

22
2g



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



ANALISIS Y EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE PARA CIUDAD UNIVERSITARIA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

PRESENTAN

CESAR ESCOBOSA AGUIRRE
JAVIER LEON-ORANTES ESCALANTE
JORGE REYNALDO VALLEJO RECIO

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1998

265532



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-111/97

Señores

CESAR ESCOBOSA AGUIRRE
JAVIER LEON-ORANTES ESCALANTE
JORGE REYNALDO VALLEJO RECIO

Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. GUSTAVO ARGIL CARRILES**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

"ANALISIS Y EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE PARA CIUDAD UNIVERSITARIA"

INTRODUCCION

- I. DESCRIPCION GENERAL DE CIUDAD UNIVERSITARIA**
- II. ASPECTOS GEOLOGICOS E HIDROLOGICOS DE CIUDAD UNIVERSITARIA**
- III. SITUACION ACTUAL DEL SISTEMA DE TRANSPORTE INTERNO**
- IV. ANALISIS ACTUAL Y A FUTURO DE LA DEMANDA DE TRANSPORTE**
- V. ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE**
- VI. EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL EN CADA UNA DE LAS OPCIONES DE ESTUDIO**
- VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria a 15 de octubre de 1997.

EL DIRECTOR.


ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/GMP*lmf

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	v
OBJETIVO	vii
METODOLOGÍA	viii
ALCANCES	ix
CAPÍTULO I. DESCRIPCIÓN GENERAL DE CIUDAD UNIVERSITARIA.....	1
I.1. Reseña Histórica.....	1
I.2. Generalidades	1
I.2.1. Ubicación	1
I.2.2. Zonificación.....	3
I.2.3. Comunidad Universitaria.....	6
I.3. Servicios a la Comunidad.....	7
I.3.1. Transporte, Seguridad y Protección	7
I.3.2. Servicios Médicos.....	8
I.3.3. Comunicaciones	8
I.3.4. Infraestructura Urbana.....	8
I.3.5. Zona Comercial.....	9
I.3.6. Otros Servicios	9
CAPÍTULO II. ASPECTOS GEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS DE CIUDAD UNIVERSITARIA	10
CAPÍTULO III. SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE TRANSPORTE INTERNO	17
III.1. Red Vial de Ciudad Universitaria.....	17

III.2. Pavimentación de la Vialidad de Ciudad Universitaria.....	19
<i>III.2.1. Pavimentos Rígidos</i>	20
<i>III.2.2. Pavimentos Flexibles</i>	21
III.3. Características del Sistema de Transporte Colectivo de Ciudad Universitaria	23
<i>III.3.1. Organización</i>	24
<i>III.3.2. Operación</i>	24
<i>III.3.3. Rutas y Paraderos del STCCU</i>	27
III.4. Terminales de Conexión con el Sistema de Transporte Colectivo del D.F.....	34
<i>III.4.1. Estaciones del Sistema de Transporte Colectivo Metro</i>	34
<i>III.4.2. Paraderos de Autobuses, Microbuses y Trolebuses</i>	35
<i>III.4.3. Sitios de Taxis</i>	35
III.5. Puntos de Conflicto en la Vialidad	37
III.6. Problemas de Transporte en la Universidad	40

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS ACTUAL Y A FUTURO DE LA DEMANDA DE TRANSPORTE. 42

IV.1. Distribución Espacial de la Demanda	42
<i>IV.1.1. Generadores de Viajes</i>	42
IV.2. Acceso y Salida al transporte público del Distrito Federal	47
IV.3. Comportamiento Horario de la Demanda en Facultades	50
IV.4. Comportamiento Horario de la Demanda del Personal Administrativo	54
IV.5. Líneas de Deseo a Facultades.....	59
IV.6. Líneas de Deseo a Zonas Administrativas y de Servicios.....	74
IV.7. Accesibilidad Peatonal	81
IV.8. Demanda por Actividades Recreativas.....	85
IV.9. Demanda de Población a Futuro	85
IV.10. Demanda de Usuarios en Tránsito.....	86

CAPÍTULO V. ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE	88
V.1. Sistema de Transporte Colectivo de Ciudad Universitaria (STCCU)	88
V.2. Mejoramiento del Sistema de Transporte Colectivo de Ciudad Universitaria	90
V.3. Vehículo Eléctrico UNAM	96
V.4. Sistemas de Tránsito Rápido para Pasajeros (<i>PRT</i>)	99
<i>V.4.1. Inicios en los Estados Unidos</i>	103
<i>V.4.2. Actividades en otros países</i>	106
<i>V.4.3. Los PRT a partir de 1974</i>	110
V.5. Diseño de un <i>PRT</i> para Ciudad Universitaria: un Enfoque Gráfico Interactivo	117
<i>V.5.1. Diseño de la Red mediante una Base de Datos en Pequeña Escala</i>	118
<i>V.5.2. Determinación de los Objetivos en el Diseño</i>	122
<i>V.5.3. Optimizar el Número y Localización de las Estaciones</i>	123
<i>V.5.4. Capacidad de un Sistema de Tránsito y de un PRT</i>	134
V.6. El Monorriel	141
 CAPÍTULO VI. EVALUACIÓN TÉCNICA, AMBIENTAL Y ECONÓMICA DE LAS	
 ALTERNATIVAS	145
VI.1. Evaluación de las Alternativas Técnicas y su Impacto Ambiental	145
VI.2. Costos de Inversión	150
<i>VI.2.1. Sistema de Transporte Colectivo de Ciudad Universitaria</i>	151
<i>VI.2.2. Mejoramiento del Sistema de Transporte Colectivo de Ciudad Universitaria</i> ...	151
<i>VI.2.3. Sistema de Tránsito Rápido para Pasajeros (PRT)</i>	151
VI.3. Presupuesto de Ingresos y Gastos	152
<i>VI.3.1. Sistema de Transporte Colectivo de Ciudad Universitaria</i>	153
<i>VI.3.2. Mejoramiento del Sistema de Transporte Colectivo de Ciudad Universitaria</i> ...	154
<i>VI.3.3. Sistema de Tránsito Rápido para Pasajeros (PRT)</i>	154
VI.4. Criterio de Evaluación Costo-Beneficio	155

<i>VI.4.1. Determinación de las Alternativas</i>	157
<i>VI.4.2. Horizonte de Planeación</i>	158
<i>VI.4.3. Determinación de Costos, Beneficios y Perjuicios</i>	158
<i>VI.4.4. Determinación de la Tasa de Interés</i>	159
<i>VI.4.5. Comparación de las Alternativas</i>	160
<i>VI.4.6. Análisis Complementarios</i>	161
<i>VI.4.7. Selección de la Mejor Alternativa</i>	161
VI.5. Análisis de “Ingresos y Egresos Iguales” e Incertidumbre o Sensibilidad	167
VI.6. Cuadro de Fuentes y Uso de Fondos	174
CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	182
VII.1. Conclusiones y Comentarios de la Evaluación	182
VII.2. Conclusiones Generales.....	183
VII.3. Recomendaciones	185
REFERENCIAS.....	189

INTRODUCCIÓN

Actualmente la Ciudad de México presenta graves problemas de transporte debido a la gran cantidad de personas que necesitan desplazarse dentro de esta gran metrópoli. La necesidad de crear un sistema de transporte eficaz, seguro, con rutas eficientes, con tiempos de recorrido cortos ha sido, desde hace tiempo, el objetivo o la meta de las autoridades que dirigen esta ciudad. Esto con el fin de lograr que la mayoría de las personas utilicen el transporte público, y con eso coadyuvar, entre otras cosas, a disminuir los altos índices de contaminación.

Además de los problemas ya mencionados, existe otro muy grave que es la pérdida de tiempo tan grande que tienen los estudiantes cuando se trasladan desde sus hogares o lugares de trabajo hasta la Ciudad Universitaria y viceversa. El tiempo utilizado para trasladarse debe ser el menor posible, y de no ser así, el tiempo que podría ser destinado para los estudios o alguna actividad productiva es totalmente desaprovechado. Para mitigar este problema dentro del *campus*, se encuentra en funcionamiento desde 1984 un sistema de transporte colectivo.

Preocupados por la situación que estamos viviendo, los autores de esta tesis quisimos verificar el funcionamiento del sistema de transporte que opera en Ciudad Universitaria y ahondando en la problemática, proponer soluciones alternas para mejorarlo.

Utilizando la información estadística recopilada, donde se incluyen los principales destinos, los centros de mayor demanda, la distribución de la población, etc., quisimos proponer otras alternativas de transporte pensando sobre todo en la ecología, en los problemas de tránsito, en los problemas de estacionamiento y en todas las personas que realizan alguna actividad en la “Máxima Casa de Estudios”. Preocupándonos por la ecología, propusimos la implantación de sistemas de transporte eléctricos, innovadores y novedosos como un minibús.

Por otra parte, propusimos un sistema de transporte elevado, independiente de los sistemas de tránsito convencionales que opera al igual que el minibús, con electricidad. Estos sistemas no entorpecen el tráfico, los tiempos de recorrido se reducen, los itinerarios establecidos se respetan y algo muy importante es que no contaminan el ambiente.

A lo largo de esta tesis se describen detalladamente las alternativas, se analizan, comparan, evalúan y se propone la que, a nuestro juicio, es la alternativa más viable para Ciudad Universitaria.

OBJETIVOS

Analizar el servicio que presta el Sistema de Transporte Colectivo de Ciudad Universitaria.

Analizar, evaluar y seleccionar entre varias alternativas de transporte la opción técnica, económica, social y financiera más conveniente.

METODOLOGÍA

La metodología utilizada va de acuerdo con la evaluación de proyectos en el contexto de la planeación, cuyas etapas están comprendidas en los distintos capítulos de la tesis.

En los primeros dos capítulos se realizó una breve reseña de los aspectos generales de Ciudad Universitaria, dentro de los que se encuentran algunos sucesos históricos, características territoriales, geológicas e hidrológicas.

En los capítulos III y IV se realizó el diagnóstico del sistema actual y el pronóstico de la demanda a futuro. Este diagnóstico hizo evidente la ineficiencia del sistema de transporte actual lo que nos llevó a proponer nuevos objetivos y las alternativas para cumplirlos.

En el capítulo V se estudian cinco alternativas describiendo sus características técnicas, capacidad, funcionamiento, ventajas y desventajas.

La evaluación técnica, económica, social y financiera de dichas alternativas se realiza en el sexto capítulo, con el propósito de seleccionar la mejor alternativa posible para sustituir el sistema de transporte colectivo en operación actualmente.

Por último, se planteó el proceso a seguir para la implantación de la mejor alternativa así como la realización de estudios adicionales, mejores y más completos, que permitan determinar de manera más confiable las necesidades de los usuarios del Sistema dentro del *campus*.

ALCANCES

Los estudios de la demanda utilizados en esta tesis se basaron en los resultados de los aforos viales y peatonales publicados en el documento “Recomendaciones para mejorar el Sistema de Transporte Colectivo de CU”. Los autores de esta tesis encontramos que dicho documento no es del todo representativo debido a que algunas consideraciones realizadas en la recopilación e interpretación de datos resultan inapropiadas. Estas discordancias son analizadas en el capítulo IV.

Debido a que realizar un estudio más detallado de la demanda queda fuera de los alcances de esta tesis, los calculos realizados se basaron en el documento antes mencionado. Únicamente se hicieron algunas correcciones que nos permitieron modelar el comportamiento de la demanda en Ciudad Universitaria de manera más adecuada.

En el caso de la alternativa de Tránsito Rápido para Pasajeros (*PRT*) se utilizaron los índices de costos generados por la empresa TAXI 2000 para la implantación de un *PRT* en una ciudad en Estados Unidos como Minneapolis, Minesota. Existen muchas otras empresas trabajando actualmente en distintos proyectos similares y sin embargo se prefirió la utilización de estos índices ya que dichas empresas sólo proporcionan información cuando se presenta la solicitud formal de un presupuesto y otras están apenas en etapas conceptuales, de desarrollo y experimentales. También resulta conveniente usar estos índices debido a que el sistema *PRT* para Ciudad Universitaria es muy similar al propuesto por la TAXI 2000.

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN GENERAL DE CIUDAD UNIVERSITARIA

I.1. Reseña Histórica

A principios de siglo los edificios que conformaban a la recién formada Universidad Nacional de México se encontraban dispersos por el centro de la Ciudad de México. Eso provocó que naciera la necesidad de que la Universidad y sus dependencias se asentaran en un solo complejo de edificios. Surgió entonces la idea de una ciudad universitaria y después de varios intentos, bajo la rectoría de Rodolfo Brito Foucher, en 1943 se llevaron a cabo los trámites para adquirir un terreno en el Pedregal de San Angel, y siendo rector Salvador Zubirán se concluyó la expropiación del predio, procediéndose de inmediato a la licitación para su construcción. El proyecto electo fue el de la Escuela Nacional de Arquitectura, nombrándose en 1949 directores del proyecto a Mario Pani y a Enrique del Moral. Comenzó la construcción del primer edificio, la torre de ciencias, el 5 de julio de 1948 bajo la dirección de Carlos Lazo, gerente general de la obra.

La Ciudad Universitaria se inauguró oficialmente el 20 de noviembre de 1952 por el Presidente Miguel Alemán y el rector Luis Garrido.

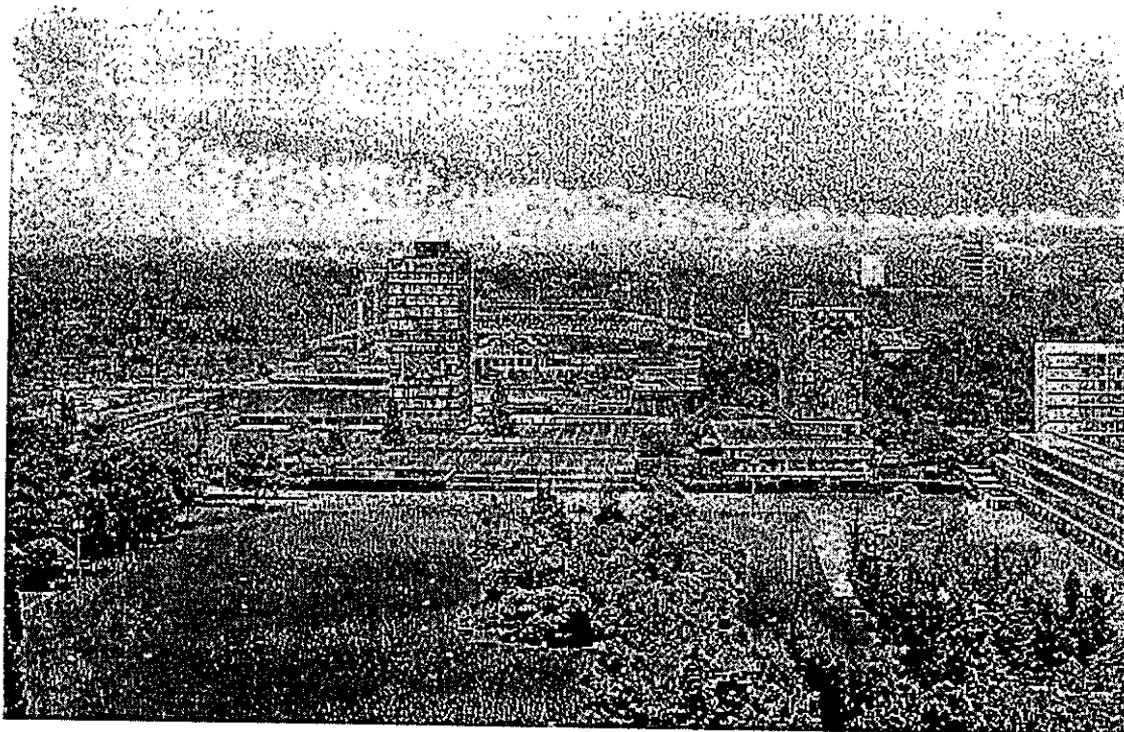
I.2. Generalidades

I.2.1. Ubicación

La Ciudad Universitaria se localiza al sur de la Ciudad de México, en las delegaciones Coyoacán y Alvaro Obregón, ocupando un área de 7'300,000 metros

cuadrados de un terreno pedregoso de origen volcánico con características de vegetación y fauna muy especiales. Tiene acceso por diversas avenidas que la circundan. Al norte colinda con la avenida Universidad, en donde se encuentra la Puerta #1; al sur con la avenida del IMAN y la calle Llanura; al poniente con Jardines del Pedregal y al oriente con avenida Dalias, sobre la cual se ubica la estación del metro Universidad. La avenida Insurgentes Sur atraviesa al *campus* en dirección norte-sur, desde la avenida Copilco hasta su intersección con el Anillo Periférico.

En la actualidad está compuesta por ocho diferentes zonas, delimitadas por los circuitos periféricos, que corresponden al crecimiento y a la diversificación de las labores de la institución.



1.2.2. Zonificación

La primera zona conforma el núcleo original del *campus* universitario y esta delimitada por el circuito escolar, al cual se llega por las avenidas Insurgentes y Universidad. En el interior de este circuito se encuentran ubicados los edificios de la mayoría de las facultades (Ingeniería, Arquitectura, Química, Medicina, Odontología, Economía, Derecho y Filosofía y Letras), la torre de Rectoría y la Biblioteca Central, los centros de extensión (Centro de Enseñanza Para Extranjeros, Centro Enseñanza de Lenguas Extranjeras) entre otros edificios importantes.

La segunda zona se encuentra al sur de la primera y esta delimitada por el circuito exterior en el que se encuentran actualmente los nuevos edificios de las facultades de Contaduría y Administración, el Instituto de Ingeniería, el Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y Sistemas, el anexo de la Facultad de Ingeniería, la Escuela de Trabajo Social, la alberca olímpica y algunos campos deportivos.

La tercera zona esta integrada por la ciudad de la investigación científica, con las facultades de Ciencias y Veterinaria. Ahí mismo está ubicada la estación del metro Universidad y la tienda 3 de la UNAM.

La cuarta zona es en su mayoría la reserva ecológica de la Ciudad Universitaria situada entre las ciudades de la investigación científica y humanística. Al oriente se encuentra la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, así como el Instituto de Investigaciones Antropológicas y los estudios de TV UNAM.

El Centro Cultural Universitario conforma la quinta zona, que ocupa la zona sur de C.U. Aquí se encuentran la sala Nezahualcóyotl, el conjunto de las salas Miguel

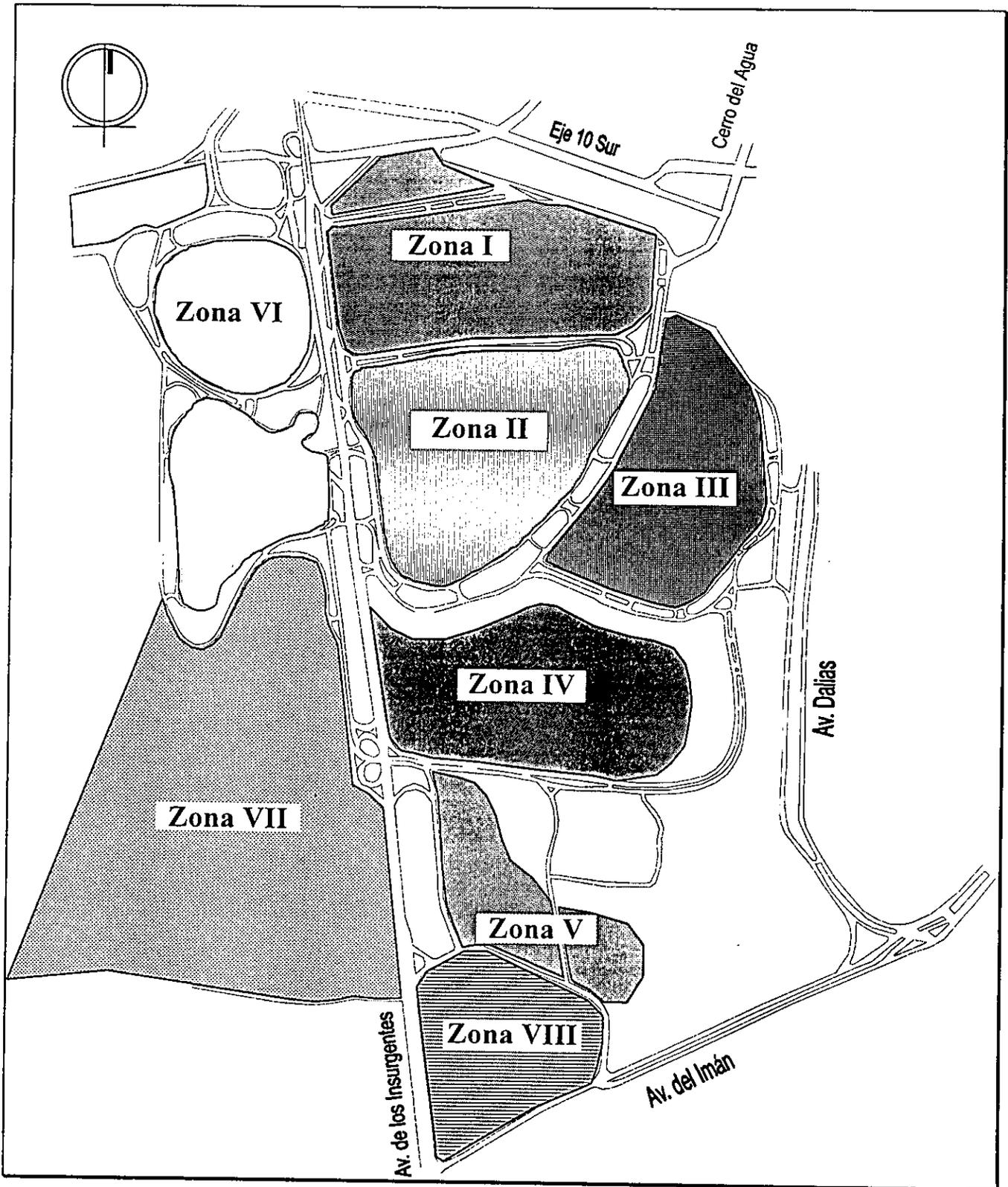
Covarrubias, Carlos Chávez, el Museo de Ciencia y Tecnología Universum, dos cines, una librería, los teatros Juan Ruiz de Alarcón y Sor Juana Inés de la Cruz, así como la Biblioteca y la Hemeroteca Nacionales. En esta misma zona, delimitada por el circuito Mario de la Cueva, se sitúan la ciudad de humanidades y la zona administrativa exterior.

La sexta zona está destinada casi exclusivamente a instalaciones deportivas, donde se encuentra el Estadio Olímpico, la Dirección General de Obras y Servicios Generales, la tienda 1 de la UNAM, el Jardín Botánico, el Centro de Ecología, el multifamiliar para profesores y el Vivero Alto.

La séptima zona esta conformada casi en su totalidad por la reserva ecológica que comprende casi un 40% del total de áreas verdes existentes.

La octava y última zona es la llamada zona administrativa exterior donde se encuentran entre otras dependencias importantes, El Archivo General de la UNAM, La Dirección General de Incorporación y Revalidación de Estudios (DGIRE), La Dirección General de Asuntos de Personal Académico (DGAPA).

Zonificación de Ciudad Universitaria

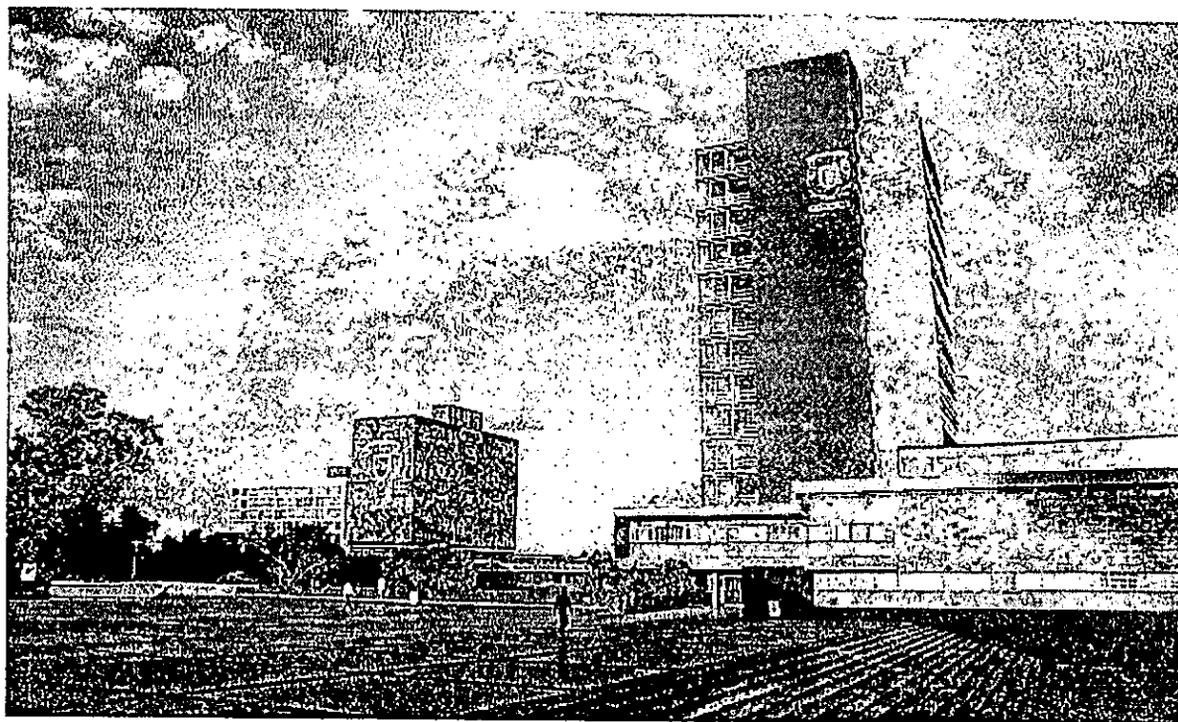


I.2.3. Comunidad Universitaria

La comunidad integrada por las autoridades, profesores, investigadores, técnicos, alumnos y personal de apoyo de Ciudad Universitaria suma más de 128 mil personas.

Los estudiantes que actualmente están inscritos, el personal docente y de investigación, formado por profesores, investigadores, técnicos académicos y ayudantes de investigadores y profesores, ascienden a unos 110 mil; y el personal administrativo y de apoyo de la Universidad suman alrededor de 19 mil.

La UNAM lleva a cabo una intensa labor de investigación científica, tecnológica y humanística (aproximadamente el 50% de la investigación total del país), para lo cual cuenta con casi 4,000 investigadores.



I.3. Servicios a la Comunidad

La Universidad cuenta con una infraestructura capaz de resolver todas las necesidades de la comunidad universitaria a través de servicios de seguridad y protección a la comunidad, tiendas de autoservicio, comercios, telégrafo, correo y librerías especializadas, así como cafeterías y pequeños restaurantes.

L3.1. Transporte, Seguridad y Protección

Para la seguridad y protección de la comunidad universitaria, se han establecido diversos servicios, entre los cuales sobresalen los siguientes:

- Departamento de Prevención y Combate de Siniestros (Cuerpo de Bomberos).
- Departamento de Protección Civil.
- Unidad de Intervención de la UNAM.
- Programa de Auxilio UNAM.
- Casetas de vigilancia.
- Postes de auxilio.
- Patrullas de auxilio UNAM.
- Estacionamientos Controlados (35 en servicio actualmente).
- Transporte interno gratuito.
- Transporte para la investigación.
- Transporte foráneo universitario.

- Gasolinera.

I.3.2. Servicios Médicos

- Centro Médico Universitario.
- Exámenes médicos para estudiantes de primer ingreso.
- Clínicas odontológicas.
- Clínicas psicológicas en la Ciudad Universitaria.
- Clínica veterinaria de pequeñas especies.

I.3.3. Comunicaciones

- Satélite y comunicación.
- Sistemas satelitales y circuito cerrado de televisión.
- Sistema de onda corta.
- Telefonía.
- Servicio de telex y fax.

I.3.4. Infraestructura Urbana

- Agua potable.
- Agua tratada.
- Sistema de alcantarillado.
- Energía eléctrica.

- Alumbrado.
- Desechos sólidos.

I.3.5. Zona Comercial

- Librería Central.
- Administración de Correos num. 70.
- Oficina de telégrafos.
- Oficina para trámite de constancias y credenciales UNAM.

I.3.6. Otros servicios

- Buzones para quejas y sugerencias.
- Bolsa Universitaria de trabajo.
- Bufete Jurídico.
- Centro de desarrollo infantil.
- Oficina para promoción y otorgamiento de becas.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS DE CIUDAD UNIVERSITARIA

“La cuenca de México asemeja una enorme presa azolvada: la cortina, situada en el sur está representada por los basaltos de la sierra del Chichinautzin, mientras que los rellenos del vaso están constituidos en su parte superior por arcillas lacustres y en su parte inferior por clásticos derivados de la acción de ríos, arroyos, glaciares y volcanes.

Todo material contenido en los depósitos de la cuenca del Valle de México es directa o indirectamente de origen volcánico. De origen volcánico directo son, por ejemplo, las coladas recientes del Pedregal de San Angel originadas en el Xitle”.¹

Es en esta zona del valle de México donde se encuentra ubicada la Ciudad Universitaria. Se ha estudiado que las formaciones de lava que posteriormente formaron el suelo sobre el cual se asienta Ciudad Universitaria se dieron en forma secuencial. Las primeras corrientes de lava fueron relativamente pequeñas para después aumentar su volumen notablemente aprovechando la pendiente natural hacia el norte del aparato volcánico.

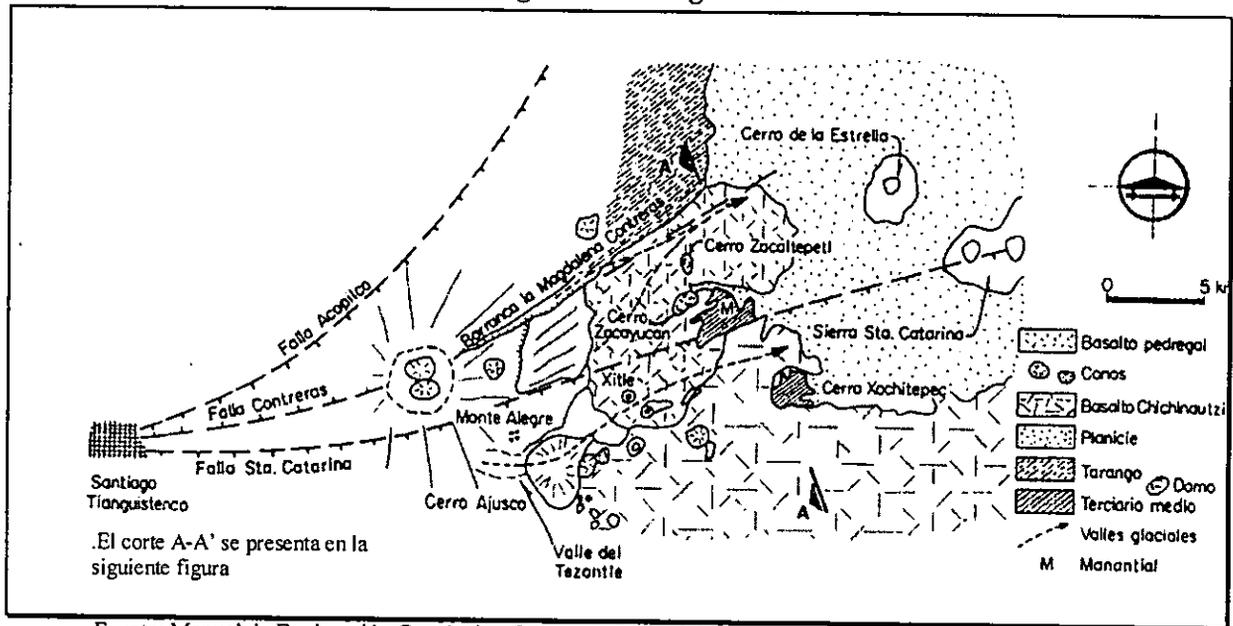
Estas corrientes de lava formaron varios accidentes topográficos que valen la pena destacar. Las formaciones de barrancas y de cavernas son dos de los más relevantes y se cuenta con la presencia de ambos en la superficie comprendida por Ciudad Universitaria. Cabe mencionar que las cavernas han ocasionado dificultades en la cimentación de

¹ Manual de Exploración Geotécnica, Secretaría General de Obras del Departamento del Distrito Federal, pp. 11.

estructuras sobre este estrato rocoso como es el caso de algunos edificios en Ciudad Universitaria.

Dentro de las características geológicas y geotécnicas de Ciudad Universitaria, podemos indicar que se encuentra asentada en la zona de Las Lomas, formada por las serranías que limitan a la cuenca al poniente y al norte, además de los derrames del Xitle al SSW. En el Pedregal del Xitle, los balastos sobreyacen sobre los depósitos más antiguos como lo son los fluvioglaciales y las tobas.

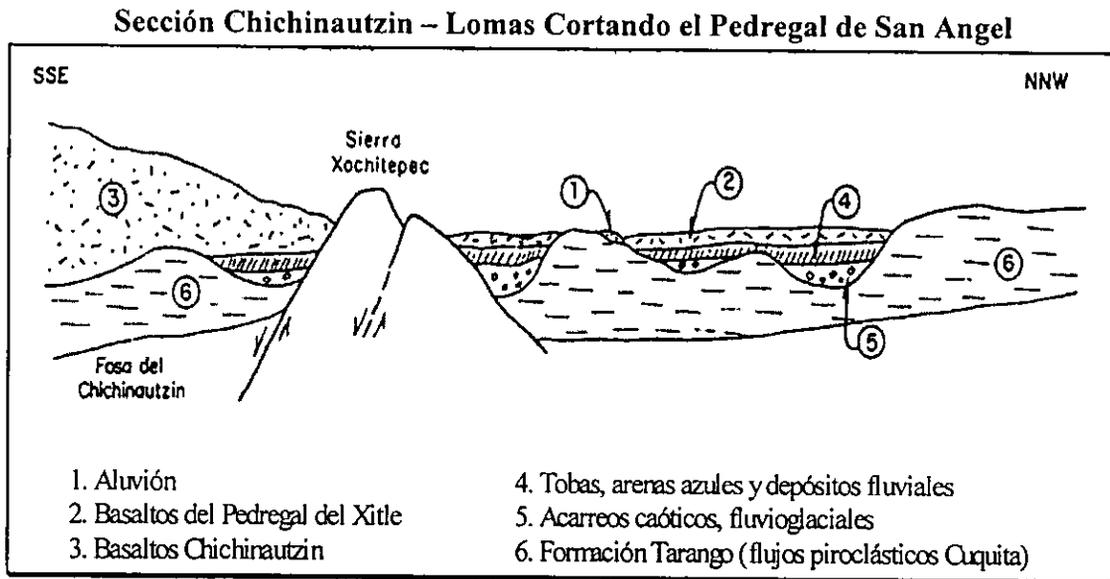
Geología del Pedregal Xitle



Fuente: Manual de Exploración Geotécnica, Secretaría General de Obras del Departamento del Distrito Federal.

Del cerro del Xitle descendió hace 2000 años una extensa corriente de lava basáltica; sus numerosos flujos cubrieron las lomas al pie del Ajusco y avanzaron hasta la planicie lacustre entre Tlalpan y San Angel. Las lavas descendieron sepultando dos valles antiguos: uno al sur que se dirigía hacia la zona de Tlalpan y otro al norte que se extendía entre el cerro Zacaltepetl y las lomas de Tarango.

Previo a la erupción del Xitle, hace 200,000 años, grandes glaciares fluyeron de la barranca de la Magdalena Contreras hasta las partes bajas del antiguo Valle, acercándose a lo que hoy es San Angel. En esta zona se cree que debajo de las lavas del Pedregal de San Angel existen acumulaciones de morrenas con grandes cantidades de bloques grandes y secuencias fluvio-glaciales derivadas de su erosión. En la siguiente figura se ilustra esquemáticamente la estratigrafía aquí descrita.



Fuente: Manual de Exploración Geotécnica, Secretaría General de Obras del Departamento del Distrito Federal.

Los Basaltos encontrados en Ciudad Universitaria son pedregales generados por el Xitle, formados por corrientes de lava que presentan discontinuidades como fracturas, barrancas y cavernas, eventualmente rellenas de desperdicios. La estabilidad de excavaciones en estos basaltos debe analizarse en función de los planos de fracturamiento y no de la resistencia de la roca basáltica; en el caso de cavernas grandes debe estudiarse la estabilidad de sus techos.

Los accidentes que se observan en las coladas de basalto, son principalmente:

- Fracturas que originan bloques independientes y pueden desarrollar mecanismos de falla.
- Burbujas grandes o pequeñas, siendo las primeras cavidades independientes y las segundas constituyen zonas porosas débiles.
- Vacíos entre corrientes de lava con la particularidad de que pueden ocupar grandes extensiones pero apenas unos cuantos centímetros de espacio vertical.

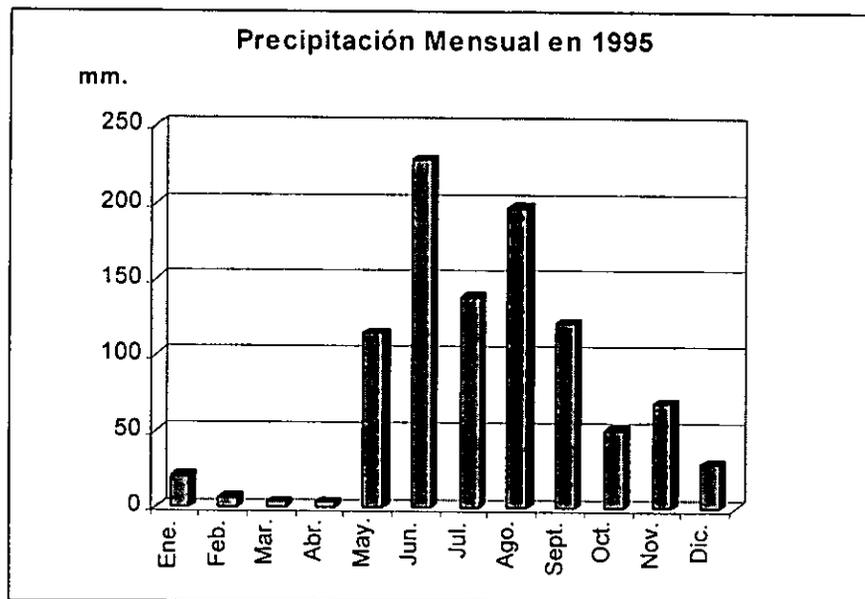
Se han encontrado adicionalmente, cavidades en forma de túneles que se prolongan por varios cientos de metros, alojadas en cauces anteriores a una corriente. Cuando ésta ocurre la roca fundida fluye por el cauce y al enfriarse su periferia, mientras su parte central es aún fluida, escurre a mayor velocidad, generándose una cavidad de este tipo.

Existe un aspecto importante que nos ilustra el hecho de que no se haya afectado lo más mínimo la superficie de lava en esta zona de Lomas. La erosión no ha impreso huellas profundas en la superficie de la lava dado que el tiempo de congelación de las lavas fue relativamente corto. El único agente que ha sido capaz de erosionarla ha sido

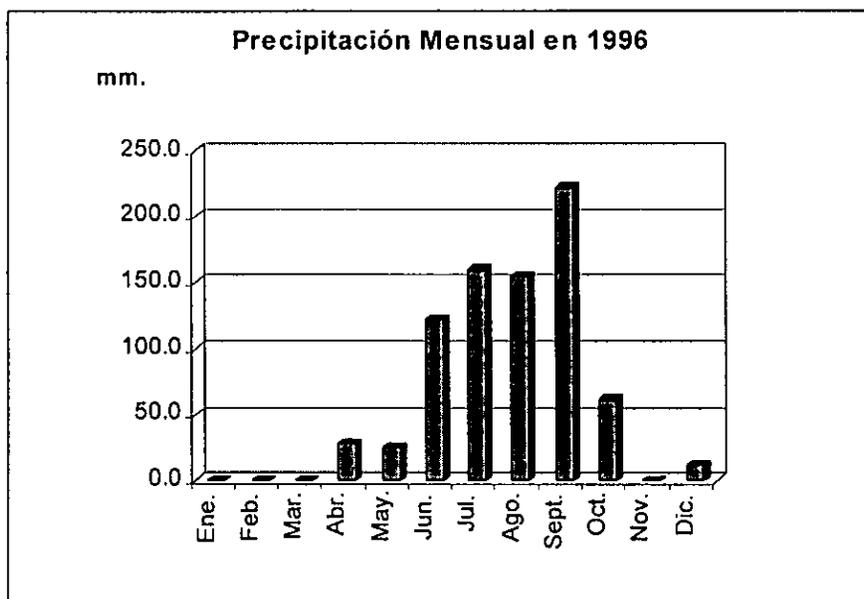
uno biológico que en este caso es el hombre, el cual le ha producido una corrosión bastante importante, dado que la roca volcánica esta en contacto con las zonas donde el hombre desempeña sus actividades cotidianas.

Otro aspecto relevante es la precipitación que se presenta en Ciudad Universitaria. Es necesario estudiar este fenómeno para realizar diversas obras de Ingeniería Civil como el sistema de alcantarillado pluvial y vialidades, donde el bombeo de éstas considera la precipitación para su diseño adecuado. En este caso, el drenaje pluvial se limita en general a canaletas laterales dirigidas hacia los camellones centrales donde se favorece la infiltración debido a las características geológicas de la zona de estudio.

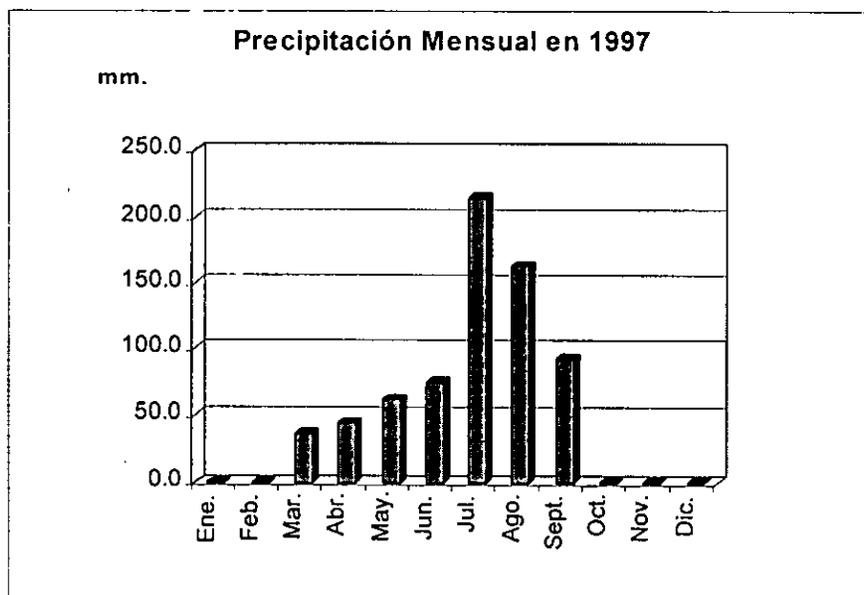
A continuación se presentan datos estadísticos de precipitación de los últimos tres años donde se puede observar la precipitación mensual acumulada.



Fuente: Estación Climatológica, Colegio de Geografía, UNAM.



Fuente: Estación Climatológica, Colegio de Geografía, UNAM.



Fuente: Estación Climatológica, Colegio de Geografía, UNAM.

Se puede observar que los meses críticos son junio, julio, agosto y septiembre. Es en esta época donde los problemas relacionados con la precipitación tienen una mayor importancia.

La capacidad de infiltración de un suelo es también un factor importante que se debe considerar. Como se estudió con anterioridad, la roca ígnea que predomina en la Ciudad Universitaria presenta características muy favorables en lo que concierne a este aspecto, debido a la gran cantidad de grietas y fisuras propias de esta roca. Estas particularidades impiden los encharcamientos, las inundaciones y otros problemas que afectan a las vialidades, favoreciendo por otro lado, la recarga de los mantos freáticos.

CAPÍTULO III

SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE TRANSPORTE INTERNO

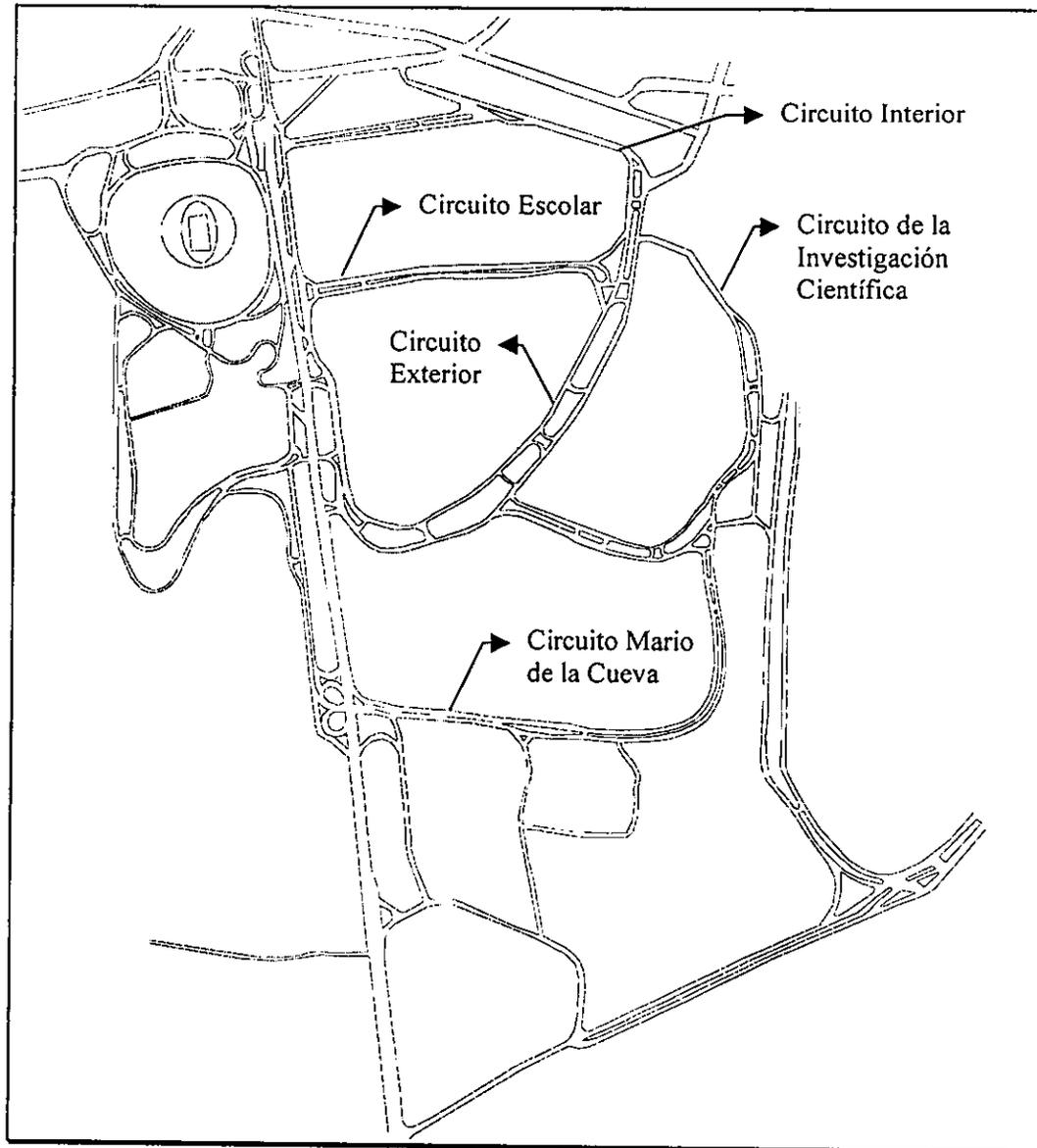
III.1. Red Vial de Ciudad Universitaria

La red vial de Ciudad Universitaria esta conformada por circuitos colindantes unos con otros. Se complementa principalmente en su exterior con la Avenida de los Insurgentes que proporciona una manera rápida de cruzar de Norte a Sur la totalidad de C.U, por el eje 10 Sur Copilco, por avenida Dalias y por Avenida del Imán.

A principios de los años cincuenta se proyectó la red vial como continua, de dos sentidos de circulación y sin intersecciones. Se trazó con la intención de favorecer la circulación peatonal. El crecimiento de Ciudad Universitaria trajo como consecuencia la construcción de nuevos circuitos para satisfacer la creciente demanda de usuarios. La adición de los circuitos se realizó en años posteriores, una vez más, empleando los mismos criterios de proyecto. Los entronques de estos nuevos circuitos con los ya existentes se resolvieron mediante glorietas alargadas que permiten una circulación fluida e ininterrumpida.

