



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

**REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE ESPERA DE LOS
VEHÍCULOS RECOLECTORES DE RESIDUOS SÓLIDOS EN
ESTACIONES DE TRANSFERENCIA EN LA CIUDAD DE
MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO
DE MAESTRO EN INGENIERIA (AMBIENTAL)

P R E S E N T A:

I. Q. GEMA SUSANA CANO DÍAZ

MÉXICO D.F.,

NOVIEMBRE 2005.

AGRADECIMIENTOS

A la **UNAM**, por haberme brindado de nuevo la oportunidad de vivir la experiencia universitaria, y permitirme avanzar un paso más en mi proyecto de vida.

Al **Posgrado de Ingeniería**, por permitirme formar parte de su programa de Maestría en Ingeniería Ambiental.

Al **CONACyT**, por el apoyo otorgado mediante la asignación de una beca.

A la **DGSU** por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo, en especial al **Ing. Ricardo Estrada**, por sus consejos, apoyo y asesoría.

A mi **Comité Tutorial**, por enriquecer con sus comentarios y asesorías a este trabajo, muchas gracias por su tiempo.



A ti **Papa**, porque sé que de tí he aprendido el arte de la disciplina y el merito de la superación. Siéntete orgulloso porque soy tu hija y eres muy importante para mí. Te Amo

A ti **Mama**, por ser y estar siempre y sobretodo por apoyarme y aunque no lo veas siempre esta tu consejo conmigo. Te Amo

A ti **Hermana**, por ser el sostén de mis decisiones, y el apoyo incondicional que siempre tengo, sabes que te quiero.

A ti **Cuñis**, porque eres parte de mi familia y un gran amigo a quien contar mis historias, sabes que confío en ti siempre.

A ti **Santiago**, porque sin saberlo eres la luz nueva que ilumina mi camino, porque con tu simple presencia has cambiado mi vida. Te Quiero Mucho.



A quien me acompañó en toda esta travesía y no me soltó, siguió mis pasos y seguramente sabe todo lo que paso en mi mente y corazón, gracias **a ti**.

A **Isaac**, por ser y estar siempre que te necesito, por compartir tu tiempo y aguantarme, por seguirme hasta el otro lado del charco. Eres insuperable.

A **Mami** y **Alfonso**, porque saben que los quiero mucho, gracias por ser mis amigos y sobretodo a ti amiga, la mejor.

A ti **Maestra**, por siempre creer en mi y apoyarme en las buenas y malas, aprendo mucho de ti cada día.

A **Fer** y **Mario**, saben que siempre los recordare, gracias por esta etapa compartida y sobretodo por ser quien son... mis amigos. Los quiero.

A todos los "cuates": **Rosy, Sam, Chucho. Moni, Jules**,... por estar presentes en una de las mejores épocas de mi vida. Tú que no puedes faltar, gracias por todos los buenos momentos. Amigos los quiero!!!

A **Reinita**, por ser la mas linda conmigo y aguantar cada uno de mis estados de animo, has sido super importante. Gracias!

A todos los que reencontré en el camino y que nunca perdí. Estaremos siempre juntos.

Gracias por estar hoy conmigo!!!

ÍNDICE GENERAL

Índice de Figuras	I
Índice de Tablas	II
Resumen	III
Abstract	IV
Objetivo General	V
Objetivos Particulares	V
Hipótesis	VI
Alcances	VII

Capítulo 1

Generalidades	1
1.1. Manejo de los residuos sólidos en América Latina y el Caribe	1
1.1.1. Sistema de recolección	1
1.1.2. Sistemas de transferencia	4
1.2. Manejo de los residuos sólidos en la Ciudad de México	6
1.2.1. Sistema de recolección de los residuos sólidos en la Ciudad de México	8
1.2.2. Sistema de transferencia en la Ciudad de México	12
1.3. Normatividad aplicable al manejo de residuos sólidos en México	17
1.3.1. Ley Orgánica de la Administración Pública	18
1.3.2. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)	18
1.3.3. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos	19
1.3.4. Ley Ambiental del Distrito Federal	19
1.3.5. Reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal	19
1.3.6. Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal	20
1.3.7. Normas Oficiales Mexicanas	21
1.3.8. Normas Mexicanas	21

Capítulo 2

Selección de la Estación de Transferencia muestra	22
2.1. Análisis de la información	22
2.2. Metodología para la selección de la Estación de Transferencia	29
2.3. Evaluación de la operación de las Estaciones de Transferencia por el método jerárquico multicriterio	31

Capítulo 3

Estación de Transferencia de Residuos Sólidos seleccionada	37
3.1. Infraestructura	37
3.2. Operación	38
3.3. Recopilación de datos	39

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 4		
	Metodología de solución	41
4.1.	Teoría de colas	41
4..1.	Objetivos de la Teoría de colas	42
4..2.	Elementos existentes en un modelo de colas	43
4..3.	Notación de Kendall	45
4..4.	Terminología	46
4..5.	Medidas de desempeño para evaluar un sistema de colas	46
<hr/>		
Capítulo 5		
	Caso de Estudio	49
5.1.	Análisis de la información	49
5.1.1.	Proceso de llegadas	49
5.1.2.	Tiempo de servicio	51
5.2.	Prueba de bondad de ajuste	52
5.2.1.	Proceso de llegadas (Distribución de Poisson)	52
5.3.	Evaluación del sistema actual de operación	54
5.4.	Modelo propuesto	55
5.5.	Desempeño del modelo propuesto	56
<hr/>		
Capítulo 6		
	Conclusiones y Recomendaciones	58
<hr/>		
	Bibliografía	61
<hr/>		
	Anexos	
Anexo I		
Determinación de periodos críticos		63
Anexo II		
Tipo de vehículos en Estaciones de Transferencia		67
Anexo III		
Estudio de tiempos de los vehículos recolectores a la Estación de Transferencia Álvaro Obregón		69
Anexo IV		
Proceso de llegadas (Distribución de Poisson)		71
Anexo V		
Estudio de tiempos de los tractocamiones de transferencia ala Estación de Álvaro Obregón		73
Anexo VI		
Análisis de Teoría de Colas (caso actual y caso propuesto)		77

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1

1.1	Sistemas de recolección y transporte antes de 1998	8
1.2	Sistema de recolección y transporte actual	8
1.3	Transporte actual	10
1.4	Sistema de transferencia en el Distrito Federal	13

Capítulo 2

2.1	Frecuencia de llegadas de vehículos recolectores a las Estaciones de Transferencia	24
2.2	Comparación de frecuencia de llegadas de vehículos recolectores a Estaciones de Transferencia en la Ciudad de México	29
2.3	Metodología para la determinación del Periodo Crítico	31
2.4	Método de jerarquización analítica	32
2.5	Arreglo jerárquico para las Estaciones de Transferencia	35
2.6	Resultado de la selección de la Estación de Transferencia problema	36

Capítulo 3

3.1	Diagrama de la Estación de Transferencia Álvaro Obregón	37
3.2	Diagrama del patio de maniobras de la Estación Álvaro Obregón	38

Capítulo 4

4.1	Modelo de colas simple	41
4.2	Sistema de colas	44

Capítulo 5

5.1	Frecuencia de llegadas de vehículos recolectores en el día crítico de la semana	49
5.2	Tiempos en cola de espera de vehículos recolectores en el día crítico de la semana	50
5.3	Histograma de frecuencia de llegadas	51
5.4	Frecuencia de llegadas de tractocamiones de transferencia	51

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 1

1.1	Sistemas de recolección en algunas ciudades	2
1.2	Sistemas de transferencia en algunas ciudades	5
1.3	Distribución de vehículos recolectores por Delegación	9
1.4	Distribución de vehículos asignados por tipo en las Delegaciones Políticas	11
1.5	Cantidad de viajes realizados a las Estaciones de Transferencia por unidad	11
1.6	Generalidades de las Estaciones de Transferencia	14
1.7	Tonelaje de residuos sólidos transferidos	15
1.8	Distancia desde la Estación de transferencia al destino final	15
1.9	Tiempos estimados para el sistema de recolección	16
1.10	Tiempos estimados en la estación de transferencia	16
1.11	Marco legal aplicable al manejo de residuos en la Republica Mexicana	17

Capítulo 2

2.1	Detalle de ingreso de vehículos recolectores a Estaciones de Transferencia	22
2.2	Frecuencia de llegadas de vehículos recolectores a Estaciones de Transferencia en la Ciudad de México	28
2.3	Valores propuestos de consistencia aleatoria	33
2.4	Valores asignados a cada criterio de selección.	35

Capítulo 3

3.1	Datos obtenidos para vehículos recolectores en la Estación Álvaro Obregón	40
3.2	Datos obtenidos para tractocamiones de transferencia en la Estación Álvaro Obregón	40

Capítulo 5

5.1	Distribución de frecuencia para las llegadas de vehículos recolectores	50
5.2	Desempeño actual de la Estación de Transferencia	55
5.3	Desempeño del caso propuesto para la operación de la Estación	57
5.4	Análisis comparativo de desempeño	57

RESUMEN

La cantidad de residuos sólidos generados en la Ciudad de México actualmente es de poco más de 12,000 toneladas al día. Cada una de las 16 Delegaciones Políticas del Distrito Federal es responsable de la recolección de sus residuos, para tal fin, cuentan con más de 2,000 camiones recolectores con una capacidad menor a 30 m³ y con 13 Estaciones de Transferencia (ET). El 75% de los residuos recolectados se envían a las ET, en las cuales los residuos se transfieren y transportan en tracto camiones con cajas de mayor capacidad, entre 40 y 70 m³, para llevarlos hacia los sitios de disposición final. (JICA, 1999)

Cuando se construyeron las ET, tenían la ventaja de disminuir: tiempos muertos de la cuadrilla de recolección, el gasto de combustible, desgaste de la unidad y de las llantas, así como una optimización del tiempo de transporte, éstas ventajas impactaron positivamente el gasto de inversión y el costo de operación; ahora, tales ventajas se han reducido debido a la descoordinación de la llegada de los vehículos a las ET, lo que aumenta el tiempo de espera para la descarga y carga de los residuos.

Con la finalidad de proponer estrategias para reducir el tiempo de espera, se realizó un estudio del comportamiento de las 13 ET de la Ciudad de México que comprendió, tanto el análisis de la frecuencia de llegada de los vehículos recolectores a cada Estación, como del periodo crítico de operación en el que se presentan colas de espera. A partir de los resultados del análisis, se seleccionaron las cinco ET con los mayores periodos críticos en la frecuencia de llegada y en la atención a vehículos recolectores. A esas cinco ET, se les aplicó el método jerárquico multicriterio de selección para elegir el caso más crítico; es decir, aquella Estación con el mayor tiempo de espera (colas de espera), en el que se consideraron las variables: operación de la ET, número de vehículos atendidos, tonelaje transferido, horarios de llegada de vehículos recolectores y tractocamiones con cajas de transferencia, tiempo de espera de estas dos colas y tiempo de servicio para cada una.

Una vez identificada la ET con el periodo crítico mayor, se empleó el método de Teoría de Colas para obtener un modelo matemático que representara su operación, a partir de lo cual se propuso una estrategia para reducir significativamente el tiempo de espera de los vehículos recolectores que fuera aplicable a todas las ET.

Optimizando el tiempo de operación de la transferencia de los residuos, se puede realizar un mayor número de viajes durante su turno a la zona de recolección y con ello lograr una mayor y mejor cobertura, lo que disminuye la cantidad de residuos almacenados en los domicilios y si tiene un control y disposición adecuada.

ABSTRACT

The amount of solid waste generated in Mexico City is a little more than 12,000 tons per day. Each one of the 16 Political Delegations of the Distrito Federal is responsible for managing the waste. They have more than 2,000 trucks with a capacity smaller than 30 m³ and 13 Transference Stations (TS). 75% of the wastes collected are sent to TS, in which the wastes are transferred and transported in trucks with boxes of greater capacity, between 40 and 70 m³, in order to take them towards the sites of final disposition.

When the TS were constructed, they had the task of diminishing: (1) the times of the recollection of waste; (2) the cost of fuel, it wears away of the unit and the tires; (3) and optimization of the time of transport. These advantages positively hit the cost of investment and the cost of operation. Now such advantages have been reduced due to the lack of control of the arrival of the vehicles to the TS, which increases the waiting time for the unloading and loads of the waste.

With the purpose in mind to reduce the waiting time, a study of the behavior of 13 TS of the Mexico City was made. It included the analysis of the arrival frequency of the trucks to each Stations and the critical period of operation in which waiting lines appear. With the analysis, were selected five TS with the greater critical periods in the frequency of arrival and the attention to vehicles.

Multicriterion of selection was applied to them to the hierarchic method to choose the most critical case. That one being, the Station with the greater time of waiting lines, in which the variables were considered: operation of TS, number of vehicles attended, transferred tonnage, schedules of arrival of vehicles and trucks with boxes of transference, time of delay of the two tails and time on watch for each one.

Once identified the TS with the greater critical period, the method of Theory of Tails was used to obtain a mathematical model that represented its operation, from which a strategy was set to significantly reduce the time of waiting of the trucks that was applicable to all of the TS's.

Through optimizing the time of operation of the transference of the wastes, a greater number of trips can be made during hours of operation to the zone of final disposition and with it to obtain a greater and better coverage. This diminishes the amount of wastes stored in the addresses, and gives a suitable control and disposition of the wastes.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

- ✦ Realizar un estudio que permita reducir los tiempos de espera de los vehículos recolectores de residuos sólidos a las Estaciones de Transferencia.

OBJETIVOS PARTICULARES:

- Establecer parámetros para que permitan una mejora en la operación y eficiencia de las Estaciones de Transferencia para mejorar el servicio de recolección y con ello evitar tiempos de espera innecesarios y disminuir así la cantidad contaminación causada por los vehículos recolectores.
- Detectar puntos de mejora en la infraestructura, control y operación de las Estaciones de Transferencia.

HIPÓTESIS

- Existe una deficiente distribución de los horarios de recolección, lo que resulta en llegadas de vehículos recolectores a Estaciones de Transferencia, en tiempos similares.
- La Estación trabaja en horarios críticos de operación, en donde su infraestructura e insumos no son suficientes para la demanda que se tiene.
- Escasez de vehículos de transferencia en horarios críticos de operación dentro de la Estación, lo que trae consigo tiempos de espera mayores para los vehículos recolectores.
- La asignación adecuada de los vehículos de transferencia en horarios críticos dentro de la Estación podría reducir los tiempos de espera de los vehículos recolectores.
- El comportamiento es parecido en todas las Estaciones del Distrito Federal.

ALCANCES

- El estudio se llevó a cabo en una sola Estación de Transferencia ya que el comportamiento es parecido en todas las Estaciones del Distrito Federal.
- La Estación de Transferencia seleccionada se determinó con base en los resultados preliminares y la Estación que presentó mayor problemática en los tiempos de espera.
- Se recabó la información de campo durante una semana directamente de la Estación de Transferencia seleccionada.
- Se tomaron como base del estudio previo los datos para los Sistemas de Recolección en las Delegaciones, que proporcionó la Dirección General de Servicios Urbanos.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1. Manejo de los residuos sólidos en América Latina y el Caribe.

1.1.1 Sistemas de Recolección.

Varias ciudades grandes de América Latina, como Buenos Aires, Santiago, Rosario, La Habana, México D.F., Sao Paulo, Río de Janeiro, Bogotá, Medellín, Cali, Montevideo, Brasilia y Caracas tienen una cobertura de recolección de 90 a 100%. En Chile, 99% de la población urbana dispone de un servicio regular de recolección de RSM. Sin embargo, en muchas zonas metropolitanas como México, Sao Paulo y otros no se incluye a las zonas marginadas ubicadas en otros municipios también metropolitanos. (OPS, 1998)

La cobertura promedio de recolección es de 89% en las ciudades grandes y en las de menor tamaño es de 50 a 70%. La recolección ocupa 0.2 a 0.4 trabajadores por cada 1,000 habitantes dependiendo de la generación por habitante, la concentración predial y el grado de dificultad de la ruta. En promedio cada trabajador recolecta de 2 a 5 Ton/jornada. El equipo más usado es el camión compactador con capacidad de 10 a 15 m³ y dos viajes de 4 a 8 toneladas por turno. Cuando por condiciones laborales sólo se hace un viaje, los camiones tienen que trabajar dos turnos. Las zonas de alto y mediano ingreso están bien atendidas pero en las zonas marginales los servicios son esporádicos. Desgraciadamente, se les presta menos atención por la poca capacidad de pago de sus habitantes, por las difíciles condiciones topográficas, por el mal estado de las calles o por el carácter ilegal de los asentamientos. (OPS, 1998)

La encuesta nacional de saneamiento básico efectuada en 4,425 municipios del Brasil por FIBGE, en 1989, reveló que el equipo de recolección de residuos sólidos en esos municipios ascendía aproximadamente a 39,000 unidades en total, con la siguiente distribución:

- | | | |
|---|---|---------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Camiones compactadores 4,200 (11%) • Camiones basculantes 3,600 (9%) • Camiones tipo "prefectura" 400 (1%) • Otros tipos de camiones 2,300 (6%) • Carretas a tracción animal 1,200 (3%) • Carretas manuales 27,300 (70%) | } | Total 39,000 (100%) |
|---|---|---------------------|

En países como Bolivia, Brasil, Colombia, Guatemala, El Salvador, Honduras, México y Perú se han ensayado métodos no convencionales de recolección con participación comunitaria. Estos métodos de recolección primaria sustituyen parte del equipo de recolección convencional con carritos y carretas manuales o semimecanizados, lo que da ocupación a algunos de los habitantes de la zona servida. Hasta ahora el resultado de las experiencias ha sido variable. Otros métodos consisten en la colocación de contenedores que se cargan mecánicamente con camiones compactadores provistos de izadores. Los habitantes de los alrededores se organizan para llevar su basura hasta esos recipientes, lo que reduce los costos de los servicios. Donde no hay servicio oficial de recolección, especialmente en áreas marginales, la recolección ocasionalmente lo hace el sector informal y frecuentemente arroja los residuos a botaderos clandestinos.

En América Latina, los costos de recolección varían de 15 a 40 dólares por tonelada y en Estados Unidos de 50 a 125 dólares. Como resultado de políticas nacionales, los que más adelantos reportan son algunos países del Caribe, Cuba y Chile. En este último, la cobertura de recolección en las poblaciones urbanas ha alcanzado 98.2%. En el resto de los países, las ciudades medianas y pequeñas del interior alcanzan coberturas mucho más bajas y están siempre en condiciones críticas de equipamiento. En la tabla 1.1 se muestran datos sobre la recolección en algunos países y ciudades.

Tabla 1.1 Sistemas de recolección en algunas ciudades

Ciudad (millones habitantes)	Almacenamiento No camiones	(Camión/No hab.)	Rendimiento	Frecuencia
La Habana, Cuba	10% individual 90% comunal (contenedores)	200 (1/10000)	3 min./100 m	6/7, 3/7
México, D.F., México	Individual normalizado	1500 (1/7300)	4 t/pers	6/7
Río de Janeiro*, Brasil	Individual normalizado	565 (1/10000)	3.3 t/pers.	3/7
Caracas, Venezuela	Individual normalizado	350 (1/8000)	4.5 t/pers.	2/7
San José, Costa Rica	70% bolsa plástico	35 (1/7000)	3-5 t/pers.	6/7
Bogotá, Colombia	Individual normalizado		0.17 trab/1000 hab.	6/7, 3/7, 2/7
Medellín, Colombia	Individual normalizado	115 (1/13000)	0.20 trab/1000 hab.	6/7, 3/7, 2/7
Cali, Colombia	Individual normalizado	109 (1/16000)	0.40 trab/1000 hab.	6/7, 3/7, 2/7
Barranquilla, Colombia		49 (1/20000)	0.15 trab/1000 hab.	6/7, 3/7, 2/7
Sao Paulo, Brasil	Individual normalizado	600 (1/27000)		3/7
Brasilia, Brasil	Individual normalizado	144 (1/12500)	0.65 trab/1000 hab.	6/7, 3/7, 1/7, 1/15
Montevideo, Uruguay	Individual normalizado	169 (1/8300)	0.43 trab/1000 hab.	6/7, 3/7
Asunción, Paraguay		50	(1/24000)=0.19 trab/1000 hab.	6/7, 3/7, 1/7
Monterrey, México		183 (1/15300)	0.08 trab/1000 hab.	3/7, 2/7
Estados Unidos (media)	Individual normalizado	- (1/4000)	5-8 t/pers.	1/7, 2/7 2/7

(OPS, 1998)

Ante la falta de datos para comparar la eficiencia de la recolección entre los diferentes servicios municipales, se están empleando indicadores tales como tonelada de recolección/persona, operario de recolección por 1,000 habitantes y habitantes por camión de recolección. Aunque la tecnología de recolección entre los países de la región es similar, con gran dependencia de equipo importado, la productividad y eficiencia varía grandemente entre ciudades. No todos los servicios municipales de las ciudades grandes utilizan técnicas óptimas de rutas y transporte; en las ciudades intermedias y pequeñas los procedimientos son totalmente empíricos y consecuentemente ineficientes.

Los costos de recolección comparados con los países industrializados son inferiores, debido al bajo costo de la mano de obra latinoamericana. Las deficiencias y limitaciones anteriores están siendo superadas por las empresas privadas, las que están incursionando cada vez más en la recolección. No ocurre lo mismo en las ciudades menores, donde probablemente las microempresas se proyectarán con mayores posibilidades como sucede, por ejemplo, en Costa Rica y Perú.

Otras características de la recolección en la mayor parte de Centro América son el uso de equipo convencional, camiones compactadores de carga trasera o lateral que operan bien en zonas urbanas pavimentadas, pero presentan problemas en calles con pendientes elevadas o en ciudades situadas a mucha altura sobre el nivel del mar. También hay problemas en el sistema de compactación debido a la mayor densidad de la basura y el sistema de mantenimiento es deficiente por falta de repuestos. De allí que muchos servicios de recolección utilizan camiones de baranda y volquetes, cuya adquisición, mantenimiento y operación son de bajo costo, ya que la menor eficiencia se compensa con los bajos salarios de los operadores.

La frecuencia de recolección municipal es generalmente de dos o tres veces por semana y también diaria en algunos sectores donde la generación de residuos sólidos comerciales así lo demanda (zonas céntricas, mercados, centros comerciales, áreas de turismo intenso, etc.). En algunas ciudades como Lima, la frecuencia de recolección es diaria en áreas residenciales de altos ingresos, lo que representa costos elevados, sin embargo, los usuarios se sienten satisfechos a pesar de que todos los días deben sacar pequeñas cantidades de basura. En el otro extremo, en las zonas marginales la frecuencia de recolección es de una vez por semana, una vez cada dos semanas o en forma ocasional.

Las áreas metropolitanas y ciudades grandes están resolviendo el problema del servicio de recolección mediante contratos al sector privado, como sucede en Buenos Aires y Sao Paulo, o mediante el otorgamiento de concesiones a consorcios privados, como en Bogotá o incluso a recolectores privados del sector informal, como en la ciudad de Guatemala. Actualmente en Chile, 80% de los servicios de recolección en ciudades de más de 50,000 habitantes son operados por empresas privadas.

La productividad es superior en el sector privado que en los servicios de la municipalidad. En Colombia por ejemplo, mientras Cali emplea 0.4 operarios por 1,000 habitantes bajo el sistema de recolección municipal, Bogotá requiere 0.17, Barranquilla 0.15, y Santa Marta 0.12/1,000 habitantes bajo el sistema privado. En las ciudades intermedias y menores se identifican como aspectos críticos de la recolección, la baja cobertura y la escasa o ninguna atención a los asentamientos marginales urbanos.

1.1.2 Sistemas de Transferencia.

El rápido crecimiento urbano registrado en décadas pasadas ha provocado una expansión acelerada que hace cada vez más difícil localizar sitios adecuados para la disposición final, tanto por la oposición de los vecinos como por el costo de los terrenos. Las grandes distancias a los nuevos rellenos sanitarios han obligado el uso creciente de Estaciones de Transferencia que permiten el acarreo de la basura en unidades de 40 a 60 m³ con costos unitarios más bajos. Se conoce la existencia de Estaciones en Bolivia, Chile, Ecuador, Brasil, Argentina, Colombia, México, Perú y Venezuela y hay otras en proyecto en Asunción, San Salvador, San José y otras ciudades. En Río de Janeiro, México, Caracas, Monterrey, Guadalajara y Buenos Aires, más de 50% de la basura recolectada pasa por Estaciones. Se espera que su uso sea cada vez más frecuente en la Región.

Los costos de estos servicios varían de 5,00 a 17,00 dólares por tonelada, según la distancia de acarreo. Los costos actuales en los Estados Unidos fluctúan entre 15 y 25 dólares. En la Tabla 1.2 se presentan datos sobre algunas Estaciones de Transferencia de la Región. En Brasil los costos de transferencia están alrededor de US\$ 0.25 t/km.

Puede observarse así mismo que la mayoría de las ciudades con más de un millón de habitantes cuenta con Estaciones de Transferencia que tienen diseños con ligeras variantes.

El propósito de los sistemas de transferencia es recibir los residuos sólidos de vehículos recolectores para transferirlos a un vehículo de mayor capacidad y así ser transportados a la planta de tratamiento o al sitio de disposición final; estos grandes vehículos suelen ser camiones, vagones de ferrocarril o barcos.

En la actualidad el sistema de transferencia para residuos sólidos municipales se está volviendo una instalación necesaria en las grandes ciudades, debido al continuo alejamiento de los sitios de tratamiento y de disposición final.

Los trailers de transferencia generalmente transportan una carga útil aproximada de 20-25 toneladas de residuos, y reciben un promedio de cinco a seis vehículos recolectores. Las principales ventajas que presenta un sistema de transferencia se describen a continuación:

- ✓ Disminución de los costos globales de transporte y de horas improductivas de mano de obra empleada en la recolección.
- ✓ Reducción del tiempo improductivo de los vehículos de recolección en su recorrido al sitio de disposición final.
- ✓ Aumento de la vida útil y disminución en los costos de mantenimiento de los vehículos recolectores.
- ✓ Incremento en la eficiencia del servicio de recolección, por medio de una cobertura más homogénea y balanceada en las rutas de recolección.
- ✓ Mayor regularidad en el servicio de recolección, debido a la disminución de desperfectos de ejes, muelles, suspensiones y llantas que sufrían al transitar hasta el sitio de disposición final.
- ✓ Reducción en la contaminación ambiental.
- ✓ Se reducen las afectaciones a la salud pública.

Tipos de Estaciones de Transferencia

Han surgido diferentes maneras de vertir los residuos a las transferencias, las cuales también han ido mejorando por las necesidades y experiencias obtenidas en los diferentes países del mundo.

A continuación se enuncian y describen tres tipos de los más prácticos y comunes.

- Estaciones de descarga directa.
- Estaciones de descarga indirecta.
- Estaciones combinadas (carga directa y carga indirecta).

Tabla 1.2 Sistemas de transferencia en algunas ciudades

Ciudad	Tipo y número	Ton/día	Unidades	Pers.	Camiones	Costo US\$/Ton
México, D.F. México	Directas Sin almacén 13	3,000 (30%)	Compactadoras 60 m ³ Sin compactar, con piso móvil	260	50	
Río de Janeiro Brasil	Sin compactación 4	3,700 (40%)	30 a 45 m ³ con y sin compactación	70	40	5
Lima Perú	Directas y sin compactación	1,500 (37%)	60 m ³ sin compactación	-	12	13
Caracas Venezuela	Directa 1	1,200	2 x 24 m ³	-	12	-
La Paz Bolivia	Varias	320 (85%)	-	18	9	5

Ciudad	Tipo y número	Ton/día	Unidades	Pers.	Camiones	Costo US\$/Ton
Buenos Aires Argentina	Combinadas	35,000 (45%)	60 m ³	150	45	17 (con deprecia ción)
Sao Paulo Brasil	Sin compactación 3	5,600 (35%)	40- 60 m ³	180	45	6
Brasilia Brasil	-	600 (40%)	-	15	13	-
Cali Colombia	-	80 (6%)	-	7	10	-
Monterrey, México	3	2,200 (90%)	-	-	42	-
Santiago Chile	1	3,000 (65%)	-	-	-	-

(OPS, 1998)

1.2. Manejo de los residuos sólidos en la Ciudad de México.

En el año de 1787, las calles de México eran intransitables por el desaseo y la falta de limpieza; había basura y los caños estaban llenos de lodos pestilentes; en casi todas las calles se veían muladares o basureros ya que la basura se arrojaba en la vía pública y no había quien la recogiera. En consecuencia, el virrey Revillagigedo hizo reglamentaciones municipales para barrer y regar las calles, estableciendo que la basura fuera recogida por carros tirados por mulas, con lo cual se evitó que los basureros continuaran en las calles.

Treinta y siete años después, en el año de 1824, las medidas dictadas por Revillagigedo habían dejado de aplicarse, por lo que el coronel Melchor Muzquiz, Jefe Superior Político Interino de su provincia establece nuevas reglamentaciones:

“...Viendo que las medidas dictadas con anterioridad dejaron de observarse”, el ciudadano Melchor Muzquiz, Coronel del Ejército, Teniente Coronel Mayor de Nacionales de Infantería de esta capital y Jefe Superior Político Interino de su Provincia, expide las siguientes providencias:

“...y conociendo que el mal procede no menos del olvido de las oportunas providencias que se han dictado en diversos tiempos para mantenerla limpia, aseo y orden en las calles y demás parajes públicos, que de la lenidad o disimulo en imponerse a los contraventores las multas y penas establecidas, tal vez por el errado concepto de creer los incombustibles con el sistema liberal que rige, tuve a bien nombrar una comisión para proyectar y propusiera las medidas que convendrían tomarse a objeto tan interesante...”

