya que la simulación sucede posterior a la concepción de los planos arquitectónicos presentados, todas las modificaciones o sugerencias que sigan necesitarán estar bien fundamentadas para una posible modificación de los mismos. De ahí a que se requiera un conocimiento técnico de la infraestructura dispuesta para la transferencia de los transeúntes en el CETRAM. Las instalaciones peatonales: escaleras eléctricas, escaleras fijas y pasillos, serán nuestros puntos de análisis focal para este fin.

Se elige el valor de 0.61 metros para el diámetro de movimiento entre peatones de la Tabla III.1.2-1 por dos razones. Primero, por ser el más atinado a nuestro caso de transferencia de usuarios al interior de un CETRAM en donde se esperan movimientos con contacto y, segundo, por representar el requerimiento de espacio más económico de la Tabla III.1.2-2 para un usuario mexicano de pie antes de llegar al límite del elipse de su cuerpo. Con este valor se conoce que en cada metro lineal hay cabida para 1.64 personas.

A partir del esquema operativo de velocidades propuesto por la Tabla III.1.4-1, la Tabla III.1.4-2 y la Tabla III.1.4-3 para pasillo, escalera fija y escalera eléctrica, respectivamente, hallamos los pasajeros por segundo u *oferta* de cada instalación peatonal. Lo anterior a través del producto de los 1.64 pasajeros en cada metro lineal o *capacidad* por la velocidad nominal (v_{oper}) de la instalación peatonal, siguiendo una operación conservativa. Esta información se recopila en la Tabla IV.1.3-1.

Instalación peatonal	Capacidad (pasax/m)	v_{oper} (m/s)	Oferta (pasax/s)
Pasillo	1.64	1.25	2.05
Escalera fija	1.64	0.25	0.41
Escalera eléctricas	1.64	0.54	0.89

Tabla IV.1.3-1. Transferencia de pasajeros teórica por metro lineal y por segundo en cada instalación peatonal.

Lo que resulta realmente interesante de este estudio de instalaciones peatonales es hallar el punto de inflexión en el que las escaleras fijas superan la capacidad de las escaleras eléctricas. Iterando para varias dimensiones de escaleras se llegó a que a partir de un ancho de 3.00 metros de escalera fija en comparación con 1.00 metro de escalera eléctrica, la primera excede por un pasajero a la segunda.



Cabe señalar que este estudio de las instalaciones peatonales es solamente teórico. El comportamiento físico-psicológico del peatón queda fuera de esta valoración preliminar, ya la simulación misma se encargará de incorporar este parámetro. Por tal motivo es de esperarse que la cantidad de peatones que pasen por estas instalaciones sea menor en tiempo real al reportado por esta evaluación. Los factores excluidos por este estudio de capacidad de instalaciones peatonales son, por ejemplo, la agresividad de un transeúnte para adelantarse a otros por espacios angostos, la distancia oscilatoria en la fase de seguimiento, cuánto tiempo antes de aproximarse al viajero precedente uno comienza a desacelerar, etcétera.

Estas características aleatorias son intrínsecas a cada peatón y a ciencia cierta no podríamos determinar la capacidad de una instalación peatonal sin saber el comportamiento físico-psicológico de las personas previamente. Luego de correr las simulaciones y cotejar sus resultados con los computados teóricamente, se podrá establecer un factor de reducción de la capacidad teórica de instalaciones peatonales (FRECTIP), para los resultados de este estudio preliminar.

IV.2 Alineación de la operación del transporte público

Los dos tipos de transporte público, masivo y semi-masivo, interactúan simultáneamente en la transferencia de peatones. Su operación conjunta, frecuencia y tiempo de permanencia, será quien ordene la entrada y salida en escena de las personas a lo largo del CETRAM. A partir de un eficiente acomodo geométrico del transporte público y de datos de operación concisos, la simulación representará eficazmente la situación real pretendida.

IV.2.1 Sistema de Transporte Colectivo Metro, sistema de diseño

Es necesario delimitar la operación del Metro como eje rector del diseño de esta tesis, para conocer cuántas personas y cada cuándo estarán haciendo uso del transporte público disponible.

Conforme a la información prestada por el Sistema de Transporte Colectivo Metro (STC- Metro) (<http://www.metro.df.gob.mx/operacion/afluencia.html>) determinamos la afluencia promedio anual del CETRAM en cuestión. A la vez que se pudiera elegir el valor del año 2007 como el de diseño por la clara tendencia de la afluencia peatonal a ir disminuyendo año con año, se opta por elegir el valor promedio por no contar con suficientes años de comparación, además de que se espera en el corto plazo la entrada en operación del Metrobús que en definitiva incrementará la demanda. Ahora bien, considerando 52 semanas al año, 6 días laborables y la distribución de la demanda por HP en 6 horas al día, entre la mañana y la noche, respectivamente, se llega a la afluencia peatonal durante la HP. Este cálculo se ve reflejado en la Tabla IV.2.1-1, a continuación.



Afluencia peatonal	2005	2006	2007	Promedio	HP
	16,773,000	16,134,019	12,726,403	15,211,141	8,126

Tabla IV.2.1-1. Número de usuarios esperados en el CETRAM por hora pico (HP).

Al determinar el porcentaje de ocupación (*%Ocupación*) de los trenes del Metro que estarán llegando al CETRAM se tiene una idea de la demanda real que tiene (*Pasax/tren*), es decir, la mínima oferta que su diseño debe de tener. Para fines de este estudio, se considera un Metro de 9 vagones que puede albergar a un total de 1530 pasajeros, sentados y de pie (ver Tabla III.2.1-1), es decir, al 100 por ciento de su capacidad. Éste tiene una *frecuencia* de operación de 3 minutos y 50 segundos, con un tiempo de permanencia (t_{perm}) de 39 segundos, mismos datos que se obtuvieron a partir de observaciones al CETRAM de estudio. Con estos datos pronosticamos que para la hora pico de estudio se tendrán 15 *movimientos* o paradas de trenes en el CETRAM. En la Tabla IV.2.1-2 se resume esta información que nos servirá de diseño en la modelación del CETRAM.

Frecuencia	t_{perm}	Movimientos	%Ocupación	Pasax/tren
00:03:50	00:00:39	15	35	542

Tabla IV.2.1-2. Datos operativos del Metro de diseño.

IV.2.2 Configuración geométrica del Transporte Público Semi-masivo en las plataformas de transferencia

La teoría del acomodo de vehículos en las plataformas necesita ser adecuada a las dimensiones del parque vehicular de estudio.

Ya que los paraderos de estudio contemplan los movimientos de entrada y salida independientes, se selecciona la configuración de en medio para autobús regular de la Figura III.2.3-1. Los movimientos independientes implican que el que ocurra el acceso de un vehículo en una bahía puede ser o no a la par del desalojo de la misma por otro vehículo.

En la Tabla IV.2.2-1 se observan las dimensiones finales para los vehículos de transporte semi-masivo considerado.

Dimensión	VÖV/VDA	Autobús	Microbús	Pesera
Longitud (m)	14	9	6	3.6
Rebase (m)	8	5.14	3.43	2.06
Seguridad (m)	5	3.21	2.14	1.29

Tabla IV.2.2-1. Equivalencias de dimensiones entre la teoría de VÖV/VDA (1979) y el transporte público semi-masivo de consideración.

Ya que todas las rutas consideradas cuentan con al menos un autobús y que cumpliendo los requerimientos de éste satisfacemos las necesidades de los demás transportes, el dimensionamiento de las plataformas se realiza a partir de



este vehículo tipo. Para fines de simplificación al momento del rayado de las bahías sobre los andenes, las distancias de rebase y seguridad se redondean a 5.5 y 4 metros, correspondientemente. Así, el tamaño total de una plataforma tipo, para un solo autobús, es de 22.5 metros, considerando que la distancia de seguridad se requiere tanto al frente como en la parte de atrás de los autobuses. Esta configuración geométrica se constata en la Figura IV.2.2-1. La línea punteada muestra la bahía en su conjunto.

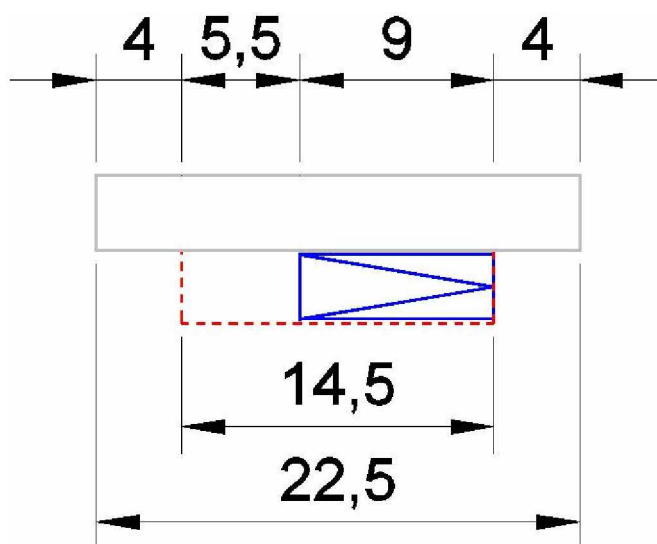


Figura IV.2.2-1. Disposición geométrica de una bahía para autobús dentro de una plataforma.

IV.3 Operación del Centro de Transferencia Modal

En función de la localización del CETRAM de estudio se pudo fijar que el ascenso de pasajeros fuera en el paradero oriente y el descenso en el paradero poniente. Así determinamos que nuestro CETRAM funcionaría con un flujo de transferencia pendular. Por la mañana llegaría todo el transporte público semi-masivo proveniente del norte para dejar a las personas y se dirigen a sus distintas actividades hacia el sur a través del Metro. Y en la noche sucedería a la inversa, los pasajeros volverían por Metro y abordarían el transporte semi-masivo para regresar a sus domicilios hacia el norte. Esta circulación se representa en la Figura IV.3-1.





Figura IV.3-1. Circulación de usuarios entorno al CETRAM.

Para este fin, en el análisis del paradero oriente, se sumaron los vehículos con movimiento tipo *salida*, que se presentaron en los dos paraderos; oriente y poniente, pues este movimiento representa a aquellos vehículos en los que abordan los pasajeros y salen del CETRAM. De igual forma, en el paradero poniente, ya que sólo lo analizaremos para el descenso de usuarios, se vuelven a sumar los vehículos de los dos paraderos pero ahora con movimiento de *acceso*, pues éste representa a aquellos que arriban al CETRAM para dejar pasaje.

IV.3.1 Determinación de la Hora Pico

Los datos de aforo con los que se contó para este estudio permitieron determinar la hora pico (HP) de diseño. Como ya se explicó en el marco metodológico anterior, la HP del lapso matutino, encontrada para el periodo de las 6:00 a las 13:30 horas, será con la que se diseñe el paradero oriente y la HP del lapso nocturno, de las 13:30 a las 20:00 horas, será con la que se diseñe el paradero oriente.

Al elegir las HP de diseño, se considera que los flujos peatonales de usuarios de transporte público en los paraderos para estas horas presentarán el mayor “conflicto” o demanda y estando tranquilos de que, en cambio, a las demás horas del día de operación del CETRAM se habrá cubierto cualquier tipo de complicación posible.

Los datos analizados resultan del promedio de todos los días de aforo. Esto debido a que es iluso esperar que el máximo volumen se vuelva a presentar para un mismo día martes o para la misma fecha al siguiente año, viernes 11 de mayo, por ejemplo.



Al disgregar la información proporcionada del aforo se observó que podríamos considerar dos alternativas para la selección de la HP, en función del enfoque de la operación que perseguimos al interior de la CETRAM. La primera opción referente a que el parque vehicular activo durante la HP (*VpH*) ocupe al menos una posición en los paraderos, es decir, que tenga pasaje, se exhibe en la Tabla IV.3.1-1. Y la segunda, el de garantizar que todas las personas que hacen uso del transporte público por hora (*UpH*) sean atendidas, se muestra en la Tabla IV.3.1-2. Este último criterio fue necesario transformarlo de porcentaje de ocupación (% de ocupación) de cada ruta por vehículo a número de usuarios con base a la capacidad de cada tipo de vehículo de transporte público proporcionada por la Tabla III.2.2-1. Los factores de hora pico calculados (*fhp*) nos hablan de qué tan bien están distribuidos los volúmenes por intervalo dentro de la hora encontrada. Entre más cercano se halle este valor a 1 la afluencia peatonal de los flujos se mantiene más constante en cada uno de los intervalos de medición de la HP y viceversa.

# VEHÍCULOS	Mañana			Noche		
	VpH	HP	Fhp	VpH	HP	fhp
Lunes 7	574	7:30-8:30	0.79063361	600	14:20-15:10	0.76335878
Martes 8	672	8:40-9:40	0.93333333	686	14:40-15:30	0.88630491
Miércoles 9	622	7:10-8:10	0.82933333	650	16:50-17:40	0.79075426
Viernes 11	628	12:40-13:40	0.76399027	638	17:10-18:00	0.82428941
Sábado 12	647	11:50-12:50	0.90616246	520	14:10-15:00	0.78787879
Domingo 13	548	9:40-10:40	0.89542484	448	14:10-15:100	0.56565657
Lunes 14	582	7:00-8:00	0.84347826	595	14:00-14:50	0.75699746

Tabla IV.3.1-1. Promedio del número de vehículos de todas las rutas.

# USUARIOS	Mañana			Noche		
	UpH	HP	Fhp	UpH	HP	fhp
Lunes 7	3859	12:30-13:30	0.53000961	6111	19:20-20:10	0.79913692
Martes 8	4611	8:30-9:30	0.92870091	10571	19:10-20:00	0.85174442
Miércoles 9	6907	7:10-8:10	0.87044739	9337	20:00-20:50	0.96866895
Viernes 11	3131	6:30-7:30	0.65050278	6730	14:00-14:50	0.76019428
Sábado 12	5724	11:20-12:20	0.83574244	7427	15:30-16:20	0.7846804
Domingo 13	4676	12:40-12:40	0.87614765	5048	14:10-15:100	0.53014073
Lunes 14	5610	7:00-8:00	0.76513912	5703	14:20-15:10	0.90610105

Tabla IV.3.1-2. Promedio del número de usuarios de todas las rutas.

Mientras que para el lapso de la mañana las dos HP consideradas varían por hora y media, en la noche el desfase de cinco horas y media es de llamar la atención. Para decidirse por alguno de los criterios, se ha de recordar uno de los lineamientos fundamentales de esta tesis de flujo de peatones de transporte público: “El transporte es para mover gente no vehículos” (Vuchic, 2000). Además si se diseñase para servir a todo los vehículos a una hora, pero no para toda la gente a la misma hora, la propuesta de solución podría resultar rebasada por la demanda de parte de los usuarios y subestimada para la oferta del transporte público.



Por estas razones las HP de diseño seleccionadas son las concernientes a la tabla de número de usuarios (Tabla IV.1-2). En la Tabla IV.3.1-3 se muestra la asignación de HP por paradero.

HP	
Mañana / PONIENTE	Noche / ORIENTE
7:10-8:10	19:10-20:10

Tabla IV.3.1-3. Selección de las horas pico, mañana y noche.

Se hace hincapié que a partir de este momento todos los datos presentados serán con respecto a las HP de diseño.

IV.3.2 Paradero Oriente

Como ya se definió, en este paradero sólo se considerará el ascenso de personas (*Pasax*) a las respectivas rutas de transporte público. Por esta razón, con base en el aforo, los valores mostrados a continuación resultan del promedio del número total de autobuses, microbuses y peseras (*U*) con movimiento de *salida*, en los dos paraderos, como lo hicimos para el caso del análisis de la HP. En la Tabla IV.3.2-1 se observa el vaciado de estos datos.

RUTA	Autobús		Microbús		Pesera		Total	
	Pasax	U	Pasax	U	Pasax	U	Pasax	U
A	0	0	0	0	59	6	59	6
B	0	0	0	0	112	10	112	10
C	21	1	36	4	159	18	216	23
CH	57	2	45	4	96	17	197	23
D	28	1	0	1	6	1	34	3
E	58	2	22	1	102	10	182	13
F	611	14	85	4	501	64	1,197	82
G	24	1	6	1	17	2	47	4
H	40	1	36	1	75	6	151	8
I	168	4	42	2	44	5	254	11
J	206	4	75	3	125	14	405	21
K	138	3	64	3	187	20	389	25
L	84	1	18	1	22	4	124	7
M	136	3	40	1	43	5	219	9
N	256	5	66	2	1017	99	1,339	106
Total	1,828	42	533	27	2,564	281	4,925	350

Tabla IV.3.2-1. Subtotales por tipo de vehículo de pasajeros y vehículos en el paradero oriente en toda la hora pico de diseño (19:10 a 20:10 horas).



IV.3.2.1 Frecuencia de atención

Como se especificó en la Sección III de Objetivos y Alcance, aparte de satisfacer eficientemente la demanda de pasajeros, se pretende que todo el parque vehicular existente dentro de la hora pico sea atendido.

Gracias a las visitas que se realizaron a distintos CETRAM en México se establece un rango de ascenso de personas a los vehículos de transporte público semi-masivo. Debido a que el aforo informa que todas las rutas sin excepción tienen al menos una unidad tipo autobús, éste fungió como el vehículo de diseño.

Se propone una frecuencia de atención en el ascenso de pasajeros de 2 minutos y medio. Este periodo incluye el proceso de acomodo del autobús en la bahía, el ascenso de pasajeros hasta lograr el porcentaje de ocupación (dato promedio de aforo) y el desalojo del autobús de la bahía, dejándola libre para su siguiente ocupación. El tiempo de permanencia o duración del abordaje de viajeros se define de un minuto dentro de la frecuencia presentada. Este último valor es con el que se desalojarán las multifilas de espera. Para lograr esta frecuencia se parte de las consideraciones siguientes: acceso por las dos puertas y cobro de tarifa a bordo, no al ingreso del vehículo.