En la actualidad, la red vial esta conformada por cinco circuitos: el Circuito Interior, el Circuito Escolar, el Circuito Exterior, el Circuito de la Investigación Científica y el Circuito Mario de la Cueva, como se muestra en la siguiente figura.

Ubicación de Circuitos. Vialidad Ciudad Universitaria.



La vialidad tiene una sección transversal de aproximadamente 10 metros con excepción de la vialidad frente a los edificios de humanidades, la cual tiene únicamente 9 metros de ancho. Cuenta en su totalidad con tres carriles de circulación.

III.2. Pavimentación de la Vialidad Ciudad Universitaria

En Ciudad Universitaria podemos encontrar que la vialidad está pavimentada de dos distintas maneras. Los circuitos Interior, Escolar y Exterior están contruidos con pavimento rígido de concreto hidráulico. En los demás circuitos encontramos pavimentos asfálticos flexibles.

Las funciones primarias de un pavimento son las de proteger a la base de los efectos dañinos del tránsito vehicular y la de proveer una superficie robusta con características adecuadas para el paso del mismo.

La superficie de rodamiento debe tener capacidad para resistir el desgaste y los efectos abrasivos de los vehículos en movimiento y poseer suficiente estabilidad para evitar daños por el impulso y las rodadas bajo la carga de tránsito.

La selección del tipo de pavimento depende principalmente de los siguientes factores:

1. Estimación de los costos de construcción.
2. Experiencia de trabajo de los encargados de la construcción del pavimento.
3. Disponibilidad de constructores que realicen la construcción del pavimento seleccionado.
4. Costos anuales anticipados de mantenimiento.
5. Experiencia del encargado del mantenimiento en cada tipo de pavimento.

III.2.1. Pavimentos Rígidos

Los pavimentos rígidos son aquellos que llevan a cabo estas funciones por medio de losas de concreto, al menos un carril de circulación y tienen la característica general de extenderse sobre terrenos poco abruptos. Cuando se diseñan y construyen las vialidades de manera adecuada, con pavimentos rígidos de concreto hidráulico por ejemplo, tienen capacidad de soportar cantidades casi ilimitadas de flujo vehicular.

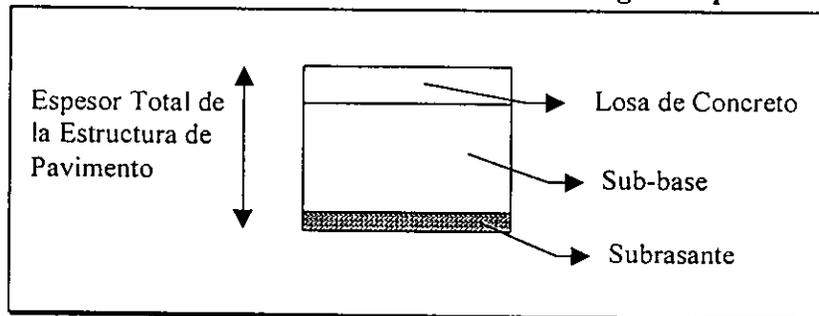
Estos pavimentos se caracterizan por poseer superficies libres de polvo y resistentes al patinamiento, tienen un alto grado de visibilidad tanto de día como de noche y cuentan con costos de mantenimiento bajos.

Los parámetros principales de diseño de pavimentos de concreto hidráulico son: el proporcionamiento de las mezclas de concreto, las dimensiones de cada losa, la construcción de las juntas entre losas y el soporte que da la sub-base.

Existen cuatro objetivos principales que se deben satisfacer al construir un pavimento de concreto hidráulico. Estos son:

- El posicionamiento de los refuerzos.
- La correcta construcción de las juntas.
- El correcto dimensionamiento de las losas.
- Mantenimiento.

Sección Transversal de un Pavimento Rígido Típico



Fotografía del Pavimento Rígido de Ciudad Universitaria

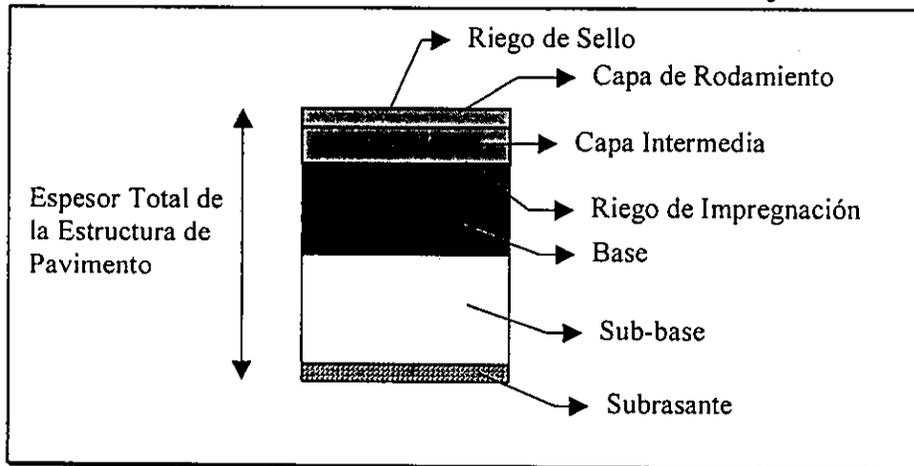


III.2.2. Pavimentos Flexibles.

Un pavimento flexible mantiene un contacto directo con las cargas y las distribuye a la subrasante; su estabilidad depende del entrelazamiento de los agregados, de la fricción de las partículas y de la cohesión. Cabe señalar que algunos pavimentos flexibles

pueden comportarse como pavimentos rígidos. Un ejemplo son los pavimentos flexibles con superficies de asfalto muy gruesas o donde la base esta compuesta de agregados tratados con asfalto, cemento o cenizas ligeras de óxido de calcio. Al igual que los pavimentos rígidos, los pavimentos flexibles pueden soportar tráfico pesado aunque tienen una menor resistencia a las deformaciones.

Sección Transversal de un Pavimento Flexible Típico



Consideramos que una de las razones por la cual se construyeron los primeros circuitos en Ciudad Universitaria con pavimento rígido de concreto hidráulico fue que en un principio se contaba con el capital suficiente para hacer una fuerte inversión, lo cual no sucedió al proyectarse los circuitos posteriores y llevarse a cabo su construcción. Para éstos últimos se utilizó el asfalto proveniente de la Planta de Asfalto del Departamento del Distrito Federal, dependiente de la Secretaría de Obras y Servicios, ubicada en Av del Imán No. 230. Creemos que la cercanía de esta planta a la Ciudad Universitaria así como los costos menores que representa la construcción de un pavimento flexible en

comparación con uno rígido, fueron dos de los factores que propiciaron que el resto de los circuitos hasta ahora construidos sean vialidades con pavimento flexible. “De acuerdo con los datos proporcionados por el Instituto Mexicano del Transporte, si una carretera de asfalto, con un aforo de 3000 vehículos diarios y una tasa de crecimiento promedio, cuesta 1, en 30 años el rubro de conservación costará 10, y al incluir modernizaciones ampliaciones y la operación 200, lo cual se traduce en altos costos de conservación y operación. Por su parte, las vías de concreto hidráulico son sensiblemente más caras que las primeras en lo concerniente a la inversión inicial. No obstante, hasta la fecha su desempeño ha sido satisfactorio y el costo de mantenimiento a lo largo de su vida útil resulta inferior al de una de concreto asfáltico. Adicionalmente, los pavimentos rígidos ofrecen un ahorro del 20% en combustible...”¹

III.3. Características del Sistema de Transporte Colectivo de Ciudad Universitaria (STCCU)

A partir de 1984 las autoridades universitarias decidieron instaurar un servicio de transporte gratuito para la población universitaria debido a las grandes distancias existentes entre los puntos de acceso y la mayoría de los destinos.

Dicho servicio tiene como base la Estación Terminal ubicada a un costado de la Estación de Metro Universidad. Desde este punto se generan varias rutas que conducen hacia casi todos los destinos dentro de Ciudad Universitaria. Esta terminal tiene tres

¹ GONZALEZ, L. Teresa, “Camino al Nuevo Milenio”, Revista Obras, octubre de 1997.

paraderos cortos, por lo que a las unidades se les dificulta la movilidad para el ascenso y descenso de los pasajeros.

Es necesario mencionar que la distancia entre este punto de gran afluencia y la facultad más cercana, la de Medicina Veterinaria, es de 700 metros. La facultad más alejada, la de Psicología, se encuentra en línea recta a 1900 metros. En realidad estas distancias se incrementan debido a que los recorridos no se efectúan en línea recta. Este factor hace aún más evidente la necesidad de un sistema de transporte interno.

III.3.1. Organización

La Dirección General de Protección a la Comunidad y su Departamento de Transporte es el organismo encargado de la operación, mantenimiento y administración del servicio de transporte colectivo de Ciudad Universitaria. Cuenta con una plantilla de 43 operadores que laboran de seis a ocho horas diarias coordinados por dos supervisores cada turno que reportan todas las actividades realizadas a la Dirección.

III.3.2. Operación

El parque vehicular consta de 20 minibuses y 7 microbuses. Los primeros tienen chasis Mercedes-Benz modelo MB 0-1217 acondicionado para transportar 16 pasajeros sentados y un máximo de 54 pasajeros de pie. Estos están equipados con carrocería O'Farril y motor Diesel Mercedes-Benz. Consta de tres puertas para ascenso y descenso, una al frente, una en la parte central y una en la parte posterior, diseñadas especialmente

para las necesidades de la Universidad. Se estima que tienen una vida útil cercana a los 10 años.

En la figura siguiente se muestran las características principales del chasis.

Características	
Peso bruto vehicular	12 (ton)
Motor	6 cilindros 170 HP @ 2300 RPM
Sistema de enfriamiento	Post-enfriado aire-aire
Transmisión	Tremec FSM 5005 G de 5 vel.
Suspensión delantera	Muelles semielípticas 8 hojas
Suspensión trasera	Muelles semielípticas 14 hojas
Frenos	De aire tipo Split doble independiente
Distancia entre ejes	5.25 (m)

Como se mencionó anteriormente, se tienen en servicio, además de los minibuses, 7 microbuses. Los microbuses son muy semejantes a los que conforman el sistema de transporte colectivo del Distrito Federal. Su capacidad es de 23 a 25 pasajeros sentados y formaban parte de la flotilla de 27 microbuses que conformaban el sistema de transporte colectivo gratuito que se instauró a partir de 1984. Con estudios realizados por la experiencia en campo se determinó que la vida útil de estos vehículos es de 5 años aproximadamente. Estos microbuses fueron una alternativa que no fue compatible con las necesidades de la Universidad ya que durante su funcionamiento mostraron la incapacidad de satisfacer la demanda de transporte lo que suscitó la búsqueda de una nueva alternativa conceptualizada con minibuses.

El STCCU presta sus servicios de lunes a viernes de 6:30 a 22:30 hrs. y los sábados de 6:30 a 18:00 hrs.

El mantenimiento que se les brinda a las unidades dentro del campus está a cargo del Taller Mecánico de la Universidad Nacional Autónoma de México. En este taller laboran 20 trabajadores que además se encargan de dar servicio a las unidades de Auxilio UNAM, bomberos y correspondencia. La administración de dicho servicio es llevada a cabo por el personal de la Dirección. Sus actividades consisten en realizar reparaciones mecánicas menores y servicios. Este taller se apoya en talleres ajenos a la Universidad para hacer reparaciones mayores y trabajos de hojalatería y pintura.

Las unidades se almacenan en un encierro antiguamente utilizado por la desaparecida Ruta-100 ubicado en Avenida del Imán. En este sitio, las unidades pernoctan y son guardadas para su propia seguridad.

Fotografía del Minibús Mercedes-Benz



III.3.3. Rutas y Paraderos del STCCU

Se cuenta actualmente con cinco rutas de servicio que parten de la Estación Terminal del Metro Universidad. Estas no cuentan con un itinerario fijo, sino que se programan de acuerdo a la demanda de usuarios, el criterio del despachador y las unidades disponibles.

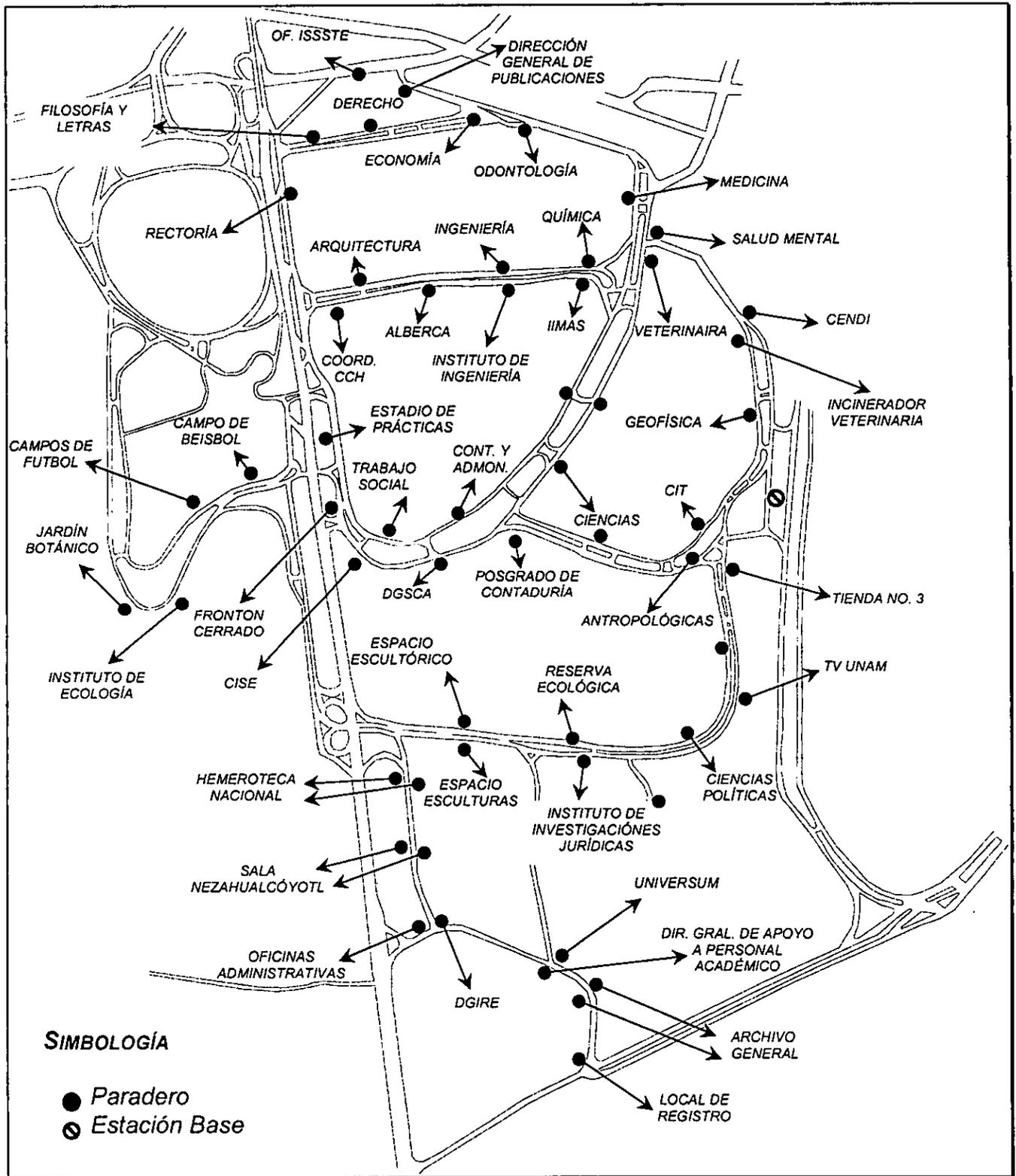
Las unidades se detienen en los distintos paraderos a lo largo de los circuitos. En algunos de estos paraderos hay bahías de ascenso y descenso, estando éstas en un espacio fuera de la vialidad cuyo acceso se permite exclusivamente a los minibuses. Cuentan comúnmente con una estructura de protección y asientos. El resto de los paraderos son áreas reservadas y señalizadas en el carril derecho de la vialidad donde no se cuentan con

estructuras de protección ni asientos para los usuarios. El total de paraderos es de 57 sin incluir la Estación Base a un lado de la terminal del Metro Universidad. La distribución de los paraderos y los recorridos de las cinco rutas están esbozados en las siguientes figuras y tablas. Cabe aclarar que en este trabajo se considera que la extensión de una ruta constituye una ruta independiente.

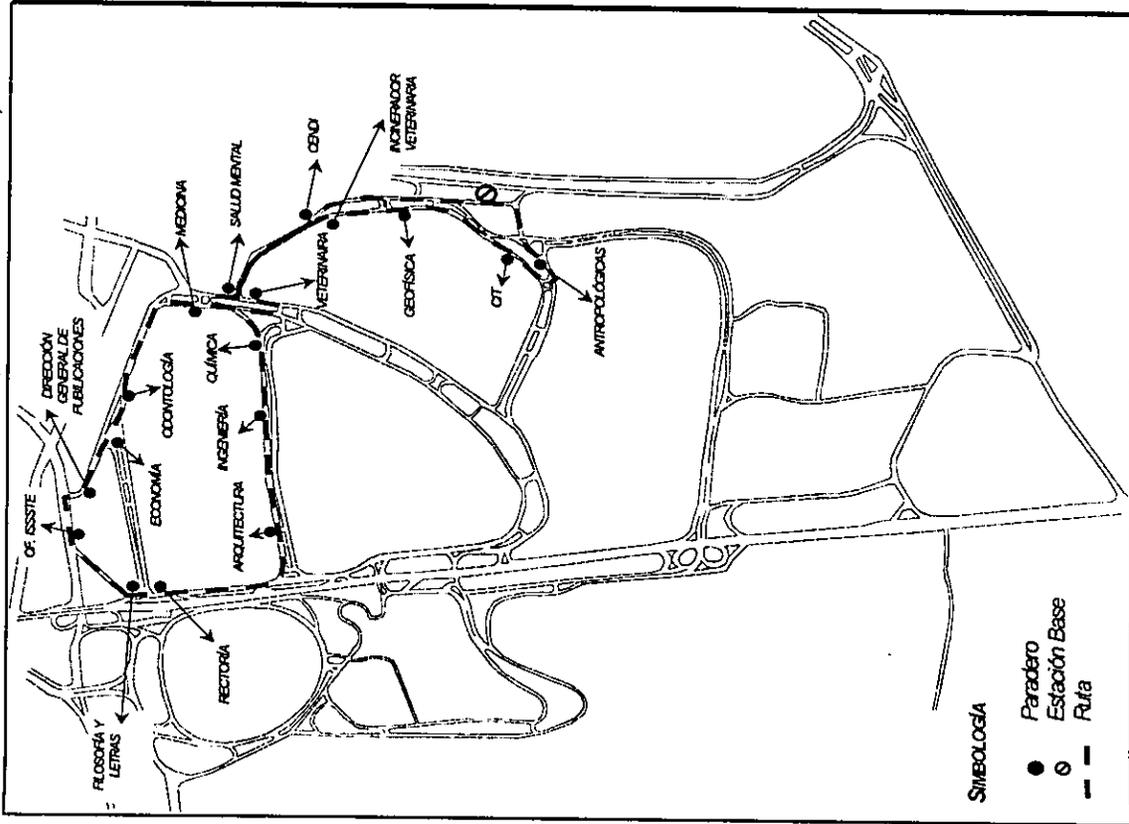
Fotografía del Paradero Facultad de Ingeniería



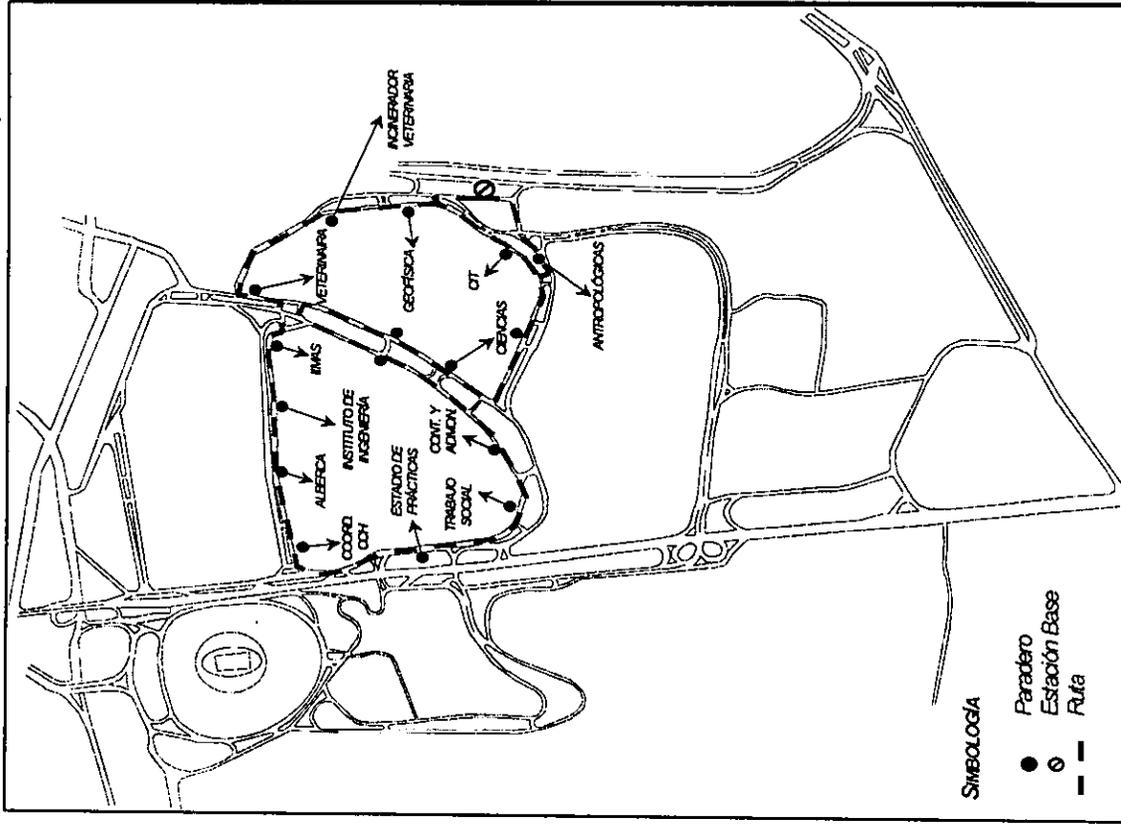
Localización de Paraderos del Sistema de Transporte Colectivo de CU



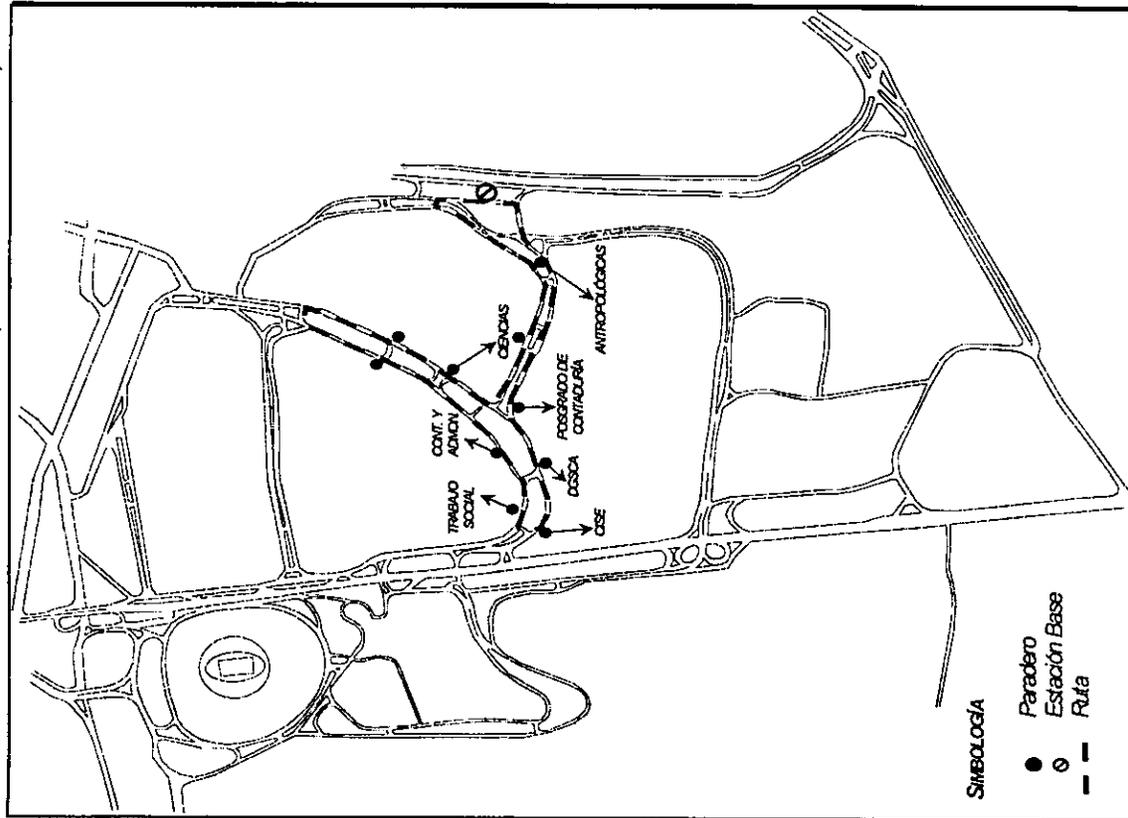
Ruta 1 Circuito Interior (Recorrido: 6.3 Km.)



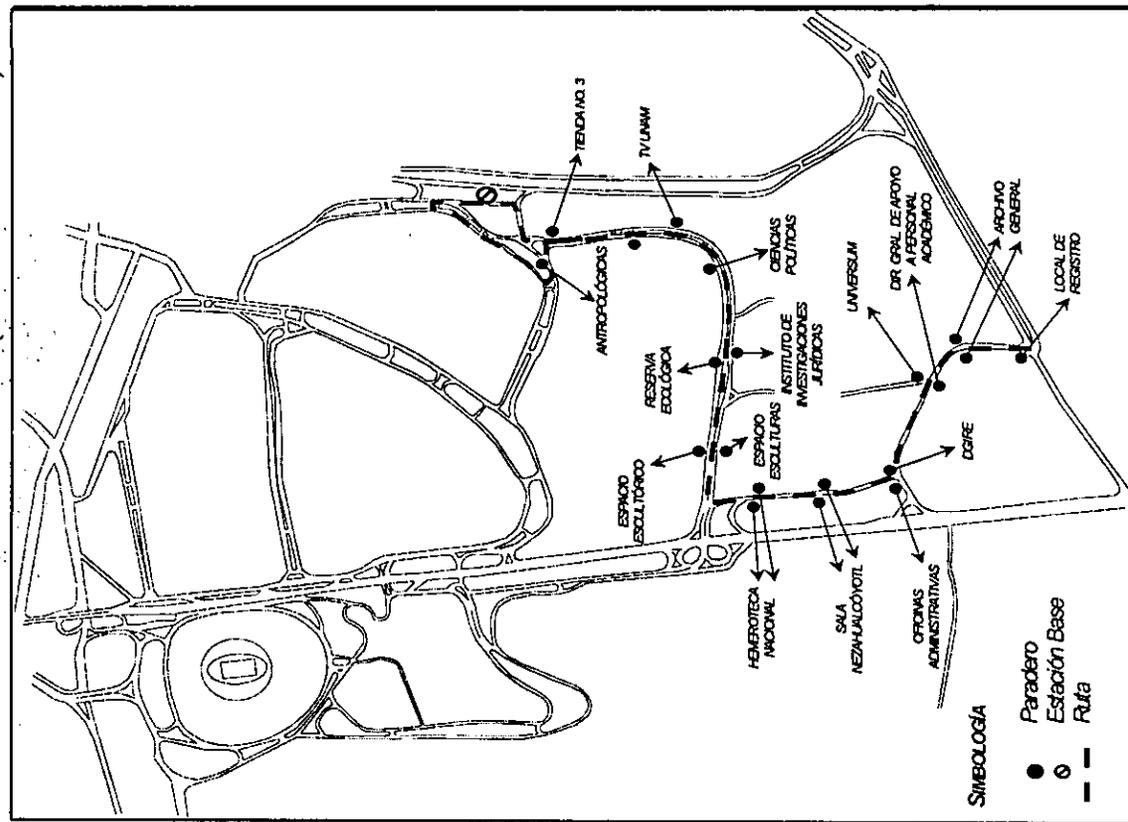
Ruta 2 Circuito Exterior (Recorrido: 7 Km.)



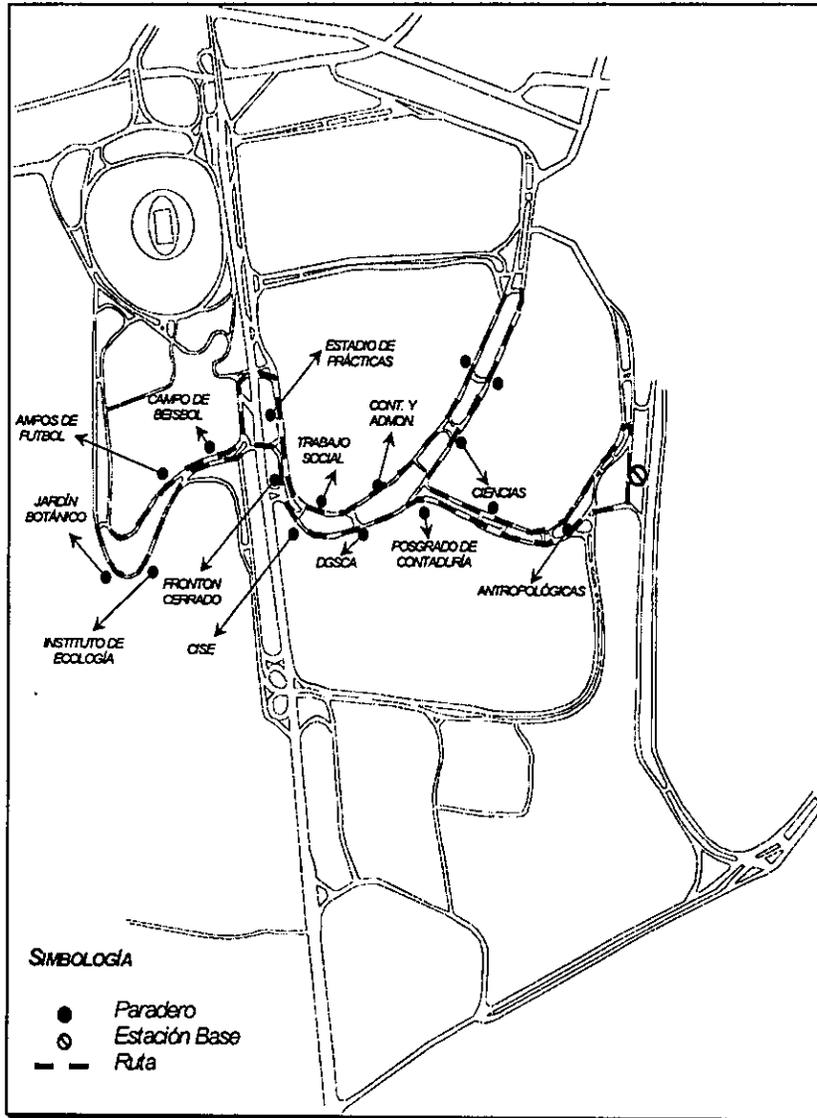
Ruta 2 Corta Circuito Exterior (Recorrido: 4.6 Km.)



Ruta 3 Circuito Zona Cultural (Recorrido: 7.2 Km.)



Ruta 4 Jardín Botánico (Recorrido: 7.7 Km.)



Características de las Rutas del STCCU

Ruta	Distancia de Recorrido (km.)	Tiempo promedio de recorrido diario (min.)	No. Paradas	Frecuencia (min.)	Unidades empleadas	
					Tipo	No.
Ruta 1	7	24	18	5	Minibús	5
Ruta 2	6	20	14	5	Minibús	4
Ruta 2 Corta	4	12	9	6	Minibús	2
Ruta 3	8	24	19	6	Minibús	4
Ruta 4	9.3	18	14	6	Minibús	3
				Total	Minibús	18

Dado que actualmente sólo se encuentran en servicio 20 minibuses y los tiempos de recorrido reales son mayores, el comportamiento del STCCU no es el anteriormente citado. Fue necesario revisar los valores reales en campo para las horas de mayor conflicto vial. De este estudio de campo se obtuvieron los valores siguientes. La utilización de los microbuses no tiene un comportamiento definido y por esta razón, los microbuses no se consideran en esta tabla como parte base de la infraestructura de transporte. Simplemente se utilizan estas unidades como apoyo a los minibuses en determinadas circunstancias de una demanda elevada no pronosticada sin importar la ruta que los requiera.

Revisión en Campo de la Operación del STCCU

Ruta	Distancia de Recorrido (km.)	Tiempo promedio de recorrido diario (min.)	No. Paradas	Frecuencia	Unidades empleadas	
					Tipo	No.
Ruta 1	7	22.2	18	7 min.	Minibús	5
Ruta 2	6	23.1	14	6 min. 15 seg.	Minibús	4
Ruta 2 Corta	4	13.9	9	7 min. 30 seg.	Minibús	2
Ruta 3	8	27.8	19	8 min. 45 seg.	Minibús	4
Ruta 4	9.3	15.8	14	8 min. 20 seg.	Minibús	3
				Total	Minibús	18

De los datos anteriores concluimos que el tiempo promedio de espera para abordar una unidad en la Estación Terminal del Metro Universidad es de 7 minutos con 33 segundos.

Dos de los veinte minibuses se encuentran normalmente en reparación por lo que no se consideran en disponibilidad de operación.

III.4. Terminales de Conexión con el Sistema de Transporte Público del D.F.

El sistema de transporte interno se encuentra ligado con el resto de la Zona Metropolitana mediante estaciones de transferencia que permiten el acceso a las distintas alternativas de transporte público de la ciudad, como lo son el metro, los autobuses, microbuses, trolebuses, y taxis.

III.4.1. Estaciones del Sistema de Transporte Colectivo Metro

Se cuenta con dos estaciones pertenecientes a la Ruta 3 del Metro con acceso directo a Ciudad Universitaria. La primera de ellas, la Estación Copilco, se encarga de vincular a los usuarios con el oriente y poniente de la Zona Metropolitana por medio de 4 rutas de autobuses y microbuses. La Estación Universidad es la estación terminal de dicha ruta. Es aquí donde se realiza la mayor transferencia de pasajeros ya que alrededor de esta estación existen los paraderos de 13 rutas de autobuses y microbuses.

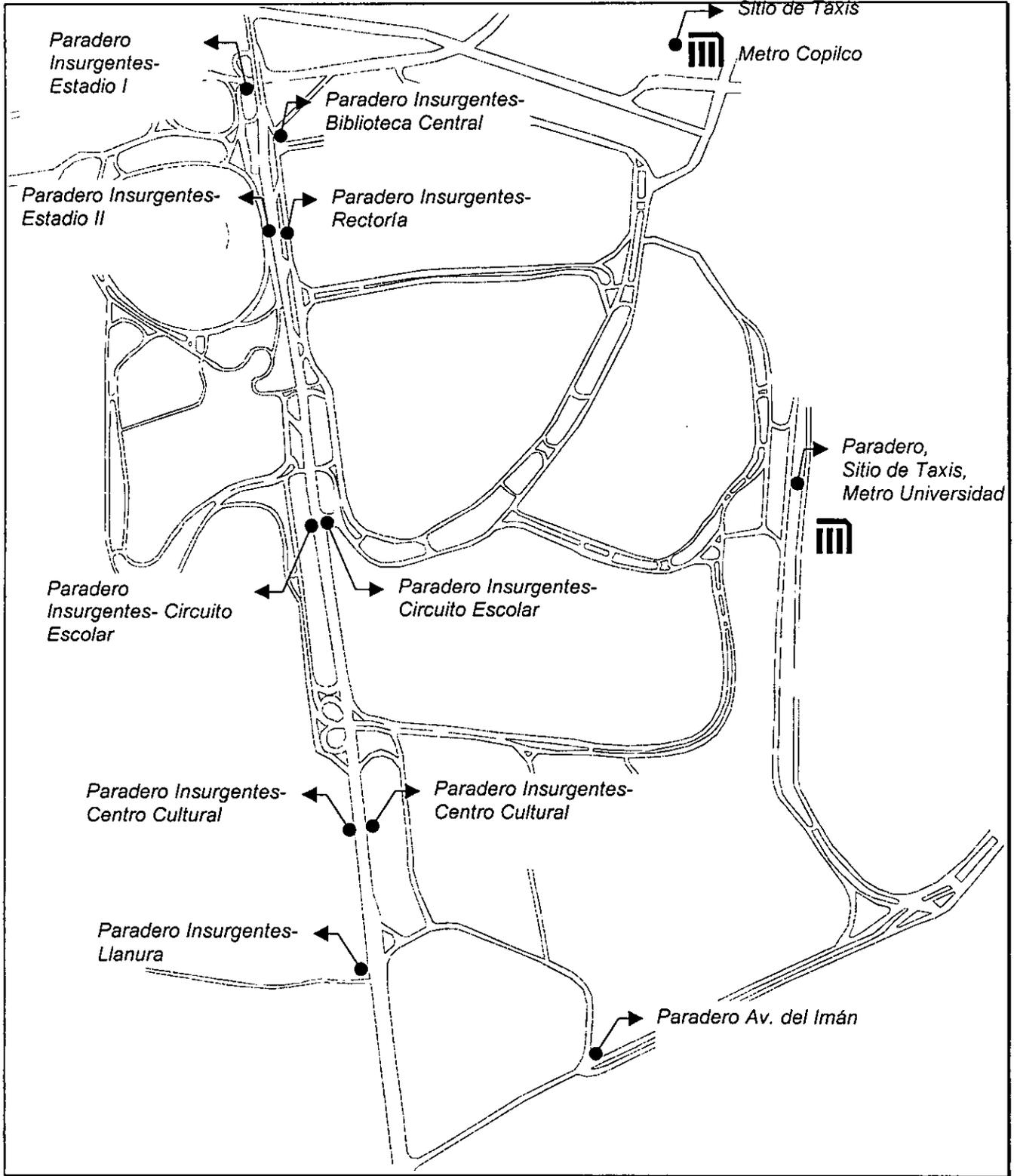
III.4.2. Paraderos de Autobuses, Microbuses y Trolebuses

Además del paradero Metro Universidad existen el paradero Insurgentes-Estadio I y II, el paradero Av. del Imán y los paraderos de la Av. de los Insurgentes. Estos últimos comunican a los usuarios hacia el norte y sur de la Zona Metropolitana. Cabe mencionar que la mayor concentración de microbuses de todos los paraderos se encuentra en el paradero Insurgentes-Estadio I, ya que ahí se localiza una estación base.

III.4.3. Sitios de Taxis

Para complementar a las alternativas de transporte mencionadas se cuenta con sitios de taxis afuera de las estaciones de metro Copilco y Universidad. En estos sitios están a disposición de los usuarios entre 12 y 17 unidades respectivamente.

Ubicación de las Estaciones de Transferencia



III.5. Puntos de Conflicto en la Vialidad

Encontramos en la vialidad de Ciudad Universitaria varios puntos de conflicto en el tránsito de vehículos. Los dos problemas principales que se observaron fueron la existencia de intersecciones peligrosas y conflictivas, así como vialidades con capacidad insuficiente ocasionada por diversos factores.

El primer punto de conflicto está situado entre las Facultades de Economía y Derecho (1). El flujo continuo de vehículos que entran y salen de los estacionamientos propicia velocidades de circulación bajas aunado a que sólo se cuenta con un carril de circulación debido a que los carriles laterales de la vialidad son utilizados como estacionamiento.

Un segundo punto se encuentra a poca distancia del anterior, justo afuera del estacionamiento de la Facultad de Odontología (2). Ahí se presenta un problema particular de insuficiencia en la capacidad de la vialidad ya que se tiene un entronque en forma de “Y” y un paradero del STCCU. Aquí también encontramos el mismo problema de utilización de la vialidad como estacionamiento. Finalmente, el cruce de peatones hacia el Centro Universitario Cultural (CUC), hacia la estación de Metro Copilco y hacia gran cantidad de comercios ubicados en el Paseo de las Facultades, son factores adicionales que contribuyen a los problemas viales.

El entronque de la calle Cerro del Agua con el Circuito Escolar es el tercer sitio de conflicto (3). En este caso el problema radica en que muchos conductores desean accesar el Circuito Escolar en dirección poniente y el Circuito Exterior en dirección sudoeste. Para ello es necesario utilizar el retorno ubicado frente a la Planta de Tratamiento de

Aguas Residuales de Ciudad Universitaria donde se genera una zona de incorporación peligrosa. Este problema se ha mitigado en parte ya que a este retorno se le ha anexado un carril de incorporación aunque todavía no se ha aprovechado en su totalidad.

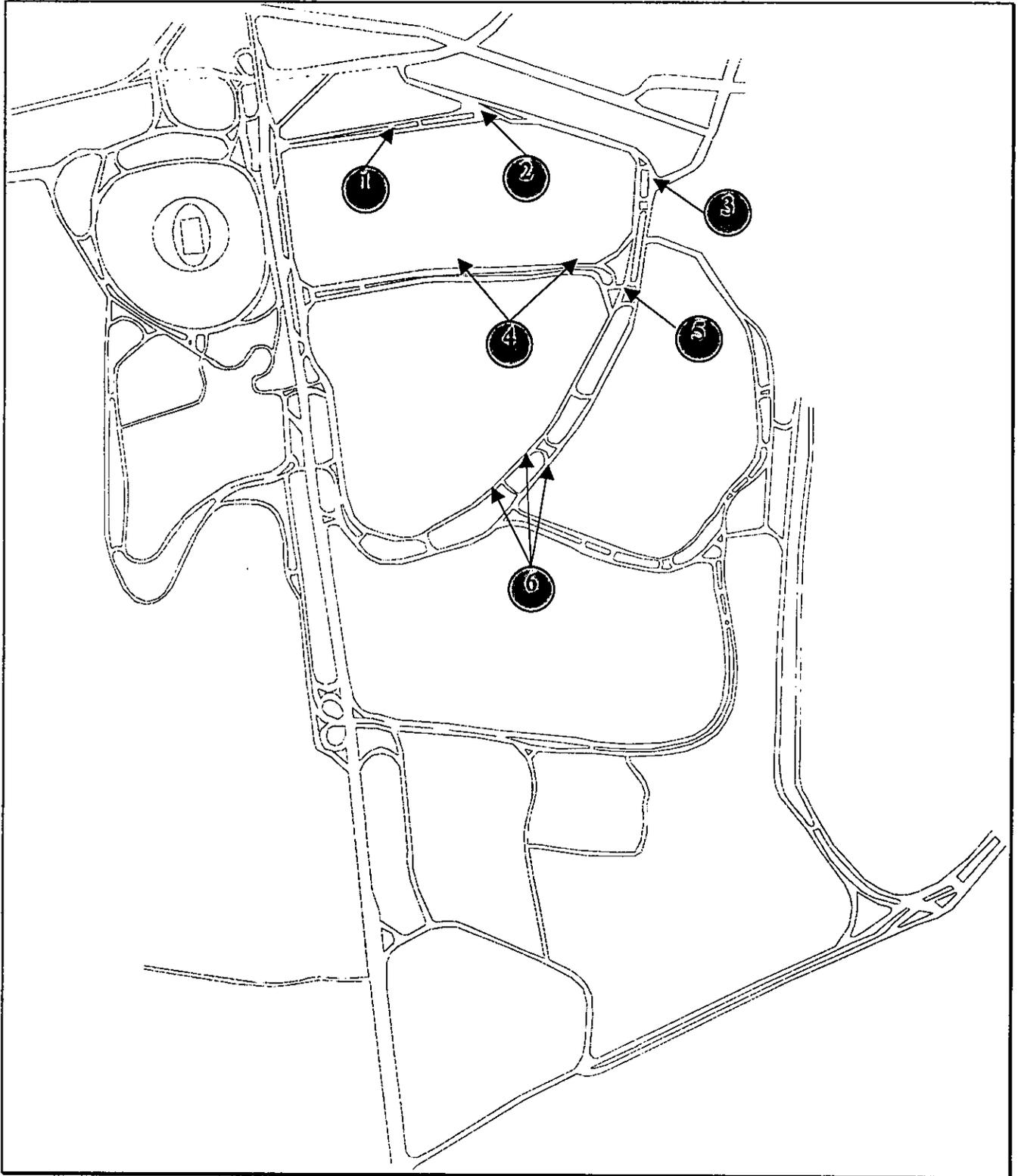
La cuarta zona de conflicto la conforman la entrada a los estacionamientos de las Facultades de Química e Ingeniería (4). La política de operación de estos estacionamientos (cobro anticipado) origina largas líneas de espera provocando asentamientos vehiculares. Al igual que en los dos primeros casos, en esta zona se utilizan los carriles laterales del circuito como estacionamiento.

El quinto sitio de conflicto se encuentra en el cruce del Circuito Escolar con el Circuito Exterior (5). Los vehículos que transitan por el Circuito Exterior en ese tramo lo hacen a altas velocidades mientras que los que lo hacen por el Circuito Escolar carecen de una visibilidad adecuada dado que este punto se encuentra a la salida de una curva.

La siguiente zona problemática (6) está conformada por la entrada a los estacionamientos del Anexo de Ingeniería, de la Facultad de Contaduría y Administración y de la Facultad de Ciencias, que nuevamente presentan problemas de acceso. La insuficiencia de cajones de estacionamiento ocasiona que se utilicen los carriles laterales del Circuito Exterior como estacionamiento, así como el camellón central para el mismo fin. El constante cruce de peatones por el circuito intensifica los problemas de circulación de automóviles ocasionando asentamientos vehiculares.

El resto de los circuitos presentan una circulación aceptable con pocos problemas de tráfico. Podemos entonces concluir que los principales conflictos en la vialidad sólo se presentan en los Circuitos Interior, Escolar y Exterior.

Ubicación de la Zonas de Conflicto en la Vialidad



III.6. Problemas de Transporte en la Universidad

Los principios de motorización bajo los cuales se realizaron los estudios para el proyecto original de la red vial de Ciudad Universitaria eran indudablemente muy inferiores a los actuales. Esto se ha traducido en una insuficiencia notable de estacionamiento que ha repercutido directamente en el desempeño de los circuitos debido a que éstos son utilizados para tal fin. El crecimiento del número de usuarios de la vialidad se debe en gran parte a la utilización de ésta como un vínculo entre las partes de la ciudad que colindan con la Universidad, lo que ha causado graves trastornos en el funcionamiento de los circuitos.

La alternativa de transporte con la que se cuenta actualmente en la Universidad se ha visto afectada debido al gran flujo de vehículos que circulan por la red vial. Esto se ha acentuado debido a que el Sistema de Transporte Colectivo no trabaja como se pensó en un principio (el análisis detallado de su funcionamiento esta expuesto en el Capítulo V de esta tesis). Se ha permitido como respuesta temporal a esta insuficiencia que otro modo no reglamentado de transporte, compuesto por taxis colectivos, satisfaga parte de la demanda. Estos taxis se distinguen por tener una bandera amarilla en algún punto visible para el transeúnte. En estos sitios se presentan comúnmente problemas de tráfico ya que suelen estacionarse en doble fila, disminuyendo el espacio disponible en los circuitos. Los diversos grupos han buscado apropiarse de ciertos espacios donde la demanda de transporte es grande y no se cuenta con la infraestructura de transporte suficiente que permita que este gremio deje de operar en nuestra Universidad.

La insuficiencia de minibuses han provocado que en los paraderos se presenten largos tiempos de espera y que la operación del STCCU no sea como se conceptualizó en un principio. Esto se ha traducido en que los posibles usuarios opten por no utilizar el servicio y realicen sus traslados a pie. Todo esto conlleva a pérdidas de tiempo considerables que no son aprovechadas en actividades productivas. Asimismo es necesario comentar que el servicio carece de itinerarios fijos de viaje por lo que el usuario desconoce los tiempos de espera para acceder al servicio de transporte y no tiene la posibilidad de programar sus actividades en torno a la utilización de este servicio.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS ACTUAL Y A FUTURO DE LA DEMANDA DE TRANSPORTE

IV.1. Distribución Espacial de la Demanda

Para la realización de esta tesis se utilizaron los resultados de los aforos viales y peatonales publicados en el documento “Recomendaciones para mejorar el Sistema de Transporte Colectivo de CU”. Este documento fue realizado en Abril de 1995 por la empresa Ingeniería de Tránsito y Transportes S.A., proporcionado a los autores de esta tesis por la Dirección General de Obras de la UNAM. Se complementó con encuestas, mediciones de campo complementarias e información estadística poblacional realizadas por los autores. Además se tomó en cuenta la opinión de las autoridades responsables del STCCU, dentro de la Dirección General de Protección a la Comunidad.