“...en consecuencia acuerdo que se observen, guarde y cumplan invariablemente en esta Capital bajo las penas que se expresan en los artículos siguientes:...

“19°. Siendo del cargo del asentista de la Limpia tener en corriente y bien operados los carros estipulados en su contrato deberá con arreglo a ella hacer que estén todos numerados y que mañana y noche salgan a las horas y por los rumbos designados, a recoger por las calles las basuras e inmundicias, llevando unos y otros la campanilla que tocarán los carretoneros para que sirva de aviso al vecindario y además aguardaran el tiempo suficiente para que puedan acudir con las basuras y vasos haciendo las paradas y estaciones que según la longitud de las calles sean precisas y entendidos que se les escarmentará si faltaren a su obligación o se descomidiesen con los vecinos. y siendo todas las providencias asentadas tan interesantes al público, se espera que todos contribuyan tan interesantes al público y que todos contribuyan a su observancia, sin dar lugar a que las autoridades encargadas de objeto tan saludable, se vean en la obligación de imponer las penas designadas, y para que llegue a noticias de todos y nadie pueda alegar ignorancia, mando de acuerdo con el Ayuntamiento se publique el presente y se fije en los lugares acostumbrados y es fechado el 3 de enero de 1824.” (Álvarez, 1999)

Es importante señalar que estos son los primeros reglamentos que establecen multas a las personas que arrojan basura. En el año de 1884 el servicio de limpia contaba con 83 carros, 43 pipas y 136 mulas, distribuidos entre las ocho inspecciones de policía. De esta manera, por primera vez el servicio se descentraliza en virtud de que era sumamente imperfecto, porque la ciudad ya era muy grande y los carros no podían recorrerla eficientemente, con la agravante de que el tiradero estaba en uno de los extremos de la ciudad. En 1934 se formó el Sindicato Único de Trabajadores del Distrito Federal, con 1,600 afiliados. Para el año de 1936 el servicio de limpia contaba con 2,500 empleados. Dos años antes el equipo con el que contaba se componía ya de camiones tubulares; carros de volteo de 7 toneladas y de 20 toneladas. Los carros tirados por mulas cubrían los servicios de la periferia de la ciudad.

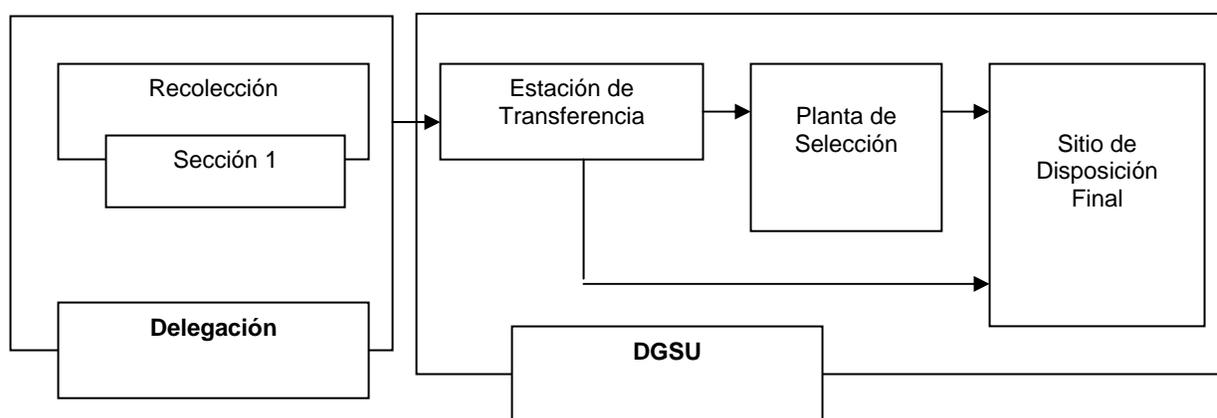
Ya en 1940 se hablaba de reciclar o industrializar la basura, de los problemas de contaminación de suelo, aire y agua y de la necesidad de que los tiraderos quedaran lo más apartado posible de la ciudad. En el año de 1941 se promulgó el primer reglamento de limpia, con el cual se trabajó hasta 1988. En 1946 la Oficina de Limpia se responsabilizó del barrido y la recolección de basura en las calles.

A principios de los sesentas se creó la Dirección General de Servicios Urbanos del D.F. de la que depende la oficina de Recolección de Desechos Sólidos. Al final de esta misma década, desapareció la mencionada Dirección General para surgir nuevamente en 1984 y entonces se da impulso y se fortalece el sistema de transferencia, mediante la adquisición de equipamiento y la construcción de nuevas instalaciones...

De esta Dirección depende en la actualidad la recolección, el tratamiento y la disposición final de los desechos sólidos de la ciudad de México.

1.2.1. Sistema de recolección de los residuos sólidos en la Ciudad de México.

De acuerdo al reglamento de limpia del Distrito Federal las Delegaciones Políticas tienen bajo su responsabilidad el proporcionar el barrido, así como la recolección de los residuos recolectados en la ciudad, siendo competencia de la Dirección General de Servicios Urbanos la planeación, diseño y operación de los subsistemas de transferencia, tratamiento y disposición final.



(JICA, 1999)

Figura 1.1. Sistema de Recolección y Transporte antes de 1998

Sin embargo, en julio de 1998, el GDF y la Sección 1 (Recolección) firmaron un acuerdo por medio del cual la Sección 1 retiraría su servicio de recolección de los mercados, escuelas primarias, conjuntos habitacionales públicos y parques a partir de enero de 1999.

Se decidió en octubre de 1998 que las Delegaciones estarán a cargo de emplear a sectores privados por medio de contratos para la recolección de residuos de estas instituciones públicas.

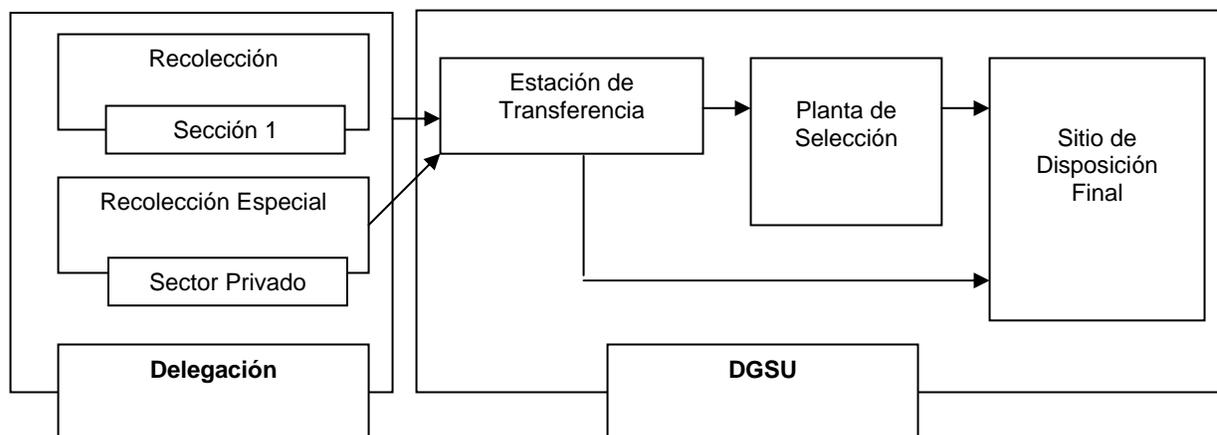


Figura 1.2 Sistema de Recolección y Transporte actual

(JICA, 1999)

Los residuos que se llevan a las Estaciones de Transferencia pasan, después de ser revisados de manera visual, a alguno de los siguientes puntos:

- ✓ Plantas de selección
- ✓ Sitios de disposición final.

Cada Delegación cuenta con su propia flotilla de vehículos recolectores. A continuación se presenta la distribución de los vehículos por Delegación.

Tabla 1.3 Distribución de vehículos recolectores por Delegación

Delegación	Cantidad de Vehículos recolectores
Álvaro Obregón	143
Azcapotzalco	140
Benito Juárez	133
Coyoacán	130
Cuajimalpa	37
Cuauhtémoc	252
Gustavo A. Madero	281
Iztacalco	92
Iztapalapa	217
M. Contreras	65
Miguel Hidalgo	179
Milpa Alta	29
Tláhuac	51
Tlalpan	83
V. Carranza	160
Xochimilco	58
Total	2050

(DGSU, 1998)

1.2.1.1. Método de Recolección

Por lo que se refiere a los métodos de recolección, se puede decir que persiste hasta nuestros días todavía con mucha popularidad, el método de esquina (con campana), aunque también existe el intradomiciliario, el de acera, el de puerta por puerta y el de parada fija.

Los barrenderos comienzan su jornada a partir de las cinco de la mañana, aunque su horario oficial es de 7:00 a 15:00. De 5:00 a 7:00 barren las calles, y a partir de esa hora recogen la basura de las casas, separan los residuos mas cotizables en el mercado y posteriormente los venden.

1.2.1.2 Vehículos de recolección

Hasta 1998, el parque vehicular de recolección estaba integrado por más de 2,000 unidades, como se muestra en la Tabla 1.4, en donde se observa que el mayor porcentaje lo constituyen los vehículos de recolección de caja rectangular que junto con los de carga tubular, ambos con mecanismos de compactación y los de carga trasera constituyen el 50%.

De los vehículos con los que cuenta cada Delegación; se puede decir por lo general, que existen carrocerías de carga lateral, trasera y frontal; estos últimos se usan exclusivamente para carga mecánica de contenedores, mediante un dispositivo que consiste en un par de brazos, que ensamblan con el contenedor, elevándolo y vaciándolo por la parte superior de la caja compactadora. Aunque también existen los vehículos no convencionales entendiéndose por esto aquellos que no fueron diseñados propiamente para la recolección de residuos sólidos municipales, como por ejemplo camiones de volteo.

A continuación se muestran algunos de los modelos con los que cuentan las Delegaciones para prestar el servicio de recolección; así como el número de vehículos y tipos con los que cuentan cada una de ellas.



Figura 1.3 Transporte actual

Tipo: Carga Lateral Tubular

Equipo: Con sistema de compactación

Tipo: Volteo

Equipo: Sin sistema de compactación

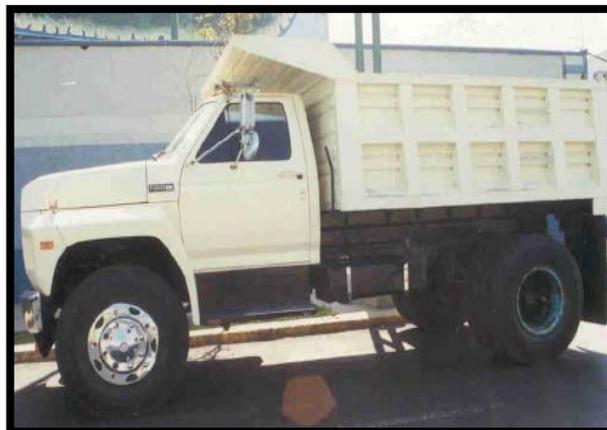


Tabla 1.4 Distribución de vehículos asignados por tipo en las Delegaciones Políticas

Delegación	Tipos					
	Trasera	Rectangular	Tubular	Volteo	Mini recolector	Frontal
Álvaro Obregón	68	27	5	41		2
Azcapotzalco	97	14	21	3		5
Benito Juárez	50	54	25	4		
Coyoacán	92	12	20	2		4
Cuajimalpa	20	6	5	-	6	
Cuauhtémoc	142	34	44	25		7
Gustavo A. Madero	115	82	42	39		3
Iztacalco	47	13	9	22		1
Iztapalapa	116	68	17	15		1
M. Contreras	28	2	--	6	29	
Miguel Hidalgo	90	36	18	33		2
Milpa Alta	7	--	--	19	3	
Tláhuac	32	4	3	12		
Tlalpan	65	6	4	8		
V. Carranza	56	55	9	32	5	3
Xochimilco	44	5	2	7		
Suma	1069	418	224	268	43	28
Total			2050			

(DGSU, 1998)

El estado físico del parque vehicular varía, siendo estos los porcentajes en los cuales se encuentran.

- ⊕ 17% más de 20 años
- ⊕ 24% de 10 – 20 años
- ⊕ 28% de 5 – 10 años
- ⊕ 31% menor de 5 años

Tabla 1.5 Cantidad de viajes realizados a las Estaciones de Transferencia por unidad

Delegación	Cantidad de residuos generados (ton/día)	Capacidad de recolección de los vehículos (ton/día)	Número de viajes
Álvaro Obregón	570	353	1.6
Azcapotzalco	498	540	0.9
Benito Juárez	613	493	1.2
Coyoacán	782	446	1.8
Cuajimalpa	135	103	1.3
Cuauhtémoc	1221	731	1.7
Gustavo A. Madero	1551	671	2.3
Iztacalco	44	333	1.3
Iztapalapa	1994	706	2.8
M. Contreras	218	158	1.4
Miguel Hidalgo	647	550	1.2
Milpa Alta	73	64	1.1
Tláhuac	261	161	1.6
Tlalpan	681	292	2.3
V. Carranza	840	504	1.7
Xochimilco	347	150	2.3
Total	10875	6252	Promedio = 1.7

(DGSU, 1998)

1.2.2. Sistema de transferencia en la Ciudad de México.

En la actualidad en la Ciudad de México existen 13 Estaciones de Transferencia ubicadas en las Delegaciones: Álvaro Obregón, Azcapotzalco, Benito Juárez, Iztapalapa (Central de Abastos I y II), Coyoacán, Cuauhtémoc, Gustavo A. Madero, Miguel Hidalgo, Milpa Alta, Tlalpan, Venustiano Carranza y Xochimilco, las cuales fueron diseñadas y construidas tomando en cuenta criterios ecológicos para el control de ruido, polvos, partículas suspendidas, entre otros.

Por ello las nuevas Estaciones y las ya existentes son cerradas, con paredes acústicas y sistemas hidroneumáticos para el lavado y riego, así como equipos de control de calidad ambiental interior. Este nuevo concepto involucra elementos constructivos tales como carril de desaceleración, carril de encolamiento, muros acústicos, techumbre, sistema de aspersores, extractores de aire con filtros especiales, talleres, oficinas, con estos componentes es posible garantizar una eficiente operación de estas Estaciones.

La DGSU cuenta para el servicio de Transferencia con:

- 200 trailers de transferencia con caja de 70 m³ de capacidad
- 11 camiones con caja de 17 m³ de capacidad
- 4 trailers de transferencia con caja de 40 m³ de capacidad

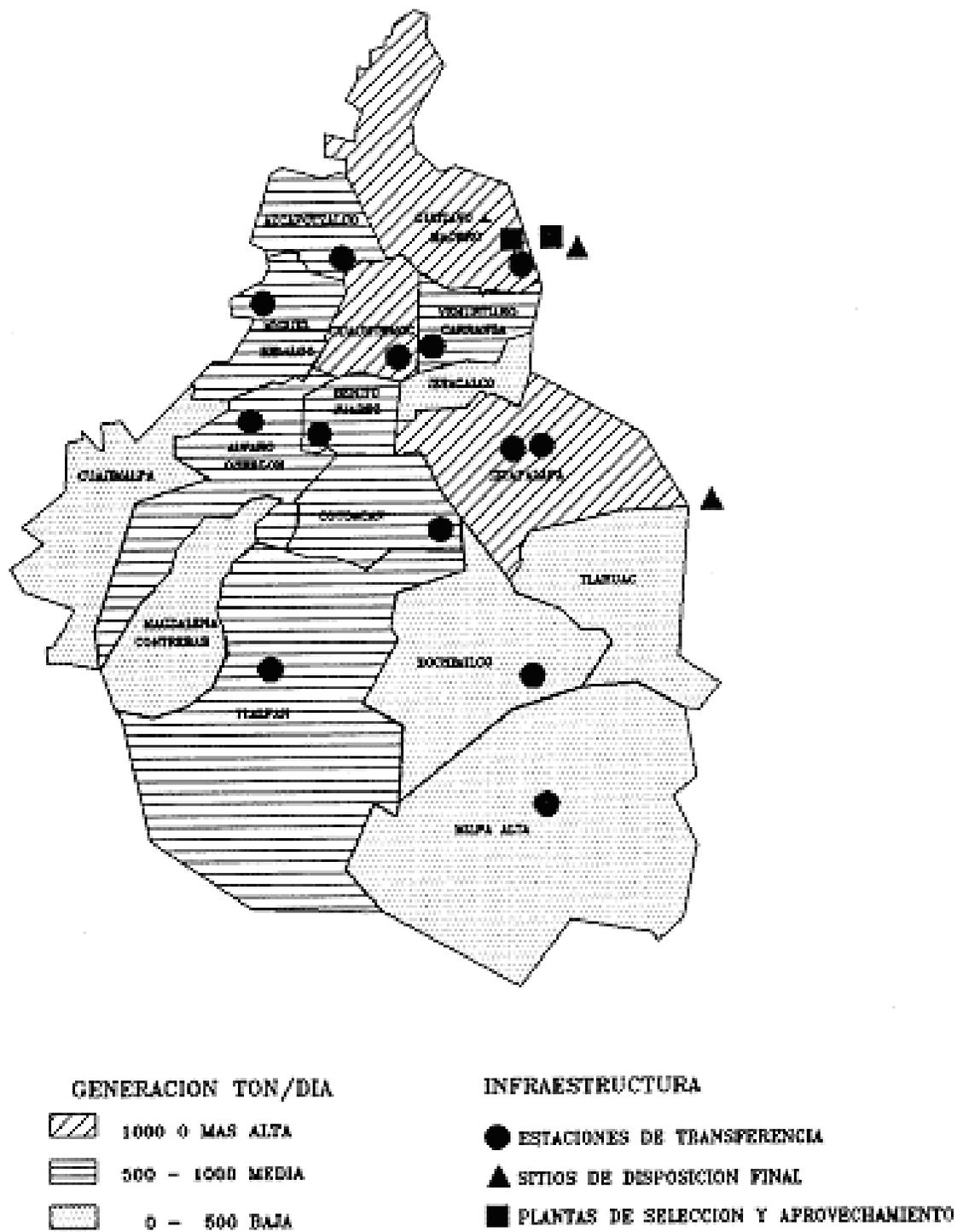


Figura 1.4 Sistema de Transferencia en el Distrito Federal
(DGSU, 1998)

No todas las Estaciones de Transferencia reciben residuos sólidos municipales de la propia Delegación, en ocasiones reciben de diferentes Delegaciones, dependiendo de las necesidades del servicio. Del mismo modo, no todos los residuos recibidos en las Estaciones de Transferencia son transferidos al mismo sitio de disposición final. A continuación se dan algunos datos sobre la ubicación, capacidad, distancia a los sitios de disposición, de todas las estaciones de transferencia; así como parámetros de operación de tomados directamente de la estación Coyoacán, que nos sirvieron para el estudio de éstas.

Tabla 1.6 Generalidades de las Estaciones de Transferencia

Delegación	Ubicación	Superficie (m ²)	Capacidad real (Ton)
Álvaro Obregón	Av. San Antonio, esq. Río Becerra Col. Carola	11,200	1963.64
Azcapotzalco	Calle Prolongación Naranja, esq. Calle 4 Col. Ampliación del gas	6,600	4418.19
Benito Juárez	Callejón Santísima, esq. Prolongación Yacatas Col. Santa Cruz Atoyac	8,800	1472.73
Coyoacán	Viaducto Tlalpan Esq. Calz. De Tlalpan Col. Santa Ursula Coapa	12,200	1472.73
Cuauhtémoc	Calz. Chabacano, esq. Eje 1 Ote Col. Ampliación Asturias	7,000	1472.43
Gustavo A. Madero	Av. 412, Esq. Av. 608 Col. San Juan de Aragón	14,000	2618.20
Iztapalapa	Interior de la Central de Abastos Del Iztapalapa	8,900	1963.65
Central de Abastos	Interior de la Central de Abastos Del Iztapalapa	10,000	1636.37
Miguel Hidalgo	Av. Tecamachalco, esq. Calle 10 Col. Lomas de Barrilazo	6,400	1472.73
Milpa Alta	Calle Guanajuato Oriente Col. Villa Milpa Alta	1,500	327.27
Tlalpan	Carretera Picacho Ajusco Km 4.5 Col. Ampliación Miguel hidalgo 2da sección	10,000	1963.65
V. Carranza	Calle Joaquín Pardavé, esq. Agustín Lara Col. Jardín Balbuena	6,300	1472.73
Xochimilco	Av. México Col. Barrio la Candelaria	8,900	1309.10
		Total	23563.42

(SOS, 2001)

Tabla 1.7 Tonelaje de residuos sólidos transferidos

Delegación	Toneladas transferidas (ton/día)	Participación a nivel D.F. (%)
Álvaro Obregón	685	7.91
Azcapotzalco	316	3.65
Benito Juárez	517	5.96
Coyoacán	639	7.37
Cuauhtémoc	868	10.01
Gustavo A. Madero	1126	12.98
Iztapalapa	600	6.92
Iztapalapa	1581	18.24
Miguel Hidalgo	681	7.86
Milpa Alta	65	0.75
Tlalpan	411	4.74
V. Carranza	671	7.74
Xochimilco	326	3.76
Total	8,669	100

(SOS, 2001)

Tabla 1.8 Distancia desde la Estación de Transferencia al destino final

Delegación	Bordo Poniente (Km.)	Santa Catarina (Km.)
Álvaro Obregón	29.4	30.3
Azcapotzalco	22.8	--
Benito Juárez	--	--
Coyoacán	31.9	28.7
Cuauhtémoc	19.5	23.4
Gustavo A. Madero	13	--
Iztapalapa	16.3	17.8
Iztapalapa	16.1	17.6
Miguel Hidalgo	32.5	--
Milpa Alta	42.4	--
Tlalpan	43.3	40.0
V. Carranza	16.6	0.0
Xochimilco	35.6	17.3

(SOS,2001)

Tabla 1.9 Tiempos estimados para el Sistema de Recolección

Delegación	Encierro-Ruta (min.)	Ruta (min.)	Ruta-Estación (min.)	Estación (min.)	Estación-Ruta (min.)
Benito Juárez	20	120	20	12	25
Iztapalapa	45	150	35	12	40

(SOS, 2001)

Tabla 1.10 Tiempos estimados en la Estación de Transferencia

*Estación de Transferencia: Coyoacán**Horario: 10:03 a.m.**Fecha: 22 de noviembre del 2002*

Tipo:	Tiempo en la Estación de Transferencia	Tiempo de Vaciado
Carga Trasera con sistema de compactación	11min. 47 seg	3 min. 09 seg

(CANO, 2003)



Tipo:	Tiempo de Llenado	Tiempo en bascula	Tiempo de lavado y enlonado	Tiempo total
Camión de Transferencia	9 min. 51 seg.	1 min. 09 seg.	5 min. 27 seg.	16 min. 27 seg.

(CANO, 2003)



1.3. Normatividad aplicable al manejo de residuos sólidos en México.

El sistema jurídico mexicano tiene como base a la “Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos” de 1917, la cuál ha sufrido varias reformas. Dentro de nuestra Constitución se encuentran los artículos 4, 25, 27, y 73 que incluyen temas ambientales referentes a la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.

De la Constitución emanan Leyes, Reglamentos y Normas Oficiales. (Cabe aclarar que la política ambiental mexicana tiene apenas poco mas de tres décadas, en los años setenta adquiere un carácter propio, al crearse la Secretaria de Protección al Ambiente, que enmarca jurídicamente a la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental de 1971).

Tabla 1.11 Marco legal aplicable al manejo de residuos en la República Mexicana

Ordenamiento	Descripción
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	Indica que los servicios públicos municipales deben ser prestados por los ayuntamientos (Art. 115).
Ley General de Salud	Establece las disposiciones relacionadas al servicio de limpia en donde se promueve y apoya el saneamiento básico, se establecen normas y medidas tendientes a la protección a la salud humana para aumentar su calidad de vida.
Ley general de equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	Establece que la generación y manejo de residuos sólidos no peligrosos quedan sujetos a autorización y legislación estatal o en su caso municipal y la disposición final de residuos sólidos no peligrosos mediante rellenos sanitarios.
Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos	Se refiere a la protección al ambiente en materia de prevención y gestión integral de residuos en el territorio nacional.
Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas	Establecen la forma y procedimientos aplicables al manejo y disposición de residuos sólidos no peligrosos.
Constitución Política Estatal	Dentro de los artículos referentes a los municipios se hace referencia a las facultades que tiene los ayuntamientos para prestar el servicio de limpia pública.
Ley Estatal de Protección al Ambiente	Establece disposiciones obligatorias para cada estado, así como los fundamentos para el manejo y disposición final de los residuos sólidos no peligrosos.
Ley Orgánica del Municipio Libre	Establecen las atribuciones de los ayuntamientos para nombrar las comisiones que atienden los servicios públicos.
Bando de Policía y Buen Gobierno	Plantean el conjunto de normas y disposiciones que regulan el funcionamiento de la administración pública municipal.
Reglamento de Limpia	Regula específicamente asuntos administrativos, técnicos, jurídicos y ambientales para la prestación del servicio de limpia.

(INE, 1999)

1.3.1 Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.

Fue publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 29 de diciembre de 1976 y reformada el 28 de diciembre de 1994, a través de la cual se creó la SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). El artículo 32 Bis de esta ley establece que corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca el administrar y regular el uso y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, establecer con la participación de dependencias, autoridades estatales y municipales, normas oficiales mexicanas de diversos temas entre los cuales se encuentra el manejo de materiales peligrosos y residuos sólidos y peligrosos.

1.3.2. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. (LGEEPA).

La LGEEPA fue publicada en Diario Oficial de la Federación, DOF, el 28 de enero de 1988 y reformada el 13 de diciembre de 1996. Esta Ley tiene por objeto entre otros, garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar, definir los principios de la política ambiental y los instrumentos para su aplicación.

En relación al Manejo de Residuos Sólidos, la LGEEPA propone las bases para esto, presentando las definiciones de residuo y residuo peligroso.

Residuo: Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el punto que lo generó.

- ✓ Al municipio le corresponde pagar por el servicio de limpia. “El que contamina paga”

1.3.3. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.

En el Artículo 10 de esta Ley sostiene que los municipios tienen a su cargo las funciones de manejo integral de residuos sólidos urbanos, que consisten en la recolección, traslado, tratamiento, y su disposición final, conforme a las siguientes fracciones:

III. Controlar los residuos sólidos urbanos.

IV. Prestar, por sí o a través de gestores, el servicio público de manejo integral de residuos sólidos urbanos, observando lo dispuesto por esta Ley y la legislación estatal en la materia.

V. Otorgar las autorizaciones y concesiones de una o más de las actividades que comprende la prestación de los servicios de manejo integral de los residuos sólidos urbanos.

X. Efectuar el cobro por el pago de los servicios de manejo integral de residuos sólidos urbanos y destinar los ingresos a la operación y el fortalecimiento de los mismos.

1.3.4. Ley Ambiental del Distrito Federal.

En la Sección I Residuos No Peligrosos Artículo 169 señala que durante las diferentes etapas del manejo de residuos sólidos se prohíbe el transporte inadecuado de residuos sólidos

Artículo 170 dice que la generación, la separación, el acopio, el almacenamiento, transporte y disposición final de los residuos sólidos, estarán sujetos al Reglamento de esta Ley y a la normatividad correspondiente.

Artículo 171 establece que corresponde a la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, inspeccionar y vigilar el cumplimiento de esta ley, su reglamento, las normas oficiales mexicanas y las normas ambientales para el Distrito Federal en materia de generación y manejo, y en su caso imponer las sanciones que correspondan.

1.3.5. Reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal.

La Sección II Pertenece a la Generación y Manejo de Residuos establece en el:

Artículo 66.- La recolección y transporte de residuos, así como la construcción, equipamiento y operación de las Estaciones para su Transferencia..., deberán llevarse a cabo con los métodos, frecuencia, condiciones y equipo necesarios para evitar o minimizar la contaminación ambiental y prevenir la mezcla entre residuos de distintas categorías de manejo, en los términos de las normas oficiales y demás disposiciones jurídicas aplicables.

Artículo 68.- Las actividades de manejo de residuos se llevarán a cabo directamente por la Dirección General de Servicios Urbanos, las Delegaciones respectivas o las personas a las que la Administración Pública otorgue la respectiva concesión o autorización conforme a las disposiciones jurídicas correspondientes.

Artículo 69.- Las personas que realicen actividades de manejo de residuos están obligadas a:

III.- Mantener sus instalaciones y equipos en condiciones adecuadas de funcionamiento de acuerdo con las normas oficiales respectivas.

IV.- Llevar un registro con la información de las actividades de manejo de residuos que realicen de acuerdo con las disposiciones legales y reglamentarias aplicables y remitir a la Dirección General de Servicios Urbanos la documentación necesaria para su supervisión y control.

VI.- Cobrar, como máximo, las tarifas autorizadas por la Dirección General de Servicios Urbanos en coordinación con la Dirección o la Comisión de Recursos Naturales, según corresponda.