Los *movimientos* vehiculares considerados dentro de la HP son 24. Por movimiento se entiende cuántas veces se vacía y llena el paradero. Este número resulta de dividir los 60 minutos de la HP entre la suma de la *frecuencia* y el tiempo de permanencia (t_{perm}) de operación del paradero oriente. La operación de este paradero se resume en la Tabla IV.3.2.1-1.

Frecuencia	t_{perm}	Movimientos
00:02:30	00:01:00	24

Tabla IV.3.2.1-1. Datos operativos del transporte público semi-masivo en el paradero oriente.

IV.3.2.2 Puntos de ascenso

Para definir cómo se habría de ubicar los puntos de ascenso por andén conforme al número de vehículos que se presentarían por movimiento de cada ruta, se prorrateó la longitud requerida de 14.5 metros por autobús (ver Figura IV.2.2-1) sobre el largo de las alas de 42.75 metros (ver Tabla III.3.2-1). Este razonamiento se exhibe en la Tabla IV.3.2.2-1 con los pasajeros (*Pasax*) y vehículos (*Unidades*) esperados por movimiento. La longitud real (L_{real}) y longitud requerida (L_{req}) se mantienen constantes para todo caso en que los autobuses de la misma ruta quepan en la totalidad del ala de la plataforma.



RUTA	Pasax	Unidades	L_{req}	L_{real}	$PASAX_{real}$
A	2	1	14.5	14.5	2
B	5	1	14.5	14.5	5
C	9	1	14.5	14.5	9
CH	8	1	14.5	14.5	8
D	1	1	14.5	14.5	1
E	8	1	14.5	14.5	8
F	50	4	41.5	41.5	50
G	2	1	14.5	14.5	2
H	6	1	14.5	14.5	6
I	11	1	14.5	14.5	11
J	17	1	14.5	14.5	17
K	16	2	23.5	23.5	16
L	5	1	14.5	14.5	5
M	9	1	14.5	14.5	9
N	56	5	50.5	25.25	28
N'				25.25	28
Total	205	23	289.5	289.5	205

Tabla IV.3.2.2-1. Determinación de la longitud requerida por movimiento para el acomodo de autobuses de cada ruta en el paradero oriente.

Se puede observar en la Tabla IV.3.2.2-1 que la Ruta N tuvo que ser dividida ya que su L_{req} superaba el largo del ala. Por esto motivo, llegamos a la columna de L_{real} y de pasajeros reales ($Pasax_{real}$) proponiendo el nuevo punto de ascenso N' y asegurando que las 5 unidades que presenta por movimiento sean atendidas.

De esta manera, se llega a la propuesta de asignación de los 16 puntos de ascenso en las plataformas disponibles del paradero oriente de la Tabla IV.3.2.2-2.

Plataforma	Ala	Puntos de Ascenso
4	Norte	L
		B
		A
	Sur	G
3	Norte	N
		M
	Sur	C
2	Norte	CH
		N'
	Sur	E
1	Norte	K
		H
	Sur	F
		J
		I

Tabla IV.3.2.2-2. Acomodo de rutas por plataforma y puntos de ascenso.



Se procuró que en el acomodo de los puntos de ascenso las rutas con mayor número de vehículos quedarán ubicadas lo más exterior del paradero posible, es decir, hacia la plataforma 1 de la Figura III.3.2-3 y sobre el ala norte. Lo anterior para que estas rutas contasen con una mayor facilidad o giro para entrar y salir del paradero. En la Figura IV.3.2.2-1 y en la Figura IV.3.2.2-2 se observa la configuración de bahías por andén en el paradero oriente en el ala norte y sur, respectivamente. El área rayada a la mitad de cada andén es la zona dispuesta para el ascenso de personas con capacidades diferentes, con un sólo espacio para autobús.



Figura IV.3.2.2-1. Disposición final de puntos de ascenso en el paradero oriente ala norte.



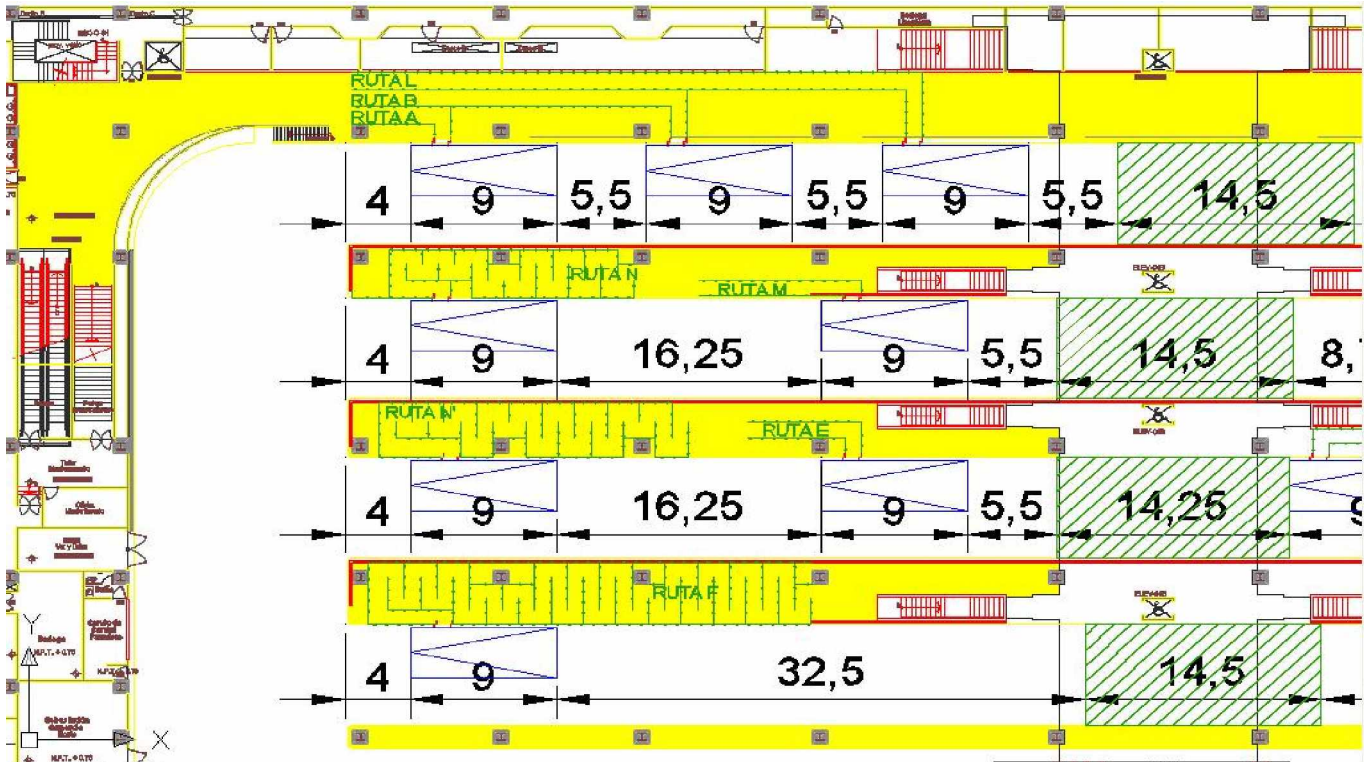


Figura IV.3.2.2-2. Disposición final de puntos de ascenso en el paradero oriente ala sur.

Con estos puntos de ascenso, el número de movimientos vehiculares y la capacidad de cada autobús, en el paradero oriente se alcanza a atender a 30,720 peatones listos para abordar los autobuses de las diferentes rutas. En la Tabla IV.3.2.2-3 se presenta la oferta peatonal contra la demanda del paradero reportada por el aforo (revisar Tabla IV.3.2-1).

Pasajeros / Oriente		
Demanda	Oferta	Sobreoferta
4,925	30,720	624%

Tabla IV.3.2.2-3. Volumen peatonal atendido por el transporte público semi-masivo en el paradero oriente.

IV.3.2.3 Multifilas

Para organizar las colas de espera para abordar el transporte público semi-masivo, se desarrolló el concepto de *multifila*. Esta idea implica fijar un espacio físico de carriles en los que la gente pueda acomodarse por punto de ascenso. Así, aseguramos que se siga un orden, evitando el abuso de algunos usuarios que pretendieran meterse a la fila sin derecho y/o a la fuerza en la fila.

Para este fin, primero se consideró el ancho efectivo de cada plataforma (ver Tabla III.3.2-1) para saber cuántas multifilas podría haber en ellas. Consideraremos que el ancho necesario de la multifila será de 1.00 metro por la



adición de los diámetros de los tubos de separación propuestos para las multifilas y el valor de 0.81 metros de las medidas antropométricas de un usuario mexicano de pie (ver Tabla III.1.2-2). Se opta por esta condición por representar la posición más cómoda de una persona, mitigando el posible estrés generado por la espera en la multifila o la prisa del usuario. Así llegamos al acomodo mostrado en la Tabla IV.3.2.3-1.

Plataforma	Longitud (m)	Ancho _{efe} (m)	Ancho _{nec} (m)	Multifilas
4	85.5	3.6	1	3
3	85.5	2.3	1	2
2	85.5	2.5	1	2
1	85.5	2.8	1	2

Tabla IV.3.2.3-1. Número de multifilas disponibles por plataforma para el paradero oriente.

Para encontrar la longitud necesaria de las multifilas en función de la demanda, se sigue el valor índice de comodidad *Nivel E: Movimientos con contacto*, con diámetro de 0.61 metros por persona (ver Tabla III.1.2-1). Se opta por esta condición pues aunque se esperan desplazamientos contiguos entre las personas, no se desea que estén una encima de la otra como lo representa el Nivel F. Multiplicando este indicador por el número de personas se tiene la longitud requerida (L_{req}) cotejada con la longitud ofrecida (L_{ofer}) por el planteamiento arquitectónico de las multifilas de la Tabla IV.3.2.3-2.

RUTA	Pasax	L_{req} (m)	L_{ofer} (m)
L	5	3.05	38
B	5	3.05	23
A	2	1.22	7
G	2	1.22	32
D	1	0.61	16
N	28	17.08	43
M	9	5.49	10
C	9	5.49	16
CH	8	4.88	11
N'	28	17.08	66
E	8	4.88	8
K	16	9.76	18
H	6	3.66	11
F	50	30.5	103
J	17	10.37	31
I	11	6.71	11
Total	205	102.5	444

Tabla IV.3.2.3-2. Longitud de multifilas lograda para el acomodo de los pasajeros durante su espera del transporte público semi-masivo por movimiento en el paradero oriente.

Para toda multifila propuesta se observa que la capacidad ofrecida es superior a la demandada. El caso más crítico que podríamos tener es para la Ruta E en donde logramos un extra del 64 por ciento, por lo que estamos aún de gane.



IV.3.3 Paradero Poniente

Analizando los datos proporcionados por el estudio de aforo, llegamos al siguiente barrido de datos que muestra la Tabla IV.3.3-1 en el paradero poniente para la HP. El movimiento de las unidades de transporte público semi-masivo (*U*) considerado para este paradero es el de acceso, pues, como habíamos definido, para esta parte del CETRAM sólo sucede aquí el descenso de pasajeros (*Pasax*). Los valores mostrados resultan del promedio de los días de aforo de la suma de acceso en los dos paraderos.

RUTA	Autobús		Microbús		Pesera		Total	
	Pasax	U	Pasax	U	Pasax	U	Pasax	U
A	0	0	42	2	104	15	146	17
B	152	15	0	0	186	21	338	36
C	26	2	95	11	178	22	299	35
CH	26	2	55	8	159	23	240	34
D	32	1	0	0	40	4	72	5
E	94	4	26	3	177	29	297	35
F	2,170	49	128	5	1,128	138	3,426	192
G	61	1	78	3	22	3	160	7
H	20	1	25	1	158	20	203	22
I	572	11	44	2	55	7	671	19
J	266	6	105	4	188	27	559	37
K	106	5	71	2	444	51	621	59
L	33	2	157	4	36	5	226	10
M	92	7	47	2	178	21	316	31
N	0	0	12	1	17	2	29	3
Ñ	0	0	0	0	226	17	226	17
O	0	0	0	0	5	5	5	5
P	0	0	0	0	2	1	2	1
Q	0	0	0	0	72	8	72	8
R	0	0	0	0	9	8	9	8
S	0	0	6	1	243	16	249	17
T	0	0	0	1	25	3	25	4
U	0	0	0	0	5	4	5	4
V	0	0	0	0	0	0	0	0
W	0	0	0	0	0	1	0	1
X	0	0	0	0	701	6	701	6
Y	0	0	0	0	53	5	53	5
Z	0	0	60	0	214	18	274	18
AA	0	0	0	0	15	1	15	1
AB	0	0	0	0	15	1	15	1
AC	0	0	0	0	274	20	274	20
ACH	0	0	90	1	86	6	176	7
Total	3,649	105	1,040	51	5,010	509	9,699	665

Tabla IV.3.3-1. Subtotales por tipo de vehículo de pasajeros y vehículos en el paradero poniente en toda la hora pico de diseño (7:10 a 8:10 horas).



IV.3.3.1 Frecuencia de atención

En base a las observaciones realizadas en distintos CETRAM de México, se analizará el descenso de pasajeros de los vehículos para una *frecuencia* de 1 minuto y medio. El tiempo de permanencia o de descenso de las personas será de 30 segundos. Estos valores corresponden al autobús, que por contar todas las rutas con al menos uno de ellos, es nuestro vehículo diseño del paradero poniente. Además es de esperarse que si atendemos a un autobús con estos tiempos de análisis, con mucho mayor razón atenderemos a un microbús o a una pesera, que son vehículos de menor capacidad.

Esta frecuencia comprende los pasos de arribo del vehículo a la bahía, desalojo de pasajeros y abandono de bahía. Así mismo se resalta que para lograr esta frecuencia se requiere que se permita a los pasajeros bajar del vehículo por las dos puertas existentes.

La atención que logramos con esta frecuencia esperada es de 40 *movimientos*. Es decir que 40 veces la plataforma será ocupada y desocupada por el transporte público dentro de la HP. Este dato resulta de dividir los 60 minutos de la HP entre la suma de la *frecuencia* de operación del paradero poniente y su tiempo de permanencia (t_{perm}).

La operación de este paradero se resume en la Tabla IV.3.3.1-1.

Frecuencia	t_{perm}	Movimientos
00:01:30	00:00:30	40

Tabla IV.3.3.1-1. Datos operativos del transporte público semi-masivo en el paradero poniente.

IV.3.3.2 Puntos de descenso

Se ha de considerar la superficie efectiva de la plataforma de descenso para los usuarios de transporte público para garantizar la eficiencia de este movimiento. Partimos de la idea de servir a todo el parque vehicular del transporte público semi-masivo existente durante la hora pico, ya que éste transporta a aquellas personas que harán uso del CETRAM y así cumplimos a la vez con el objetivo de atender a todos los usuarios.

La configuración de los puntos de descenso resulta de considerar la longitud total de la plataforma de 227 metros y restarle el espacio reservado de 14.5 metros para el descenso de personas con capacidades diferentes, resultando una longitud efectiva de 212.5 metros. Prorrateando esa longitud efectiva entre las longitudes y número de vehículos por movimiento de cada tipo de transporte público semi-masivo, llegamos al arreglo exhibido por la Figura IV.3.3.2-1. Los vehículos de color azul son autobuses que cuentan con 7 bahías, luego, en verde, los microbuses con 4 bahías y finalmente en rojo las peseras con 27 bahías, sumando un total de 38 puntos de descenso para el transporte público semi-masivo. El área



reservada para el descenso de personas con capacidades diferentes se observa a la mitad del andén en un recuadro sombreado. Esta última zona sólo permite la permanencia de un autobús a la vez.

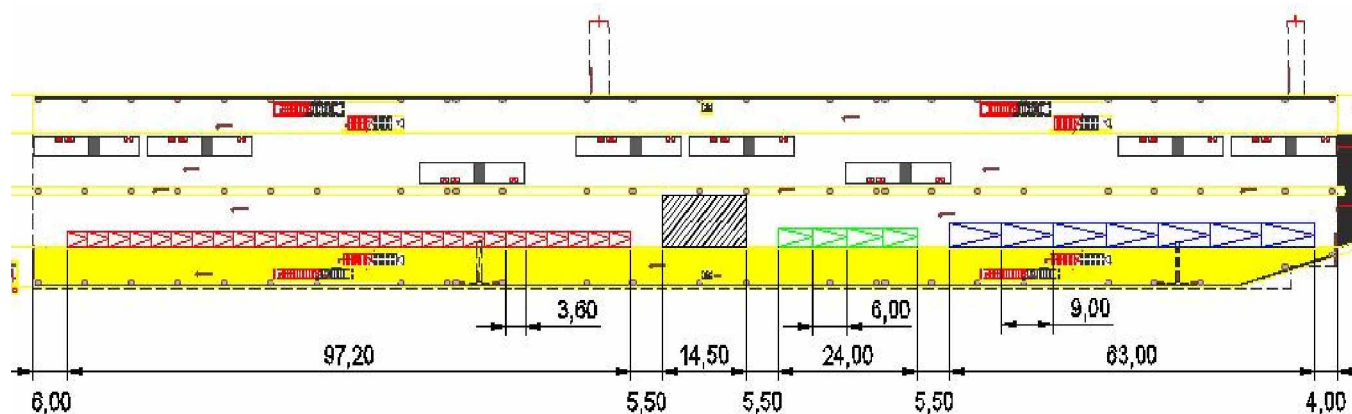


Figura IV.3.3.2-1. Disposición de bahías para el paradero poniente.