IV.1.1. Generadores de viajes

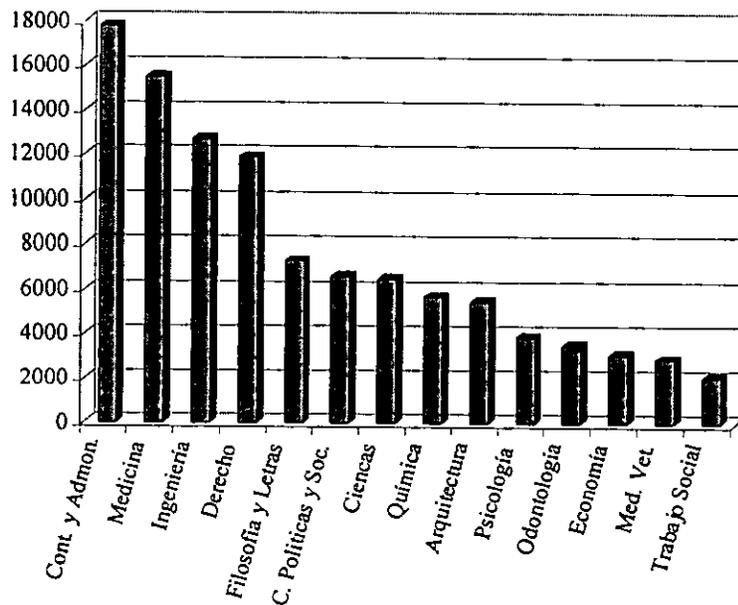
Como se menciona en el Capítulo 1 de esta tesis, la población total en el año de 1995 fue de 128,581 distribuida de la siguiente manera.

Población	Cantidad	Porcentaje
En Facultades	105,742	82
En Institutos de Investigación	3,839	3
Personal Administrativo	19,000	15
Total	128,581	100

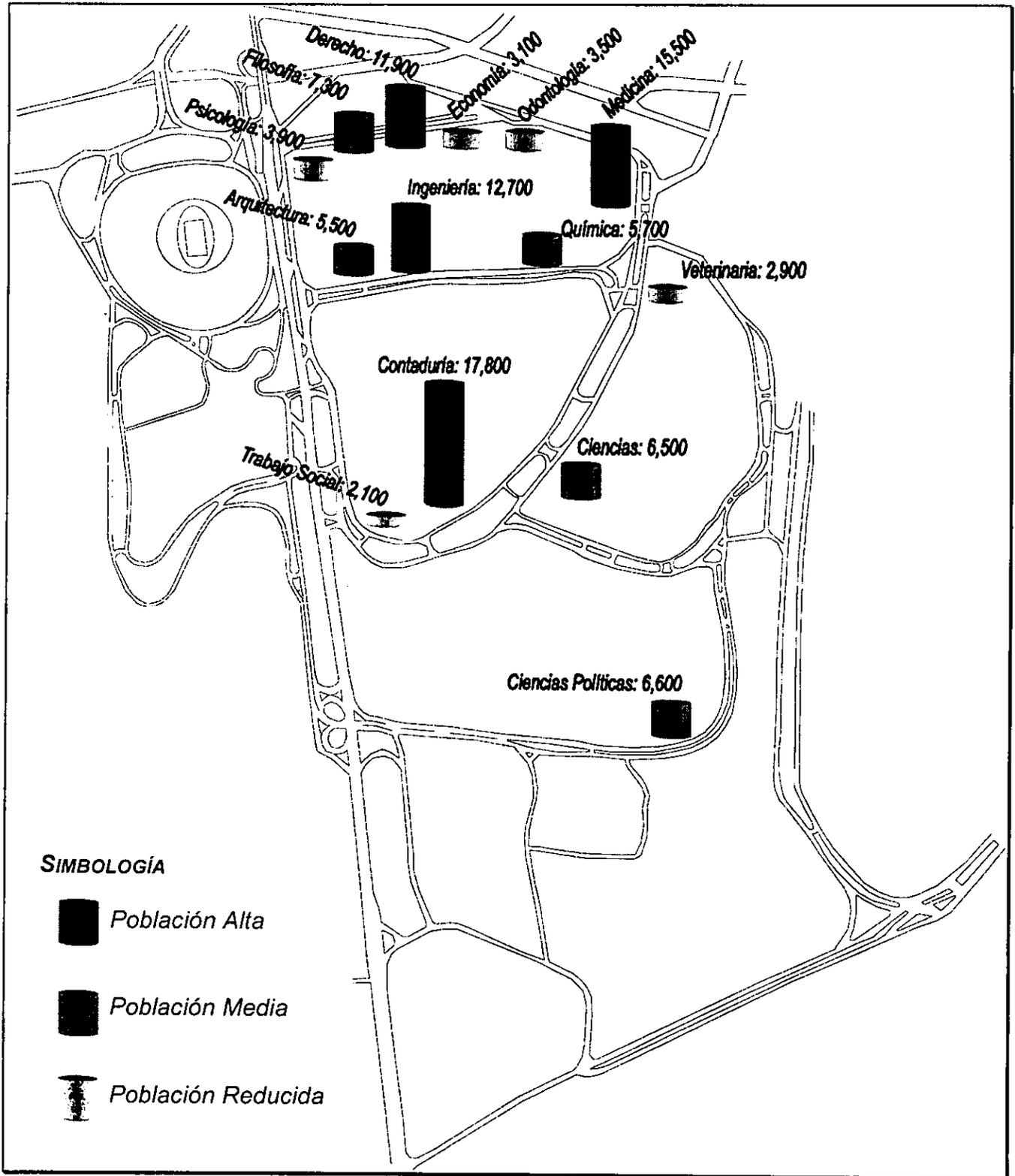
Para el análisis de esta tesis se considera únicamente la participación de las poblaciones en Facultades y Personal Administrativo debido a que representan el mayor porcentaje de posibles usuarios.

La distribución espacial de la población tiene la particularidad de que está concentrada en algunos sectores. Un claro ejemplo de esto es que el 65.8% de la población en facultades, equivalente a 69,651 personas, están concentradas dentro de los Circuitos Interior y Escolar. Podemos mencionar además, que 3 de las 4 facultades más pobladas en la Universidad se encuentran dentro de dichos circuitos; éstas son las de Medicina, Ingeniería y Derecho con poblaciones que oscilan entre las 18,000 y 12,000 personas en cada una de ellas. Las facultades de Filosofía y Letras, Ciencias Políticas y Sociales, Ciencias, Química, Arquitectura son las de población mediana que varía entre 7,500 y 5,500 personas. Las de población reducida son también cinco: Psicología, Odontología, Economía, Medicina Veterinaria y Trabajo Social y su población varía entre 4,000 y 2,000.

Población Por Facultad



Distribución Espacial de la Población en Facultades.



A diferencia de la demanda en Facultades, no existen estudios que registren el volumen, la distribución espacial ni el patrón de comportamiento de la demanda del personal administrativo.

En cuanto al personal administrativo con una población de 19,000 personas, se estima que el 35% (6,650 personas) utiliza para transportarse el automóvil.

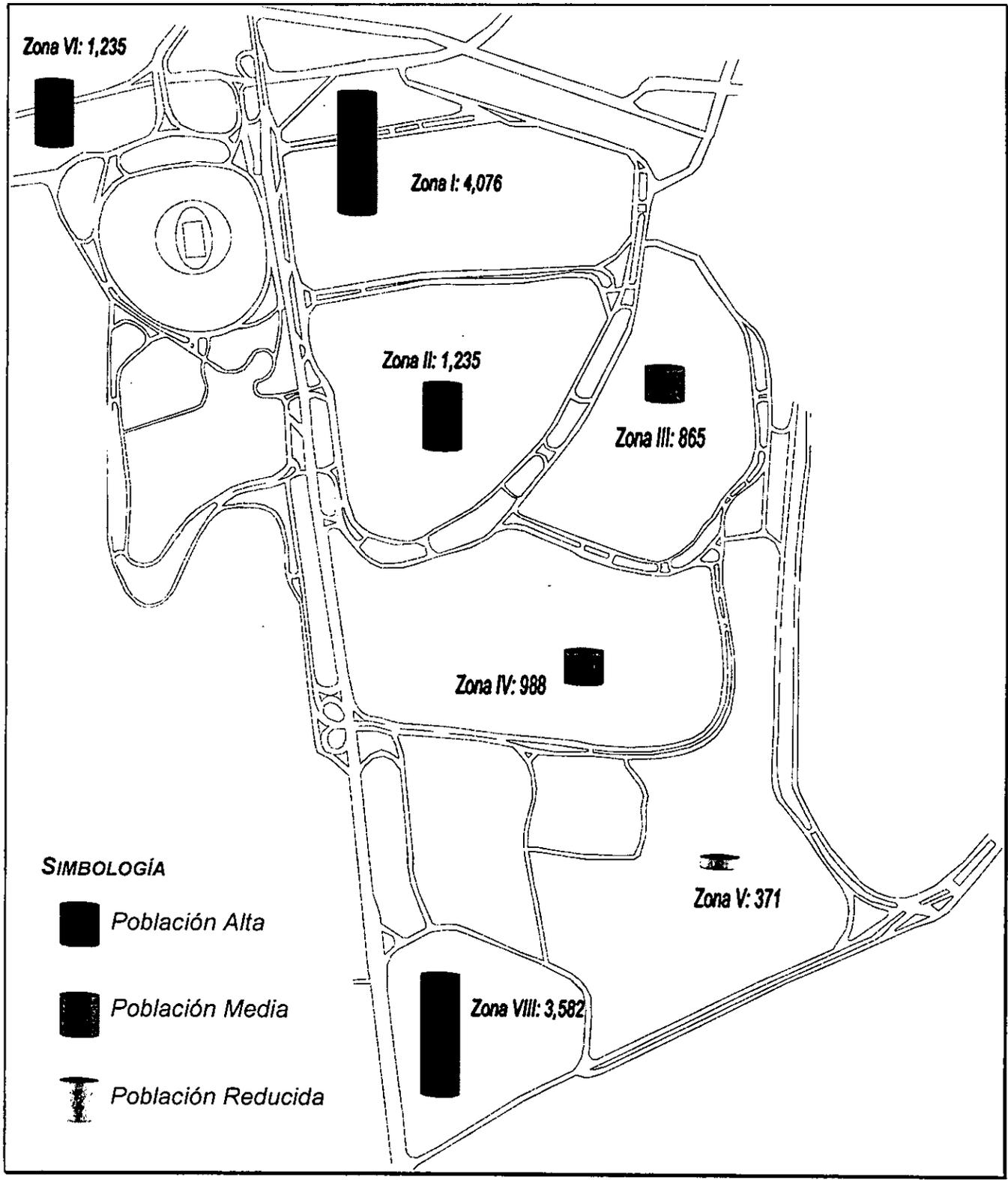
De acuerdo a la superficie construida para los usos administrativos y de servicios, la distribución espacial del personal administrativo en Ciudad Universitaria es la siguiente.

Zona	Población	Aportación Por Zona (%)	Población Real 65% del Total
Zona I	6,270	33	4,075
Zona II	1,900	10	1,235
Zona III	1,330	7	865
Zona IV	1,520	8	988
Zona V	570	3	371
Zona VI	1,900	10	1,235
Zona VII	0	0	0
Zona VIII	5,510	29	3,581
Total	19,000	100	12,350

La zonificación mostrada corresponde a la mostrada en el Capítulo I, página 5.

Podemos inferir que de las siete zonas, únicamente dos, reúnen el 60% del total estimado de personal administrativo. Las zonas I y VIII son entonces las más importantes.

Distribución Espacial del Personal Administrativo por Zona.



IV.2. Acceso y Salida al transporte público del Distrito Federal

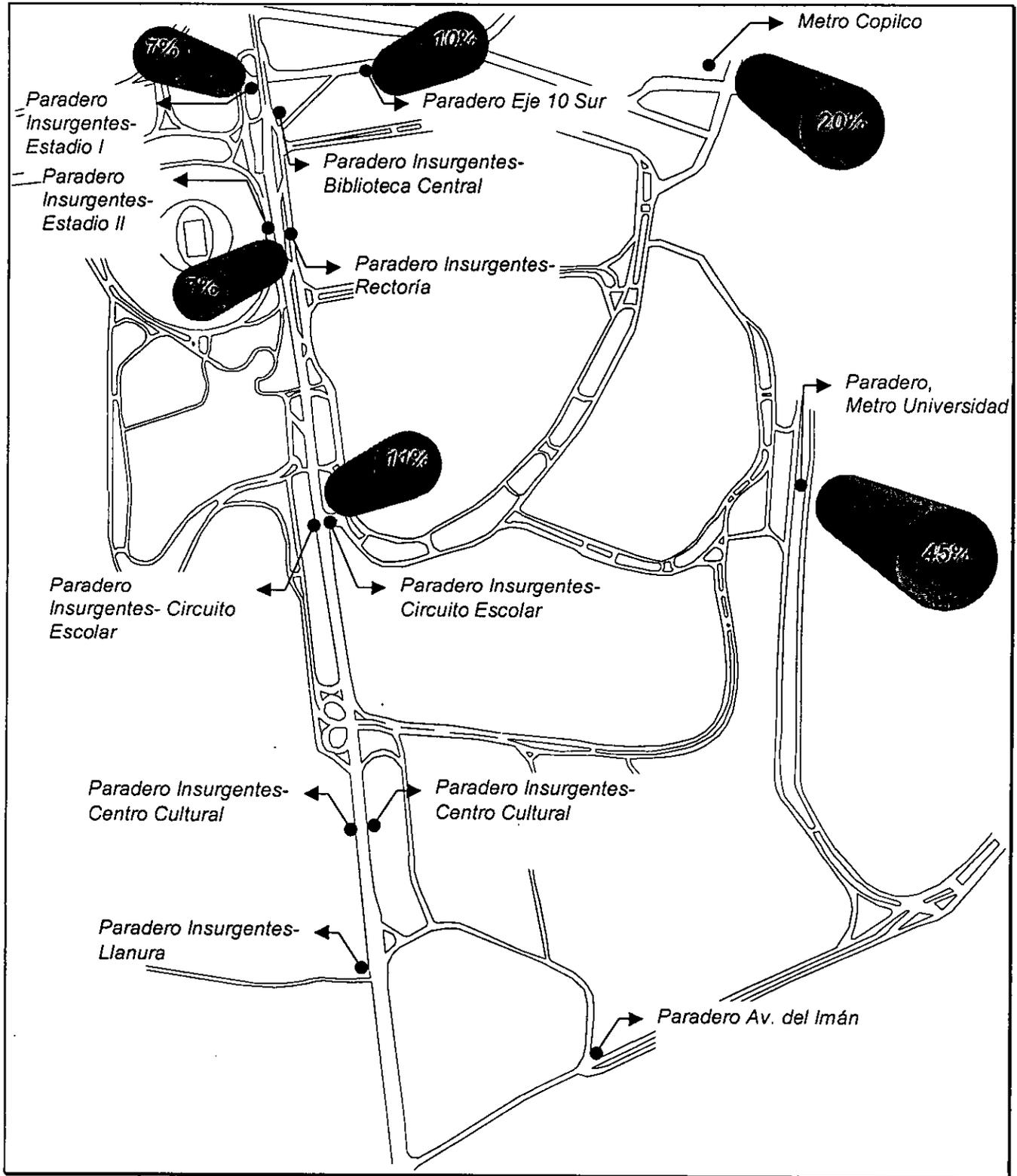
En el Capítulo 3 de esta tesis se estudió la localización de las estaciones de transferencia dentro de Ciudad Universitaria y su interacción con los distintos medios de transporte público del Distrito Federal. En el siguiente cuadro se establecen las relaciones de cada estación con los distintos modos de transporte público de la Zona Metropolitana.

Sitios de Acceso y Salida de la Población al Transporte Público del D.F.

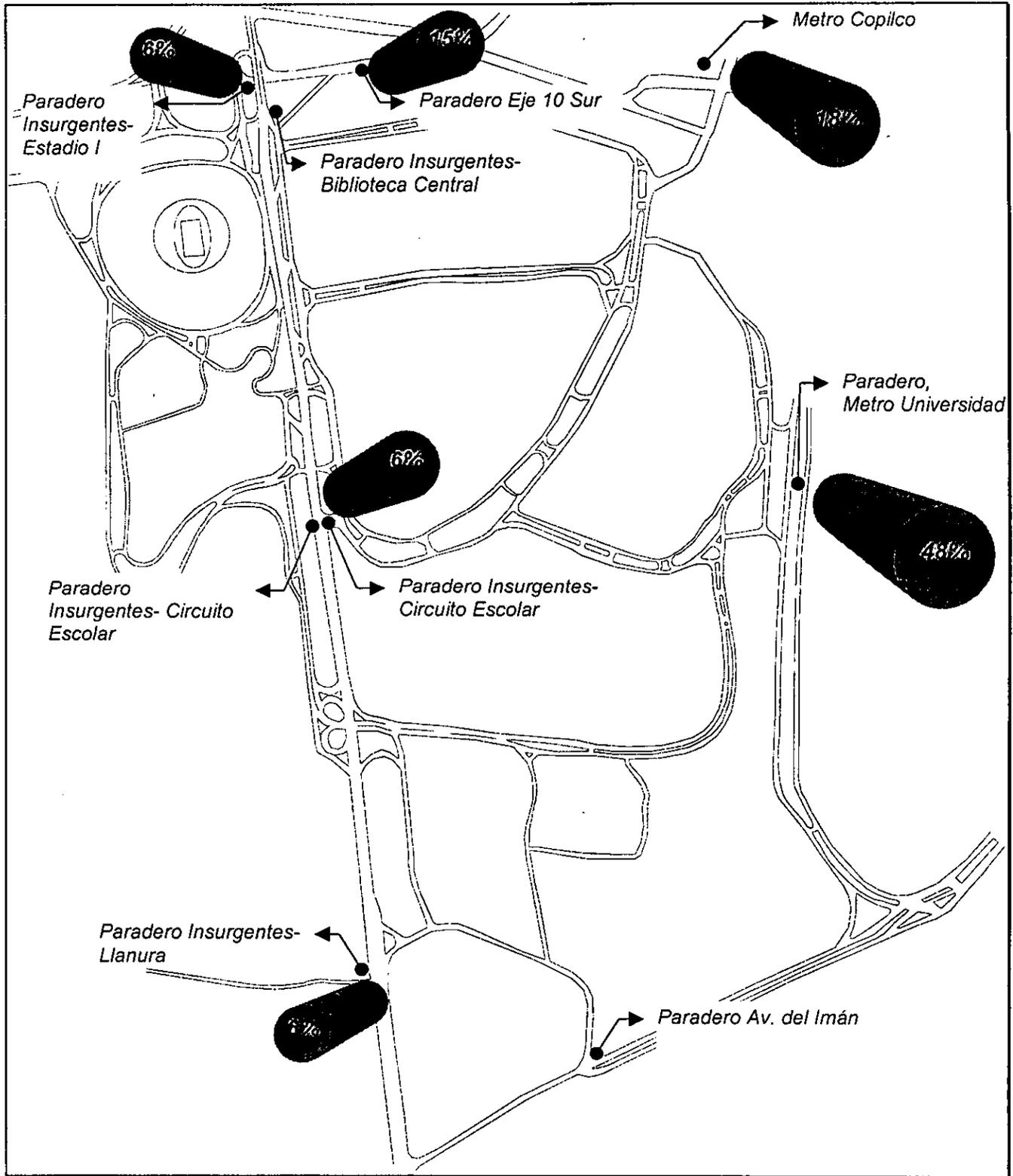
Estación de Transferencia	Metro	Autobús	Trolebús	Microbús	Taxi	% Acceso Facultades	% Acceso Pers. Admin.
Metro Universidad	Sí	Sí	No	Sí	Sí	45	48
Metro Copilco	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	20	18
Eje 10 Sur	No	Sí	Sí	Sí	Sí	10	15
Insurgentes-Estadio I - Insurgentes- Biblioteca Central	No	Sí	No	Sí	Sí	7	6
Insurgentes-Estadio II - Insurgentes- Rectoría	No	Sí	No	Sí	Sí	7	*
Insurgentes-Circuito Escolar	No	Sí	No	Sí	Sí	11	6
Insurgentes-Centro Cultural	No	Sí	No	Sí	Sí	*	*
Insurgentes-Llanura	No	Sí	No	Sí	Sí	*	6
Av. del Imán	No	Sí	No	Sí	Sí	*	*

Los tres paraderos con un porcentaje de acceso nulo (*) no se consideran para efectos de la demanda de transporte debido a que contribuyen de forma muy reducida con posibles usuarios. Cabe mencionar además, que estos tres paraderos se encuentran muy alejados de los centros de mayor demanda como se puede ver en las siguientes figuras.

Sitios de Acceso y Salida de la Población en Facultades al Transporte Público del D.F.



Sitios de Acceso del Personal Administrativo en el Transporte Público del D.F.



IV.3. Comportamiento Horario de la Demanda en Facultades.

Para determinar el nivel de demanda crítica se requiere de la realización de estudios de comportamiento horario de la demanda de transporte. El caso de Ciudad Universitaria requirió que se llevaran a cabo dichos estudios.

El procedimiento consistió en aforos peatonales de 14 horas de duración en la estación de Metro Universidad. Se eligió este sitio dado que ahí se presenta el 45% del acceso y salida de Ciudad Universitaria mediante del transporte público del D.F. por consiguiente es el más representativo. Los resultados obtenidos en este sitio se consideraron iguales a los que se presentan en los otros cinco sitios de acceso a Ciudad Universitaria por medio del transporte público del D.F.

Los resultados expuestos a continuación fueron obtenidos para periodos de media hora y contemplan tanto la entrada como la salida de los posibles usuarios de las distintas alternativas de transporte.

Cabe recordar que la población total en facultades es de 105,742 personas. Del estudio de comportamiento horario se determinó la siguiente conducta que presenta la demanda.

- El periodo de máxima demanda (PMD) matutino de entrada se presenta entre las 6:30 y las 7:00 horas y corresponde al 8.0% (8,459 personas) del total de entradas registradas.
- El periodo de máxima demanda (PMD) vespertino de salida se presenta en dos intervalos de tiempo. El primero, entre las 12:00 y las 12:30 horas correspondiente al 8.0% del total de salidas (8,459 personas), y el otro, entre

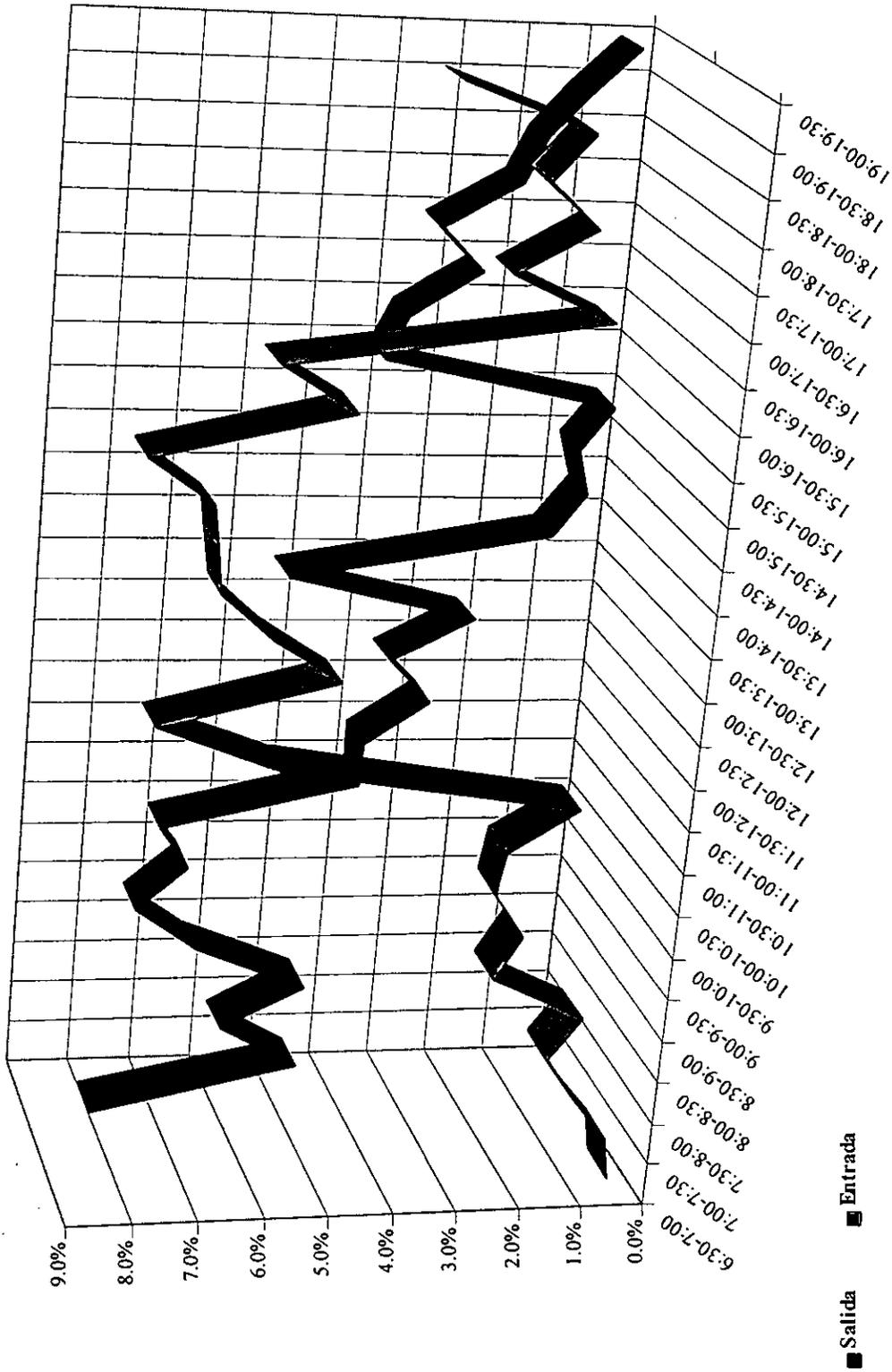
las 15:30 y las 16:00 horas correspondiente al 8.4% del total de salidas registradas (8,883 personas).

- En el intervalo de tiempo comprendido entre las 6:30 y las 10:30 horas se registra el 50.7% (53,312 personas) de todas las entradas de un día y constituye el periodo de entrada matutino de mayor intensidad. En el intervalo de tiempo comprendido entre las 15:30 y las 18:00 horas se presenta el 17.4% (18,400 personas) del total de las entradas y constituye el periodo de entrada vespertino de mayor intensidad.
- El intervalo de tiempo comprendido entre las 11:30 y las 16:30 horas constituye el periodo de salida de mayor intensidad en un día. En este intervalo sale el 68% (71,904 personas) de la demanda total.

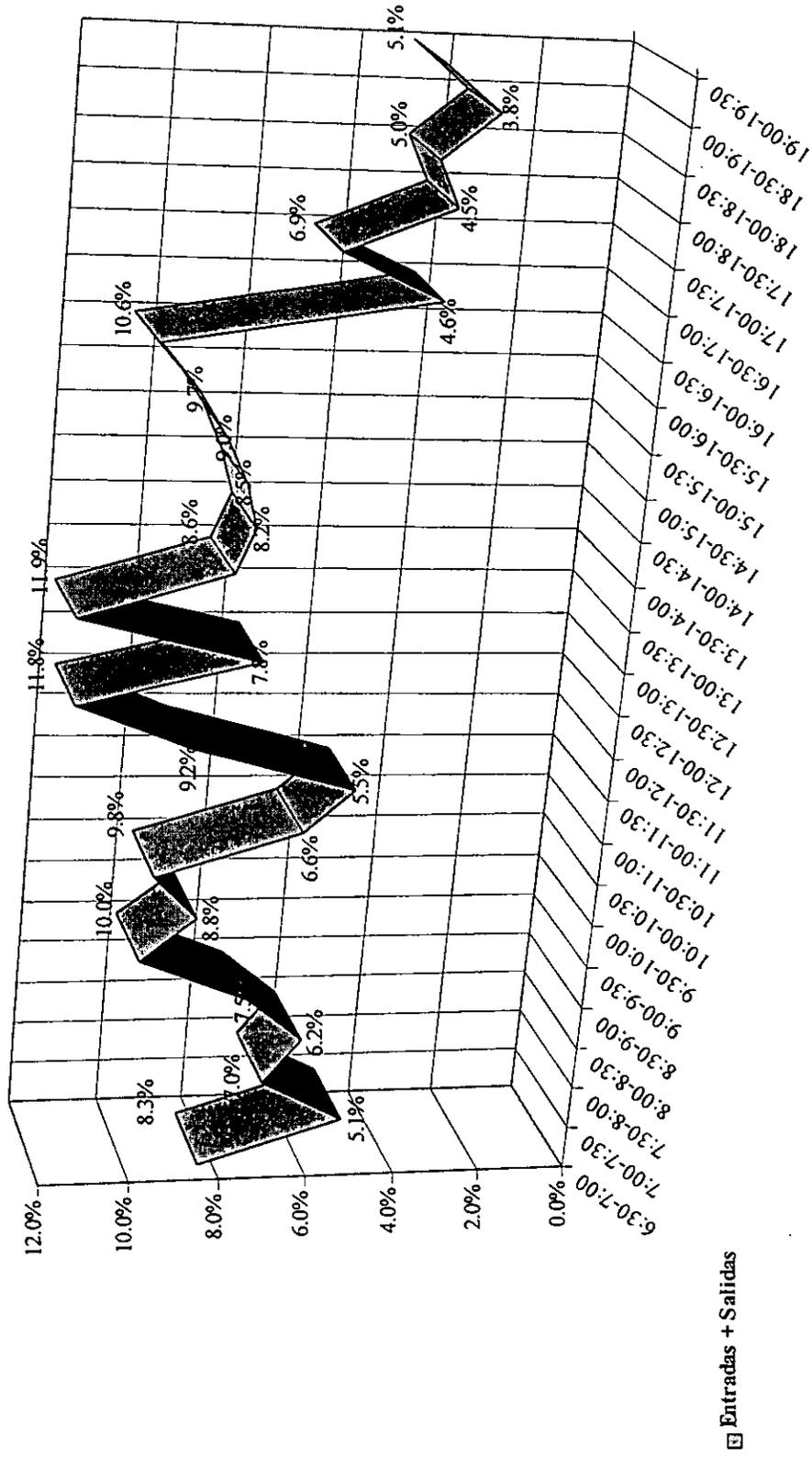
De los datos obtenidos podemos concluir que se presenta una demanda equilibrada de entradas y salidas en el periodo de tiempo que va desde las 6:30 hasta las 16:30 horas. En este mismo lapso de tiempo se presenta únicamente una pequeña disminución en la demanda de entradas y salidas que va desde las 10:30 hasta las 12:00 horas.

Podemos concluir asimismo que diariamente se presenta un espacio de tiempo de 10 horas (10:30-16:30) que presenta una demanda intensa de servicio para luego disminuir a partir de las 16:30 horas y sostenerse en un 50% de la original.

Comportamiento Horario de la Demanda de Transporte en Facultades. (Entrada y Salida)



Comportamiento Horario de la Demanda Transporte en Facultades. (Total)

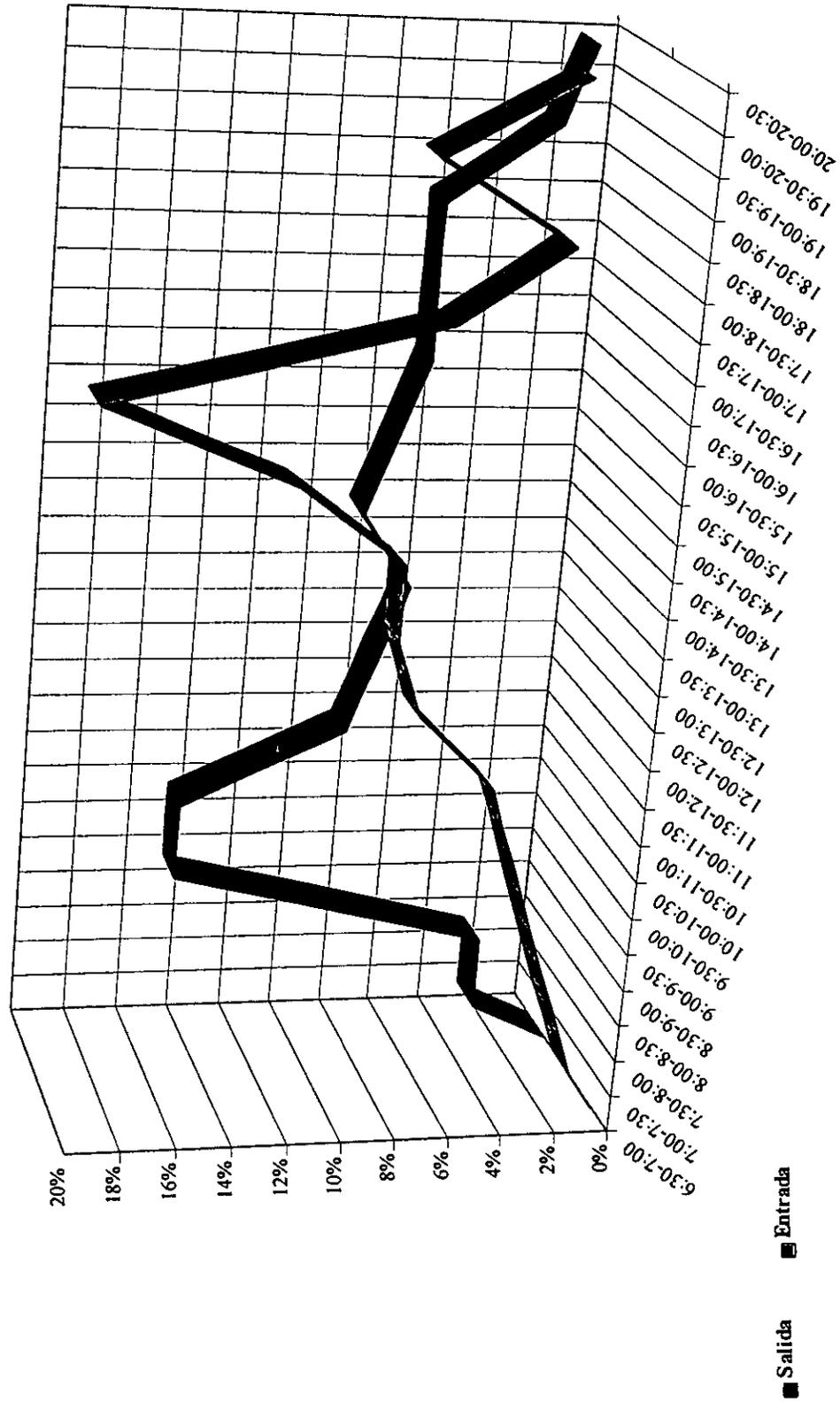


IV.4. Comportamiento Horario de la Demanda del Personal Administrativo.

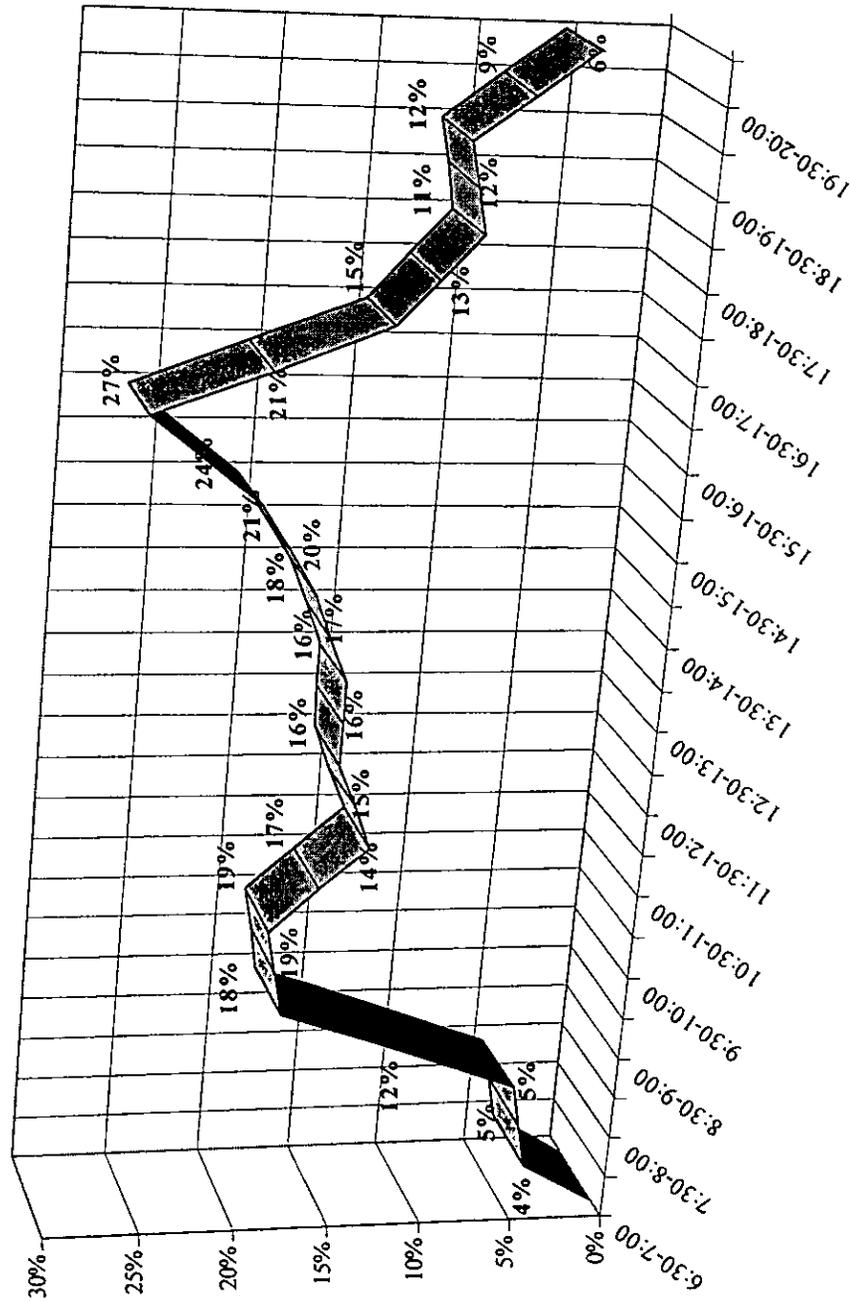
Del estudio de comportamiento horario se determinó la siguiente conducta que presenta la demanda del personal administrativo.

- El periodo de máxima demanda (PMD) matutino de entrada se presenta entre las 8:00 y las 10:00 horas y corresponde al 30.0% (3,759 personas) del total de entradas.
- El periodo de máxima demanda (PMD) vespertino de salida se presenta en un intervalo de tiempo, entre las 15:00 y las 17:00 horas correspondiente al 35.0% del total de salidas (4,386 personas).
- Durante el resto del día y hasta las 19:00 horas la demanda permanece estable con un promedio del 8.0% del total.

Comportamiento Horario de la Demanda de Transporte de Personal Administrativo (Entrada y Salida)

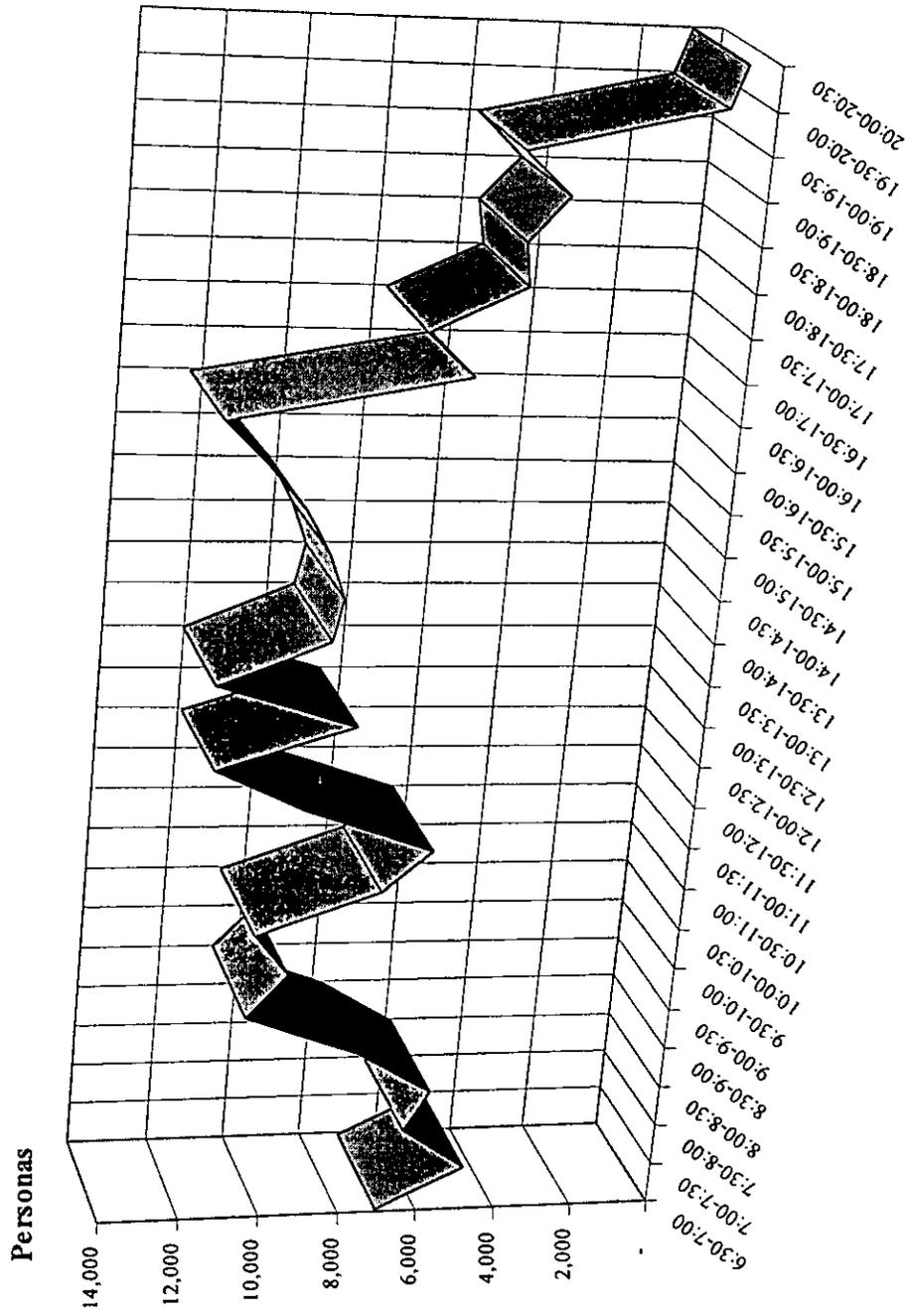


Comportamiento Horario de la Demanda de Transporte de Personal Administrativo (Total)



Entradas + Salidas

Comportamiento Horario de la Demanda Total de Transporte
(Facultades+Personal Administrativo).



Con base en los resultados gráficos anteriores puede concluirse que durante el periodo de máxima demanda de salida (15:00-15:30) el 8.4% (7,013 personas) de la población total en facultades son posibles usuarios del sistema de transporte para salir del campus. Lo mismo sucede en el periodo de máxima demanda de entrada (6:30-7:00), que el 8.0% (6,767 personas) de la población se convierte en posibles usuarios. Sin embargo, el periodo de máxima demanda total no se da en ninguno de los periodos anteriores, esto es, en el periodo entre (13:00-13:30) la demanda de posibles usuarios de entrada es de 5.5% y de salida es de 6.4%, que equivale a un 11.9% de la demanda total de posibles usuarios. Esto significa que durante este periodo es necesario satisfacer la necesidad de transporte para 10,067 personas, cifra mucho mayor a los máximos de entrada y salida diarios. Esta misma situación se presenta en distintas ocasiones a lo largo del día, en donde el total de entradas más salidas supera el 8.4% antes mencionado, por ejemplo: (9:00-9:30) con 10.0%; (12:00-12:30) con 11.8%; (16:00-16:30) con 10.6%. Existen otros 6 periodos en esta misma situación, lo que se puede observar en la gráfica *Comportamiento Horario de la Demanda de Transporte en Facultades (Total)* de la página 53.

Como la demanda de transporte del personal administrativo y la de facultades ocurren simultáneamente a lo largo del día, es necesario incluir en los valores de diseño la suma de estos dos conceptos. Por esto, la gráfica de la página 57 expresa la suma de la población de salida y de entrada tanto de población en facultades como de personal administrativo.

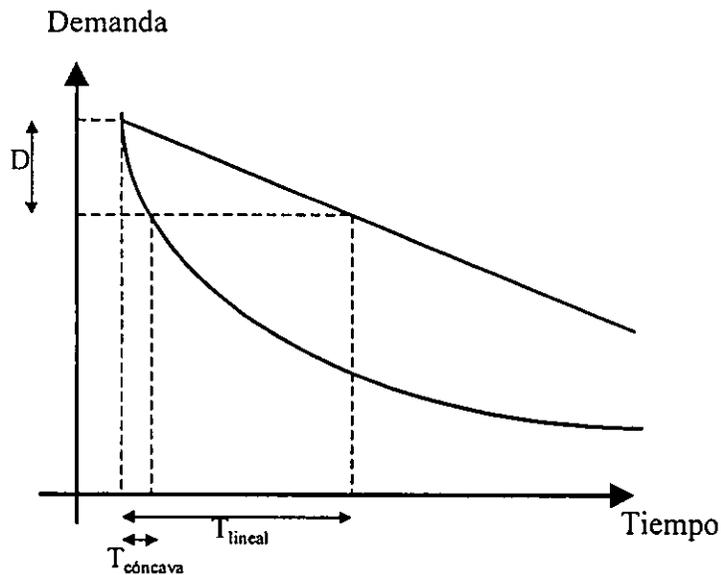
IV.5. Líneas de Deseo a Facultades

Los autores de esta tesis realizamos el análisis de las alternativas de transporte basándonos en el patrón de distribución de la demanda contenido en el documento “Recomendaciones para mejorar el Sistema de Transporte Colectivo de CU”. En este documento se generaron las líneas de deseo de la población en facultades para el periodo de tiempo comprendido entre las 15:00 y las 15:30 horas, correspondiente a la salida del 8.4% de la población.

En el análisis realizado en este documento para el periodo de *máxima demanda (8.4%) de salida (15:00-15:30)* se supuso que no va a existir relación entre el grupo de posibles usuarios que desean utilizar el transporte para entrar a la Ciudad Universitaria con el grupo que desea salir de ella. En la realidad esto no ocurre. Se debe de considerar el total de posibles usuarios en facultades de entrada y salida como un grupo ya que el aspecto relevante no es si éstos entran o salen, sino si utilizan o no el sistema al mismo tiempo.

Por lo expuesto anteriormente se consideró para esta tesis un valor distinto a 8.4% para la demanda en facultades. Este valor se determinó utilizando una variante de la gráfica *Comportamiento Horario de la Demanda Total de Transporte (Facultades + Personal Administrativo)* de la página 57. El objetivo es trazar una gráfica decreciente de la demanda y dependiendo de sus características, poder elegir el intervalo de media hora correspondiente a la demanda de diseño. Para el caso de Ciudad Universitaria se tiene una distribución prácticamente lineal que hace la decisión muy difícil.

En un caso favorable tendríamos una distribución cóncava hacia arriba. Esta forma nos permitiría establecer un intervalo de tiempo que no corresponda al de máxima demanda y aún así el sistema de transporte presentaría condiciones de operación favorables la mayor parte del tiempo, esto es que el sistema estaría saturado un lapso muy pequeño de tiempo ($T_{\text{cóncava}}$). Esto no es el caso de una distribución lineal, donde se tendrían condiciones de operación desfavorables durante un mayor lapso de tiempo (T_{lineal}) para la misma cantidad de personas. Esto se puede ver claramente en la siguiente figura.



