

DETERMINACION DEL NUMERO DE ESPACIOS EN UNA TERMINAL DE PASAJEROS

Instituto Mexicano del Transporte

Secretaría de Comunicaciones y Transportes

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

DETERMINACION DEL NUMERO DE ESPACIOS
EN UNA TERMINAL DE PASAJEROS

PUBLICACION TECNICA No. 14

Querétaro, Qro.

1990

DETERMINACION DEL NUMERO DE ESPACIOS EN UNA TERMINAL DE PASAJEROS

R E S U M E N

Dentro de este trabajo se realiza un análisis de los distintos procedimientos que resuelven el problema para determinar el número de espacios para autobús en una terminal. Los modelos estudiados fueron determinísticos, probabilísticos, teoría de colas y la simulación, llegando a la conclusión de que los modelos que parecen ser más adecuados son los probabilísticos y dentro de ellos el Modelo Binomial, por ser el caso general, se ajusta mejor a las condiciones de operación de las terminales nacionales.

Se realiza una explicación detallada del Análisis Binomial y se exponen tres ejemplos de aplicación para facilitar su comprensión.

Los autores son el Ing. Román Vázquez Berber y el M. en I. Sergio Alberto Damián Hernández, Coordinador e Investigador respectivamente de este Instituto Mexicano del Transporte.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Dirección General de Transporte Terrestre de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes su valioso apoyo con información referente a las terminales, a los alumnos de la Maestría en Ingeniería del Transporte de la Universidad Autónoma del Estado de México por el trabajo de campo realizado en el paradero para transporte suburbano "Adolfo López Mateos" de la ciudad de Cuernavaca, Morelos, a la Dirección General de Tránsito del Estado de Morelos por las facilidades otorgadas para el mismo estudio y a COVITUR cuyo trabajo, "Determinación del número de espacios para ascenso y descenso de pasajeros en el Paradero Indios Verdes", sirvió de referencia para el desarrollo de esta investigación.

DETERMINACION DEL NUMERO DE ESPACIOS
EN UNA TERMINAL DE PASAJEROS

I N D I C E

I.	INTRODUCCION Y ANTECEDENTES	1
II.	MARCO TEORICO	12
III.	ANALISIS BINOMIAL	18
IV.	EJEMPLOS DE APLICACION	23
V.	CONCLUSIONES	47
	REFERENCIAS	49
	BIBLIOGRAFIA	51

I. INTRODUCCION Y ANTECEDENTES.

Para que un sistema de transporte sea eficiente, es necesario que todos sus componentes también lo sean, dentro de éstos se encuentran los equipos, los procedimientos de operación, los sistemas de mantenimiento, las terminales, etc.

Este trabajo se enfoca al análisis de las terminales como un punto importante dentro de la prestación del servicio de transporte público de pasajeros.

Existen dos clases de terminales básicamente, la que alberga a los autobuses de transporte interurbano y la que lo hace con vehículos de transporte suburbano, aunque en muchas poblaciones una misma terminal tiene la doble función.

La terminal es el lugar de transferencia entre el transporte suburbano e interurbano con el urbano de cada ciudad.

"Las principales ventajas que deben proporcionar las terminales son las siguientes:

- a) Mejorar el Nivel de Servicio del transporte interurbano por carretera, dotando al pasajero de servicios y comodidades que son normales en el transporte por tren y aéreo.
- b) Eliminar de la vía pública la detención prolongada de autobuses y la aglomeración de pasajeros en condiciones inadecuadas.
- c) Facilitar el control del transporte y la información al usuario en cuanto a horarios y recorridos.

Por otra parte, la localización de la terminal es fundamental, ya que puede condicionar futuras soluciones viales y de transporte si no se tienen bien definidos los planes de transporte. Es evidente que la ubicación hace más rígido al transporte en autobús.

Los requerimientos que debe cumplir fundamentalmente la localización de una terminal para autobuses son:

- a) Buena conexión para los autobuses con las grandes arterias de acceso a la ciudad.
- b) Buena conexión para los usuarios con las zonas de origen o destino dentro de la ciudad a través de la red vial y los transportes públicos urbanos.
- c) Espacios suficientes para los autobuses, para los usuarios y para el público en general (estacionamientos y taxis).¹

La infraestructura de una terminal comprende dos importantes zonas a saber, la de servicios a los usuarios en donde se encuentran las salas de espera, cafeterías, comercios, bancos, taquillas, estacionamientos, taxis, etc., y la de servicios a los transportistas como son la de combustibles, reparaciones de emergencia, bomberos, zonas de intercambio de pasajeros, etc.

En México, para 1988, se encontraban operando 92 terminales centrales de pasajeros con un movimiento mensual de 32 millones de personas, lo que da por resultado que por año se movilicen alrededor de 384 millones de personas.

En la presente administración se pretende concluir 11 terminales que se encuentran en construcción y promover la construcción de otras 53. De no existir contratiempos, al final del sexenio podrán operar 156 terminales de pasajeros. El estudio se concentrará en la zona de intercambio de pasajeros, es decir, a los lugares donde se realiza el ascenso y/o descenso de usuarios al sistema. Ese lugar de intercambio se denomina como "espacio", aunque también es conocido como "cajón", "dársena", "posición de atraque", "bahía", etc.

Se agrega a la importancia que tienen las terminales de autobuses de pasajeros dentro del contexto nacional, que estas deben proporcionar una serie de ventajas a los usuarios y cumplir con ciertos requerimientos en cuanto a su ubicación.

Para poder diseñar esta zona de intercambio es necesario conocer el número de espacios que se requieren para una determinada operación; es decir el volumen de autobuses que confluirá a ella en el corto, mediano y largo plazos, así como el tiempo máximo de permanencia asignado a cada autobús.

En el caso de una terminal en operación, donde el número de espacios ya es fijo, lo recomendable es disminuir los tiempos de permanencia de cada autobús por cajón para poder atender el mayor número de autobuses posible. Si con los tiempos máximos de permanencia, el volumen de autobuses hace inoperante a la terminal, se estima necesario construir otra por resultar insuficiente la actual.

Para resolver el problema de las terminales, es importante atender:

- a) Para el diseño, determinar el número de espacios que serán requeridos por las distintas empresas de transporte interurbano de pasajeros en el corto, mediano y largo plazos, bajo condiciones de operación predeterminadas.
- b) Para la operación, determinar el tiempo de permanencia máxima que puede utilizar un autobús en un espacio, de tal manera que pueda la terminal dar servicio al volumen máximo que se presente con el número de espacios existentes.

Los datos necesarios para solucionar cualquiera de las dos situaciones (terminal nueva o terminal en operación) son: volumen de autobuses en la hora de máxima demanda, tiempo de permanencia promedio por autobús y número de espacios existentes.

Conociendo dos de ellos se podrá calcular el tercero, dependiendo de la naturaleza del problema a resolver.

Existen tres modelos para solucionar cada caso, el primero es determinístico, el segundo es probabilístico y un tercero es la simulación.

A) Solución determinística.

La solución determinística se basa en la experiencia de cada ciudad, de acuerdo a una cierta evolución del comportamiento de la terminal.

1.- Procedimiento Italiano.

En Italia la ecuación para calcular el número de espacios es:

$$N = 1 + \frac{a \cdot n}{b} \quad \text{----(1)}$$

Donde:

N = Número de espacios requeridos.

a = Coeficiente que depende del tipo de estación y que es igual a 0.03 en una terminal interurbano; 0.02 en una suburbana y de 0.01 en una estación de paso.

n = Número de salidas en 10 h.

b = Coeficiente de rendimiento = 0.5 (varía de 0.48 a 0.51).

Se establecen de 16 a 17 salidas diarias por espacio en estaciones interurbanas con un tiempo de permanencia mínimo de 20 minutos.²

2.- Procedimiento del Manual de Capacidad Vial de EUA (1985).

El Manual de Capacidad Vial de 1985³ establece con base en experiencias de operación, en relación con las capacidades típicas de los sistemas de transporte urbano y suburbano, que es recomendable utilizar valores de 8 a 10 autobús/h/espacio. Para capacidades de los espacios en ascenso para autobuses interurbanos, se recomiendan valores de 1 a 2 autobuses/hora/espacio.

Hace la aclaración de que las fórmulas usadas representan solamente una parte pequeña del tiempo total que los autobuses permanecen en una terminal, es posible que las ecuaciones sobrevalúen significativamente la capacidad de los espacios de ascenso, a menos que se consideren otros factores clave. Puede ser necesario agregar 5 minutos o más, a los tiempos calculados para el ascenso y descenso de pasajeros y para el despeje, en el caso de servicios urbanos.

3.- Procedimiento Español.

El Dr. Antonio Valdés⁴ establece que en estaciones suburbanas se llega a un rendimiento de 7 autobuses/hora/espacio y en algún caso hasta 11.5 autobuses/hora/espacio.