A diferencia del paradero oriente, aquí se diseñan bahías para todos los tipos de vehículos del transporte público semi-masivo: autobús, microbús y pesera. Esto para tener un control sobre las llegadas del transporte público por parte de los administradores del CETRAM y, al mismo tiempo, asegurar que el área reservada para personas con capacidades diferentes se respete. Como se puede corroborar, las dimensiones de rebase y seguridad mínimas se fijaron conforme a lo visto en la Tabla III.2.2-1.

En función a los 40 movimientos posibles, por la frecuencia de atención en el descenso, y oferta de vehículos de transporte público en la HP podemos pronosticar que se presentarán 3 autobuses, 2 microbuses y 13 peseras, cada movimiento. Ya que no es posible considerar fracciones de vehículos, éstas se redondearon a la unidad inmediata superior, para estar del lado de la seguridad. Esto se exhibe en la Tabla IV.3.3.2-1.

Unidades	Autobús	Microbús	Pesera
HP	105	51	509
Movimiento	3	2	13

Tabla IV.3.3.2-1. Número de unidades vehiculares esperadas en toda la hora pico y por movimiento en el paradero poniente.

Considerando estas unidades por movimiento y su capacidad por tipo de vehículo (ver Tabla III.2.2-1) se atiende a un total de 22,200 pasajeros durante toda la hora pico (HP). En la Tabla IV.3.3.2-2 se coteja esta oferta con la demanda en el paradero poniente.



Pasajeros / Poniente		
Demanda	Oferta	Sobreoferta
9,699	22,200	229%

Tabla IV.3.3.2-2. Atención peatonal del paradero poniente durante toda la hora pico.

IV.4 Simulaciones

Para contar con una simulación lo más cercana a la realidad fueron necesarias ciertas consideraciones que “forzarán” al programa a comportarse como se espera. Es importante resaltar que cualquier programa que pretenda representar el comportamiento humano, por muy detallado que sea, difícilmente lo podrá hacer exactamente como sucede en el mundo real. Lo anterior simplemente por las limitaciones propias del simulador y/o por la experiencia y conocimiento del mismo modelador.

La facilidad de contar con un programa de simulación nos permite reducir los costos y riesgos de llevar a cabo primero la construcción del CETRAM y luego verificar el comportamiento peatonal, sin poder realizar muchas modificaciones para eficientar su recorrido por las limitaciones físicas ya existentes. Además contamos con la ventaja de experimentar diferentes panoramas de configuraciones arquitectónicas y de datos operativos.

Como habíamos mencionado, si el análisis efectuado excluye la operación del Metro, su capacidad y volumen de entrega de pasajeros, frecuencia y tiempo de permanencia, estaría fuera de la realidad y peor aún, descartaría el escenario más crítico. De tal suerte, se simulará este escenario y el del reporte del estudio de aforo para contar con dos parámetros reales de análisis.

El trazo de los distintos senderos que un peatón podría seguir dentro del CETRAM para llegar desde el Metro a la ruta de transporte público deseada y viceversa, se determinó en base a la idea de que el usuario fijará su camino por donde le sea más sencillo o conveniente moverse. Por ejemplo, si en un tramo de su trayecto se halla una columna que le corta la visibilidad y él necesita llegar a unas escaleras que se encuentran a la derecha de la columna, definimos que el camino que el individuo preferirá es este último, por la derecha de la columna, en vez de por la izquierda, por representar el recorrido más corto.

Una vez que se dispone de la red sobre la cual el peatón se moverá y sus posibles rumbos a elegir se definieron los volúmenes de usuarios y sus velocidades crucero posibles. Mientras que la cantidad de personas dependió de la fuente de información, estudio de aforo u operación del Metro, y del tipo de movimiento por paradero, ascenso en el oriente y descenso en el poniente, la distribución de velocidades de paseo se mantuvo para todo el CETRAM (Tabla III.1.4-1, Tabla III.1.4-2 y Tabla III.1.4-3). En los trayectos específicos de escaleras se introdujeron



reductores de velocidad que obligaran a los viajeros simulados reflejar la realidad del esfuerzo al desplazarse a través de ellas.

Todos los caminos o tramos de paseo fueron dibujados en sujeción a los planos arquitectónicos proporcionados. De esta manera los anchos y largos posibles de cada tramo son los estipulados por los espacios libres considerados para el paseo peatonal en dichos planos.

La Figura IV.4-1 muestra la red trazada para el paseo de los usuarios en el paradero oriente en planta. Aquí se aprecia la delimitación de la red por el plano arquitectónico. En la Figura IV.4-2 se observa la misma red en perspectiva desde la parte de atrás del paradero en un ángulo, que exhibe la disposición del sótano de conexión entre las distintas multifilas propuestas. El color azul es el espacio o entorno físico, el blanco el plano de sujeción o suelo y en gris la red vislumbrada.

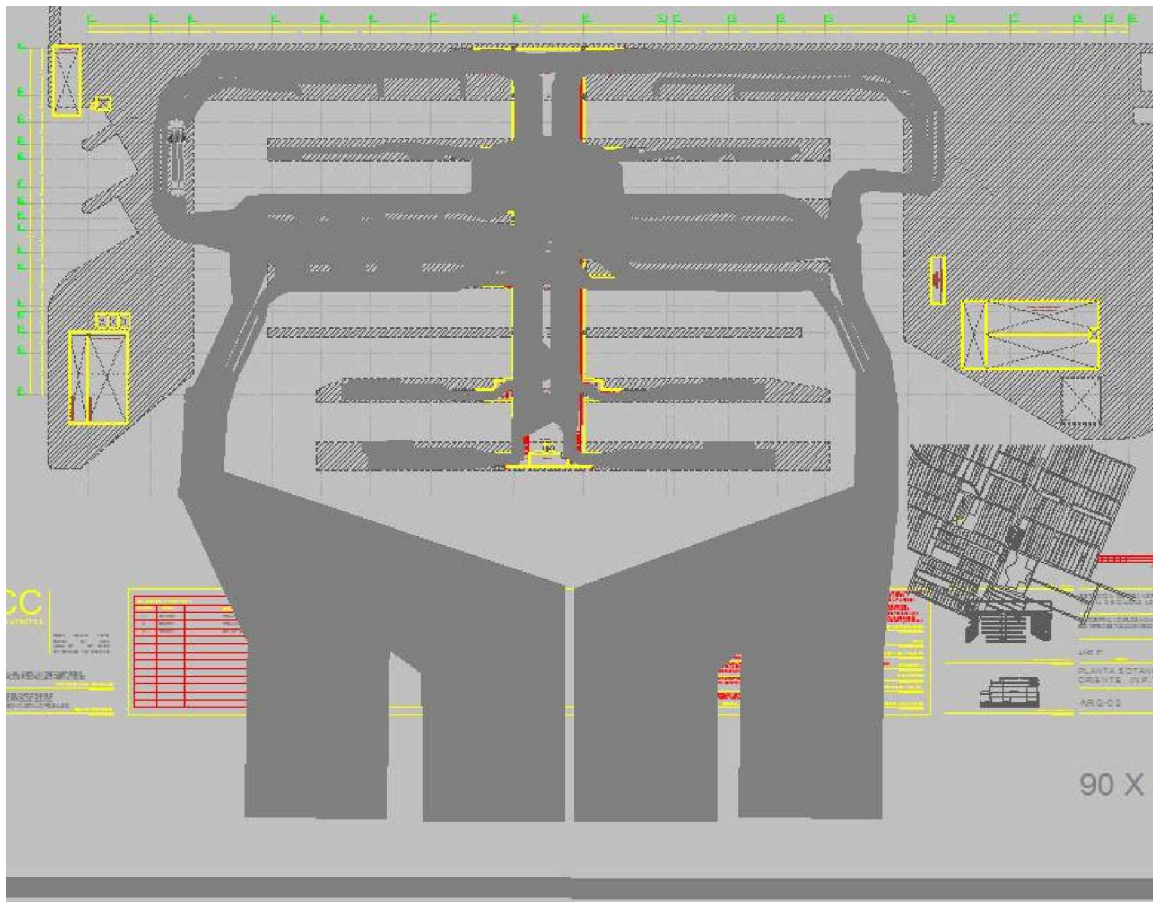


Figura IV.4-1. Red para el paseo peatonal en el paradero oriente en planta.



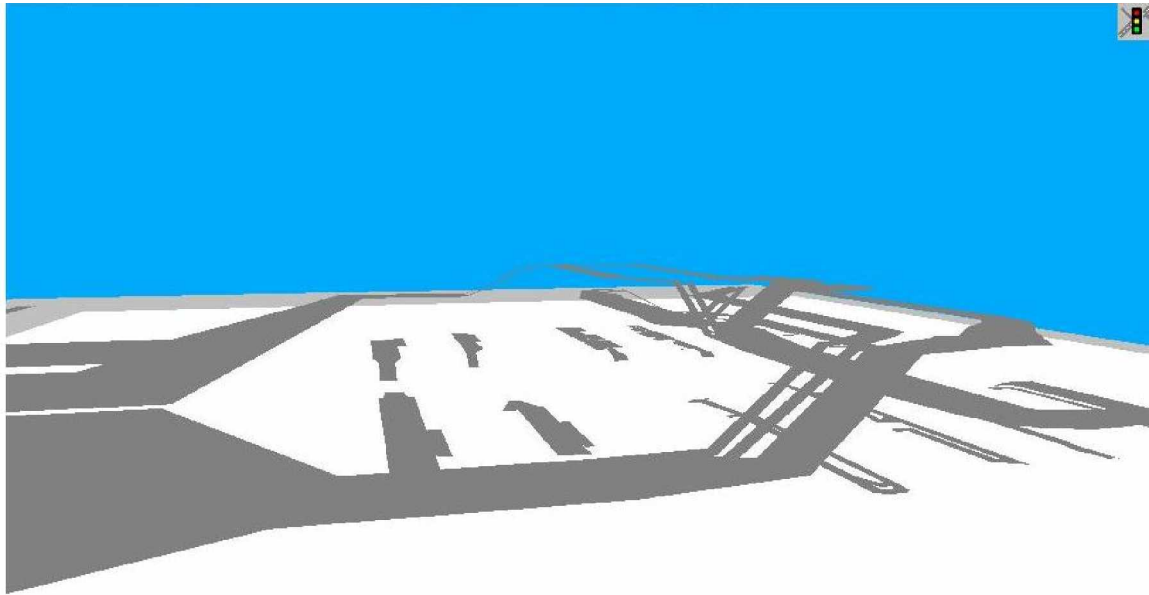


Figura IV.4-2. Red para el paseo peatonal en el paradero oriente en perspectiva.

En la Figura IV.4-3 se presenta la red del paradero poniente vista en planta. Nuevamente se puede corroborar aquí cómo se ajustaron los andadores a las dimensiones de los planos arquitectónicos. En la Figura IV.4-4 se enseña la misma red en perspectiva. El color azul es el espacio o entorno físico, el blanco el plano de sujeción o suelo y en gris la red vislumbrada.



Figura IV.4-3. Red para el paseo peatonal en el paradero poniente en planta.



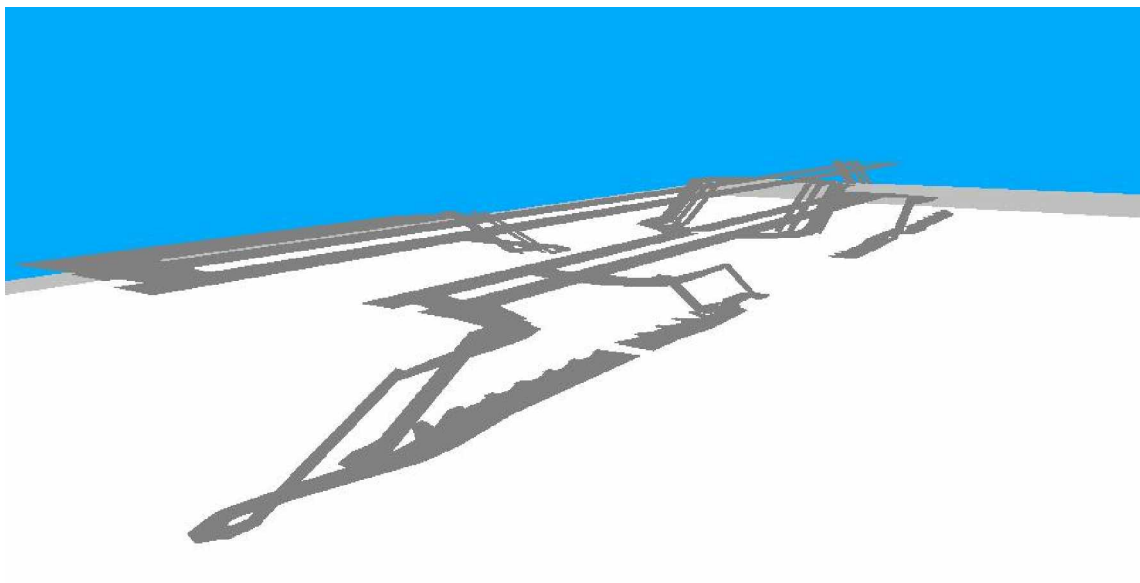


Figura IV.4-4. Red para el paseo peatonal en el paradero poniente en perspectiva.

IV.4.1 Con base al estudio de aforo

A pesar de que en el paradero oriente se cuenta con 205 usuarios por cada uno de los 24 movimientos posibles del transporte público semi-masivo dentro de la HP se consideró que a partir de los 15 movimientos del Metro durante la HP (ver Tabla IV.2.1-1), el total de pasajeros registrados por el aforo de 4,925 (ver Tabla IV.3.2-1), resultaría de 329 transeúntes por tren. Este volumen de personas será entregado con la misma frecuencia que la del Metro de diseño de 00:03:50 y su tiempo de permanencia de 00:00:39. El flujo peatonal de usuarios se repartirá a la mitad por cada uno de los accesos del Metro hacia el paradero. Además se hace la consideración de que el 80 por ciento del flujo preferirá moverse por las escaleras eléctricas y el 20 por ciento por las escaleras fijas. Finalmente, la cantidad de viajeros de cada ruta se obtiene a partir de su demanda o porcentaje de ocupación de los vehículos, reportado por el aforo. Tomando en cuenta la frecuencia de atención planteada para el paradero oriente, de 00:02:30, y tiempo de permanencia de 00:01:00 (ver Tabla IV.3.2.1-1), los viajeros se formarán y esperarán en la multifila correspondiente a que llegue su vehículo para ascender al mismo.

Para la simulación en base al estudio de aforo en el paradero poniente, se comienza por obtener el promedio del porcentaje de ocupación por vehículo (*%Ocup*) para toda la HP mostrado en la Tabla IV.4.1-1. Este valor se obtuvo del número de pasajeros por ruta (*Pasax*) y tipo de vehículo (*Autobús, Microbús o Pesera*), se dividió entre el número de unidades (*U*) registrado por el aforo durante toda la HP. El resultado de esa operación se dividió a su vez por la capacidad de dicho vehículo al 100 por ciento mostrada de la Tabla III.2.2-1, para llegar al valor final de *%Ocup* y hacer el promedio de éste de todas las rutas para contar con uno global para cada tipo de vehículo.



RUTA	Autobús			Microbús			Pesera		
	Pasax	U	%Ocup	Pasax	U	%Ocup	Pasax	U	%Ocup
A	0	0		42	2	35	104	15	48
B	152	15	13	0	0		186	21	60
C	26	2	15	95	11	14	178	22	53
CH	26	2	14	55	8	11	159	23	46
D	32	1	40	0	0		40	4	67
E	94	4	33	26	3	16	177	29	41
F	2,170	49	56	128	5	41	1,128	138	54
G	61	1	59	78	3	49	22	3	44
H	20	1	25	25	1	41	158	20	52
I	572	11	68	44	2	47	55	7	52
J	266	6	58	105	4	42	188	27	46
K	106	5	25	71	2	51	444	51	58
L	33	2	27	157	4	75	36	5	50
M	92	7	16	47	2	33	178	21	55
N	0	0		12	1	20	17	2	55
Ñ	0	0		0	0		226	17	86
O	0	0		0	0		5	5	7
P	0	0		0	0		2	1	10
Q	0	0		0	0		72	8	62
R	0	0		0	0		9	8	7
S	0	0		6	1	10	243	16	101
T	0	0		0	1	0	25	3	55
U	0	0		0	0		5	4	8
V	0	0		0	0		0	0	
W	0	0		0	0		0	1	0
X	0	0		0	0		701	6	778
Y	0	0		0	0		53	5	70
Z	0	0		60	0		214	18	79
AA	0	0		0	0		15	1	100
AB	0	0		0	0		15	1	100
AC	0	0		0	0		274	20	90
ACH	0	0		90	1	150	86	6	95
Promedio	3,649	105	34	1,040	51	40	5,010	509	78

Tabla IV.4.1-1. Porcentaje de ocupación por ruta y tipo de vehículo durante la hora pico en el paradero poniente.



Se piensa que el porcentaje de ocupación global o promedio de cada tipo de vehículo en toda la hora pico nos representaría mejor qué volumen de usuarios podemos esperar en cada movimiento. De esta manera, en el paradero poniente, en cada movimiento por pesera se tienen 12 viajeros, que representan el 78 por ciento de los 15 pasajeros abordo posibles. De la misma forma, resultan 28 por autobús y 24 pasajeros por microbús. Así, el volumen de usuarios de transporte público introducido al programa no es precisamente el de 9,699 pasajeros, sino el del porcentaje de ocupación promedio de cada tipo de vehículo para toda la HP. Valuando estos nuevos datos para 3 autobuses, 2 microbuses y 13 peseras por movimiento (ver Tabla IV.3.3.2-1), resulta una demanda de 11,520 personas en toda la HP.

IV.4.2 Con base al Sistema de Transporte Colectivo Metro

Los parámetros de diseño para llevar a cabo las simulaciones en función a la operación del transporte público masivo son los de la Tabla IV.2.1-2, a saber, 542 pasajeros cada 230 segundos.