El otro factor que se debe de considerar aquí es el económico. Cuanto más tiempo se sature el sistema, menores son los costos del mismo. Se debe entonces buscar un equilibrio entre lo económico y la eficiencia del sistema de transporte.

Para lograr este equilibrio, la demanda de diseño se estableció para el tercer periodo de tiempo en orden decreciente considerando que una hora del día (13:00-13:30 y 14:00-14:30 horas). Un 6.3% del tiempo que funciona, el sistema de transporte es

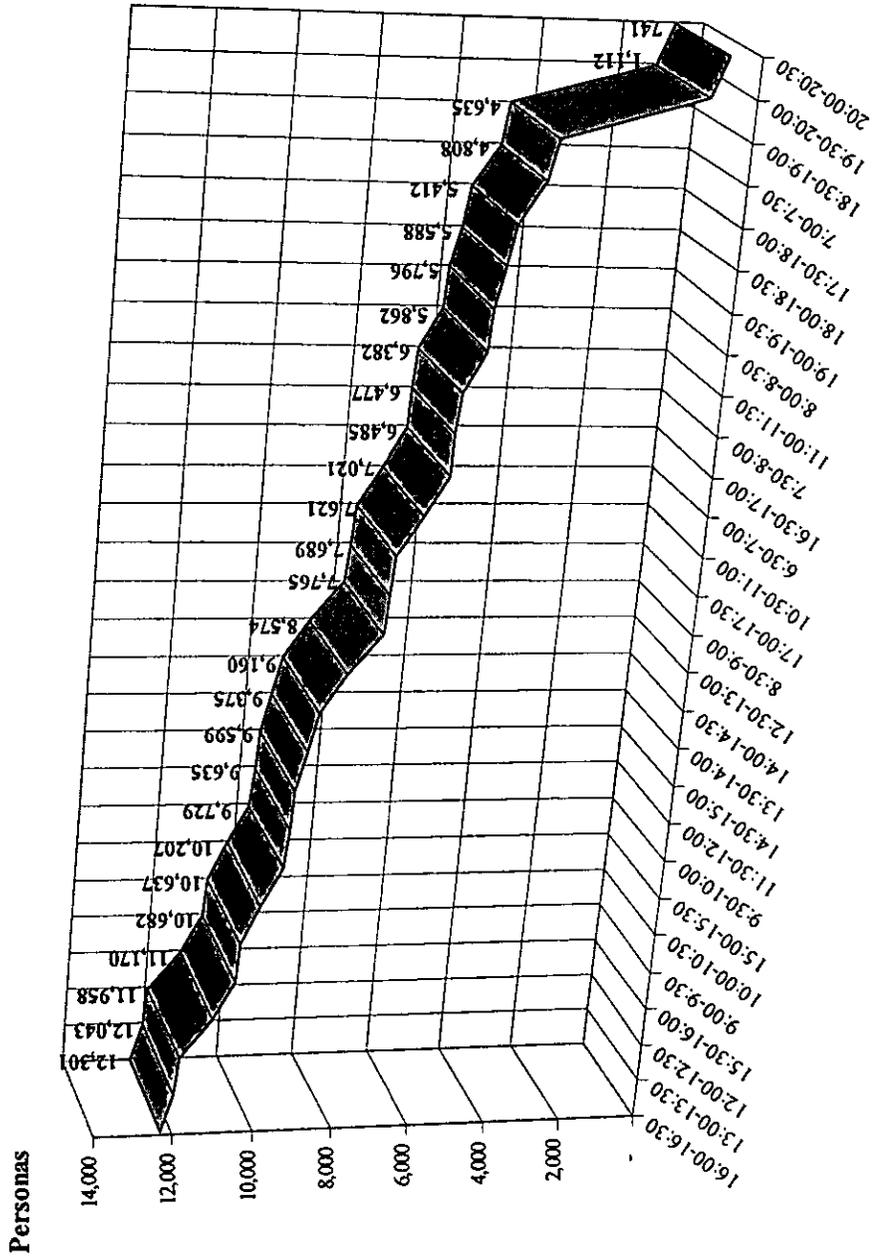
excedido en su capacidad. Se eligió también un periodo matutino (AM) de diseño y uno vespertino de diseño (PM) a fin de realizar un diseño completo del Sistema de Tránsito Rápido para Pasajeros “*Personal Rapid Transit System*” (PRT) que se estudiará en el Capítulo V de esta tesis.

De esta manera se tiene la siguiente demanda de diseño en facultades que se utilizará en este trabajo.

- Periodo matutino de diseño: 9:00-9:30 horas correspondiente al 10.0% (8,452 personas).
- Periodo vespertino de diseño: 12:00-12:30 horas correspondiente al 11.8% (9,973 personas).

Para obtener la distribución de la demanda por facultad para estos dos periodos se obtuvieron las incidencias de cada valor de la tabla *Distribución de la Demanda Máxima por Facultad (PMD, 15:00-15:30 con 8.4%)* de la página 63 y con el nuevo porcentaje se calcularon las nuevas tablas.

Comportamiento Horario decreciente de la Demanda Total de Transporte
(Facultades+Personal Administrativo).



Distribución de la Demanda Máxima por Facultad
(PMD de salida, 15:00-15:30 con 8.4%)

Facultad	Población Total	Utiliz. El STCCU									
		%	Población	Metro Univers.	Metro Copilco	Eje 10 Sur	Ins.-Estadio I y Biblioteca Central	Ins.-Estadio II e Ins.- Rectoría	Insurgentes-Circ. Escolar		
Contaduría	1,591	90.0	1,432	1,071	14	0	0	0	0	347	
C.Políticas	944	90.0	850	819	0	0	0	0	0	31	
Arquitectura	920	83.2	765	219	98	43	212	177	16	0	
Química	886	69.5	616	61	322	56	59	118	0	0	
Ingeniería	697	79.9	557	61	155	70	103	152	16	0	
Medicina	615	56.4	347	31	309	7	0	0	0	0	
Filosofía	590	92.4	545	188	0	328	29	0	0	0	
Derecho	550	84.4	464	187	126	92	59	0	0	0	
Ciencias	522	66.1	345	253	0	0	0	0	92	0	
Anexo Ingeniería	359	66.3	238	94	0	0	0	44	100	0	
Odontología	339	85.5	290	9	281	0	0	0	0	0	
T. Social	306	71.9	220	89	0	0	0	0	131	0	
Economía	244	83.2	203	34	98	42	29	0	0	0	
Veterinaria	107	64.5	69	31	0	0	0	0	38	0	
Psicología	104	69.2	72	9	0	63	0	0	0	0	
Total	8,774	79.9	7,013	3,156	1,403	701	491	491	771		

Fuente: Actualización del Plan Maestro de Mejoramiento del Sistema Vial de Ciudad Universitaria.

Nota 1: Los porcentajes presentados en la tercera columna de esta tabla fueron obtenidos mediante consulta directa en los muestreos realizados.
 Nota 2: Los valores representan el número de posibles usuarios entre origen (Facultad) y destino (estaciones de transferencia).

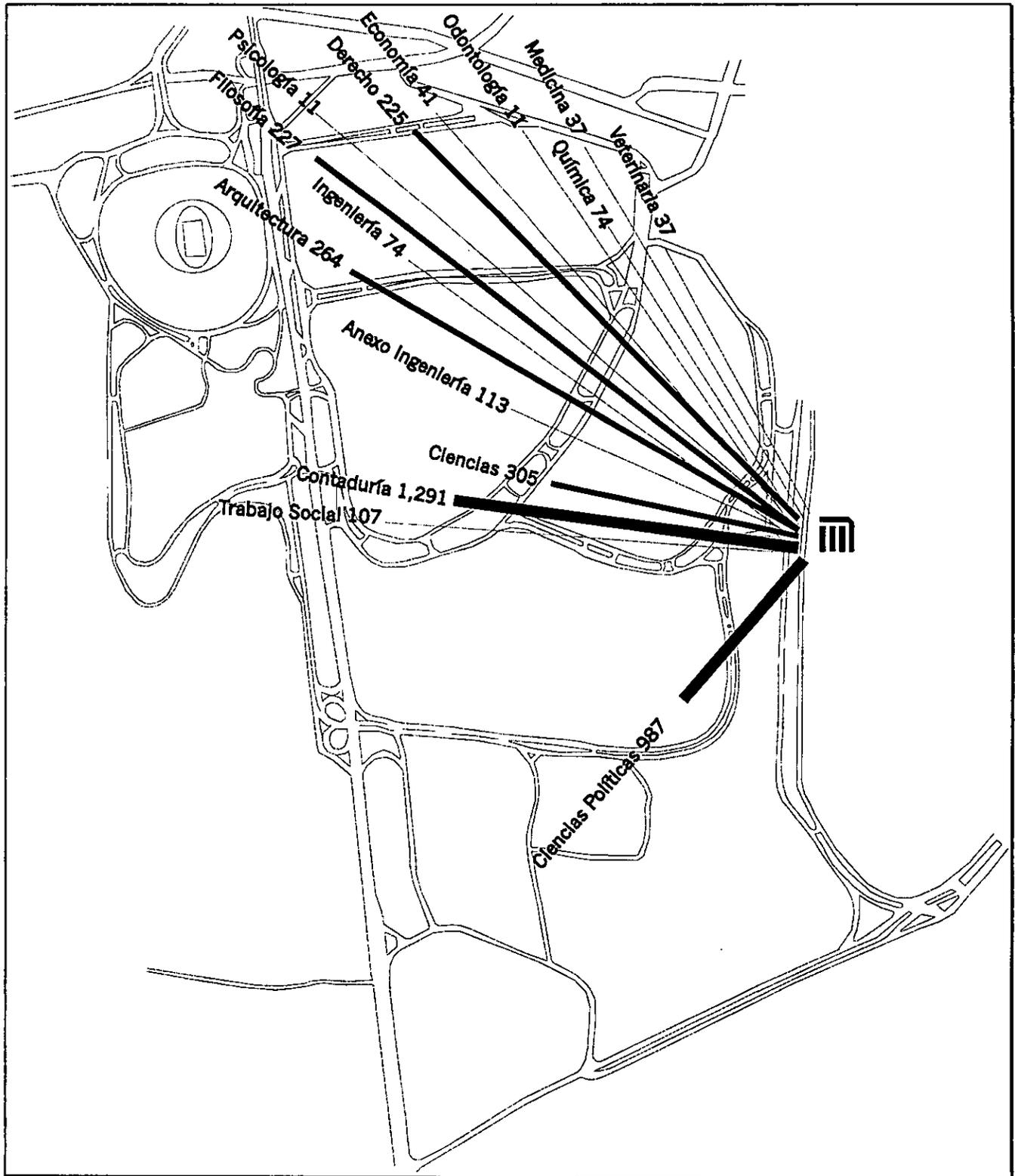
Distribución de la Demanda Máxima por Facultad
(PMD matutino, 9:00-9:30, 10.0% de población)

Facultad	Población Total	Utiliz. el STCCU									
		%	Población	Metro Univers.	Metro Copilco	Eje 10 Sur	Ins.-Estadio I y Biblioteca Central	Ins.-Estadio II e Ins.- Rectoría	Insurgentes-Circ. Escolar		
Contaduría	1,917	90	1,726	1,291	17	0	0	0	0	418	
C.Políticas	1,138	90	1,024	987	0	0	0	0	0	37	
Arquitectura	1,109	83	922	264	118	52	255	213	19	0	
Química	1,068	70	742	74	388	67	71	142	0	0	
Ingeniería	840	80	671	74	187	84	124	183	19	0	
Medicina	741	56	418	37	372	8	0	0	0	0	
Filosofía	711	92	657	227	0	395	35	0	0	0	
Derecho	663	84	559	225	152	111	71	0	0	0	
Ciencias	629	66	416	305	0	0	0	0	111	0	
Anexo Ingeniería	433	66	287	113	0	0	0	53	121	0	
Odontología	409	86	350	11	339	0	0	0	0	0	
T. Social	369	72	265	107	0	0	0	0	158	0	
Economía	294	83	245	41	118	51	35	0	0	0	
Veterinaria	129	64	83	37	0	0	0	0	46	0	
Psicología	125	69	87	11	0	76	0	0	0	0	
Total	10,574	80	8,452	3,804	1,691	845	592	592	929	929	

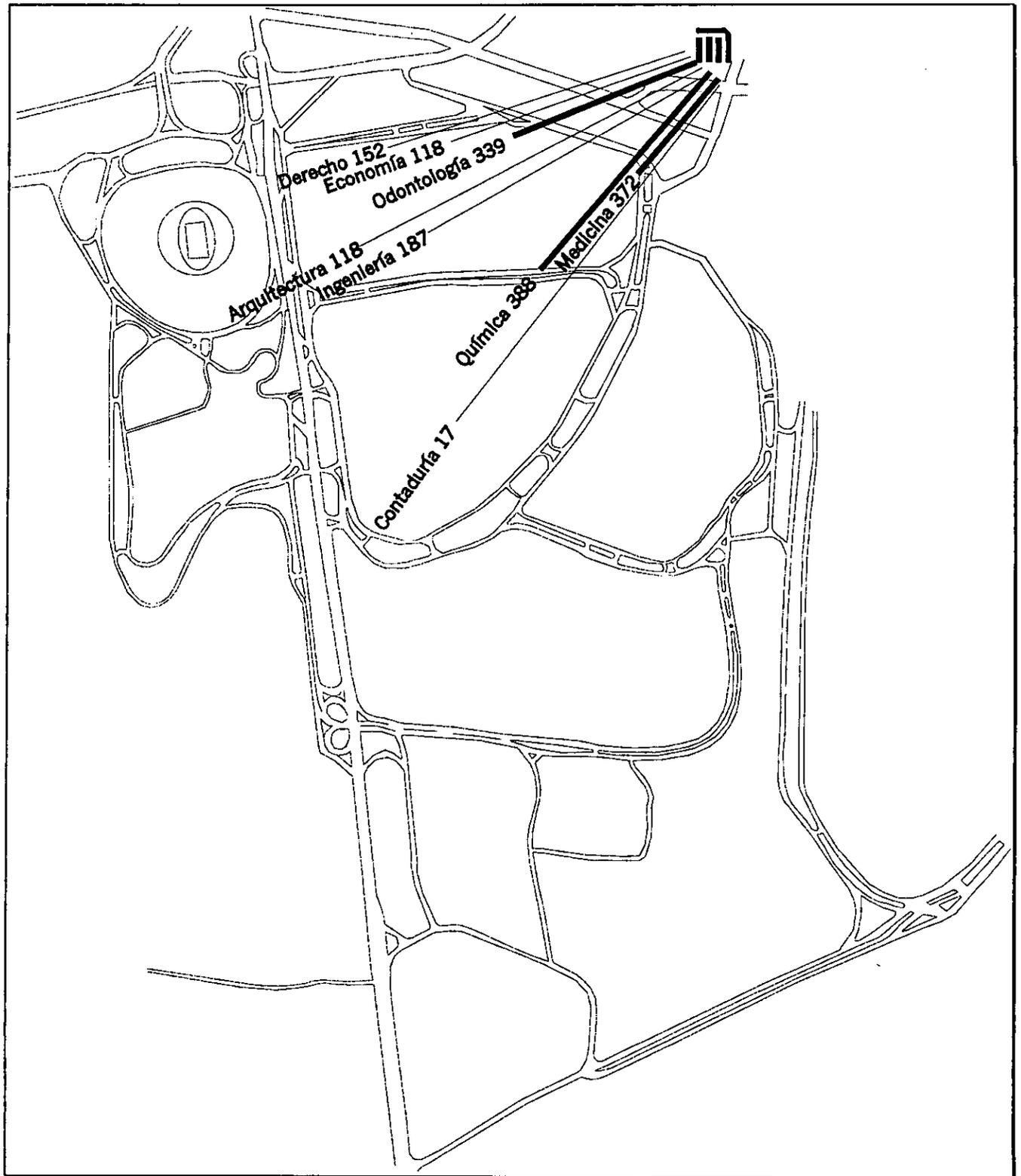
Nota 1: Los porcentajes presentados en la tercera columna de esta tabla fueron obtenidos mediante consulta directa en los muestreos realizados.

Nota 2: Los valores representan el número de posibles usuarios entre origen (Facultad) y destino (estaciones de transferencia) y viceversa.

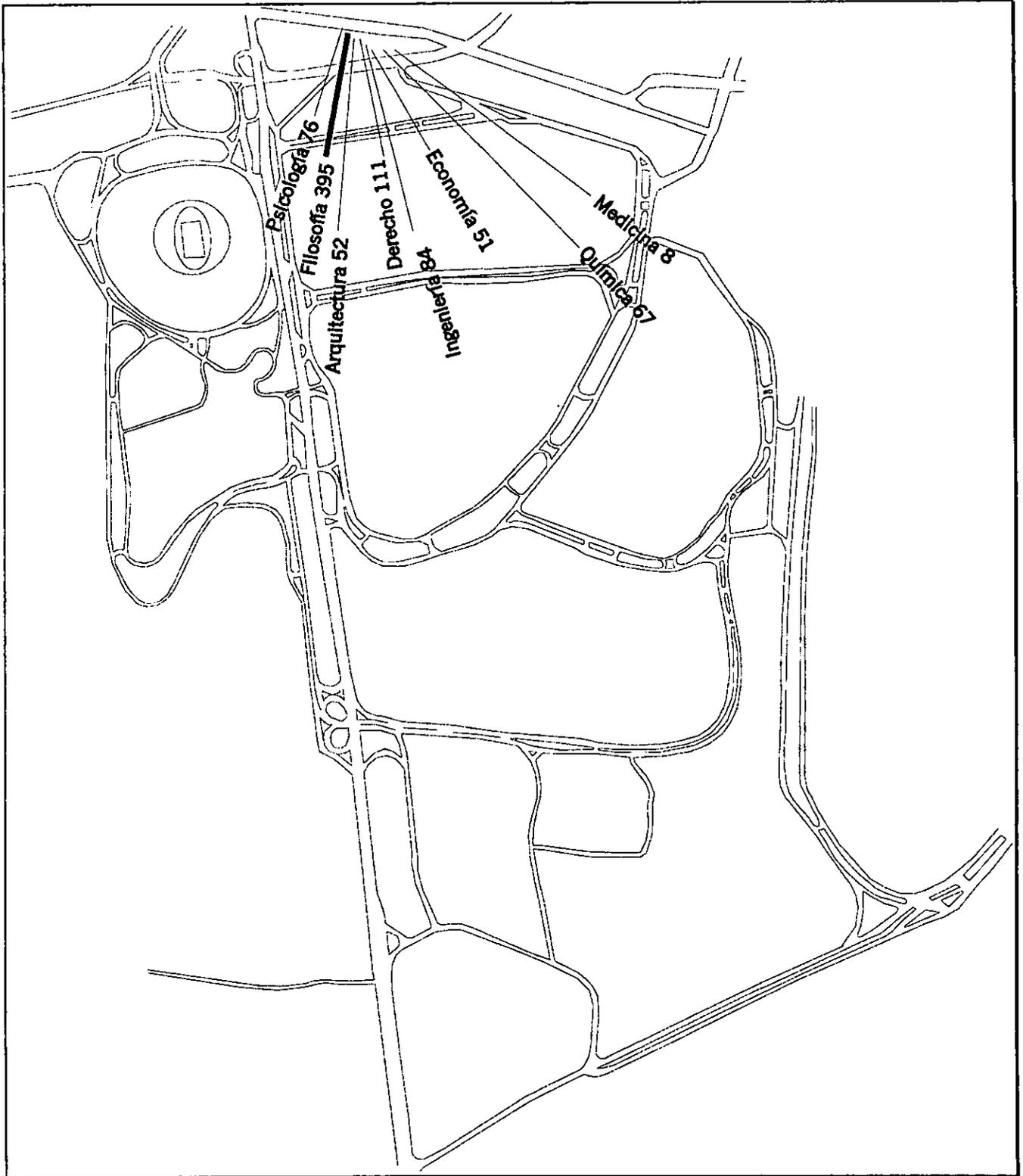
**Distribución Gráfica de las Líneas de Deseo
Metro Universidad - Facultades y viceversa**



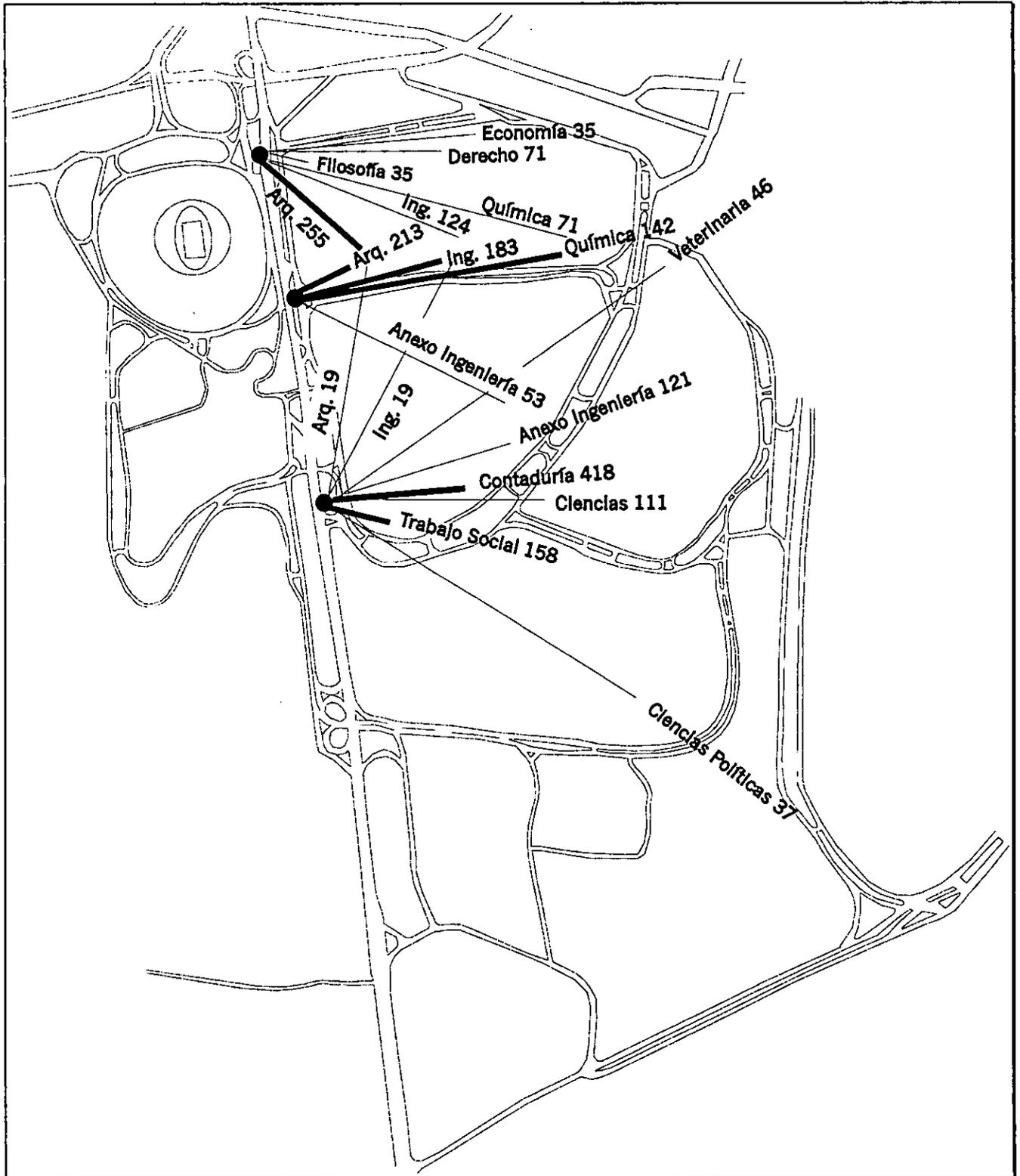
Distribución Gráfica de las Líneas de Deseo
Metro Copilco - Facultades y viceversa



**Distribución Gráfica de las Líneas de Deseo
Eje 10 Sur - Facultades y viceversa**



**Distribución Gráfica de las Líneas de Deseo
Paraderos Av. de los Insurgentes - Facultades y viceversa**



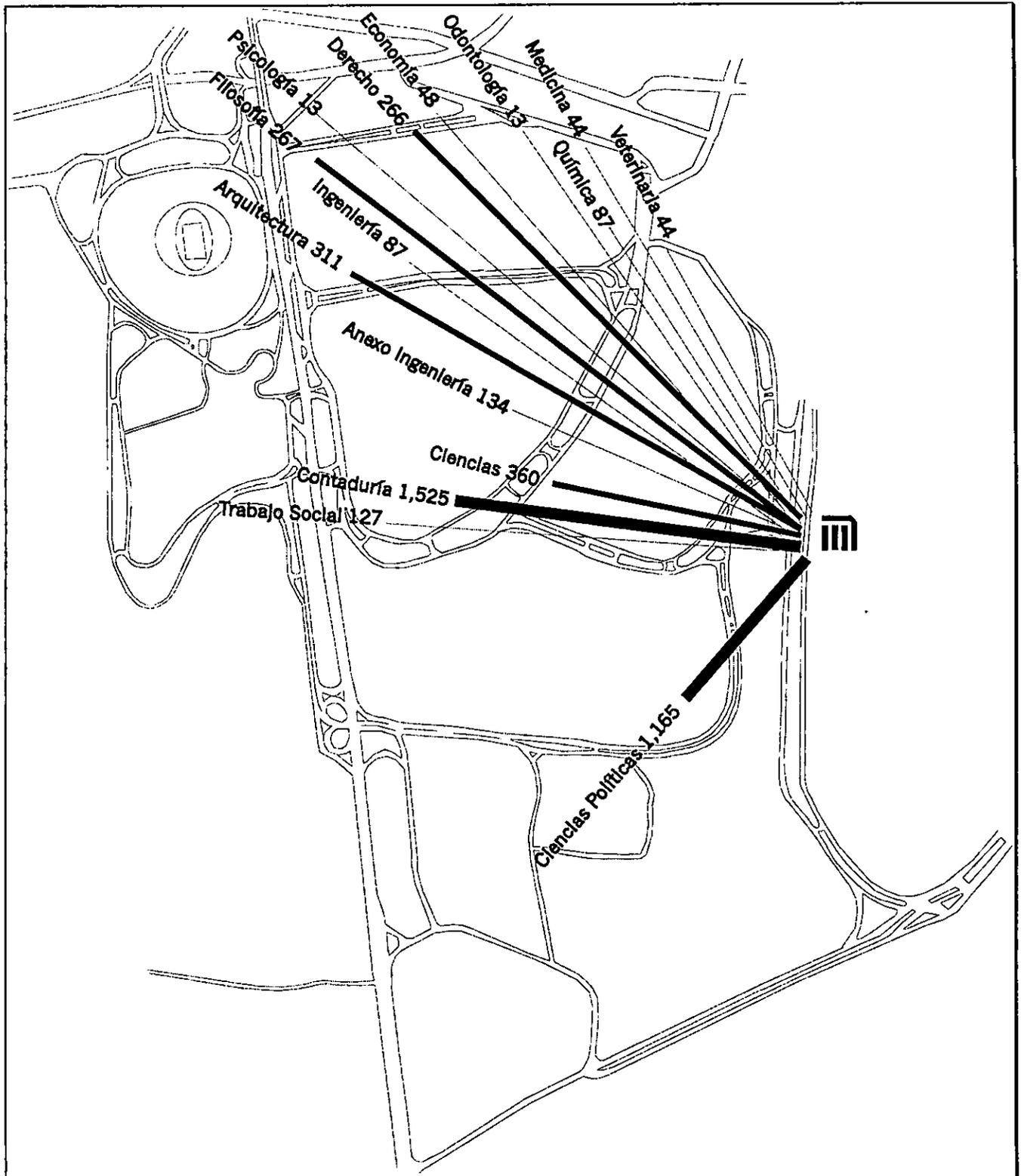
Distribución de la Demanda Máxima por Facultad
(PMD vespertino, 12:00-12:30, 11.8% de población)

Facultad	Población Total	Utiliz. el STCCU									
		%	Población	Metro Univers.	Metro Copilco	Eje 10 Sur	Ins.-Estadio I y Biblioteca Central	Ins.-Estadio II e Ins.- Rectoría	Insurgentes-Circ. Escolar		
Contaduría	2,263	90	2,036	1,523	20	0	0	0	0	493	
C.Políticas	1,342	90	1,209	1,165	0	0	0	0	0	44	
Arquitectura	1,308	83	1,088	311	139	61	301	252	23	0	
Química	1,260	70	876	87	458	80	84	168	0	0	
Ingeniería	991	80	792	87	220	100	146	216	23	0	
Medicina	875	56	493	44	439	10	0	0	0	0	
Filosofía	839	92	775	267	0	466	41	0	0	0	
Derecho	782	84	660	266	179	131	84	0	0	0	
Ciencias	742	66	491	360	0	0	0	0	131	0	
Anexo Ingeniería	511	66	338	134	0	0	0	63	142	0	
Odontología	482	86	412	13	400	0	0	0	0	0	
T. Social	435	72	313	127	0	0	0	0	186	0	
Economía	347	83	289	48	139	60	41	0	0	0	
Veterinaria	152	64	98	44	0	0	0	0	54	0	
Psicología	148	69	102	13	0	90	0	0	0	0	
Total	12,478	80	9,973	4,488	1,995	997	698	698	1,096		

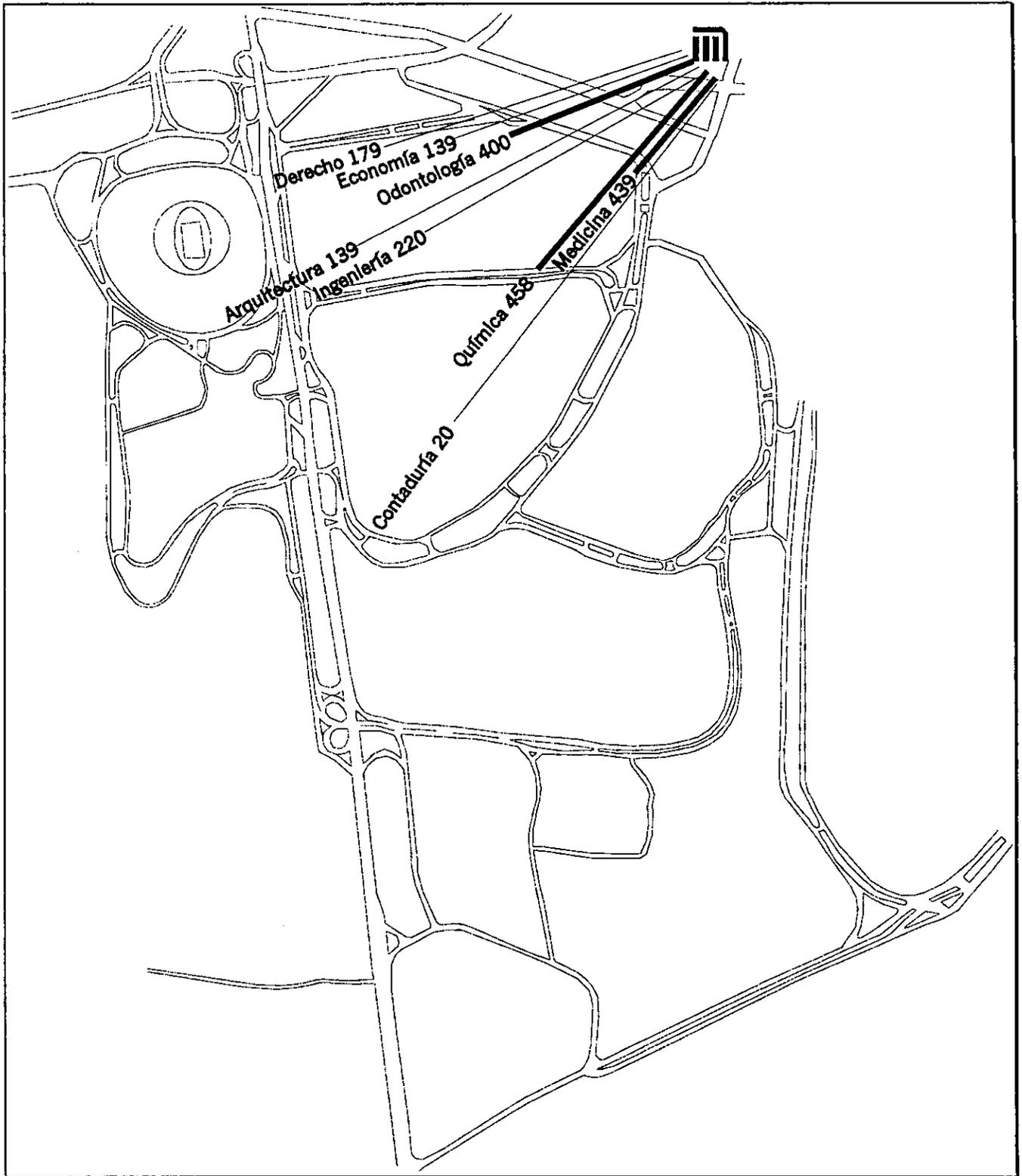
Nota 1: Los porcentajes presentados en la tercera columna de esta tabla fueron obtenidos mediante consulta directa en los muestreos realizados.

Nota 2: Los valores representan el número de posibles usuarios entre origen (Facultad) y destino (estaciones de transferencia) y viceversa.

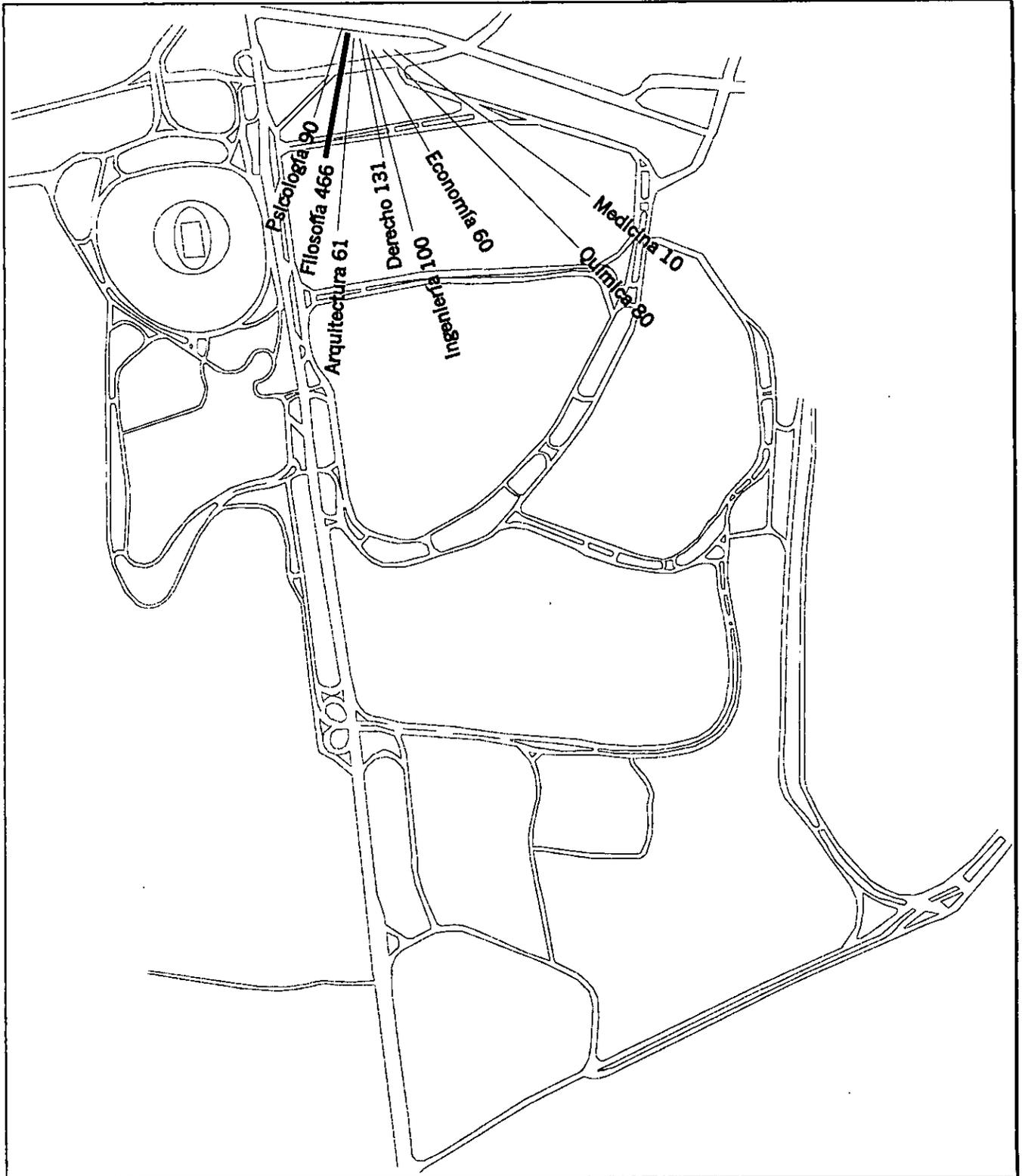
**Distribución Gráfica de las Líneas de Deseo
Metro Universidad - Facultades y viceversa**



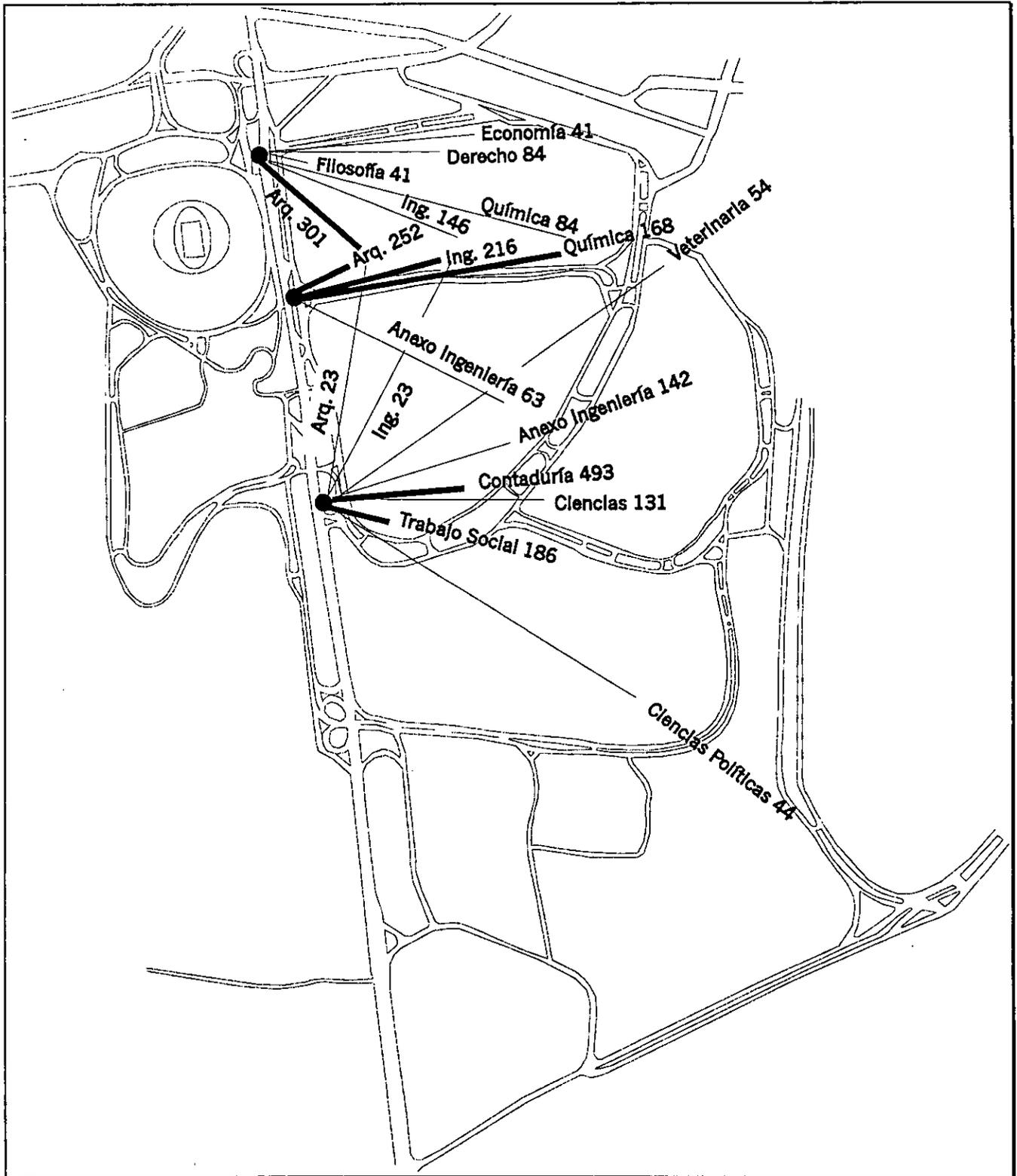
**Distribución Gráfica de las Líneas de Deseo
Metro Copilco - Facultades y viceversa**



**Distribución Gráfica de las Líneas de Deseo
Eje 10 Sur - Facultades y viceversa**



**Distribución Gráfica de las Líneas de Deseo
Paraderos Av. de los Insurgentes - Facultades y viceversa**



IV.6. Líneas de Deseo a Zonas Administrativas y de Servicios.

La distribución de la demanda y las líneas de deseo se determinaron de forma análoga que la utilizada para la población en facultades.

De esta manera se tiene la siguiente demanda de diseño de personal administrativo que se utilizará en este trabajo.

- Periodo matutino de diseño: 9:00-9:30 horas correspondiente al 18.0% (2,223 personas).
- Periodo vespertino de diseño: 12:00-12:30 horas correspondiente al 16.0% (1,976 personas).

Para obtener la distribución de la demanda de personal administrativo para estos dos periodos se obtuvieron las incidencias de cada paradero con cada zona a la que proveen de posibles viajes y con los datos diseño de cada periodo se determinaron las líneas de deseo.

**Determinación de la Población de Personal Administrativo
(PMD matutino, 9:00-9:30, 18.0% de población)**

Zona	Paradero	% Participación Paradero en CU	% Participación Paradero / Zona	Población Total por Zona	Población Real por Zona	Pob. en Tránsito por Zona	Pob. en Tránsito Paradero - Zona
I	Ins. - Est. I y Bib. Central	6.33	16	6,270	4,076	734	118
	Eje 10 Sur	15.00	38				280
	Metro Copilco	18.00	46				336
II	Insurgentes - Circ. Escolar	6.33	12	1,900	1,235	222	26
	Metro Universidad	48.00	88				196
III	Insurgentes - Circ. Escolar	6.33	12	1,330	865	156	18
	Metro Universidad	48.00	88				137
IV	Insurgentes - Circ. Escolar	6.33	12	1,520	988	178	21
	Metro Universidad	48.00	88				157
	Metro Universidad	48.00	100	570	371	67	67
VI	Ins. - Est. I y Bib. Central	6.33	30	1,900	1,235	222	66
	Eje 10 Sur	15.00	70				156
VIII	Metro Universidad	48.00	88	5,510	3,582	645	570
	Insurgentes - Llanura	6.33	12				75
Total				19,000	12,350		2,223

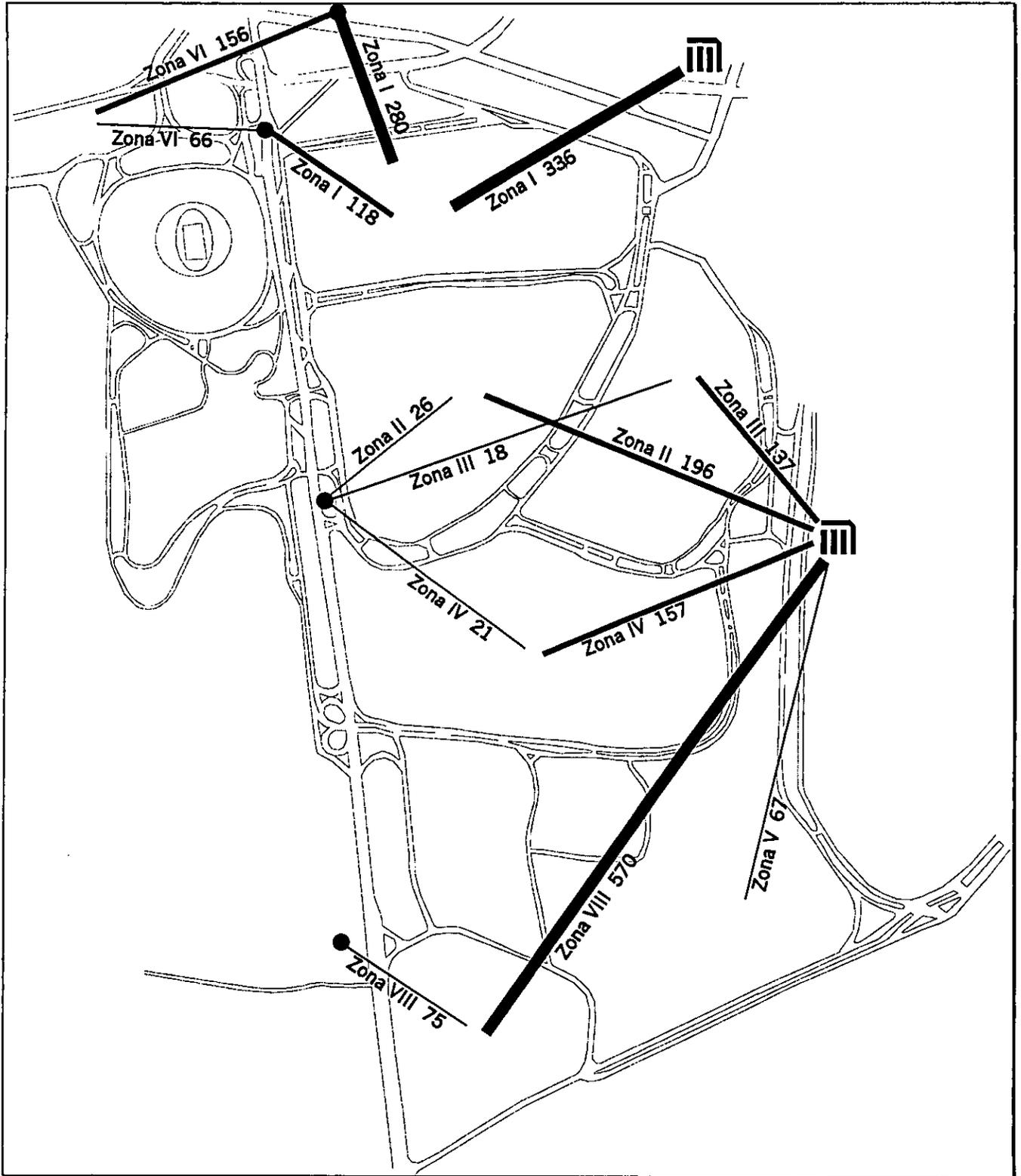
Distribución de la Demanda Máxima de Personal Administrativo
(PMD matutino, 9:00-9:30, 18.0% de población)

Zona	Utiliz. el STCCU									
	Población 18% por Zona	%	Población	Metro Univers.	Metro Copilco	Eje 10 Sur	Ins.-Estadio I y Biblioteca Central	Insurgentes - Circuito Escolar	Insurgentes - Llanura	
Zona I	1,129	65	734	0	336	280	118	0	0	
Zona VIII	992	65	645	570	0	0	0	0	75	
Zona II	342	65	222	196	0	0	0	26	0	
Zona VI	342	65	222	0	0	156	66	0	0	
Zona IV	274	65	178	157	0	0	0	21	0	
Zona III	239	65	156	137	0	0	0	18	0	
Zona V	103	65	67	67	0	0	0	0	0	
Zona VII	0	65	0	0	0	0	0	0	0	
Total	3,420	65	2,223	1,127	336	436	184	65	75	

Nota 1: Los porcentajes presentados en la tercera columna de esta tabla fueron obtenidos mediante una estimación.

Nota 2: Los valores representan el número de posibles usuarios entre origen (estaciones de transferencia) y destino (zona) y viceversa.