4.- Procedimiento del profesor Hay.

William Hay⁵ establece que el número de espacios para el servicio local es función de los pasajeros que se va a manejar, de los ritmos de carga y descarga y de la frecuencia y capacidad de los autobuses en servicio. El número de espacios N, que se requiere para un número dado de pasajeros por hora, J, viene a ser:

$$N = \frac{J (Bb + C)}{3,600 B} \quad \text{----(2)}$$

Donde:

J = Número de pasajeros/h que aborda en la estación.

B = Número de pasajeros/autobús que aborda durante los 10 ó 15 minutos máximos.

b = Tiempo para abordar, en segundos por pasajero.

C = Tiempo libre entre autobuses.

Para el caso interurbano solamente dice que debe haber espacios suficientes para dar cabida a todas las llegadas y salidas programadas a determinada hora.

Vuchic⁶ recomienda a la capacidad de las paradas y estaciones como factor para el cálculo de la capacidad del transporte público; establece que la capacidad de la estación gobierna a la capacidad de la ruta, en la mayoría de las veces.

Los modelos determinísticos se basan en fórmulas establecidas con base en la experiencia, obtenida ésta al conocer el comportamiento de distintas terminales en diversos lugares; requiere este conocimiento de un lapso considerable, ya que es necesario identificar qué características tiene la operación en cada una de las terminales y extrapolar al caso específico que se esté analizando.

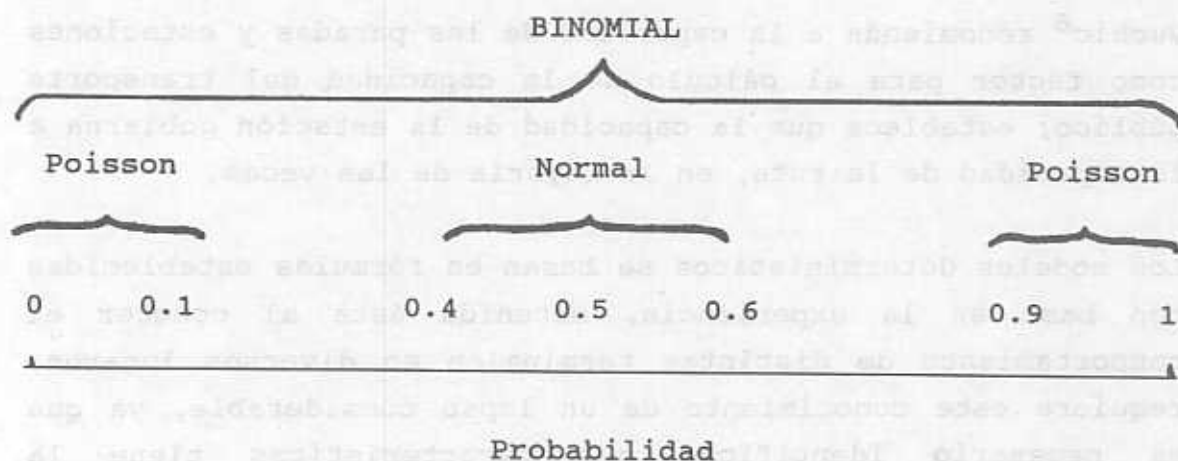
Como cada llegada de los autobuses es aleatoria, debido a que estos parten de diferentes orígenes con un mismo destino común, a las condiciones de tránsito de la ruta elegida y a las características personales de manejo del operador, se considera que los modelos probabilísticos pueden proporcionar mejores resultados en este caso.

B) Soluciones Probabilísticas.

Hay tres modelos probabilísticos que pueden ser empleados para el cálculo del número de espacios, del tiempo de permanencia y del número máximo de autobuses/hora que puede albergar una terminal. Estos son el Normal, el de Poisson y el Binomial.

En probabilidad se establece que el modelo Binomial es el caso general y el Normal y el de Poisson son casos particulares del primero.

Una representación gráfica para describir lo antes dicho, quedaría de la siguiente forma:



1.- Distribución Normal.

El modelo de distribución normal se aproxima al binomial, según Puy Huarte⁷ si $np > 5$ cuando $p < 0.5$ o $nq > 5$ cuando $p > 0.5$.

Donde "n" es el número de ensayos y "p" es la probabilidad de un éxito.

Otros autores establecen esta aproximación con un valor de "n" de aproximadamente 50 autobuses/hora y p (valor de la probabilidad) entre 0.4 y 0.6.

Taro Yamane⁸ establece que cuando "n" tiende a infinito, la distribución binomial es muy parecida a la normal.

2.- Distribución de Poisson.

La distribución de Poisson con respecto a la Binomial, se ha estudiado por diversos estadísticos, sin llegar a una plena conciliación de criterios.

Puy Huarte⁹ establece la distribución de Poisson como una aproximación de la Binomial cuando $n \geq 100$ y $p \leq 0.05$, en cambio Taro Yamane¹⁰ lo hace cuando $n \geq 20$ y $p \leq 0.25$, es decir con un valor de $np \leq 5$.

Por otro lado Mendenhall¹¹ establece la convergencia de estas distribuciones cuando n es grande y p es pequeño y $np < 7$, mientras que Lun Chou¹² da como regla práctica $n > 100$ y $p < 0.01$, e incluye si p es suficientemente pequeña pueden hacerse aproximaciones satisfactorias aún si n es tan pequeña como 10.

Como se aprecia no se puede establecer de una manera fija los límites de la convergencia, aunque parece razonable decir que con $n > 50$ y $p \leq 0.01$, el modelo de distribución de Poisson es una aproximación al Binomial.

3.- Distribución Binomial.

La distribución Binomial es el caso general y se discute en la siguiente sección con mayor amplitud, exponiendo las razones por las que se considera que debe aplicarse en el estudio del número de espacios en una terminal de autobuses de pasajeros.

C) Simulación.

La Simulación no es un modelo propiamente dicho, es un artificio numérico para experimentar el comportamiento de cualquier sistema en una computadora digital, a lo largo de la dimensión tiempo y es útil cuando se dificulta o imposibilita la resolución del modelo analítico o numérico requerido, en un determinado problema.

Esta herramienta es muy poderosa, pero tiene el inconveniente de que adicionalmente se debe dominar algún lenguaje computacional y de que en programas largos (mayores de 10,000 instrucciones) es muy difícil detectar algún error.

D) Teoría de Colas.

Con la idea de realizar un estudio completo se analizó, para este caso específico, el Modelo de Colas o Modelo de Líneas de Espera; este modelo requiere, para la solución del problema, de ecuaciones múltiples, con el inconveniente de ser el cálculo bastante laborioso.

La comparación de los modelos, se efectuó tomando en cuenta: sencillez de comprensión, facilidad de solución, tiempo de ejecución y requerimientos de información.

Las conclusiones finales son las siguientes:

- No existe solución sencilla, con fórmulas directas que involucren el volumen horario de autobuses, los tiempos de ascenso y/o descenso y el número de espacios.
- La teoría de Colas necesita para su aplicación que el operador domine fundamentos matemáticos, tales como la probabilidad, la estadística y el muestreo.

Como la solución por este método es complicada, su planteamiento es lento, siendo necesario utilizar los servicios de un programador o dominar a fondo un lenguaje computacional.

- En este sentido el Modelo Binomial resulta ser el más expedito.

En el Capítulo de Marco Teórico se describe con mayor profundidad el uso de este modelo probabilístico en su concepción matemática, planteando las bases de su aplicación.

La adaptación del Modelo Binomial al caso particular de una terminal se detalla en el Capítulo III, en el siguiente se exponen tres ejemplos de aplicación con el fin de ilustrar el procedimiento.

Al final se presentan las conclusiones y recomendaciones del uso y aplicación del procedimiento.

II.- MARCO TEORICO.

En esta sección se analiza el problema de la determinación del número de espacios en una terminal.

La llegada de los autobuses a la terminal es aleatoria: no se sabe con exactitud en qué momento llegará cada autobús, debido a que parten de distintos orígenes, a que las condiciones de circulación varían de una vialidad a otra, y además, de la forma particular de manejo de cada operador. El único dato confiable es el número de arribos de autobuses por hora.

Cuando un autobus llega a la terminal tiene dos opciones: una, que encuentre espacio disponible para alojarse u otra, que el espacio se encuentre ocupado y tenga que esperar un lapso para realizar el ascenso y/o descenso de pasajeros.

En el planteamiento existe reemplazo de autobuses, es decir, todos tienen la misma probabilidad de encontrar o no espacio disponible; cuando un autobús sale otro llega o va en camino, guardando la condición mencionada.

Por lo expuesto en la sección anterior, el modelo de Distribución Binomial es el más recomendable para resolver la determinación del número de espacios en una terminal; a continuación se inicia su tratamiento.