Aunque se pretendió seguir con el esquema de fluctuación de personas del 80 por ciento por escalera eléctrica y del 20 por ciento por escalera fija, al correr la simulación se observa una sobresaturación de los caminos a medida que transcurre la HP. Por tal motivo, se procedió a experimentar también con tasas de 50-50 y de 20-80 para escaleras eléctricas y fijas, respectivamente. Aunque es difícil de acontecer en el mundo real, que de cada 10 personas 8 prefieran subir por escaleras fijas y 2 por escaleras eléctricas, es fácil de entender que si uno como peatón encuentra una vialidad saturada (la escalera eléctrica) por muy cómoda que le parezca, preferirá otra más libre (la escalera fija) por representarle menor tiempo de espera y, por lo tanto, de recorrido.

Mientras que se halló una mejor transferencia de los flujos peatonales para el caso del 20 por ciento por escalera eléctrica y del 80 por ciento por escalera fija, a medida que avanza la HP sucede el mismo congestionamiento que manteniendo el flujo inicial inverso, de 80-20 por ciento. En cuanto se disolvía un cuello de botella para una instalación peatonal, corriente abajo se generaba para otra instalación. Sólo se consiguió disminuir los tiempos de espera por embotellamiento sin disolverlos por completo, debido al inagotable volumen de pasajeros entregado por el Metro. Por tal motivo, se optó por simular la operación del transporte público masivo con el esquema de 50-50 por ciento.

Para el diseño de la simulación del CETRAM de estudio conforme a los datos proporcionados por el Sistema de Transporte Colectivo Metro, sólo se necesitó de modificar la demanda peatonal en las simulaciones para el estudio de aforo. Mientras que en el paradero oriente bastó con aumentar esta demanda, en el paradero poniente se requirieron mayores cálculos para la determinación de los puntos de descenso. Se tomó en cuenta el porcentaje del total del parque vehicular que representa cada tipo de vehículo: autobús, microbús y pesera en



toda la hora pico, que resulta en el 16, 8 y 76 por ciento de los 665 vehículos existentes, respectivamente (ver Tabla IV.3.3-1). En función a esta oferta se repartió la demanda presentado por la operación del Metro de 8,126 usuarios (ver Tabla IV.2.1-1) entre la capacidad de atención del transporte público semi-masivo para conocer el número de unidades necesarias durante la hora pico. Considerando los mismos números de pasajeros para cada vehículo calculados para el caso de la simulación del estudio de aforo, a saber, 28 en el autobús, 24 en el microbús y 12 en la pesera, entonces se solicitan de 47 autobuses, 28 microbuses y 515 peseras en toda la hora pico. Mismos que representan 2, 1 y 13 unidades correspondientemente, en cada uno de los 40 movimientos permitidos en el paradero poniente (ver Tabla IV.3.3.1-1) y que con la oferta vehicular estimada tienen perfecta cabida (ver Figura IV.3.3.2-1). Este nuevo arreglo considera una afluencia peatonal de 9,440 pasajeros en lugar de los originales 8,126 durante la HP.



V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo interesa cuantificar los beneficios logrados para demostrar con números la eficiencia acaecida.

Una vez ejecutados las simulaciones y encontrados los puntos de congestión peatonal se procede a optimizar las instalaciones peatonales (pasillos y escaleras) conforme a los lineamientos de los planos arquitectónicos. Además, se verificará la eficiencia lograda para el Centro de Transferencia Modal (CETRAM) para los dos escenarios, el del aforo (ver Sección IV.4.1) y el del Metro (ver Sección IV.4.2), reportando los datos operativos logrados de tiempos de recorrido y colas de espera. Finalmente, se armará un esquema de funcionamiento propio que concilie la teoría y la práctica con la eficiencia buscada para la hora pico (HP).

V.1 Empate de la oferta del Sistema de Transporte Colectivo Metro con los datos del estudio de aforo.

La afluencia peatonal reportada por el Sistema de Transporte Colectivo Metro está evaluada como el total de la demanda del año independientemente del criterio de la HP. El haber considerado sólo los 6 días laborables y que la HP está repartida en 6 horas durante el día (ver Sección IV.2.1), son consideraciones empíricas a modo de tomar en cuenta todas esas desviaciones en el polígono de demanda de la afluencia anual y circunscribirla a la demanda de usuarios de la HP.

Se debe tomar como valor referencial el resultado del estudio de aforo, ya que éste es el enfoque más microscópico o más cercano a la HP que se tiene y con el que se pudo determinar el volumen peatonal activo durante la HP (ver Sección IV.3.1). Esto a pesar de que como se comentó, el aforo sólo cuantificó a los usuarios del transporte público semi-masivo. Es decir que pudo haber personas dentro del CETRAM al momento del aforo que, al no transferir entre el metro y el autobús, microbús o pesera, no fueron considerados.

Al haber expresado lo anterior, se entiende mejor la diferencia existente entre los valores producidos por los distintos enfoques. De todo ser exacto o perfecto, la demanda encontrada para los datos del Metro debería ser la misma que para el aforo en la mañana o en el paradero poniente y que para el aforo en la noche o en el paradero oriente. En la Tabla V.1-1 se observa la afluencia de cada criterio para la HP de diseño por paradero y la comparativa del aforo con respecto al Metro.

Criterio	PM/Oriente	AM/Poniente
Aforo	4,925	9,699
Metro	8,126	8,126
Con respecto al Metro	61%	119%

Tabla V.1-1. Afluencia peatonal atendida por paradero durante la hora pico.



V.2 Optimización del planteamiento arquitectónico

Para llegar a los resultados arriba descritos en la Sección IV.4 Simulación, se requirió de sugerir algunos cambios al diseño arquitectónico original de forma que permitieran un flujo peatonal continuo. Un flujo peatonal continuo se define como aquel que permite moverse a los transeúntes sin detenerse o sin reducir su velocidad de paseo, a menos de que exista un impedimento intrínseco a la simulación: velocidad de operación distinta de instalaciones peatonales, frecuencias de atención del transporte público, etc.

Todas las modificaciones aquí ponderadas se propusieron a partir del análisis de la simulación del escenario más propicio, es decir, con los datos operativos del transporte público masivo. Se opta por introducir estas alteraciones a los planos arquitectónicos sobre el esquema de funcionamiento del Metro a partir del corolario de que satisfaciendo la transferencia peatonal para este caso, por ende, se cumple con los requisitos del escenario del estudio de aforo.

La optimización posible está delimitada por la configuración arquitectónica del CETRAM. En función de la ubicación de espacios libres para eficientar la infraestructura será el nivel de mejora logrado. De esta manera se postulan recomendaciones que estén dentro del marco geométrico del CETRAM de estudio.

Un avance inicial significativo para alcanzar el flujo continuo esperado es el planteamiento de la operación de todos los pares de escaleras eléctricas en el mismo sentido del flujo peatonal durante la hora pico. Por otra parte, la limitante más relevante para el mismo fin será la ubicación establecida de locales comerciales y columnas que encierran a las instalaciones peatonales.

Para presentar estas modificaciones se sigue el orden del recorrido propuesto por la Figura IV.1.1-1 para el paradero oriente y por la Figura IV.1.1-2 para el paradero poniente. Enseguida se muestra la optimización arquitectónica por paradero del CETRAM.

V.2.1 En el paradero oriente

Comenzando por las dos pasarelas de acceso al paradero oriente de dos metros de ancho, éstas resultan incapaces de transferir el volumen peatonal entregado por el Metro al paradero. A través de varias iteraciones se encuentra que la sección transversal límite para desfogar esta afluencia es de mínimo 7.5 metros en cada pasarela. Con la información prestada de la Tabla IV.1.3-1 para la transferencia de pasajeros teórica, llegamos a la capacidad teórica mostrada por la Tabla V.2.1-1 para la nueva dimensión de estas pasarelas.



Instalación peatonal	Ancho (m)	Capacidad (pasax/s)	2 Grupos (pasax/s)	Oferta (pasax/HP)	Demanda (pasax/HP)	Sobreoferta
Pasarela	7.50	25.19	50.38	181,368	8,126	2,231%

Tabla V.2.1-1. Capacidad teórica de pasarelas a nivel del Metro (5.70 metros) en el paradero oriente.

El siguiente punto de conflicto localizado es para el único paso entre el nivel de 11.20 y el nivel de 5.70 metros, a la mitad del paradero oriente. La idea arquitectónica original vislumbraba sólo la disposición de dos pares de escaleras eléctricas, de 1 metro de ancho cada una, que conectasen a los usuarios entre estos dos pisos. El detalle con este planteamiento es que en el supuesto caso de una falla de luz eléctrica o de una evacuación de emergencia, estas escaleras resultarían insuficientes. Luego entonces, se analizó el área disponible entre las 6 columnas centrales de la Figura V.2.1-1, limitada principalmente por la zona de cafetería del piso a 5.70 metros, proponiendo la escalera fija mostrada en color azul. De esta manera, tenemos los mismos dos pares de escaleras eléctricas para bajar de 11.20 a 5.70 metros, con 1.00 metro de ancho cada una, y una nueva escalera fija de diez metros de sección transversal que conecta los mismos pisos.

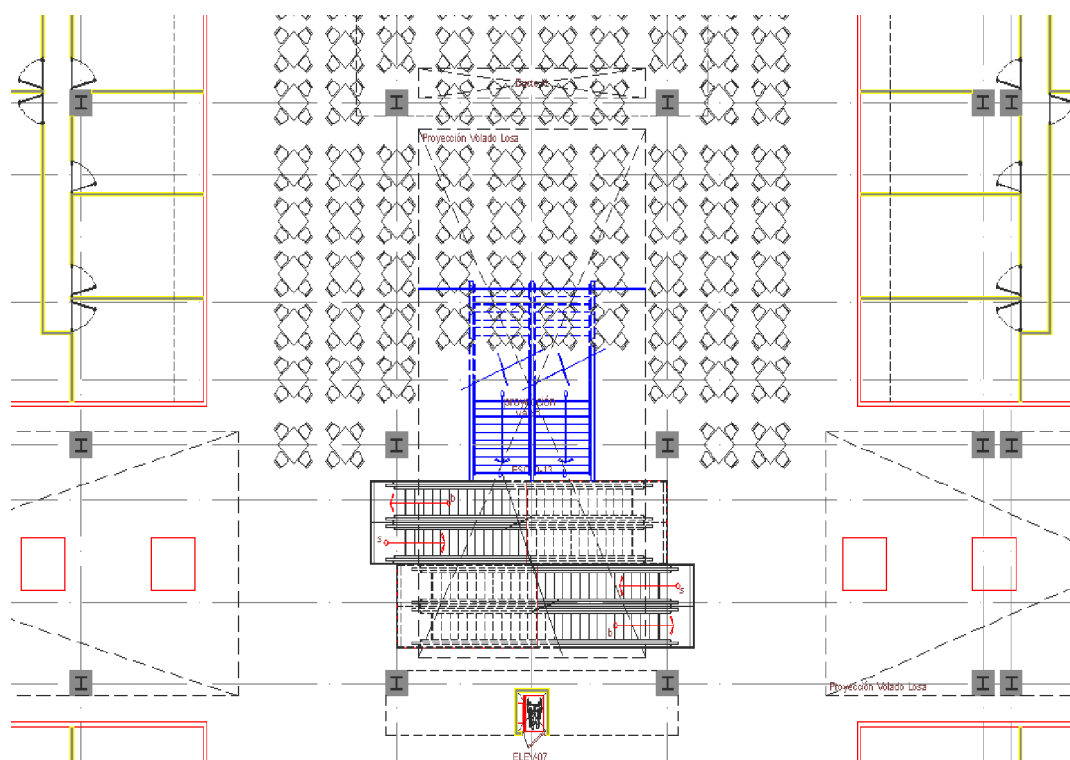


Figura V.2.1-1. Nuevas escaleras fijas en el paradero oriente sobre el plano de +5.70 metros.

Con esta configuración propuesta para las escaleras eléctricas y fijas de la figura anterior se consigue separar los flujos peatonales, aumentando la distancia de recorrido para los usuarios de las escaleras fijas, que se encontrarán de manera transversal en el nivel de 5.70 metros. Se aprecia que la proyección de vacío o balcón sobre el área de cafetería se acorta a casi la mitad por la disposición de las



nueva escalera fijas. A pesar de empobrecerse el ambiente arquitectónico pensado, la pendiente máxima del 72 por ciento (NTC-RCDF, 2004) de la escalera fija planteada logra la no afectación o remoción de mesas de comensales en la zona de cafetería. Se calculó para que la altura entre la caída de la escalera y la silla de la última mesa justo debajo de la escalera, mostradas en la Figura V.2.1-1, fuera de 2.42 metros dando espacio suficiente para que una persona llegue a la mesa y se sienta a comer sin algún problema.

Para encontrar la capacidad teórica de estas escaleras fijas y el de las escaleras eléctricas originales seguimos el esquema propuesto por la Tabla IV.1.3-1. Los resultados de este estudio se sintetizan en la Tabla V.2.1-2.

Instalación peatonal	Ancho (m)	Capacidad (pasax/s)	1 Grupo (pasax/s)	Oferta (pasax/HP)	Demanda (pasax/HP)	Sobreoferta
E. Fija	10.00	6.72	9.62	34,632	8,126	426%
E. Eléctricas 1	1.00	1.45				
E. Eléctricas 2	1.00	1.45				

Tabla V.2.1-2. Capacidad teórica de pasarelas a nivel de 11.20 metros en el paradero oriente.

Otro obstáculo significativo para el flujo continuo que pretendemos, se detectó para el cambio de pisos entre el nivel de plataformas a 0.50 metros y el sótano a menos 3.25 metros. Aquí es necesario quitar la zona de locales comerciales sugerida en los planos arquitectónicos o, de lo contrario, la gente no podrá ir alrededor de las multifilas de la plataforma 4 (ver Figura III.2.3-4) para llegar al sótano y transferir hacia las rutas de las demás plataformas. En la Figura V.2.1-2 se aprecia la zona a despejar sombreada en azul.



Figura V.2.1-2. Área de locales comerciales a remover para permitir el flujo continuo peatonal a nivel de plataformas (+0.50 metros) en el paradero oriente.

Una vez liberada esta zona, se encontró que la sección transversal efectiva del pasillo (restando el espacio de las columnas) de 3.60 metros, a penas da cabida para el flujo peatonal en un sentido. Se entiende que si una persona pretende cruzar del ala sur (la de la derecha) al ala norte (la de la izquierda) porque ahí se halla su multifila de espera deseada, tendrá que hacerlo a través de las escaleras fijas a la mitad. Una vez del otro lado, realizará su marcha a contraflujo de los usuarios que vengán sobre el ala norte diezmando la capacidad del pasillo ya de por sí saturada por el flujo peatonal que sostiene. Para remediar esta afectación,



se plantea que sólo los viajeros provenientes del ala norte tengan acceso a las multifilas del ala norte y se les restrinja el paso a las multifilas del ala sur, sobre la plataforma 4. Homólogamente, los transeúnte originados en el ala sur podrán únicamente ingresar a las multifilas del ala sur, no pudiendo cruzar a las multifilas del ala norte. Para cumplir con este propósito, se contará con el señalamiento pertinente que informe a los usuarios antes de la entrada al paradero oriente por cuál de las dos pasarelas deberán avanzar para llegar a su multifila destino.

Además de despejar estos pasillos y evitar el contraflujo, lo tercero que se observa es que las escaleras que conectan a los mismos pisos tienen una capacidad escasa para el volumen total de pasajeros, ocasionando congestionamientos. Su ancho efectivo se ve reducido por la existencia de bodegas de limpieza en cada uno de los lados de las escaleras. Por tal motivo, se sugiere aprovechar el espacio de estas bodegas para darle más cabida a los peatones sobre el pasillo a través de las escaleras. La optimización acaecida es de una anchura inicial de 2.70 a 4.00 metros. En la Figura V.2.1-3 se observa un acercamiento de estas escaleras con las bodegas de limpieza a reubicar sombreadas en azul.

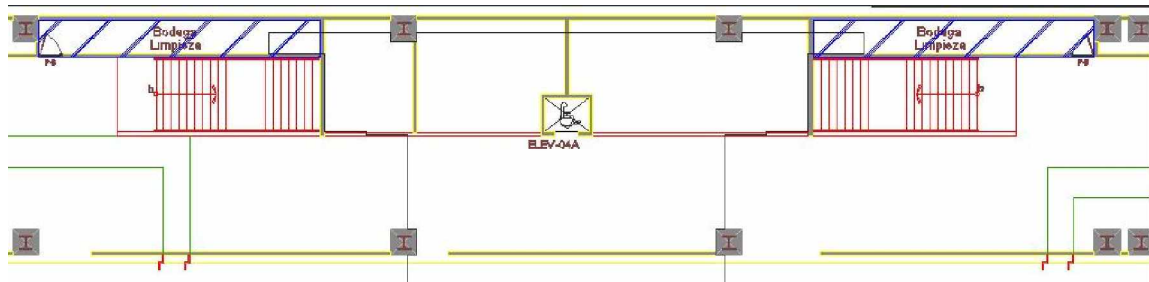


Figura V.2.1-3. Área de bodegas de limpieza reubicar para aumentar el ancho de las escaleras en nivel de plataformas (+5.70 metros) en el paradero oriente.

V.2.2 En el paradero poniente

De este lado del CETRAM se identificó que la única plataforma dispuesta para el descenso de personas no tiene la superficie o capacidad necesaria para atender a todo el volumen de usuarios de transporte semi-masivo previsto. La plataforma a la cual hacemos mención se visualiza en la Figura III.3.2-4 como plataforma 1. La plataforma 2, como ya se mencionó, no puede ser aprovechada al momento pues por su posición está destinada a servir a los pasajeros del Metrobús que entrará en operación posterior al proyecto considerado para esta tesis. Independientemente de si existiera o no el Metrobús como servicio de transporte público alterno, la plataforma 2 resulta inservible al quedar del lado izquierdo de los vehículos de transporte público semi-masivo, pues éstos sólo tienen salida por su lado derecho.