Distribución Gráfica de las Líneas de Deseo
Estaciones de Transferencia - Zonas y viceversa



**Determinación de la Población de Personal Administrativo
(PMD vespertino, 12:00-12:30, 16.0% de población)**

Zona	Paradero	% Participación Paradero en CU	% Participación Paradero / Zona	Población Total por Zona	Población Real por Zona	Pob. en Tránsito por Zona	Pob. en Tránsito Paradero - Zona
I	Ins. - Est. I y Bib. Central	6.33	16	6,270	4,076	652	105
	Eje 10 Sur	15.00	38				249
	Metro Copilco	18.00	46				298
II	Insurgentes - Circ. Escolar	6.33	12	1,900	1,235	198	23
	Metro Universidad	48.00	88				175
III	Insurgentes - Circ. Escolar	6.33	12	1,330	865	138	16
	Metro Universidad	48.00	88				122
IV	Insurgentes - Circ. Escolar	6.33	12	1,520	988	158	18
	Metro Universidad	48.00	88				140
	Metro Universidad	48.00	100	570	371	59	59
VI	Ins. - Est. I y Bib. Central	6.33	30	1,900	1,235	198	59
	Eje 10 Sur	15.00	70				139
VIII	Metro Universidad	48.00	88	5,510	3,582	573	506
	Insurgentes - Llanura	6.33	12				67
Total				19,000	12,350		1,976

Distribución de la Demanda Máxima de Personal Administrativo
(PMD vespertino, 12:00-12:30, 16.0% de población)

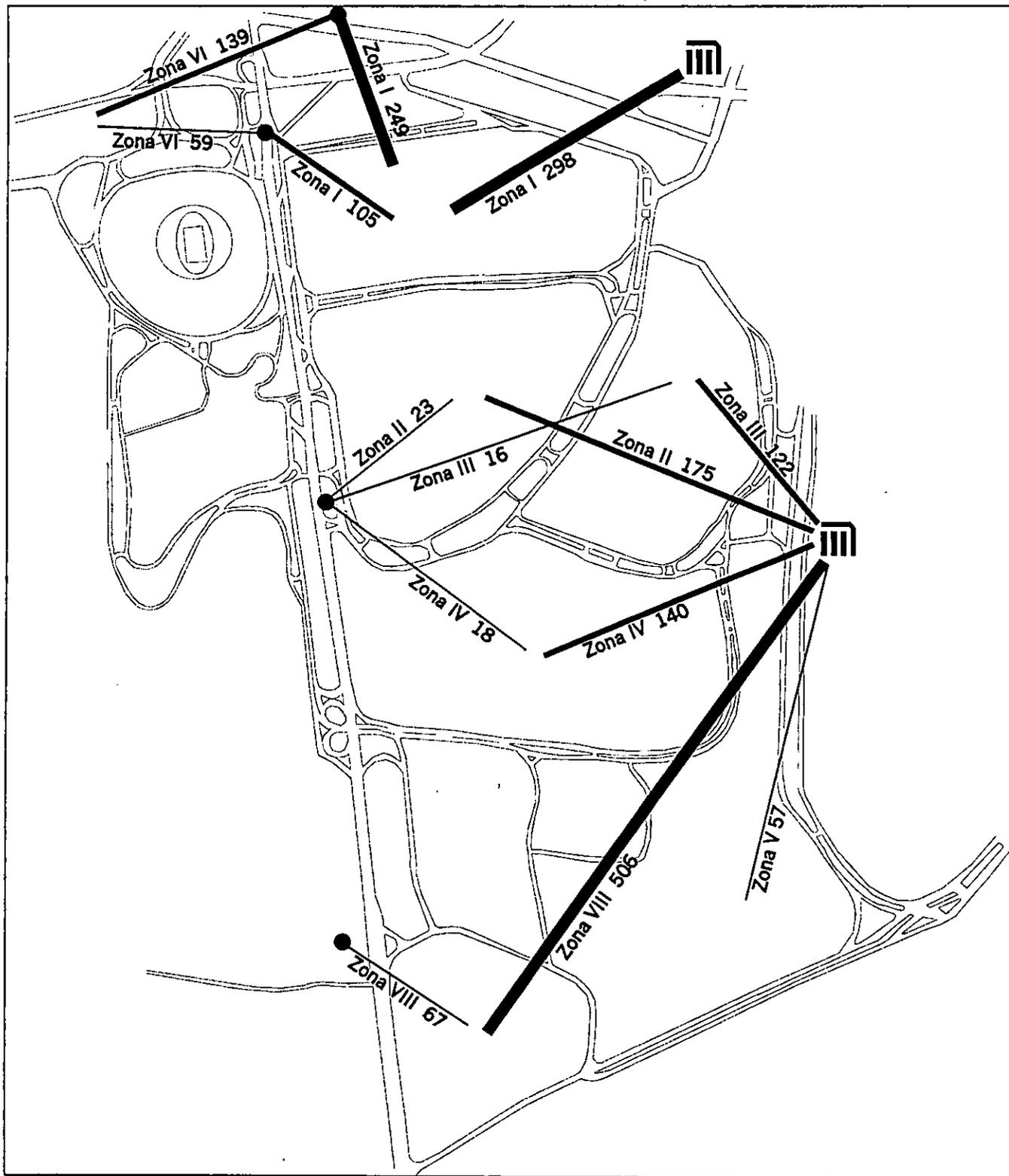
Zona	Utiliz. el STCCU									
	Población 16% por Zona	%	Población	Metro Univers.	Metro Copilco	Eje 10 Sur	Ins.-Estadio I y Biblioteca Central	Insurgentes - Circuito Escolar	Insurgentes - Llanura	
Zona I	1,003	65	652	0	298	249	105	0	0	
Zona VIII	882	65	573	506	0	0	0	0	67	
Zona II	304	65	198	175	0	0	0	23	0	
Zona VI	304	65	198	0	0	139	59	0	0	
Zona IV	243	65	158	140	0	0	0	18	0	
Zona III	213	65	138	122	0	0	0	16	0	
Zona V	91	65	59	59	0	0	0	0	0	
Zona VII	0	65	0	0	0	0	0	0	0	
Total	3,040	65	1,976	1002	298	388	164	58	67	

Nota 1: Los porcentajes presentados en la tercera columna de esta tabla fueron obtenidos mediante una estimación.

Nota 2: Los valores representan el número de posibles usuarios entre origen (estaciones de transferencia) y destino (zona) y viceversa.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Distribución Gráfica de las Líneas de Deseo
Estaciones de Transferencia - Zonas y viceversa



IV.7. Accesibilidad Peatonal.

Los muestreos del comportamiento horario de la demanda realizados en el estudio “Recomendaciones para mejorar el Sistema de Transporte Colectivo de CU” encierran a grupos de personas que pueden acceder a las distintas facultades a pie. Para efectos de los datos de diseño especificados anteriormente, estos grupos no se descontaron de la demanda de diseño. La decisión se tomó con base en los resultados obtenidos de unas encuestas habladas donde se verificó que algunos de los posibles usuarios prefieren hacer los recorridos a pie que esperar y acceder al sistema de transporte que funciona actualmente, aún cuando el tiempo de recorrido llegue a exceder los 10 minutos. Esto evidencia que con la implantación de un sistema de transporte más eficiente, dichos recorridos podrían disminuir notablemente.

Pese a esto, conviene puntualizar la configuración de la accesibilidad peatonal a CU y la cobertura peatonal que tienen algunas facultades y zonas administrativas.

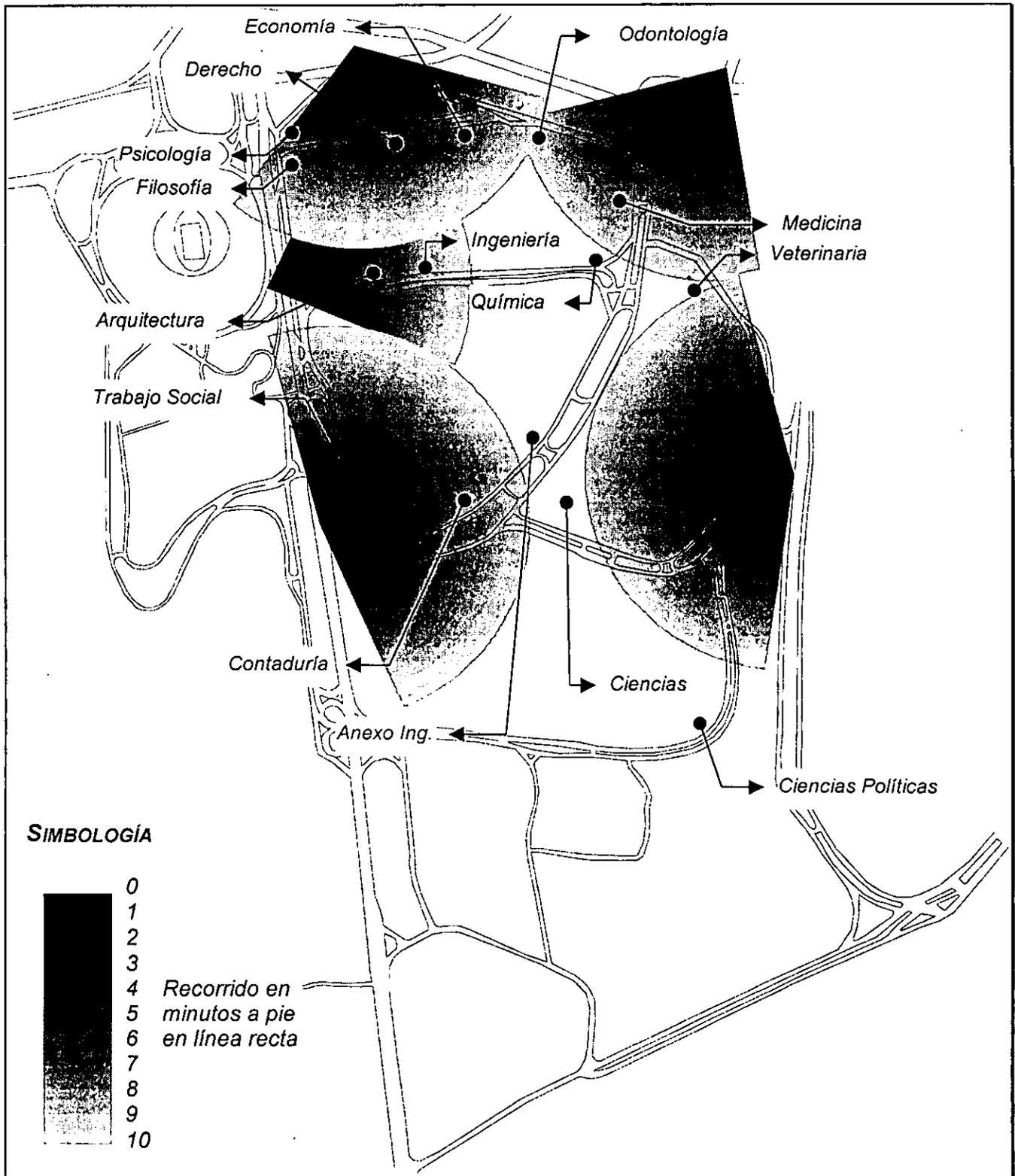
Se consideraron recorridos de 5 a 10 minutos de caminata, con distancias promedio de 350 y 700 metros (en línea recta) respectivamente. Desde las distintas estaciones de transferencia se tendrían los resultados siguientes.

Estación de Transferencia	FACULTADES		
	Accesibilidad en 5 min.	Accesibilidad en 7 min.	Accesibilidad en 10 min.
Metro Universidad	-	-	Veterinaria
Metro Copilco	Medicina	Química	Odontología
Eje 10 Sur	Derecho y Psicología	Economía y Filosofía	-
Insurgentes-Estadio I- Biblioteca Central	Filosofía, Psicología	Derecho	Arquitectura
Insurgentes-Estadio II – Rectoría	Arquitectura Filosofía	Ingeniería y Psicología	-
Insurgentes-Circuito Escolar	Trabajo Social	Contaduría	-

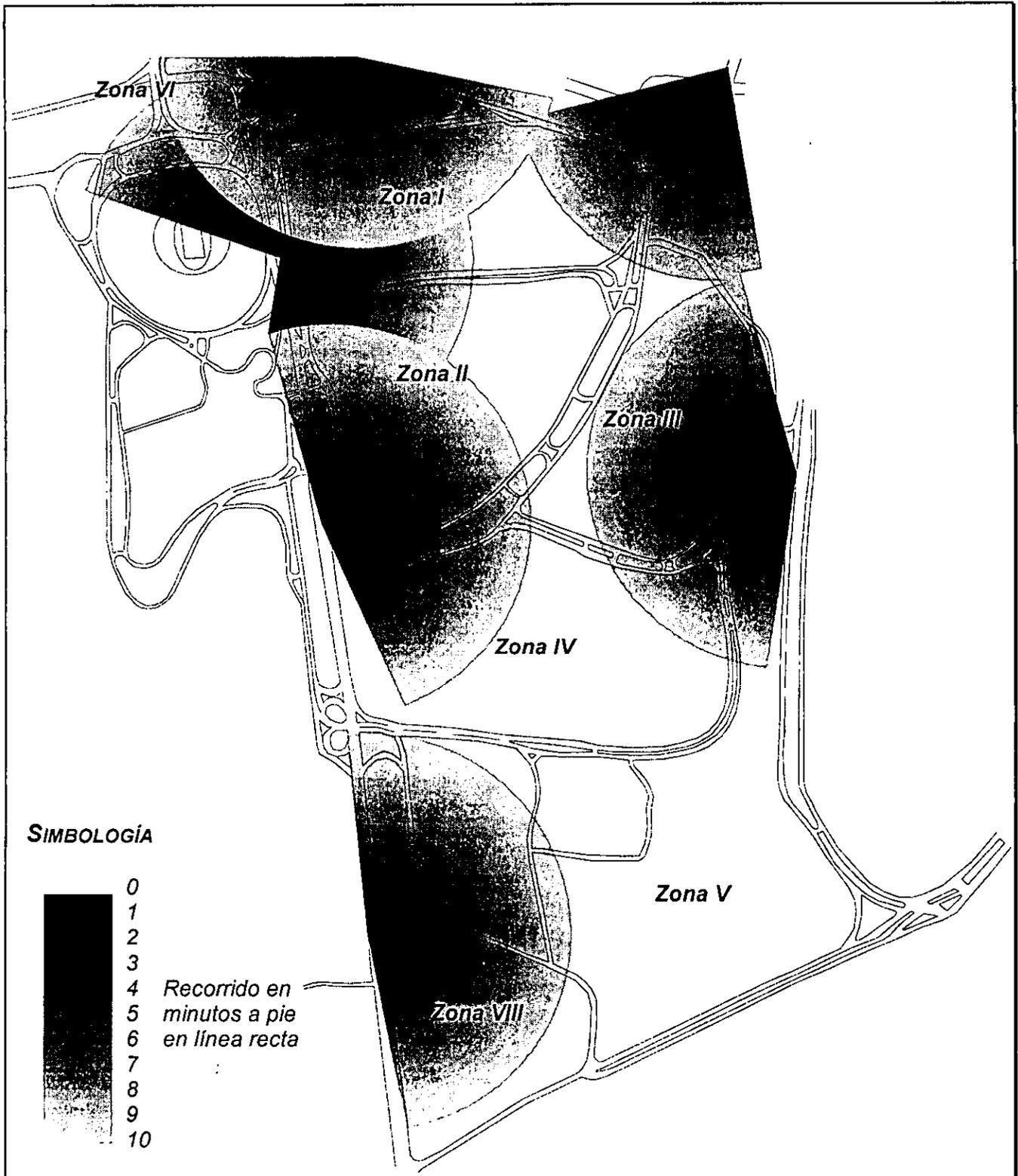
De igual manera podemos establecer la accesibilidad peatonal del personal administrativo a las distintas zonas de CU.

Estación de Transferencia	ZONAS		
	Accesibilidad en 5 min.	Accesibilidad en 7 min.	Accesibilidad en 10 min.
Metro Universidad	15% de la Zona III	50% de la Zona III 5% de la Zona IV	70% de la Zona III 10% de la Zona IV
Metro Copilco	-	-	15% de la Zona I
Eje 10 Sur	20% de la Zona I	25% de la Zona I	50% de la Zona I
Insurgentes-Estadio I – Biblioteca Central	15% de la Zona I 5% de la Zona II	20% de la Zona I 10% de la Zona II	45% de la Zona I 35% de la Zona II
Insurgentes-Circuito Escolar	15% de la Zona II 5% de la Zona IV	30% de la Zona II 10% de la Zona IV	50% de la Zona II 20% de la Zona IV
Insurgentes Llanura	15% de la Zona VIII	15% de la Zona VIII	15% de la Zona VIII

Accesibilidad Peatonal de la Población en Facultades



Accesibilidad Peatonal del Personal Administrativo



IV.8. Demanda por Actividades Recreativas

Los fines de semana principalmente, se efectúan en el campus universitario diversas actividades recreativas que traen consigo un movimiento importante de personas. Algunas de estas actividades son:

1. Encuentros deportivos en el Estadio Olímpico.
2. Eventos culturales de música, danza, teatro y cine.
3. Visitas a museos y al Jardín Botánico.
4. Practicas deportivas infantiles y estudiantiles.
5. Compras en las tiendas UNAM.
6. Días de campo
7. Paseos en bicicleta, patines, etc.
8. Juegos y deportes informales.

Todas estas actividades involucran a un gran número de personas, pero para efectos de la demanda de transporte en los periodos de máxima demanda señalados anteriormente, esta cantidad de personas no está vinculada con dichos periodos.

IV.9. Demanda de Población a Futuro

A partir de datos obtenidos en la *Agenda Estadística de la UNAM*, estudiamos el comportamiento demográfico que ha tenido Ciudad Universitaria a través de los años. El realizar el estudio de proyección de la demanda es de gran importancia para proyectos de

infraestructura y permite establecer la demanda a futuro en relación con la vida útil de dicho proyecto.

Dada la naturaleza de esta tesis, se incluyó una proyección de la demanda que arrojó resultados poco significativos debido a que Ciudad Universitaria no se rige por patrones demográficos estándares, sino que el crecimiento o disminución de la comunidad universitaria depende de decisiones institucionales. Se observó que en años recientes la población varió entre 130,000 y 138,000 personas.

El valor utilizado en la primera página de este capítulo que representa la población de Ciudad Universitaria en 1995, de 128,581 es menor debido a que los datos de la "Agenda Estadística" considera el total del personal administrativo, esto es, el personal administrativo en todos los planteles de la UNAM.

Para un comportamiento tan particular como el que se presenta en CU, se optó por basar los estudios de proyección de la población en las políticas de la institución referentes al crecimiento de este plantel. La Rectoría ha manifestado que se mantendrá constante la matrícula de estudiantes y que las variaciones de ésta serán poco significativas en el futuro. Por esto, la población de posibles usuarios para 1995 que se estudió en este capítulo será la misma que se considerará como demanda a futuro de Ciudad Universitaria.

IV.10. Demanda de Usuarios en Tránsito

En una red de peatones en tránsito como la que se genera en Ciudad Universitaria existe un número de ellos que realizan actividades dentro del campus que difieren del

simple hecho de entrar o salir. Algunos ejemplos de esto son: traslados a edificios anexos de las distintas facultades, al Centro Cultural, a las bibliotecas Nacional y Central, a los centros de investigación e institutos y a los distintos expendios de alimentos.

El número de personas involucradas en estas actividades es sumamente grande e igualmente difícil de determinar. Los autores creemos que estos posibles usuarios se deben considerar en el estudio de la demanda pero actualmente no existe información al respecto. Por otro lado, en la gráfica *Comportamiento Horario decreciente de la Demanda Total de Transporte* de la página 62 se estableció el tercer valor como la población de diseño. Este valor contempla que gran parte de la población que entra y sale de Ciudad Universitaria, lo hace al mismo tiempo en este intervalo de tiempo. Esto puede no presentarse del todo y ese excedente de demanda de diseño puede fungir como parte de los posibles usuarios en tránsito.

CAPÍTULO V

ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE

V.1. Sistema de Transporte Colectivo de Ciudad Universitaria (STCCU)

Del desarrollo de los dos anteriores capítulos se determinó la necesidad de hacer una revisión del sistema de transporte actual para la demanda de diseño expuesta. El procedimiento utilizado para tal fin consistió en:

1. Establecer el periodo de análisis (AM o PM).
2. Considerar las cinco rutas existentes actualmente.
3. Determinar para cada ruta los paraderos correspondientes.
4. Definir que rutas son abastecidas por cada estación de transferencia.
5. Asociar cada línea de deseo con cada ruta y estación de transferencia.
6. Dividir el volumen de la línea de deseo entre el número de rutas que van de una estación de transferencia a un paradero.
7. Repetir el procedimiento del punto 6 para todas las líneas de deseo.
8. Obtener el total de posibles pasajeros por ruta.

Para ejemplificar el procedimiento anterior podemos analizar el siguiente caso para la Facultad de Ingeniería.

1. Analizaremos el PMD matutino.
2. Consideraremos las rutas 1, 2, 2 corta, 3 y 4.
3. Ver los paraderos para cada ruta en las páginas 31-33 del Capítulo III.

4. El símbolo ✓ indica que una ruta sí es abastecida por una estación de transferencia hacia la Facultad de Ingeniería.

Metro Universidad					Metro Copilco					Eje 10 Sur					Ins.-Estadio I					Ins.-Estadio II					Circ. Escolar									
Rutas					Rutas					Rutas					Rutas					Rutas					Rutas									
1	2	2c	3	4	1	2	2c	3	4	1	2	2c	3	4	1	2	2c	3	4	1	2	2c	3	4	1	2	2c	3	4					
✓	✓	-	-	-	✓	✓	-	-	-	✓	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota: 2c es igual a la ruta 2 corta.

5. Los volúmenes (posibles usuarios en el PMD) de las líneas de deseo de cada estación de transferencia a la Facultad de Ingeniería son:

Facultad	Metro Universidad	Metro Copilco	Eje 10 Sur	Ins.-Estadio I y Biblioteca Central	Ins.-Estadio II e Ins.- Rectoría	Insurgentes-Circ. Escolar
Ingeniería	74	187	84	124	183	19

6. Los 74 posibles usuarios que van de Metro Universidad hacia la Facultad de Ingeniería se dividen en las rutas 1 y 2. Lo mismo sucede para los demás casos.

7. Las 74 personas se dividen de la siguiente forma: 37 por la ruta 1 y 37 por la ruta 2. Este procedimiento supone que para una línea de deseo en donde coincida más de una ruta se dividirá el número de usuarios equitativamente por simplicidad del método.

8. Se repite para todos los demás casos y se obtiene el total de posibles usuarios por ruta.

Para el sistema de transporte actual no se consideraron los usuarios que tengan una accesibilidad peatonal menor a 10 min. como se determinó en el Capítulo IV (pág. 83).

De esta manera, el total de posibles usuarios por ruta es:

PMD (AM)	Pasajeros	Recorrido (min.)	Pasajeros / Minibús	No. Minibús (teórico)	Frec. (min.)	No. Minibús (real)	Personas que Esperan
Ruta 1	2,988	24	80	30	1.5	16	1388
Ruta 2	1,547	25	80	16	1.6	16	47
Ruta 2c	787	15	80	5	3	5	0
Ruta 3	1,738	30	80	22	1.5	20	138
Ruta 4	787	17	80	6	3	6	0
TOTAL	7,846			78		62	1573

PMD (PM)	Pasajeros	Recorrido (min.)	Pasajeros / Minibús	No. Minibús (teórico)	Frec. (min.)	No. Minibús (real)	Personas que Esperan
Ruta 1	3,304	20.4	80	28	1.5	14	1704
Ruta 2	1,734	21.25	80	15	1.5	14	134
Ruta 2c	886	12.75	80	5	2.5	5	0
Ruta 3	1,832	25.5	80	19	1.5	17	232
Ruta 4	886	14.45	80	5	3	5	86
TOTAL	8,643			73		55	2157

De acuerdo a lo determinado en los cuadros anteriores, para satisfacer la demanda durante el PMD matutino se requerirían 62 minibuses transportando 80 pasajeros cada uno.

V.2. Mejoramiento del Sistema de Transporte Colectivo de Ciudad Universitaria.

Al analizar los resultados expuestos anteriormente, creemos que el STCCU actual no satisface total y eficientemente las necesidades que se presentan dentro del campus de la Universidad. Por esto, a continuación se presenta una propuesta de rutas alternativas que tienen un mejor funcionamiento (tiempo de recorrido menor, tiempo de espera menor, menor número de camiones y mejor distribución de las rutas).

Uno de los problemas principales que observamos fue que la mayoría de la gente entra por la estación Metro Universidad, a pesar de que la mayoría de las facultades de población alta se encuentran más cerca de la estación Metro Copilco (ambas pertenecen a la misma Línea 3 del Transporte Colectivo Metro). Esto se resolvería con la creación de una Estación Base en esta última estación de metro.

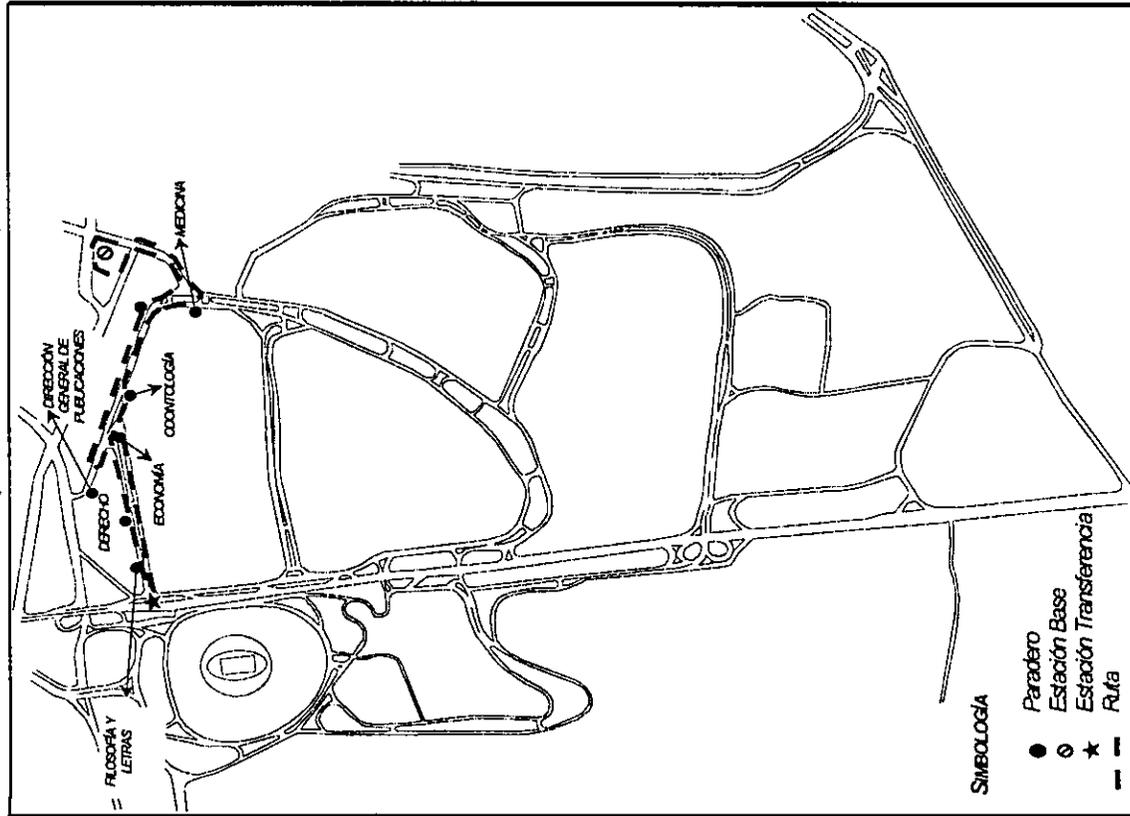
Otro más es el hecho de que hay usuarios que llegan al Campus por un extremo y su destino se encuentra en el extremo contrario. Por esto se buscó implantar rutas que crucen CU por el mismo trayecto, de oriente a poniente y viceversa.

El procedimiento utilizado para obtener la ocupación por ruta es el mismo que el realizado en el punto V.1., sólo que ahora se consideraron las 6 rutas mostradas a continuación. La frecuencia mínima considerada será de 90 segundos para evitar congestionamientos en los circuitos.

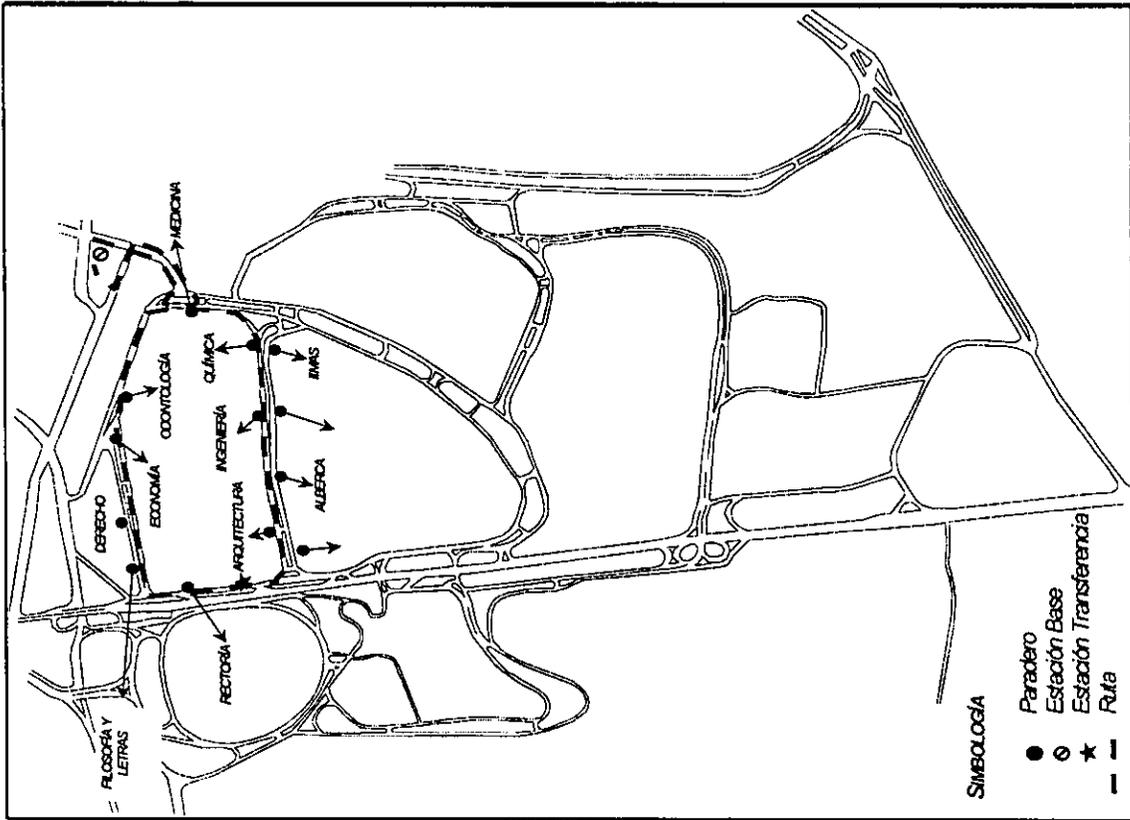
PMD (AM)	Pasajeros	Recorrido (min.)	Pasajeros / Minibús	No. Minibús (teórico)	Frec. (min.)	No. Minibús (real)
Ruta 1	1,120	14.91	80	7	2.7	6
Ruta 2	1,940	17.58	120	9	2.0	9
Ruta 3	1,280	9	80	5	2.3	4
Ruta 4	3,039	17	120	14	1.5	11
Ruta 5	1,777	19	80	14	1.5	13
Ruta 6	118	23	80	1	16.0	1
TOTAL	9,274			51		44

PMD (PM)	Pasajeros	Recorrido (min.)	Pasajeros / Minibús	No. Minibús (teórico)	Frec. (min.)	No. Minibús (real)
Ruta 1	855	12.67	80	5	2.5	5
Ruta 2	2,084	14.94	120	9	2.0	7
Ruta 3	1,110	7.65	80	4	2.0	4
Ruta 4	3,373	14.45	120	14	1.5	10
Ruta 5	1,867	16.15	80	13	1.5	11
Ruta 6	105	19.55	80	1	14.0	1
TOTAL	9,394			44		38

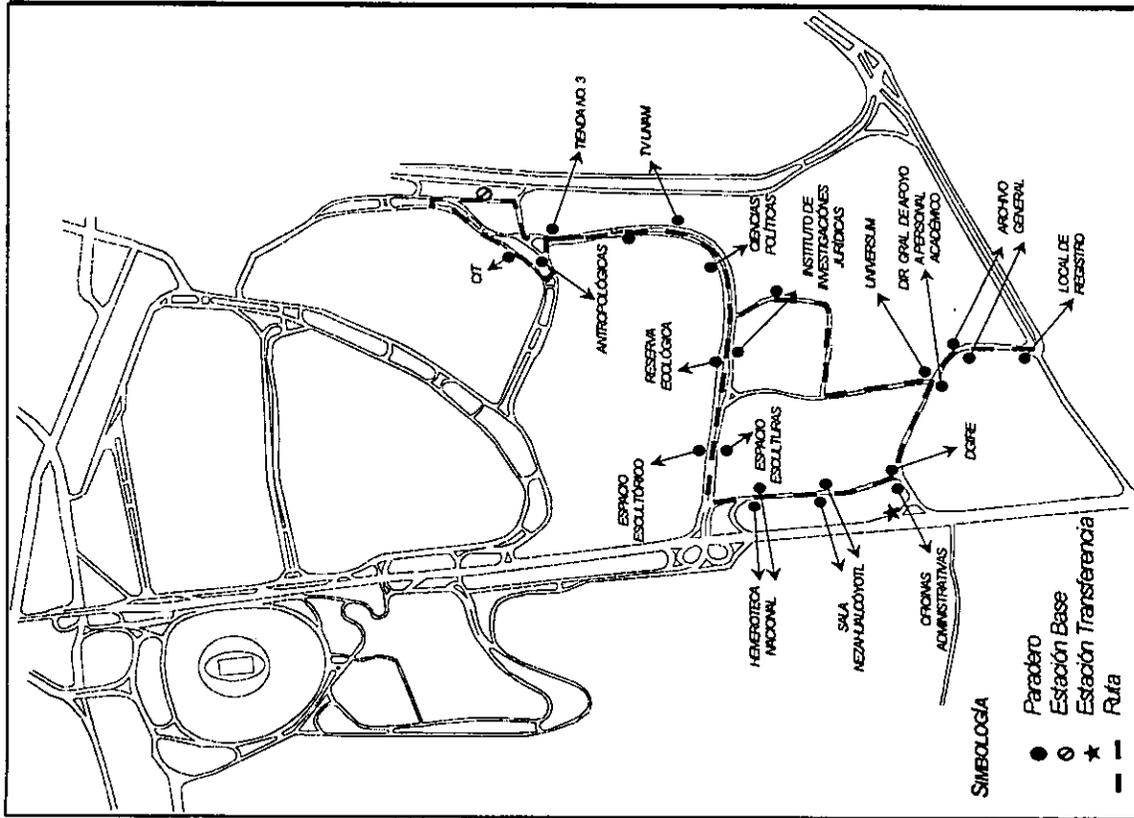
Ruta 1 (Recorrido: 4.7 Km.)



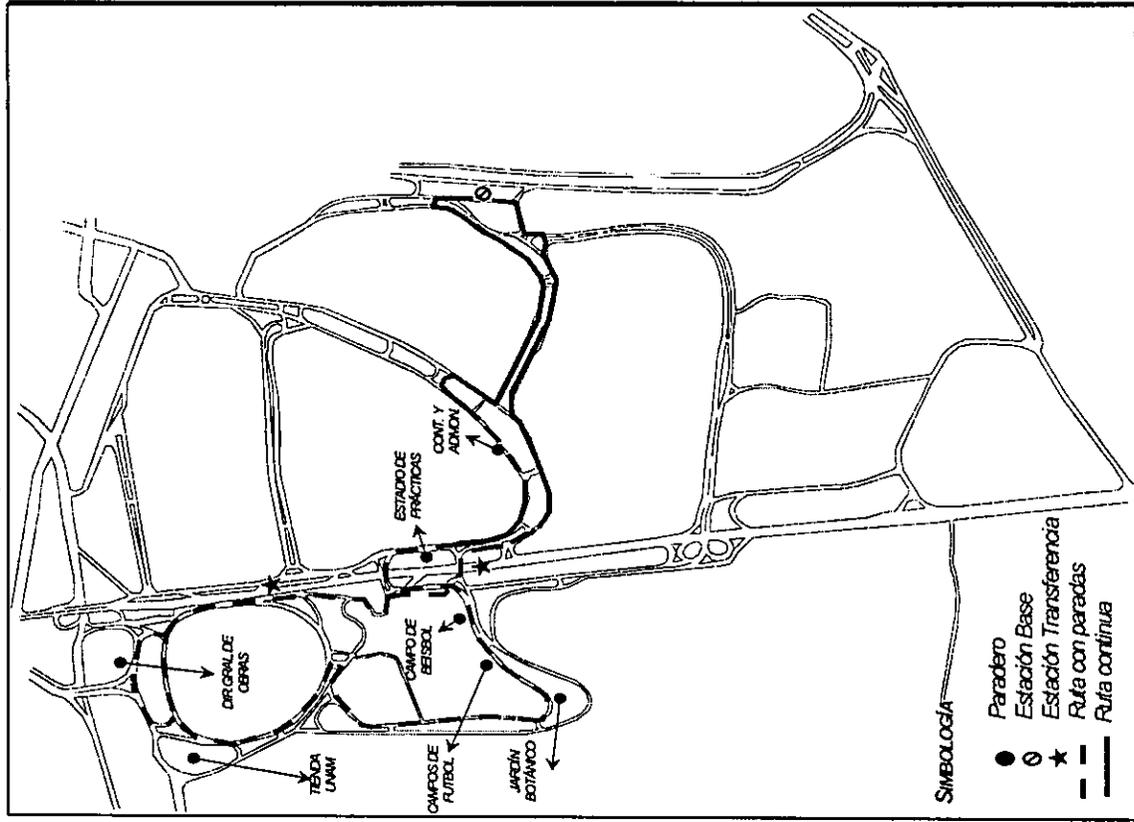
Ruta 2 (Recorrido: 4.5 Km.)



Ruta 5 (Recorrido: 6.5 Km.)



Ruta 6 (Recorrido: 9.5 Km.)



V.3. Vehículo Eléctrico UNAM

Investigadores destacados del Instituto de Ingeniería, miembros del Centro de Investigaciones de Diseño Industrial, la Facultad de Química y el Centro de Instrumentos iniciaron desde finales de 1993 un proyecto que consistió en el diseño, construcción y monitoreo de un minibús eléctrico, para transporte público, operado por baterías, llamado *Vehículo Eléctrico UNAM*. Los propósitos fundamentales del proyecto son: “Reducir considerablemente la emisión de contaminantes en zonas urbanas. Crear una base tecnológica en un área de importancia e influencia creciente. Contribuir a la formación de recursos humanos en el área del transporte no contaminante, asegurando la continuidad de las actividades de índole tecnológica y científica”.¹



El prototipo tiene las siguientes características:

- Capacidad: 30 pasajeros.
- Velocidad crucero: 40 Km/h.
- Aceleración inicial: 0.9 m/s^2 (0-40 Km/h en 14 seg.)
- Habilidad de pendiente (10%): 15 Km/h
- Radio de viraje: 7.5 m.
- Autonomía: 60 Km.
- Banco de baterías: 52 baterías selladas de plomo ácido que proporcionan 160 amp-h a 312 volts CD.
- Potencia del motor de tracción: 22 KW (30 HP).
- Peso total con carga: 6 Ton.

Los objetivos principales en el diseño del vehículo son el uso eficiente de la energía y la seguridad y comodidad de los pasajeros, así como la utilización de avances modernos de tecnología.

Una característica importante del sistema de control de la unidad de tracción es que éste se convierte en generador de energía al recuperar la generada durante el frenado enviándola a las baterías para recargarlas.

El vehículo cuenta con un sistema hidroneumático que prolonga la vida de las baterías reduciendo la intensidad de la corriente de carga y descarga.

El chasis está diseñado de acuerdo a las características mecánicas de un minibús de este tipo. La estructura está construida con materiales compuestos de fibra de vidrio y

¹ Chicurel, R., Serranía, F., *Vehículo Eléctrico UNAM, Proyecto Interinstitucional*, pág. 1.

resinas epóxicas. El espesor total de la estructura es de 25 mm y tiene un peso aproximado de 80 Kg.

“El Vehículo Eléctrico UNAM representa, para el Instituto de Ingeniería, una fuente de investigación y desarrollo que empieza con la terminación del prototipo. La parte medular del proyecto se encuentra en las innovaciones tecnológicas aplicadas al sistema de control de la unidad de tracción, al sistema hidroneumático para la recuperación de energía de frenado así como al chasis”.²

El desarrollo de la investigación planea ser alimentado con un sistema de adquisición de datos (a bordo) conectado a una computadora que proporcionará resultados precisos del comportamiento mecánico del vehículo. Esto se complementará obteniendo información del consumo de energía eléctrica por kilometro recorrido, aceleración, habilidad en pendientes y deterioro de las baterías durante la operación del prototipo.

Los autores de esta tesis consideramos que la inclusión del *Vehículo Eléctrico UNAM* al STCCU sería posible aunque en la actualidad sólo se cuenta con un prototipo. Se debe implantar la producción en serie del vehículo con los avances y mejoras que se obtengan en todo su desarrollo. Aún así, creemos que no se podría generalizar la utilización del vehículo debido al reducido número de pasajeros que puede transportar y poca duración de las baterías. Sin embargo podría utilizarse en las rutas cortas en las que la demanda de usuarios sea baja.

² Chicurel, R., Serranía, F., *op. cit.*, pág. 1.

V.4. Sistemas de Tránsito Rápido para Pasajeros

Un Sistema de Tránsito Rápido para Pasajeros (*PRT*) es una red de transporte automatizada en la que cada vehículo realiza trayectos origen-destino, sin hacer paradas intermedias.

La historia de la continua evolución de los Sistemas de Tránsito Rápido para Pasajeros *PRT* data del año 1953. Algunas de las ideas que rodean a los *PRT* se originaron hasta en el siglo pasado, pero fueron prematuras, poco apoyadas y después murieron. Desde 1953 la evolución ha sido continua aunque fluctuante. Continua porque el concepto de control automatizado, esencial para el *PRT* fue establecido firmemente en los años cincuenta; y fluctuante por razones que no tuvieron nada que ver con aspectos técnicos ni de su valor potencial para la vida urbana.

El desarrollo de sistemas automatizados de transporte urbano, dentro de los cuales está el *PRT*, que es considerado la meta, ha sido un proceso interactivo que ha involucrado una gran variedad de profesionales, políticos y ciudadanos. Es claro que todas estas personas vieron la necesidad de un complemento viable al automóvil y que dicho complemento no podía ser un modo de tránsito convencional. Sin embargo, otros conformaron un grupo que se ha manifestado en contra del *PRT* ya que creían que simplemente no era viable por razones técnicas o de otro tipo.

J. Schneider, Profesor Emérito en Ingeniería Civil de la Universidad de Washington en Seattle, propone los siguientes criterios para definir un *PRT* ideal:³

³ Jerry B. Schneider, *Twoard a Definition of an Ideal Personal Rapid Transit Technology*.

- ***Tipo de Operación***

- Vehículos, venta de boletos y control automatizados; 24 horas de servicio, reactivo a la demanda; preposicionamiento de los vehículos totalmente desarrollado (ej. colocar vehículos que estén listos para ocuparse en sitios donde se espera que la demanda se materialice).

- ***Características de la red***

- Circuitos en un solo sentido, algunos adjacents para permitir viajes en dos sentidos en corredores específicos.
- Todas las estaciones están “fuera de línea”⁴.
- Uno o dos encierros para minimizar el movimiento de vehículos vacíos en la red.
- Distancia entre estaciones: 500 metros o menos.
- Capacidad de la línea: a partir de 1,500 personas por hora por dirección.
- Dimensiones de las estaciones: lo más pequeñas posible.
- Elevación de la estructura variable.
- Capacidad de las estaciones: al menos 300 personas por hora por viaje.
- Localización de las estaciones: ubicadas de tal manera que el 85% de las personas puedan caminar de/hacia ellas en 5 minutos o menos.

- ***Características Geométricas***

- Radio de curvatura mínimo: 30-50 metros.
- 10 % de elevación de pendiente.

- ***Calidad mínima de Servicio (Distancia, tiempo de viaje y velocidad promedio)***

- 2 Km, 6 minutos, 20 Km/hr.

⁴ Los andenes de ascenso y descenso se encuentran fuera de la guía principal en una guía escape o desvío.

- 4 Km, 9.6 minutos, 25 Km/hr.
 - 6 Km, 20 minutos, 30 Km/hr.
 - 8 Km, 20 minutos, 40 Km/hr.
- **Confort y Conveniencia del Vehículo**
 - Todos los pasajeros sentados.
 - Fácil acceso.
 - Vehículos especiales para discapacitados.
 - Control climático.
- **Instalación**
 - La instalación podrá realizarse en calles con menos de 20 metros de ancho.
 - No se presentarán molestias en áreas colindantes.
- **Contaminación**
 - Contaminación del aire nula y por ruido mucho menor a cualquier otro sistema de tránsito.
- **Costos**
 - Entre 10 y 20 millones de dólares por kilómetro del sistema, incluyendo estaciones, vehículos y otras instalaciones.
- **Adaptación**
 - Posibilidad de aumentar la capacidad inicial.
 - Posibilidad de extender la red hacia otras áreas cercanas.
 - Posibilidad de adaptar el sistema con nuevas tecnologías.
 - Los vehículos pueden transportar artículos en contenedores con carga y descarga automatizadas.

- Diseño modular con la capacidad de ser construido por varios fabricantes autorizados.

Una parte importante del interés en los *PRT* vino a finales de los años sesenta y principios de los setenta en los Estados Unidos debido al éxito de la misiones Apollo y la necesidad de financiar nuevos proyectos por parte del gobierno. En la realidad esto se tornó mucho más difícil.

El Doctor y Profesor Emérito de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Minessota, J. Edward Anderson comenta que: "...Para desarrollar con éxito un *PRT*, el encargado debe examinar cada argumento técnico, social y económico de lo impracticable y debe estar satisfecho de que cada argumento es incorrecto o que implica suposiciones sobre ciertos parámetros físicos que no son necesarios..." "...Los costos de un *PRT* son grandes, debe existir consenso entre muchas personas de que valen la pena los gastos involucrados, no entra fácilmente entre la jurisdicción de una burocracia existente, el horizonte de la tasa de retorno es largo y no tiene una aplicación militar clara..."⁵

Durante las tres décadas pasadas, varios miles de millones de dólares de trabajo han sido invertidos en el desarrollo y aplicación de formas automatizadas de transportación en rieles o guiada. Este trabajo fue un necesario predecesor a los *PRT* y ha mostrado que el tránsito automatizado funciona en la vida diaria y que ha sido aceptado por el público. El resto de los sistemas como la línea Lindenwold-Philadelphia, los

⁵ J. Edward Anderson, *Some lessons from the History of Personal Rapid Transit (PRT)*, pág. 2.

sistemas SeaTac, de Tampa, el de la Universidad de Duke y muchos otros han funcionado durante dos décadas sin ninguna eventualidad. Aún así, su éxito permanece desconocido.

“Si estos sistemas funcionan, ¿por qué el interés en los *PRT*? Porque la combinación de vehículos pequeños y privados, los viajes sin paradas que es una de las características principales de los *PRT*, proporcionan la posibilidad en cierta medida de reducciones de los costos, servicio y accesibilidad que no se pueden obtener con los sistemas de tránsito convencionales donde los vehículos son grandes y se detienen en todas las estaciones. Del mismo modo utilizan muy poco espacio, son silenciosos y no contaminan el aire, por lo que un sistema *PRT* optimizado ofrece la posibilidad de diseñar centros de población más habitables. Un diseño apropiado utiliza muy poca energía y materiales, se le conoce como un proyecto de tecnología esencial en un mundo sustentable.”⁶

V.4.1. Inicios en los Estados Unidos:

Se le reconoce a Donn Fichter, ahora retirado del Departamento de Transportes de Nueva York, ser el inventor de los *PRT*. Como un estudiante especializado en el área de transporte en Chicago, empezó a pensar seriamente en 1953 sobre las ciudades y sus necesidades de transporte. Gradualmente desarrolló un concepto integrado a una ciudad y publicó sus ideas en 1964 en el libro “*Individualized Automated Transit and the City*” (La Ciudad y el Tránsito Individual Automatizado) donde se incluyen las ideas fundamentales

⁶ J. Edward Anderson, *op. cit.*, pág. 2.