1.3.6. Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal.

Artículo 7º. Corresponde a la Secretaría de Obras y Servicios el ejercicio de las siguientes facultades:

I. Planear, organizar, normar, controlar y vigilar la prestación del servicio público de limpia en sus etapas de barrido y recolección en vías primarias, transferencia, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos.

VII. Realizar los estudios y proyectos de obras de infraestructura para el manejo de los residuos sólidos de su competencia.

VIII. Diseñar, construir, organizar, operar y mantener las Estaciones de Transferencia, plantas de selección y tratamiento, y sitios para la disposición final de los residuos sólidos, con base en el Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos.

Artículo 10. Corresponde a las Delegaciones el ejercicio de las siguientes facultades:

II. Prestar el servicio público de limpia en sus etapas de barrido de las áreas comunes y vialidades secundarias, la recolección de los residuos sólidos, su transporte a las Estaciones de transferencia, plantas de tratamiento y selección o a sitios de disposición final, de conformidad con las normas ambientales en la materia y los lineamientos que al efecto establezca la Secretaría de Obras y Servicios.

VI. Instalar el equipamiento para el depósito separado de los residuos sólidos en la vía pública y áreas comunes y supervisar periódicamente su buen estado y funcionamiento.

VIII. Establecer las rutas, horarios y frecuencias en que debe prestarse el servicio de recolección selectiva de los residuos sólidos de su competencia pudiendo, una vez escuchados los vecinos, modificarlos de acuerdo a las necesidades de dicho servicio.

Artículo 24. Es responsabilidad de toda persona, física o moral, en el Distrito Federal:

I. Separar, reducir y evitar la generación de los residuos sólidos.

Artículo 29. Para los efectos de esta Ley, los residuos sólidos se clasifican en:

I. Residuos urbanos.

II. Residuos de manejo especial considerados como no peligrosos y sean competencia del Distrito Federal.

1.3.7. Normas Oficiales Mexicanas.

Las Normas Oficiales Mexicanas son normas de carácter obligatorio y las que existen en materia de residuos son:

- ✦ NOM-083-ECOL-1996. Condiciones que debe reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales.
- ✦ PROY-NOM-098-ECOL-2000 para la incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisiones de contaminantes.

1.3.8. Normas Mexicanas.

Las Normas Mexicanas son normas técnicas que sirven como recomendaciones, pero no son de carácter obligatorio y las que existen en materia de residuos sólidos son:

- ✦ NMX-AA-15-1985. Método de cuarteo.
- ✦ NMX-AA-16-1984. Determinación de la humedad.
- ✦ NMX-AA-18-1984. Determinación de cenizas.
- ✦ NMX -AA-19-1985. Peso volumétrico in situ.
- ✦ NMX-AA-21-1985. Determinación de materia orgánica.
- ✦ NMX -AA-22-1985. Selección y cuantificación de subproductos.
- ✦ NMX-AA-24-1984. Determinación de nitrógeno total.
- ✦ NMX-AA-25-1984. Determinación de pH, método potenciométrico.
- ✦ NMX-AA-33-1985. Determinación del poder calorífico.
- ✦ NMX -AA-52-1985. Preparación de muestras en el laboratorio para su análisis.
- ✦ NMX -AA-61-1985. Generación per cápita de residuos sólidos municipales.
- ✦ NMX-AA-67-1985. Determinación de la relación carbono/nitrógeno.
- ✦ NMX-AA-68-1986. Determinación de hidrógeno.
- ✦ NMX-AA-90-1986. Determinación de oxígeno.
- ✦ NMX-AA-92-1984. Determinación de azufre.

CAPITULO 2

SELECCIÓN DE LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA MUESTRA

2.1. Análisis de la Información.

La información que fue recopilada en la DGSU, para el presente estudio, fue la cantidad de vehículos que ingresan diariamente de las diferentes Delegaciones a cada una de las 13 Estaciones de Transferencia, así como los modelos, y la hora de llegada del vehículo recolector, la hora de inicio de descarga, la hora de término de descarga y la hora de salida del vehículo de la Estación. En la tabla 2.1 se muestra un ejemplo de esta base de datos.

Tabla 2.1 Detalle de ingreso de vehículos recolectores a Estaciones de Transferencia

Detalle del ingreso de Recolectores de la Delegación Álvaro Obregón a la Estación de Transferencia Álvaro Obregón durante el mes de Junio							
Fecha	Placa	No. Eco	Tipo	Hora Entrada Estación	Hora Inicio Descarga	Hora Fin Descarga	Hora Salida Estación
11/06/2002	1047		Rec. Carga trasera 9 m3	11:35:00	11:36:00	11:37:00	11:38:00
11/06/2002	1047		Rec. Carga trasera 9 m3	12:17:00	13:00:00	13:01:00	13:02:00
11/06/2002	1047		Rec. Carga trasera 9 m3	14:57:00	14:58:00	14:59:00	15:00:00
11/06/2002	1048		Rec. Carga trasera 9 m3	11:26:00	11:27:00	11:28:00	11:29:00
11/06/2002	1049		Rec. Carga trasera 9 m3	11:34:00	11:35:00	11:36:00	11:37:00
11/06/2002	1050		Rec. Carga trasera 9 m3	12:07:00	12:08:00	12:09:00	12:10:00
11/06/2002	1050		Rec. Carga trasera 9 m3	14:52:00	14:53:00	14:54:00	14:55:00
11/06/2002	1052		Rec. Carga trasera 9 m3	10:47:00	10:48:00	10:49:00	10:50:00
11/06/2002	1053		Rec. Carga trasera 9 m3	15:50:00	15:51:00	15:52:00	15:53:00
11/06/2002	1054		Rec. Carga trasera 6 m3	13:38:00	13:39:00	13:40:00	13:41:00
11/06/2002	1055		Rec. Carga trasera 9 m3	11:39:00	11:40:00	11:41:00	11:42:00
11/06/2002	1057		Rec. Carga trasera 9 m3	11:47:00	11:48:00	11:49:00	11:50:00
11/06/2002	1112 BZ		Volteo de 7 m3	11:31:00	11:32:00	11:33:00	11:34:00
11/06/2002	1189 BW		Rec. Carga trasera 9 m3	12:20:00	13:03:00	13:04:00	13:05:00
11/06/2002	1190 BW		Rec. Carga trasera 9 m3	11:58:00	11:59:00	12:00:00	12:01:00
11/06/2002	1209 BW		Rec. Carga trasera 9 m3	11:49:00	11:50:00	11:51:00	11:52:00

(DGSU, 2002)

Estos registros nos indican el número de vehículos recolectores de cierta Delegación Política ingresan a una Estación de Transferencia, en particular durante el día; así como el tiempo que pasan dentro de ella. Estos registros de operación diarios existen para las 13 Estaciones de Transferencia y el análisis de esta información fue por el periodo comprendido entre el mes de julio del 2002 al mes de diciembre del 2002. Cabe aclarar que esta información son registros que la supervisión de cada Estación lleva, sin embargo como se puede observar los datos no son confiables ya que siempre se ve un periodo de operación de un minuto de los vehículos de recolección dentro de las Estaciones de Transferencia y en algunos casos este tiempo se dispara de manera importante (ver negritas en Tabla 2.1), sin embargo, estos registros nos proporcionan la tendencia de llegada de vehículos recolectores a las Estaciones, aunque se sabe que las Estaciones operan de manera muy similar y se tienen los mismos problemas, estos datos nos servirán para comprobar dicha tendencia.

Se realizó un análisis detallado de cada una de las Estaciones de Transferencia, tomando en cuenta la hora de llegada de los vehículos recolectores por día, por mes y posteriormente en un promedio de 6 meses, lo que proporcionó datos acerca de su comportamiento mensual.

Una vez obtenido el comportamiento mensual de cada una de las 13 Estaciones de Transferencia se observó que las distribuciones de llegadas de vehículos recolectores eran siempre iguales mes a mes, por lo que se obtuvo la tendencia general de los seis meses analizados.

Se compararon las distribuciones de las 13 Estaciones observándose que el comportamiento de llegadas de los vehículos recolectores es siempre el mismo y lo que varía es el número de vehículos que ingresan. En la Figura 2.1 se presenta la frecuencia de llegadas de los vehículos recolectores a cada una de las Estaciones de Transferencia en el periodo de 6 meses.

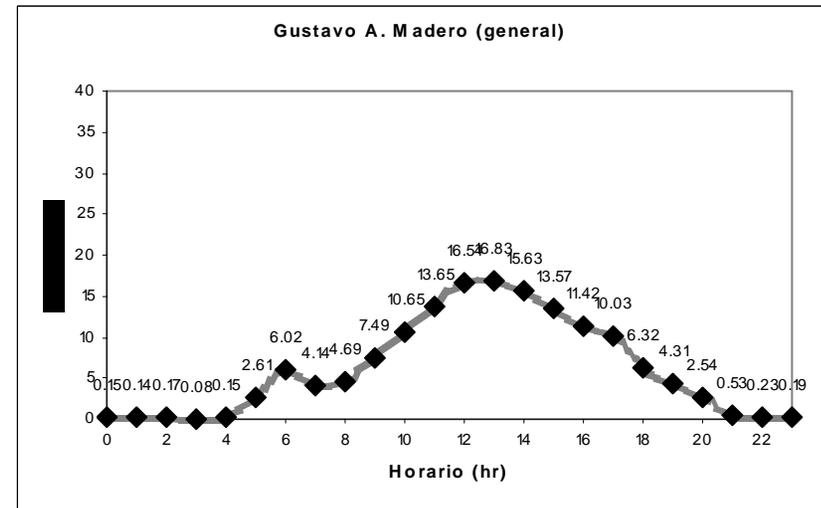
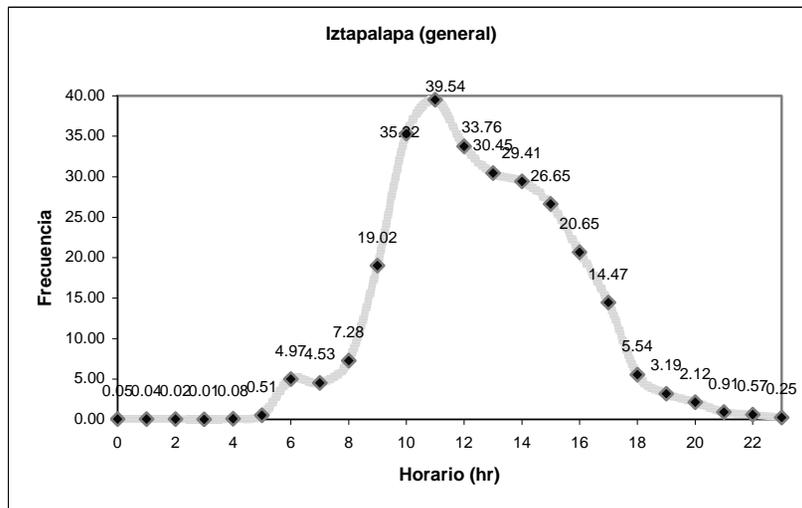
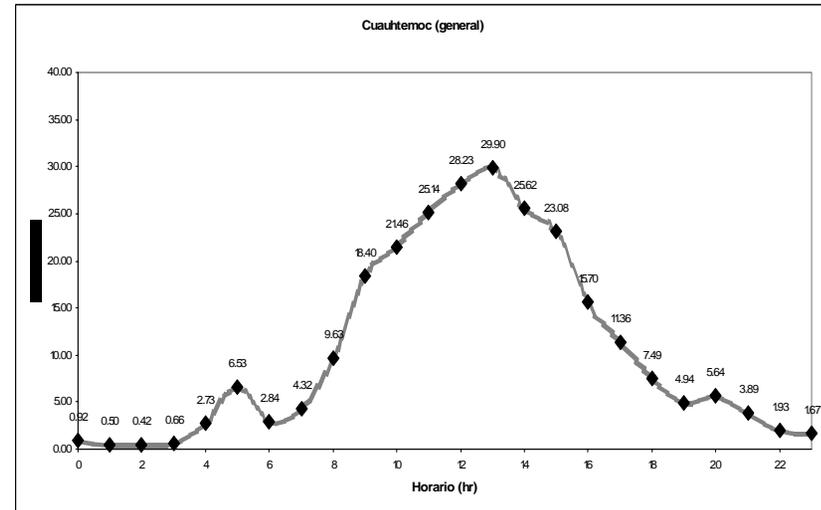
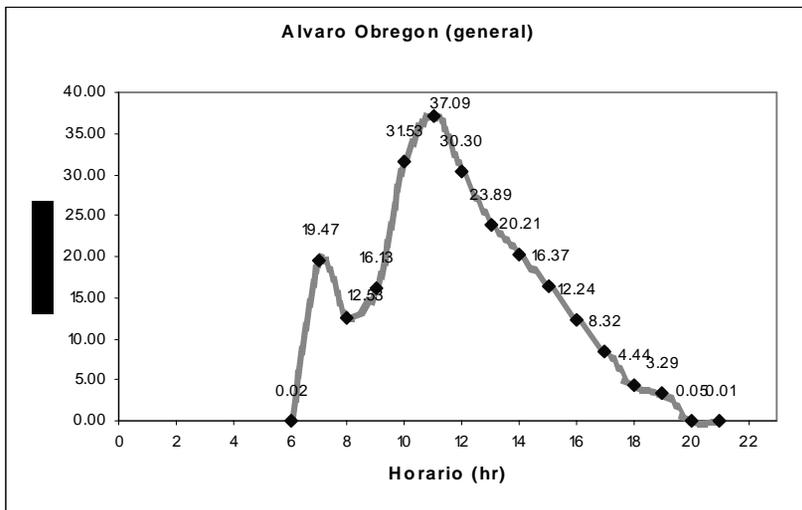


Figura 2.1 Frecuencia de llegadas de vehículos recolectores a las Estaciones de Transferencia (Cano, 2003)

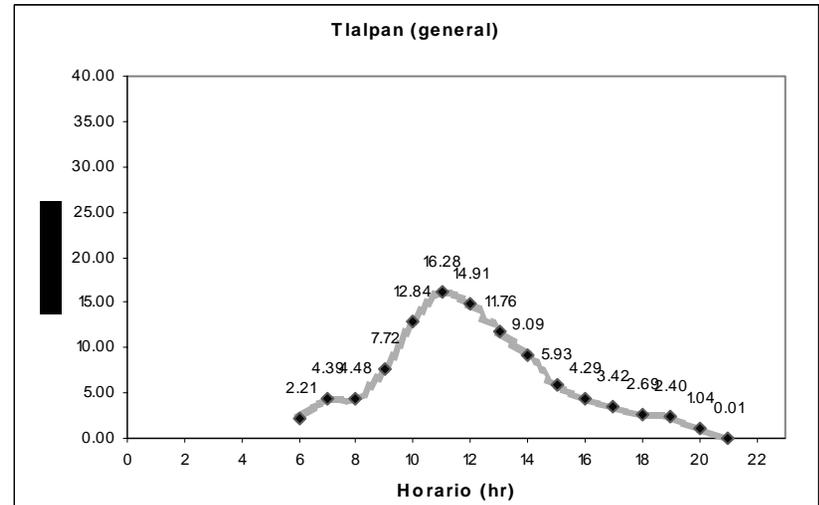
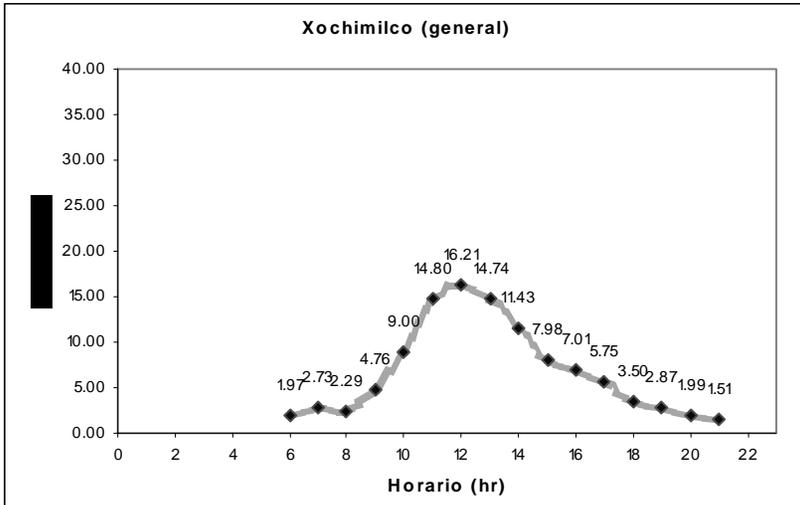
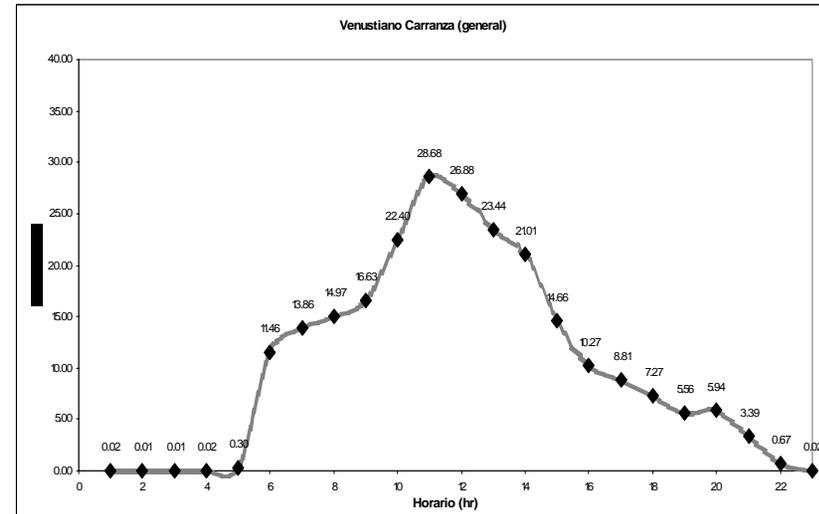
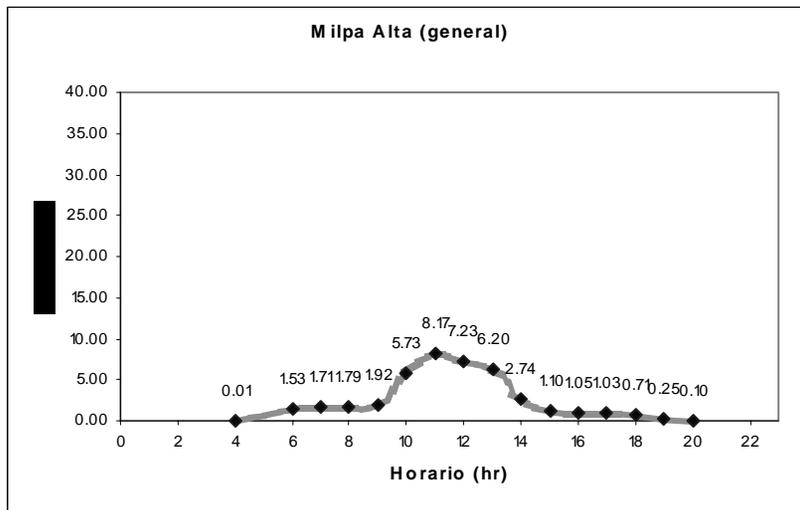


Figura 2.1 Frecuencia de llegadas de vehículos recolectores a las Estaciones de Transferencia (Cano, 2003)

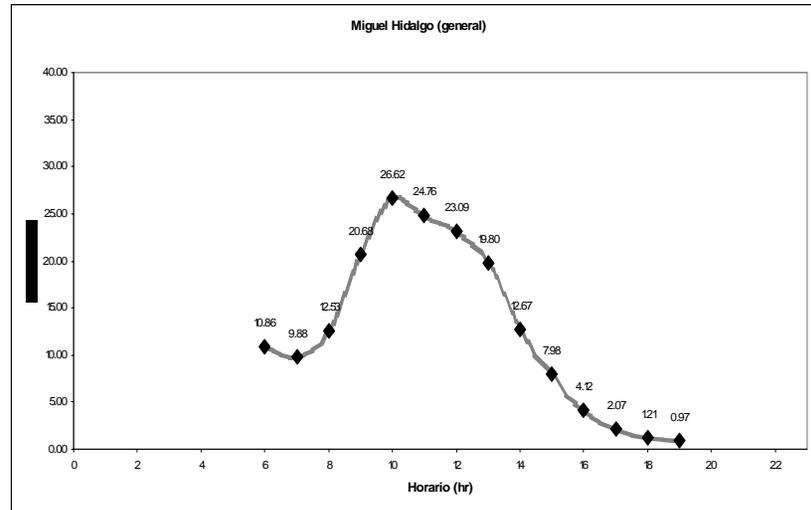
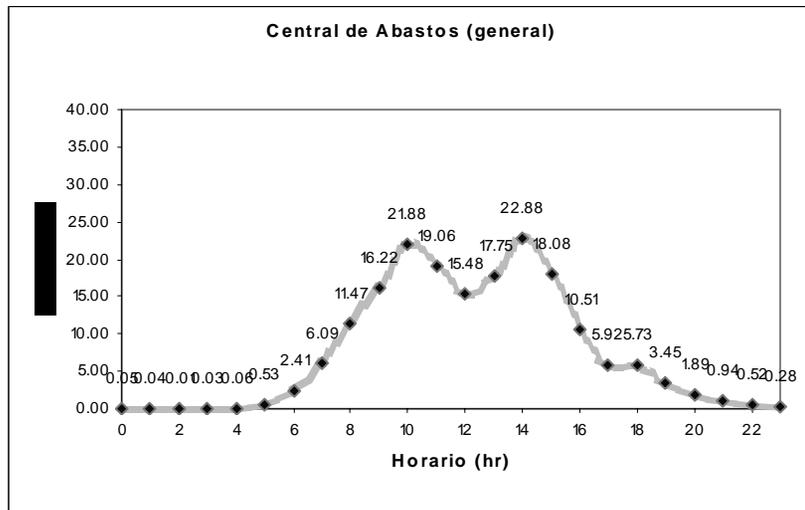
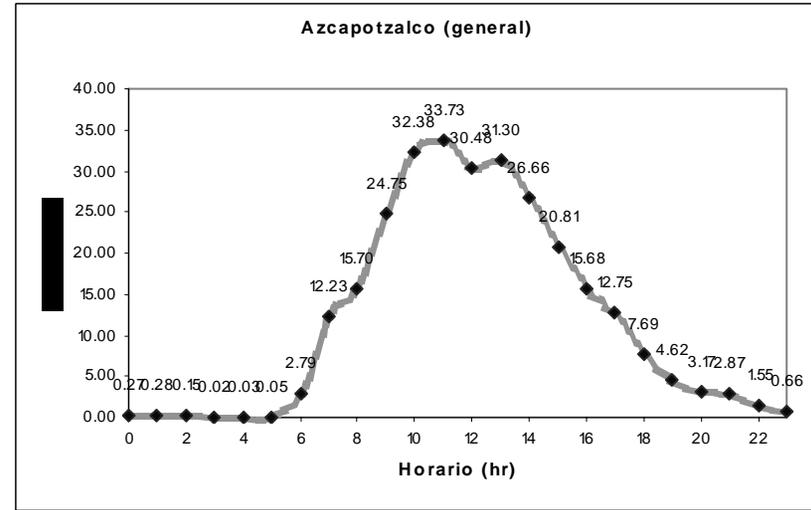
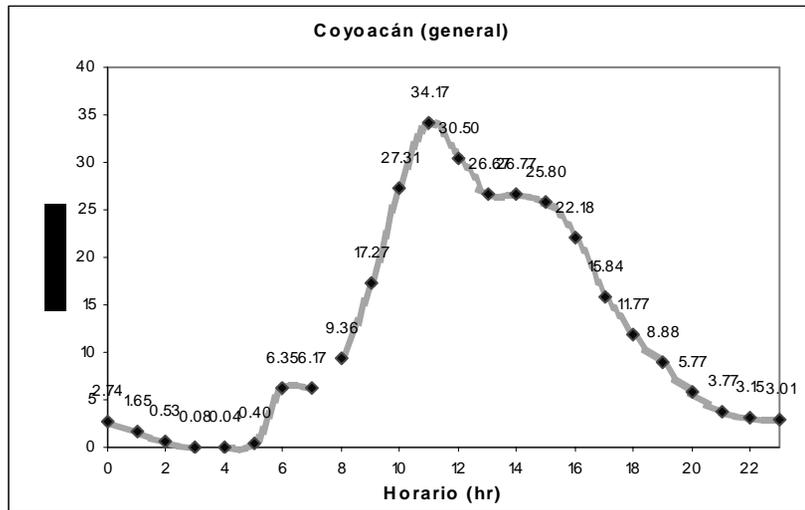


Figura 2.1 Frecuencia de llegadas de vehículos recolectores a las Estaciones de Transferencia (Cano, 2003)

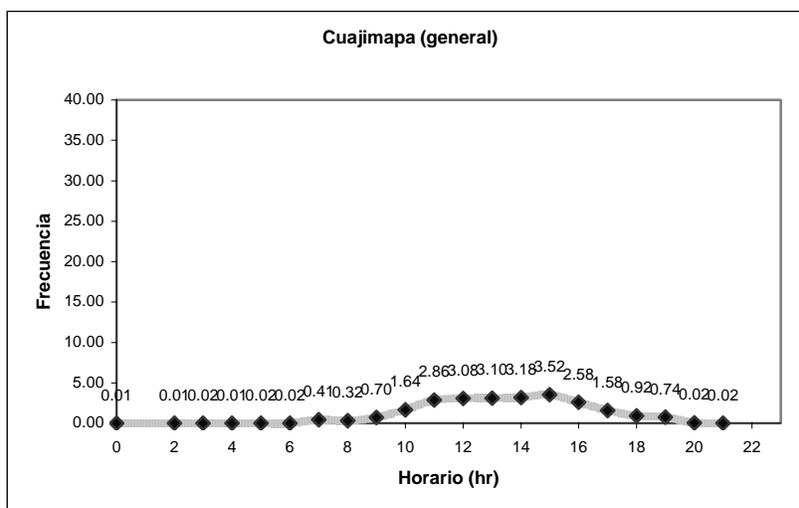


Figura 2.1 Frecuencia de llegadas de vehículos recolectores a las Estaciones de Transferencia (Cano, 2003)

En el estudio realizado se observó que la tendencia de las gráficas es muy similar de un mes a otro, con excepción quizá de la Estación de Transferencia de Álvaro Obregón, la cual ve disminuida la carga vehicular que atiende, en el mes de octubre, noviembre y diciembre debido a que dicha Estación se encontraba muy cercana a la construcción del distribuidor vial y esto provocaba mucho tráfico y por consiguiente tiempo perdido, por lo que se canalizaron a otras Estaciones algunos vehículos.

La tendencia de Central de Abastos también difiere un poco en comparación con las demás, esto debido a que en esta Estación se tiene 5 tolvas de las cuales 3 tolvas son de uso exclusivo de la Central de Abastos por lo que la disposición de sus residuos se realiza en dos etapas, la primera cuando los camiones que se surten ahí se marchan y se retiran los residuos que dejaron, la segunda etapa es cuando los locatarios limpian sus bodegas para marcharse y con ello obtenemos un aumento en la disposición de residuos en la Estación y se observan dos picos en horarios de operación.

Las demás Estaciones de Transferencia se puede observar que todas tienen un mismo comportamiento, obteniéndose periodos críticos con frecuencia de arribo de vehículos recolectores muy altas.

En la Tabla 2.2 se presenta un resumen de la información analizada con respecto a los horarios de servicio de las 13 Estaciones así como la frecuencia de llegadas de vehículos recolectores que se observa en cada una de ellas.