La Distribución Binomial es también conocida como Distribución de Bernoulli en honor del matemático suizo Jacob Bernoulli (1654 - 1705) que la dedujo.

Se denominan ensayos de Bernoulli a ensayos repetidos que tengan las características: (1) Hay sólo dos resultados posibles, y (2) las probabilidades de los resultados permanecen iguales en todos los ensayos.

La Distribución Binomial es pues, un conjunto de ensayos de Bernoulli, se emplea como densidad de probabilidades de variables aleatorias discretas asociadas a experimentos en los que sólo hay (o sólo importan) dos resultados posibles, uno de los cuales usualmente se denomina "éxito" y el otro "fracaso".¹³

En vista de que éstos representan los únicos eventos posibles y son mutuamente excluyentes, la suma de sus probabilidades "p", de éxitos y "q", de fracasos, es igual a la unidad, es decir:

$$p + q = 1 \quad \text{---- (3)}$$

Sean:

p = Probabilidad de éxito.

q = Probabilidad de fracaso.

n = Número de ensayos.

k = Número de éxitos.

Dado que $q = 1 - p$, se requieren para encontrar la posibilidad de "k" éxitos en "n" intentos de Bernoulli. Dicha probabilidad puede expresarse como: $B(k; n, p)$.¹⁴

En general, cuando se tienen "n" ensayos de Bernoulli con "k" éxitos, la probabilidad de los "k" éxitos es:

$$P(k) = \binom{n}{k} p^k q^{n-k} \quad \text{---- (4)}$$

Realizando la igualación correspondiente

$$B(k; n; p) = \binom{n}{k} p^k q^{n-k} \quad \text{---- (5)}$$

Donde:

$$\binom{n}{k} = \text{Coeficiente Binomial} = \frac{n!}{k! (n-k)!}$$

La expresión (5) se enuncia diciendo que: "la probabilidad de que se obtengan exactamente "k" número de éxitos, con "n" número de ensayos, para una probabilidad "p" de un éxito", la "B" se refiere a binomial.

El éxito se refiere exclusivamente a uno de los resultados esperados, dependiendo de la forma de plantear un problema, éxito puede ser que pase lo que se espera o, en su defecto, que no resulte lo esperado; de igual modo sucede con el fracaso.

Por ejemplo, la probabilidad de 3 éxitos en 5 ensayos donde $p = 0.7$, es igual a la probabilidad de $5 - 3 = 2$ éxitos en 5 ensayos donde $q = 1 - 0.7 = 0.3$. En general:

$$B(k; n; p) = B(n-k; n, 1-p) \quad \text{---- (6)}$$

La función de distribución acumulativa de una variable binomial como la de cualquier variable aleatoria discreta, da la probabilidad de obtener "x" éxitos o menos en "n" ensayos, con $x \leq n$, y se obtiene sumando las probabilidades individuales para todos los valores binomiales iguales o menores que "x". Es decir¹⁵:

$$\begin{aligned} B(k; n; p) &= P(k \leq x) \\ &= B(0; n, p) + B(1; n, p) + \dots + B(x; n, p) \\ &= \sum_{k=0}^x B(x; n, p) \quad \text{---- (7)} \end{aligned}$$

Por consecuencia, la probabilidad de obtener más de "x" éxitos en "n" ensayos es:

$$\begin{aligned} p(x < k) &= 1 - B(0; n, p) - B(1; n, p) - \dots - B(x; n, p) \\ &= 1 - \sum_{k=0}^x B(x; n, p) \quad \text{---- (8)} \end{aligned}$$

A la primera (7) de estas dos expresiones le llamaremos Nivel de Confianza y a la segunda Nivel de Significancia.

El modelo de probabilidad es simétrica cuando $p = 0.5$ y asimétrica en caso contrario. Cuando $p < 0.5$, es asimétrica a la derecha; cuando $p > 0.5$, es asimétrica a la izquierda. El intercambio de p y q en cualquier distribución binomial daría su imagen reflejada. La asimetría de una distribución binomial, cualquiera que sea el valor de p , se vuelve cada vez menos pronunciada al aumentar n .¹⁶ Algunas de estas propiedades son reveladas en la Figura 1.

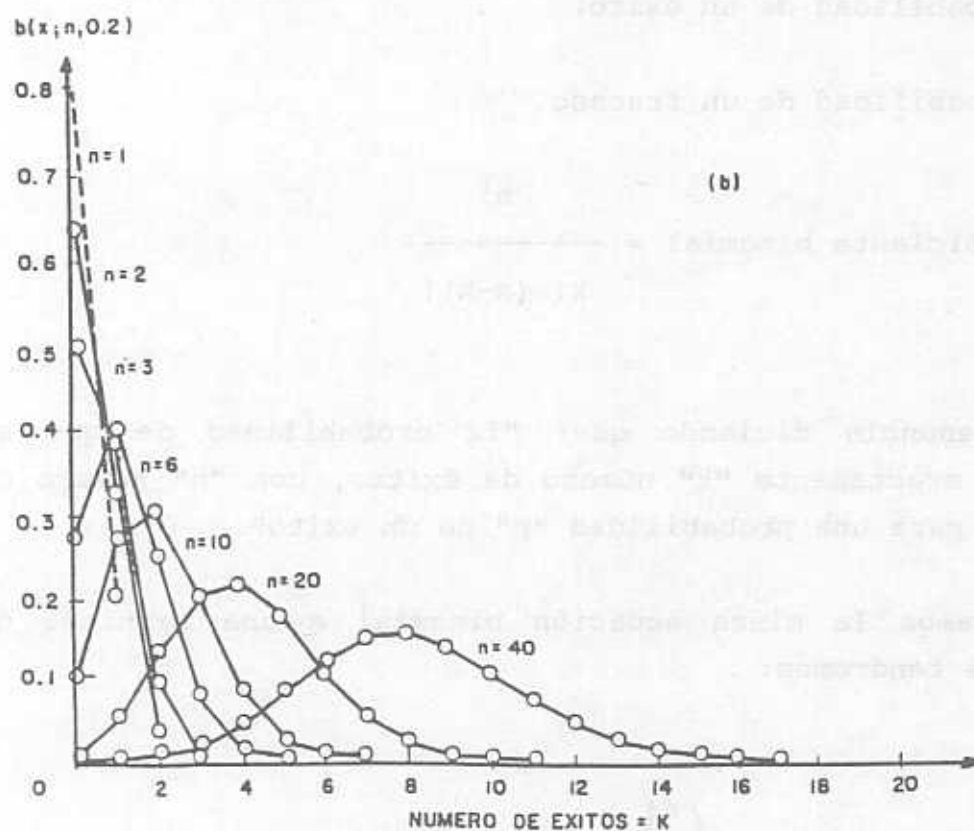
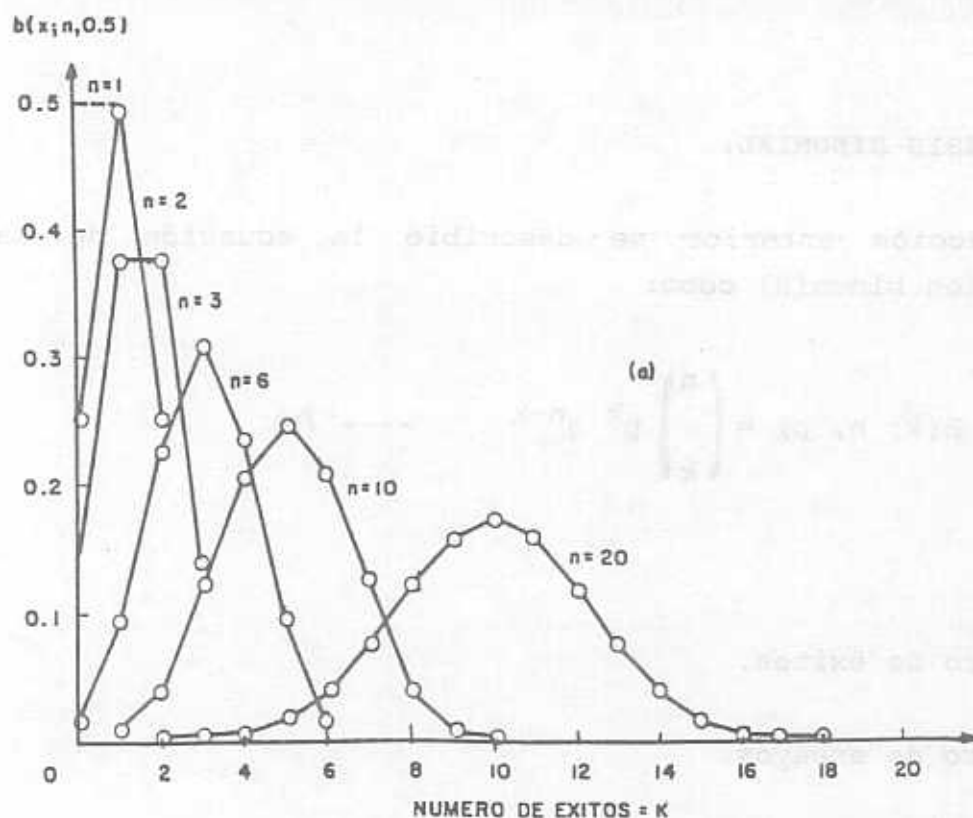