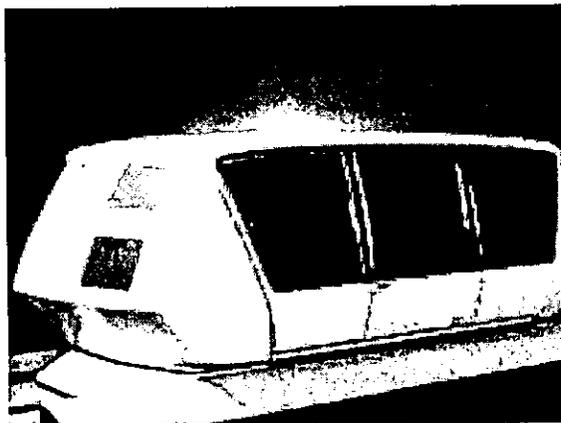
de los *PRT*. Aunque él no inició el desarrollo del sistema tecnológico, su acertado razonamiento tuvo gran influencia en los desarrollos posteriores.

- ***Hovair+LIM* de TTI:**

En los principios de los años 60's, un grupo en el Laboratorio de Investigación de General Motors trabajaba en un proyecto para el ejército de los Estados Unidos destinado a desarrollar vehículos suspendidos en el aire que pudieran funcionar en distintas superficies. Sobre pavimentos no tuvo gran éxito por su bajo poder. Como un vehículo suspendido no tenía contacto directo con el camino, un nuevo motor que no usara ruedas como tracción era requerido para que funcionase sobre pavimentos. La decisión que se tomó fue la de utilizar un motor de inducción lineal (*LIM*) y así fue como se originó un vehículo suspendido por aire con un motor *LIM* (*Hovair+LIM*). Este grupo se separó de la compañía y se convirtió en TTI, Inc., uno de los sistemas *PRT* líderes.

Una versión del *Hovair+LIM* de TTI ha estado en operación diaria por los últimos veinte años en el Centro de Medicina de la Universidad de Duke.

***Hovair+LIM* de la Universidad de Duke**



- **StaRRcar de Alden:**

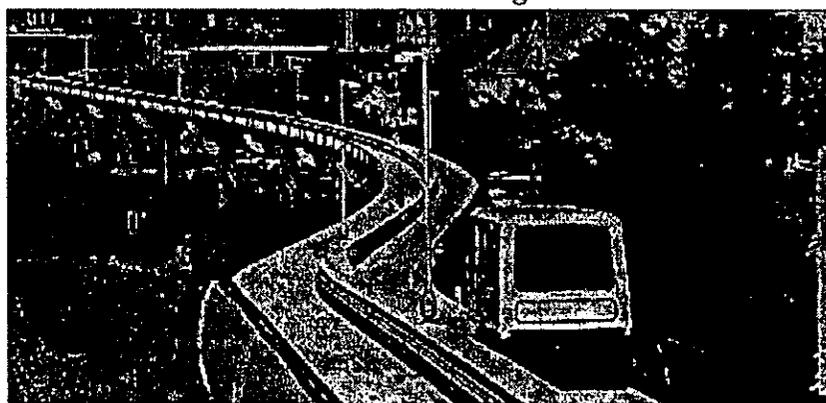
En 1960 William Alden, un graduado en Administración de Empresas de la Universidad de Harvard inventó un sistema de pequeños vehículos eléctricos que podían ser manejados desde cualquier lugar hasta una guía y de ahí a su destino. Esta propuesta es probablemente el primer sistema de tránsito dual que se desarrolló. Alden nombró su sistema staRRcar y creó su propia compañía llamada *Alden Self-Transit Corporation*. Años más tarde se verificó que un sistema dual sería mucho más difícil que un *PRT* “cautivo”. Cada vehículo cuenta con capacidad para seis pasajeros y para 1968 ganó una competencia en Morgantown en Virginia del Oeste.

A fines de los años 60 el profesor Samy Elias, jefe del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Virginia del Oeste se percató de la operación de distintos *PRT* en los Estados Unidos. La Universidad cuenta con tres campus en distintas partes de la ciudad y un sistema de camiones se utilizaba para transportar a las personas de un campus a otro. A determinadas horas del día estos camiones ocasionaban graves congestionamientos en el centro de la ciudad y el profesor Elias manifestó la posibilidad de utilizar un *PRT* para resolver los problemas de tránsito entre los planteles de la Universidad. Solicitó fondos para realizar una evaluación de distintas alternativas existentes y llegaron a la conclusión de que el sistema apropiado sería el staRRcar de Alden.

Hubo gran participación del Departamento de Transporte de los Estados Unidos y su presidente John A. Volpe, el cual buscó utilizar el proyecto como impulso para su administración. Estas presiones políticas obligaron a que el proyecto fuera cedido a la

NASA, Boeing y Bendix, entre otras empresas y que Alden quedara relegado. La carencia de experiencia de estos grupos en lo referente a los *PRT* ocasionaron que los costos se elevaran demasiado y que el proyecto fuera muy criticado. Esto se tradujo en un duro golpe para los *PRT* en general. No obstante, el *PRT* en Morgantown sigue en operación continua y se ha convertido en un factor determinante en la promoción de nuevos proyectos alternativos a éste en los años 90.

Sistema GRT⁷ en Morgantown



V.4.2. Actividades en otros países:

Los encargados de desarrollar los *PRT* fuera de los Estados Unidos obtuvieron sus ideas iniciales de los inventores norteamericanos y de la información obtenida en estudios realizados por la Administración de Transporte Masivo Urbano a partir de 1967.

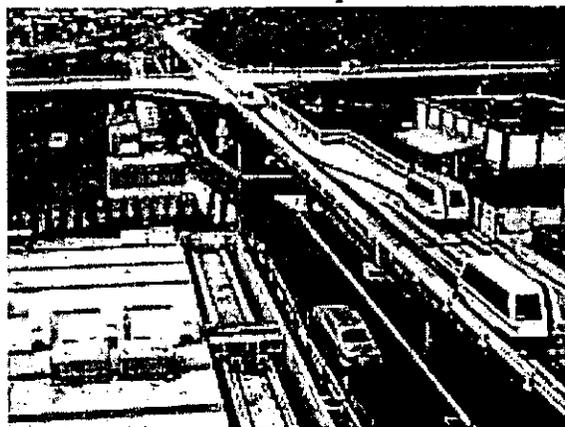
- *CVS* (Computer-Controlled Vehicle System):

Este *PRT* consiste en vehículos de 900 Kg de peso, capacidad para 4 pasajeros y fue desarrollado en Japón en 1968. Un tramo de este sistema inició su funcionamiento en

⁷ Ground Rapid Transit: Tránsito Rápido Terrestre.

1968 con 4.8 Km. de longitud y 60 vehículos. Este programa fue discontinuado por varias razones como el hecho de que el impacto visual del sistema era muy grande y los viajes eran muy incómodos. Años más tarde no se pudieron obtener los fondos necesarios para mejorar el diseño y este proyecto fue totalmente abandonado.

CVS en Japón



- **Cabinentaxi:**

En 1970 el Ministerio de Ciencia y Tecnología de Alemania se percató de que dos empresas alemanas, Messerschmitt-Bölkow-Blohm (MBB) y Demag, habían estado trabajando independientemente en conceptos de *PRT* muy similares entre sí. Como resultado, se inició un financiamiento de estas empresas por parte del gobierno donde cada parte aportaba el 50% de los recursos.

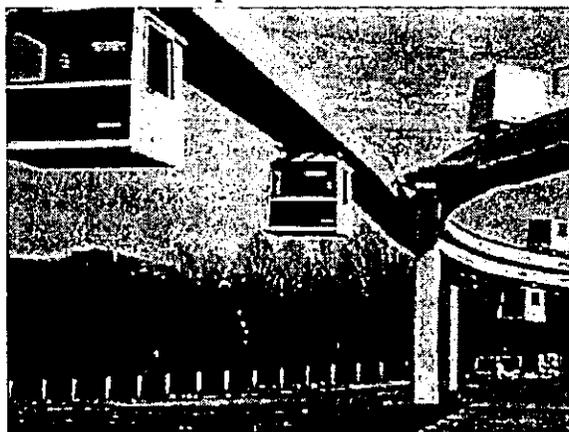
Los vehículos utilizaban neumáticos de hule y dos motores de inducción para su funcionamiento. Las pruebas a gran escala iniciaron en mayo de 1973 y para octubre de 1974 el sistema fue demostrado con éxito a la prensa alemana y al Ministro de Ciencia y Tecnología. Se elaboraron ambiciosos proyectos de planeación para estudiar el despliegue

del Cabinentaxi en las ciudades de Freiberg y Hagen. Estos estudios convencieron al equipo de que el proyecto podría incorporarse exitosamente en ciudades alemanas.

A fines de los 70's, mientras se promocionaba en los Estados Unidos, se inició la etapa de estudios de este sistema con vehículos de hasta 100 personas. El costo menor se determinó para la versión inicial del vehículo con capacidad para 3 pasajeros. Entre tanto, se realizó en Alemania un programa para construir la versión de 12 pasajeros en la ciudad de Hamburgo. Para 1977 se contaba con una guía de 1.9 Km de longitud, 3 estaciones y 24 vehículos.

Debido a la crisis económica de 1980, que trajo consigo drásticos recortes en el presupuesto del gobierno, éste retiró su apoyo del proyecto. "... Desde la perspectiva actual, es muy infortunado que el proyecto del Cabinentaxi haya sido suspendido porque hubiera podido mostrar que los *PRT* funcionan y podrían estar suministrando una transportación mejorada en muchas ciudades..."⁸

Prototipo del Cabinentaxi



⁸ J. Edward Anderson, *op. cit.*, pág. 9.

El Cabinetaxi es el único verdadero *PRT* que se ha construido en cualquier parte del mundo. Es único debido a que los vehículos viajan por encima y por debajo de la guía lo que permite viajes en dos direcciones con la misma guía. Otras de sus características son las siguientes:

- Vehículos pequeños y cómodos con asientos disponibles en las estaciones y listos para su utilización.
- Operación origen-destino sin transferencias ni paradas intermedias por medio de la utilización de andenes “fuera de línea” en cada estación.
- Total aislamiento de este medio de transporte con otros por el uso de guías elevadas a lo largo de la instalación.
- Operación totalmente automatizada.
- Propulsión de inducción lineal que emite poco ruido y contaminación nula.

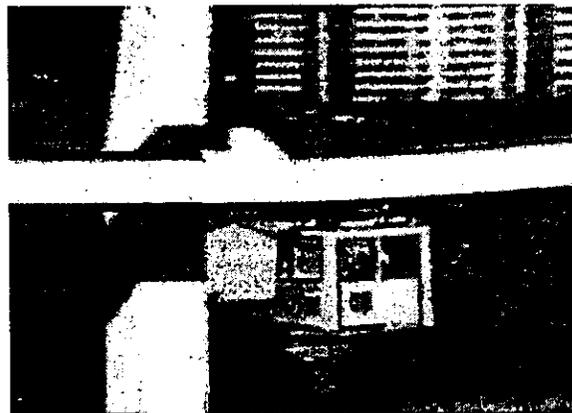
Con respecto a las características técnicas podemos mencionar:

- Estaciones espaciadas entre 300 y 800 metros.
- 3 asientos sin cupo para gente de pie.
- Velocidad de 36 Km/h.
- Operación con capacidad de un 20%: 5,000 veh/hr ó 15,000 asientos/hr y con capacidad de un 100%: 7200 veh/hr ó 21,600 asientos/hr.
- Tres sistemas de frenado independientes con una distancia de frenado de emergencia de 7 metros.

Vista de la guía



Vista de un vehículo



V.4.3. Los PRT a partir de 1974:

Septiembre de 1974 fue el momento que cambió el desarrollo de los *PRT*. Las personas interesadas en este concepto no podían obtener financiamiento gubernamental. Uno de los principales problemas fue la existencia de gran variedad de ideas, sin coherencia entre sí, que habían sido desarrolladas con una teoría carente de conocimientos suficientes sobre la relación costo-eficiencia, y que no ayudaron a los diseñadores a realizar las selecciones adecuadas en el posible diseño de un *PRT*. Además, existía una gran variedad de factores como el costo, la capacidad, los hábitos de los viajeros y la seguridad personal que no siempre eran incluidos en los diseños, y para lograr una comprensión correcta del problema de un *PRT*, deben ser incorporados en el proceso de toma de decisiones.

Las ideas de los *PRT* continuaron promoviéndose y para junio de 1983 y con la ayuda de dirigentes en la Universidad de Minnesota, se formó una compañía para continuar trabajando con estas ideas. En agosto de 1986 la Autoridad de Transporte del Área de Chicago (*CRTA*) mostró interés en el desarrollo de un nuevo concepto de *PRT*.

Este grupo había llegado a la conclusión de que no podían resolver sus problemas de transporte únicamente con más calles y sistemas de trenes convencionales y que se requería de algo nuevo. Este interés originó un programa de desarrollo para un *PRT*. En su primera fase un equipo conformado por la compañía Taxi 2000 y otro por Intamin A.G., desarrollaron diseños simultáneos de *PRT*. En una segunda fase, que inició en octubre de 1993, la *CRTA* eligió al sistema Taxi 2000 y a la empresa Raytheon como contratista principal para diseñar, construir y operar un sistema *PRT* de prueba llamado *PRT 2000*[™].

Modelo del *PRT 2000*[™]

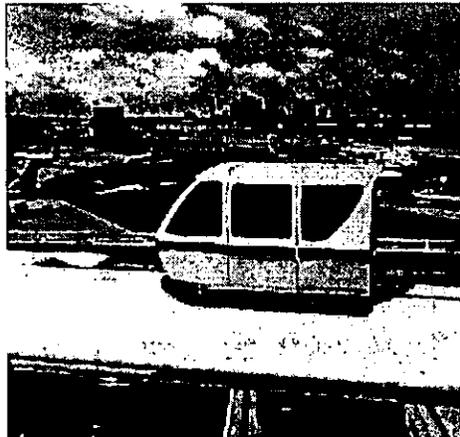


La empresa Raytheon desarrolló el análisis sistemático de los problemas de tránsito urbano por más de una década a través del diseño de 46 opciones de diseño. El requerimiento de costo-efectividad para reducir los costos y aumentar la capacidad de servicio del sistema, para que éste pudiera funcionar con ganancias, era una meta primordial.

Un breve resumen de sus características primordiales es el siguiente: una guía única para obtener velocidades promedio grandes, que debe ser pequeña para disminuir el costo y el impacto visual. La velocidad promedio es máxima si todas las paradas intermedias son eliminadas; siendo esto posible si todas las paradas se encuentran en una guía *by-pass* fuera de la guía principal y si los vehículos utilizados son lo más pequeños posible. Afortunadamente, los análisis de dinámica estructural han mostrado que el peso de la guía se reduce en un factor de 15, para los vehículos pequeños, comparado con los sistemas de transporte elevados convencionales (como el monorriel). Para minimizar el costo, los vehículos deben ser lo suficientemente pequeños para que puedan ser utilizados por grupos reducidos de personas que viajan juntos.

El viaje sin paradas es hecho posible por las estaciones “fuera de línea”. La capacidad del sistema es maximizada si las estaciones están ubicadas cerca una de la otra en una red de guías interconectadas que eliminan la necesidad de que los pasajeros hagan transferencias entre línea y línea.

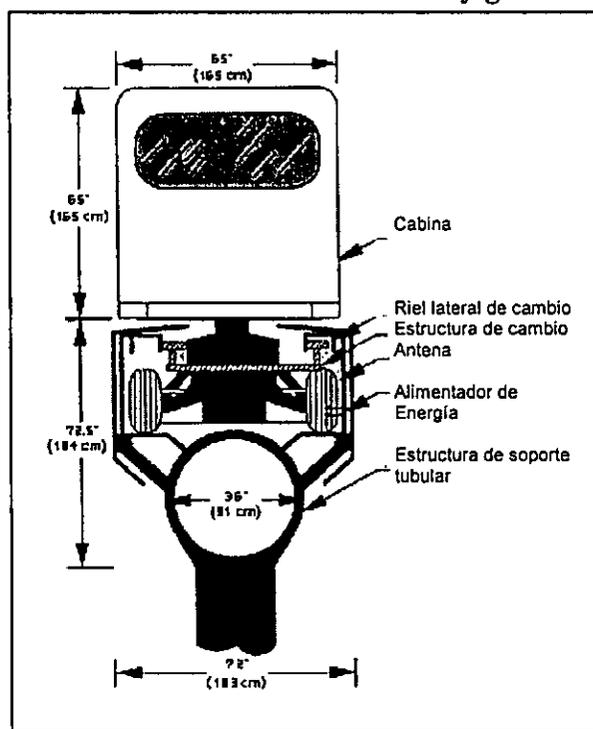
**Modelo del PRT 2000™ para
el Aeropuerto Logan de Boston**



Los análisis de costo de operación y mantenimiento por pasajero/Km mostraron que los costos son mínimos si la operación se efectúa de manera estricta con base en la demanda, y los vehículos vacíos son reubicados por una computadora central desde las estaciones con vehículos en exceso hacia las estaciones con faltantes. Para disminuir los costos, los vehículos deben esperar en las estaciones “fuera de línea” moviéndose sólo si se requieren viajes. Esto funciona de forma contraria a los sistemas de tránsito convencionales, donde los vehículos deben moverse en un itinerario independiente de las fluctuaciones de la demanda de pasajeros, ocasionando que los pasajeros esperen a los vehículos.

Para permitir la operación con la mínima separación posible entre vehículos, *PRT 2000™* utiliza una combinación de un motor eléctrico y microprocesadores, los cuales no estaban disponibles hace una década en el tamaño y peso requeridos. Estas características permiten una gran capacidad con alta seguridad, confiabilidad y un grado mínimo de ruido y contaminación. *PRT 2000™* está construido con tecnología disponible, probada durante dos décadas en aplicaciones industriales y militares de transporte automatizado. Cada vehículo vacío tiene un peso de 2 toneladas, una capacidad máxima de 4 pasajeros, una longitud de 3.96 metros y una velocidad máxima de 48 Km/hr.

Corte de sección del vehículo y guía



En cada estación, un mapa de la red es colocado cerca de una máquina de boletos similar a un cajero automático. El usuario elige su destino en la red y su forma de pago la cual puede ser dinero en efectivo, una tarjeta "prepagada" o una tarjeta de crédito. La máquina le entrega entonces al usuario un boleto con el destino codificado magnéticamente. En la plataforma de abordaje, el usuario introduce el boleto en una ranura frente al primer vehículo desocupado en una fila como la de un sitio de taxis. El boleto es leído, el destino registrado y enviado a un microprocesador a bordo del vehículo. La puerta se abre, el usuario o los usuarios entran y la puerta se cierra. Esta acción informa al microprocesador que el vehículo se encuentra listo para partir. Una computadora detecta un espacio en la guía, el vehículo acelera, se incorpora al flujo de tráfico que está pasando por la estación y continúa sin paradas hasta el destino planeado.



Detalles de las estimaciones de costo han mostrado que en gran cantidad de aplicaciones, el *PRT 2000*TM puede ser construido y operado con costos mucho menores a los existentes para otros medios de transporte. El resultado representa además, el doble de eficiencia energética con la combinación de viajes sin paradas y vehículos ligeros.

“...El resultado de minimizar los costos es una tecnología humana. *PRT 2000*TM requiere que los vehículos esperen a las personas y no que las personas esperen a los vehículos. El *PRT 2000*TM brinda viajes cortos, predecibles y sin paradas en una red de guías, un asiento para cada pasajero, control de temperatura, sin transbordos, una espera mínima o nula, servicio las 24 horas, privado, facilidad de uso, sin acumulación de personas, nada de ruido ni emisión de contaminantes, máxima seguridad, ocupa poco espacio y presenta una mínima afectación a las actividades cotidianas cuando se instala el

sistema. El sistema puede transportar además, correo, muebles, basura, equipaje y otros artículos...”⁹

En el informe “*Status Report on Raytheon's PRT 2000 Development Project, Nov. '96*”¹⁰ se menciona que Raytheon está actualmente construyendo el sistema con una separación entre vehículos equivalente a 2.5 segundos que proporciona una capacidad de 1,440 vehículos por hora, para 1,730 usuarios por hora, asumiendo un promedio de 2 pasajeros por vehículos y un 60% de efectividad, esto es 40% de los vehículos vacíos o perdidos por estar en movimiento hacia estaciones que los demandan. La compañía espera disminuir la separación entre vehículos equivalente a 1 segundo lo que implicaría un 150% de aumento en la capacidad con las mismas consideraciones anteriores.

Raytheon va a probar y perfeccionar el sistema por un año, fecha en la que se determinará si el *PRT 2000*[™] será implantado en un centro de convenciones y hoteles en la zona Rosemont, cerca del Aeropuerto Internacional O'Hare en la ciudad de Chicago. Diseños preliminares para el *PRT 2000*[™] se han realizado para el aeropuerto Logan de Boston, la ciudad SeaTac cerca del aeropuerto de la ciudad de Seattle Washington, y un área en la ciudad de Gotenburgo, Suecia.

Raytheon ha comprado los derechos de diseño a J. Edward Anderson. El diseño original de Anderson era más pequeño y liviano que el *PRT 2000*[™]. Él había contemplado vehículos de 700 Kg de peso para 3 pasajeros, pero la *CRTA* afirma que el incremento en

⁹ S. J. Gluck, et.al., *op. cit.*, pág. 4

¹⁰ Peter Samuel, *Status Report on Raytheon's PRT 2000™ Development Project*, pág 1-7.

peso y tamaño se debe a la necesidad de proporcionar espacio para sillas de ruedas. Anderson quería motores de inducción lineal en lugar de los motores eléctricos y neumáticos de tracción.

PRT tiene el respaldo de un número pequeño de brillantes ingenieros americanos y otros especialistas en transporte que afirman que el ambiente político actual exige que los proyectos de transporte deben poseer el poder autofinanciarse. Raytheon y la *CRTA* han asimilado esta idea para lograr construir un sistema con un costo de 14 millones de dólares por kilómetro con un estándar elevado de servicio y muy bajos costos de operación.

V.5. Diseño de un *PRT* para Ciudad Universitaria: un Enfoque Gráfico Interactivo.

El concepto básico del diseño de un *PRT* para Ciudad Universitaria es proveer a los usuarios una forma rápida y fácil para trasladarse de o hacia una estación de transferencia o a otros destinos dentro del *campus* sin usar un automóvil o un autobús y así reducir el tráfico, demoras, contaminación ambiental, problemas de estacionamiento en o alrededor de los centros de trabajo, de investigación, culturales, recreativos, facultades y escuelas. Ciudad Universitaria es ya un centro urbano muy poblado que padece de problemas graves de tráfico en ciertas horas del día. El constante desarrollo de este centro continuará arrojando más problemas de estacionamiento, capacidad de la vialidad y consecuentemente de tráfico. Si Ciudad Universitaria fuera provista de un *PRT* que estuviera conectado adecuadamente a las estaciones de transferencia de los sistemas

de transporte del D.F., muchas más personas podrían accederla, de manera más eficiente, sin la necesidad de utilizar otros medios de transporte.

Para este propósito, un programa de computadora interactivo, llamado *Circulator-CAD*, fue utilizado para el diseño del sistema *PRT* dentro de Ciudad Universitaria. El programa *C-CAD* se diseñó como una herramienta en el proceso de planeación. Éste permite al usuario generar y evaluar una amplia gama de arreglos físicos que permiten evaluar su factibilidad bajo una amplia gama de conceptos en la etapa preliminar del estudio.

V.5.1. Diseño de la Red mediante una Base de Datos en Pequeña Escala

Como todos los accesos a un sistema *PRT* tienen que hacerse caminando de o hacia las estaciones, este enfoque considera la determinación del número y ubicación de las estaciones como algo de suma importancia. Esencialmente, esto significa que las estaciones deben estar ubicadas lo más cerca posible a las personas que pueden utilizarlas. Asimismo el número de estaciones debe ser lo suficientemente grande para brindar a un gran número de usuarios una buena accesibilidad peatonal (en nuestro caso 3 minutos o menos).

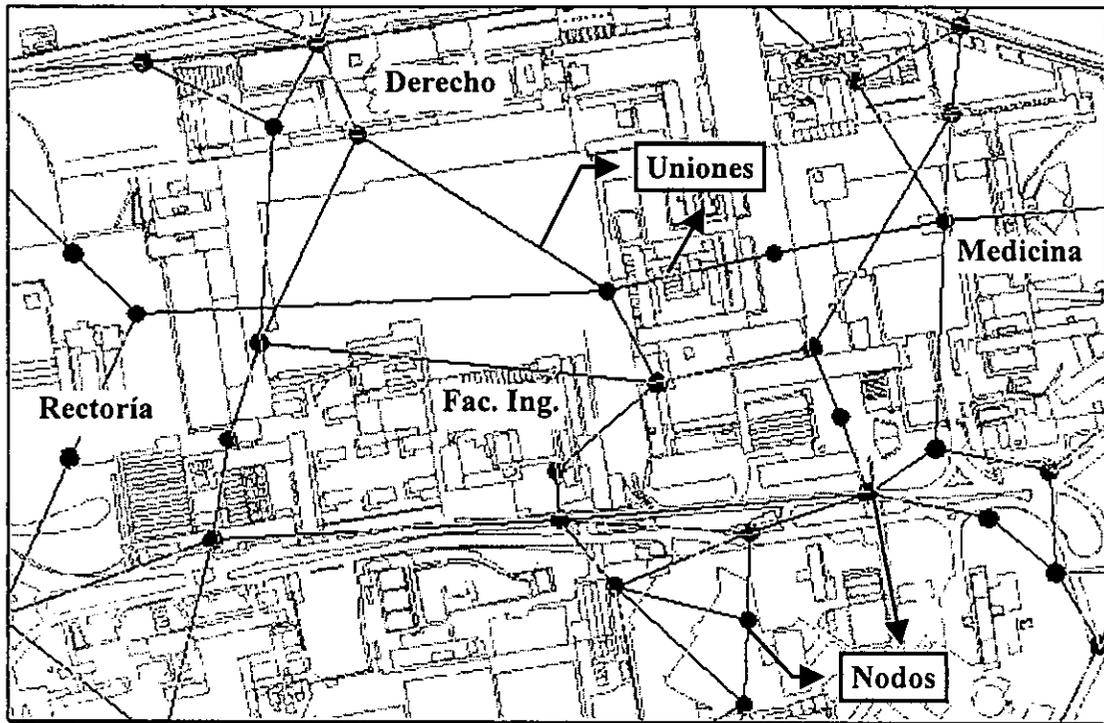
Como en cualquier estudio de planeación de tránsito auxiliado por computadora, la tarea más difícil es desarrollar una base de datos que pueda ser utilizada para apoyar el proceso gráfico e interactivo de planeación auxiliado por computadora. En el caso del diseño de la red de un *PRT*, una base de datos en pequeña escala, que pueda ser utilizada

para representar las características de los viajes de los peatones, la red de calles, la señalización que controla el movimiento de autos y peatones debe ser desarrollada.

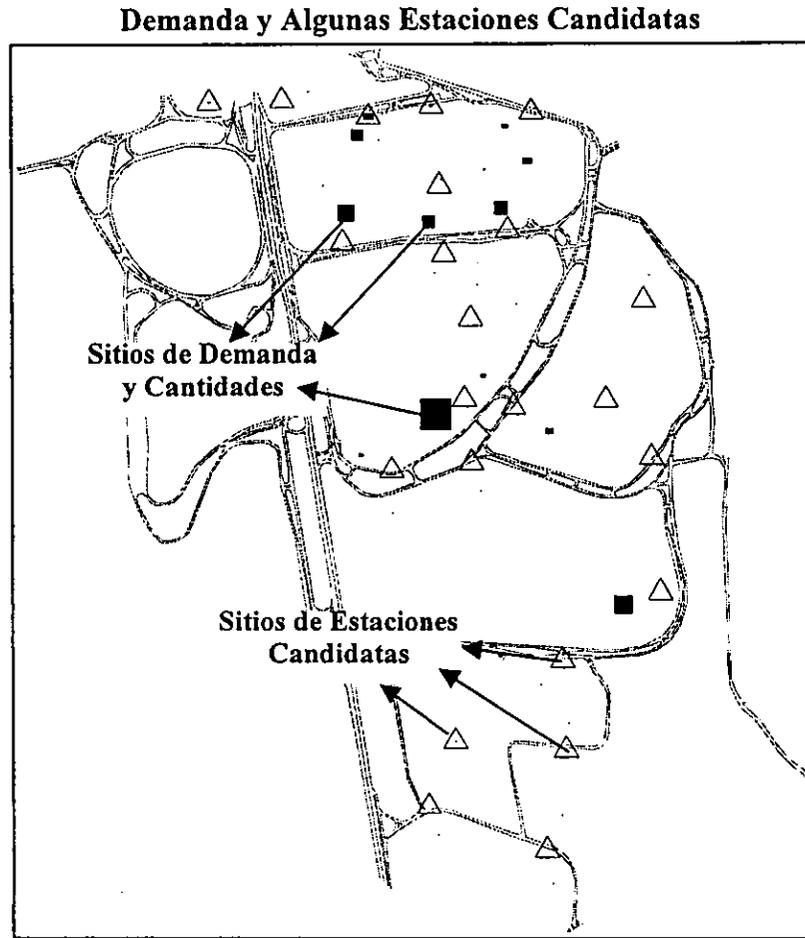
El primer elemento de esta base de datos consiste en una red formada por una serie de tramos (caminos) y nodos (sitios). A los tramos se le asigna una distancia una velocidad de viaje y un tiempo de viaje. Los nodos representan intersecciones en las calles y otros lugares como el mezzanine de un edificio o la esquina de una banqueta que define a un crucero. La red de caminata de los peatones describe los caminos posibles de los transeúntes que están disponibles y los retrasos que se les presentan al tratar de cruzar una calle, por ejemplo.

La siguiente figura ilustra una porción de la red usada en este estudio. Pudiera ser más detallada pero en este sentido proporciona una representación razonable de los caminos que existen para los peatones. En la mayoría de los casos, un centro de demanda está representado por un solo punto y los tramos de y hacia el edificio están representados como líneas rectas hacia sitios adyacentes. El movimiento vertical no está indicado explícitamente en este estudio; podría representarse asignando una velocidad menor a un tramo para considerar el tiempo necesario para utilizar un elevador, por ejemplo. Probablemente, una red mucho más detallada daría por resultado tiempos de caminata mayores que los calculados en este estudio, incluiría más nodos y menos caminos directos.

Porción de la Red de Ciudad Universitaria



El segundo elemento es la descripción de la ubicación de los posibles usuarios en el sistema. La información obtenida en el Capítulo IV de esta tesis fue la que se utilizó para conformar este segundo elemento. El resultado es una lista de nodos o sitios con el número de personas en cada uno que necesitarán caminar a la estación del *PRT* más cercana para acceder al sistema. Este elemento de la base de datos es una representación aproximada de la distribución espacial de la demanda (número de personas) en el área de estudio. La representación gráfica de esta base de datos de demanda se muestra en la figura siguiente. En esta figura el tamaño de los rectángulos representa el número de personas en cada sitio (su ubicación de origen) que desean utilizar el sistema. Las estaciones de transferencia a los diversos medios de transporte del D.F. y algunas de las estaciones candidatas conforman los destinos a los cuales desean llegar los usuarios.



El tercer elemento de la base de datos describe el conjunto sitios deseados y viables para las estaciones *PRT*. La elección de estos sitios se llevó a cabo realizando inspecciones visuales de las zonas donde se pretenden ubicar las estaciones. En este estudio se identificaron 92 sitios posibles. Algunas de estas 92 estaciones candidatas se muestran en la figura anterior como triángulos.

Las características generales de la base de datos desarrollada para Ciudad Universitaria son las siguientes:

- Número de nodos de la red: 152
- Número de tramos en la red: 425
- Número de centros de demanda: 40
- Número de estaciones candidatas: 92
- Número de nodos con demora: 27
- Demanda media por nodo: 299 personas
- Rango de demanda en los nodos: 23 – 2036 personas

V.5.2. Determinación de los Objetivos en el Diseño

Además de desarrollar la base de datos a pequeña escala, es necesario determinar un conjunto de objetivos que precisen el desempeño del sistema. Esto debe realizarse con la participación de los usuarios los cuales están de acuerdo en que la parte más molesta de un viaje en un sistema de transporte no es el viaje en el sistema sino el trayecto a pie para acceder a él. Una vez que una persona está sentada en un vehículo en movimiento, los tiempos de recorrido pasan a ser de menor importancia.

Debido a que el sistema está enfocado hacia los usuarios, el principal objetivo es que ellos accedan al sistema en un corto tiempo. Los objetivos generales para alcanzar este fin son tres:

1. Éste es el más importante y consiste en determinar tres pares de valores que representan la “cobertura” del sistema. Cada par está constituido por un porcentaje de la demanda que se va a satisfacer, asociado a un tiempo de caminata en minutos (en “X” minutos caminando el “Y%” de las personas pueden acceder a una estación).

2. El tiempo promedio en minutos de viaje (de o hacia una estación) en toda el área de estudio o el tiempo para algunas estaciones específicas.
3. La demanda promedio esperada en toda el área de estudio o la demanda en algunas estaciones específicas.

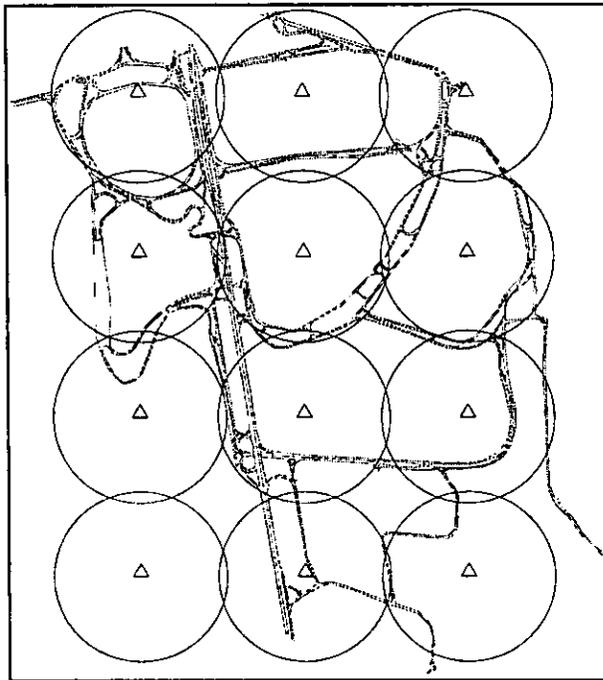
Para nuestro caso, el primer objetivo busca cubrir el 75% de la demanda en 2 minutos y el 100% de la demanda en un máximo de 3 minutos caminando. Entre las 92 estaciones candidatas deben existir un grupo de ellas que satisfagan mejor la demanda. El procedimiento simplemente consiste en buscar un número de estaciones (menor a 92) y su ubicación, que cumplan con los objetivos de diseño.

V.5.3. Optimizar el Número y Localización de las Estaciones

Por lo general, es recomendado trabajar dentro de un límite superior y uno inferior del problema para minimizar el esfuerzo requerido para llevar a cabo la búsqueda. Para el límite inferior se puede utilizar el enfoque convencional que es tener una estación cada 800 metros para que nadie tenga que caminar más de 400 metros para llegar a una estación. Esta regla considera que la demanda está uniformemente distribuida y que caminar en cualquier dirección es igual de sencillo y rápido. Esto es falso en la realidad. Como se muestra en la siguiente figura, el aplicar este enfoque convencional para Ciudad Universitaria dio por resultado 12 estaciones ubicadas a 800 metros una de la otra. Cuando los valores de cobertura se calculan para estas doce estaciones, muestran porcentajes de 1.1 %, 25.3% y 42.4% para los tiempos de caminata de 1, 2 y 3 minutos.

Como estas cantidades son evidentemente insuficientes con relación a nuestros objetivos, podemos inferir que se necesitan definitivamente más de 12 estaciones.

**Doce Círculos Superpuestos en
Ciudad Universitaria**



Es lógico pensar que no vamos a necesitar 92 estaciones para dar servicio a esta pequeña área. El siguiente paso es estimar el número mínimo de estaciones que puedan alcanzar los objetivos de cobertura planteados. Claramente, esto va a ser un procedimiento iterativo de ensayo y error cuya duración y dificultad dependerá de la habilidad y criterio de los encargados de llevar a cabo este proceso. Se debe seleccionar el número de estaciones a examinar y una vez que esto sea realizado, el problema es alimentado a un programa de computadora que realizará la búsqueda de los “mejores” sitios para ese número dado de estaciones.

Este programa, llamado *OPTIMAL*, es utilizado para realizar una búsqueda heurística¹¹ para encontrar la ubicación de “X” estaciones que estarán localizadas lo más cerca posible de las personas que tienen que caminar hacia ellas. El programa “encuentra” un conjunto de sitios ubicados lo más cerca posible a la distribución de la demanda en Ciudad Universitaria. Posteriormente es realizado el cálculo del nivel de cobertura que este conjunto de estaciones proporciona. Para nuestro caso se decidió realizar la primera búsqueda utilizando solamente 28 estaciones. El programa *OPTIMAL* fue ejecutado y generó 3,384 distintos patrones de ubicación de las 28 estaciones hasta que no pudo encontrar una mejor solución y detuvo la búsqueda. El nivel de cobertura obtenido para la caminata de hasta 3 minutos fue de 99.8%. Este nivel de cobertura cumple con los objetivos planteados pero lo hace con un número muy grande de estaciones encareciendo al sistema. En las iteraciones subsecuentes se fue buscando lograr un nivel de cobertura similar con un número menor de estaciones. En la séptima y última iteración se obtuvo un nivel de cobertura de 98.9% con 26 estaciones. Sólo se redujo el número de estaciones en dos pero se reubicaron de forma que se logró un porcentaje de cobertura similar.

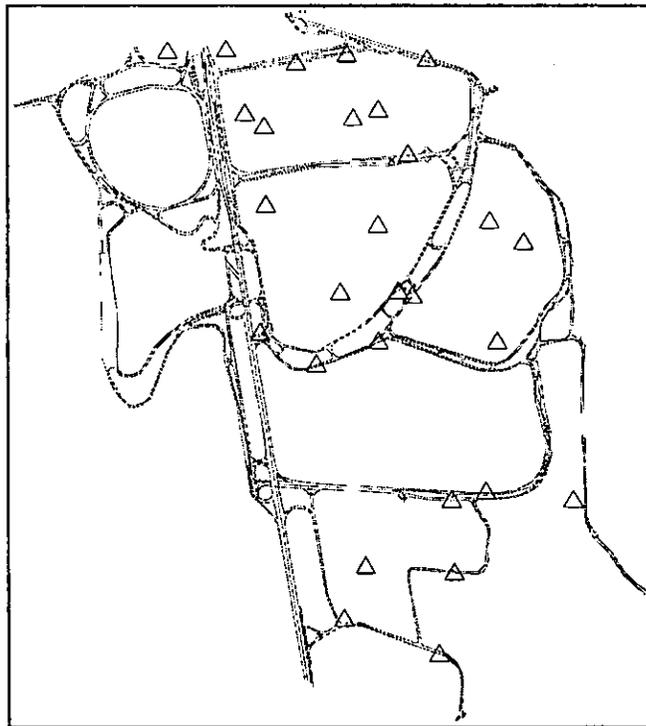
Los resultados generados por *OPTIMAL* y las figuras de localización de las estaciones para la primera y la última iteración se ilustran a continuación:

¹¹ Formulación especulativa que funciona como guía de investigación en el problema.

Resultados del *OPTIMAL* en la Primera Iteración

History.opt - Bloc de notas							
Archivo Edición Buscar Ayuda							
Movable centers:							
109	27	19	20	28	71	32	42
88	3	26	57	54	68	5	12
91	48	97	62	110	111	119	122
127	132	70	93				
Fixed centers:							
Percent of uncovered demand: 0.2%							
Weight: 0.7000							
Areawide avg travel time/dist: 1.59 (limit 3.00, dispatch 0.33)							
Weight: 0.1500							
Largest center workload: 2036 (constraint 2500)							
Longest center average travel time/dist: 2.62 (constraint 4.00)							
Weight: 0.1500							
Weighted summation: 0.122							

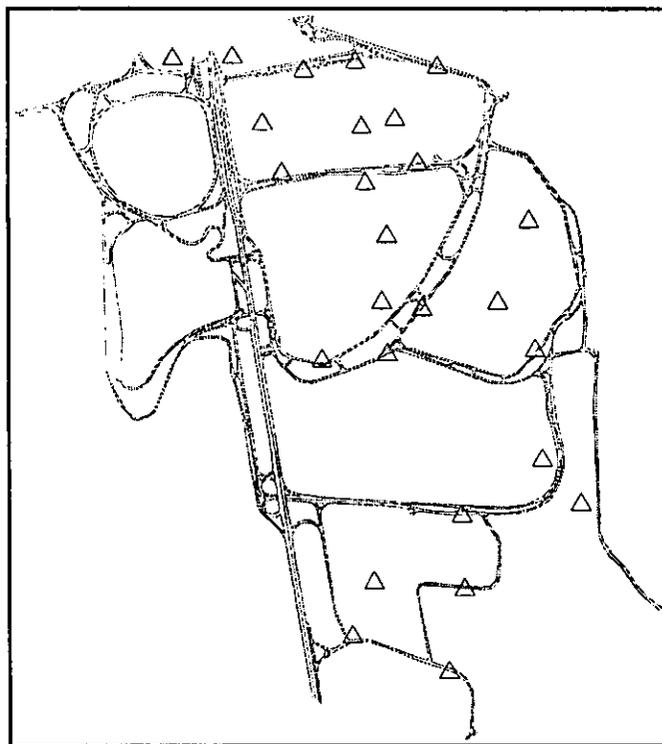
Ubicación de las 28 Estaciones



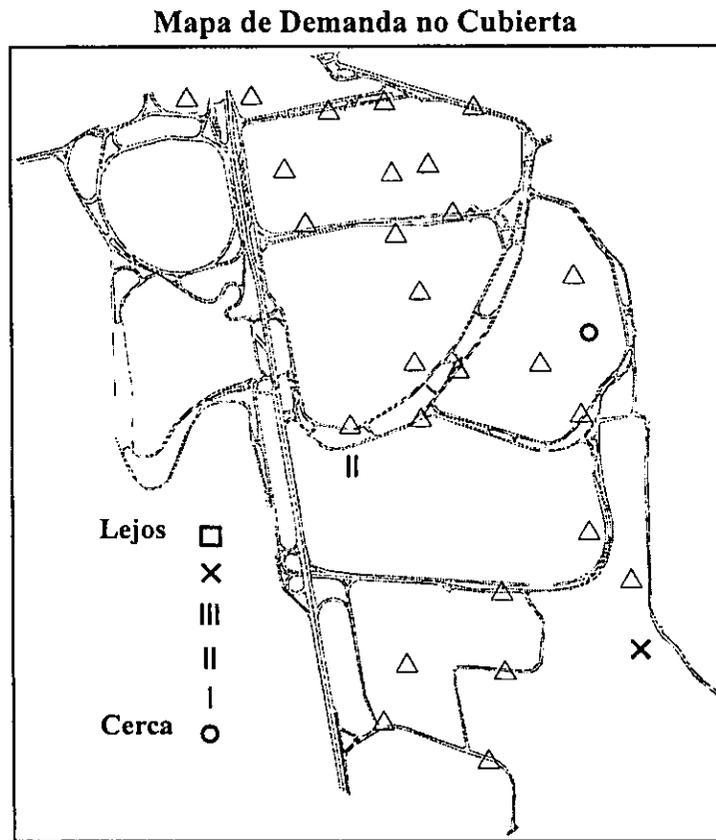
Resultados del *OPTIMAL* en la Última Iteración

History.opt - Bloc de notas							
Archivo Edición Búsqueda Ayuda							
Movable centers:							
Fixed centers:							
4	5	12	19	20	26	27	28
39	42	54	69	71	75	91	94
104	110	111	119	122	127	130	132
134	153						
Percent of uncovered demand: 1.1%							
Weight: 0.6000							
Areawide avg travel time/dist: 1.59 (limit 3.00, dispatch 0.33)							
Weight: 0.2000							
Largest center workload: 2409 (constraint 2000)							
Longest center average travel time/dist: 2.33 (constraint 2.00)							
Weight: 0.2000							
Weighted summation: 0.253							

Ubicación de las 26 Estaciones



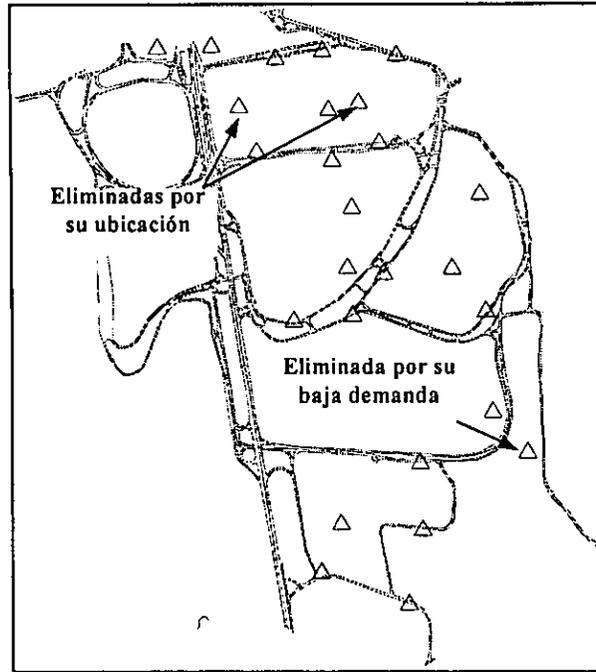
El siguiente paso consiste en mejorar el desempeño de la cobertura total del sistema. No existe sólo una forma para hacer esto y se recomienda hacer uso del “mapa de demanda no cubierta”, donde ésta se encuentra representada en el mapa con distintos símbolos para indicar si está más cerca o más lejos de alguna estación.



Para nuestro caso la ubicación de la demanda no cubierta es muy baja y solo se presenta en tres lugares los cuales no constituyen ningún centro importante de población.

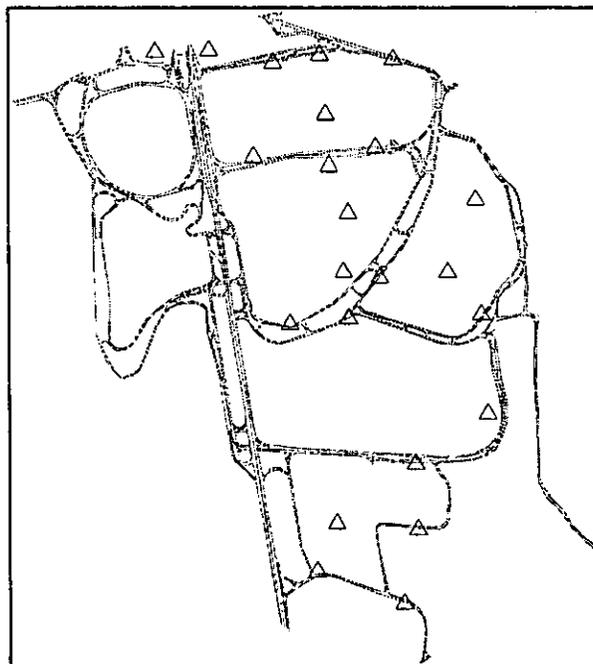
Las modificaciones adicionales que se consideraron pertinentes se basaron en dos aspectos: eliminar estaciones candidatas de difícil construcción (debido a su ubicación) y estaciones cuya demanda baja no justifica su inclusión.