Habiendo explicado lo anterior, se justifica la sugerencia de incluir un nuevo grupo de escaleras a nivel de plataformas de 0.50 metros, además de las dos ya existentes. La dimensión y empalme de este nuevo conjunto de escaleras es el



mismo que el de las otras dos, para permitir el paso a través de ellas a todo lo largo de la plataforma. Esta recomendación se observa en la Figura V.2.2-1, para el nivel de plataformas a 0.50 metros, de color azul con flechas indicando el sentido de los flujos sobre las escaleras eléctricas y fijas, 's' subir y 'b' bajar.

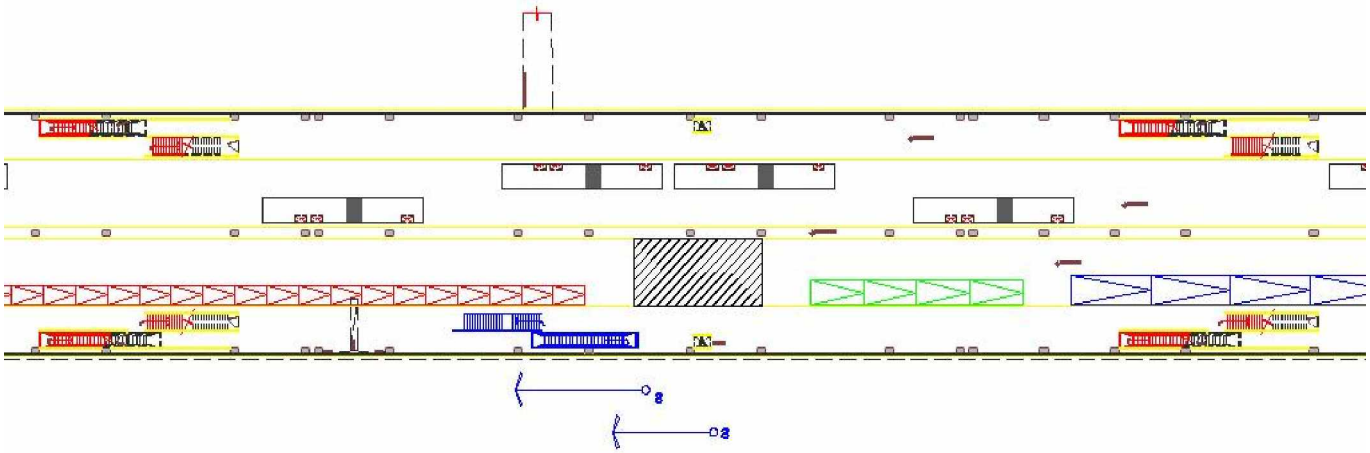


Figura V.2.2-1. Propuesta de nuevas escaleras al nivel de plataformas a +0.50 metros en el paradero poniente.

Por otro lado, al colocar este nuevo grupo de escaleras en el ala norte (lado izquierdo) de la plataforma de descenso, damos mayor atención a los pasajeros de las peseras, ya que sus pasajeros representan el 52 por ciento del total de la afluencia del transporte público semi-masivo. Éstos se repartirán entre los dos grupos de escaleras del ala norte (lado izquierdo), dejando el tercer grupo de escaleras para los pasajeros de autobús y microbús en el ala sur (lado derecho).

La oferta teórica ofrecida por cada uno de estos grupos de escaleras se obtiene de la Tabla IV.1.3-1. Las escaleras fijas con un ancho de 1.65 metros movilizarán a 1.11 pasajeros por segundo y las escaleras mecánicas de ancho 1.00 metro a 1.42 pasajeros por segundo. Sumando la capacidad de los tres grupos de escaleras, se desalojará a 7.59 pasajeros por segundo. Por lo tanto tendremos una oferta de atención de 27,324 usuarios durante toda la HP teórica, para la demanda de 8,126 viajeros del Metro (ver Tabla IV.2.1-1).

Instalación peatonal	Ancho (m)	Capacidad (pasax/s)	3 Grupos (pasax/s)	Oferta (pasax/HP)	Demanda (pasax/HP)	Sobreoferta
E. Fijas	1.65	1.11	7.68	27,648	8,126	340%
E. Eléctricas	1.00	1.45				

Tabla V.2.2-1. Capacidad teórica de escaleras a nivel de plataformas (0.50 metros) en el paradero poniente.

Luego de haber resuelto el congestionamiento a nivel de plataformas, se encontró que en el siguiente nivel del Metro, a 5.70 metros, sólo existía un conjunto de escaleras para comunicar a la gente entre este nivel y el de 11.20 metros. Nuevamente, se formaba aquí un cuello de botella para el volumen de peatones



reportado por el aforo. Se halló que simétricamente existía una zona enfrente de estas escaleras donde se podría ubicar las mismas, de tal manera que se contara con dos conjuntos de escaleras con la misma capacidad, duplicando la oferta. En la Figura V.2.2-2 se observan en azul estas nuevas escaleras junto con las que se habló anteriormente que comunican el nivel de plataforma con el del Metro. Las flechas en azul indican el sentido de los flujos sobre las escaleras eléctricas y fijas, respectivamente, 's' subir y 'b' bajar.

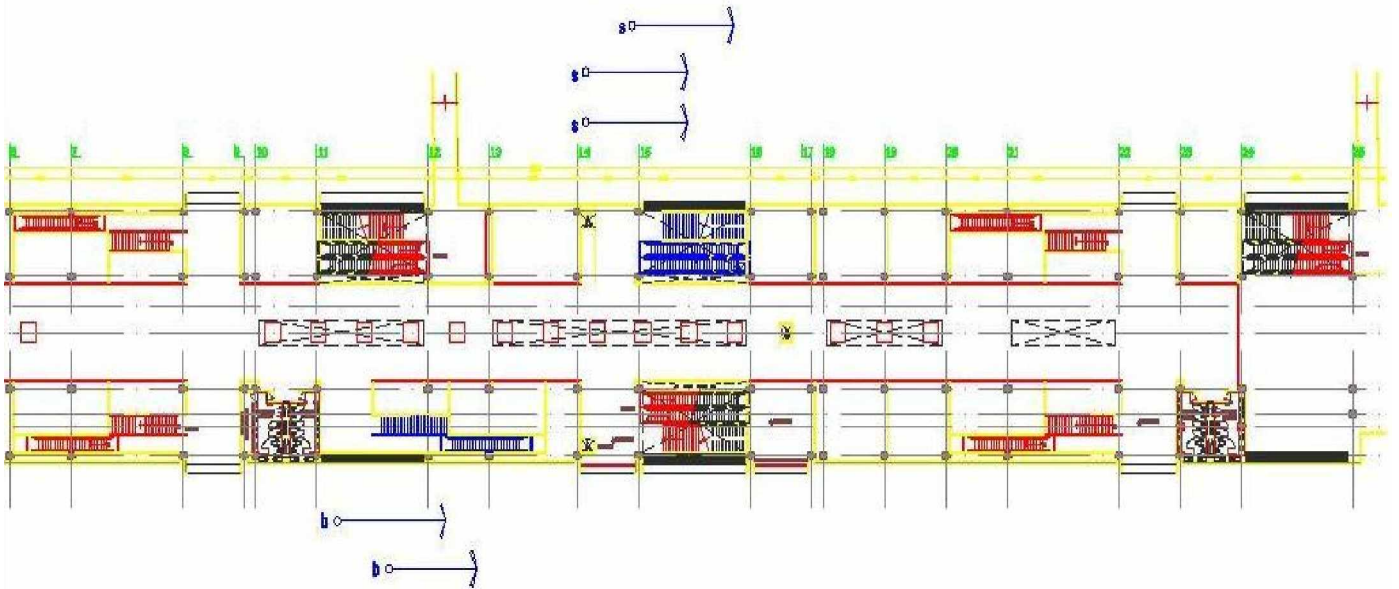


Figura V.2.2-2. Propuesta de nuevas escaleras a nivel del Metro (+5.70 metros) en el paradero poniente.

Haciendo el mismo análisis de capacidad teórica para estos dos grupos de escaleras sugeridas entre el nivel del transporte masivo y el nivel superior a 11.20 metros se llega a lo exhibido por la Tabla V.2.2-2.

Instalación peatonal	Ancho (m)	Capacidad (pasax/s)	2 Grupos (pasax/s)	Oferta (pasax/HP)	Demanda (pasax/HP)	Sobreoferta
E. Fijas	2.55	1.71	9.22	33,192	8,126	408%
E. Eléctricas 1	1.00	1.45				
E. Eléctricas 2	1.00	1.45				

Tabla V.2.2-2. Capacidad teórica de escaleras a nivel del Metro (5.70 metros) en el paradero poniente.

Estos conjuntos de escaleras nuevas se dispusieron de manera que la afectación al área prestada por los puestos comerciales fuera mínima en el paradero poniente.



V.2.3 Implementación de la señalización para el recorrido de los transeúntes

En función a los dos tipos de señalización elegidos para fines de esta tesis de investigación (ver Sección III.1.5), se propone su ubicación dentro del CETRAM de análisis.

A partir del funcionamiento durante la hora pico de todas las escaleras eléctricas operando en el sentido del flujo principal de peatones, es necesario contar con un señalamiento que indique este cambio en el funcionamiento de las instalaciones peatonales y que a la vez permita planear a los usuarios su paseo durante este periodo. Para este fin, se dispone de tableros electrónicos en todo el CETRAM que indiquen: 1) la hora exacta, 2) las horas pico, a.m. y p.m., y 3) la cuenta regresiva hacia la hora pico próxima. De esta manera los visitantes al CETRAM que no pretendan participar de la transferencia entre el Metro, los autobuses, microbuses y/o peseras, podrán tomar las precauciones pertinentes durante el periodo de la HP de ya sea moverse entre los pisos antes, esperar en el piso que se encuentren o compartir el paseo con el volumen máximo de usuarios de transporte público. En la Figura V.2.3-1 se exhibe este tablero electrónico al que se hace referencia.

HORA EXACTA	HORA PICO	FALTA P/ HP
HH MM SS	a.m. HH MM p.m. HH MM	HH MM SS

Figura V.2.3-1. Tablero electrónico que indica al usuario del CETRAM los tiempos en función de la hora pico.

Para lograr el orden que se pretende en el direccionamiento de los flujos peatonales de usuarios de transporte público al interior del CETRAM, se requiere que la señalización sea lo suficientemente explícita y contundente.

Los señalamientos verticales informativos a los que se hará referencia en esta sección son sólo aquellos que muestren al transeúnte su opción de cambio de ruta y/o elección de instalación peatonal por la cual viajar: escaleras fijas o eléctricas. Un importante punto a indicársele al usuario es la imposibilidad de cruzar a nivel de plataforma del ala norte al ala sur y viceversa (ver comentario a la Figura III.3.1-2). Por otro lado, ya que el señalamiento vertical reglamentario y el señalamiento horizontal elegido para este trabajo de investigación sólo indica la



separación de flujos peatonales, a la izquierda el de mayor velocidad y a la derecha el de menor, se omite la designación de éstos en las plantas arquitectónicas a continuación por la obviedad de que, para alcanzar el propósito para el cual fueron diseñados, deben hallarse en todo el recorrido del pasajero: pasillos, escaleras fijas y eléctricas.

Se han diseñado ocho tipos de señalamiento informativo diferentes para el CETRAM de análisis. Ya que todos éstos se repiten al menos una vez por la salvaguarda de mantener al usuario informado de su recorrido, sólo se ejemplificará uno de cada tipo por mera simplificación. Se sobreentiende que la flecha de dirección que incluyen cambiará de sentido dependiendo de dónde estén colocados. En la Figura V.2.3-2 a la Figura V.2.3-9 se muestran estos señalamientos.



Figura V.2.3-2. Señalamiento informativo de escaleras fijas en dirección a todas las rutas de transporte público semi-masivo.



Figura V.2.3-3. Señalamiento informativo de escaleras eléctricas en dirección a todas las rutas menos la Ruta A, Ruta B y Ruta L de transporte público semi-masivo.



Figura V.2.3-4. Señalamiento informativo de escaleras eléctricas en dirección a todas las rutas menos la Ruta D y Ruta G de transporte público semi-masivo.



Figura V.2.3-5. Señalamiento informativo en dirección a todas las rutas menos la Ruta D, y la Ruta G de transporte público semi-masivo, sin necesidad de especificar si se trata de escaleras fijas o eléctricas por existir la opción de las dos.





Figura V.2.3-6. Señalamiento informativo en dirección a todas las rutas menos la Ruta A, Ruta B y la Ruta L de transporte público semi-masivo, sin necesidad de especificar si se trata de escaleras fijas o eléctricas por existir la opción de las dos.



Figura V.2.3-7. Señalamiento informativo en dirección a todas las rutas menos la Ruta A, la Ruta B, la Ruta D, la Ruta G y la Ruta L de transporte público semi-masivo, sin necesidad de especificar si se trata de escaleras fijas o eléctricas por sólo presentarse las primeras.



Figura V.2.3-8. Señalamiento informativo en dirección a la Ruta N' transporte público semi-masivo, sin necesidad de especificar si se trata de escaleras fijas o eléctricas por sólo presentarse las primeras.

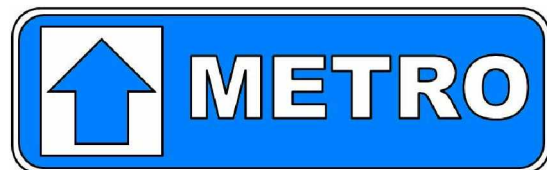


Figura V.2.3-9. Señalamiento informativo en dirección a la entrada de la estación del Metro, sin necesidad de especificar si se trata de escaleras fijas o eléctricas por existir la opción de las dos o por sólo presentarse las segundas.

Ahora se presenta cada plano arquitectónico con la localización de los señalamientos mostrados sobre de ellas. Su nomenclatura será en función a la Tabla V.2.3-1 que indica la relación entre las figuras anteriores y su nomenclatura sobre los planos arquitectónicos. De la Figura V.2.3-10 a la Figura V.2.3-16, se muestran dichos planos, comenzando por los del paradero oriente y luego las del poniente, siguiendo el paseo descrito en la Sección V.1.1.

FIGURA	PLANO
Figura VI.3.3-2	1
Figura VI.3.3-3	2
Figura VI.3.3-4	3
Figura VI.3.3-5	4
Figura VI.3.3-6	5
Figura VI.3.3-7	6
Figura VI.3.3-8	7
Figura VI.3.3-9	8

Tabla V.2.3-1. Relación entre las figuras de los señalamientos y su nomenclatura sobre los planos arquitectónicos del CETRAM.



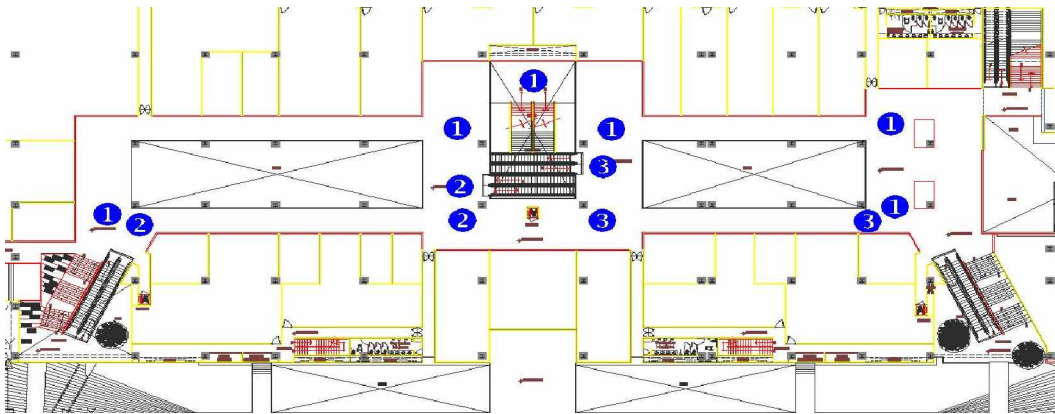


Tabla V.2.3-10. Planta arquitectónica nivel +11.20 del paradero oriente con la ubicación del señalamiento necesario para el recorrido de los flujos peatonales de usuarios de transporte público al interior del CETRAM.

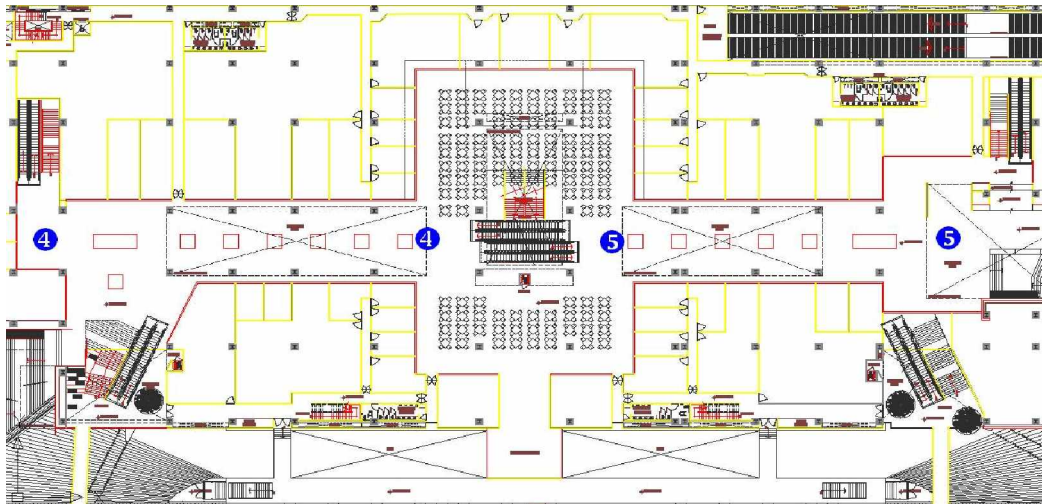


Tabla V.2.3-11. Planta arquitectónica nivel +5.70 metros del paradero oriente con la ubicación del señalamiento necesario para el recorrido de los flujos peatonales de usuarios de transporte público al interior del CETRAM.