Tabla 2.2 Frecuencia de llegadas de vehículos recolectores a Estaciones de Transferencia en la Ciudad de México

Horario	Delegaciones Políticas												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	0.15		2.74	0.05	0.27	0.92					0.05		0.01
1	0.14		1.65	0.04	0.28	0.50			0.02		0.04		
2	0.17		0.53	0.02	0.15	0.42			0.01		0.01		0.01
3	0.08		0.08	0.01	0.02	0.66			0.01		0.03		0.02
4	0.15		0.04	0.08	0.03	2.73		0.01	0.02		0.06		0.01
5	2.61		0.40	0.51	0.05	6.53			0.30		0.53		0.02
6	6.02	0.02	6.35	4.97	2.79	2.84	2.21	1.53	11.46	1.97	2.41	10.86	0.02
7	4.14	19.47	6.17	4.53	12.23	4.32	4.39	1.71	13.86	2.73	6.09	9.88	0.41
8	4.69	12.53	9.36	7.28	15.70	9.63	4.48	1.79	14.97	2.29	11.47	12.53	0.32
9	7.49	16.13	17.27	19.02	24.75	18.40	7.72	1.92	16.63	4.76	16.22	20.68	0.70
10	10.65	31.53	27.31	35.32	32.38	21.46	12.84	5.73	22.40	9.00	21.88	26.62	1.64
11	13.65	37.09	34.17	39.54	33.73	25.14	16.28	8.17	28.68	14.80	19.06	24.76	2.86
12	16.54	30.30	30.50	33.76	30.48	28.23	14.91	7.23	26.88	16.21	15.48	23.09	3.08
13	16.83	23.89	26.67	30.45	31.30	29.90	11.76	6.20	23.44	14.74	17.75	19.80	3.10
14	15.63	20.21	26.77	29.41	26.66	25.62	9.09	2.74	21.01	11.43	22.88	12.67	3.18
15	13.57	16.37	25.80	26.65	20.81	23.08	5.93	1.10	14.66	7.98	18.08	7.98	3.52
16	11.42	12.24	22.18	20.65	15.68	15.70	4.29	1.05	10.27	7.01	10.51	4.12	2.58
17	10.03	8.32	15.84	14.47	12.75	11.36	3.42	1.03	8.81	5.75	5.92	2.07	1.58
18	6.32	4.44	11.77	5.54	7.69	7.49	2.69	0.71	7.27	3.50	5.73	1.21	0.92
19	4.31	3.29	8.88	3.19	4.62	4.94	2.40	0.25	5.56	2.87	3.45	0.97	0.74
20	2.54	0.05	5.77	2.12	3.17	5.64	1.04	0.10	5.94	1.99	1.89		0.02
21	0.53	0.01	3.77	0.91	2.87	3.89	0.01		3.39	1.51	0.94		0.02
22	0.23		3.15	0.57	1.55	1.93			0.67		0.52		
23	0.19		3.01	0.25	0.66	1.67			0.02		0.28		

(Cano, 2003)

- | | | |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 Gustavo A. Madero | 6 Cuauhtémoc | 10 Xochimilco |
| 2 Álvaro Obregón | 7 Tlapan | 11 Central de Abastos |
| 3 Coyoacán | 8 Milpa Alta | 12 Miguel Hidalgo |
| 4 Iztapalapa | 9 Venustiano Carranza | 13 Cuajimalpa |
| 5 Azcapotzalco | | |

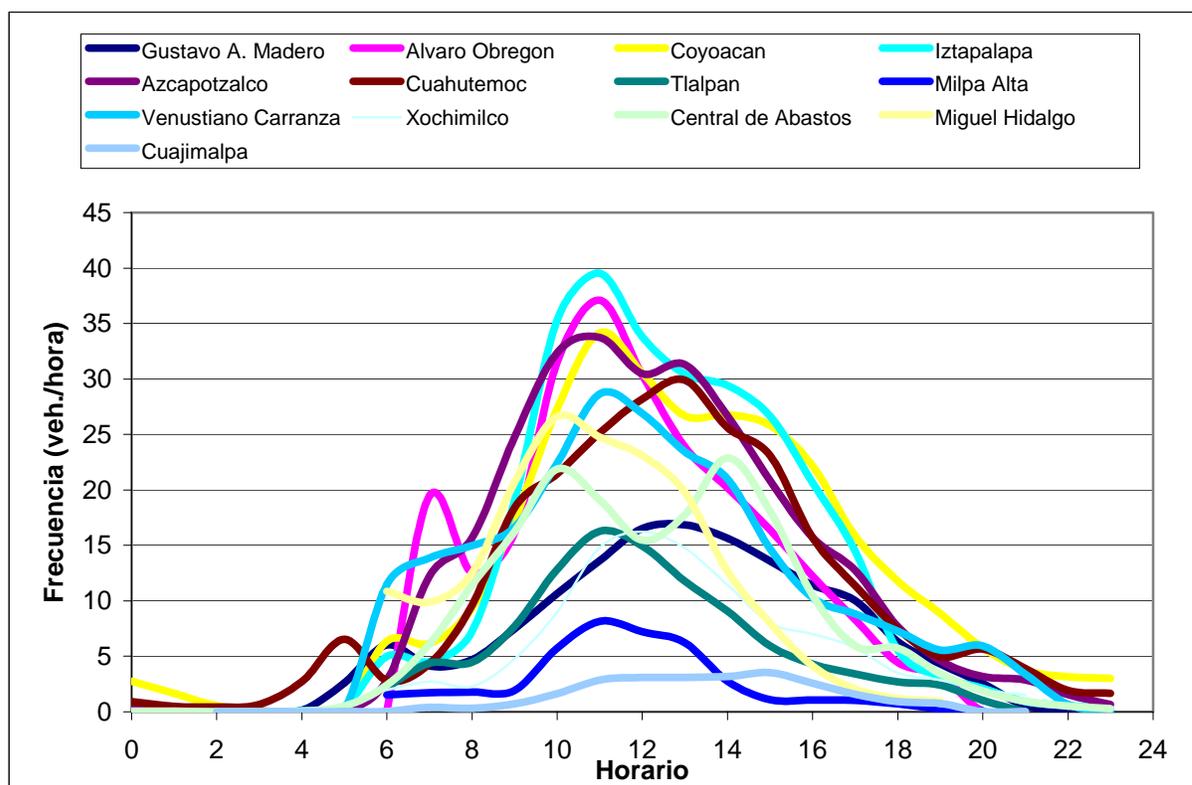


Figura 2.2 Comparación de frecuencia de llegadas de vehículos recolectores a Estaciones de Transferencia de la Ciudad de México (Cano, 2003)

2.2. Metodología para la selección de la Estación de Transferencia.

Debido a que el comportamiento observado de llegadas de vehículos recolectores a las 13 Estaciones de Transferencia es similar, se identificó la Estación que presentaría mayores problemas para proponer las alternativas de mejora y de ésta forma poder en un futuro extrapolar los resultados y hacer mejoras en todas las Estaciones.

Se determinó un periodo crítico de operación el cual consistió en el tiempo en el cual la frecuencia de llegada de vehículos recolectores a la Estación supera el número de camiones que puede ser atendida en la Estación y se comienza a observar encolamientos (tiempos de espera).

Para la determinación del periodo crítico de cada Estación se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- ✿ Se determinó que el número promedio de rendijas (lugares de que dispone una Estación para hacer el vaciado de los camiones a los tractocamiones de transferencia; cada rendija tiene 3 espacios disponibles) en cada Estación, resultando 4.
- ✿ Se tomaron tiempos aproximados de descarga y maniobras para saber cuanto tiempo se tardaba un camión en condiciones normales (sin colas de espera) en entrar, descargar y salir de la Estación, dicho tiempo fue en promedio de 12 minutos. (Pág. 16)
- ✿ Tomando en cuenta estos dos criterios se determinó el número máximo de vehículos recolectores a los que se les puede dar servicio sin encontrarse encolamientos y éste resultó ser de 20 camiones por hora.
- ✿ Con el número máximo de camiones por hora se determinó el periodo en el cual se sobrepasaba este valor y se presentaría encolamientos en cada Estación. (Anexo 1)
- ✿ Los resultados fueron variados observándose que incluso en Delegaciones como Cuajimalpa no se presentaban encolamiento a ninguna hora del día ya que su máxima tasa de arribo de camiones es de 8 vehículos recolectores por hora y con lo cual puede dar un buen servicio a todas horas. (Anexo 1)
- ✿ Una vez evaluado el periodo crítico en cada Estación (Anexo 1), se observó que las Estaciones que tienen mayor problema por encolamiento son: Azcapotzalco, Álvaro Obregón, Coyoacán, Cuauhtémoc e Iztapalapa ya que el arribo de camiones recolectores es muy grande y se observan periodos críticos de hasta 7 horas (donde se mantiene un arribo de vehículos recolectores superior a 20 por hora).
- ✿ Con estas cinco Estaciones seleccionadas preliminarmente, se realizó el estudio del tipo de vehículos que entran a cada una, con el fin de poder identificar puntos clave durante el estudio, por ejemplo los vehículos de volteo tardan más tiempo que cualquier otro vehículo. (Anexo 2)
- ✿ También se determinó para cada una de las 5 Estaciones, el número de Delegaciones a las cuales proporciona servicio.
- ✿ Con estos datos y otros con respecto a la infraestructura, vialidades, personal, etc., se prosiguió a llevar a cabo un análisis multicriterio de los diferentes factores que afectan la operación de una Estación de Transferencia.

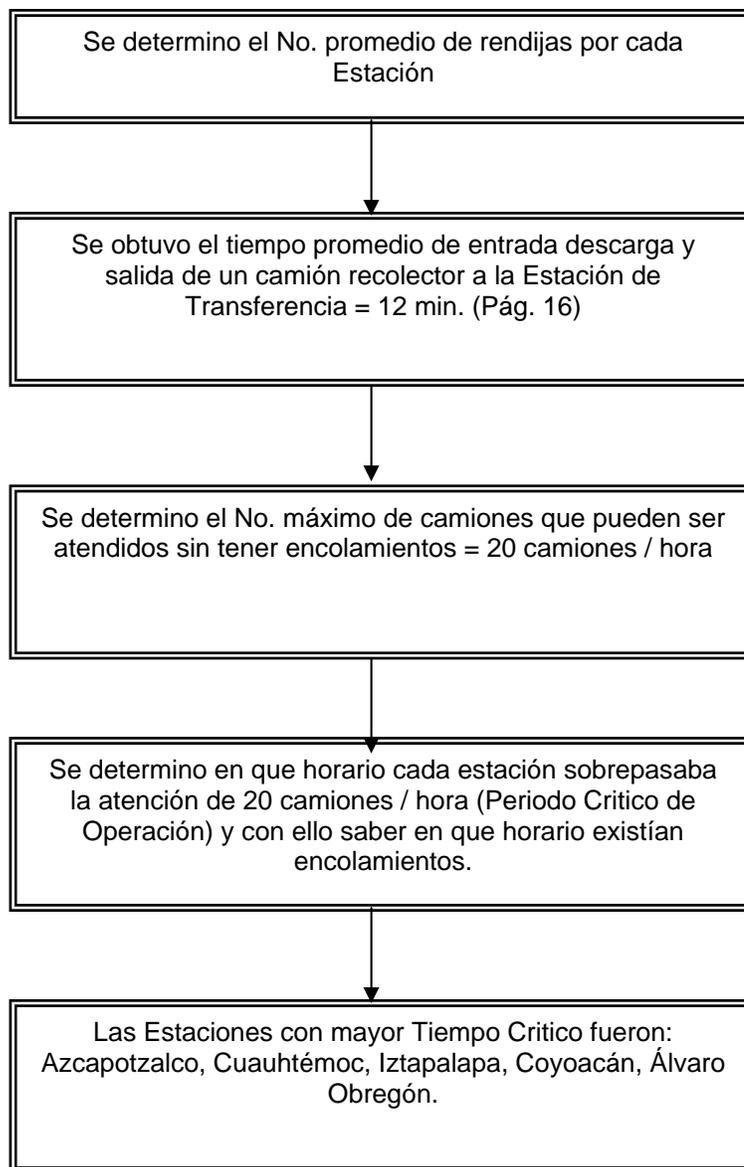


Figura 2.3 Metodología para la determinación del Periodo Crítico (Cano, 2003)

2.3. Evaluación de la operación de las Estaciones de Transferencia por el método jerárquico multicriterio.

2.3.1 Método de Jerarquización Analítica, AHP (Analytic Hierarchy Process)

Este método se basa en la descomposición de un problema y sus alternativas de solución, en niveles jerárquicos-. Esta descomposición permite determinar en forma clara los valores de los agentes de decisión y establecer una calificación global para cada una de las alternativas posibles y priorizándolas. El método AHP fue desarrollado durante los años setentas en la Universidad de Pennsylvania (Dr. Thomas L. Saaty, 1980), al elaborar un instrumento formal, con fundamentos matemáticos sólidos, para la evaluación y selección de alternativas. Este método se integra por cuatro etapas, como se muestra en la Figura 2.3.

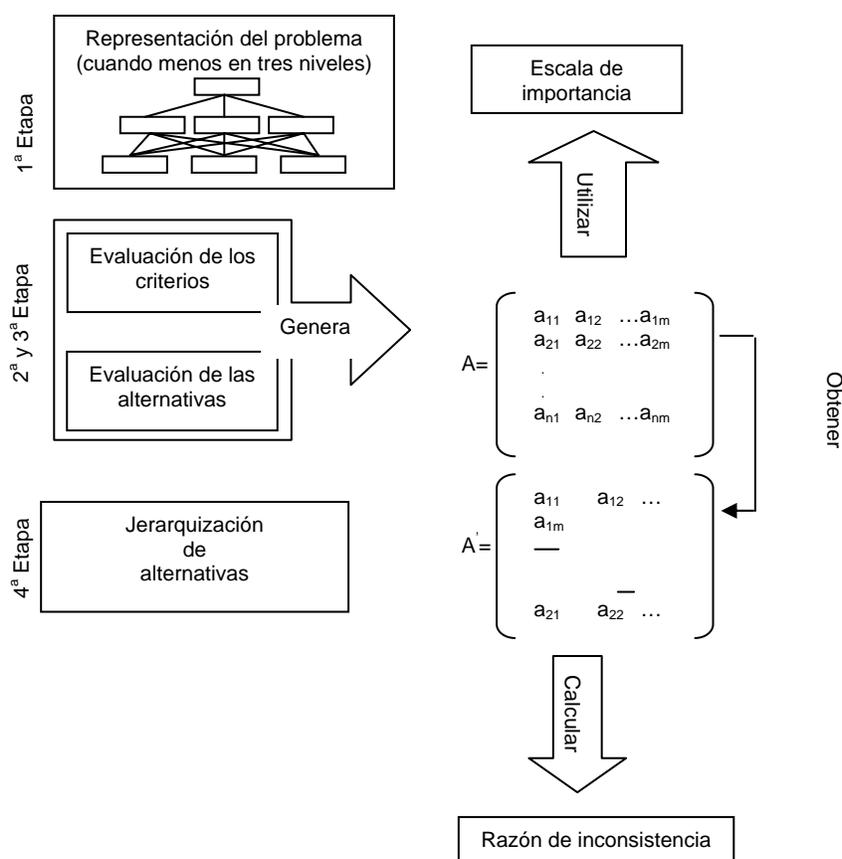


Figura 2.4 Método de jerarquización analítica

Primera Etapa. Planteamiento del problema

Se debe representar el problema mediante la construcción de un arreglo jerárquico, llamado diagrama de árbol, de por lo menos tres niveles (o factores básicos de decisiones): el objetivo a alcanzar; los criterios de valoración de alternativas y las alternativas a considerar (llámese actividades, estrategias, proyectos, cursos de acción, etc.). Cada criterio puede incluir subcriterios.

Segunda Etapa

En esta etapa se construye una matriz a partir de la comparación de la importancia relativa o probabilidad de ocurrencia (cuando se conozca) de los diferentes criterios.

Posteriormente se calcula el eigenvector W (vector de pesos relativos), dividiendo cada valor entre la suma de los valores de la columna correspondiente y sumando cada renglón.

Finalmente para asegurar la coherencia con la cual se estableció la importancia relativa de los diferentes criterios, se estima la razón de inconsistencia, RI , a partir de la siguiente ecuación:

$$RI = IC / CA \quad (1)$$

En donde el valor de inconsistencia aleatoria CA , se presenta en la tabla siguiente, dependiendo del tamaño de la matriz, n (número de criterios) y el índice de inconsistencia IC , se obtienen como función del tamaño de la matriz y un valor característico promedio λ_{max}

$$IC = \lambda_{max} - n / n-1 \quad (2)$$

Tabla 2.3 Valores propuestos de consistencia aleatoria

N tamaño de la matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CA	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

El valor característico promedio, λ_{max} se multiplica AW , obteniéndose una estimación de $\lambda_{max}W$ esto es:

$$AW = \lambda_{max}W \quad (3)$$

Posteriormente se divide cada componente de $\lambda_{\max}W$ por la componente correspondiente de W , obteniéndose λ_{\max} . A continuación se promedian las estimaciones de λ_{\max} para encontrar una estimación promedio total de λ_{\max} . Teniendo esta estimación se procede al cálculo del IC. Si la razón es considerablemente mayor a un 10% se recomienda una revisión de las calificaciones.

Tercera etapa. Evaluación de las alternativas.

Esta etapa equivale a la descrita anteriormente, con la diferencia que las matrices de trabajo se construyen comparando la importancia relativa de las alternativas del problema y no de los criterios del mismo.

Una vez construidas las matrices de trabajo su manejo y evaluación de la razón de inconsistencia se obtienen a partir de las ecuaciones anteriores.

Cuarta etapa. Jerarquización de las alternativas

Finalmente, para conocer que alternativa es la más importante de acuerdo a los criterios establecidos, se realizan los siguientes cálculos:

- Se multiplica cada una de las componentes de W de criterios por la componente correspondiente al vector W de las alternativas.
- La componente del vector resultante que tenga el mayor valor, es la de mayor importancia y deberá ser la seleccionada.

2.3.1.1 Aplicación de método jerárquico multicriterio

En esta sección se presentan los resultados de la aplicación del método jerárquico multicriterio, haciendo uso del software Criterium Decisión Plus, evaluando las cinco Estaciones de Transferencia previamente seleccionadas, de acuerdo con su infraestructura, operación y servicio identificadas en la matriz de evaluación.

La figura 2.5 representa el arreglo jerárquico (diagrama de árbol) de este análisis.

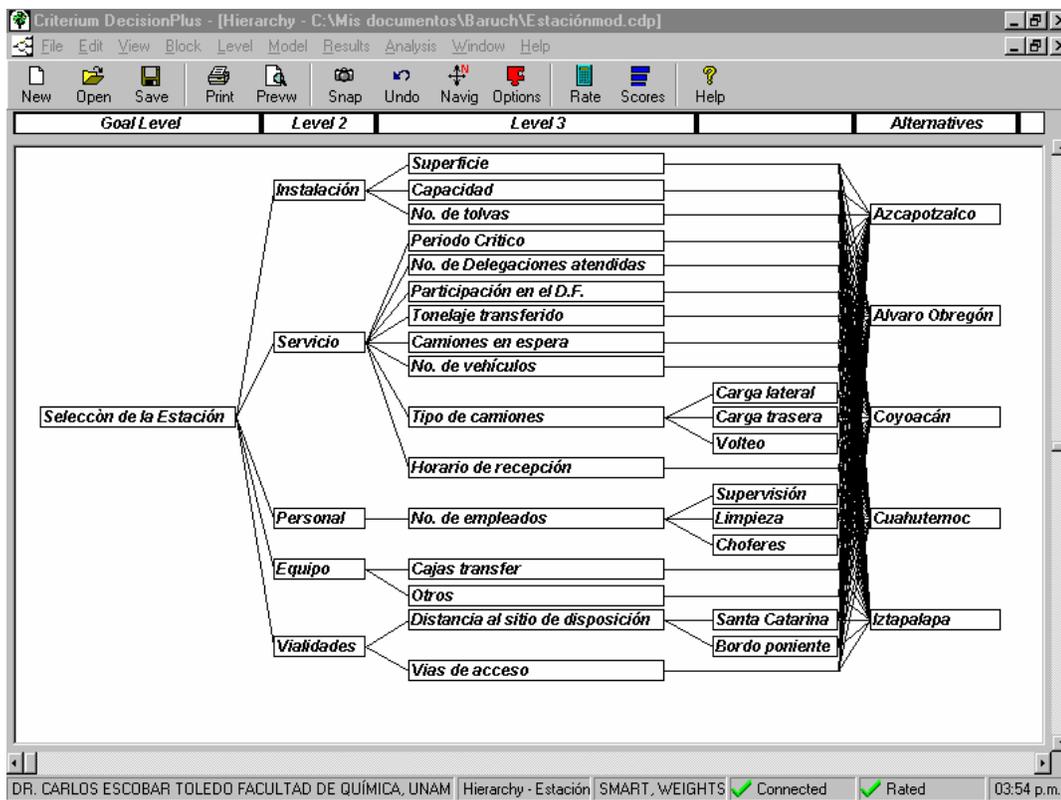


Figura 2.5 Arreglo jerárquico para las Estaciones de Transferencia (CDP, 1999)

La tabla 2.4 presenta los valores dentro de la escala utilizada a las diferentes alternativas y los valores asignados por el programa a los diferentes criterios para cada una de las alternativas.

Tabla 2.4 Valores asignados a cada criterio de selección

Weights	Rating Set	Atributes	Azcapotzalco	Álvaro Obregón	Coyoacán	Cuauhtémoc	Iztapalapa
	Alternatives	Superficie	100	30	15	94	48
	Alternatives	Capacidad	0	0	100	0	50
	Alternatives	No. de tolvas	100	100	75	100	100
	Alternatives	Periodo Critico	87	75	100	87	100
	Alternatives	No. de Delegaciones atendidas	80	80	100	80	40
	Alternatives	Participación en el D.F.	37	79	73	100	69
	Alternatives	Tonelaje transferido	100	76	88	69	99
	Alternatives	Camiones en espera	80	100	60	90	90
	Alternatives	No. de vehículos	100	38	61	94	88
10	Carga lateral	Carga lateral	25	50	100	50	0
10	Carga trasera	Carga trasera	68	78	68	86	100

Weights	Rating Set	Attributes	Azacapotzalco	Álvaro Obregón	Coyoacán	Cuauhtémoc	Iztapalapa
100	Volteo	Volteo	50	100	50	40	25
	Alternatives	Horario de recepción	50	75	75	75	75
100	Supervisión	Supervisión	100	100	100	100	100
100	Limpieza	Limpieza	90	83	66	100	50
50	Chóferes	Chóferes	0	0	0	0	0
	Alternatives	Cajas transfer	100	70	61	70	88
	Alternatives	Otros	25	25	25	25	25
50	Santa Catarina	Santa Catarina	0	100	80	70	50
100	Bordo poniente	Bordo poniente	71	100	100	61	51
	Alternatives	Vías de acceso	75	75	75	75	75

(Cano, 2003)

A partir de los valores asignados a cada criterio de evaluación y el algoritmo descrito en la sección anterior, el programa Criterium Decisión Plus arrojó como resultado final los siguientes valores de selección (Figura 2.6). Pudiéndose concluir que la Estación Álvaro Obregón es la Estación que cuenta con mayor problemática con respecto a los tiempos de espera de los vehículos recolectores que acuden a ella.

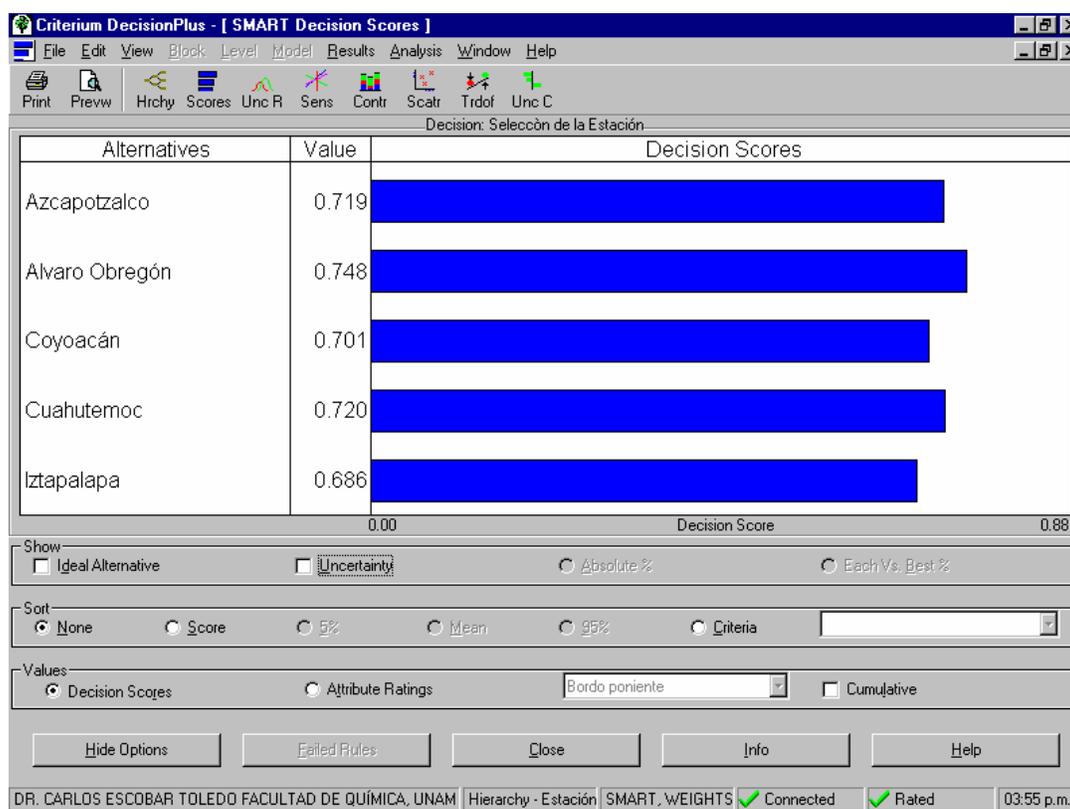


Figura 2.6 Resultado de la selección de la Estación de Transferencia problema (CDP, 1999)

CAPITULO 3

ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA DE RESIDUOS SÓLIDOS SELECCIONADA

3.1 Infraestructura.

Como resultado del análisis de la problemática que existe de tiempos de espera muy largos en las Estaciones de Transferencia de la Ciudad de México se obtuvo la Estación de Transferencia que representa mayores problemas tomando en cuenta su operación, infraestructura, participación en el sistema de transferencia, tiempo de espera, vehículos recolectores, tipo de vehículos recolectores, etc. La Estación seleccionada resultó ser la de Álvaro Obregón Figura 3.1.

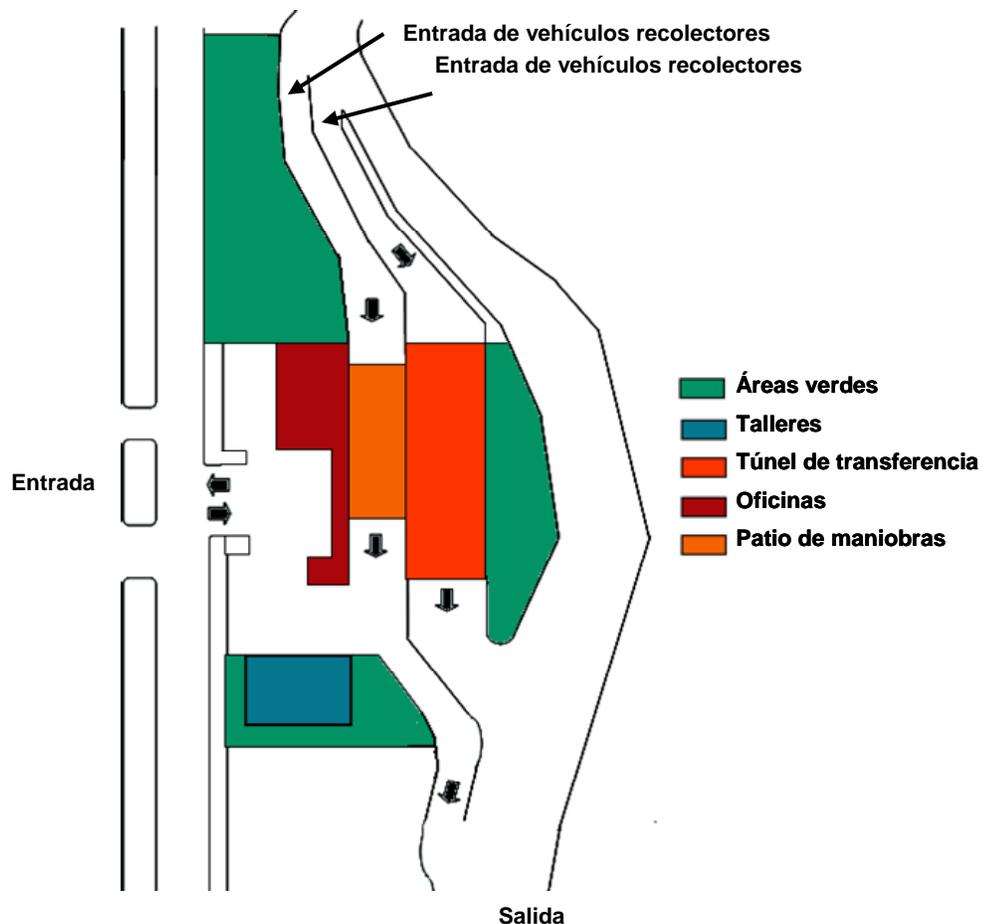


Figura 3.1 Diagrama de la Estación de Transferencia Álvaro Obregón (Cano, 2003)

La Estación de Transferencia Álvaro Obregón se ubica en Av. San Antonio, esquina Río Becerra. Col. Carola y cuenta con la siguiente infraestructura:

✦ Superficie:	11,200 m ²
✦ Líneas:	4
✦ Ranuras o rendijas:	4 de 3
✦ Capacidad instalada:	5,890.92 Ton
✦ Capacidad real:	1,963.64 Ton

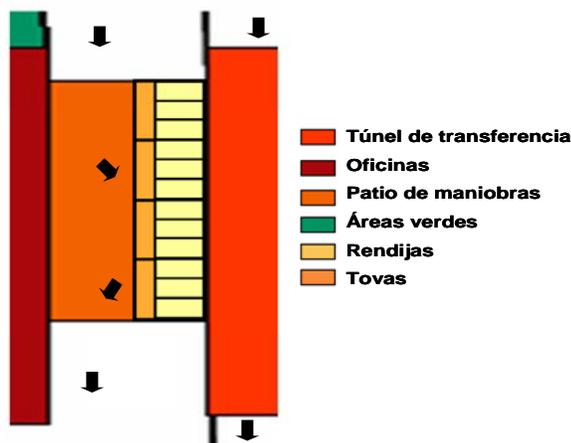


Figura 3.2 Diagrama del patio de maniobras de la Estación de Álvaro Obregón (Cano, 2003)

Cabe aclarar que la capacidad real difiere de la capacidad instalada ya que la capacidad instalada se calculó tomando jornadas de trabajo de 24 hrs., y la capacidad real jornadas de 8 hrs.