Modificaciones de diseño

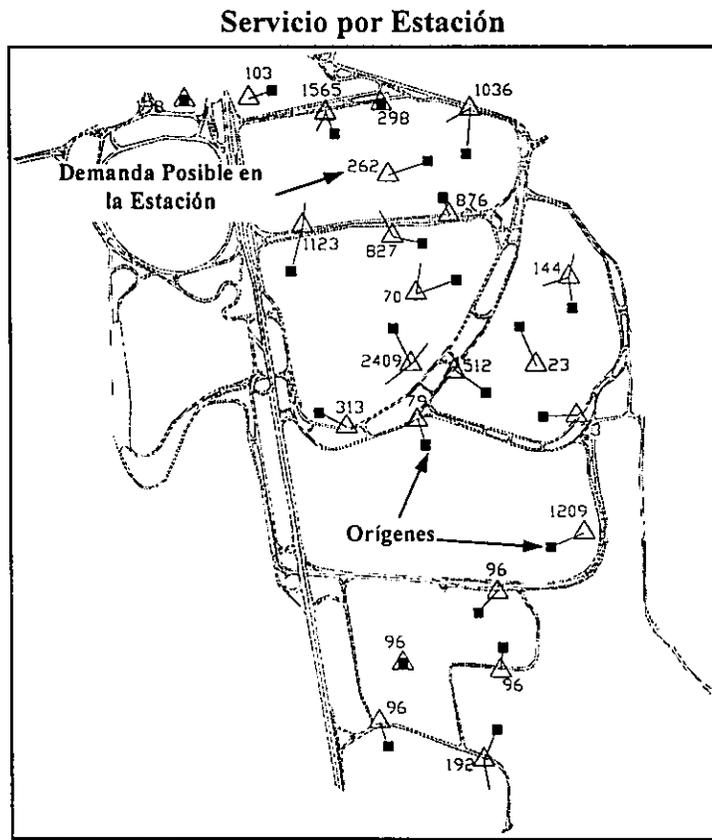


Los resultados que se obtuvieron al final fueron 23 estaciones y un porcentaje de demanda cubierta del 11.6%, 75.5%, 97.6% para 1, 2, 3 minutos respectivamente.

Ubicación Definitiva de las 23 Estaciones



Existen varias figuras (mapas) que ayudan a visualizar diversos aspectos de la calidad del diseño definitivo. La siguiente figura muestra la distribución de personas por estación y las líneas que conectan cada origen con la estación más cercana. Muestran también el número de personas a las que se debe dar servicio cada estación.

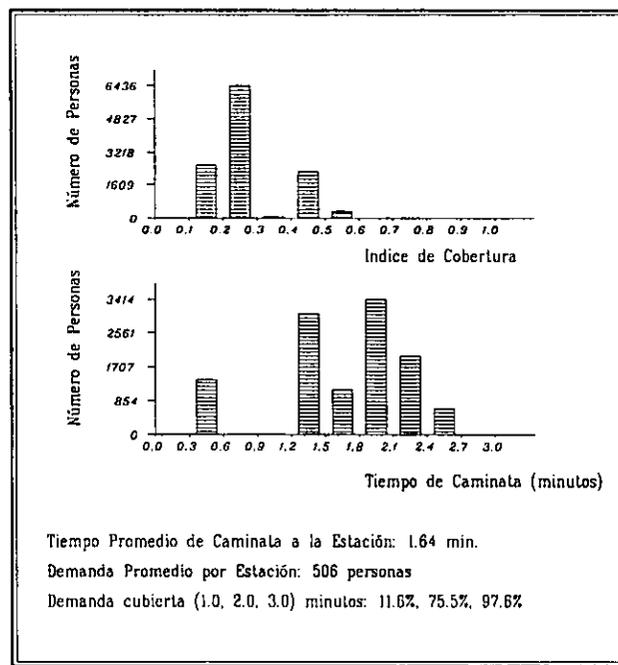


La primera gráfica de barras mostrada a continuación representa el índice de cobertura que es un valor de desempeño que toma en cuenta las áreas de servicio traslapadas de cada estación. Puede ser utilizado para indicar que tan bien está cubierto un centro de demanda por las estaciones cercanas. Utilizando un método que normaliza el porcentaje de importancia para cada intervalo de tiempo (50% de importancia para una

caminata de hasta 1 minuto, 30% de importancia para una caminata de hasta 2 minutos y 20% de importancia para una caminata de hasta 3 minutos) podemos obtener el índice de cobertura en un sitio que siempre estará entre 0 y 1.

Otra representación del desempeño del último resultado se muestra en la segunda gráfica. En ésta, se muestra el número de personas con relación a su tiempo de caminata a la estación más cercana. A su vez, muestra los promedios de dichos tiempos de caminata y de personas en cada estación.

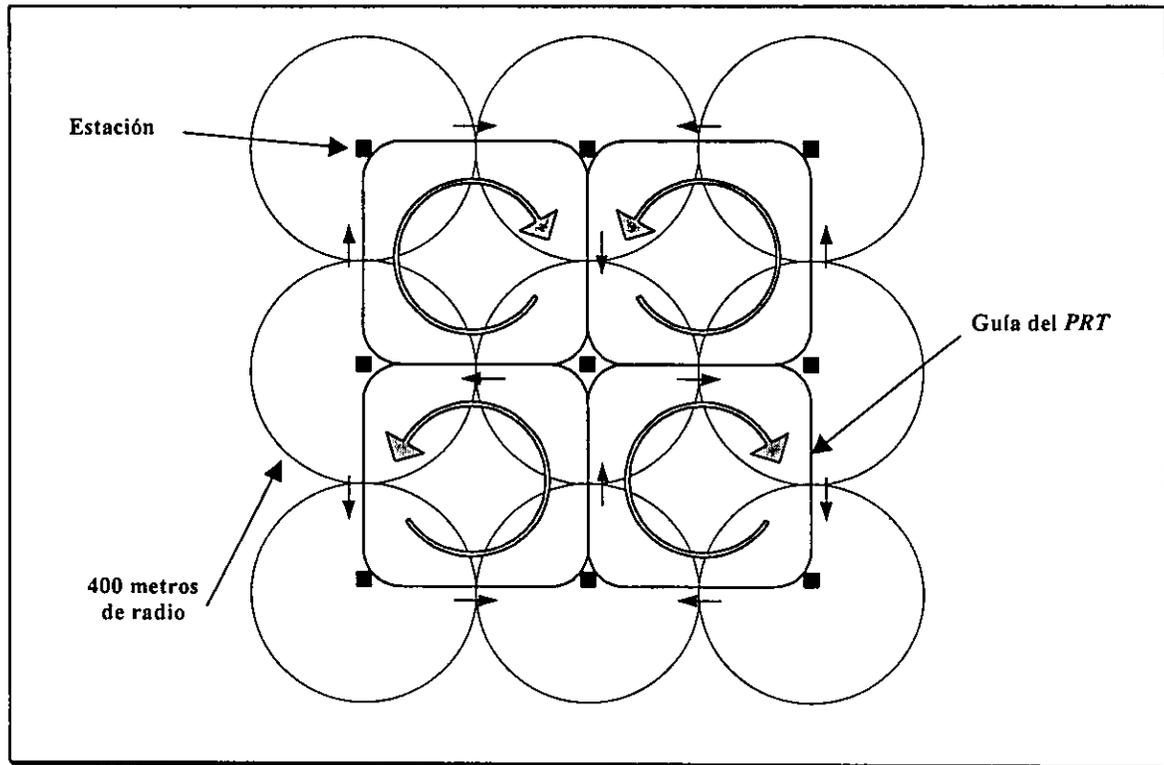
Índices de Cobertura y Tiempo de Caminata a las Estaciones



Una vez que se tienen el número y localización (final) de las estaciones, se procede a unirlos con circuitos, preferentemente de un solo sentido y lo más cortos posibles, que

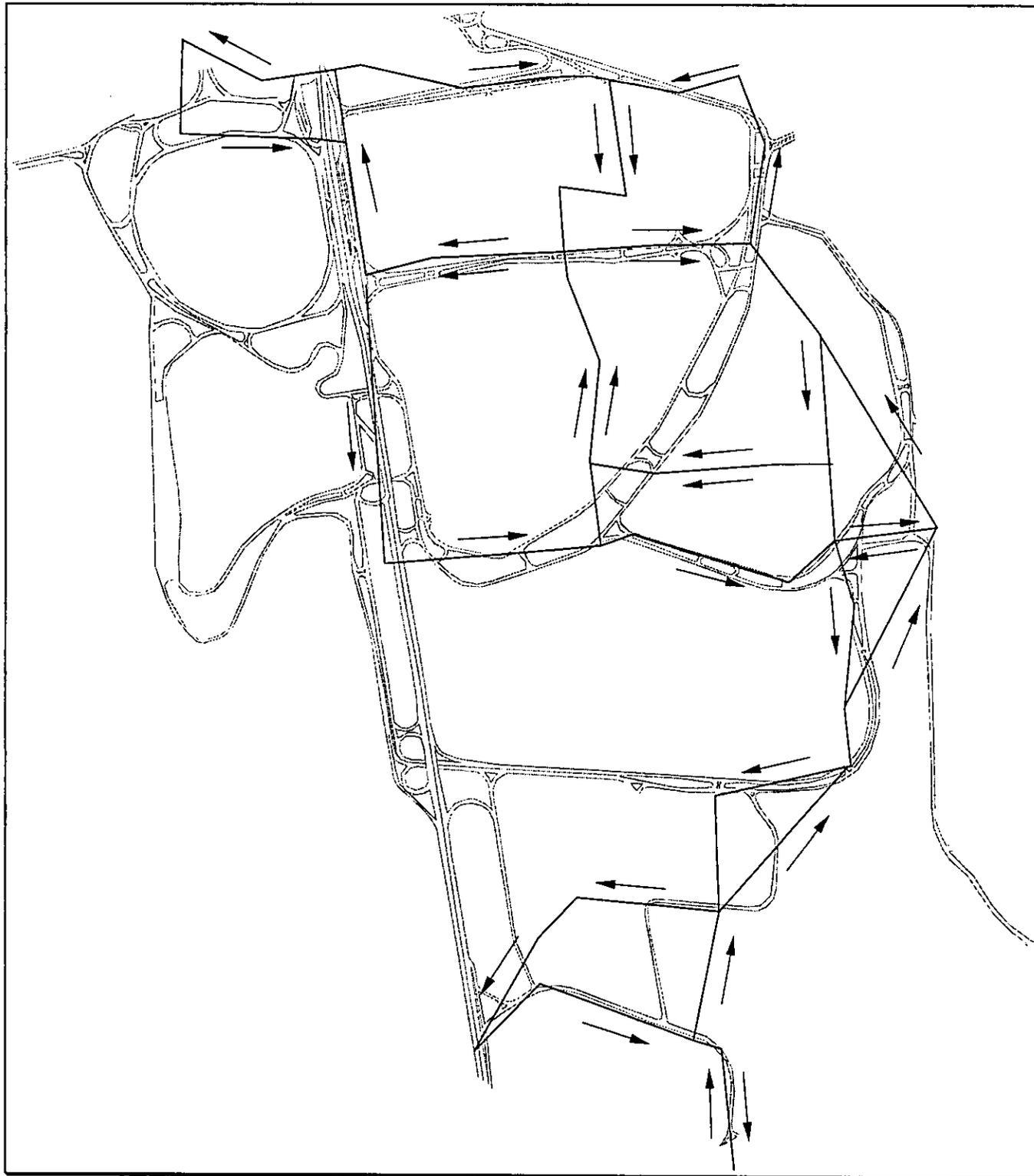
cubran la totalidad del área. Una característica importante que deben tener estos circuitos es que sus sentidos deben ser opuestos. Esto se ejemplifica a continuación.

Configuración Convencional de los Circuitos de un PRT



Finalmente, se propusieron varias alternativas de circuitos y se combinaron entre ellas para obtener el resultado final de aquellos que incorporen óptimamente todas las estaciones, obteniendo el siguiente resultado.

Configuración Definitiva de los Circuitos y sus Direcciones



V.5.4. Capacidad de un Sistema de Tránsito y de un PRT

La capacidad de un sistema de tránsito depende del tamaño de los vehículos y de la separación mínima con la cual ellos pueden estar en operación segura y confiable. Una forma de examinar la demanda de transporte que entra y sale de una estación es considerando una ciudad con una densidad de población uniforme. En una ciudad típica hay un total de aproximadamente tres viajes por persona en algún vehículo por día, 10% de los cuales ocurren en horas pico. Por esto, el número de viajes en esta hora por milla cuadrada es aproximadamente 0.3 veces la población por milla cuadrada.

Supongamos que existe una densidad de población “D” (personas/milla²). Luego, en una milla cuadrada existirían 4 cuadrados de 800 metros por lado (ver figura *Configuración Convencional de los Circuitos de un PRT* en la página 132). En cada uno de ellos habría D/4 personas por milla cuadrada y el número de viajes en hora pico sería

$$\# \text{ viajes} = \frac{0.3D}{4}$$

Sin embargo, cada una de las estaciones en los bordes de los cuadrados da servicio a dos de ellos, dando un número promedio de viajes por estación.

$$\# \text{ viajes} = \frac{0.3D}{8}$$

Si un PRT pudiera concentrar la mitad de estos viajes tendríamos un total de

$$\# \text{ viajes} = \frac{0.3D}{16}$$

Si $D = 12000$ personas por milla cuadrada se tendrían un total de 225 viajes en la hora pico.

La fórmula general para el *Flujo promedio de personas por estación* para cualquier medio de transporte vehicular en la hora pico es

$$0.15DL^2$$

donde L es el espaciamiento de las guías (delimitando a un circuito)

La fórmula para el *Flujo promedio de personas por guía* se obtiene sustituyendo en la expresión anterior una L por la longitud del viaje L_{viaje}

$$0.15DLL_{viaje}$$

En los Estados Unidos, el viaje promedio de una camion es de 3 a 4 millas y el de un automóvil de 7 a 10 millas. Si se considera el viaje promedio para un *PRT* de 5 millas y si para la misma densidad de población, el *PRT* concentrara al 50% de los viajes tendríamos un *Flujo promedio de personas por guía* igual a

$$(0.15 \times 12,000 \times 0.5 \times 5)0.5 = 2,250$$

Si hubiese 1.2 personas promedio por vehículo en un *PRT*, el flujo vehicular sería $2,250/1.2 = 1,875$ vehículos por hora, correspondiente a una separación de vehículos promedio de $3,600/1,875 = 1.92$ segundos (una hora tiene 3,600 segundos).

En comparación el flujo en un carril de una autopista en las mejores condiciones no excede el rango entre 1,800 y 2,000 vehículos por hora. Entonces un *PRT* exitoso en un lugar con esa densidad de población funcionaría como un carril de una autopista en las mejores condiciones.

En ferrocarriles, la separación mínima entre dos trenes está determinada por la condición de que si un tren se detuviera instantáneamente, el tren que va detrás puede detenerse antes de que se presente una colisión. A esto se le llama "frenado repentino".

Para proporcionar un margen de seguridad, la separación mínima entre vehículos se considera como el doble de esa distancia. Como los trenes se detienen sobre la vía principal, bloqueando al que viene detrás, la separación mínima entre vehículos está determinada por el flujo que entra y sale de las estaciones. Al combinar estos factores se tiene como resultado separaciones mínimas de entre dos y tres minutos. Por esto, los ingenieros de ferrocarriles han sido sorprendidos por las afirmaciones de que los *PRT* pueden funcionar con gran seguridad con separaciones mínimas de segundos. En un *PRT* todas las estaciones están fuera de la guía principal en guías *by-pass* por lo que las paradas en las estaciones no se contemplan al determinar la separación mínima entre vehículos en la guía principal. Como se mencionó anteriormente, la filosofía de seguridad en ferrocarriles debe ser que si sucede un “frenado repentino”, el tren que va detrás debe detenerse antes de chocar. Uno puede diseñar el sistema para que no exista una colisión si hay una falla significativa. Sin embargo supongamos que los frenos fallan en un tren y el que va adelante se descarrila. A esto se le llama “fallas significativas simultaneas”, esto es, por lo menos dos fallas significativas en un espacio de tiempo muy pequeño. Esto puede suceder, pero en un sistema bien diseñado, su probabilidad de ocurrencia es tan pequeña, que no se considera.

Un análisis detallado de los mecanismos de falla en un *PRT* muestran que es posible diseñar el sistema de tal manera que un “frenado repentino” ocurra sólo si se presentan al menos dos fallas significativas simultaneas. Esto es tan improbable que la media del tiempo necesaria para que ocurran estos eventos es de millones de años. Por esto, la separación mínima segura es aproximadamente de un segundo. En los últimos

años los diseñadores de los *PRT* han trabajado con una separación entre los vehículos de medio segundo. A una velocidad de 30 mph, una muy razonable para un *PRT* en una zona urbana, medio segundo corresponde a una separación entre vehículos de 22 pies (6.7 metros). Con vehículos de 9 pies (2.74 metros) de longitud, habría una separación entre las defensas de los vehículos de 13 pies (3.96 metros). Si la separación mínima es de medio segundo, la promedio en la hora pico sería de al menos un segundo. Por esto, el flujo en una guía de un *PRT* de 3,600 vehículos por hora es práctica.

Ciudad Universitaria no tiene una densidad de población uniforme y para determinar la capacidad de un *PRT* en ella es necesario el siguiente procedimiento.

Para el análisis de las otras alternativas se dejaron de considerar a las personas que tienen una accesibilidad peatonal de hasta 10 minutos. El diseño del *PRT* se orientó a incluir a la totalidad de estos posibles usuarios en el sistema y por esto, se diseñó para un total de 12,478 personas en el PMD vespertino.

Si el *PRT* tiene una separación entre vehículos de 1 segundo para el PMD se cuenta con una capacidad máxima de 3,600 vehículos por hora por circuito.

Si suponemos que los viajes se distribuyen de manera uniforme en el PMD, en un minuto hay

$$\frac{12,478 \text{ personas}}{60 \text{ minutos}} = 208 \frac{\text{personas}}{\text{minuto}}$$

En el PMD los vehículos viajan a 30 mph y si proponemos un recorrido promedio de 1.5 millas por persona, podemos determinar el tiempo promedio de viaje como

$$\frac{30 \text{ millas}}{60 \text{ minutos}} = \frac{1.5 \text{ millas}}{X \text{ minutos}}$$

Donde el tiempo promedio obtenido es de $X = 3$ minutos.

El número de personas que podrían viajar simultáneamente en ese periodo es

$$\# \text{ personas} = 208 \frac{\text{personas}}{\text{minuto}} \times 3 \text{ minutos} = 625$$

Cada vehículo tiene capacidad para 4 pasajeros pero en promedio sólo 2 harían un viaje juntos. El número de vehículos necesarios sería

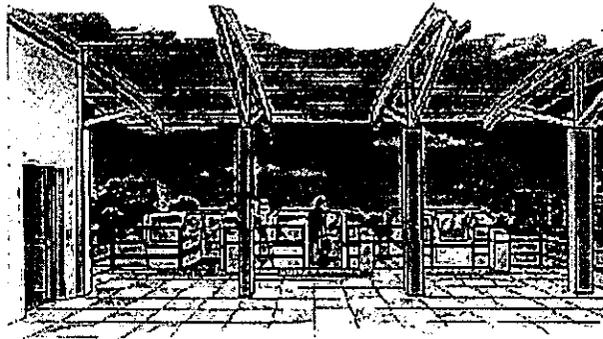
$$\# \text{ vehiculos} = \frac{625 \text{ personas}}{2 \frac{\text{personas}}{\text{vehículo}}} = 313$$

Por otro lado muchas simulaciones de los *PRT* han mostrado que una tercera parte de los vehículos estarán vacíos. Estos vehículos son automáticamente asignados a otra estación donde serán requeridos.

En el caso de Ciudad Universitaria, se considerará un 25% más de vehículos debido a que los viajes no se distribuyen uniformemente en el PMD y debido a que habrá vehículos en mantenimiento. Haciendo estas consideraciones, el total asciende a **392** vehículos.

Existe una computadora que regula y observa el flujo de vehículos en cada estación. Cuando un vehículo vacío está detenido en la primera posición de la estación y no se requiere, la computadora lo envía a la siguiente estación.

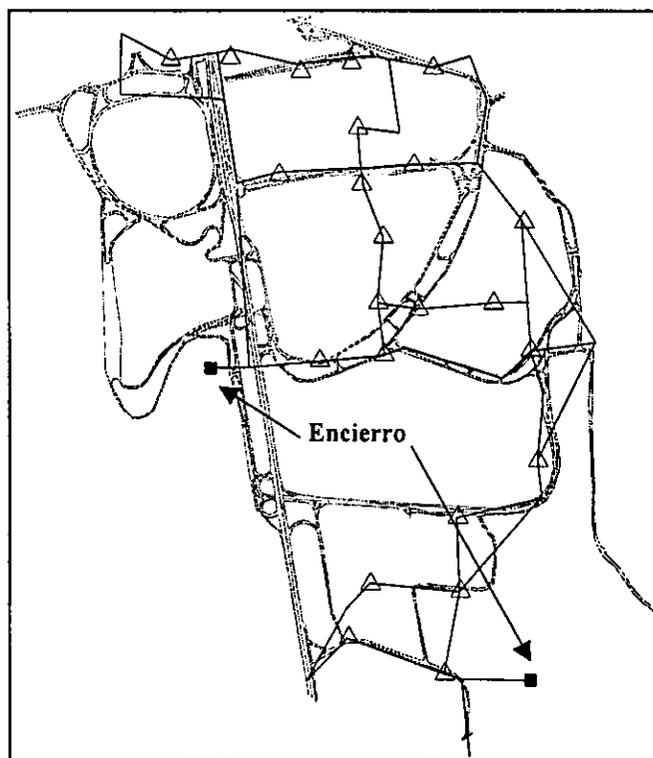
Estación con 3 Posiciones



En el lado donde se acercan los vehículos a una estación la computadora los revisa. Si está ocupado y su destino es esa estación, la computadora lo dirige a ella si hay lugar disponible. De lo contrario no permite su ingreso. En un *PRT* diseñado adecuadamente, la posibilidad de que no exista lugar es muy pequeña. Si el vehículo que se aproxima está vacío la computadora de la estación consciente de que necesita a uno vacío, determina junto con la computadora central si debe ingresar. Sabiendo cuantos pasajeros hay en cada estación, la computadora central puede solicitar que algún vehículo vacío pase una estación y se dirija a otra donde hay mayor demanda. Dado que la computadora conoce el número de pasajeros en espera en todas las estaciones y donde se encuentran todos los vehículos en la red (ocupados y vacíos), la distribución de los vehículos vacíos está orientada a satisfacer la demanda de manera óptima.

Cuando la demanda disminuya y menos vehículos se necesiten, éstos se almacenarán en dos encierros que se muestran a continuación.

Localización de los Encierros



La estación de un *PRT* más simple tiene solamente una guía *by-pass* y un número de posiciones, entre 2 y 12, utilizados para abordar y descender. Una desventaja de esta estación, es que una persona que se tarda en abordar o descender retrasa a las personas que están atrás de ella. Sin embargo la variable importante es la media estadística, que es generalmente corta, particularmente en los periodos de máxima demanda donde las personas se mueven rápidamente. Existe la posibilidad de construir guías *by-pass* paralelas, pero comúnmente tienen una relación costo-beneficio mayor.

Muchos análisis y simulaciones han comprobado que la capacidad de estaciones con una sola guía *by-pass* varía entre 300 vehículos por hora en una estación con 2 posiciones hasta 1,300 vehículos por hora en una estación con 12 posiciones. Otra ventaja

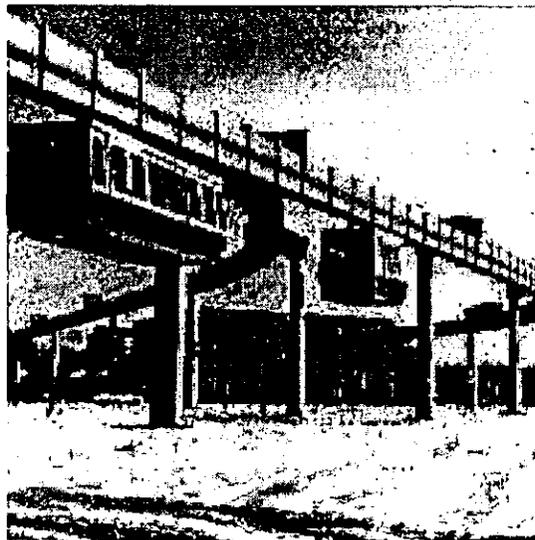
de los *PRT* es que cada estación puede ser dimensionada para satisfacer su propia demanda, mientras que en otros medios de tránsito rápido, como un monorriel, el tamaño de la estación depende del tren más largo.

V.5. El Monorriel

Es un vehículo que se apoya en un sólo riel mediante una hilera de ruedas en línea, los vagones están suspendidos o apoyados, viajan a velocidades que varían entre 20 y 30 mph y ambos requieren de una gran distancia libre vertical.

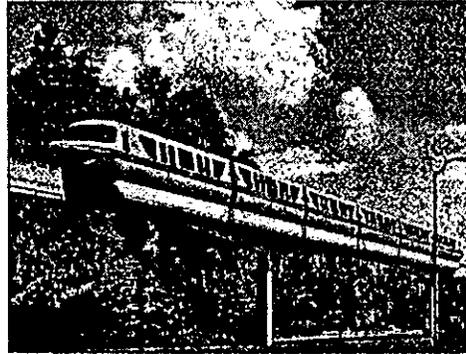
Como se mencionó anteriormente los monorriel son de dos tipos: suspendidos y apoyados. El tipo suspendido puede emplear una guía de viga de caja dividida, con el vehículo colgado de una carretilla movida con electricidad y con ruedas provistas de reborde, muy juntas pero convencionales, que corren sobre dos rieles paralelos. Las ruedas de acero pueden ser sustituidas por neumáticos de caucho sobre tiras de concreto y los rebordes se pueden cambiar por rieles laterales o un riel guía central.

Monorriel Universidad de Dortmund, Alemania.



El tipo apoyado, como el de *Disneylandia*, va montado sobre una gruesa “viga” de concreto que sirve de riel, con varios juegos de ruedas con neumáticos que se apoyan en la superficie para dar soporte y en los lados para dar dirección.

Monorriel Apoyado
Disneylandia, Los Angeles, California



Monorriel Apoyado
Entre Hoteles MGM y Bally's, Las Vegas, Nevada



Dentro de las ventajas que presenta este sistema podemos encontrar que no provoca congestionamientos ni demoras en cruces con calles y avenidas debido a que es elevado. Al utilizar la electricidad como fuente de energía, se convierte en un sistema ecológico. El emplear neumáticos en las ruedas lo hace silencioso, lo que significa que es poco contaminante por ruido. En algunos sistemas es posible no utilizar operadores, es decir, operarlo automáticamente ya que no existe la posibilidad de chocar o atropellar a alguien, reduciendo en un gran porcentaje, los costos de operación y las primas de seguro por accidente. El gran volumen de gente que se puede movilizar durante el día lo hace un sistema rentable. Los itinerarios se respetan mayormente al no presentar retrasos en los traslados. En algunos casos es posible utilizar a las estaciones como fuentes de ingreso ya que se pueden instalar comercios. Tienen una fácil accesibilidad para minusválidos por encontrarse al mismo nivel que el piso de acceso.

Se ha propuesto la utilización del monorraíl para comunicar ciudades con aeropuertos, para trasladar gente dentro de los aeropuertos, para dar servicio de transporte público urbano e inclusive interurbano, sin embargo su empleo parece no justificarse. La tecnología conocida del doble riel y los sistemas apoyados pueden hacer todo lo que se le atribuye al monorraíl y, de acuerdo con diversos especialistas, de una forma más económica. Los costos por milla del monorraíl varían entre 30 y 60 millones de dólares dependiendo de la complejidad de éste.

Para justificar una inversión como ésta, es necesario que el monorraíl opere con un alto volumen de gente constante, cosa que no sucedería en Ciudad Universitaria, en donde el comportamiento de la demanda es muy variable, muy alto en los periodos de máxima

demanda y significativamente inferior durante el resto del día con relación a dicho periodo. Esto haría, que durante una gran parte del día, el monorriel opere con una relación costo-beneficio (B/C) muy baja y mucho menor a 1 (como se estudiará en el próximo capítulo, la relación B/C deberá ser mayor o igual a 1 para que la realización de un proyecto se justifique).

CAPÍTULO VI

EVALUACIÓN TÉCNICA, AMBIENTAL Y ECONÓMICA DE ALTERNATIVAS

VI.1. Evaluación de las Alternativas Técnicas y su Impacto Ambiental

Para seleccionar la alternativa técnica más adecuada, se hace uso de un cuadro comparativo como el mostrado a continuación:

Cuadro Comparativo de las 5 Alternativas Propuestas

Característica	STCCU	Mejoramiento del STCCU	Minibús Eléctrico	PRT	Monorriel
Impulsado por	Diesel	Diesel	Electricidad	Electricidad	Electricidad
Capacidad por vehículo (pas.)	70	80-120	30	4	80
% Demanda satisfecha (PMD)	75	84	N/D	100	100
Vida útil (años)	10	10	N/D	30	30
Tiempo promedio de recorrido (min)	11.1	8	N/D	3	3
Tiempo de espera en una estación (min)	2.2	1.8	N/D	0.3	2.0
Seguridad (%)	N/D	N/D	N/D	100	100
Confiabilidad (%)	N/D	N/D	N/D	100	100
Vel. Promedio (Km/h)	19.6	22.4	40	48	48
Tránsito	Sobre la vialidad	Sobre la vialidad	Sobre la vialidad	Elevado	Elevado
Itinerario	Variable	Variable	Variable	De acuerdo al usuario	Fijo
Tipo de operación	Con operador	Con operador	Con operador	Automatizado	Automatizado

Nota: N/D.- No Disponible

De las 5 alternativas analizadas en el Capítulo V y mostradas en el cuadro comparativo anterior, sólo 3 de ellas serán evaluadas en este capítulo.

El minibús eléctrico no se evaluará debido a que se encuentra actualmente en etapa experimental y su fabricación en serie es por el momento imposible. Aún fabricándose en serie, la capacidad de una flotilla de este tipo de vehículos destinada a prestar un servicio

dentro de Ciudad Universitaria, no sería conveniente. Esto porque cada vehículo tiene una capacidad menor a la necesaria para satisfacer la demanda en algunas horas del día. El número de vehículos necesarios para este fin tendría que ser muy grande ocasionando igualmente congestionamientos en los circuitos, como los que hay ahora, y una inversión inicial muy grande. El monorriel es una alternativa técnicamente buena pero también se descarta debido a que los costos de instalación son demasiado elevados.

Para llevar a cabo el siguiente paso que nos permita determinar la mejor alternativa de las tres, es necesario realizar una evaluación de impacto ambiental de cada alternativa. Ya que existen diversas formas de determinar los impactos ambientales se decidió utilizar el método de la *matriz de evaluación de impactos ambientales*. Esta matriz pretende evitar el inconveniente de asignar valores numéricos, que pueden llegar a ser subjetivos, y propone un sistema de evaluación cualitativo.

El impacto ambiental constituye el efecto de las actividades humanas y su trascendencia deriva de la vulnerabilidad del ambiente donde se desarrollará el proyecto. Esta vulnerabilidad presenta múltiples facetas que deben ponerse de manifiesto al evaluar los impactos. En la Matriz de Evaluación de Impactos Ambientales los impactos correspondientes a cualquier faceta de la fragilidad del ambiente, se individualizan por una serie de características que han de evaluarse. La estructura de dicha matriz es la siguiente:

- El carácter (columna 1) hace referencia a su consideración benéfica o adversa respecto al estado previo a la acción.

- El tipo de acción de impacto (columna 2) se refiere a la relación causa-efecto; describe el modo de producirse el efecto de la obra o actividad sobre los componentes ambientales: si el impacto es directo o indirecto.
- La duración del impacto (columna 3) se refiere a sus características temporales: si el efecto es a corto plazo y luego cesa (temporal), o si es permanente.
- Las columnas 4 y 5 informan sobre la dilución de la intensidad del impacto en sus alrededores. Puede ser localizado o extensivo y próximo o alejado de la fuente.
- La reversibilidad del impacto (columna 6) toma en cuenta la posibilidad, dificultad o imposibilidad de retornar a la situación previa a la obra o actividad.
- La posibilidad de recuperación (columna 7) indica si la pérdida de calidad en el factor ambiental puede ser recuperable, reemplazable o irrecuperable.
- Los impactos pueden ser mitigables o no (columna 8).
- El riesgo de impacto (columna 9) mide la posibilidad de ocurrencia (alta, media o baja).
- En la (columna 10) se muestra la escala de niveles de impacto, los cuales pueden ser: Compatible (tratándose de impactos adversos, es la carencia de impacto o la recuperación inmediata del factor ambiental tras el cese de la actividad. Para este caso no se necesitan medidas de mitigación). Moderado (tratándose de impactos adversos, es cuando la recuperación de las condiciones iniciales requiere de cierto tiempo). Severo (es cuando la magnitud del impacto exige la implantación de medidas de mitigación). Crítico (es cuando la magnitud del impacto es superior al umbral aceptable).
- En los renglones de la matriz se incluyen las componentes ambientales a evaluar desglosadas en subcomponentes.

- Número de estaciones en el sistema 23
- Número de vehículos 420
- Número de estaciones por milla 2.48
- Longitud de la guía del sistema (millas) 9.28
- Longitud de la guía en by-pass (millas) 0.5
- Vehículos por milla 42
- Costo de energía por KW-hr \$0.06

Concepto	Total en dólares Por milla
Guía	\$2,568,800.00
Columnas y cimentación	\$260,000.00
Suministro y distribución de energía	\$389,000.00
Sistema de comando y comunicación	\$154,000.00
Estaciones	\$718,750.00
Unidad de control	\$125,000.00
Estudios de campo	\$163,072.00
Colocación y ajuste de las columnas	\$164,000.00
Vehículos	\$3,244,500.00
Administración del proyecto y construcción	\$387,344.00
Seguro	\$271,141.00
Costo Total por milla	\$8,445,607.00
Costo total de instalación de todo el sistema (9.28 millas)	\$78,375,232.96

VI.3. Presupuesto de Gastos e Ingresos

El presupuesto de gastos está compuesto por los costos de operación y los de mantenimiento. Para el caso de los camiones se consideró un recorrido promedio por camión por día para determinar el consumo de combustible por día, y consecuentemente, el consumo de combustible por año. El rendimiento de combustible por camión está determinado por el fabricante y mientras se conserven en buen estado los camiones será válido el rendimiento de combustible utilizado. Cabe aclarar que en caso de haber algún deterioro en el estado de los camiones, el rendimiento disminuirá. La prima de seguro por

accidentes es por pasajero al año considerando el cupo máximo recomendado por el fabricante de 80 y 120 pasajeros respectivamente.

**Costos de Operación y Mantenimiento Anuales
Camión Mercedes Benz OMC 1421/51 modelo 1997**

Recorrido: 300 Km/día
Rendimiento: 4 Km/lt

Concepto	Unidad	Precio Unitario	Cantidad	Total (pesos)	Total (dls.)
Combustible	Litro Diesel	\$2.36	18,975.00	\$44,781.00	\$5,207.09
Mantenimiento	Servicio	\$70,000.00	1.00	\$70,000.00	\$8,139.53
Reparaciones	Refac. y M. O.	\$50,000.00	1.00	\$50,000.00	\$5,813.95
Sueldo del chofer	Mes	\$2,000.00	12.00	\$24,000.00	\$2,790.70
Seguro por accidentes	Año	\$5,728.00	1.00	\$5,728.00	\$666.05
Seguro de la unidad	Año	\$18,342.98	1.00	\$18,342.98	\$2,132.90
TOTAL				\$212,851.98	\$24,750.23

Camión Mercedes Benz MB 0-1417/60 (Boxer) modelo 1998

Recorrido: 300 Km/día
Rendimiento: 4 Km/lt

Concepto	Unidad	Precio Unitario	Cantidad	Total (pesos)	Total (dls.)
Combustible	Litro Diesel	\$2.36	18,975.00	\$44,781.00	\$5,207.09
Mantenimiento	Servicio	\$70,000.00	1.00	\$70,000.00	\$8,139.53
Reparaciones	Refac. y M. O.	\$50,000.00	1.00	\$50,000.00	\$5,813.95
Sueldo del chofer	Mes	\$2,000.00	12.00	\$24,000.00	\$2,790.70
Seguro por accidentes	Año	\$8,592.00	1.00	\$8,592.00	\$999.07
Seguro de la unidad	Año	\$23,402.15	1.00	\$23,402.15	\$2,721.18
TOTAL				\$220,775.15	\$25,671.53

VI.3.1. Sistema de Transporte Colectivo de Ciudad Universitaria

Para 62 camiones Mercedes-Benz OMC 1421/51 se tienen costos de operación y mantenimiento anuales que totalizarían \$1,534,514.27 dólares.

VI.3.2. Mejoramiento del Sistema de Transporte Colectivo de Ciudad Universitaria

Para 20 camiones Mercedes-Benz OMC 1421/51 y 24 camiones Mercedes-Benz MB 0-1417/60 se tienen costos de operación y mantenimiento anuales que totalizarían \$1,111,121.30 dólares.

VI.3.3. Sistema de Tránsito Rápido para Pasajeros (PRT)

Costos de Operación y Mantenimiento por Año por Milla

Concepto	Costo unitario	Cantidad	Total en dólares
Por año por vehículo	\$1,545.00	42	\$64,890.00
Por año por estación	\$12,173.00	2.48	\$30,170.15
Guía por año	\$696.00	1	\$696.00
Energía al año	\$36,454.38	1	\$36,454.38
Personal de Administración y Análisis del sistema	\$8,081.90	1	\$8,081.90
			\$140,292.43
Generales y administrativos	15%(\$140,292.43)		\$21,043.86
Costo de mantenimiento por año por milla			\$161,336.29
Costo Total de Operación y Mantenimiento			\$1,497,200.79

Debido a los altos montos de la inversión inicial y los elevados costos de operación y mantenimiento en esta 3ª Alternativa, sería recomendable buscar diversos medios para poder dotar de ingresos fijos al proyecto y hacerlo una alternativa financieramente viable.

Algunas de estas opciones pueden ser:

- Cobrar al usuario una cuota por viaje que constituya una medida de recuperación de la inversión y/o de los costos de operación y mantenimiento.
- Brindar espacios publicitarios a diversas compañías que venden productos de alto consumo como los refrescos, por ejemplo, para promocionar sus

productos o imagen dentro de los vehículos, en las estaciones y/o en las guías.

- Donativos de diversos organismos y empresas en la primera etapa de instalación.

En el punto VI.4 de este capítulo se profundizará en la posible inclusión de dichos ingresos y sus efectos en la evaluación de esta alternativa.

VI.4. Criterio de Evaluación Costo-Beneficio

Existen principalmente cuatro distintos tipos de proyectos del sector público y contemplan el desarrollo cultural, la protección, los servicios y los recursos naturales. Los proyectos del tipo de servicios incluyen transportación, generación de energía y otros programas como los de construcción de vivienda.

Los proyectos del sector público tienen un gran número de características que los diferencian de los proyectos del sector privado. Muchos de los proyectos del sector público son inmensos, con costos de instalación que alcanzan los cientos de millones de dólares. Tienden a tener una vida útil muy larga como es el caso de los puentes o las presas. Los beneficios que se pueden brindar con proyectos de este tipo están casi siempre fuera del alcance de individuos o grupos pequeños que deseen ayudar a financiarlos. Comúnmente, una gran variedad de dependencias de gobierno están interesadas en un determinado proyecto de esta naturaleza. Desafortunadamente, los proyectos del sector público no son evaluados de manera sencilla ya que pueden requerirse muchos años para que sus beneficios y los frutos de dicha inversión sean evidentes.

Si se desea hacer la evaluación de la factibilidad de un proyecto, el criterio de evaluación debe ser convenido. Hoy en día se aplica grandemente un criterio que está presente desde hace muchas décadas cuando en 1936, para el proyecto de construcción de unas obras de control de inundaciones se expresó que “... el Gobierno debe participar si los *beneficios que se acumulen para cualquier persona* están presentes en exceso de los *costos estimados...*”¹. Una definición sencilla para el análisis Costo-Beneficio es “... una manera práctica de determinar la factibilidad de proyectos donde es importante ver la visión a futuro (en el sentido de ver las repercusiones en el futuro cercano y lejano) y la visión amplia (en el sentido de permitir la interacción de muchas personas, industrias, regiones, etc.); esto es, la enumeración y evaluación de todos los costos y beneficios relevantes en el horizonte de planeación del proyecto...”² En los proyectos del sector público se encuentran inmersos gran cantidad de individuos, grupos y personas, tanto directa o indirectamente. En este sentido, al evaluar estos proyectos, el analista debe tratar de incluir los efectos de esta interacción, cuantificarlos y hacer mediciones de ellos en términos monetarios. Los efectos positivos son considerados como *beneficios*, efectos negativos, en caso de haberlos como *perjuicios*. Los *costos* de construcción, financiamiento, operación y mantenimiento son estimados de igual manera en los proyectos de naturaleza pública y privada.

Esta noción de Costo-Beneficio es sencilla en general y sigue el siguiente enfoque sistemático:

¹ White, J., Principles of Engineering Economic Analysis, pág. 332.

² White, J., *op. cit.*, pág. 332.

1. Definir una serie de alternativas de proyectos del sector público técnicamente factibles y mutuamente excluyentes para compararlas.
2. Definir el horizonte de planeación para ser utilizado en el análisis Costo-Beneficio.
3. Determinar los ahorros en costos y los beneficios y daños en términos monetarios para cada alternativa.
4. Determinar la tasa de interés o la tasa mínima atractiva de retorno para el capital. (La comparación de alternativas requiere una determinación explícita del valor del dinero. El valor de éste en flujos de efectivo se obtiene utilizando una tasa de interés denominada tasa mínima atractiva de retorno)
5. Comparar las alternativas utilizando una forma específica para valorarlas.
6. Realizar análisis suplementarios.
7. Seleccionar la mejor alternativa.

VI.4.1. Determinación de Alternativas

Del conjunto de alternativas estudiadas anteriormente, sólo las dos últimas serán las que conformarán el grupo de opciones de proyecto que llegarán hasta esta etapa de evaluación. La primera se descarta debido a que la segunda alternativa tiene la misma naturaleza que la primera pero un mejor funcionamiento, y como se vio anteriormente, con menores costos de instalación. De esta manera tendremos dos alternativas mutuamente excluyentes para comparar.

VI.4.2. Horizonte de Planeación

Definir el horizonte de planeación es esencial para lograr definir el periodo sobre el cual la mejor alternativa se seleccionará. Si el horizonte de planeación es mayor que la vida de una alternativa, será necesario considerar nuevamente la instalación de la misma, y cuantificar un valor de recuperación o rescate en el último año del proyecto.

Para el caso en cuestión, el horizonte de planeación será de 30 años, determinado por la posible implantación de un PRT cuya vida útil es de 30 años. La alternativa de mejoramiento del STCCU se analizará considerando que se instala 3 veces durante los 30 años, en el primer año, en el décimo y en el vigésimo.

VI.4.3. Determinación de Costos, Beneficios y Perjuicios

Cuantificar los *costos y ahorros* se refiere a los gastos gubernamentales e ingresos recibidos relativos al proyecto en el horizonte de planeación. Desembolsos incluyen los costos de instalación del proyecto y los ahorros se pueden obtener como las cuotas y otros cobros al público en general, así como posibles valores de rescate.

Los *beneficios o perjuicios* deben de cuantificarse en términos monetarios durante el horizonte de planeación. Los beneficios son los efectos positivos de la inversión gubernamental y se refieren a las consecuencias deseables a favor de la sociedad y no sobre alguna dependencia del gobierno. Los perjuicios son efectos negativos que tiene el proyecto sobre dicha sociedad. Desafortunadamente, asignar un valor monetario a los beneficios recibidos por la sociedad no es una tarea fácil.

VI.4.4. Determinación de la Tasa de Interés

Es evidente que la tasa de interés tiene un efecto significativo sobre el valor del dinero a lo largo del tiempo. Para el financiamiento de proyectos del sector público existen muchas maneras de obtener los fondos para financiar dichos proyectos. La más común es la de destinar los recursos obtenidos por impuestos pagados por los contribuyentes. Otra forma muy común es la de solicitar préstamos a alguna institución financiera. Una última es la emisión de bonos y pagarés.

Independientemente de la forma en que se obtenga el proyecto se debe de establecer la tasa de interés que se aplicará. Existen muchos argumentos que defienden una u otra forma para seleccionar la tasa. La mayoría de éstas son:

- Una tasa igual a 0% cuando se utiliza el dinero obtenido por impuestos.
- La tasa debe ser igual a la que paga el gobierno por dinero prestado.
- La tasa se fija dado el costo de oportunidad de inversiones privadas no realizadas.
- La tasa se fija dado el costo de oportunidad de las inversiones no realizadas por el gobierno debido a recortes presupuestales.

Para nuestro caso, debido a la situación especial de la que goza la UNAM en su trato con el gobierno, se puede considerar una tasa del 5% en caso de que el gobierno realice la inversión inicial y los costos anuales de operación y mantenimiento corran a cargo, ya sea del presupuesto de la UNAM o se obtenga por medio de cuotas. En el caso más desfavorable se tendría que solicitar un préstamo a alguna institución financiera que

otorgara una tasa preferencial de 8%, préstamo que se cubriría en su totalidad por distintos ingresos generados por el mismo sistema.

VI.4.5. Comparación de las Alternativas

La forma que se utilizará para comparar las alternativas será considerando costos y beneficios anuales a valor presente. Se compararán utilizando también el cociente beneficio-costos (B/C) donde

B_{jt} = beneficios sociales asociados al proyecto j durante el año t , $t = 1, 2, 3, \dots, n$.

C_{jt} = costos del gobierno asociados al proyecto j durante el año t , $t = 1, 2, 3, \dots, n$.

i = tasa de interés adecuada.

El criterio B/C puede ser expresado matemáticamente representándolo a valor presente como

$$B / C_j(i) = \frac{\sum_{t=1}^n B_{jt} (1+i)^{-t}}{\sum_{t=1}^n C_{jt} (1+i)^{-t}}$$

Cuando se desea comparar dos o más alternativas de proyecto por medio del criterio B/C , el análisis debe realizarse por medio de incrementos. Esto es, ordenar las alternativas de costo menor a costo mayor (en valor presente por año). El incremento en beneficios de la segunda alternativa sobre la primera, $\Delta B_{2-1}(i)$, es dividido por el incremento de costos de la segunda alternativa sobre la primera, $\Delta C_{2-1}(i)$, esto es,

$$\Delta B / C_{2-1}(i) = \frac{\Delta B_{2-1}(i)}{\Delta C_{2-1}(i)} = \frac{\sum_{t=1}^n (B_{2t} - B_{1t})(1+i)^{-t}}{\sum_{t=1}^n (C_{2t} - C_{1t})(1+i)^{-t}}$$

Hay que resaltar que si la primera alternativa es permanecer igual, el incremento del cociente B/C es el incremento para la segunda alternativa. Mientras que el cociente $\Delta B/C_{2-1}(i)$ sea mayor que la unidad, la alternativa 2 se prefiere sobre la alternativa 1. De lo contrario la alternativa 1 se prefiere sobre la 2. La que se prefiera se comparará con la siguiente alternativa más cara hasta agotar las alternativas y solo permanece el “mejor” proyecto.

VI.4.6. Análisis Complementarios

El siguiente paso es realizar estudios complementarios en la forma de análisis de riesgo, sensibilidad y de “ingresos y gastos iguales”. Esto nos permitirá situar al proyecto dentro de distintos escenarios a lo largo de su vida útil.

VI.4.7. Selección de la Mejor Alternativa

El último paso consiste en seleccionar la mejor alternativa y enunciar con detalle todas las consideraciones cuantitativas y cualitativas en las que se apoya la decisión. Esto es particularmente importante para inversiones en infraestructura.

Los cuadros a continuación muestran los costos de instalación, operación y mantenimiento, seguridad y beneficios de ambas alternativas.