FIGURA 1:
DISTRIBUCIONES BINOMIALES (a) CON $p=0.5$ Y $n=1, 2, 3, 4, 10$ y 20
(b) CON $p=0.2$ Y $n=1, 2, 3, 6, 10, 20$ y 40

III. ANALISIS BINOMIAL.

En la sección anterior se describió la ecuación de la distribución binomial como:

$$B(x; n, p) = \binom{n}{k} p^k q^{n-k} \quad \text{---- (5)}$$

Donde:

k = Número de éxitos.

n = Número de ensayos.

p = Probabilidad de un éxito.

q = Probabilidad de un fracaso.

$$\binom{n}{k} = \text{Coeficiente binomial} = \frac{n!}{k! (n-k)!}$$

Que se enuncia diciendo que: "la probabilidad de que se obtengan exactamente " k " número de éxitos, con " n " número de ensayos, para una probabilidad " p " de un éxito".

Si aplicamos la misma ecuación binomial a una terminal de autobuses tendremos:

$$B(k; n; p) = \binom{n}{k} p^k q^{n-k} \quad \text{---- (9)}$$

Donde:

k = Número de espacios disponibles para ascenso y/o descenso.

n = Número de vehículos/hora que llegan a la terminal.

p = Probabilidad de ascenso y/o descenso.

Tiempo de ascenso y/o descenso (en minutos)

$p = \frac{\text{Tiempo de ascenso y/o descenso (en minutos)}}{60}$

60

$q = 1 - p$

Nota: El valor de 60 es el número de minutos en una hora, cuando el numerador está en minutos. Si el numerador está en segundos, entonces deberá ser 3,600, que es el número de segundos en una hora.

Para el caso de una terminal de autobuses, cuando un autobús se encuentra ubicado en un espacio para ascenso y/o descenso se considera un éxito, y un fracaso si no.

La información que se requiere para este análisis es el volumen horario de autobuses, el tiempo de ascenso y/o descenso y el número de espacios disponibles.

El Nivel de Confianza varía de acuerdo a las características de la vialidad que circunda la terminal. Si la terminal se encuentra en una zona donde sólo hay vialidades secundarias se puede tomar un 95% de nivel de confianza, pero si son arterias principales es conveniente que sea el 98%, para evitar que en un momento dado, las colas que se llegaran a formar invadiesen los carriles de circulación del resto del tránsito provocando congestionamientos innecesarios.

Los tiempos de ascenso y descenso varían de acuerdo al tipo de servicio que se preste, la tabla siguiente da una serie de valores de estos tiempos para las distintas condiciones de servicio.

Tabla 1.- Tiempo de ascenso y descenso de pasajeros en función de las condiciones de servicio.

CONDICIONES	TIEMPO EN SEG/PASAJERO
DESCENSO	
Escaso equipaje o paquetes	1.5 a 2.5
Cantidad moderada de equipaje a mano	2.5 a 4.0
Considerable equipaje en estanterías a bordo	4.0 a 6.0
ASCENSO *	
Abono previo a la entrada o salida del autobús	1.5 a 2.5
Tarifa de moneda única o ficha, con caja de caudales para su recolección	2.0 a 3.0
Tarifa para pago metálico, de varias monedas y pagada a bordo	3.0 a 4.0
Tarifa por zonas pagada previamente, cancelada a bordo	4.0 a 6.0
Tarifa múltiple por zona; en metálico; con cancelación a bordo	6.0 a 8.0

* Añádase un segundo cuando exista recibo por el abono de la tarifa.

NOTA: Se supone un solo canal de ascenso

FUENTE: Manual de Capacidad de Carreteras; Asociación Técnica de Carreteras, Comité Español de la A.I.P.C.R.; Madrid, 1987; p. 518.

Si el número de autobuses/hora es bajo y se observan problemas en la operación, se forman colas excesivas, fijando el número de autobuses y los espacios, se variará el tiempo de permanencia hasta llegar al nivel de confianza deseado.

Para aclarar las dudas de este Análisis Binomial en la siguiente sección se realizan ejemplos de aplicación prácticos mostrando los resultados a que se llegó.

IV. EJEMPLOS DE APLICACION.

EJEMPLO 1:

En una terminal de autobuses llegan 20 autobuses/hora entre las 9:00 y las 10:00 horas. Cada autobús permanece 6 minutos. Cualquier autobús puede llegar en cualquier momento, dentro de la hora señalada. La pregunta es: ¿ Cuántos espacios se deberán proporcionar para estar seguros, con un 95% de nivel de confianza, que los autobuses no tendrán que esperar por un espacio para el intercambio de personas?

Si un autobús pasa a realizar el intercambio de pasajeros en un espacio en un momento dado, esto puede ser considerado como un éxito. Por lo tanto, la solución se obtiene considerando un conjunto de 20 ensayos de Bernoulli, con probabilidad p .

$$p = \frac{\text{minutos empleados para el intercambio}}{\text{minutos en una hora}}$$

$$p = \frac{6}{60} = \frac{1}{10}$$

$$q = \frac{1}{10} = \frac{9}{10}$$

Entonces:

$$B(k; 20, 1/10)$$

Es la probabilidad de que exactamente k autobuses realicen el intercambio en ese momento.

Si x es el número de camiones que llegan $P(x \leq k) > 0.95$

CALCULO DE LA PROBABILIDAD BINOMIAL $B(k; n; p)$

1. Para $k = 0$

$$B(0; 20, \frac{9}{10}) = \binom{20}{0} \left(\frac{9}{10}\right)^{20-0} \left(\frac{1}{10}\right)^0$$

$$= \frac{20!}{0! (20-0)!} \times 1 \times \left(\frac{9}{10}\right)^{20}$$

$$= \left(\frac{9}{10}\right)^{20} \times 1 \times \left(\frac{1}{10}\right)^0 = \left(\frac{9}{10}\right)^{20}$$

$$B(0; 20, \frac{9}{10}) = \frac{1}{10} = 0.1216$$

2. Para $k = 1$

$$B(1; 20, \frac{9}{10}) = \binom{20}{1} \left(\frac{9}{10}\right)^{20-1} \left(\frac{1}{10}\right)^1$$

$$= \frac{20!}{1! (20-1)!} \times \left(\frac{1}{10}\right) \times \left(\frac{9}{10}\right)^{19}$$

$$= \frac{20!}{19!} \times \left(\frac{1}{10}\right) \times \left(\frac{9}{10}\right)^{19} = 2 \times \left(\frac{9}{10}\right)^{19}$$

$$B(1;20, \frac{1}{10}) = \underline{0.2701}$$

Se continúa con el mismo procedimiento para los distintos valores de k, los resultados son:

$$\text{Para } k = 2 \quad B = 0.2851$$

$$\text{Para } k = 3 \quad B = 0.1901$$

$$\text{Para } k = 4 \quad B = 0.0898$$

Paralelamente es necesario elaborar una tabla en donde se calcule el Nivel de Confianza que se alcance al adicionar cada cajón, para este ejemplo queda como sigue:

k	$B(k; 20, \frac{1}{10})$	$\sum_{k=0}^n B$
0	0.1216	0.1216
1	0.2701	0.3917
2	0.2851	0.6768
3	0.1901	0.8669
4	0.0898	0.9567

Con un 95.67% de nivel de confianza y con 4 espacios será suficiente para recibir a 20 autobuses/hora entre las 9:00 y las 10:00 horas.

A estos tiempos de ascenso y descenso es necesario agregarles una cantidad adicional, producida por las maniobras de acomodo y despeje del espacio, para que pueda volver a utilizarse.

Para el caso de diseño, los datos de entrada son los autobuses/hora y el tiempo de ascenso y/o descenso y la variable dependiente es el número de espacios.

En este caso se inicia el análisis binomial con $k = 0$, es decir, para el caso en que no exista espacio alguno, calculándose el valor de B , a este valor de B con $k = 0$ se le añaden los demás valores de B con $k = 1, 2, 3, \dots$, hasta llegar al nivel de confianza que se desea, siendo el último valor de k el número de espacios requeridos para la cantidad de autobuses/hora y tiempo de ascenso y/o descenso previamente calculados.

El número de autobuses/hora debe calcularse en el corto, mediano y largo plazos, para poder adquirir los terrenos necesarios para las ampliaciones de la terminal en los distintos períodos de tiempo, incluso se deben considerar diferentes tendencias de crecimiento de la flota vehicular para quedar en condiciones de resolver problemas debidos a un incremento elevado del número de autobuses.