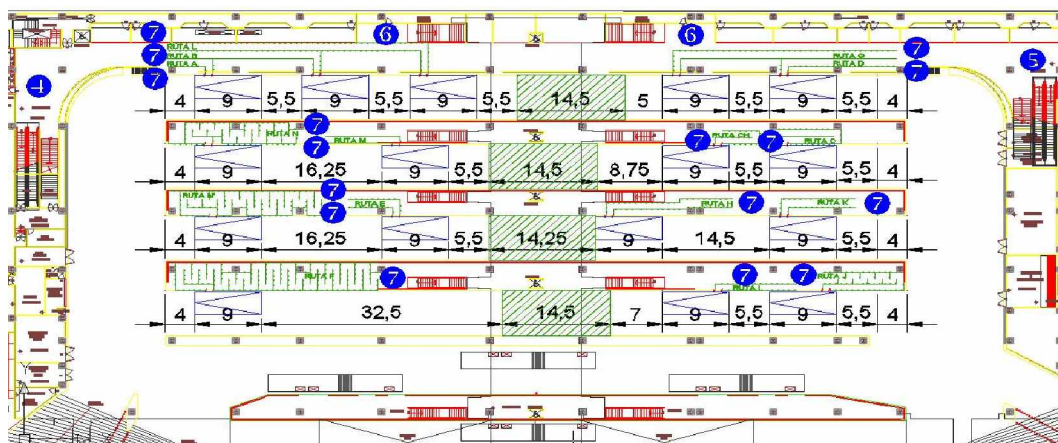


Tabla V.2.3-12. Planta arquitectónica nivel +0.50 metros del paradero oriente con la ubicación del señalamiento necesario para el recorrido de los flujos peatonales de usuarios de transporte público al interior del CETRAM.



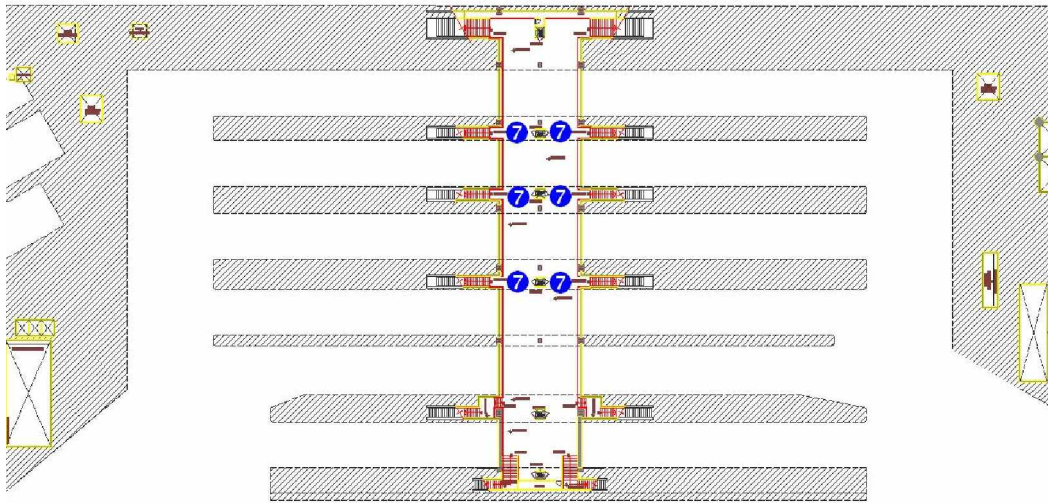


Tabla V.2.3-13. Planta arquitectónica nivel -3.25 metros del paradero oriente con la ubicación del señalamiento necesario para el recorrido de los flujos peatonales de usuarios de transporte público al interior del CETRAM.

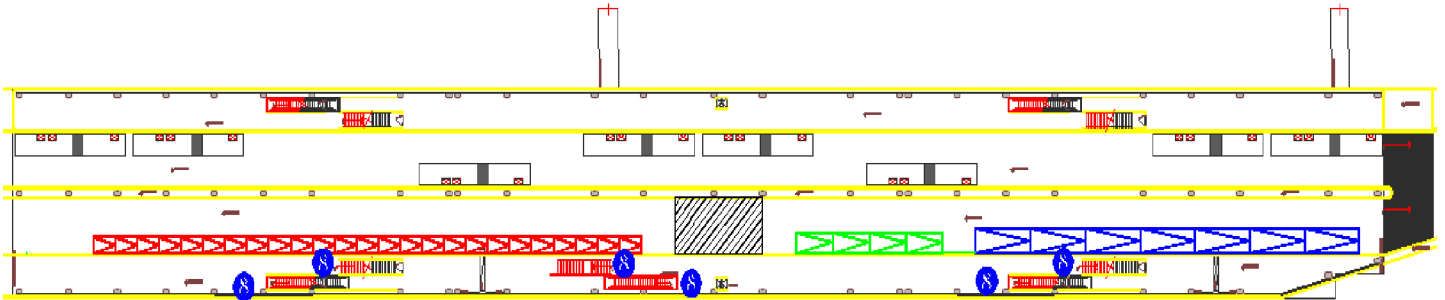


Tabla V.2.3-14. Planta arquitectónica nivel +0.50 metros del paradero poniente con la ubicación del señalamiento necesario para el recorrido de los flujos peatonales de usuarios de transporte público al interior del CETRAM.

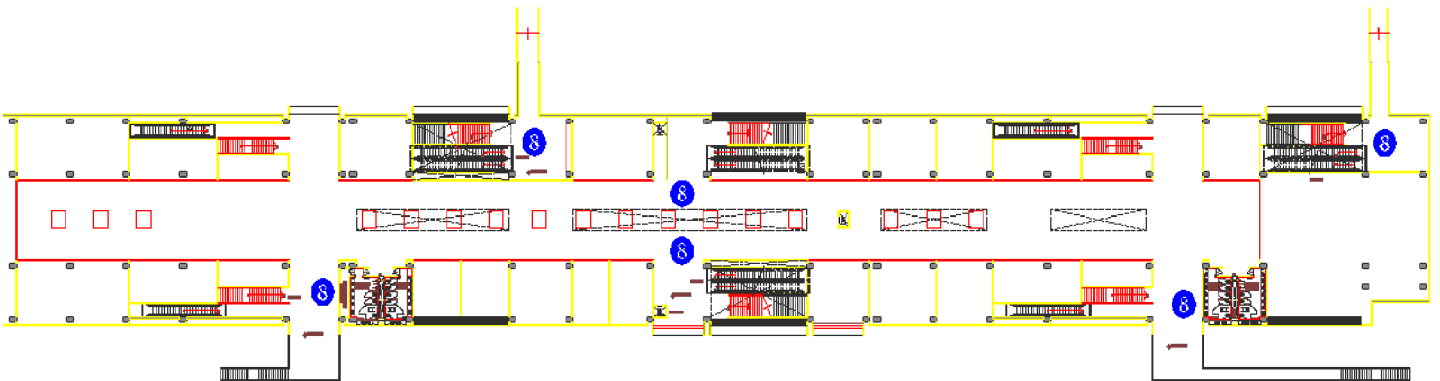


Tabla V.2.3-15. Planta arquitectónica nivel +5.70 metros del paradero poniente con la ubicación del señalamiento necesario para el recorrido de los flujos peatonales de usuarios de transporte público al interior del CETRAM.



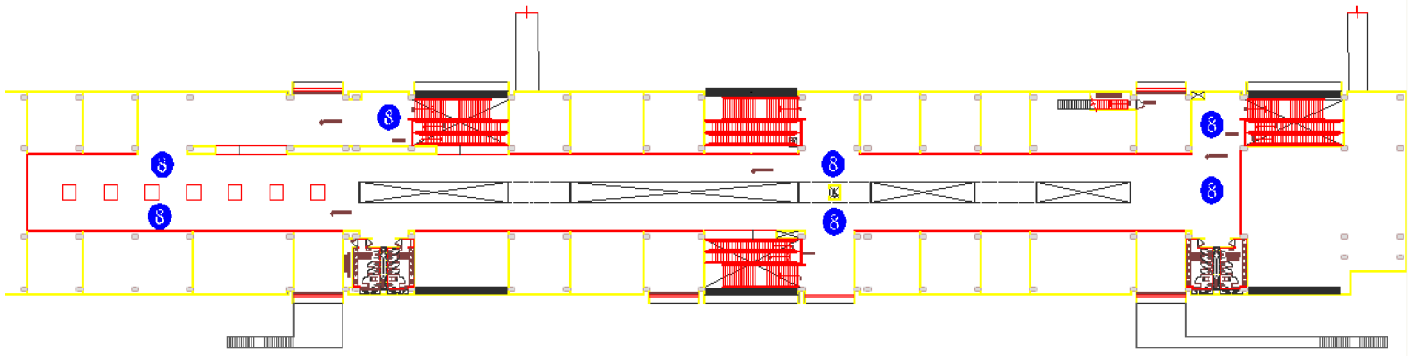


Tabla V.2.3-16. Planta arquitectónica nivel +11.20 metros del paradero poniente con la ubicación del señalamiento necesario para el recorrido de los flujos peatonales de usuarios de transporte público al interior del CETRAM.

V.3 Capacidad del CETRAM

Al haber identificado las razones de congestión dentro del CETRAM y haber propuesto soluciones para anularlas o mitigarlas, se llega a los valores de máxima eficiencia de los dos escenarios contemplados: el estudio de aforo y la operación del Metro. Estos parámetros son la oferta peatonal lograda, la longitud de las colas de espera, los tiempos de recorrido de los usuarios, desde la entrada a los paraderos y hasta la salida de los mismos, y el parque vehicular atendido.

Para cada caso, se comenzará por describir el paradero oriente, seguido del poniente, continuando con el esquema que hemos venido manejando.

V.3.1 Afluencia peatonal atendida

Teóricamente, al plantear la propuesta de solución del Capítulo IV se diseñó la operación del CETRAM para atender como mínimo la *demanda peatonal* pronosticada por el aforo. En la Tabla V.3.1-1 se observa que la *atención peatonal* lograda para el CETRAM de análisis fue suficiente para la afluencia contemplada y que incluso existe una *sobreoferta*. Los *puntos de transferencia* encargados de dirigir a los usuarios a su ruta deseada se decidieron en función a la oferta de transporte público y su frecuencia de atención. La *capacidad* de los vehículos de transporte público semi-masivo aquí utilizada resulta del promedio de su oferta de pasajeros por unidad. Lo anterior ya que en la realidad es improbable garantizar que en todos los *movimientos* durante la hora pico se presente el mismo tipo de vehículo, ya sea autobús, microbús o pesera.



Paradero	Oriente	Poniente
Movimientos	24	40
Puntos de Transferencia	16	38
Capacidad (pasax/veh)	52	52
Atención peatonal	19,968	79,040
Demanda peatonal	4,925	9,699
Sobreoferta	405%	815%

Tabla V.3.1-1. Oferta peatonal teórica del CETRAM durante la hora pico.

Ahora bien, a través de las simulaciones presentadas en la Sección IV.4 se encuentra que mientras que la operación con los datos proporcionados por el estudio de aforo ocurre a flujo continuo o sin cuellos botella, el escenario del Metro en el paradero oriente tiene otro comportamiento.

Para poder empatar esta reducción en la capacidad de las instalaciones peatonales en atender a los usuarios del CETRAM en cada paradero con la hipótesis de operación de esta tesis, es importante recordar que el reporte de la simulación parte de la configuración geométrica-arquitectónica actual del Metro. Hoy en día sucede que los 8,126 viajeros del Metro pueden optar en realizar su transferencia con el transporte semi-masivo en cualquiera de los dos paraderos. Este flujo mixto indica que el 50 por ciento de ese flujo se manifestará por hora en cada edificio. Es decir, durante la hora pico de la mañana el descenso, con el flujo unificado, sucederá en los dos paraderos, oriente y poniente, y lo mismo para el ascenso por la noche. Ahora bien, el planteamiento de la separación de flujos propone que el 100 por ciento del flujo se concentre en cada uno de los paraderos del CETRAM durante la HP, en el oriente por la noche y en el poniente por la mañana. La razón principal de esta propuesta es evitar que los flujos peatonales se crucen al momento de la transferencia otorgando un mayor confort y seguridad, o lo que es lo mismo, una reducción en el costo físico y el tiempo del recorrido de transferencia para las personas.

La necesidad de la optimización de las instalaciones peatonales la Sección V.2 se originó a partir de que en el análisis de la capacidad del CETRAM con los datos operativos del Metro, a través de las simulaciones, se observó insuficiente y no operó tan eficientemente como se había calculado. La sobreoferta teórica o preliminar estimada para el CETRAM con las nuevas instalaciones peatonales propuestas, mostradas en la Tabla V.2.1-1 (Oriente1), Tabla V.2.1-2 (Oriente2), Tabla V.2.2-1 (Poniente1) y Tabla V.2.2-2 (Poniente2), se ve agotada y sobrepasada por lo reportado en las simulaciones. En pasarelas, pasillos y escaleras de ingreso a los paraderos es donde se están generando los cuellos de botella que impiden atender a los 8,126 pasajeros entregados por el Metro durante la hora pico correctamente (ver Tabla IV.2.1-1).



Como se comentó después de calcular los pasajeros por segundo sobre una instalación peatonal de la Tabla IV.1.3-1, ahora es posible hallar el Primero determinaremos el porcentaje de variación en cada paradero (FRECTIP') para posteriormente fijar un FRECTIP global del CETRAM. Se valdrá de una instalación más en cada paradero (Oriente3 y Poniente3), seleccionadas arbitrariamente, para contar con más datos para evaluar el FRECTIP cuya oferta se obtiene a partir del análisis de la Tabla V.1.2-1, al igual que para las demás. En la Tabla V.3.3-2 se exhibe el FRECTIP' de cada instalación peatonal y el FRECTIP modelo. La *oferta* se refiere al cómputo teórico y la *capacidad* al número de pasajeros real atendido en cada paradero.

Instalación peatonal	Oferta (pasax/HP)	Capacidad (pasax/HP)	FRECTIP'	FRECTIP
Oriente1	108,842	10,194	0.09	0.32
Oriente2	82,785	10,194	0.12	
Oriente3	26,508	10,194	0.38	
Poniente1	22,928	11,115	0.48	
Poniente2	27,668	11,115	0.40	
Poniente3	26,896	11,115	0.41	

Tabla V.3.1-2. Obtención del factor de reducción de la capacidad teórica de instalaciones peatonales (FRECTIP).

A partir de este momento, con el FRECTIP hallado, se puede predecir el volumen de pasajeros transferido por pasillos o escaleras de una manera práctica, sin necesidad de sopesar el comportamiento físico-psicológico del peatón.

V.3.2 Colas de espera de usuarios de transporte público

Como se había comentado, las colas de espera se encuentran sólo en las multifilas de las plataformas de ascenso del paradero oriente. En ellas, la gente se acomoda para esperar a que llegue su vehículo o ruta deseada. La oferta teórica de las multifilas (ver Tabla IV.3.2.3-2) indica que se puede atender a todo el flujo peatonal esperado dentro del CETRAM de estudio pero la realidad es que al evaluar esta capacidad con las simulaciones encontramos resultados diferentes. En la Tabla V.3.2-1 tenemos el reporte generado por la simulación, con respecto al estudio de aforo y con los datos operativos del Metro, de la longitud de colas de espera formadas durante la hora pico de diseño. Los datos de pasajeros (*Pasax*), longitud ofrecida (L_{ofer}) y longitud requerida (L_{req}) por multifila provienen de la oferta acaecida para la atención peatonal en su espera del transporte público semi-masivo sobre las plataformas del paradero oriente para cada uno de los 24 movimientos posibles mostrados en la Tabla IV.3.2.3-2.



RUTA	Pasax	L _{req} (m)	L _{ofer} (m)	Aforo (m)	Metro (m)
A	2	1.22	7	4	4
B	5	3.05	23	5	7
C	9	5.49	16	7	9
CH	8	4.88	11	7	15
D	1	0.61	16	3	5
E	8	4.88	8	7	8
F	50	30.5	103	136	139
G	2	1.22	32	3	3
H	6	3.66	11	9	9
I	11	6.71	11	9	18
J	17	10.37	31	19	41
K	16	9.76	18	12	25
L	5	3.05	38	6	8
M	9	5.49	10	8	38
N	28	17.08	43	29	60
N'	28	17.08	66	61	97
Total	205	102.5	444	325	486

Tabla V.3.2-1. Longitud máxima de colas de espera en multifilas por ruta obtenidas a partir de las simulaciones con los datos del estudio de aforo y los datos operativos del Metro en el paradero oriente.

Se aprecia que la infraestructura de multifilas considerada para el paradero oriente es adecuada para atender la demanda del estudio de aforo a excepción de un caso. En la Ruta F, cuya afluencia de usuarios es la mayor de todas, se sobrepasa su longitud ofrecida en un 32 por ciento por parte del aforo y en un 35 por ciento por parte de la simulación con los datos operativos del Metro. Mientras que su longitud es 338 por ciento superior a la requerida teóricamente, la simulación muestra que aún este extra de capacidad es insuficiente. Cabe mencionar, como se aprecia en la Figura IV.3.2.2-1, que el espacio del ala norte de la plataforma disponible para el alojamiento de la Ruta F se agotó totalmente para darle la mayor oferta posible. Esta diferencia involucra que en el paradero oriente, donde en esta plataforma 1 de la Figura III.2.3-4, se presentará una cola de espera que además de saturar la multifila ocasionará un cuello de botella a la entrada de la misma.