3.2 Operación.

La operación de la Estación se realiza con los siguientes parámetros de operación:

✦ Personal de limpieza:	38 personas
✦ Personal Administrativo:	6 personas
✦ Personal de supervisión:	4 personas
✦ Horario de trabajo:	6 a.m. a 9 p.m.
✦ Tonelaje transferido de residuos:	685 ton/día
✦ No. De Delegaciones atendidas:	4 (Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Benito Juárez, Magdalena Contreras)
✦ Participación a nivel D.F:	7.91 %

✦	Distancia al destino final:	29.4 Km
✦	Periodo crítico de operación:	7 hrs. (10 a.m. a 5 p.m.)
✦	Numero de vehículos en horas pico:	26 veh/hr
✦	No. Tractocamiones:	29
✦	No. de cajas de transferencia:	18 (propiedad del prestador de servicios) 11 (propiedad del GDF)
✦	Tipo de vehículos recolectores	
	○ Carga lateral	5
	○ Carga trasera	62
	○ Volteo	30

3.3 Recopilación de datos.

La selección de un método específico para analizar una situación de espera, ya sea analíticamente o por simulación, está determinada principalmente por las distribuciones de llegadas y tiempos de servicio. La determinación de estas distribuciones acarrea que se observe el sistema durante su operación y que se registren los datos pertinentes.

La recopilación de los datos referentes a llegadas y salidas se puede realizar de dos formas, una midiendo la hora entre llegadas (salidas) sucesivas para obtener el tiempo entre llegadas (de servicio), o contando el número de llegadas (salidas) durante una unidad de tiempo seleccionada (una hora, etc.). En este trabajo se realizó la observación y registro del horario en que llegaban los vehículos recolectores a la Estación.

La recopilación de estos datos se llevó a cabo de forma manual y por observación directa en campo durante el periodo de una semana comprendida entre el 24 de noviembre al 1 de diciembre del 2003. En la tabla 3.1 se muestra un ejemplo de los parámetros capturados para los vehículos recolectores y en la Tabla 3.2. los parámetros de operación de los tractocamiones de transferencia.

Tabla 3.1. Datos obtenidos para vehículos recolectores en la Estación Álvaro Obregón

Fecha	Tipo	Placa	No. Eco.	Origen	Hora Llegada Estación	Hora Inicio Descarga	Hora Fin Descarga	Hora Salida Estación	% de Carga	No. De Tolva	No. De Tracto	Caja en que vacía
27-Nov-03	CT	5488BS	503	AO	07:00:00	07:01:00	07:02:00	07:03:00	90			
27-Nov-03	VOL	8937BP	555	AO	07:01:00	07:02:00	07:03:00	07:04:00	90	C	C136	272
27-Nov-03	CG	7188AB	288	AO	07:03:00	07:04:00	07:05:00	07:06:00	90	D	AK09	258
27-Nov-03	CT	7107AE	235	AO	07:05:00	07:06:00	07:07:00	07:08:00	90			
27-Nov-03	CCH	3434AC	436	AO	07:07:00	07:08:00	07:09:00	07:10:00	60			
27-Nov-03	CCH	3568AC	434	AO	07:08:00	07:09:00	07:10:00	07:11:00	60			
27-Nov-03	CT	9532BZ	1131	AO	07:10:00	07:11:00	07:12:00	07:13:00	90	C	C136	272
27-Nov-03	CT	4521BZ	1047	AO	07:11:00	07:12:00	07:13:00	07:14:00	90			
27-Nov-03	CLRL1	4511AZ	347	AO	07:12:00	07:13:00	07:14:00	07:15:00	90	D	AK09	258
27-Nov-03	CG	7213AB	287	AO	07:14:00	07:15:00	07:16:00	07:17:00	90	C	C136	272

(Cano, 2003)

Tabla 3.2. Datos obtenidos para tractocamiones de transferencia en la Estación Álvaro Obregón

Hora entrada Estación	Hora entrada tolva	Hora salida tolva	Hora salida ruta	Hora regreso Estación	Hora entrada destino	Hora descarga destino	Hora salida destino	Num viaje	Num tolva	Tiempo en cola de espera	Tiempo de servicio 1	Tiempo de Servicio 2	Tiempo de trayecto (ida)	Tiempo de trayecto (vuelta)
27-Nov-03														
15:35	07:48	08:55	09:00	11:17	10:22	10:22	10:27	1	4	07:47	01:07	00:05	01:22	00:50
15:36	08:00	09:31	09:40	14:00	10:54	10:54	11:02	1	1	07:36	01:31	00:09	01:14	02:58
16:29	08:38	09:34	09:46	12:23	11:04	11:04	11:41	1	3	07:51	00:56	00:12	01:18	00:42
16:33	08:59	09:55	10:06	12:06	11:03	11:03	11:25	1	4	07:34	00:56	00:11	00:57	00:41
16:40	09:30	10:10	10:20	12:07	11:19	11:19	11:26	1	1	07:10	00:40	00:10	00:59	00:41
17:03	09:40	10:14	10:24	12:21	11:17	11:17	11:44	1	3	07:23	00:34	00:10	00:53	00:37
17:07	10:00	10:31	10:36	12:20	11:31	11:31	11:41	1	4	07:07	00:31	00:05	00:55	00:39
17:08	10:16	10:35	10:42	12:31	11:44	11:44	11:50	1	1	06:52	00:19	00:07	01:02	00:41
17:46	10:21	10:40	10:46	12:38	11:43	11:43	11:55	1	3	07:25	00:19	00:06	00:57	00:43
17:37	10:33	10:55	11:00	13:25	12:12	12:12	12:38	1	4	07:04	00:22	00:05	01:12	00:47
17:50	10:38	10:59	11:06	13:00	12:11	12:11	12:19	1	1	07:12	00:21	00:07	01:05	00:41
17:53	10:42	11:00	11:06	15:30	12:17	12:17	12:26	1	3	07:11	00:18	00:06	01:11	03:04
18:39	10:58	11:09	11:12	14:03	12:17	12:17	12:26	1	4	07:41	00:11	00:03	01:05	01:37
18:44	11:03	11:26	11:31	13:43	12:37	12:37	12:49	1	3	07:41	00:23	00:05	01:06	00:54
18:40	11:04	11:23	11:28	13:17	12:26	12:26	12:32	1	1	07:36	00:19	00:05	00:58	00:45
19:25	11:15	11:31	11:36	14:07	12:53	12:53	13:07	1	4	08:10	00:16	00:05	01:17	01:00
17:57	11:28	11:34	11:40	13:33	12:44	12:44	12:52	1	1	06:29	00:06	00:06	01:04	00:41
18:31	11:31	11:45	11:50	13:45	12:44	12:44	12:52	1	3	07:00	00:14	00:05	00:54	00:53
19:47	11:35	11:47	11:54	14:01	13:12	13:12	13:16	1	4	08:12	00:12	00:07	01:18	00:45
20:30	11:38	11:54	12:00	14:29	13:00	13:00	13:26	1	1	08:52	00:16	00:06	01:00	01:03
10:15	11:48	12:00	12:06	13:59	13:07	13:07	13:15	1	3	01:33	00:12	00:06	01:01	00:44

(Cano, 2003)

CAPITULO 4

METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN

4.1 Teorías de colas.

La teoría de colas es el estudio matemático del comportamiento de líneas de espera. Éstas se presentan, cuando los “clientes” llegan a un “lugar” demandando un servicio a un “servidor”, el cual tiene una cierta capacidad de atención. Si el servidor no está disponible inmediatamente y el cliente decide esperar, entonces se forma una línea de espera.

Una cola es una línea de espera y la teoría de colas es una colección de modelos matemáticos que describen sistemas de línea de espera particulares o sistemas de colas. Los modelos sirven para encontrar un buen equilibrio entre costos del sistema y los tiempos promedio de la línea de espera para un sistema dado.

Los sistemas de colas son modelos de sistemas que proporcionan servicio. Como modelo, pueden representar cualquier sistema en donde los trabajos o clientes llegan buscando un servicio de algún tipo y salen después de que dicho servicio haya sido atendido. Podemos modelar los sistemas de este tipo tanto como colas sencillas o como un sistema de colas interconectadas formando una red de colas. En la siguiente figura podemos ver un ejemplo de modelo de colas sencillo; es obvio que existen modelos más complicados, pues puede haber varias líneas de espera y un solo servidor o varios servidores y combinaciones de éstos arreglos.

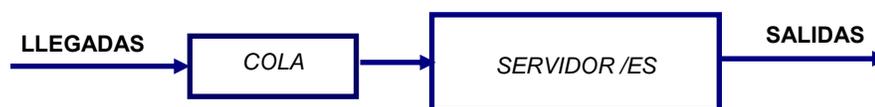


Figura 4.1 Modelo de colas simple

El problema es determinar qué capacidad o tasa de servicio proporciona el balance correcto. Esto no es sencillo, ya que un cliente no llega a un horario fijo, es decir, no se sabe con exactitud en que momento llegarán los clientes. También el tiempo de servicio no tiene un horario fijo.

(Arbonas, 1989)

Los problemas de “colas” se presentan permanentemente en la vida diaria: un estudio en EEUU concluyó que, por término medio, un ciudadano medio pasa cinco años de su vida esperando en distintas colas, y de ellos casi seis meses parado en los semáforos. (Arbonas, 1989).

El origen de la Teoría de Colas está en el esfuerzo de Agner Kraup Erlang (Dinamarca, 1878 - 1929) en 1909 para analizar la congestión de tráfico telefónico con el objetivo de cumplir la demanda incierta de servicios en el sistema telefónico de Copenhague. Sus investigaciones acabaron en una nueva teoría denominada teoría de colas o de líneas de espera.

Cuando se habla de líneas de espera, se refieren a las creadas por clientes o por las Estaciones de servicio. Los clientes pueden esperar en cola simplemente porque los medios existentes son inadecuados para satisfacer la demanda de servicio; en este caso, la cola tiende a ser cada vez más larga a medida que transcurre el tiempo. Las estaciones de servicio pueden estar esperando porque los medios existentes son excesivos en relación con la demanda de los clientes; en este caso, las estaciones de servicio podrían permanecer ociosas la mayor parte del tiempo. Los clientes puede que esperen temporalmente, aunque las instalaciones de servicio sean adecuadas, porque los clientes llegados anteriormente están siendo atendidos. Las estaciones de servicio pueden encontrarse temporalmente ociosas cuando, las instalaciones sean adecuadas a largo plazo, haya una escasez ocasional de demanda debido a un hecho temporal. Estos dos últimos casos tipifican una situación equilibrada que tiende constantemente hacia el equilibrio, o una situación estable.

La teoría de la formación de colas busca una solución al problema de la espera prediciendo primero el comportamiento del sistema. Pero una solución al problema de la espera consiste en, no sólo minimizar el tiempo que los clientes pasan en el sistema, sino también en minimizar los costos totales de aquellos que solicitan el servicio y de quienes lo prestan. Incluye el estudio matemático de las colas o líneas de espera y provee un gran número de modelos matemáticos para describirlas. Se debe lograr un balance económico entre el costo del servicio y el costo asociado a la espera por ese servicio. La teoría de colas en sí no resuelve este problema, sólo proporciona información para la toma de decisiones. (Arbonas, 1989)

4.1.1 Objetivos de la Teoría de Colas

- Identificar el nivel óptimo de capacidad del sistema que minimiza el costo global del mismo.
- Evaluar el impacto que las posibles alternativas de modificación de la capacidad del sistema tendrían en el costo total del mismo.

- Establecer un balance equilibrado (“óptimo”) entre las consideraciones cuantitativas de costos y las cualitativas de servicio.
- Hay que prestar atención al tiempo de permanencia en el sistema o en la cola: la “paciencia” de los clientes depende del tipo de servicio específico considerado y eso puede hacer que un cliente “abandone” el sistema.

4.1.2 Elementos existentes en un modelo de colas

Fuente de entrada o población potencial: Es un conjunto de individuos (no necesariamente seres vivos) que pueden llegar a solicitar el servicio en cuestión. Podemos considerarla finita o infinita. Aunque el caso de infinitud no es realista, sí permite (por extraño que parezca) resolver de forma más sencilla muchas situaciones en las que, en realidad, la población es finita pero muy grande. Dicha suposición de infinitud no resulta restrictiva cuando, aún siendo finita la población potencial, su número de elementos es tan grande que el número de individuos que ya están solicitando el citado servicio prácticamente no afecta a la frecuencia con la que la población potencial genera nuevas peticiones de servicio.

Cliente: Es todo individuo de la población potencial que solicita servicio. Suponiendo que los tiempos de llegada de clientes consecutivos son $0 < t_1 < t_2 < \dots$, será importante conocer el patrón de probabilidad según el cual la fuente de entrada genera clientes. Lo más habitual es tomar como referencia los tiempos entre las llegadas de dos clientes consecutivos: $T\{k\} = t_k - t_{k-1}$, fijando su distribución de probabilidad. Normalmente, cuando la población potencial es infinita se supone que la distribución de probabilidad de los T_k (que será la llamada distribución de los tiempos entre llegadas) no depende del número de clientes que estén en espera de completar su servicio, mientras que en el caso de que la fuente de entrada sea finita, la distribución de los T_k variará según el número de clientes en proceso de ser atendidos.

Capacidad de la cola: Es el máximo número de clientes que pueden estar haciendo cola (antes de comenzar a ser servidos). De nuevo, puede suponerse finita o infinita. Lo más sencillo, a efectos de simplicidad en los cálculos, es suponerla infinita. Aunque es obvio que en la mayor parte de los casos reales la capacidad de la cola es finita, no es una gran restricción el suponerla infinita si es extremadamente improbable que no puedan entrar clientes a la cola por haberse llegado a ese número límite en la misma. (Arbonas, 1989)

Disciplina de la cola: Es el modo en el que los clientes son seleccionados para ser servidos. Las disciplinas más habituales son:

- ✦ FIFO (first in first out), también llamada FCFS (first come first served): según la cual se atiende primero al cliente que antes haya llegado.
- ✦ La disciplina LIFO (last in first out), también conocida como LCFS (last come first served) o pila: que consiste en atender primero al cliente que ha llegado el último.
- ✦ La RSS (random selection of service), o SIRO (service in random order), que selecciona a los clientes de forma aleatoria.

Mecanismo de servicio: Es el procedimiento por el cual se da servicio a los clientes que lo solicitan. Para determinar totalmente el mecanismo de servicio debemos conocer el número de servidores de dicho mecanismo (si dicho número fuese aleatorio, la distribución de probabilidad del mismo) y la distribución de probabilidad del tiempo que le lleva a cada servidor dar un servicio. En caso de que los servidores tengan distinta destreza para dar el servicio, se debe especificar la distribución del tiempo de servicio para cada uno. Pueden ser servidores en serie o en paralelo. (Arbonas, 1989)

La cola, propiamente dicha, es el conjunto de clientes que hacen espera, es decir los clientes que ya han solicitado el servicio pero que aún no han pasado al mecanismo de servicio.

El sistema de la cola: es el conjunto formado por la cola y el mecanismo de servicio, junto con la disciplina de la cola, que es lo que nos indica el criterio de qué cliente de la cola elegir para pasar al mecanismo de servicio. Estos elementos pueden verse más claramente en la siguiente figura:

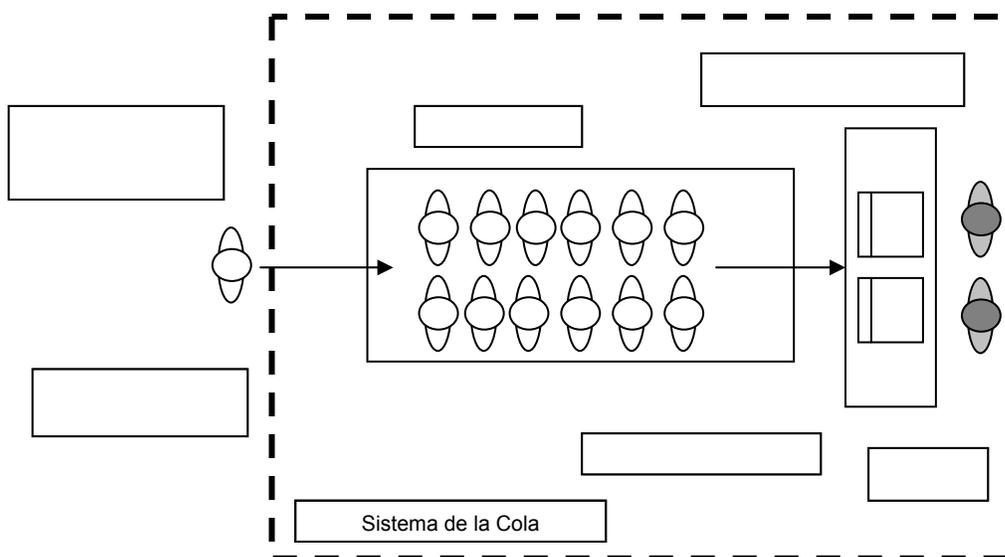


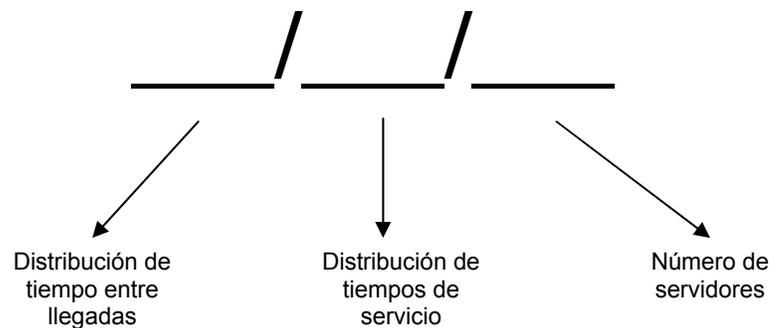
Figura 4.2 Sistema de colas

Un modelo de sistema de colas debe especificar la distribución de probabilidad de los tiempos de servicio para cada servidor.

La distribución más usada para los tiempos de servicio es la *exponencial*, aunque es común encontrar la distribución *degenerada o determinística* (tiempos de servicio constantes) o la distribución *Erlang* (Gamma).

4.1.3 Notación de Kendall.

Por convención los modelos que se trabajan en teoría de colas se etiquetan como se muestra a continuación:



Las distribuciones que se utilizan son:

- M: Distribución exponencial (markoviana)
- D : Distribución degenerada (tiempos constantes)
- E k : Distribución Erlang
- G : Distribución general

M / M / s : Modelo donde tanto los tiempos entre llegadas como los tiempo de servicio son exponenciales, y se tienen s servidores.

M / G / 1: Tiempos entre llegadas exponenciales, tiempos de servicio general y 1 sólo servidor

4.1.4 Terminología.

Es común utilizar la siguiente terminología estándar:

- ✦ **Estado del sistema:** Número de clientes en el sistema.
- ✦ **Longitud de la cola:** Número de clientes que esperan servicio.
- ✦ **$N(t)$:** Número de clientes en el sistema de colas en el tiempo t ($t=0$).
- ✦ **$P_n(t)$:** Probabilidad de que exactamente n clientes estén en el sistema en el tiempo t , dado el número en el tiempo cero.
- ✦ **s :** Número de servidores en el sistema de colas.
- ✦ **λ :** Tasa media de llegadas (número esperado de llegadas por unidad de tiempo) de nuevos clientes cuando hay n clientes en el sistema.
- ✦ **μ :** Tasa media de servicio para todo el sistema (número esperado clientes que completan su servicio por unidad de tiempo) cuando hay n clientes en el sistema.

Nota: μ representa la tasa combinada a la que todos los servidores ocupados logran terminar sus servicios

Nota: Se hace la suposición de que el sistema se encuentra en la condición de estado estable. La siguiente notación supone la condición de estado estable:

- ✦ **P_n :** Probabilidad de que haya exactamente n clientes en el sistema
- ✦ **L :** Número esperado de clientes en el sistema.
- ✦ **L_q :** Longitud esperada de la cola (excluye los clientes que están en servicio).
- ✦ **W :** Tiempo de espera en el sistema para cada cliente
- ✦ **W :** $E(W)$
- ✦ **W_q :** Tiempo de espera en la cola para cada cliente.
- ✦ **W_q :** $E(W_q)$

4.1.5 Medidas de desempeño para evaluar un sistema de colas.

El objetivo último de la teoría de colas consiste en responder cuestiones administrativas pertenecientes al diseño y a la operación de un sistema de colas.

Cualquier sistema de colas pasa por dos fases básicas. Por ejemplo, cuando el banco abre en la mañana, no hay nadie en el sistema, de modo que el primer cliente es atendido de forma inmediata. Conforme van llegando más clientes, lentamente se va formando la cola y la cantidad de tiempo que tienen que esperar empieza a aumentar. A medida que avanza el día, el sistema llega a una condición en la que el efecto de la falta inicial de clientes ha sido eliminado y el tiempo de espera de cada cliente ha alcanzado niveles bastante estables.

Existen muchas medidas de rendimiento diferentes que se utilizan para evaluar un sistema de colas en estado estable. Para diseñar y poner en operación un sistema de colas, por lo general, los administradores se preocupan por el nivel de servicio que recibe un cliente, así como el uso apropiado de las instalaciones de servicio de la empresa. Algunas de las medidas que se utilizan para evaluar el rendimiento son:

Relacionadas con el tiempo, centradas en el cliente

- a) La medida de rendimiento asociada es el tiempo promedio de espera, representado con W_q
- b) La medida de rendimiento asociada es el tiempo promedio en el sistema, denotado con W

Relacionadas al número de cliente:

- a) Longitud media de la cola, representada con L_q
- b) Número medio en el sistema, representado con L

Implican tanto a los clientes como a los servidores:

- a) Probabilidad de que un cliente tenga que esperar a ser atendido o sea la medida de rendimiento asociada es la probabilidad de bloqueo, que se representa por P_w .
- b) Probabilidad de que un servidor esté ocupado en cualquier tiempo particular o sea la utilización del sistema, denotada con U . Esta medida indica también la fracción de tiempo que un servidor está ocupado.
- c) Probabilidad de que existan n clientes en el sistema, la medida de rendimiento asociada se obtiene calculando la probabilidad P_0 de que no haya clientes en el sistema, la probabilidad P_1 de que haya un cliente en el sistema, y así sucesivamente. Esto tiene como resultado la distribución de probabilidad de estado, representada por $P_n, n=0,1,\dots$
- d) Si el espacio de espera es finito, la probabilidad de que la cola esté llena y que un cliente que llega no sea atendido se determina con la medida de rendimiento asociada de probabilidad de negación del servicio, representada por P_d

Relaciones entre medidas de rendimiento

El cálculo de muchas de las medidas de rendimiento depende de los procesos de llegadas y de servicio del sistema de colas en específico. Estos procesos son descritos matemáticamente mediante distribuciones de llegada y de servicio. Incluso sin conocer la distribución específica, las relaciones entre algunas de las medidas de rendimiento pueden obtenerse para ciertos sistemas de colas, únicamente mediante el uso de los siguientes parámetros de los procesos de llegada y de servicio. (Arbonas, 1989)

λ = número promedio de llegadas por unidad de tiempo

μ = número promedio de clientes atendidos por unidad de tiempo en una sección

Supóngase que una población de clientes infinita y una cantidad limitada de espacio de espera en la fila. El tiempo total que un cliente invierte en el sistema es la cantidad de tiempo invertido en la fila más el tiempo durante el cual es atendido:

$$\text{Tiempo promedio en el sistema} = \text{Tiempo de espera} + \text{Tiempo de servicio}$$

El tiempo promedio en el sistema y el tiempo promedio de espera están representados por las cantidades W y Wq , respectivamente. El tiempo promedio de servicio puede expresarse en términos de parámetros de μ . Por ejemplo, si μ es 4 clientes por hora, entonces, en promedio, cada cliente requiere $1/4$ para ser atendido. En general, el tiempo de servicio es $1/\mu$, lo cual nos conduce a la siguiente relación:

$$W = Wq + 1/\mu \quad (4)$$

Considérese ahora la relación entre el número promedio de clientes en el sistema y el tiempo promedio que cada cliente pasa en el sistema. Imaginemos que un cliente acaba de llegar y se espera que permanezca en el sistema un promedio de media hora. Durante esta media hora, otros clientes siguen llegando a una tasa digamos doce por hora. Cuando el cliente en cuestión abandona el sistema, después de media hora, deja tras de sí un promedio de $(1/2) \cdot 12 = 6$ clientes nuevos. Es decir, en promedio, existen seis clientes en el sistema en cualquier tiempo dado. Entonces:

$$\text{Tiempo promedio de clientes} = \text{Número de llegadas} \times \text{Tiempo promedio en el sistema.}$$

$$\text{De modo que:} \quad L = \lambda \cdot W \quad (5)$$

Utilizando una lógica parecida se obtiene la relación entre el número promedio de clientes que esperan en la cola y el tiempo promedio de espera en la fila:

$$\text{Tiempo promedio de clientes} = \text{Número de llegadas} \times \text{Unidad de tiempo en la cola}$$

$$\text{De manera que:} \quad Lq = \lambda \cdot Wq \quad (6)$$

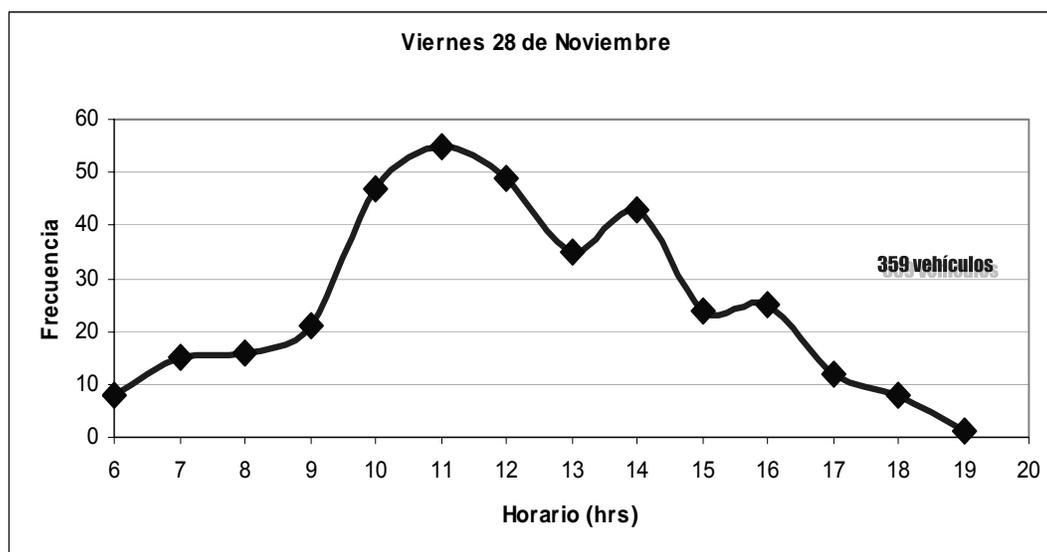
CAPITULO 5

Caso de Estudio

5.1 Análisis de la información.

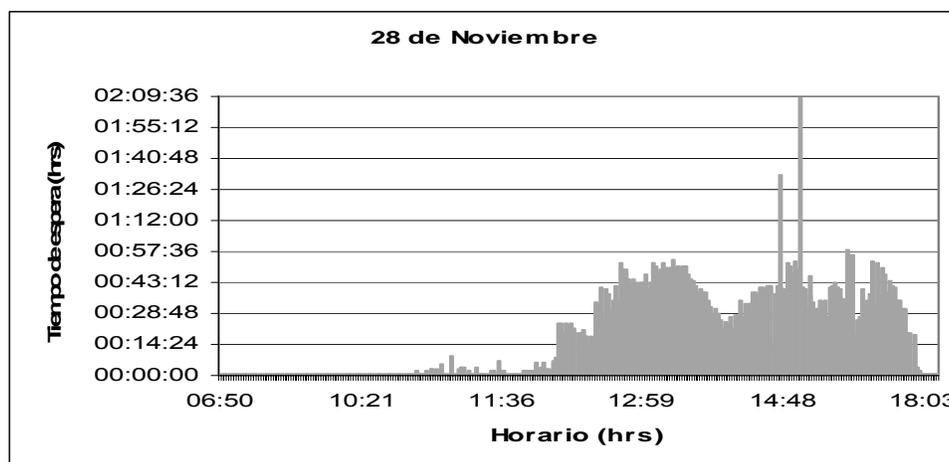
5.1.1 Proceso de Llegadas

Para el caso de los tiempos de espera de los vehículos recolectores en la Estación de Transferencia de Álvaro Obregón, como se mencionó en capítulos anteriores se recopiló la información por periodo de una semana observándose frecuencias de llegadas de los vehículos recolectores a la Estación y se determinó que día de la semana que presentaba mayor intervalo de horario crítico en tiempos de espera y tiempo en la cola de espera es el día viernes (Anexo 3).