Para el caso de la operación, se mantendrá constante el número de espacios existentes; se podrá realizar hasta llegar al nivel de confianza buscado y con ello establecer el volumen horario máximo de autobuses que puede albergar la terminal. Esto puede llevar a plantear la necesidad de una ampliación de la misma o la construcción de otra, que cumpla con los requerimientos para el corto, mediano y largo plazos.

EJEMPLO 2:

Con motivo de la construcción de la estación terminal del Metro, denominada "Indios Verdes", en el extremo norte de la Línea 3, se planteó la necesidad de construir un paradero para el transporte suburbano.

Para ello, se recopiló información relativa a las empresas que proporcionan el servicio suburbano en esa zona, así como el tiempo empleado en ascenso y descenso y el número de unidades que llegan en diversas horas del día y en espacial a la hora de máxima demanda.

Mediante mediciones en el lugar se determinó un valor de 65 segundos para el descenso y 7 minutos 10 segundos para el ascenso. El número de autobuses/hora fue de 490 para la hora de máxima demanda.

Las probabilidades para ascenso y descenso son:

$$p_d = \frac{65}{3,600} = 0.0018 \text{ (para descenso)}$$

$$p_a = \frac{7 \text{ min. } 10 \text{ seg.}}{3,600} = \frac{430}{3,600} = 0.119 \text{ (para ascenso)}$$

Se utilizará para el cálculo un $p_a = 0.12$

Entonces:

$B_d (k; 490, 0.018)$ para descenso

$B_a (k; 490, 0.12)$ para ascenso

Si existe la misma probabilidad de que un autobús suburbano llegue en cualquier momento de la hora de máxima demanda, se determinará en dos fases, una para el descenso y otra para el ascenso, el número de espacios necesarios. Para realizar la maniobra de ascenso se determinó con un nivel de confianza del 95% y para el descenso con un nivel de confianza del 98% con objeto de tener una probabilidad menor de colas que puedan interferir la vialidad aledaña (en este caso la Av. de los Insurgentes Norte).

La relación de las empresas de autobuses suburbanos que llegan al paradero de "Indios Verdes", con la flota vehicular de cada una se describe en la Tabla 2.

Siguiendo el mismo procedimiento que en el ejemplo anterior los resultados que se obtienen son:

Para el descenso ($p = 0.018$)

$k = 15$ espacios con un nivel de confianza del 98.22%

Para el ascenso ($p = 0.12$)

$k = 71$ espacios con un nivel de confianza del 96.84%

Tabla 2. Relación de Empresas de autobuses suburbanos que llegarán al Paradero de "Indios Verdes".

EMPRESA	VOLUMEN HORARIO n_1 = autobuses/h
1. México - Teotihuacán	14
2. Cometa de Oro	21
3. Autotransportes Victoria	14
4. Autobuses Chipiltepec	7
5. México - Tizayuca y Anexas (cuatro empresas)	28
6. México - Tizayuca - San Bartolo	7
7. Autobuses Vía Morelos San Pablo	14
8. Autobuses México - Tultepec	56
9. Soc. Coop. Gustavo A. Madero	56
10. México - San Pedro - Sta. Clara km 20	119
11. Transportes Ecatepec	63
12. Basílica - Tlalnepantla	84
13. México - Zumpango Apasco	7

$$m = m_1 = 490 \text{ autobús/h}$$

FUENTE: Datos proporcionados por la Oficina de Transportes de COVITUR y obtenidos en noviembre de 1978.

Además se consideraron tres hipótesis de crecimiento, una baja del 5%, una media del 7.5% y una alta del 10% anual.

Los resultados se presentan en las Tablas 3 a 5-A.

Con base en un incremento del 7.5% anual se distribuyó el número de espacios por empresa, tales valores se presentan en las Tablas 6 y 6-A.

HIPOTESIS A

Tabla 3.- ESPACIOS PARA DESCENSO EN EL PARADERO DE "INDIOS VERDES"

$\gamma = 5 \%$

A Ñ O	VOLUMEN HORARIO $n = (\text{autobuses}/h)$	PROBABILIDAD (P_d)	ESPACIOS	NIVEL DE CONFIANZA (en %)
1978	490 NOV.	0.018	15	98.22
1980	540 NOV.	0.018	16	97.96
1982	596 NOV.	0.018	18	98.67
1984	657 NOV.	0.018	19	98.23
1986	724 NOV.	0.018	21	98.64
1988	798 NOV.	0.018	23	98.84
1990	880 NOV.	0.018	24	98.09

NOTA: El cálculo de espacios está con base en un análisis binomial y con una tasa de crecimiento anual del 5% para los autobuses suburbanos

HIPOTESIS A

TABLA 3-A.- ESPACIOS PARA ASCENSO EN EL PARADERO "INDIOS VERDES"

(Autobuses suburbanos)

$i = 5\%$

AÑO	VOLUMEN HORARIO $n = (\text{autobuses}/h)$	PROBABILIDAD (P_a)	ESPACIOS	NIVEL DE CONFIANZA (en %)
1978	490 NOV.	0.12	71	95.84
1980	540 NOV.	0.12	77	95.10
1982	596 NOV.	0.12	85	95.83
1984	657 NOV.	0.12	93	95.83
1986	724 NOV.	0.12	101	95.04
1988	798 NOV.	0.12	111	95.84
1990	880 NOV.	0.12	122	95.80

NOTA: El cálculo de espacios está con base en un análisis binomial y con una tasa de crecimiento anual del 5% para los autobuses suburbanos.

TABLA 4.- ESPACIOS PARA DESCENSO EN EL PARADERO DE "INDIOS VERDES"
HIPOTESIS C

(Autobuses suburbanos)

$$i = 7.5\%$$

AÑO	VOLUMEN HORARIO $n = (\text{autobuses/h})$	PROBABILIDAD (P_d)	ESPACIOS	NIVEL DE CONFIANZA (en %)
1978	490 NOV.	0.018	15	98.22
1980	566 NOV.	0.018	17	98.40
1982	654 NOV.	0.018	19	98.31
1984	756 NOV.	0.018	22	98.83
1986	874 NOV.	0.018	24	98.22
1988	1010 NOV.	0.018	27	98.16
1990	1167 NOV.	0.018	31	98.55

NOTA: El cálculo de espacios está con base en un análisis binomial y con una tasa de crecimiento anual del 7.5% para los autobuses suburbanos.

HIPOTESIS C

TABLA 4-A.- ESPACIOS PARA ASCENSO EN EL PARADERO DE "INDIOS VERDES"

$i = 7.5\%$

AÑO	VOLUMEN HORARIO $n = (\text{autobuses}/h)$	PROBABILIDAD (P_a)	ESPACIOS	NIVEL DE CONFIANZA (en %)
1978	490 NOV.	0.12	71	95.84
1980	566 NOV.	0.12	81	95.78
1982	654 NOV.	0.12	92	95.17
1984	756 NOV.	0.12	106	95.90
1986	874 NOV.	0.12	121	95.60
1988	1010 NOV.	0.12	139	95.97
1990	1167 NOV.	0.12	159	95.83

NOTA: El cálculo de espacios está con base en un análisis binomial y con una tasa de crecimiento anual del 7.5% para los autobuses suburbanos

TABLA 5.- ESPACIOS PARA DESCENSO EN EL PARADERO DE "INDIOS VERDES" **HIPOTESIS B**
(Autobuses suburbanos)

$i = 10\%$

AÑO	VOLUMEN HORARIO $n = (\text{autobuses/h})$	PROBABILIDAD (P_d)	ESPACIOS	NIVEL DE CONFIANZA (en %)
1978	490 NOV.	0.018	15	98.22
1980	593 NOV.	0.018	18	98.73
1982	717 NOV.	0.018	21	98.77
1984	868 NOV.	0.018	24	98.35
1986	1050 NOV.	0.018	28	98.25
1988	1271 NOV.	0.018	33	98.34
1990	1538 NOV.	0.018	39	98.46

NOTA: El cálculo de espacios está con base en un análisis binomial y con una tasa de crecimiento anual del 10% para los autobuses suburbanos

TABLA 5-A.- ESPACIOS PARA ASCENSO EN EL PARADERO DE "INDIOS VERDES"

(Autobuses suburbanos)

 $i = 10\%$

AÑO	VOLUMEN HORARIO $n =$ (autobuses/h)	PROBABILIDAD (P_a)	ESPACIOS	NIVEL DE CONFIANZA (en %)
1978	490 NOV.	0.12	71	95.84
1980	593 NOV.	0.12	84	95.14
1982	717 NOV.	0.12	101	95.98
1984	868 NOV.	0.12	120	95.39
1986	1050 NOV.	0.12	144	95.85
1988	1271 NOV.	0.12	172	95.59
1990	1538 NOV.	0.12	206	95.57

NOTA: El cálculo de espacios está con base en un análisis binomial y con una tasa de crecimiento anual del 10% para los autobuses suburbanos.