Al analizar las colas de espera con los datos de operación del Metro resulta que además de la Ruta F, también la Ruta CH, Ruta I, Ruta J, Ruta K, Ruta N, Ruta M y Ruta N' plataformas resultan inoperables. Es decir, q su capacidad se ve sobrepasada por la demanda de usuarios entregada por el Metro. Como se explicó en el párrafo anterior, esta insuficiencia de capacidad infraestructural de las plataformas para albergar mayores longitudes de multifilas, ocasiona un congestionamiento que incluso obstaculiza el flujo peatonal en el pasillo del sótano en el paradero oriente.

V.3.3 Tiempos de recorrido de pasajeros

Resulta lógico que el tiempo de recorrido no será el mismo para todos los usuarios del CETRAM. Dependerá de la ubicación de su punto de ascenso o descenso, según sea el caso, la dificultad de su recorrido y/o su condición físico-psicológica. Además, cabe mencionar que la simulación comienza con una red en la que no existen peatones anteriores a la HP, es decir, las primeras personas que entren al paradero realmente viajan a flujo libre, sin interrupciones por otros peatones, hasta que se homogeniza el volumen de viajeros y/o se satura. Por lo anterior, consideraremos al tiempo y distancia de recorrido real entre el Metro y el transporte público semi-masivo como los valores promedio de toda la HP.

En el paradero oriente se tiene que la distancia de recorrido promedio entre la entrada a las pasarelas y los puntos de ascenso sobre las plataformas es de 291 metros. Los tiempos de recorrido obtenidos se exhiben en el Gráfico V.3.3-1, correspondiente al estudio de aforo. El eje de las abscisas pertenece al tiempo de llegada al punto de ascenso y el eje de las ordenadas muestra los tiempos de recorrido, desde la entrada al edificio oriente a través de las pasarelas. El mínimo tiempo de recorrido hallado para este escenario es de 157.92 segundos (00:02:38) hacia la Ruta B y el máximo es de 2456.88 segundos (00:40:57) hacia la Ruta F. Esto era de esperarse, que la ruta más cercana a los puntos de acceso del CETRAM sería aquella con el menor tiempo de recorrido y la ruta más alejada de la entrada al CETRAM aquella con el mayor tiempo de recorrido, como lo exhibe el plano de la Figura IV.3.2.2-1 y la Figura IV.3.2.2-2. El tiempo de recorrido promedio obtenido es de 606.12 segundos (00:10:12) que se ha de considerar como el valor representativo en el oriente para la simulación con los datos del estudio de aforo.



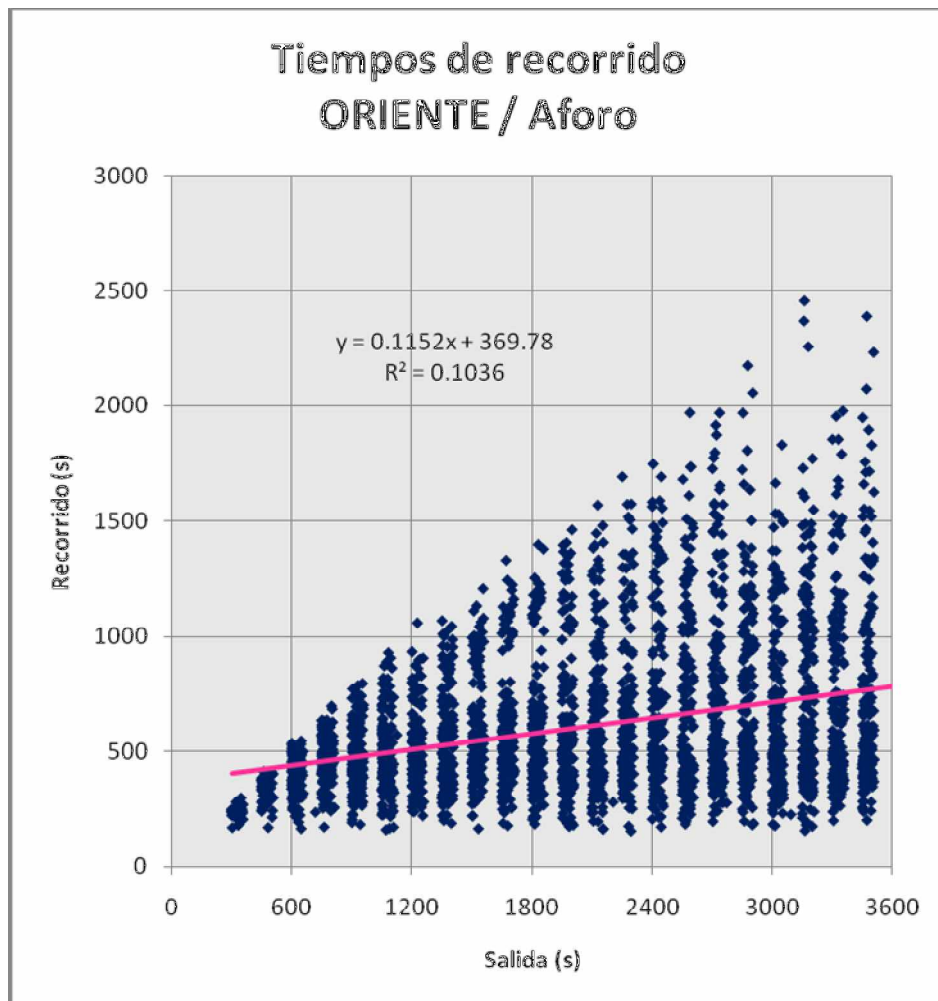


Gráfico V.3.3-1. Tiempos de recorrido en el paradero oriente con los datos del aforo.

La pendiente de 12 por ciento de la línea de tendencia lineal de color fucsia en el Gráfico V.3.1-1, habla de que se puede considerar al tiempo de recorrido como constante para toda la HP. Esto quiere decir que la capacidad del CETRAM es suficiente para contener el volumen de personas que nos indica el aforo. En todo momento los peatones gozan de un flujo continuo o sin embotellamientos a lo largo de su paseo por el edificio oriente.

El copioso volumen de pasajeros ingresado por los valores operativos del Metro a la misma red tendrá forzosamente que aumentar los tiempos de recorrido. En el Gráfico V.3.3-2 se aprecia este incremento de tiempos.



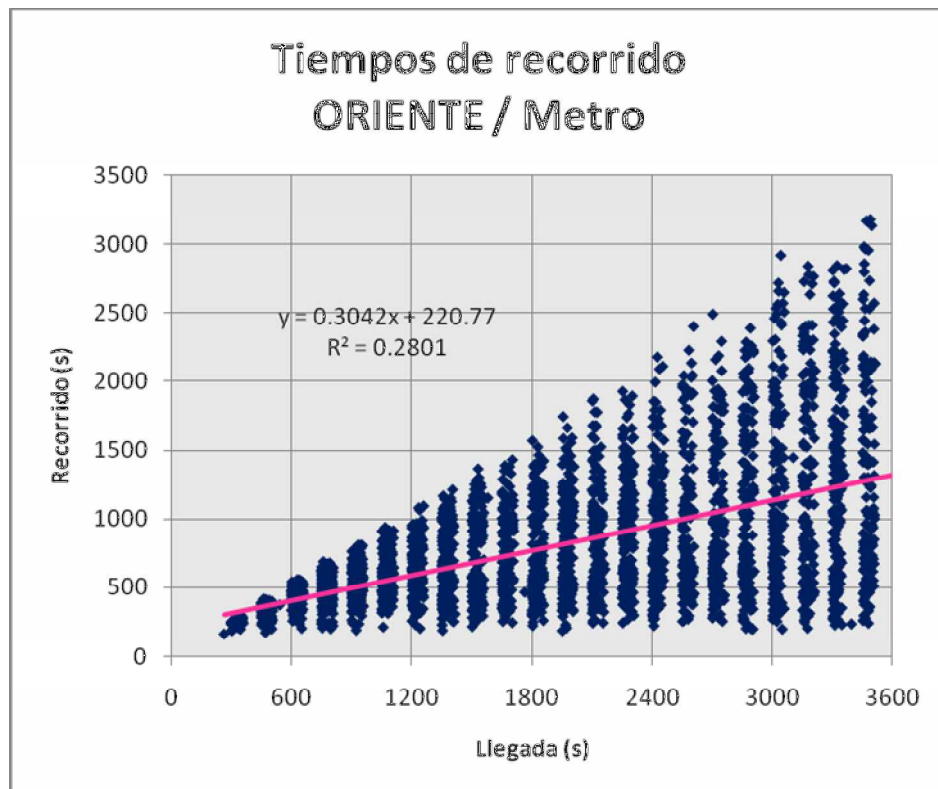


Gráfico V.3.3-2. Tiempos de recorrido en el paradero oriente con los datos del Metro.

El mínimo tiempo de recorrido encontrado es de 166.70 segundos (00:02:47) hacia la Ruta A y el máximo de 3183.95 segundos (00:53:04) hacia la Ruta C. Al mismo tiempo que era de esperarse que el menor tiempo de recorrido sucediera para las rutas más cercanas a los accesos del paradero oriente (Ruta A, Ruta B, Ruta L, Ruta G y Ruta D) como lo denota la Figura IV.3.2.2-1 y Figura IV.3.2.2-2, no es lógico que el tiempo de máximo recorrido aconteciera para la Ruta C dispuesta en la plataforma 3 de la Figura III.3.2-2, la segunda de las cuatro más cercana a los accesos. Lo que se está presentando aquí es el factor físico-psicológico de la teoría de Wiedemann (1976) explicada en la Sección II.1.1. La persona que tuvo este tiempo de recorrido mayor es porque incluye tanto una condición física pobre (velocidad de recorrido menor de la Tabla IV.4-1) y es poco agresiva al rebase entre los demás transeúntes.

A través de la regresión lineal obtuvimos la línea de tendencia en el Gráfico V.3.1-2 representada por la recta de color fucsia con pendiente de 30 por ciento. Esto habla de que, a pesar de que los tiempos de recorrido van en aumento por los cuellos de botella generados, un tiempo de recorrido promedio para toda la HP aún es válido. Este valor es de 810.70 segundos (00:13:31). Es de hacerse notar que esta pendiente positiva indica que, de seguirse con esta afluencia peatonal entregada por el Metro por periodos de tiempo prolongado, como la hora pico, se alcanza un grado de saturación de la capacidad del CETRAM hasta sobrepasarse.



La razón de congestión o incremento en los tiempos de recorrido reflejado por esta pendiente es de 6 segundos cada 25 segundos subsecuentes que avanza la HP.

En el paradero poniente, la distancia de recorrido promedio para todos los usuarios es de 254 metros. Este paseo comprende desde la salida del individuo del vehículo de transporte público a nivel plataforma hasta cruzar todo el paradero poniente y acceder a la estación del Metro por los pasos peatonales elevados. Esta ruta se explica por sí sola en la Figura IV.1.1-2

Analizando el movimiento de viajeros en el paradero poniente se aprecia que homológicamente a que la frecuencia de atención en el descenso es menor que en el ascenso para el transporte público semi-masivo, los tiempos de recorrido también resultan menores. Evaluando primero los datos proporcionados por el estudio de aforo, el tiempo menor obtenido es de 123.57 segundos (00:02:04) y el máximo de 1879.78 segundos (00:31:20). El tiempo promedio de recorrido aforado resulta de 438.34 segundos (00:07:18). En el Gráfico V.3.3-3 se plasma la dispersión de estos datos para todos los peatones dentro de la HP.

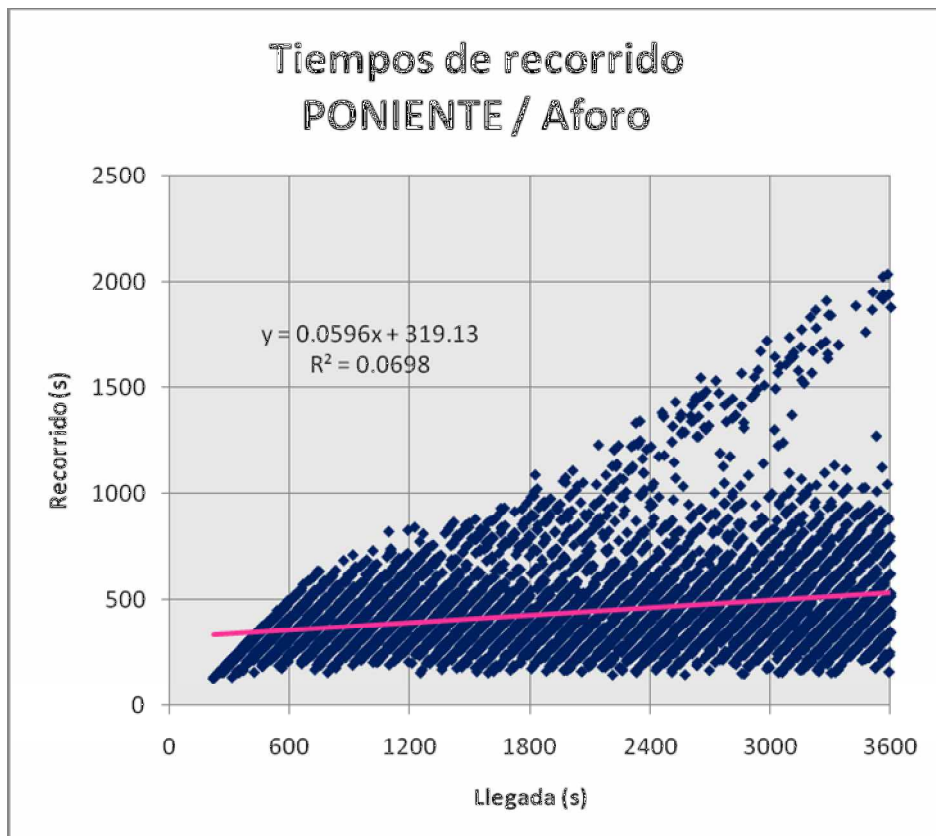


Gráfico V.3.3-3 Tiempos de recorrido en el paradero poniente con los datos del aforo.

A través de la simulación constatamos con los valores operativos del estudio de aforo que se manifiesta un flujo continuo de peatones durante toda la HP. Por eso es que el rango de tiempos de recorrido es apreciablemente cerrado o no



disperso, intenta incrementarse al término de la HP pero se mantiene por debajo de los 1000 segundos. La pendiente de la regresión lineal de color fucsia en el Gráfico V.3.1-3 del 5.96 por ciento nos ratifica esta conjetura. Su variación sólo depende de la distribución de velocidades asignada para el recorrido por las distintas instalaciones peatonales para personas con diferentes capacidades físicas (ver Tabla IV.4-1).

Al cotejar estos resultados con los obtenidos a partir de los datos operativos del Metro se descubre, como era de esperarse por el aumento del volumen peatonal, que los tiempos de recorrido son mayores. El menor tiempo de recorrido reportado por la simulación es de 131.57 segundos (00:02:12) y el mayor es de 833.97 segundos (00:13:54). El tiempo promedio de recorrido resultante es de 377.85 segundos (00:06:18). En el Gráfico V.3.3-4 se observa la distribución de estos tiempos de recorrido durante la HP.

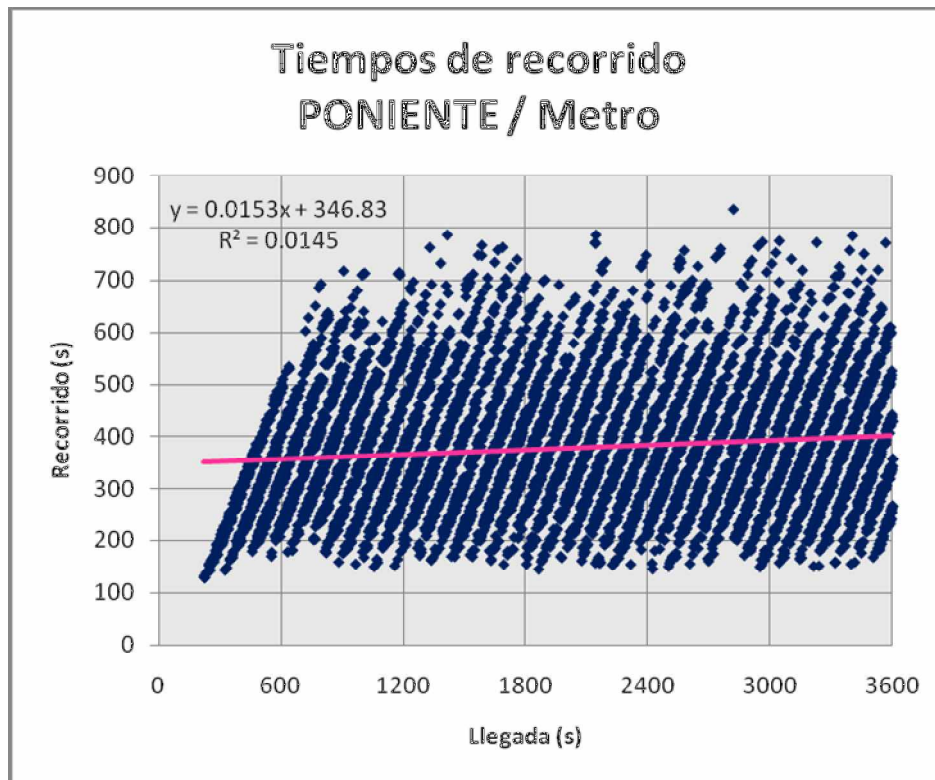


Gráfico V.3.3-4 Tiempos de recorrido en el paradero poniente con los datos del Metro.