(Cano, 2003)

Figura 5.1 Frecuencia de llegadas de vehículos recolectores en el día crítico de la semana



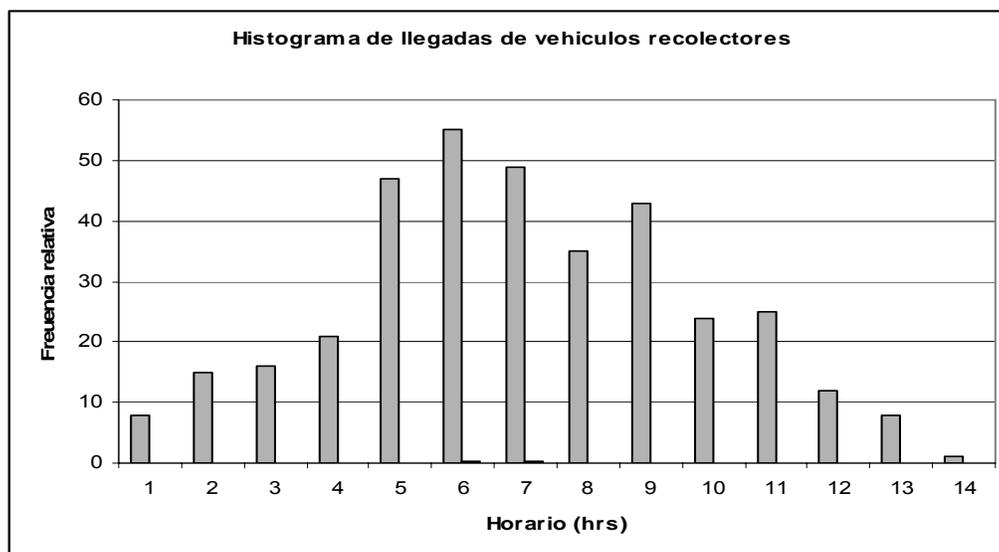
(Cano, 2003)

Figura 5.2 Tiempos en cola de espera de vehículos recolectores en el día crítico de la semana

Una vez determinado el día crítico de espera (viernes), el cual se simuló con teoría de colas; se procedió a resumir la información en forma significativa que permitió determinar la distribución asociada a este comportamiento de llegadas. Esto se logró resumiendo las observaciones en un histograma de frecuencia.

Tabla 5.1 Distribución de frecuencia para la llegada de vehículos recolectores

Horario	Frecuencia de llegadas	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
6	8	0.02228412	0.02228412
7	15	0.04178273	0.06406685
8	16	0.04456825	0.1086351
9	21	0.05849582	0.16713092
10	47	0.13091922	0.29805014
11	55	0.15320334	0.45125348
12	49	0.13649025	0.58774373
13	35	0.09749304	0.68523677
14	43	0.11977716	0.80501393
15	24	0.06685237	0.8718663
16	25	0.06963788	0.94150418
17	12	0.03342618	0.97493036
18	8	0.02228412	0.99721448
19	1	0.00278552	1



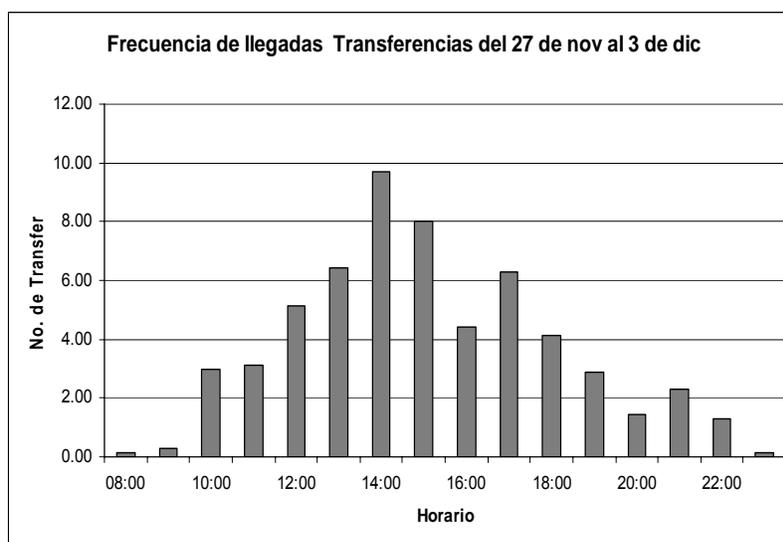
(Cano, 2003)

Figura 5.3 Histograma de frecuencia de llegadas

5.1.2 Tiempos de servicio.

Para el caso de los tiempos servicio en la Estación de Transferencia de Álvaro Obregón que son directamente proporcionales a la disponibilidad de tractocamiones de transferencia, también se recopiló dicha información por periodo de una semana, (la misma para los dos estudios) observándose las frecuencias de llegadas de los tractocamiones de transferencia a la Estación y se determino el promedio de llegadas de toda la semana (Anexo 4).

Frecuencia de llegadas de Transferencias	
Horario	No. De Transfers
08:00	0.14
09:00	0.29
10:00	3.00
11:00	3.14
12:00	5.14
13:00	6.43
14:00	9.71
15:00	8.00
16:00	4.43
17:00	6.29
18:00	4.14
19:00	2.86
20:00	1.43
21:00	2.29
22:00	1.29
23:00	0.14
Promedio	3.67



(Cano, 2003)

Figura 5.4 Frecuencia de llegadas de tractocamiones de transferencia

El promedio de llegadas de tractocamiones de transferencia a la Estación resultó ser igual a 3.67, pero este valor corresponde a todo el día y no al periodo crítico donde no existe disponibilidad de tractocamiones y por lo tanto mayores colas de espera por lo que se evaluó el promedio de llegadas de tractocamiones en horario crítico de 10 a 16 horas y se obtuvo un valor de 5.69 tractocamiones por hora con este valor y sabiendo que en promedio cada tractocamión utiliza 24 min. para ser llenado y 4 min. en tiempo de maniobras dio como resultado, que cada 28 min. un tractocamión nuevo es utilizado, por lo que se puede atender 6 vehículos cada 28 min. en promedio; resultando 12.8 vehículos por hora por tolva ya que el tractocamión utiliza 1 tolva en su transferencia de residuos, esto si fuesen 6 camiones de transferencia por hora, pero sólo son 5.69 por lo que sólo se atienden a 12.13 vehículos recolectores en una hora Cada tolva cuenta con 3 rendijas las cuales son los servidores del sistema, tomando estos datos se tiene que por cada servidor atiende a 4.04 vehículos por hora.

5.2 Prueba de bondad de ajuste

5.2.1 Proceso de llegadas (Distribución de Poisson)

Para hacer uso de la Teoría de colas se debe demostrar que el proceso de llegadas sigue una distribución de Poisson (Anexo 5), por lo que para probarlo se hace uso de la prueba de bondad de ajuste basada en la distribución ji-cuadrada. La Prueba de bondad de ajuste compara la frecuencia observada f_n con la frecuencia esperada estimada que se generaría así se supone la distribución de Poisson, para ello se siguen lo siguientes pasos:

1. Estimación de la media de la distribución de Poisson a partir de la muestra

$$\tilde{n} = \frac{\sum_{n=0}^n n * fn}{\sum_{n=0}^n fn} = \frac{359}{14} = 25.64 \text{ Vehículos por hora} \quad (7)$$

2. Determinar las probabilidades p_n para una distribución Poisson con media 25.64 vehículos por hora.

$$P_n = \frac{(\tilde{n})^n * e^{-\tilde{n}}}{n!}$$

n	p_n
1	0.0000
8	0.0000
12	0.0012
15	0.0076
16	0.0122
21	0.0554
24	0.0769
25	0.0789
35	0.0145
43	0.0005
47	0.0000
49	0.0000
55	0.0000

(8)

3. Determinar la frecuencia esperada

$$e_n = \left(\sum_{n=0}^n fn \right) p_n = 14 * p_n \quad (9)$$

n	e _n
1	0.0000
8	0.0005
12	0.0173
15	0.1067
16	0.1710
21	0.7758
24	1.0768
25	1.1044
35	0.2036
43	0.0065
47	0.0007
49	0.0002
55	0.0000

4. Obtener el valor de χ^2 (ji-cuadrada) $\chi^2 = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(fn - e_n)^2}{e_n}$ (10)

Como método práctico, cada e_n debe ser igual cuando menos a 5, si esto no sucede como en nuestro caso se combinan valores sucesivos de e_n para cumplir esa condición. Por lo tanto $n=0$ a 24 deben combinarse para producir una frecuencia teórica de 5.92, lo mismo para toda n mayor que 24 hasta 29 para obtener 5.012 como frecuencia relativa y por último para toda n mayor a 29 para obtener 3.06

Con estos intervalos se calcula ji-cuadrada con el valor crítico de ji-cuadrada. Para lograrlo necesitamos especificar el nivel de significancia α y los grados de libertad y éste está dado por:

$$\gamma = (\text{numero de intervalos de clase}) - (\text{numero de parámetros estimados}) - 1$$

$$\gamma = 3 - 1 - 1 = 1 \quad (11)$$

Mediante el uso de un nivel de significancia $\alpha = 0.025$, las tablas de χ^2 producen un valor crítico $\chi_1^2(0.05) = 5.02$. La aplicación de la prueba recomienda que se acepte la hipótesis en el nivel de significancia especificado α si el valor de $\chi^2 \leq \chi_\gamma^2(\alpha)$. Como esta condición se cumple en nuestro problema, se aceptó la hipótesis de que nuestra muestra provino de una distribución de Poisson con media de 25.64 llegadas por hora.

5.3 Evaluación del sistema actual de operación.

La aplicación de la teoría de colas en el problema de tiempos de espera de vehículos recolectores en Estaciones de Transferencia de la Ciudad de México implica un aspecto principal como es la selección del modelo matemático adecuado que representará al sistema real en forma apropiada con el objetivo de determinar las medidas de desempeño de sistema.

A continuación se describe el tipo de sistema que se opera actualmente desde el punto de vista de teoría de colas:

- ✦ Disciplina de la cola: Es de tipo FIFO (first come first served), primero en llegar, primero que se atiende aunque en algunas ocasiones cuando asisten particulares o vehículos con descarga manual, se le da preferencia a aquellos que su vaciado es de forma automática.
- ✦ Llegadas poissonianas.
- ✦ Tiempo de servicio exponencial.
- ✦ Servidores K idénticos
- ✦ Modelo del sistema M/M/k
- ✦ Tiempo de servicio: 4.04 vehículos por servidor.
- ✦ Proceso de llegada: 25.64 vehículos por hora

Haciendo uso de la teoría de colas o líneas de espera se obtuvo el modelo de operación de la instalación y se simuló ésta. En la Tabla 4.2 se muestran los resultados de operación. En este estudio se observa que el número de tolvas que son realmente aprovechables es 3, con 3 rendijas cada tolva, lo que da como resultado sólo 9 servidores trabajando, a pesar de que se operan las 4 tolvas instaladas.

Tabla 5.2 Desempeño actual de la Estación de Transferencia

Parámetros de desempeño								
	K	Ro	Po	Lq	L	Wq	W	Pw
M/M/9	9	0.9641	0.0000	23.6748	32.3523	40.9245	55.9245	0.8799

Donde:

K = Número de rendijas

Ro = Utilización de cada rendija

Po = Probabilidad de que no haya camiones recolectores en el sistema.

Lq = Número promedio de camiones recolectores en espera.

L = Número promedio de camiones recolectores en el sistema

Wq = Tiempo promedio que un camión recolector espera en la cola (minutos)

W = Tiempo promedio que un camión recolector pasa en el sistema (minutos)

Pw = Probabilidad de que un cliente espere para que lo atiendan

El modelo que resulta describe muy bien los tiempos de espera que se tienen actualmente en la Estación, teniendo un promedio de espera de 40.92 minutos con lo cual se comprueba que el sistema aprovecha actualmente sólo 3 tolvas. Ver Tabla 5.2.

5.4 Modelo propuesto

Teniendo como referencia el modelo M/M/9, que describe muy adecuadamente la operación de la Estación de Transferencia, se propone utilizar la cuarta tolva que se tiene libre sin aprovecharse, pero operando en forma distinta.

Esta cuarta tolva hará uso de una caja de transferencia al cuál solo se transferirán los residuos sólidos y cuando se encuentre llena la caja se retirará de la tolva con la ayuda de un tractocamión "posturero" el cual acomodará la caja de transferencia en el patio de maniobras; y tomará una segunda caja acomodándola de nuevo en la cuarta tolva. Cabe aclarar que este camión "posturero" solo hará la labor de acomodo y distribución de cajas en esta cuarta tolva.

Con esto se logrará que se tenga disposición de un mayor número de cajas de transferencia sin tener que esperar a que regresen los tractocamiones del sitio de disposición final. Una vez que el periodo crítico de operación haya pasado los tractocamiones que vayan llegando a la Estación se llevarán estas cajas llenas al sitio de disposición final y con esto los tiempos de espera no dependerán de la disposición de tractocamiones de transferencia.

Teniendo en cuenta que el tiempo de maniobra para cargar y descargar la caja de transferencia del tractocamión y llevarla a su sitio adecuado es de aproximadamente 15 minutos, según estudios de la DGSU, y el tiempo de llenado de un tractocamión es de 24 min., tenemos que solamente podríamos disponer de 1.2 cajas de transferencia por hora adicional en esta tolva. Si en promedio los vehículos recolectores que se pueden vaciar en los tractocamiones es de 6, tenemos entonces que podríamos atender a 7.2 vehículos extras por hora.

Si la utilización de 3 tolvas con 9 servidores nos daba un promedio de servicio de 36.39 vehículos por hora, sumándole los 7.2 vehículos extras que se pueden atender tenemos que el nuevo tiempo de servicio real para modelar este sistema será de 3.63 vehículos por hora por servidor.

5.5 Desempeño del modelo propuesto

A continuación se describe el tipo de sistema que se propone para la operación de la Estación desde el punto de vista de teoría de colas:

- ⊕ Disciplina de la cola: Es de tipo FIFO (first come first served), primero en llegar, primero que se atiende aunque en algunas ocasiones cuando asisten particulares o vehículos con descarga manual, se le da preferencia a aquellos que su vaciado es de forma automática.
- ⊕ Llegadas poissonianas.
- ⊕ Tiempo de servicio exponencial.
- ⊕ Servidores: 12 idénticos
- ⊕ Modelo del sistema M/M/k
- ⊕ Tiempo de servicio: 3.63 vehículos por servidor.
- ⊕ Proceso d llegada: 25.64 vehículos por hora

Los resultados que se obtuvieron con las condiciones antes descritas se muestran en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3 Desempeño del caso propuesto para la operación de la Estación

Parámetros de desempeño								
	K	Ro	Po	Lq	L	Wq	W	Pw
M/M/12	12	0.756	0.0001	0.861	9.936	1.489	17.18	0.278

Tabla 5.4 Análisis comparativo de desempeño

Análisis Comparativo del Desempeño								
	K	Ro	Po	Lq	L	Wq	W	Pw
CASO ACTUAL M/M/9	9	0.964	0.0000	23.67	32.35	40.92	55.92	0.88
CASO PROPUESTO M/M/12	12	0.756	0.0001	0.861	9.936	1.489	17.18	0.278

Como se puede observar el sistema M/M/9 trabajando actualmente con 3 tolvas proporciona un tiempo de espera en la cola de los camiones recolectores de 40.92 minutos, mientras que el sistema que se propone con tres tolvas operando en la misma forma como se ha venido haciendo y operando la cuarta tolva utilizando un tractocamión denominado “posturero” se reduce significativamente el tiempo de espera a 1.489 minutos.

Después de la selección óptima de un modelo de espera, el paso que se sigue consiste en utilizar los resultados del modelo para tomar las decisiones referentes a la operación del sistema real. Esto ocasiona que se deben utilizar directamente las medidas de desempeño del sistema para determinar la forma en que debe operar, como son:

- ✦ Una cuarta tolva que solo operara 5 horas, que es el tiempo crítico de operación y donde se observan colas de espera de los camiones recolectores.
- ✦ Tomando en cuenta que el tiempo de maniobra del tractocamión “posturero” es diferente a los demás, se puede esperar que cada hora 1.2 tractocamiones sean utilizados, por lo que al final de las 5 horas previstas, solo se necesitará adquirir 6 cajas de transferencia extras que serán utilizadas durante todo el día de operación.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La teoría de las colas es el estudio matemático de las colas o líneas de espera. La formación de colas es, por supuesto, un fenómeno común que ocurre siempre que la demanda efectiva de un servicio excede a la oferta efectiva.

Con frecuencia, las empresas deben tomar decisiones respecto al caudal de servicios que debe estar preparada para ofrecer. Sin embargo, muchas veces es imposible predecir con exactitud cuándo llegarán los clientes que demandan el servicio y/o cuánto tiempo será necesario para dar ese servicio; es por eso que esas decisiones implican dilemas que hay que resolver con información escasa. Estar preparados para ofrecer todo servicio que se nos solicite en cualquier momento puede implicar mantener recursos ociosos y costos excesivos. Pero, por otro lado, carecer de la capacidad de servicio suficiente causa colas excesivamente largas en ciertos momentos. Cuando los clientes tienen que esperar en una cola para recibir nuestros servicios, están pagando un costo, en tiempo, más alto del que esperaban.

La teoría de las colas no resuelve directamente el problema, pero contribuye con la información vital que se requiere para tomar las decisiones concernientes prediciendo algunas características sobre la línea de espera: probabilidad de que se formen y el tiempo de espera promedio.

Gracias a los métodos multicriterios se escogió la estación muestra (problema), los criterios múltiples que se utilizaron en el método jerárquico multicriterio fueron, los ya descritos en los capítulos anteriores.

Haciendo uso de estas herramientas y realizando un estudio de tiempos y movimientos de la Estación de Transferencia Álvaro Obregón se puede concluir que:

- ✦ Los tiempos de espera excesivos de los vehículos recolectores en Estaciones de Transferencia que se tienen actualmente, no se deben básicamente a la capacidad instalada de la planta (tolvas) si no a la disponibilidad de cajas de transferencia que prestan el servicio.

- ✦ Con la adquisición de mayor número de cajas de transferencia se resuelve el problema de tiempos excesivos de espera, sin embargo no debe dejarse a un lado los costos que involucra la adquisición de mayor número de cajas de transferencia, por lo que se debe encontrar un equilibrio entre el nivel de aceptación de la espera y los costos asociados a la reducción de ésta.
- ✦ El modelo de Teoría de colas, sugiere diferentes alternativas para la selección de instalaciones así como para su diseño; en este caso en particular, proporciona una herramienta más para poder simular el comportamiento de una Estación de Transferencia, pudiendo así modificar algunos factores para que su operación sea más eficiente.
- ✦ Una de las soluciones mas adecuadas debido al menor costo de inversión resultó ser la adquisición de un tractocamión “posturero” y 6 cajas extras de transferencia.
- ✦ Este modelo puede ajustarse a cualquier tipo de Estación de Transferencia, haciendo uso de sus propias frecuencias de arribo de camiones recolectores y de camiones de transferencia a la Estación así como el tiempo promedio de descarga de los camiones recolectores, sus tiempos de maniobras y otros parámetros.

No se puede dejar a un lado la entrada en vigor de la Ley de Residuos Sólidos para el Distrito Federal, el día 1º de octubre del 2004, con la cual todos estamos obligados a separar los residuos que generamos en residuos orgánicos e inorgánicos, esto trae consigo la recolección por separado de esta clase de residuos para darle un manejo y disposición más adecuado.

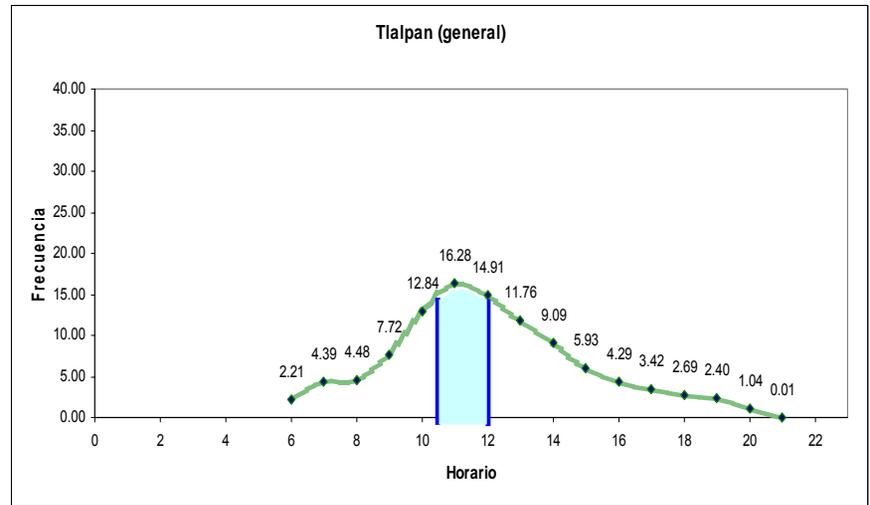
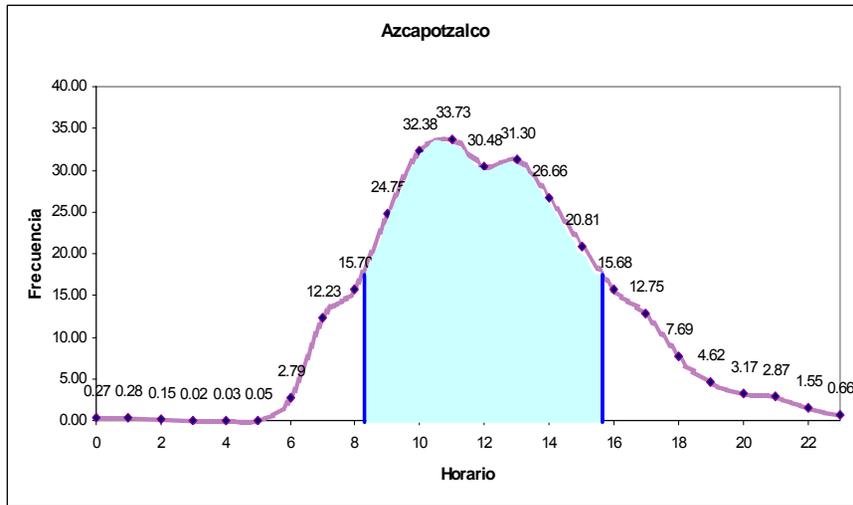
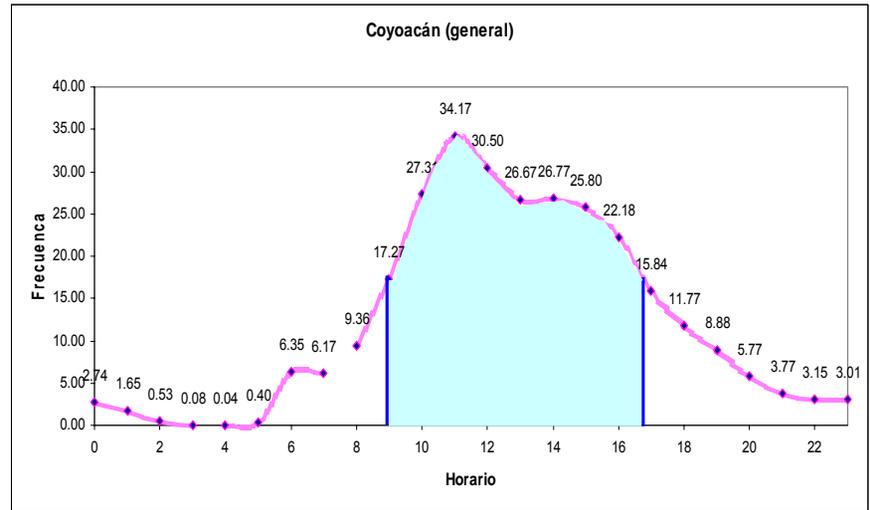
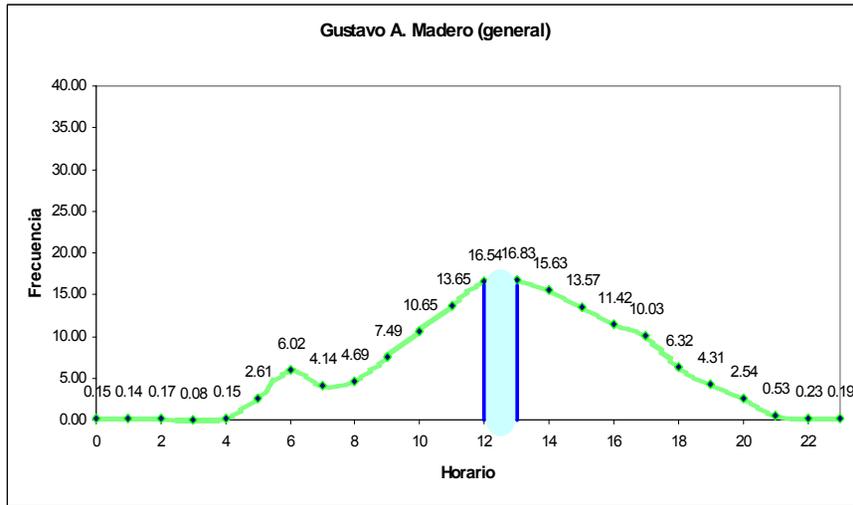
Pese a los esfuerzos que las autoridades y la comunidad están haciendo para poder dar cumplimiento a dicha ley, a casi un año de su entrada en vigor, los avances son muy pocos, ya que la infraestructura de recolección con la cual se cuenta no es la apropiada, sólo 15 camiones de recolección por separado han sido adquiridos hasta la fecha de (un total de más de 2000 con los que se cuenta actualmente) con lo que trae consigo que los camiones lleguen aún a las Estaciones de Transferencia con los residuos mezclados y se lleve a cabo el mismo ciclo que se ha estudiado en el presente trabajo.

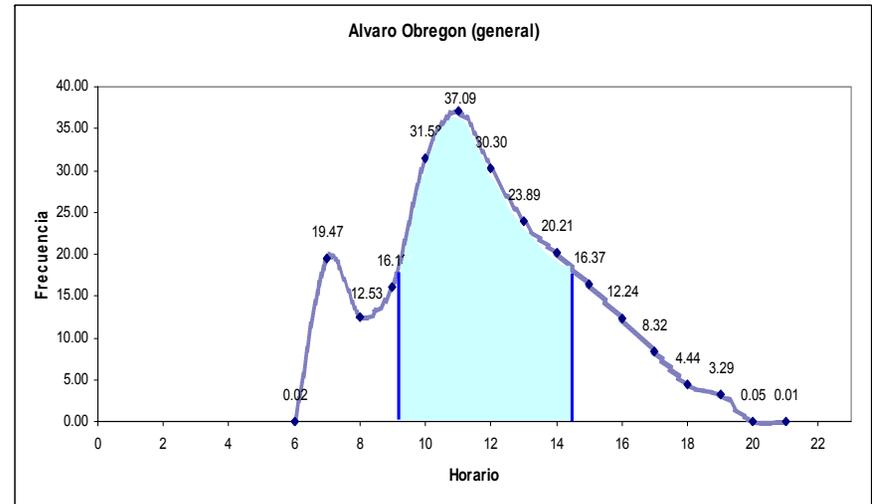
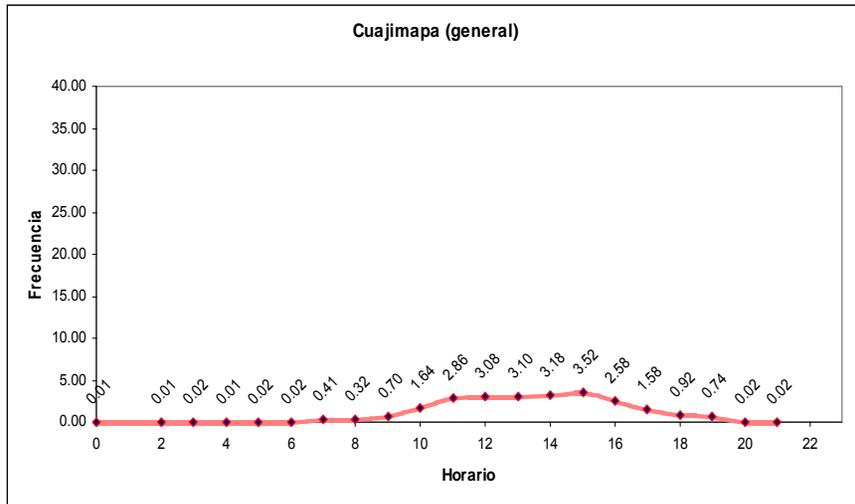
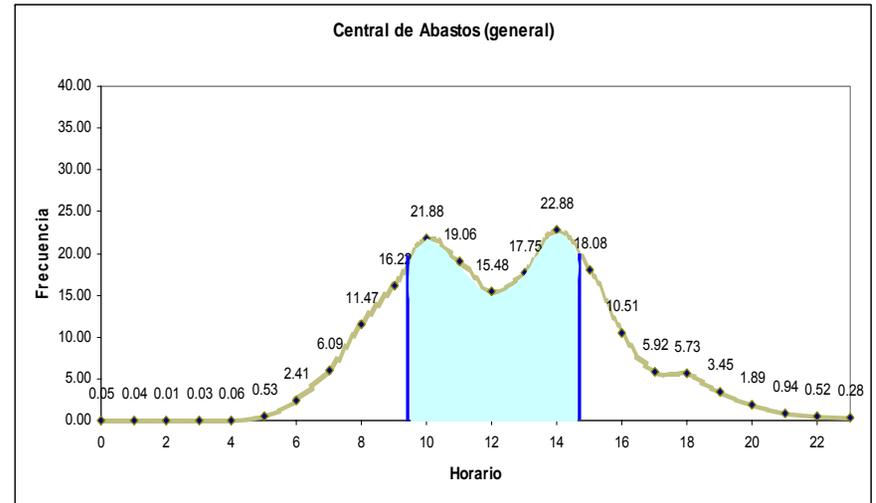
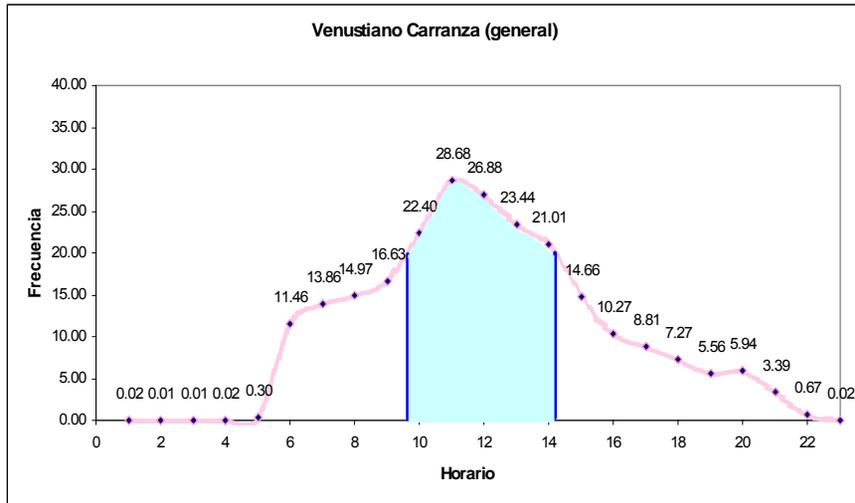
El estudio realizado tiene mayor importancia si consideramos que en un futuro debido a la recolección por separado, se tendrán que utilizar cajas de transferencia también seleccionadas evitar la mezcla de residuos por lo que los tiempos de recorrido de los tractocamiones de transferencia serán variados dependiendo del destino final al que se dirijan, así que este tipo de modelos pueden utilizarse y serán muy prácticos para tomar decisiones en la nueva adquisición de cajas de transferencia.