TABLA 6.- NÚMERO DE ESPACIOS PARA DESCENSO POR EMPRESA EN DIFERENTES AÑOS.

E M P R E S A	ESPACIOS PARA EL AÑO (b)									
	1978	1980	1981	1982	1984	1986	1988	1990		
1. México-Teotihuacán	0.43	0.49	0.51	0.54	0.63	0.69	0.77	0.89		
2. Cometa de Oro	0.64	0.73	0.77	0.81	0.94	1.03	1.16	1.33		
3. Autotransportes Victoria	0.43	0.49	0.51	0.54	0.63	0.69	0.77	0.89		
4. Autobuses Chipiltepec	0.22	0.24	0.26	0.27	0.31	0.34	0.39	0.44		
5. México Tizayuca y Anexas (4 empresas)	0.85	0.97	1.03	1.09	1.26	1.37	1.54	1.77		
6. México Tizayuca San Bartolo	0.22	0.24	0.26	0.27	0.31	0.34	0.39	0.44		
7. Autobuses Vía Morelos-San Pablo	0.43	0.49	0.51	0.54	0.63	0.69	0.77	0.89		
8. Autobuses México-Tultepec	1.71	1.94	2.06	2.18	2.52	2.74	3.08	3.54		
9. Soc. Coop. Gustavo A. Madero	1.71	1.94	2.06	2.18	2.52	2.74	3.08	3.54		
10. México San Pedro Santa Clara-km. 20	3.64	4.13	4.37	4.61	5.34	5.83	6.56	7.53		
11. Transportes Ecatepec	1.93	2.19	2.31	2.44	2.83	3.09	3.47	3.99		
12. Basílica Tlalnepantla	2.57	2.91	3.09	3.26	3.77	4.11	4.63	5.31		
13. México Zumpango Apasco	0.22	0.24	0.26	0.27	0.31	0.34	0.39	0.44		
TOTAL DE ESPACIOS	15	17	18	19	22	24	27	31		

a) Los volúmenes futuros fueron calculados con una tasa de incremento anual de $i = 7.5\%$

b) Se dejaron en valor decimal los espacios para indicar que pueden hacerse combinaciones y ocupar un espacio más de una empresa.

TABLA 6-A.- NÚMERO DE ESPACIOS PARA ASCENSO POR EMPRESA EN DIFERENTES AÑOS

E M P R E S A	ESPACIOS PARA EL AÑO (b)							
	1978	1980	1981	1982	1984	1986	1988	1990
1. México-Teotihuacán	2	2	2	3	3	3	4	5
2. Cometa de Oro	3	4	4	4	5	5	6	7
3. Autotransportes Victoria	2	2	2	3	3	3	4	5
4. Autobuses Chipiltepec	1	1	1	1	1	2	2	2
5. México-Tizayuca y Anexas (4 empresas)	4	5	5	6	6	7	8	9
6. México-Tizayuca-San Bartolo	1	1	1	1	1	2	2	2
7. Autobuses Vía Morelos-San Pablo	2	2	2	3	3	3	4	5
8. Autobuses México-Tultepec	8	9	10	10	12	14	16	18
9. Soc. Coop. Gustavo A. Madero	8	9	10	10	12	14	16	18
10. México-San Pedro-Sta. Clara Km. 20	18	20	22	22	26	29	33	39
11. Transportes Ecatepec	9	11	11	12	14	16	18	20
12. Basílica Tlalnepantla	12	14	15	16	19	21	24	27
13. México-Zumpango Apasco	1	1	1	1	1	2	2	2
	71	81	86	92	106	121	139	159

NOTA: El prorrateo por empresas tiene como base un análisis binomial de llegadas al paradero y con base a un $i = 7.5\%$

EJEMPLO 3:

En este ejemplo tomaremos como referencia el Paradero "Adolfo López Matéos" ubicado dentro del primer cuadro de la Ciudad de Cuernavaca, Morelos. Los datos que se presentan fueron tomados al inicio del mes de febrero de 1989.

En la Tabla 7 se muestran las características operativas del paradero con las rutas observadas y los tiempos de ascenso y descenso registrados.

En esas fechas el paradero constaba de 21 espacios para autobuses estándar, 5 espacios para taxi-van y 20 para taxis. Dado que el paradero se encuentra rodeado por vialidades importantes, se tomó la decisión de adoptar un nivel de confianza del 98% y el tiempo de permanencia promedio resultó ser de 11.71 min.

Utilizando el Análisis Binomial arroja los siguientes resultados, bajo condiciones actuales de operación: 21 espacios para autobuses da un nivel de confianza del 95.35% y 5 espacios para taxi-van, un nivel de confianza del 98.94%.

Como se puede apreciar, el nivel de confianza para los autobuses es menor que el adoptado, por lo que se requiere de algún tipo de modificación para que se cumpla con las necesidades presentes y futuras.

Un análisis sobre la operación da como resultado varios aspectos que se tienen que modificar, el más importante se refiere al tiempo de permanencia promedio de los autobuses; en condiciones de buena operación, se tiene calculado que el tiempo de ascenso y descenso de pasajeros de un autobús a toda su capacidad es de aproximadamente 8 minutos que comparados con los 11.71 minutos que se observan es menor.

AÑO	NUMERO DE TAXI-VAN	PROBABILIDAD	ESPACIOS	NIVEL DE CONFIANZA
1989	17	0.118	5	98.94
1990	18	0.118	5	98.57
1991	19	0.118	5	98.12
1992	20	0.118	6	99.39
1993	21	0.118	6	99.17
1994	22	0.118	6	98.91
1995	23	0.118	6	98.59
1996	24	0.118	6	98.20
1997	25	0.118	7	99.36
1998	26	0.118	7	99.17
1999	27	0.118	7	98.67

Se puede concluir que modificando los tiempos de permanencia y las condiciones geométricas se tiene solucionada la necesidad de espacios hasta el año 2000 aproximadamente, sin que la inversión resulte elevada, teniendo que tomar en consideración la necesidad de crear otro paradero después del año 2000.

Es necesario vigilar el cumplimiento de los tiempos de permanencia de las unidades dentro del paradero, ya que cualquier alteración de los mismos incide en el número de espacios requeridos para una operación aceptable.

En las figuras 2 y 3 se muestran las gráficas de las distintas ecuaciones resultados de un análisis de regresión en donde se relacionan al volumen y a los autobuses/hora/cajón y el número de cajones en cada caso.

TABLA 7.- CARACTERISTICAS OPERATIVAS DEL PARADERO "ADOLFO LOPEZ MATEOS"

RAZON SOCIAL	NUMERO DE AUTOBUSES OBSERVADO	TIEMPO DE PERMANENCIA (SEG)	TIEMPO DE ASCENSO (SEG)	TIEMPO DE DESCENSO (SEG)	TIEMPO MUERTO (SEG)
DORADOS DEL SUR	2	281.4	82.67	9.60	189.20
CHAPULTEPEC	18	235.2	44.65	12.83	179.53
EMILIANO ZAPATA	10	319.2	111.06	22.47	185.93
ESTRELLA ROJA	1	2026.2	73.75	47.43	1905.29
OMNIBUS DE MORELOS	21	579.6	96.44	21.71	461.82
OMETOCHTLI (AUT.)	20	1300.8	-----	33.71	1267.50
OMETOCHTLI (MINI.)	17	425.4	60.58	18.27	346.33
MARIANO MATAMOROS	7	214.2	74.67	4.50	135.00

TOTAL DE AUTOBUSES: 79
TOTAL DE MICROBUSES: 17

TIEMPO DE PERMANENCIA PROMEDIO DE AUTOBUSES: 709.1 SEG.
TIEMPO DE PERMANENCIA PROMEDIO MICROBUSES: 425.4 SEG.