A través de la pendiente de la línea de tendencia, de color fucsia en el gráfico, aunque tan sólo de 1.5 por ciento, sólo se puede aseverar que todos los recorridos tenderán a este valor. Se infiere que los tiempos de recorrido a partir de que un transeúnte ha entrado al edificio poniente después de las escaleras que conectan el nivel de plataformas con el piso del Metro, sí se acercarán al promedio pero hasta que no salga de éstas su tiempo de recorrido irá en un aumento lineal. Al observar de cerca la simulación, se nota que a partir de que las plataformas de acceso al paradero poniente se congestionan por la insuficiente capacidad de las escaleras, no vuelven a desahogarse a lo largo de toda la hora pico.



En la Tabla V.3.3-1 se presentan los recorridos peatonales en los CETRAM entre las distintas líneas del Sistema Colectivo Metro de la Ciudad de México. Se observa en esta tabla que los mayores tiempos de recorrido no forzosamente corresponden con las distancias de recorrido más largas. Esto se debe precisamente a la insuficiente capacidad de las instalaciones peatonales.

CETRAM	DE	A	DISTANCIA (m)	TIEMPO	VELOCIDAD (m/s)
Balderas	L1	L3	90.36	00:01:10	1.29
Bellas Artes	L8	L2	340.31	00:03:57	1.44
Candelaria	L1	L4	363.11	00:04:29	1.35
Centro Médico	L9	L3	187.47	00:02:32	1.23
Chabacano	L8	L2	472.89	00:05:27	1.45
Consulado	L4	L5	591.11	00:06:49	1.45
Deportivo 18 de Marzo	L3	L6	362.27	00:04:24	1.37
El Rosario	L6	L7	168.89	00:02:13	1.27
Garibaldi	LB	L8	282.89	00:03:05	1.53
Guerrero	L4	LB	217.87	00:02:53	1.26
Hidalgo	L2	L3	173.96	00:01:53	1.54
Instituto del Petróleo	L6	L5	564.09	00:06:35	1.43
Jamaica	L9	L4	580.13	00:06:52	1.41
La Raza	L5	L3	556.49	00:06:42	1.38
Martín Carrera	L6	L4	552.27	00:06:22	1.42
Morelos	LB	L4	209.42	00:02:39	1.32
Oceanía	L5	LB	208.58	00:02:45	1.26
Pantitlán	L1	L9	574.22	00:06:49	1.40
Pino Suárez	L2	L1	203.51	00:02:27	1.38
Salto del Agua	L1	L8	288.8	00:03:47	1.27
San Lázaro	LB	L1	445.87	00:05:29	1.36
Santa Anita	L4	L8	344.53	00:04:09	1.38
Tacuba	L7	L2	240.67	00:03:21	1.20
Tacubaya	L9	L1	361.42	00:06:00	1.00
PROMEDIO			349.21	00:04:17	1.35

Tabla V.3.3-1. Datos operativos de los recorridos de usuarios de transporte público al interior de los CETRAM de México.



Comparando el tiempo promedio de recorrido más crítico de 00:11:02 del escenario con los datos operativos del Metro en el paradero oriente, éste resulta 2.57 veces mayor que el valor promedio encontrado para estos CETRAM. Aunque este valor crítico se puede justificar que resulta de la operación durante la hora pico, con lo cual los datos de la Tabla V.3.3-1 no necesariamente cumplen, aún así es 1.61 veces mayor que el tiempo de recorrido más alto de la tabla del CETRAM Jamaica. Aquí podemos corroborar los embotellamientos antes descritos de acuerdo a la distancia promedio de recorrido entre el escenario con los datos operativos del Metro y los CETRAM presentados en la tabla. La distancia de 349.21 metros promedio de los CETRAM ejemplo se recorre en 00:04:17, un tiempo mucho menor que aquella del escenario del Metro, 291 metros en 00:11:02.

A partir de los resultados de tiempo y distancia de recorrido de los escenarios simulados se llega a la velocidad de paseo nominal (v_{nom}) en el CETRAM de diseño. Este valor resulta del promedio de velocidades durante la operación de los dos paraderos y se muestra en la Tabla V.3.3-2, para cada escenario.

ESCENARIO	AFORO		METRO	
	Oriente	Poniente	Oriente	Poniente
Paradero				
Volumen (pasax/HP)	4,925	9,699	8,125	8,125
Distancia recorrido (m)	291	254	291	254
Tiempo de recorrido	00:10:12	00:07:18	00:13:31	00:06:18
Velocidad (m/s)	0.48	0.58	0.36	0.67
v_{nom} (m/s)	0.53		0.52	
v_{nom} (m/s)	0.53			

Tabla V.3.3-2. Velocidad nominal de paseo conforme al escenario de los datos operativos del Metro.

De acuerdo a la sección IV.1.2 el valor mínimo de nivel de servicio a cumplir corresponde al valor de 0.75 metros por segundos del nivel E (ver Tabla III.1.3-1). Como se puede apreciar en la Tabla V.3.1-2, ninguno de los dos escenarios probados alcanza este nivel deseado. Obviamente, la velocidad nominal de todo el CETRAM (v_{nom}) de 0.53 metros por segundos también refleja esta insuficiencia. Se observa además que mientras que se obtuvo para los volúmenes peatonales de menor afluencia (Oriente / Aforo, Poniente / Metro) una mayor fluidez en el movimiento peatonal, el nivel de servicio acaecido se encuentra dentro del mismo rango de F.



V.3.4 Parque vehicular atendido

Con la propuesta analizada se pretendió servir o dar cabida a todo el parque vehicular existente. A pesar de haber llegado a la máxima eficiencia de acomodo de los vehículos de transporte público semi-masivo en el CETRAM, se halla que en el caso del paradero oriente no toda la afluencia vehicular alcanza al menos un movimiento o espacio para ofrecer su servicio.

En la Tabla V.3.4-1, a continuación se muestra cuál es esa demanda vehicular atendida por paradero en el CETRAM. Las *frecuencias* estipuladas comprenden el proceso de arribo del vehículo de transporte público al punto de transferencia, ascenso o descenso de pasajeros y partida del mismo. El número de *movimientos* resulta de dividir los 60 minutos de la HP entre la frecuencia, para hallar las veces que el paradero se ocupa y desocupa. La *oferta vehicular* se refiere al número total de unidades de transporte público semi-masivo que se pueden concentrar o asegurar que tengan una posición en plataforma dentro de toda la HP. Se calcula con el producto de la cantidad de movimientos por el número de *puntos de transferencia* o bahías disponibles para el ascenso o descenso del transporte público semi-masivo. Finalmente, la *demanda vehicular* se refiere al número de vehículos de transporte público semi-masivo reportado por el aforo y que se obtiene de la columna *total* de unidades (*U*) de la Tabla IV.3.2-1 y IV.3.3-1.

Paradero	Oriente	Poniente
Frecuencia	00:02:30	00:01:30
Tiempo de permanencia	00:01:30	00:00:30
Movimientos	24	40
Puntos de transferencia	16	38
Oferta vehicular	384	1,520
Demanda vehicular	350	665
Sobreoferta	110%	229%

Tabla V.3.4-1 Resumen de la optimización de la operación del transporte público semi-masivo por paradero.

Así se ve que la propuesta de esta tesis es válida, para el caso de la atención vehicular, y da cabida a una cantidad mayor de unidades que la oferta durante la hora pico.



VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En esta tesis se analizó la transferencia de los flujos peatonales entre el transporte público masivo o Metro y el transporte público semi-masivo o autobús, microbús y pesera al interior de un Centro de Transferencia Modal (CETRAM) para la hora pico (HP) de diseño. La hipótesis de diseño que rigió el marco metodológico de esta investigación fue la no intercalación de los flujos de usuarios durante la transferencia. Lo anterior se logró separando el movimiento de ascenso al transporte público semi-masivo en el paradero oriente y el movimiento de descenso del transporte público semi-masivo en el paradero poniente.

El haber contado con una herramienta de simulación permitió comparar estos esquemas de funcionamiento del CETRAM y elegir un escenario que sirve de parámetro para sobre de él diseñar la oferta máxima presente y valorar los ajustes necesarios para atender al aumento de demanda esperada. El estudio del factor de reducción de la capacidad teórica de instalaciones peatonales (FRECTIP) de 0.32 de la Sección V.3.1 corrobora la trascendencia de esta herramienta de cómputo al mostrar la diferencia en resultados que existe entre pronosticar el comportamiento de seguimiento entre personas desde un escritorio y lo que sucede en la realidad.

Comentando sobre las colas de espera analizadas en la Sección V.3.2, a la vez que la mayoría de las multifilas tienen capacidad de sobra para atender a la demanda, existen otras que resultan insuficientes, siendo éstas precisamente las destinadas para las rutas de mayor pasaje. Si se pone atención a las rutas donde la longitud ofrecida es superior a la requerida en cualquiera de los escenarios analizados (ver Tabla V.3.2-1), se podría aprovechar esta sobreoferta en aquellas rutas que requieren de mayor longitud de multifila. Con esta opción, en cambio, estaríamos mezclando los caminos entre los puntos de ascenso asignados, originalmente independientes. Esto implica un reto logístico en el acomodo de los usuarios y los vehículos al compartir una misma multifila para dos o más rutas. Aunque teóricamente se podría lograr con un señalamiento dinámico (cambiante con la ruta de llegada del vehículo entrante) bien planeado, en la práctica de la ingeniería de transporte se sabe que “el hombre es un animal de costumbres” y una vez que adquiere un hábito muy difícilmente cambia su conducta. Es decir, ya que las personas se rigen bajo el comportamiento del menor esfuerzo o mínimo costo físico, la gente evitará un camino que le repercuta un retraso en tiempo por detenerse a entender señalamientos nuevos o intercambiables. A pesar de que se generara una nueva multifila para la misma ruta y con mucho menor tiempo de espera, el transeúnte optaría por seguir el mismo recorrido a su multifila habitual aunque esto le implique el esperar en una larga cola a ser atendido.

Es de llamar la atención que un flujo en contrasentido no se está considerando en la simulación del CETRAM de estudio, conforme a la hipótesis de diseño evaluada en esta tesis. La valoración teórica es que al haber separado la transferencia de los usuarios del ascenso en el oriente y del descenso en el poniente, el contraflujo sería nulo. Ahora bien, en la práctica, al ser el comportamiento de las personas y



las circunstancias tan poco predecibles, es fácil pensar en un viajero que decida regresar sobre su mismo camino por habersele olvidado algo o simplemente por equivocarse de ruta de transporte público. Por tal motivo, se necesita replantear los planos arquitectónicos así como la simulación para dar cabida sobre las instalaciones peatonales a este contraflujo. Sin embargo, antes de abortar la hipótesis de investigación debido a la incapacidad del CETRAM para dar cabida a un contraflujo por falta de espacio, se debe entender que a la vez que los dos esquemas de funcionamiento dan cabida a todo el volumen peatonal, la diferencia recae en dónde se concentran esas personas. El flujo mixto, en los dos paraderos el movimiento de ascenso y descenso mezclado, aunque implica el entrecruzamiento de los flujos peatonales, distribuye de una manera más homogénea éstos en todos los puntos del CETRAM. Por otro lado, el flujo separado, el ascenso al transporte público semi-masivo en el oriente y el descenso del mismo en el poniente, obliga a que toda la gente que atiende al CETRAM siga el mismo camino y se formen los cuellos de botella justamente en la entrada a las instalaciones peatonales. De existir una mayor oferta o espacio en las instalaciones peatonales antes de llegar al punto inevitable de concentrar los flujos sobre las plataformas de ascenso en el paradero oriente y sobre las pasarelas de acceso al Metro en el paradero poniente, los congestionamientos se mitigarían.

Por otro lado, las simulaciones permitieron conocer los tiempos de recorrido en la transferencia de las personas entre los transportes públicos masivo y semi-masivo. Se tomó como marco de referencia el funcionamiento de algunos CETRAM ya existente (ver Sección V.3.3) para comprobar que el peatón del CETRAM de esta tesis como mínimo puede esperar el mismo servicio, no indicando con esto que esos tiempos de recorrido sean los más eficientes, sino que a esos tiempos son a los que está acostumbrado el transeúnte. El haber determinado la velocidad nominal de paseo de 0.53 metros por segundo (ver Tabla V.3.3-2) a partir de este trabajo de investigación es un logro importante para futuras consultas en materia de tránsito peatonal. Pese a esto, el mínimo nivel de servicio esperado E (ver Sección IV.1.2) no es alcanzado, indicando por demás que se buscó darle la mayor capacidad al CETRAM en cuanto a espacios e instalaciones peatonales (ver Sección V.2).

Mientras que se puede sentir uno del lado de la seguridad al haberle dado cabida a todo el parque vehicular en función a su frecuencia de atención y número de unidades (ver Tabla IV.3.2-1 y Tabla IV.3.3-1), este no es el enfoque de esta tesis de investigación. El factor realmente importante a garantizarle su servicio es la gente, y como se aprecia en el Análisis de Resultados (Capítulo V) el nivel de servicio alcanzado resulta por debajo de la norma de lo óptimo o buscado.

Finalmente se concluye que el Centro de Transferencia Modal requiere ser revaluado, ya que a pesar de albergar a toda la afluencia peatonal y parque vehicular presentes durante la hora pico, la transferencia de las personas se encuentra por debajo un nivel de servicio óptimo y congruente con el diseño sustentable pretendido en esta tesis de investigación.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ayuntamiento de Alicante. Plan de Recuperación del Centro Tradicional de la Ciudad de Alicante: Estudio del Área de San Francisco. Servicio de Coordinación de Proyectos. Agencia Local de Desarrollo Económico y Social.
2. CAL Y MAYOR, Rafael. Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y aplicaciones. Editorial Alfaomega, 8ª edición, 2007.
3. CARMONA, César A. Carrillo et al. Estudio del Comportamiento del Peatón en las Intersecciones Semaforizadas del Corredor Vial Calle Quinta en la Ciudad de Cali. Pontificia Universidad Javeriana, Cali, 2004.
4. CASSIDY Micheal J. y WINDOVER John R. Driver memory: Motorist selection and retention of individualized headways in highway traffic. University of California, Department of Civil and Environmental Engineering, and the Institute of Transportation Studies Berkeley, CA 94720, U.S.A.
5. ESPINA, Jane y RINCÓN Francisco. Simulación como herramienta de planificación urbana: Plaza Baralt. SIGRADI, México, 2007.
6. HiTrans: Best Practice Guide. Public Transport – Citizen's requirements.
7. <http://www.legion.com/case-studies/tsim-tsa-tsui.php>
8. <http://www.metro.df.gob.mx/operacion/index.html>
9. <http://www.setravi.df.gob.mx/cetram/delegacion01.html>
10. KUHNE, R. D. y BECKSHULTE, R. Non-linearity stochastic in unstable traffic flow. Transportation and Traffic Theory. Elsevier, Amsterdam, 1993.
11. LAZO y SÁNCHEZ. Fisonomía de la Ingeniería de Tránsito, México, Editorial Limusa, 1979.
12. LI Ting , VAN HECK Eric, VERVEST Peter, VOSKUILEN Jasper, HOFKER Freek, JANSMA Fred. Passenger travel behavior model in railway network simulation. Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference.
13. MARTÍNEZ, Oscar E. Jurado. Apuntes de Sistemas de Transporte. FI-UNAM, 2005.
14. MONTERRUBIO, Pablo. Apuntes de Impacto Ambiental. FI-UNAM, 2006.
15. MICHALOPOULOS P. Cl., LIN J. and BESKOS D. E. Integrated modeling and numerical treatment of traffic flow. Appl. Math. Modeling 11, 1987.
16. MOLINERO, Ángel Molinero. Transporte Público: Planeación, Diseño, Operación y Administración. Fundación ICA, A.C., 3ª edición, 1998.
17. NOM-003-SEGOB. Norma Oficial Mexicana de Señales y Avisos para Protección Civil.- Colores, formas y símbolos a utilizar. 2002.
18. NTC-RCDF. Normas Técnicas Complementarias para el proyecto arquitectónico. Tomo II. Gaceta Oficial del Distrito Federal. 6 de octubre de 2004.
19. PTV AG. VISSIM 4.10 User Manual. Karlsruhe, Germany April 2005.
20. PAYNE, H. J. Models of freeway traffic and control. Math. Models Publ. Sys. Simul. Council Proc. 28, 51-61, 1971.
21. PAYNE, H. J. FREFLO: a macroscopic simulation model of freeway traffic. Transp. Res. Rec. 722,68-77, 1979.
22. PHILLIPS, W. F. Kinetic theory for traffic flow. Research Report for U. S. DOT. Dept. of Mech. Eng., Utah State University, Logan, U.S.A., 1977.



23. PRIGOGINE I. A boltzman-like approach to the statistical theory of traffic flow. Theory of Traffic Flow. Elsevier, Amsterdam, 1961.
24. PRIGOGINE, I. y HERMAN, R. Kinetic Theory of Vehicular Traffic. Elsevier, New York, 1971.
25. SNV/VÖV. Fahrgestbedlenung. Düsseldorf: Alba Buchverlag, 1980.
26. Transit Cooperative Research Program (TCRP) Report 100. Transit Capacity and Quality of Service Manual. Transportation Research Board (TRB), 2a edición, Washington, D.C., 2003.
27. Transportation Research Board (TRB). Highway Capacity Manual (HCM). National Research Council. Washington, D.C., 2000.
28. VÖV/VDA. Bus-Verkehrsystem: Fahrzeug, Fahrweg, Betrieb. Düsseldorf: Alba Buchverlag, 1979.
29. VÖV/VDA. Bus-Verkehrssystem. Fahrzeug. Fahrweg. Betrieb-Düsseldorf: Alba Buchverlag. GmbH, 1979.
30. VUCHIC, Vukan R. Transportation for livable cities. Center of Urban Policy Research, 2ª edición, 2000.
31. WIEDEMANN, R. Simulation des Straßenverkehrsflusses. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen, Universität (TH) Karlsruhe, Heft 8, 1974.