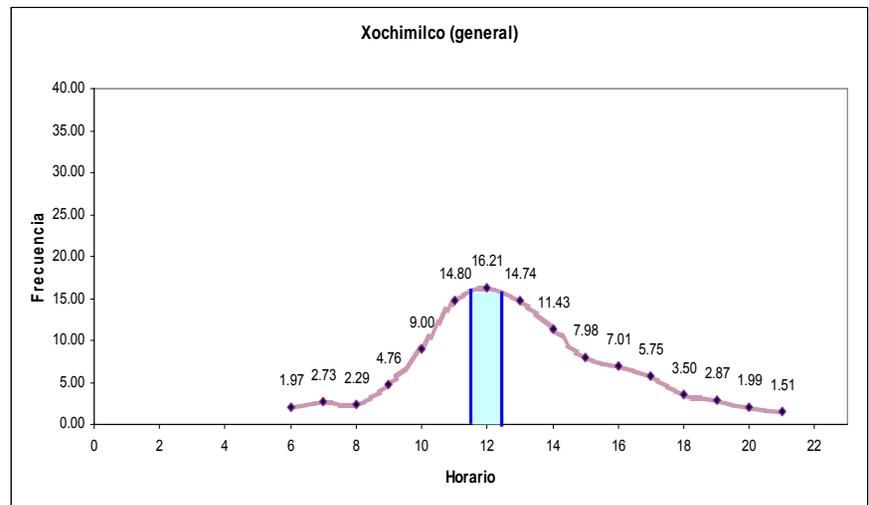
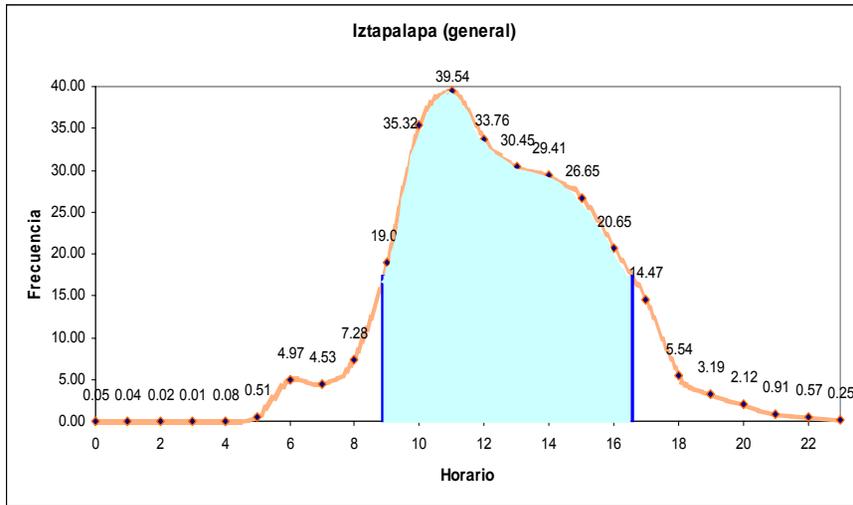
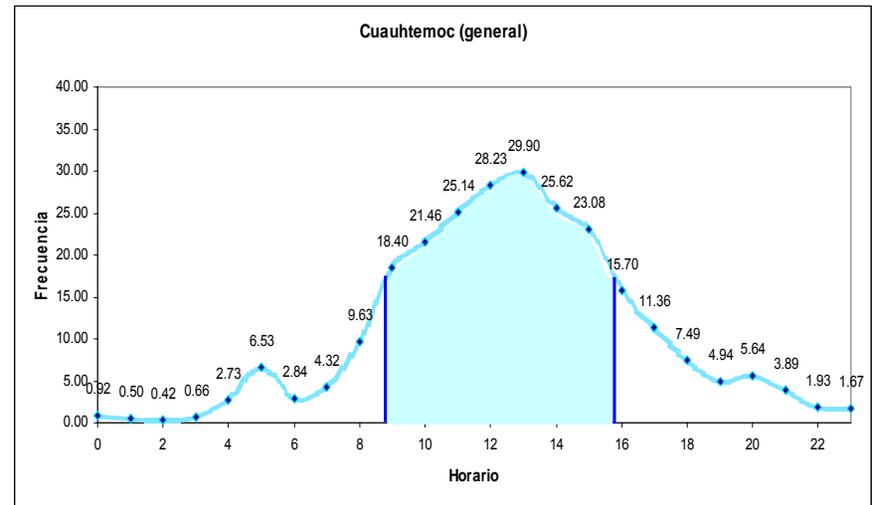
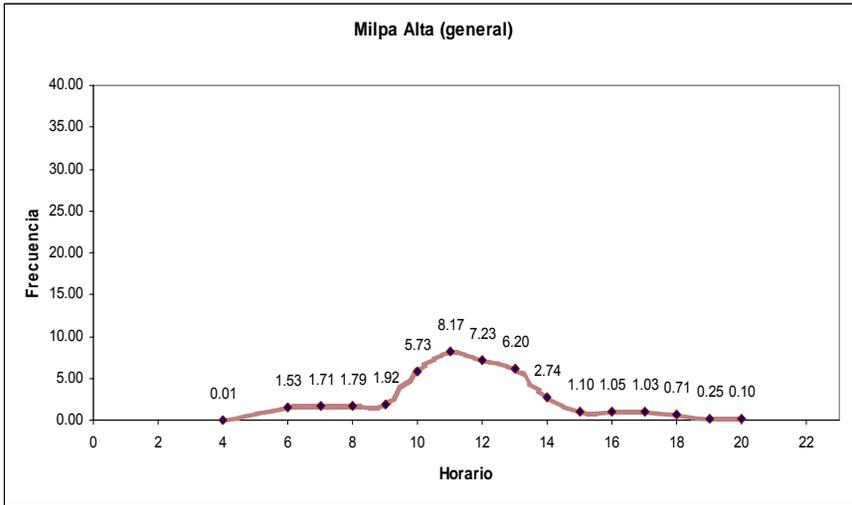
Algunos aspectos que podrían ser considerados para una mejor operación y supervisión en las Estaciones de Transferencia comprende:

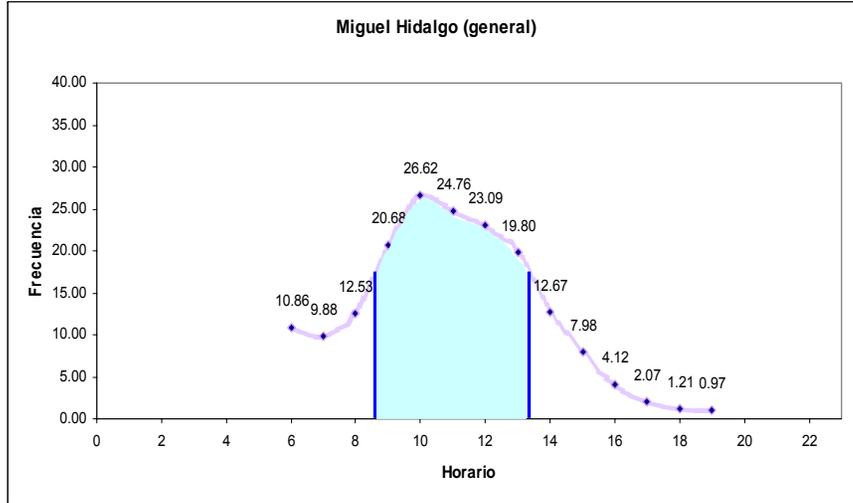
- ✦ El uso de dispositivos automáticos para detectar la llegada de vehículos recolectores así como la salida de los mismos de la Estación. Actualmente esto se lleva a cabo con los tractocamiones de transferencia y se evitaría la mala supervisión o pérdida de tiempo al hacer el conteo y registrar los datos de cada camión que ingresa a la Estación.

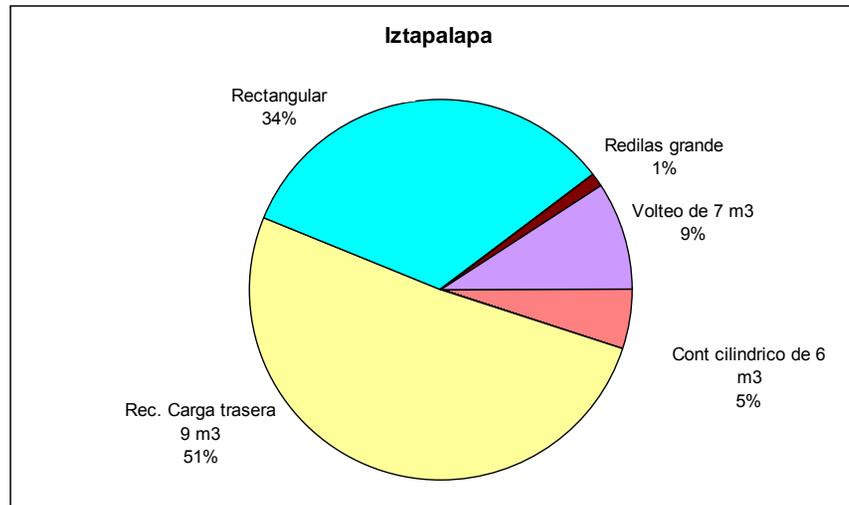
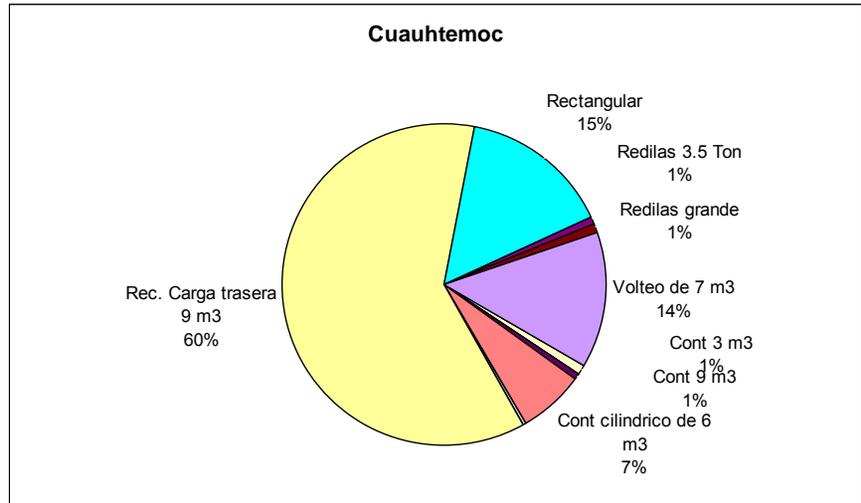
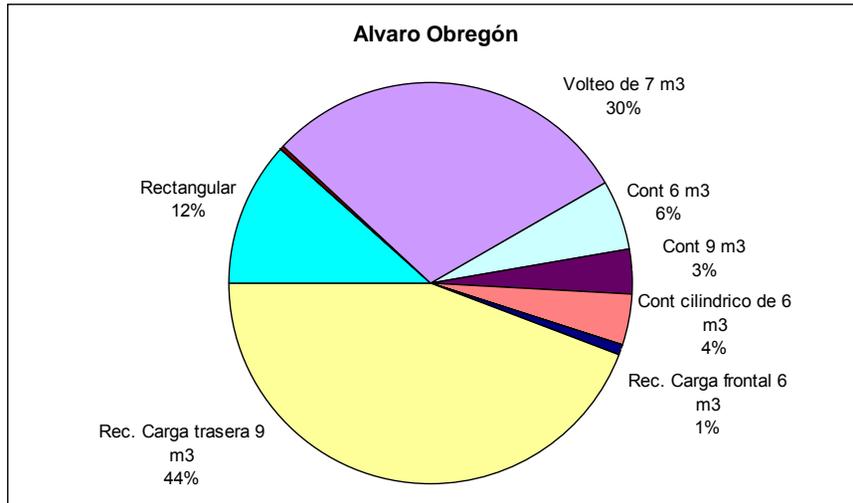
Por último se acepta la hipótesis inicial que nos indica que la mejor distribución de tractocamiones de transferencia dentro de horarios críticos de operación reducirá los tiempos de espera de vehículos recolectores, así como que la escasez de estos se traducirá en enormes filas de espera.

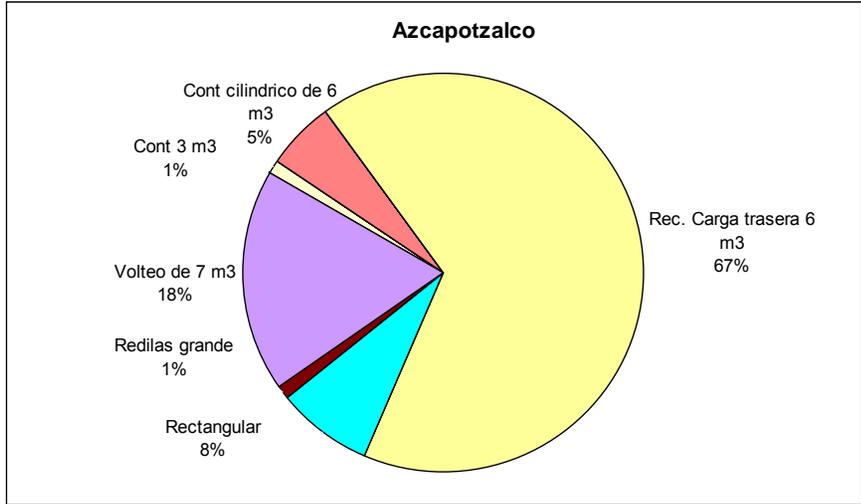
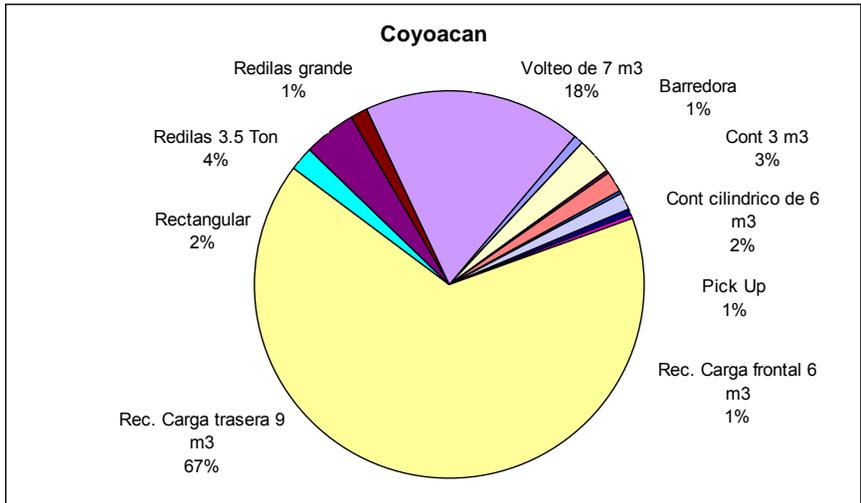


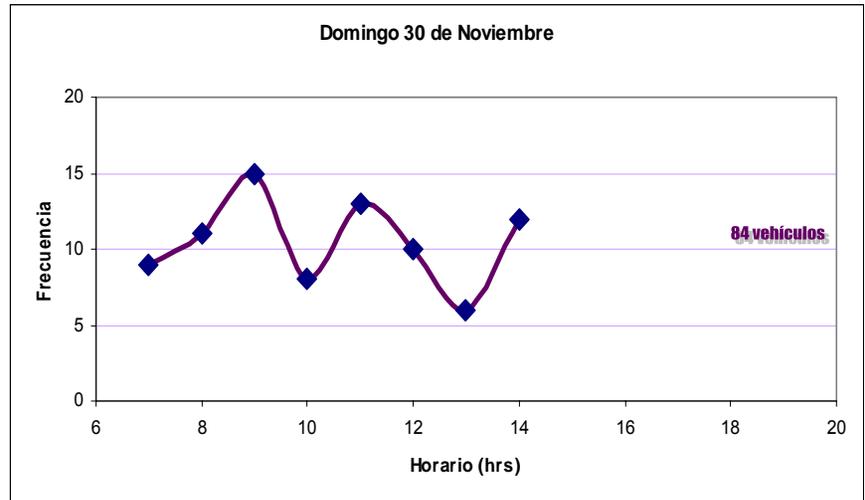
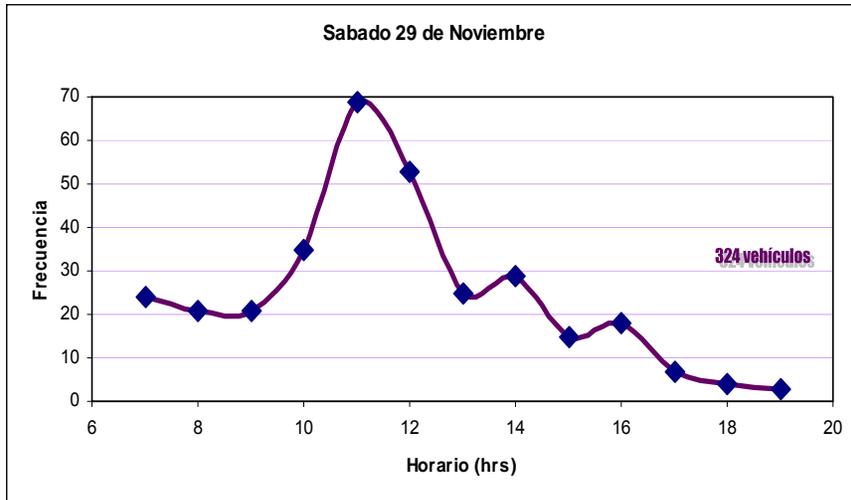
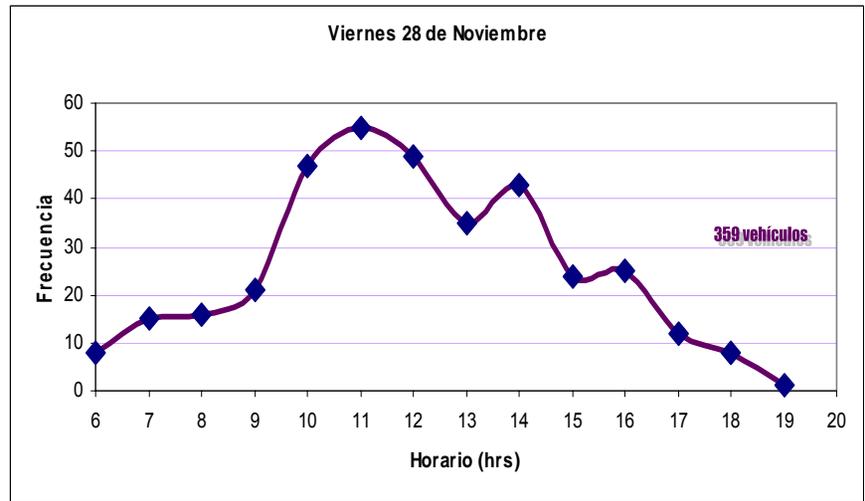
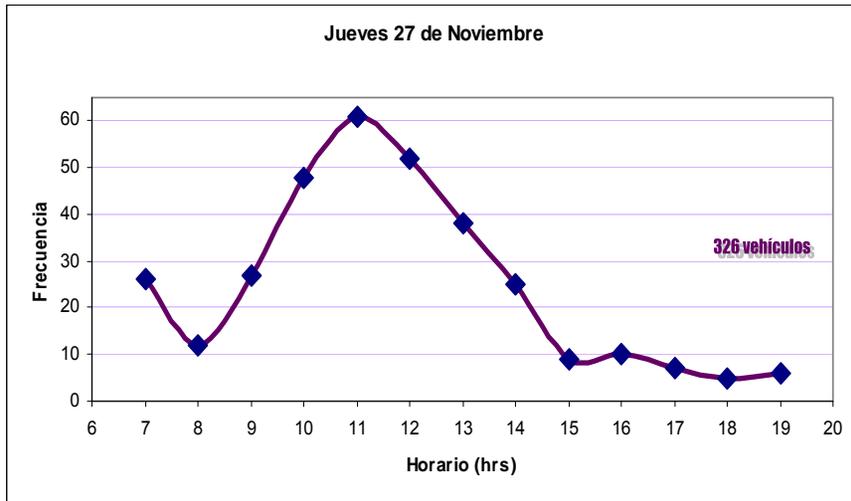


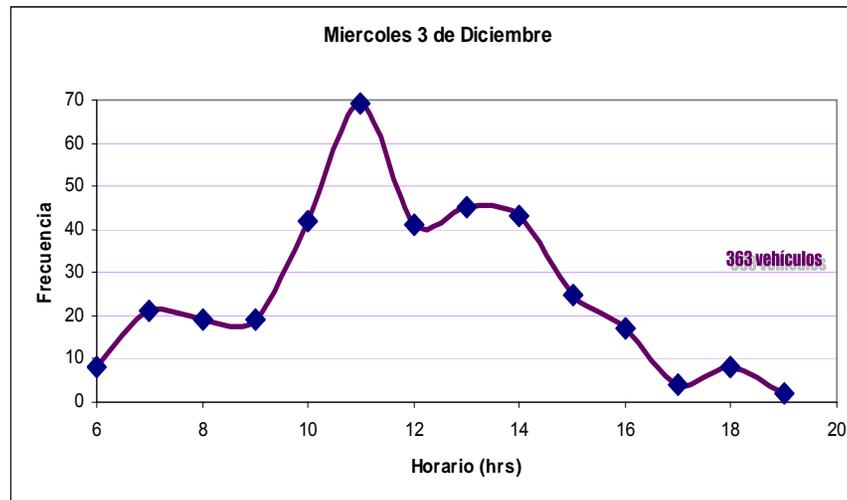
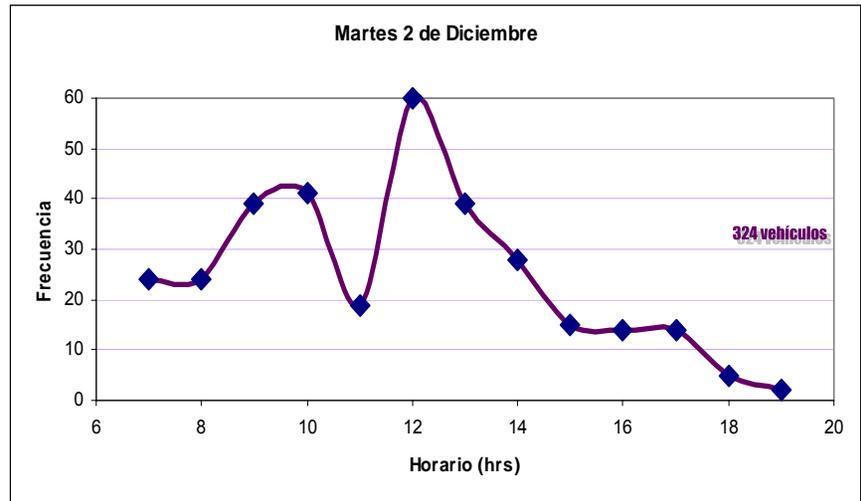
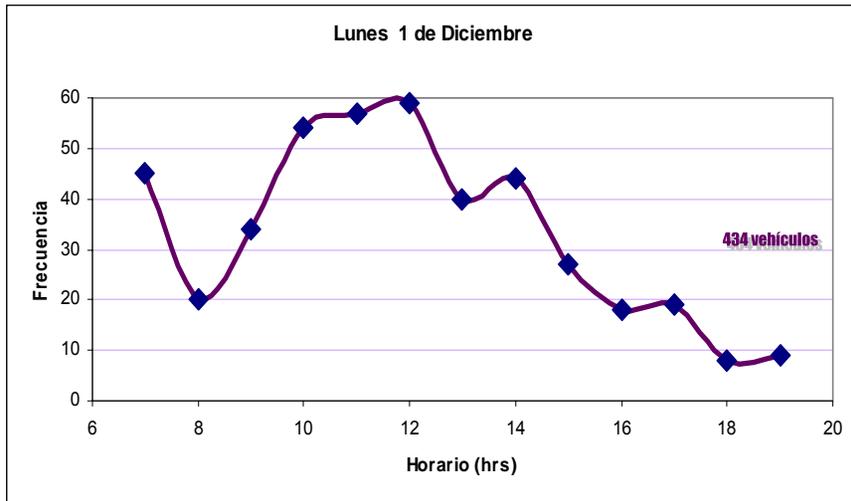












La **Distribución de Poisson** se llama así en honor a Simeón Dennis Poisson (1781-1840), francés que desarrolló esta distribución basándose en estudios efectuados en la última parte de su vida.

La distribución de Poisson se emplea para describir varios procesos, entre otros la distribución de las llamadas telefónicas que llagan a un conmutador, la demanda (necesidades) de servicios en una institución asistencial por parte de los pacientes, los arribos de los camiones y automóviles a la caseta de cobro y el número de accidentes en un cruce. Los ejemplos citados tienen un elemento en común, pueden ser descritos por una variable aleatoria discreta que asume valores enteros (0,1,2,3,4,5 y así sucesivamente).

Características de los procesos que producen una distribución de la probabilidad de Poisson:

El número de vehículos que pasan por una caseta de cobro en las horas de mayor tráfico sirve como ejemplo para mostrar las características de una distribución de probabilidad de Poisson.

El promedio (media) de los arribos de vehículos por hora de gran tráfico puede estimarse a partir de los datos anteriores del tráfico.

Si dividimos las horas de gran tráfico en periodos (intervalos) de un segundo cada uno, encontraremos que los siguientes enunciados son verdaderos:

- a) La probabilidad de que exactamente un vehículo llegue por segundo a una caseta individual es un número muy pequeño y es constante para que cada intervalo de un segundo.
- b) La probabilidad de que dos o más vehículos lleguen en un intervalo de un segundo es tan reducida que podemos asignarle un valor cero.
- c) El número de vehículos que llegan en determinado intervalo de un segundo es independiente del momento en que el intervalo de un segundo ocurre durante la hora de gran tráfico.
- d) El número de llegadas en cualquier intervalo de un segundo no depende del número de arribos de cualquier otro intervalo de un segundo.

Ahora bien, podemos generalizar partiendo de las cuatro condiciones que hemos descrito en este ejemplo, si estas condiciones se cumplen nos apoyaremos en una distribución de probabilidad de Poisson para describirlos.

Cálculo de probabilidades mediante la distribución de Poisson.

La distribución de Poisson, según se ha señalado, se refiere a ciertos procesos que pueden ser descritos con una variable aleatoria discreta. La letra X suele representar esa variable y puede además asumir valores enteros (0,1,2,3 etc..). Utilizamos la letra X mayúscula para representar la variable aleatoria y la x minúscula para designar un valor específico que puede asumir la X mayúscula. La probabilidad de exactamente x ocurrencias en una distribución de Poisson se calcula mediante la fórmula:

$$P(x) = \lambda^x * e^{-\lambda} / x!$$

λ^x = Lambda
(número medio de ocurrencias por intervalo de tiempo) elevada a la potencia x.

$e^{-\lambda}$ = e = 2.71828 elevado a la potencia de lambda negativa.

x! = x factorial.

Prueba de bondad de ajuste. Prueba Chi-cuadrado (X^2) Aplicable a variables continuas y variables discretas. Compara las funciones de densidad de probabilidad

Procedimiento

Como ya se explicó el proceso de llegadas debe seguir una distribución de Poisson, por eso hacemos uso de la Prueba de bondad de ajuste para saber si cumple con esta distribución.