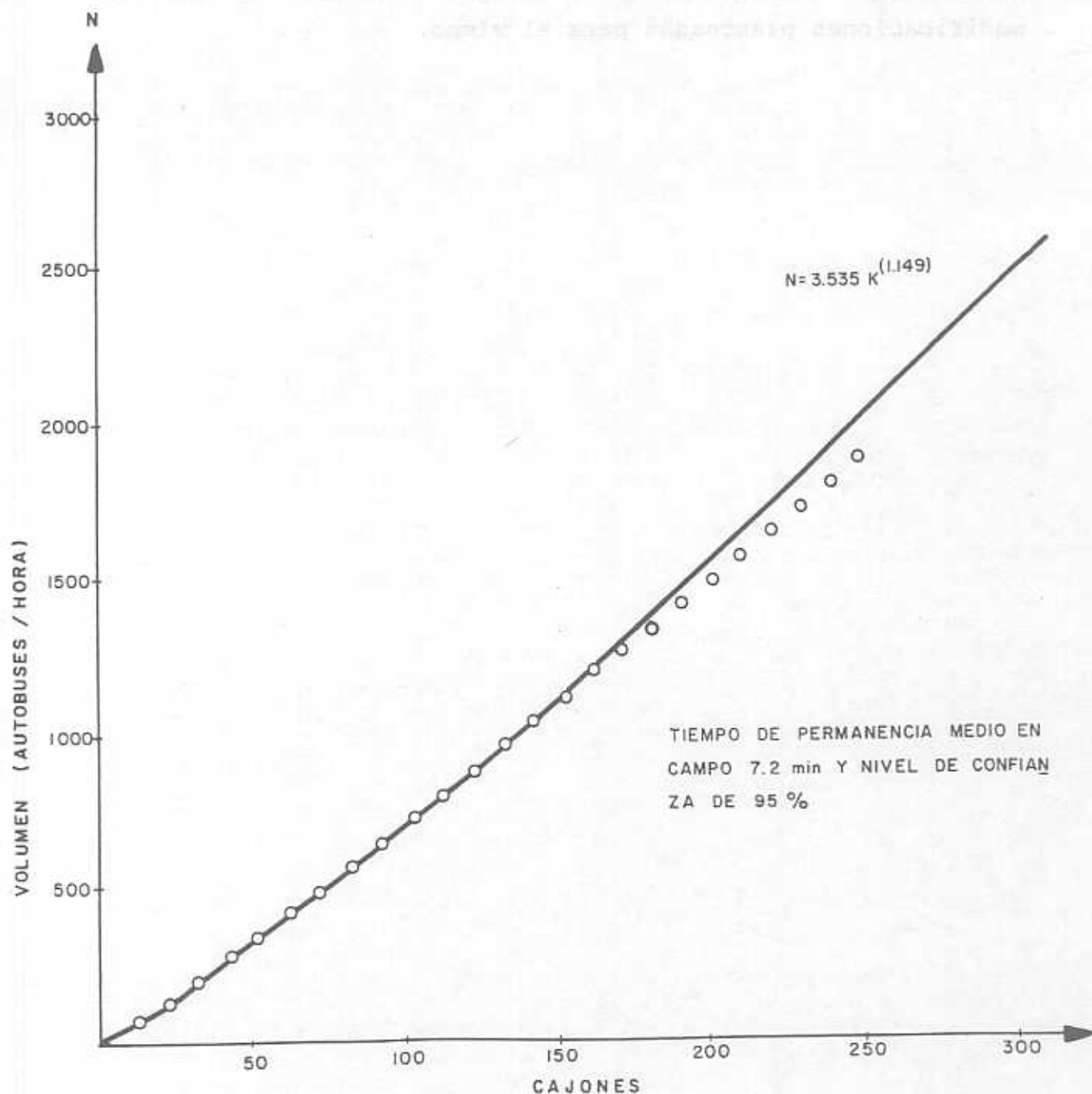


FIGURA 3:
CURVA VOLUMEN (AUTOBUSES / HORA) — CAJONES DEL PARADERO "ADOLFO LOPEZ MATEOS" EN CUERNAVACA, MORELOS.

En las Figuras 4 y 5 se muestran los croquis de la situación actual del paradero "Adolfo López Matéos", y de las modificaciones planteadas para el mismo.

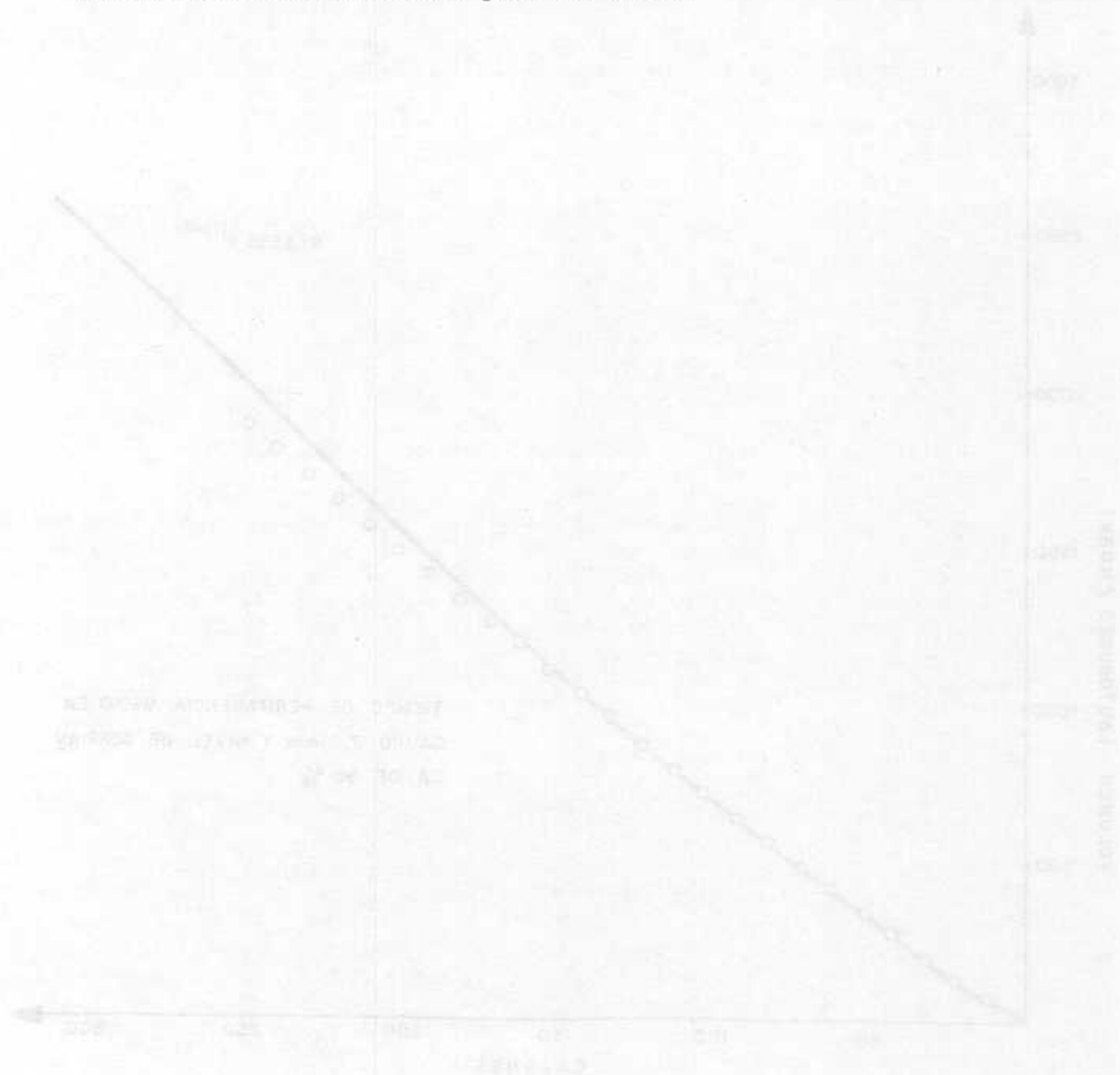


FIGURA 5:
CURVA VOLUMEN (AUTORRETRATO) - VALORES DEL PARADERO "LOPEZ MATÉOS" EN CUERNAVACA, MORELOS.