Año	Mejoramiento del STCCU				PRT			
	Inversión Inicial	O y M	Valor de Rescate	Seguros	Inversión Inicial	O y M	Ingresos por Cuotas	Aborro en Tiempo
0	\$2,019,961			\$147,200	\$39,187,616			
1		\$1,111,121		\$147,200	\$39,187,616	\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
2		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
3		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
4		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
5		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
6		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
7		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
8		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
9		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
10	\$2,019,961	\$1,111,121	\$201,996	\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
11		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
12		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
13		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
14		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
15		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
16		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
17		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
18		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
19		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
20	\$2,019,961	\$1,111,121	\$201,996	\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
21		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
22		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
23		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
24		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
25		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
26		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
27		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
28		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
29		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
30		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288
31		\$1,111,121		\$147,200		\$1,497,201	\$2,377,955	\$2,748,288

Nota: Valores en dólares

Año	Factor de Actualización	Mejoramiento del STCCU				PRI			
		Inversión Inicial	O y M	Seguros	Inversión Inicial	O y M	Ingresos por Cuotas	Ahorro en Tiempo	
0	1	\$2,019,961	\$0	\$147,200	\$39,187,616	\$0	\$0	\$0	
1	0.9524	\$1,058,211	\$140,190	\$133,515	\$37,321,540	\$0	\$0	\$0	
2	0.9070	\$1,007,820	\$959,828	\$127,157		\$1,358,005	\$2,156,875	\$2,492,778	
3	0.8638	\$914,122	\$870,593	\$115,335		\$1,293,338	\$2,054,167	\$2,374,075	
4	0.8227	\$829,136	\$789,653	\$109,843		\$1,231,751	\$1,956,350	\$2,261,023	
5	0.7835	\$752,051	\$716,239	\$99,631		\$1,173,096	\$1,863,190	\$2,153,356	
6	0.7462	\$682,132	\$649,650	\$94,886		\$1,117,234	\$1,774,467	\$2,050,815	
7	0.7107	\$618,714	\$589,251	\$90,368		\$1,064,033	\$1,689,968	\$1,953,157	
8	0.6768	\$561,192	\$534,468	\$86,065		\$1,013,364	\$1,609,494	\$1,860,150	
9	0.6446	\$509,017	\$484,779	\$81,966		\$965,109	\$1,532,851	\$1,771,571	
10	0.6139	\$461,694	\$439,708	\$78,063		\$919,151	\$1,459,858	\$1,687,210	
11	0.5847	\$418,770	\$398,829	\$74,346		\$875,382	\$1,390,341	\$1,606,867	
12	0.5568	\$379,837	\$379,837	\$70,806		\$833,697	\$1,324,134	\$1,530,350	
13	0.5303	\$361,749	\$361,749	\$67,434		\$793,998	\$1,261,080	\$1,457,476	
14	0.5051	\$344,523	\$344,523	\$64,223		\$756,188	\$1,201,029	\$1,388,072	
15	0.4810	\$328,117	\$328,117	\$61,165		\$720,179	\$1,143,837	\$1,321,974	
16	0.4581	\$312,493	\$312,493	\$58,252		\$685,885	\$1,089,369	\$1,259,022	
17	0.4363	\$297,612	\$297,612	\$55,478		\$653,224	\$1,037,494	\$1,199,069	
18	0.4155	\$283,440	\$283,440	\$52,836		\$622,118	\$988,090	\$1,141,970	
19	0.3957	\$269,943	\$269,943	\$50,320		\$592,493	\$941,038	\$1,087,591	
20	0.3769	\$257,088	\$257,088	\$47,924		\$564,279	\$896,226	\$1,035,801	
21	0.3589	\$0	\$0	\$45,642		\$537,409	\$853,549	\$986,477	
22	0.3418			\$43,469		\$511,818	\$812,904	\$939,502	
23	0.3256			\$41,399		\$487,446	\$774,194	\$894,764	
24	0.3101			\$39,427		\$464,234	\$737,328	\$852,156	
25	0.2953			\$37,550		\$442,128	\$702,217	\$811,577	
26	0.2812			\$35,762		\$421,074	\$668,778	\$772,931	
27	0.2678			\$34,059		\$401,023	\$636,931	\$736,124	
28	0.2551			\$32,437		\$381,926	\$606,601	\$701,071	
29	0.2429					\$363,739	\$577,715	\$667,686	
30	0.2314					\$346,418	\$550,205	\$635,892	
31	0.2204					\$329,922	\$524,005	\$605,611	
	TOTAL	\$3,821,206	\$17,080,658	\$2,442,462	\$76,509,156	\$21,919,663	\$34,814,286	\$40,236,118	
	Total Annual	\$127,374	\$569,355	\$81,415	\$2,550,305	\$730,655	\$1,160,476	\$1,341,204	

Para determinar el valor de rescate de los camiones se utilizó el método de depreciación lineal con un 10% de valor de recuperación.

Para que el cociente B/C sea al menos igual a la unidad fue necesario considerar el cobro de una cuota mínima de \$0.37 pesos por viaje que anualmente representa un total de 2,377,955 dólares, considerando 218,464 viajes diarios (Cap. IV), 46 semanas de operación al año y 5.5 días de operación a la semana.

El ahorro por concepto de seguros se considera como el dinero que se ahorraría en el pago de seguros de los vehículos y los pasajeros, ya que el *PRT* tiene unos estándares de seguridad muy altos.

El ahorro en tiempo se calculó considerando los 5 minutos por viaje que se ahorrarían en promedio utilizando el *PRT* multiplicado por los 218,464 viajes diarios, más el tiempo ahorrado por el 16% de la demanda que no cubriría el sistema de camiones y asignándole un valor de 3 salarios mínimos al tiempo de los estudiantes, maestros y trabajadores.

El siguiente cuadro muestra los costos y beneficios de las alternativas actualizadas a valor presente y divididos entre el número de años de vida útil del sistema.

Concepto	Mejoramiento del STCCU	PRT	Clasificación
Inversión Inicial	\$127,374	\$2,550,305	Costo para la UNAM
Ingresos por Cuotas	\$0	\$1,160,476	Ahorro para la UNAM
O. y M.	\$569,355	\$730,655	Perjuicio para los usuarios
Ahorro en Tiempo	\$0	\$1,341,204	Beneficio para los usuarios
Seguros	\$81,415	\$0	Perjuicio para los usuarios
Beneficios Acumulados	-\$650,771	\$610,549	
Costos Acumulados	\$127,374	\$1,389,829	

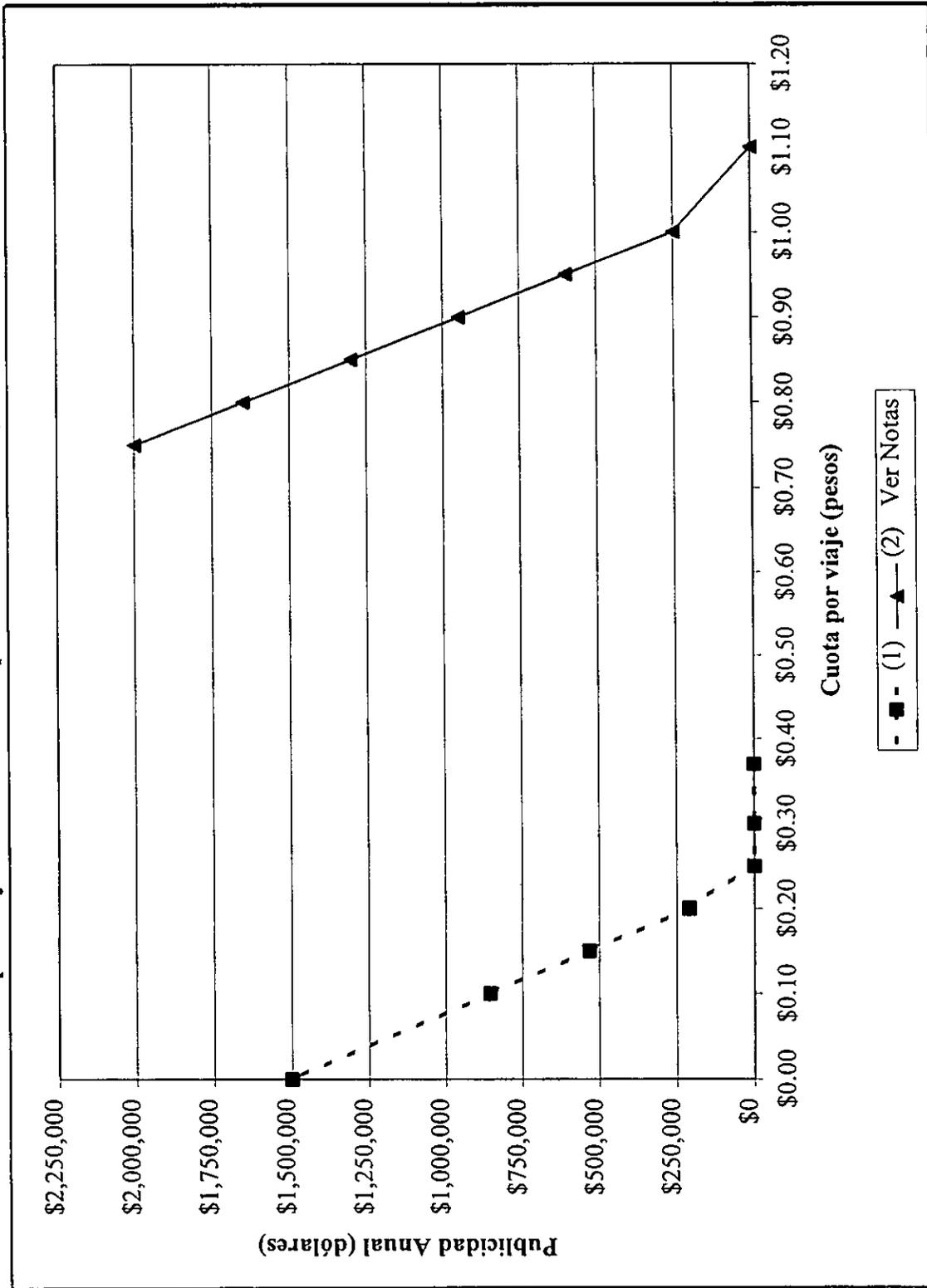
$$\Delta B / C_{2-1}(5\%) = \frac{610,549 - (-650,771)}{1,389,829 - 127,374} = 1$$

Lo que hace al *PRT* la alternativa más adecuada para la situación mostrada.

Como una forma alternativa de financiamiento es posible obtener ingresos fijos anuales por conceptos de publicidad. Montos que podrían ascender hasta 2,000,000 de dólares, según informes obtenidos de empresas de gran tamaño que determinaron que el *PRT* es una alternativa de gran impacto publicitario. Esta publicidad podría estar situada dentro de los vehículos, en las estaciones e incluso sujetos a la estructura.

La gráfica mostrada a continuación representa dos de las alternativas de financiamiento que se podrían presentar.

Relación Cuota por Viaje-Publicidad Anual para Financiar el Proyecto durante su Vida Útil



Nota (1): Esta opción contempla únicamente el pago de la operación y el mantenimiento del PRT.

Nota (2): Esta opción contempla el pago de instalación, operación y el mantenimiento del PRT.

VI.5. Análisis de “Ingresos y Gastos Iguales” e Incertidumbre o Sensibilidad

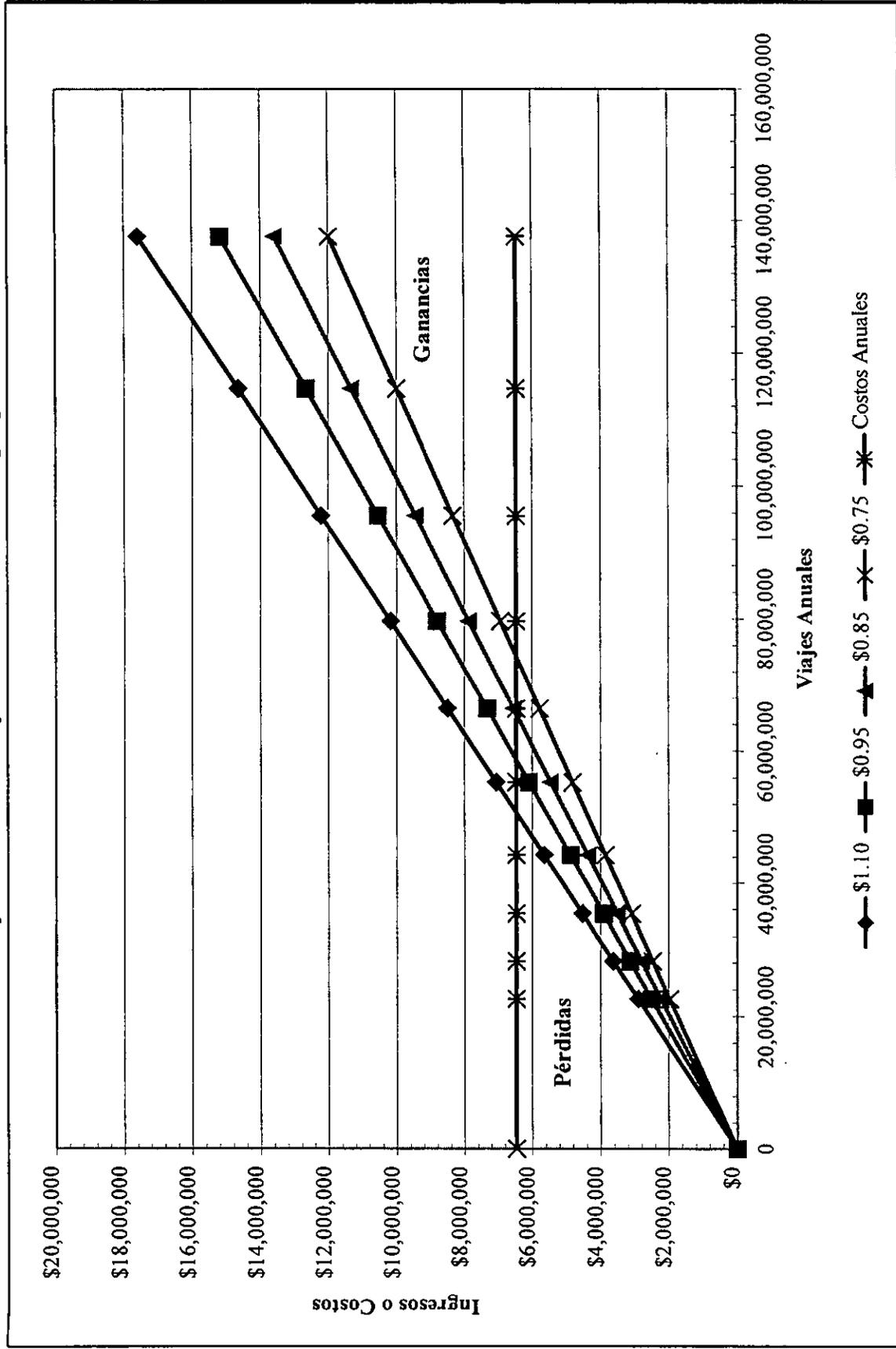
Uno de los análisis complementarios al estudio de costo-beneficio puede ser éste. Su propósito es el de considerar la incertidumbre de un parámetro en la evaluación de un proyecto. El término “ingresos y gastos iguales” se procede del deseo de determinar el valor de un parámetro determinado que dé por resultado una situación donde no se tengan ni pérdidas ni ganancias. La realización de este análisis es de mucha utilidad para auxiliar al grupo encargado de tomar decisiones con respecto a la implantación de un proyecto donde se detecte que hay un grado de incertidumbre en alguno de sus parámetros.

Como no podemos saber con certeza cuantas personas viajaran anualmente en el sistema hasta que no se realicen más estudios del comportamiento de la demanda y sobre la opinión de los usuarios, el parámetro que presenta incertidumbre es el número de personas que utilizarían anualmente el sistema.

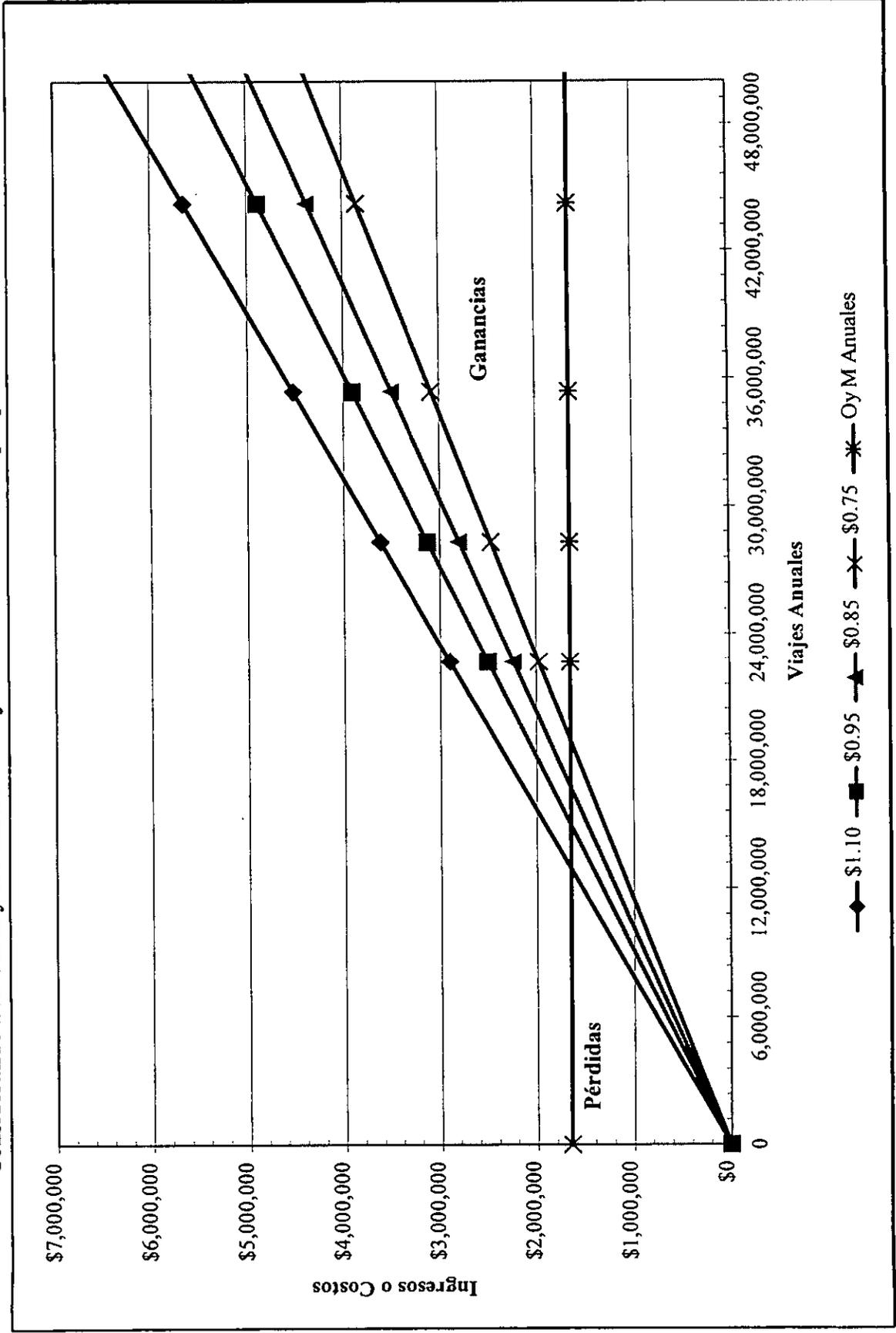
Como no se ha tomado una decisión definitiva de la forma en que se obtendrán los ingresos para este proyecto, se analizan a continuación los valores que permitirán alcanzar una situación de “ingresos y gastos iguales” para dos casos: el primero considerando que se pagarían tanto los costos de la instalación del sistema como los costos de operación y mantenimiento (O. y M.) y el segundo considerando que se pagarían únicamente los costos de operación y mantenimiento. Cabe aclarar que ambos análisis se hacen sin considerar la publicidad como una fuente de ingresos con el fin de presentar la situación más desfavorable que se podría presentar para el financiamiento de este proyecto. Esta situación contempla como única fuente de ingresos las cuotas que pagarían los usuarios.

Es evidente que si se contara con los ingresos por publicidad, disminuiría el número de viajes necesarios para alcanzar la condición de “ingresos y gastos iguales”.

Análisis de "Ingresos y Gastos iguales" e Incertidumbre para una Amortización de la Inversión y los Gastos de O. y M. Considerando a la Cuota y el Número de Viajes como los Parámetros que presentan incertidumbre



Análisis de "Ingresos y Gastos iguales" e Incertidumbre para una Amortización de los Gastos de O. y M. Considerando a la Cuota y el Número de Viajes como los Parámetros que presentan incertidumbre



Un análisis aún más detallado incluiría a la inversión inicial, a la publicidad y a la cuota por viaje como parámetros cuya estimación podría estar sujeta a error. Incluir estos parámetros resulta muy importante ya que un aumento en la inversión inicial y una disminución en la publicidad recibida podría trastornar el cálculo de las cuotas por viaje (directamente proporcional al número de viajes al año) y esto produciría efectos indeseables en el flujo de efectivo pronosticado. Esto a su vez podría afectar directamente a los usuarios dado que la cuota por viaje podría aumentar para contrarrestar estas variaciones en los otros parámetros.

La forma de plantear este problema resulta ser bastante sencilla pero su único inconveniente es que la solución gráfica no nos será de utilidad dado que al tener 3 parámetros con algún grado de incertidumbre, la solución gráfica es un cuerpo en el espacio y no una superficie como en los casos anteriores. Dado que es algo complicado interpretar los resultados gráficos expuestos de esta forma se optará por analizar los valores críticos de la desigualdad que produciría esa gráfica con el siguiente procedimiento. Para ello se debe considerar el valor presente de la suma de todos los ingresos y gastos que se presenten en la vida del proyecto y asignar variables a los parámetros que pueden presentar variaciones. Esto es

$$P = \sum \text{ingresos} - \sum \text{egresos} \geq 0$$
$$P = \text{Cuotas} + \text{Publicidad} - \text{Inversión inicial} - O. \text{ y } M. \geq 0$$

Para el caso en que los ingresos por cuotas tenga un valor de 4,820,180 dólares (0.75 pesos por viaje y 218,464 viajes), ingresos anuales por concepto de publicidad de

2,000,000 de dólares, gastos de O. Y M. anuales de 1,497,201 dólares y una inversión de 78,375,233 dólares dividida en partes iguales durante los dos primeros años se tiene un valor presente total

$$\begin{aligned}
 P = & 4,820,180(1+x)(P|A,5,28)(P|F,5,2) + \\
 & +2,000,000(1+y)(P|A,5,28)(P|F,5,2) + \\
 & -39,187,616(1+z)(1+P|F,5,1) + \\
 & -1,497,201(P|A,5,28)(P|F,5,2) \geq 0
 \end{aligned}$$

Donde el valor presente P para una serie uniforme de flujos de efectivo A se representa de la siguiente manera

$$P = A(P|A, i, n)$$

y se calcula como

$$P = A \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n i}$$

n = número de periodos que causan interés,

i = tasa de interés para aplicable a cada periodo.

El quebrado es el factor de actualización o recuperación del capital.

El valor presente P de un valor futuro F está representado por

$$P = F(P|F, i, n)$$

y se calcula como

$$P = F(1+i)^{-n}$$

n = número de periodos que causan interés,

i = tasa de interés para aplicable a cada periodo.

$(1+i)^{-n}$ es el factor de actualización.

Haciendo las operaciones correspondientes y simplificando se tiene

$$P = 1,421,539 + 70,569,499x + 29,280,859y - 76,509,156z \geq 0$$

Para encontrar las variaciones máximas tolerables se debe suponer que dos de los tres parámetros son estimados correctamente y se resuelve la desigualdad para el tercero.

Esto es,

Si no se cometen errores al estimar los ingresos por concepto de publicidad (y) ni al estimar los gastos de instalación (z),

$$\begin{aligned}y, z &= 0 \\ ,421,539 + 70,569,499x &\geq 0 \\ x &\geq \frac{-1,421,539}{70,569,499} \geq -2.014\%\end{aligned}$$

se tolera una reducción de hasta 2.014% anual en los ingresos por concepto de cuotas. De forma análoga, si no se cometen errores al estimar los ingresos por concepto de cuotas (x) ni al estimar los gastos de instalación (z),

$$\begin{aligned}x, z &= 0 \\ ,421,539 + 29,280,859y &\geq 0 \\ y &\geq \frac{-1,421,539}{29,280,859} \geq -4.854\%\end{aligned}$$

se tolera una reducción de hasta 4.854% anual en los ingresos por concepto de publicidad. Finalmente, si no se cometen errores al estimar los ingresos por concepto de cuotas (x) ni al estimar los ingresos por concepto de publicidad (y),

$$\begin{aligned}x, y &= 0 \\ ,421,539 - 76,509,156z &\geq 0 \\ z &\leq \frac{1,421,539}{76,509,156} \leq 1.858\%\end{aligned}$$

se tolera un aumento de hasta 1.858% anual en los gastos de instalación.

VI.6. Cuadro de Fuentes y Uso de Fondos

A continuación se muestran cuatro posibles formas de financiamiento donde se combinan distintos conceptos de fuentes de ingreso y usos para esas fuentes como el pago de los gastos de instalación, operación y mantenimiento, ingresos por cuotas y publicidad durante los 30 años de vida útil del proyecto. Todas las cantidades en los cuadros siguientes están expresadas en millones de dólares.

	Año														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Caso I: Pagar Instalación, O. y M. (sin pub., cuota = \$1.1/viaje)															
Fuentes															
Recursos Propios	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Préstamos a Largo Plazo (l.p.)	\$39.19	\$39.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subsidios	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ventas (Cuotas)	-	-	\$6.73	\$6.73	\$6.73	\$6.73	\$6.73	\$6.73	\$6.73	\$6.73	\$6.73	\$6.73	\$6.73	\$6.73	\$6.73
Préstamos a Corto Plazo (c.p.)	-	-	-	\$0.33	\$0.66	\$0.99	\$1.32	\$1.65	\$1.98	\$2.31	\$2.64	\$2.97	\$3.30	\$3.63	\$3.96
Saldo del Año Anterior	-	-	-	\$7.06	\$7.39	\$7.72	\$8.05	\$8.38	\$8.71	\$9.04	\$9.37	\$9.70	\$10.03	\$10.36	\$10.69
Total	\$39.19	\$39.19	\$6.73	\$7.06	\$7.39	\$7.72	\$8.05	\$8.38	\$8.71	\$9.04	\$9.37	\$9.70	\$10.03	\$10.36	\$10.69
Usos															
Inversiones	\$39.19	\$39.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pago de Préstamos (l.p.) e Inter.	-	-	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98
Gastos de O. y M.	-	-	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43
Pagos de Préstamos (c.p.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Impuestos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	\$39.19	\$39.19	\$6.40	\$6.40	\$6.40										
Disponibilidad (Fuentes - Usos)															
Reserva para Depreciación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilidades Distribuidas	-	-	\$0.33	\$0.66	\$0.99	\$1.32	\$1.65	\$1.98	\$2.31	\$2.64	\$2.97	\$3.30	\$3.63	\$3.96	\$4.29
Saldo del Año Siguiente	-	-	\$0.33	\$0.66	\$0.99	\$1.32	\$1.65	\$1.98	\$2.31	\$2.64	\$2.97	\$3.30	\$3.63	\$3.96	\$4.29
Total	-	-	\$0.33	\$0.66	\$0.99	\$1.32	\$1.65	\$1.98	\$2.31	\$2.64	\$2.97	\$3.30	\$3.63	\$3.96	\$4.29

(Continuación del Caso I)

Caso I: Pagar Instalación, O. y M. (sin pub., cuota = \$1.1/viaje)	Año														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Fuentes															
Recursos Propios	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Préstamos a Largo Plazo (l.p.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subsidios	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ventas (Cuotas)	\$6.73	\$6.73	\$6.73	\$6.73	\$6.73	\$6.73	\$6.73	\$6.73	\$6.73	\$6.73	\$6.73	\$6.73	\$6.73	\$6.73	\$6.73
Préstamos a Corto Plazo (c.p.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Saldo del Año Anterior	\$4.29	\$4.62	\$4.95	\$5.28	\$5.61	\$5.94	\$6.27	\$6.60	\$6.93	\$7.26	\$7.59	\$7.92	\$8.25	\$8.58	\$8.91
Total	\$11.02	\$11.35	\$11.6	\$12.0	\$12.3	\$12.6	\$13.0	\$13.3	\$13.6	\$13.9	\$14.3	\$14.6	\$14.98	\$15.31	\$15.64
Usos															
Inversiones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pago de Préstamos (l.p.) e Inter.	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98
Gastos de O. y M.	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43
Pagos de Préstamos (c.p.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Impuestos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40
Disponibilidad (Fuentes – Usos)															
Reserva para Depreciación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilidades Distribuidas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Saldo del Año Siguiente	\$4.62	\$4.95	\$5.28	\$5.61	\$5.94	\$6.27	\$6.60	\$6.93	\$7.26	\$7.59	\$7.92	\$8.25	\$8.58	\$8.91	\$9.24
Total	\$4.62	\$4.95	\$5.28	\$5.61	\$5.94	\$6.27	\$6.60	\$6.93	\$7.26	\$7.59	\$7.92	\$8.25	\$8.58	\$8.91	\$9.24

	Año														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Caso II: Pagar Instalación, O. y M. (con pub., cuota = \$0.75/viaje)															
Fuentes															
Recursos Propios	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Préstamos a Largo Plazo (l.p.)	\$39.19	\$39.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subsidios	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ventas (Cuotas y Publicidad)	-	-	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50
Préstamos a Corto Plazo (c.p.)	-	-	-	\$0.09	\$0.18	\$0.28	\$0.37	\$0.46	\$0.55	\$0.65	\$0.74	\$0.83	\$0.92	\$1.02	\$1.11
Saldo del Año Anterior	-	-	-	\$6.59	\$6.68	\$6.77	\$6.87	\$6.96	\$7.05	\$7.14	\$7.24	\$7.33	\$7.42	\$7.51	\$7.61
Total	\$39.19	\$39.19	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50
Usos															
Inversiones	\$39.19	\$39.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pago de Préstamos (l.p.) e Inter.	-	-	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98
Gastos de O. y M.	-	-	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43
Pagos de Préstamos (c.p.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Impuestos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	\$39.19	\$39.19	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40
Disponibilidad (Fuentes - Usos)															
Reserva para Depreciación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilidades Distribuidas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Saldo del Año Siguiente	-	-	\$0.09	\$0.18	\$0.28	\$0.37	\$0.46	\$0.55	\$0.65	\$0.74	\$0.83	\$0.92	\$1.02	\$1.11	\$1.20
Total	-	-	\$0.09	\$0.18	\$0.28	\$0.37	\$0.46	\$0.55	\$0.65	\$0.74	\$0.83	\$0.92	\$1.02	\$1.11	\$1.20

(Continuación del Caso II)

Caso II: Pagar Instalación, O. y M. (con pub., cuota = \$0.75/viaje)	Año														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Fuentes															
Recursos Propios	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Préstamos a Largo Plazo (l.p.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subsidios	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ventas (Cuotas y Publicidad)	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50	\$6.50
Préstamos a Corto Plazo (c.p.)	\$1.20	\$1.29	\$1.39	\$1.48	\$1.57	\$1.66	\$1.76	\$1.85	\$1.94	\$2.03	\$2.13	\$2.22	\$2.31	\$2.40	\$2.50
Saldo del Año Anterior	\$7.70	\$7.79	\$7.88	\$7.97	\$8.07	\$8.16	\$8.25	\$8.34	\$8.44	\$8.53	\$8.62	\$8.71	\$8.81	\$8.90	\$8.99
Total															
Usos															
Inversiones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pago de Préstamos (l.p.) e Inter.	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98	\$4.98
Gastos de O. y M.	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43
Pagos de Préstamos (c.p.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Impuestos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40	\$6.40
Disponibilidad (Fuentes - Usos)															
Reserva para Depreciación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilidades Distribuidas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Saldo del Año Siguiente	\$1.29	\$1.39	\$1.48	\$1.57	\$1.66	\$1.76	\$1.85	\$1.94	\$2.03	\$2.13	\$2.22	\$2.31	\$2.40	\$2.50	\$2.59
Total	\$1.29	\$1.39	\$1.48	\$1.57	\$1.66	\$1.76	\$1.85	\$1.94	\$2.03	\$2.13	\$2.22	\$2.31	\$2.40	\$2.50	\$2.59

Caso III: Pagar O. y M. (sin pub., cuota = \$0.24/viaje)	Año														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Fuentes															
Recursos Propios	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Préstamos a Largo Plazo (l.p.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subsidios	\$39.19	\$39.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ventas (Cuotas)	-	-	\$1.53	\$1.53	\$1.53	\$1.53	\$1.53	\$1.53	\$1.53	\$1.53	\$1.53	\$1.53	\$1.53	\$1.53	\$1.53
Préstamos a Corto Plazo (c.p.)	-	-	-	\$0.10	\$0.21	\$0.31	\$0.42	\$0.52	\$0.63	\$0.73	\$0.83	\$0.94	\$1.04	\$1.15	\$1.25
Saldo del Año Anterior	-	-	\$1.53	\$1.63	\$1.74	\$1.84	\$1.95	\$2.05	\$2.16	\$2.26	\$2.36	\$2.47	\$2.57	\$2.68	\$2.78
Total	\$39.19	\$39.19	\$1.53	\$1.63	\$1.74	\$1.84	\$1.95	\$2.05	\$2.16	\$2.26	\$2.36	\$2.47	\$2.57	\$2.68	\$2.78
Usos															
Inversiones	\$39.19	\$39.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pago de Préstamos (l.p.) e Inter.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gastos de O. y M.	-	-	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43
Pagos de Préstamos (c.p.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Impuestos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	\$39.19	\$39.19	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43
Disponibilidad (Fuentes - Usos)															
Reserva para Depreciación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilidades Distribuidas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Saldo del Año Siguiente	-	-	\$0.10	\$0.21	\$0.31	\$0.42	\$0.52	\$0.63	\$0.73	\$0.83	\$0.94	\$1.04	\$1.15	\$1.25	\$1.36
Total	-	-	\$0.10	\$0.21	\$0.31	\$0.42	\$0.52	\$0.63	\$0.73	\$0.83	\$0.94	\$1.04	\$1.15	\$1.25	\$1.36

(Continuación del Caso III)

	Año														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Caso III: Pagar O. y M. (sin pub., cuota = \$0.24/viaje)															
Fuentes															
Recursos Propios	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Préstamos a Largo Plazo (l.p.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subsidios	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ventas (Cuotas)	\$1.53	\$1.53	\$1.53	\$1.53	\$1.53	\$1.53	\$1.53	\$1.53	\$1.53	\$1.53	\$1.53	\$1.53	\$1.53	\$1.53	\$1.53
Préstamos a Corto Plazo (c.p.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Saldo del Año Anterior	\$1.36	\$1.46	\$1.56	\$1.67	\$1.77	\$1.88	\$1.98	\$2.09	\$2.19	\$2.29	\$2.40	\$2.50	\$2.61	\$2.71	\$2.82
Total	\$2.89	\$2.99	\$3.09	\$3.20	\$3.30	\$3.41	\$3.51	\$3.62	\$3.72	\$3.83	\$3.93	\$4.03	\$4.14	\$4.24	\$4.35
Usos															
Inversiones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pago de Préstamos (l.p.) e Inter.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gastos de O. y M.	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43
Pagos de Préstamos (c.p.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Impuestos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43
Disponibilidad (Fuentes - Usos)															
Reserva para Depreciación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilidades Distribuidas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Saldo del Año Siguiente	\$1.46	\$1.56	\$1.67	\$1.77	\$1.88	\$1.98	\$2.09	\$2.19	\$2.29	\$2.40	\$2.50	\$2.61	\$2.71	\$2.82	\$2.92
Total	\$1.46	\$1.56	\$1.67	\$1.77	\$1.88	\$1.98	\$2.09	\$2.19	\$2.29	\$2.40	\$2.50	\$2.61	\$2.71	\$2.82	\$2.92

Caso IV: Pagar O. y M. (con pub., cuota = \$0.0/viaje)	Año														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Fuentes															
Recursos Propios	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Préstamos a Largo Plazo (l.p.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subsidios	\$39.19	\$39.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ventas (Publicidad)	-	-	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43
Préstamos a Corto Plazo (c.p.)	-	-	-	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Saldo del Año Anterior	-	-	-	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43
Total	\$39.19	\$39.19	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43
Usos															
Inversiones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pago de Préstamos (l.p.) e Inter.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gastos de O. y M.	-	-	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43
Pagos de Préstamos (c.p.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Impuestos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	\$0.00	\$0.00	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43
Disponibilidad (Fuentes – Usos)															
Reserva para Depreciación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilidades Distribuidas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Saldo del Año Siguiente	-	-	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Total	-	-	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00

(Continuación del Caso IV)

	Año														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Caso IV: Pagar O. y M. (con pub., cuota = \$0.0/viaje)															
Fuentes															
Recursos Propios	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Préstamos a Largo Plazo (l.p.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Subsidios	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ventas (Publicidad)	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43
Préstamos a Corto Plazo (c.p.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Saldo del Año Anterior	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Total	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43
Usos															
Inversiones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pago de Préstamos (l.p.) e Inter.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gastos de O. y M.	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43
Pagos de Préstamos (c.p.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Impuestos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43	\$1.43
Disponibilidad (Fuentes - Usos)															
Reserva para Depreciación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilidades Distribuidas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Saldo del Año Siguiente	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Total	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VII.1 Conclusiones y Comentarios de la Evaluación

Existen muchas formas de obtener fondos para financiar proyectos del sector público. Para el caso de Ciudad Universitaria se generaron distintas alternativas que van desde una cuota gratuita y un subsidio de la instalación del sistema, amortizando los gastos de operación y mantenimiento durante la vida útil del proyecto, hasta un servicio con una cuota de 0.75 pesos por viaje e ingresos por concepto de publicidad, amortizando tanto los gastos de instalación como de los gastos de operación y mantenimiento durante su vida útil. Para ninguna de las opciones de financiamiento generadas se consideraron los recursos propios que podría aportar la Universidad del presupuesto anual que le es asignado para apoyar este proyecto, aunque es otra posibilidad.

A pesar de la diversidad de formas que existen para financiar un proyecto de esta naturaleza, se debe crear la conciencia de que no es posible subsidiando proyectos de infraestructura, y en este caso, de transporte. Haciendo esta consideración, los autores creemos que una alternativa de financiamiento, como la expuesta en el Caso II, es la recomendable. Esta alternativa busca un equilibrio entre la participación de los usuarios y otros mecanismos que permiten generar ingresos como la publicidad, para amortizar dicho proyecto. Como lo demuestra el análisis, el objetivo de este proyecto no es el obtener utilidades, dichas utilidades se obtienen por la necesidad de redondear el valor de la cuota por efectos prácticos y para facilitar su manejo. Dado que la utilidad es

muy pequeña tenemos evidentemente un margen de error muy pequeño en lo que respecta al análisis de sensibilidad e incertidumbre y no contamos con la posibilidad de generar un fondo ahorro para apoyar otros proyectos dentro de la Universidad. Esto se corrige a medida que la utilidad aumenta pero en este caso no es lo que se pretende, por lo que se debe ser muy metódico en la determinación de los parámetros más representativos del proyecto.

VII.2 Conclusiones Generales

En todo el mundo la educación y la cultura representan para un país sus pilares más importantes para lograr un desarrollo sustentable. Siendo esto así, los estudiantes y el tiempo que ellos dedican a sus estudios deben ser considerados como uno de los elementos más importantes necesarios para lograr este desarrollo. El tiempo que un estudiante deja de destinar a sus estudios por alguna razón, cualquiera que ésta sea, representa potencialmente grandes pérdidas. Este tiempo perdido debería ser aprovechado, en actividades productivas, como la educación, el trabajo, el deporte y la cultura, traduciéndose de forma acumulada en un beneficio para la sociedad.

En una ciudad tan grande como la nuestra, los trayectos necesarios para transportarse pueden llegar a ser muy largos. Muchas de las personas que realizan alguna actividad dentro de Ciudad Universitaria pueden llegar a pasar una gran cantidad de tiempo en los medios de transporte de la ciudad y a su llegada a Ciudad Universitaria deben realizar otro recorrido importante. Debido a la gran extensión con la que cuenta, la

demanda de transporte se convierte en una necesidad que hay que satisfacer y la oferta necesaria para hacerlo es indispensable. No sería práctico que las unidades de los distintos sistemas de transporte colectivo del Distrito Federal, entraran al *campus* para prestar este servicio, siendo responsabilidad de las Autoridades Universitarias proporcionárselos a sus elementos más importantes, los estudiantes, los académicos y sus trabajadores. Para prestar dicho servicio, no es suficiente pensar en cualquier sistema de transporte, es necesario pensar en uno eficiente, que evite el incremento en tiempo del traslado de los estudiantes, profesores y empleados desde donde viven hasta donde realizan sus actividades cotidianas.

Los autores de esta tesis, analizando y evaluando algunas alternativas de transporte posibles, consideramos que es esencial reducir los tiempos actuales de traslado. Asimismo, es importante hacer notar, que viviendo en *la ciudad más contaminada del mundo*, el proponer más sistemas de transporte que generen tráfico, contaminación y ruido es inaceptable.

De acuerdo con los resultados obtenidos de la evaluación técnica, evaluación de impacto ambiental y diversos criterios de evaluación económica nos podemos dar cuenta que el sistema que reúne más características positivas y que merece su inclusión al servicio de transporte de Ciudad Universitaria es el Sistema de Transporte Rápido para Pasajeros (*PRT*).

Éste es el sistema que presenta los tiempos de recorrido más cortos, es el más confiable, más seguro, satisface la demanda en su totalidad y tiene los tiempos de espera

menores. Además es un sistema eléctrico, no genera ruido ni contaminación, es elevado e independiente de las vialidades y no genera congestionamientos viales, es decir, es la alternativa que daña menos al ambiente. Podría brindarnos ventajas adicionales siempre y cuando se consideren en su diseño. Una de ellas podría ser transportar con vehículos especiales toda la basura generada dentro de Ciudad Universitaria hacia algún depósito y realizar todo esto de forma automática. Otra de ellas podría ser que este sistema funcione como “mensajero”, transportando dentro de las instalaciones papeles, libros, oficios, etc. de una forma inmediata, rápida y eficiente. Se podría además promover la inclusión de abonos de transporte para usuarios que utilicen frecuentemente el sistema y una cuota más elevada a aquellos que lo hagan esporádicamente.

VII.2 Recomendaciones

Como se mencionó al principio de este trabajo, en alcances de esta tesis, y se constató en los análisis de sensibilidad e incertidumbre de la evaluación económica del proyecto realizados en el Capítulo VI, para que un sistema de transporte sea correctamente planificado, es importante que los muestreos de la demanda sean realizados de manera completa y que éstos sean actualizados periódicamente para tener una base de datos estadísticos confiable. Para este fin es necesario realizar encuestas que permitan representar el comportamiento de la demanda y todos los elementos que la conforman de la mejor forma posible. Creemos que si los usuarios responden a un cuestionario semestral como el siguiente, se alcanzarían los objetivos planteados necesarios para

contar con un estudio de la demanda confiable. Dicho cuestionario se podría repartir a todos los alumnos, profesores, investigadores y empleados al principio de cada semestre, durante el periodo de inscripciones y con ayuda de los lectores ópticos y de un sistema de cómputo (como se hace actualmente para las encuestas sobre el profesorado) se podría generar fácilmente una base de datos sumamente completa que sería renovada y actualizada dos veces al año. Esto permitiría establecer un mecanismo de control semestral para el mejor funcionamiento del sistema automatizado de acuerdo a las necesidades de la población. Los aspectos más importantes que pretende recabar este cuestionario son:

1. Determinar la forma en que se transporta el encuestado.
2. Sitio de acceso y salida.
3. Destino principal dentro de Ciudad Universitaria.
4. Número y hora de accesos y salidas.
5. Opinión del encuestado acerca de las opciones de transporte.

Posible Encuesta para Estudio de Demanda

1. ¿Cómo te transportas dentro de Ciudad Universitaria?

- a pié en el sistema de transporte de CU taxi
 automóvil

2. ¿Cuál es tu *destino principal*? (ver número correspondiente al reverso)

0	0	0
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	4	4
5	5	5
6	6	6
7	7	7
8	8	8
9	9	9

3. ¿A qué hora ingresas a Ciudad Universitaria? (puede ser más de una ocasión)

- antes de las 6 hrs. de 6 - 7 hrs. de 7 - 8 hrs. de 8 - 9 hrs.
 de 9 - 10 hrs. de 10 - 11 hrs. de 11 - 12 hrs. de 12 - 13 hrs.
 de 13 - 14 hrs. de 14 - 15 hrs. de 15 - 16 hrs. de 17 - 18 hrs.
 de 18 - 19 hrs. de 19 - 20 hrs. después de las 20 hrs.

4. ¿Cuál es tu *punto ingreso* a de Ciudad Universitaria?

- Metro Copilco Metro Universidad Av. Insurgentes
 Eje 10 Sur (Copilco) Av. Imán

5. ¿A qué hora sales de Ciudad Universitaria? (puede ser más de una ocasión)

- antes de las 6 hrs. de 6 - 7 hrs. de 7 - 8 hrs. de 8 - 9 hrs.
 de 9 - 10 hrs. de 10 - 11 hrs. de 11 - 12 hrs. de 12 - 13 hrs.
 de 13 - 14 hrs. de 14 - 15 hrs. de 15 - 16 hrs. de 17 - 18 hrs.
 de 18 - 19 hrs. de 19 - 20 hrs. después de las 20 hrs.

6. ¿Cuál es tu *punto de salida* de Ciudad Universitaria?

- Metro Copilco Metro Universidad Av. Insurgentes
 Eje 10 Sur (Copilco) Av. Imán

7. ¿Cuánto tiempo tardas en recorrer desde tu *punto de ingreso* hasta tu *destino y/o viceversa*?

- menos de 5 min. entre 5 y 10 min. entre 10 y 15 min.
 más de 15 min.

5. ¿Has utilizado el Sistema de Transporte Colectivo de Ciudad Universitaria?

- Si No

6. ¿Cómo consideras el Sistema de Transporte actual?

- bueno regular malo

7. ¿Utilizarías un *nuevo sistema de transporte* más eficiente en que el tiempo de recorrido máximo fuera 3 min.?

- Si No

8. ¿Estarías dispuesto a pagar 75 centavos por viaje por un servicio así?

- Si No

Siendo que consideramos al PRT la alternativa más adecuada para ser utilizada dentro del campus es necesario hacer algunos comentarios al respecto.

En la evaluación económica, los índices de los costos de instalación, operación y mantenimiento fueron obtenidos de una de las empresas dedicadas al desarrollo y fabricación de estos sistemas de tránsito en Estados Unidos. Esta tecnología es innovadora y costosa, sin embargo creemos que es posible desarrollarla y fabricarla en nuestro país adaptándola a nuestras necesidades particulares. Esto puede ser llevado a cabo por un centro de investigación o alguna empresa independiente; organismo que podría ser el encargado de operarlo, mantenerlo y administrarlo deslindando de esa responsabilidad a la Universidad.

Los avances en los campos de la ingeniería, la electrónica y la computación, entre otros, nos permiten ahora contemplar panoramas alentadores para satisfacer las necesidades de las ciudades del futuro. El desarrollo de nuevas tecnologías que permitan implantar nuevas y mejores formas de transporte dentro de centros urbanos representa la experimentación de un nuevo paradigma que tendrá la posibilidad de dar una solución nunca antes vista a lo que hoy es un problema muy grave, creciente y cada vez más difícil de resolver. Propuestas como el *PRT* constituyen una parte de este nuevo paradigma que consideramos deben ser contempladas para el presente y el futuro de nuestro país.

REFERENCIAS

1. Guía Universitaria, Secretaría Administrativa, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 1992.
2. Conozca la UNAM. Una Introducción a la Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría Administrativa, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 1994.
3. Manual de Exploración Geotécnica, Secretaría General de Obras del Departamento del Distrito Federal, México, D.F., Noviembre de 1988.
4. WRIGHT, Paul H., Paquette, Radnor J., Ingeniería de Carreteras, México, D.F., Editorial Limusa, 1993.
5. STOCK, F.A., Concrete Pavements, Elsevier Applied Science, London, England.
6. Recomendaciones para mejorar el Sistema de Transporte Colectivo de CU, Ingeniería de Tránsito y Transportes S.A.
7. CHICUREL, R., 1997, Vehículo Eléctrico UNAM. Proyecto Iner Institucional, Instituto de Ingeniería, México, D.F.

8. Modificado por J. Schneider (jbs@u.washington.edu), 1996, *Toward a Definition of an Ideal Personal Rapid Transit Technology*. Original del informe de Remi Kaiser presentado en las conferencias **Personal Rapid Transit II**, Universidad de Minnessota, Minneapolis, Minesota, 1974.
9. ANDERSON, J. Edward, (jeanderson@aol.com), 1996, *Some Lessons from the History of Personal Rapid Transit (PRT)*, presentado en la conferencia **PRT and Other Emerging Transit Systems**, Minneapolis, Minesota.
10. GLUCK, S. J., et. al., 1996, *Design and Commercialization of the PRT 2000™ Personal Rapid Transit System*, Chicago, Illinois.
11. Raytheon Company, 1997, *Personal Rapid Transit 2000™*, Página electrónica: http://www.raytheon.com/res/trans_prt.html.
12. SAMUEL, Peter, (pdsamuel@aol.com), 1996, *Status Report on Raytheon's PRT 2000™ Development Project*, ITS International (ITSeditor@routeonepub.com), Route One Publishing.
13. ANDERSON, J. Edward, 1997, *The Capacity of a Personal Rapid Transit System*, Universidad de Minnesota, Minneapolis, Minnesota.