El procedimiento que se siguió se explicó en Capítulos anteriores, sin embargo aquí se explicará con más detalle que se realizó.

n	8	15	16	21	47	55	49	35	43	24	25	12	1
fn	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

$$\tilde{n} = \frac{\sum_{n=0}^n n * fn}{\sum_{n=0}^n fn} = \frac{359}{14} = 25.64$$

Se Determinó las probabilidades p_n para una distribución Poisson con media 25.64 vehículos por hora, y la frecuencia esperada.

$$p_n = \frac{(\tilde{n})^n * e^{-\tilde{n}}}{n!}$$

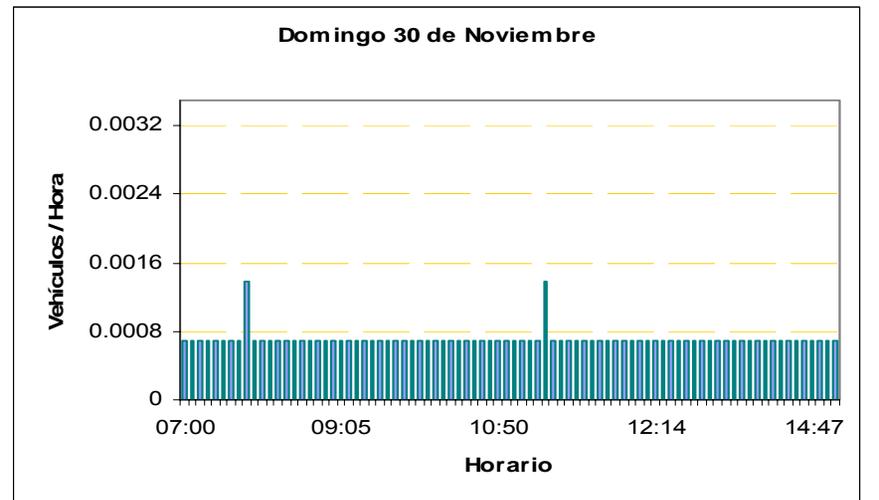
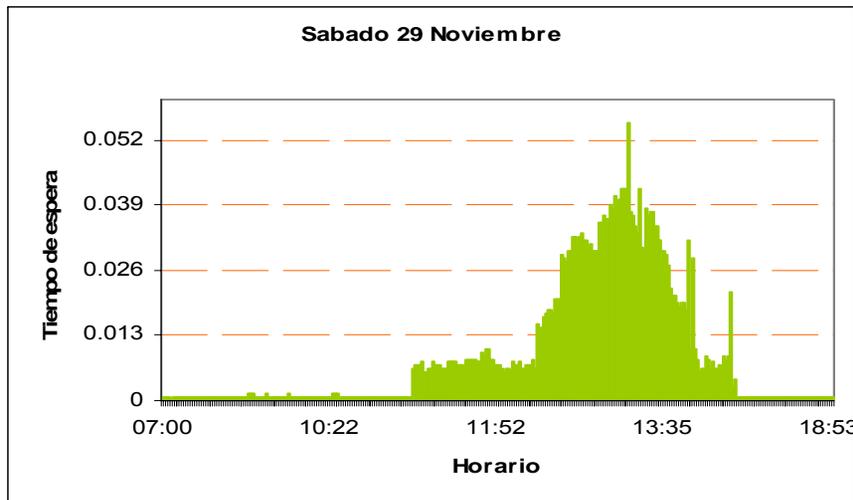
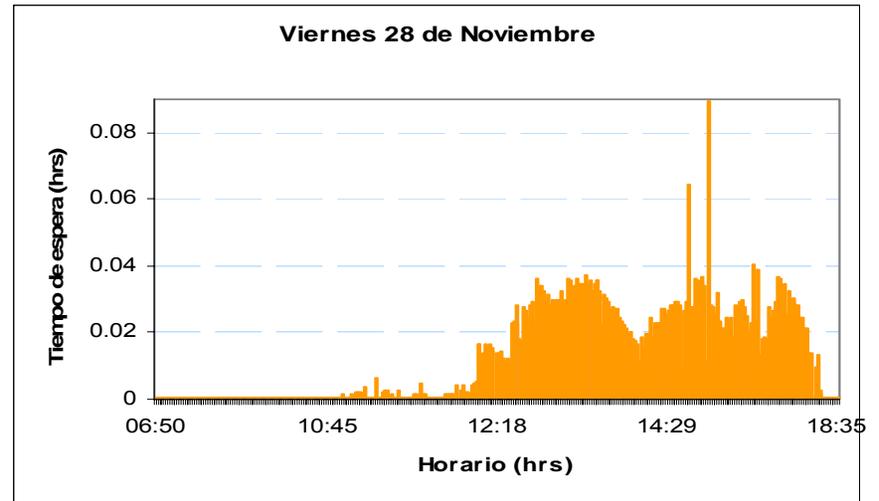
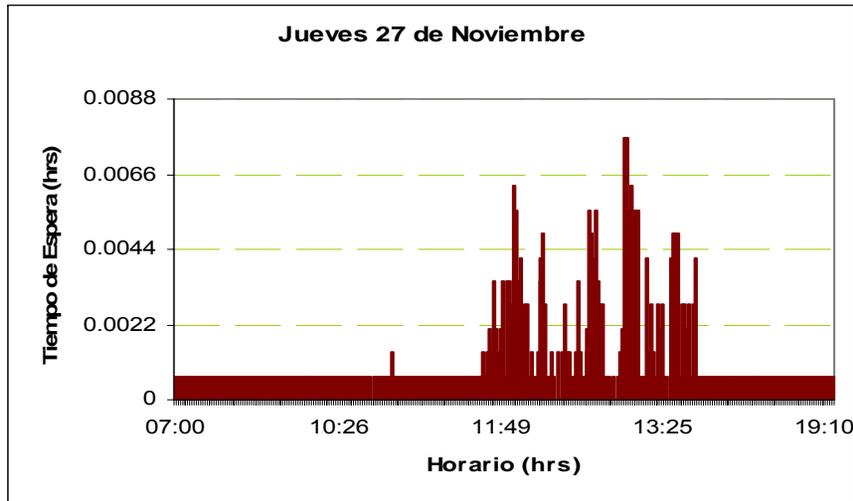
$$e_n = \left(\sum_{n=0}^n fn \right) p_n = 14 * p_n$$

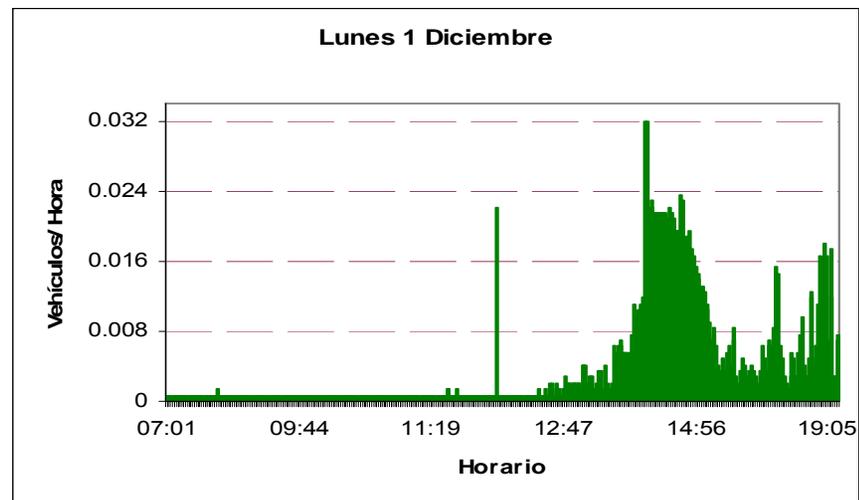
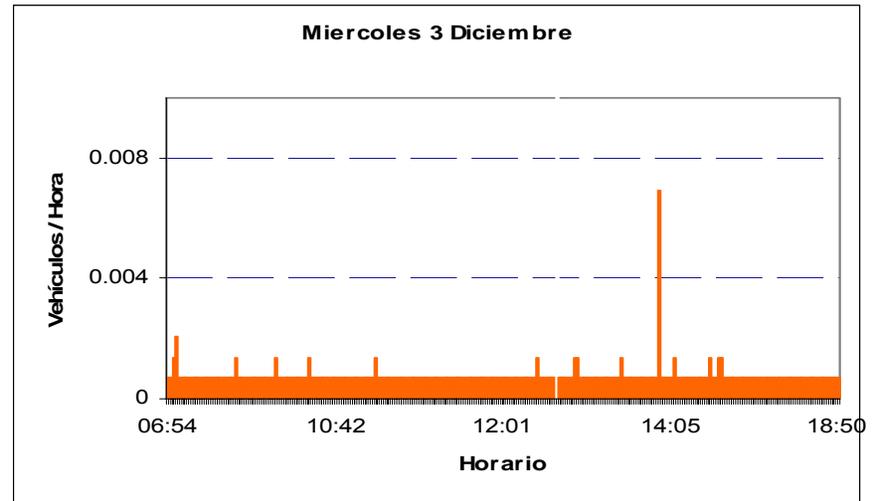
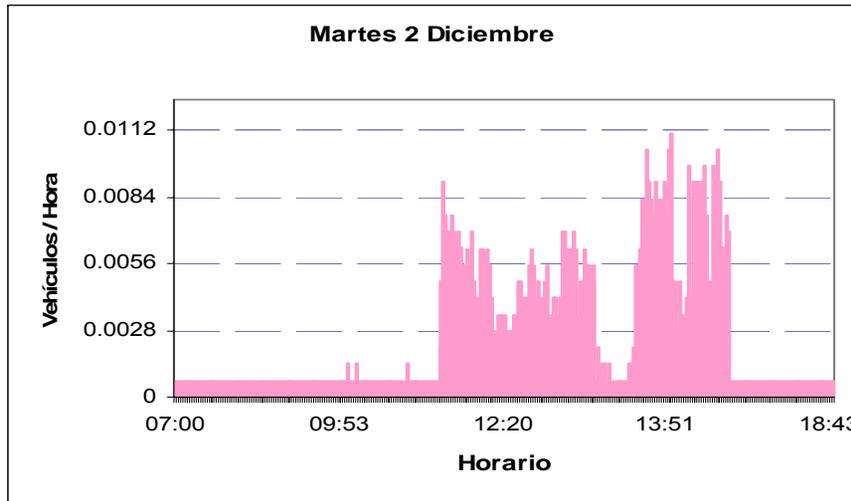
n	p_n	e_n
1	0.0000	0.0000
8	0.0000	0.0005
12	0.0012	0.0173
15	0.0076	0.1067
16	0.0122	0.1710
21	0.0554	0.7758
24	0.0769	1.0768
25	0.0789	1.1044
35	0.0145	0.2036
43	0.0005	0.0065
47	0.0000	0.0007
49	0.0000	0.0002
55	0.0000	0.0000

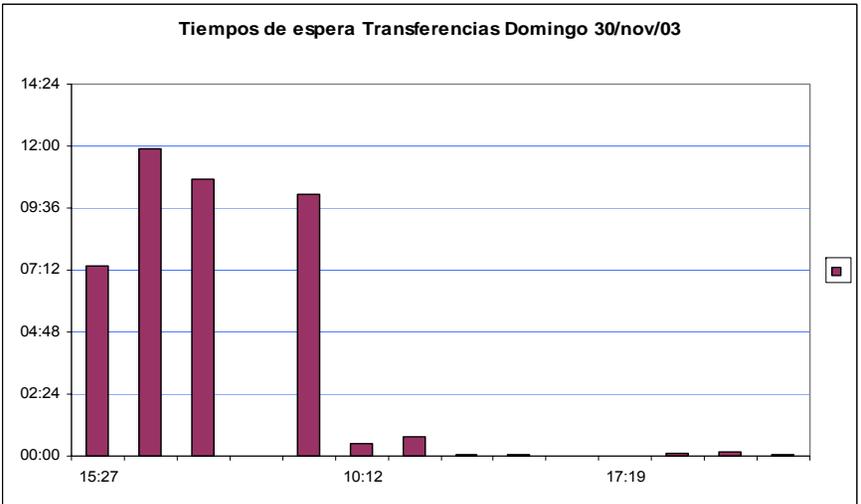
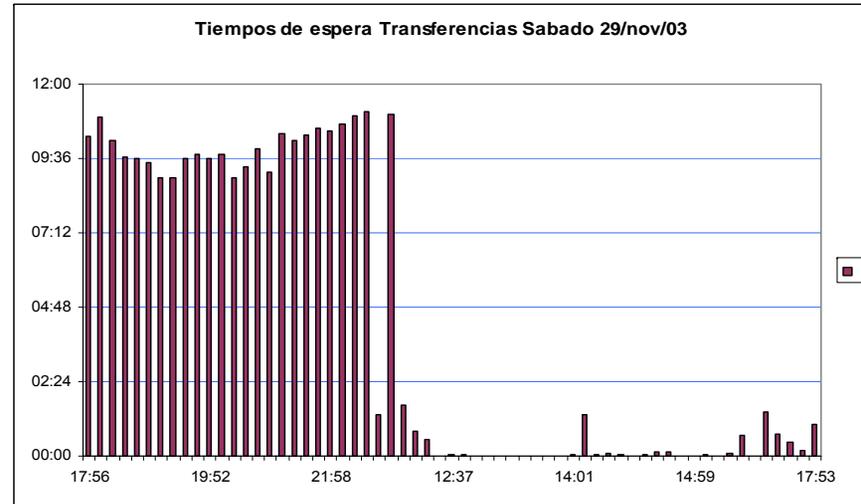
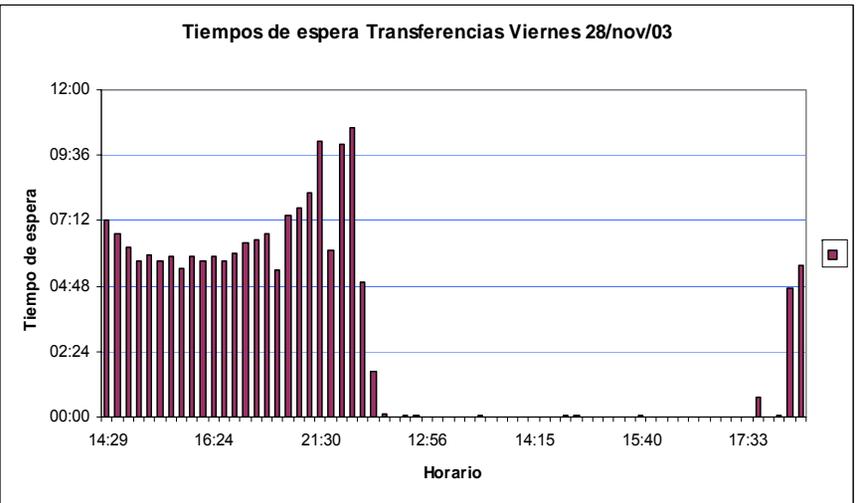
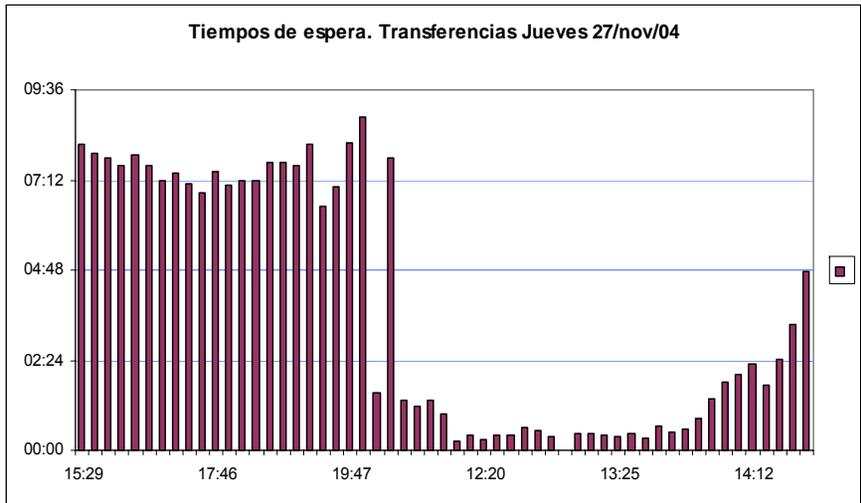
Se obtuvo el valor de χ^2 (ji-cuadrada)

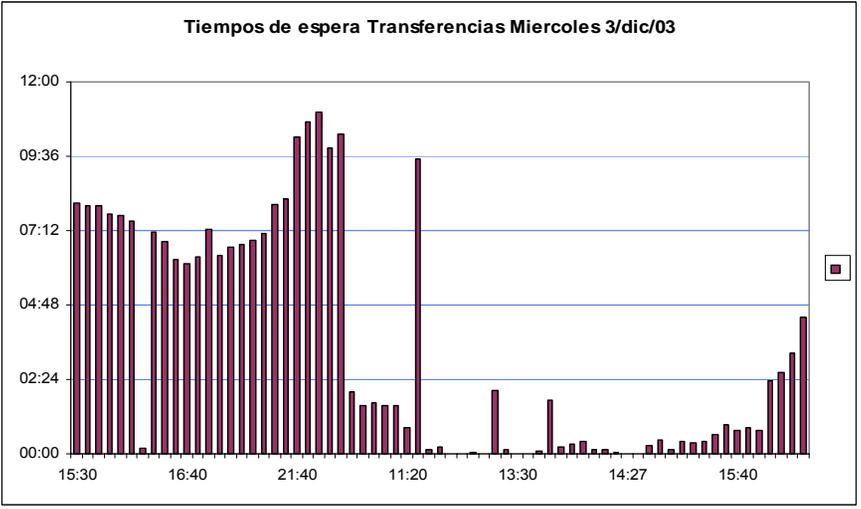
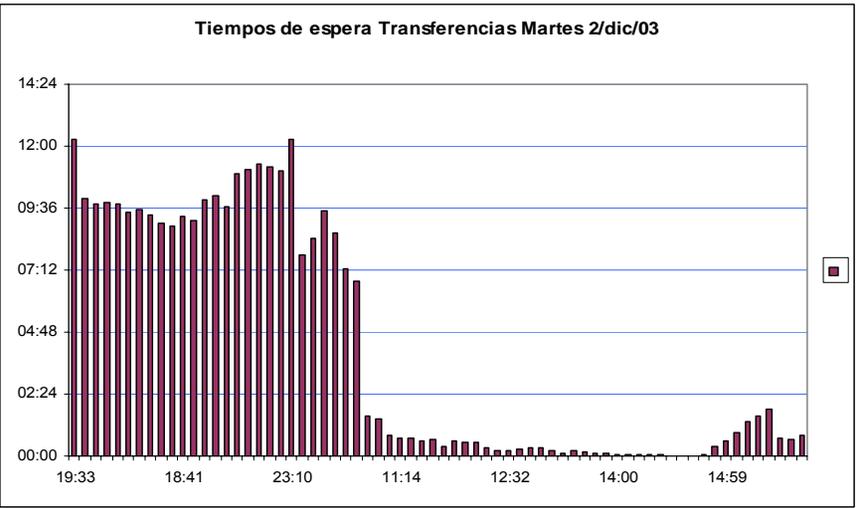
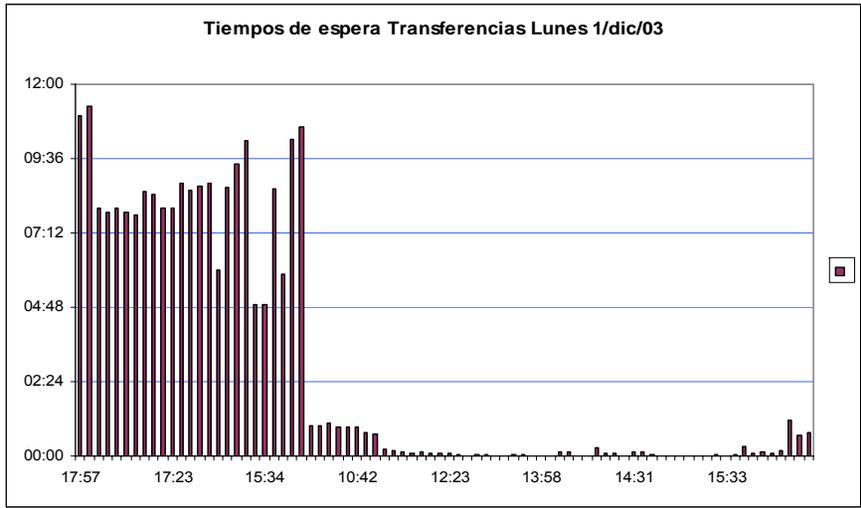
$$\chi^2 = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(fn - e_n)^2}{e_n}$$

Mediante el uso de un nivel de significancia $\alpha = 0.025$, las tablas de χ^2 producen un valor crítico $\chi^2_1(0.05) = 5.02$. La aplicación de la prueba recomienda que se acepte la hipótesis en el nivel de significancia especificado α si el valor de $\chi^2 \leq \chi^2_\gamma(\alpha)$. Como esta condición se cumple en nuestro problema, se aceptó la hipótesis de que nuestra muestra provino de una distribución de Poisson con media de 25.64 llegadas por hora.









}

DATOS DE LLEGADAS			DATOS	
λ	HORA 25.64	MIN 0.5785	K	9
DATOS DEL SERVICIO			LAMBDA	0.5785
K:	9		MU	0.06666667
μ	HORA 4	MIN 0.06666667	B=LAMBDA/MU	8.6775
MEDIDAS DE DESEMPEÑO			PO	0.00004
B=	8.6775		<u>CASO REAL</u>	
RO=	0.964166667			
PO=	0.0000			
Lq=	23.67488075			
L=	32.35238075			
	HORA	MIN		
Wq=	0.68207666	40.9245994		
W=	0.93207666	55.9245994		
Pw=	0.87987889			
PROBABILIDAD DE TENER n CLIENTES EN EL SISTEMA				
n	Pn		P(N<=n)	P(N>n)
0	4.1013E-05		4.1013E-05	0.999958987
1	0.00035589		0.0003969	0.999603097
2	0.00154412		0.00194102	0.998058978
3	0.00446636		0.00640739	0.993592613
4	0.00968922		0.01609661	0.983903394
5	0.01681564		0.03291225	0.967087754
6	0.02431962		0.05723187	0.942768134
7	0.03014764		0.08737951	0.912620492
8	0.03270077		0.12008028	0.879919721
9	0.03152899		0.15160927	0.848390727
10	0.0303992		0.18200848	0.817991523
11	0.0293099		0.21131838	0.788681623
12	0.02825963		0.23957801	0.760421995
13	0.02724699		0.266825	0.733175003
14	0.02627064		0.29309564	0.706904362
15	0.02532928		0.31842491	0.681575086
16	0.02442164		0.34284656	0.657153442
17	0.02354654		0.36639309	0.633606906
18	0.02270278		0.38909588	0.610904122
19	0.02188927		0.41098515	0.589014854
20	0.0211049		0.43209005	0.567909952
21	0.02034864		0.45243869	0.547561309
22	0.01961948		0.47205818	0.527941825
23	0.01891645		0.49097463	0.509025373

DATOS DE LLEGADAS			DATOS		
λ	HORA 25.64	MIN 0.5785	K	12	
			LAMBDA	0.5785	
			MU	0.06375	
			B=LAMBDA/MU	9.0745	
			PO	0.00010	
DATOS DEL SERVICIO			12 SERVIDORES		
K:	12				
μ	HORA 3.825	MIN 0.06375			
MEDIDAS DE DESEMPEÑO					
B=	9.074509804				
RO=	0.75620915				
PO=	0.0001				
Lq=	0.861246166				
L=	9.935755969				
	HORA	MIN			
Wq=	0.02481262	1.48875742			
W=	0.28625053	17.1750319			
Pw=	0.27765326				
PROBABILIDAD DE TENER n CLIENTES EN EL SISTEMA					
n	Pn		P(N<=n)	P(N>n)	
0	0.00010399		0.00010399	0.999896013	
1	0.00094363		0.00104762	0.998952382	
2	0.00428149		0.00532911	0.994670887	
3	0.01295082		0.01827993	0.981720066	
4	0.02938059		0.04766052	0.952339476	
5	0.05332289		0.10098341	0.899016587	
6	0.08064651		0.18162993	0.818370073	
7	0.1045468		0.28617672	0.713823276	
8	0.11858887		0.40476559	0.595234409	
9	0.11957065		0.52433624	0.475663761	
10	0.1085045		0.63284074	0.367159259	
11	0.08951138		0.72235212	0.27764788	
12	0.06768932		0.79004144	0.209958557	
13	0.05118729		0.84122873	0.158771271	
14	0.03870829		0.87993702	0.120062977	
15	0.02927157		0.90920859	0.09079141	
16	0.02213543		0.93134402	0.068655984	
17	0.01673901		0.94808303	0.051916972	
18	0.01265819		0.96074122	0.039258779	
19	0.00957224		0.97031346	0.029686537	
20	0.00723862		0.97755208	0.022447919	
21	0.00547391		0.98302599	0.016974011	
22	0.00413942		0.98716541	0.012834591	
23	0.00313027		0.99029568	0.009704324	

ANEXO I

Determinación de periodos críticos

ANEXO II

Tipo de vehículos en estaciones de transferencia

ANEXO III

Estudio de tiempos de los vehículos recolectores a la
estación de transferencia Álvaro Obregón

ANEXO IV

Proceso de llegadas (Distribución de Poisson)

ANEXO V

Estudio de tiempos de los tractocamiones de transferencia
a la estación de transferencia Álvaro Obregón

ANEXO VI

Análisis de Teoría de Colas (caso actual y caso propuesto)

BIBLIOGRAFIA

- Álvarez L., 1999.** El Servicio de limpia en la Ciudad de México. Gobierno del Distrito Federal.
- Arbonas, 1989.** Optimización Industrial (I): Distribución de los recursos. Colección Productiva No. 26. Marcombo S.A.
- Arbonas, 1989.** Optimización Industrial (II): Programación de recursos. Colección Productiva No. 29. Marcombo S.A.
- Aruelo A., 1983.** Selección y Diseño de unidades de residuos sólidos compactadoras y no compactadoras: manual de instrucciones. CEPIS, Lima.
- Bazúa Delgado G., 1998.** Línea de contenedores para residuos sólidos municipales. Fac. Arquitectura
- Buffa E., 1968.** Operations Management: Problems and Models. Edición Revolucionaria. La Habana.
- Cortinas C., 1996.** Manejo Integral de los residuos sólidos en México. SEMARNAP
- DDF, 1995.** Memoria del Foro sobre el Servicio de limpia y recolección de basura en el D.F.
- DGSU, 1996.** Estudio de factibilidad Técnico-Económica para la Implementación de una Estación de Transferencia en la Zona Sur-Oriente de la Ciudad de México. Ambiens Consultoría Integral S.A. De C.V.
- DGSU, 1998.** Registro de Operaciones de la Planta de Selección (Enero-Julio 1998), Dirección General de Servicios Urbanos, Gobierno del Distrito Federal. México.
- Escamirosa M., 1998.** Manejo de los residuos sólidos domiciliarios. Lorenzo. Universidad Autónoma de Chiapas.
- Escobar T., 2002.** Análisis Estratégicos: Teoría de decisiones, métodos multicriterio y Técnicas de prospectivas. Primera Edición virtual. E-libronet.marzo de 2002.
- Gálvez F., 1983.** Recolección de residuos sólidos: manual de instrucción. CEPIS, Lima.

Hernández Barrios L., 1993. Manejo de los residuos municipales en la zona metropolitana de la Ciudad de México. Fac. Ingeniería

INE-SEMARNAP, 1996. Manejo de Residuos Municipales en zonas marginadas.

INE-SEMARNAP-AMCRESPAC, 1996. Estaciones de Transferencia de Residuos Sólidos en áreas urbanas.

InfoHarvest, Inc. 1999. Criterium Decision Plus user's guide. Versión 3.0.

JICA, 1999. Estudio sobre el manejo de residuos sólidos para la Ciudad de México de los estados Unidos Mexicanos. Agencia de Cooperación Internacional del Japón.

Juárez Mendoza J., 2002. Centro de transferencia de residuos sólidos domésticos en la Delegación Coyoacán. Fac. de Arquitectura

Landreth R., 1996. Municipal Solid Wastes: problems and solutions. Boca Ratón.

Moskowitz H., 1991. Investigación de Operaciones. Prentice Hall Hispanoamericana S.A.

OPS, 1998. Organización Panamericana de la Salud. Diagnostico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América latina y el Caribe. Segunda Edición Washington D.C.

Saaty Thomas L., 1994. Fundamentals of Decision Making and priority theory, with The Analytic Hierarchy Process. Vol. VI. First Edition. University of Pittsburg. RWS Publications.

SOS, 2001. Manejo de residuos sólidos en la Ciudad de México. Secretaria de Obras y servicios. Dirección General de Servicios Urbanos. Dirección de Programación y Mejoramiento Urbano. México.

Shuster K., 1994. Heuristic routing for solid waste collection vehicles. Environmental Protection Agency.

Tchobanoglous G., 1993. Integrated Solid Waste Management Engineering. Principles and Management Issues. Mc. Graw Hill.

Vesilind P. Aarne, 1980. Unit Operations in Resource Recovery Engineering Prentice-Hall