MERCADO

8.60

3.00

10.10

3.00

9.87

3.00

7.30

84.35

82.20

79.70

ESTACIONAMIENTO

Acotaciones en metros

AV. A. LOPEZ MATEOS

FIGURA 4:
PARADERO "ADOLFO LOPEZ MATEOS" CUERNAVACA, MORELOS
SITUACION ACTUAL

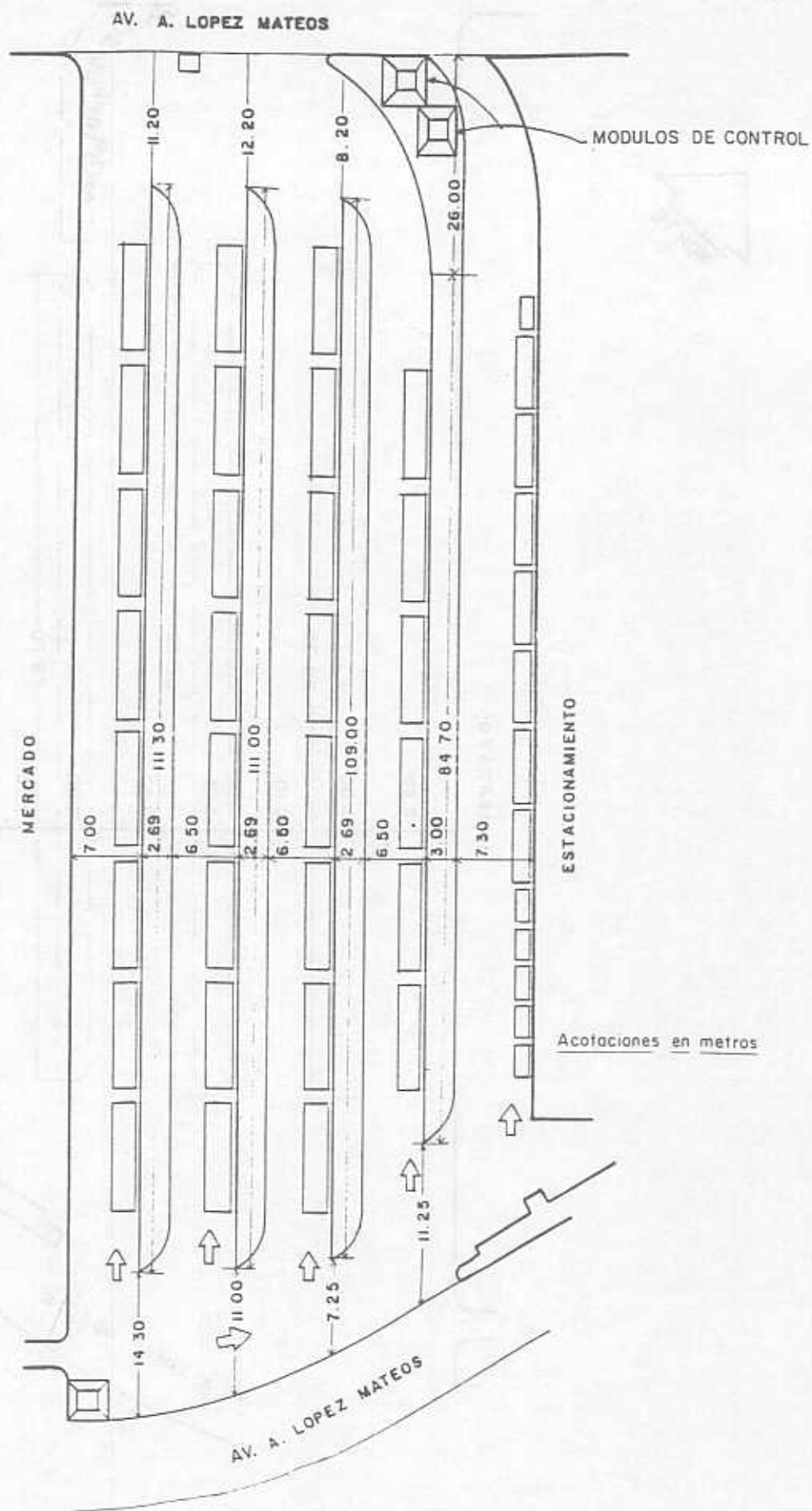


FIGURA 5:
PARADERO "ADOLFO LOPEZ MATEOS." CUERNAVACA, MORELOS
CROQUIS DE MODIFICACIONES

CONCLUSIONES.

A través del presente trabajo se analizaron diferentes caminos para determinar el número de espacios en una terminal de autobuses de pasajeros.

Los modelos revisados fueron probabilísticos, determinísticos en base a la Teoría de Colas o Líneas de Espera y la simulación, todos ellos tomados como herramientas que pudiesen servir de uso cotidiano, sin que esto obligara a los encargados del diseño y operación de las terminales a especializarse en algún área matemática.

Dadas las características del problema, se puede fundamentar que la solución debe realizarse por un método probabilístico, quedando eliminados en primera instancia los determinísticos.

La Teoría de Colas o Líneas de Espera, aunque puede determinar el número de espacios, la forma de cálculo es bastante laboriosa, ya que tendría que utilizarse la solución de ecuaciones múltiples, resultando poco práctico para llevarlo a cabo en nuestro medio.

La simulación como herramienta de apoyo es muy poderosa, pero la información que se requiere es mayor a la del Análisis Binomial, ya que es necesario conocer el número de autobuses que llegan a través del día para tomarlos como datos e ir probando espacio por espacio para analizar el comportamiento operativo.

Un problema adicional que tiene la simulación es que requiere de un elevado tiempo de máquina para poder llegar a la solución idónea y que la persona encargada de este proceso, debe estar lo suficientemente compenetrada en la operación para poder determinar que tipo de operación es aceptable.

Por todo esto se concluye que el método para el cálculo del número de espacios en una terminal en el estado del conocimiento actual, debe ser probabilístico, dentro de este rango existen tres tipos a saber: el Binomial, el Normal y el de Poisson.

Como fue explicado al inicio de este trabajo los modelos Normal y de Poisson son casos particulares del Binomial y tomando en cuenta los rangos en que son aplicables se decidió adoptar el Modelo Binomial ya que cubre los rangos que son más comunes en la realidad.

En la parte de los ejemplos de aplicación se pudo constatar la sencillez del Análisis Binomial para la determinación del número de espacios en una terminal de pasajeros, evidentemente, cuando el número de espacios es elevado el poder realizar este análisis resulta bastante laborioso, es por ello necesario un programa de microcomputadora para este análisis, lo suficientemente claro y sencillo para que el encargado de la determinación del número de espacios lo realice sin problema alguno.

REFERENCIAS.

1. Valdes Antonio; INGENIERIA DE TRAFICO; Dossat S.A.; Madrid 1971, pp. 851 y 852.
2. Ibid. p. 853.
3. Transportation Research Board; HIGHWAY CAPACITY MANUAL, SPECIAL REPORT 209; T.R.B.; Washington, 1985, pp. 12-29 y 12-30.
4. Ibid. (2).
5. Hay William W.; INGENIERIA DE TRANSPORTE; Limusa; México, 1983, p. 462.
6. Vuchic Vucan R.; URBAN PUBLIC TRANSPORTATION SYSTEMS AND TECHNOLOGY, Prentice Hall, Inc.; New Jersey, 1981, p.254.
7. Puy Huarte J.; METODOS ESTADISTICOS EN INGENIERIA DE TRANSITO; Representaciones y Servicios de Ingeniería; México, 1975, p. 48.
8. Yamane Taro; ESTADISTICA; 3a Edición; Harla; México, 1974, p. 372.
9. Ibid (7).
10. Ibid (8).
11. Mendenhall, Sheaffer y Wackerly; ESTADISTICA MATEMATICA CON APLICACIONES; Grupo Editorial Iberoamérica; México, 1986, p. 93.

12. Lun Chou Ya; ANALISIS ESTADISTICO; Interamericana; México 1977, pp. 153 -156.
13. Rascón Chávez A.; FUNDAMENTO DE LA TEORIA DE LAS PROBABILIDADES, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., México, 1974,, p. 94.
14. Ibid (7) p. 25.
15. Ibid (12) pp. 154 - 155.
16. Ibid (12) p. 156.

BIBLIOGRAFIA.

HAY William W; Ingeniería de Transporte; Limusa, México, 1983

INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS; Transportation and Traffic Engineering Handbook; Prentice Hall, 2a Ed.; U.S.A., 1982.

LUN CHOU YA; Análisis Estadístico, Interamericana; México, 1977.

MENDENHALL, SHEAFFER Y WACKERLY; Estadística Matemática con Aplicaciones; Grupo Editorial Iberoamérica; México, 1986.

PUY Huarte José; Métodos Estadísticos en Ingeniería de Tránsito; Representaciones y Servicios de Ingeniería; México, 1975.

RASCON Chávez A.; Fundamento de la Teoría de las Probabilidades; División de Estudios de Posgrado, facultad de Ingeniería UNAM; México, 1974.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD; Highway Capacity Manual, Special Report 209; T.R.B.; Washington, 1985.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION; Urban Transportation Operating Training - Design of Urban Streets, Student Book; Federal Highway Administration.

VALDES Antonio; Ingeniería de Tráfico; Dossat, S.A.; Madrid, 1971.

VAZQUEZ Berber Román; Determinación del número de espacios para ascenso y descenso de pasajeros en el paradero "Indios Verdes"; Comisión de Vialidad y Transporte Urbano; México, 1979, no publicado.

VUCHIC Vucan R.; Urban Public Transportation Systems and Technology; Prentice Hall; New Jersey, 1981.

YAMANE Taro; Estadística; Harla, 3a ED.; México, 1974.

CIUDAD DE MEXICO

Av. Popocatepetl 506 B
Xoco-Benito Juárez
03330 México, D.F.
Tels. 688 76 29
688 76 03
Fax 688 76 08

QUERETARO

Juárez Sur 1 primer piso
Centro
76000 Querétaro, Qro.
Tels. (42) 14 00 45
(42) 14 02 56

SAN FANDILA

Km 4 + 000, Carretera
Querétaro-Los Galindo
76700 P. Escobedo, Qro.
Tels. (42) 16 97 77
16 96 46
16 95 97
Fax (42) 16 96 71