

*24: 95*



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCION AL  
PROBLEMA DE MODERNIZACION DE LA RED CARRETERA**

**T E S I S**

Que para obtener el título de:

**I N G E N I E R O C I V I L**

P r e s e n t a :

**FEDERICO MAC GREGOR ANCIOLA**

México, D. F.

1981



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## I N D I C E

	Pág.
I ANTECEDENTES	1
I.1 Introducción	1
I.2 Antecedentes socioeconómicos y política de inversión.	3
I.3 Antecedentes técnicos	9
II VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA OPERACION DE UNA CARRETERA	11
II.1 Concepto de capacidad y de nivel de servicio.	11
II.2 Nivel de Eficiencia.	13
II.3 Procedimiento descrito por el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras.	16
III ANALISIS DE LA OPERACION DEL TRANSITO	21
III.1 Generalidades.	21
III.2 Estudio estadístico de la operación del tránsito.	21
III.3 Procesamiento de la información.	23
III.4 Justificación del uso del modelo de simulación.	33
III.4.1 Filosofía del modelo.	36
III.4.2 Resultados.	41
III.5 Determinación de los intervalos de eficiencia.	41
IV PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCION AL PROBLEMA DE CONGESTIONAMIENTO U OBSOLESCENCIA DE CARRETERAS	44
IV.1 Problemas que se presentan al modernizar la red.	44
IV.2 Planteamiento y discusión de alternativas.	45
IV.3 Costos.	46
IV.3.1 Costos de construcción.	47
IV.3.2 Costos de operación.	48
V RENTABILIDAD	50
V.1 Parámetros y criterios económicos.	50
V.2 Determinación del año óptimo de realización.	51
V.3 Criterios económicos para la selección de alternativas.	52

	Pág.
VI PROCESO DE SELECCION	54
VII APLICACIONES CON EJEMPLOS ILUSTRADOS	60
VII.1 Determinación de los niveles de eficiencia.	60
VII.2 Planteamiento y discusión de alternativas.	61
VIII CONCLUSIONES	73
ANEXO ESTADISTICO	76
GLOSARIO DE REFERENCIAS	105
BIBLIOGRAFIA	106

## I. ANTECEDENTES

### 1.1 Introducción

Este trabajo tiene por lo menos dos finalidades. En primer término, la de -- proponer una metodología para la evaluación de inversiones destinadas a moder-- nizar una red carretera. Para lograr ésto, se ha abordado el tema desde los-- puntos de vista técnico y financiero, y se hacen algunas consideraciones so-- bre política de inversiones. En segundo término, se trata de motivar el desa-- rrollo de tecnología nacional, mediante una metodología para la evaluación de carreteras planteada en función del contexto carretero de México.

Es importante mencionar que una red carretera debe estar sujeta a continuas - modificaciones con el fin de satisfacer la creciente demanda de infraestructu-- ra. En el caso de México, por la etapa histórica que está viviendo, es diff-- cíl, pero necesario, establecer una adecuada política de inversiones. La di-- ficultad estriba en la heterogeneidad de desarrollo de las diferentes zonas - del país, caracterizándose ésta, para efectos del estudio, en la existencia - de polos altamente desarrollados como es el caso de Toluca en el Estado de Mé-- xico, que ha generado un corredor industrial cuya demanda de transporte crece constantemente y la existencia simultánea de zonas marginadas, que permanecen privadas de los beneficios del desarrollo.

Lo anterior da lugar a que se presenten dos alternativas de inversión antagó-- nicas. La primera es la de satisfacer las necesidades de polos cuyo auge eco-- nómico es acelerado y requieren de inversiones que les permitan continuar cre-- ciendo a ese ritmo; y la segunda, que consiste en invertir en zonas margina-- das con el objeto de incorporarlas al resto del país. Estas últimas no son - rentables, desde el punto de vista económico; sin embargo, aportan la infraes-- tructura necesaria para dicha incorporación.

Hay muchos estudios sobre este tema. En lo particular parecen especialmente acertadas las ideas de Hansen\* quien propone canalizar las inversiones a las zonas más atrasadas y limitarlas en las más avanzadas siguiendo una política de búsqueda del equilibrio. Esta es una política que se considera adecuada para la realidad nacional y que deberá, obviamente, tomarse como elemento -- prioritario en la discusión de alternativas.

Por otra parte, para proponer la modernización de una red carretera se deben tomar en cuenta los elementos técnicos que permiten conocer el funcionamiento actual de la propia red. Para este efecto, tradicionalmente se han utilizado los parámetros que propone el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras\*\*, basado en las especificaciones propuestas por la AASHTO (American - - Association of State Highway and Transport Officials), que tiene el inconveniente de que no han sido calibrados para México. Otra de las finalidades - de este trabajo es la de comparar los resultados que se obtuvieron de aforos reales en las carreteras México-Puebla y México-Pirámides con los que resultarían de aplicar el procedimiento propuesto por el manual, así como proponer y valorar nuevos parámetros que se consideran de mayor eficiencia para co nocer la calidad del servicio que brinda la red en un país con las caracte-- rísticas de desarrollo que presenta México. Por las limitaciones en que se desarrolló este trabajo, se utilizó un simulador\*\*\* de operación de carreteras de dos carriles con el fin de valorar los parámetros propuestos. Es cierto que la validez de dichos parámetros a través del simulador es cuestionable; sin embargo, no se pretende dar una solución general a los problemas --

Referencia \*(1)

Referencia \*\*(2)

Referencia \*\*\*(3)

que se presentan al modernizar una red, sino más bien, se desea proponer una metodología para evaluarla.

Debido a dichas limitaciones, se ha reducido el universo de análisis a carreteras en terreno plano de dos carriles, aunque mediante un estudio similar se podrían generalizar los parámetros propuestos para cualquier tipo de terreno y cualquier sección.

También se consideró de importancia, introducir un capítulo para tratar los problemas de evaluación por rentabilidad de una carretera, y aunque este puede ser un criterio para la selección de alternativas, no se debe perder de vista la importancia de seguir una adecuada política de inversiones.

#### 1.2 Antecedentes socioeconómicos y política de inversión.

Siendo el objetivo fundamental de la tesis el de abordar algunos de los problemas que se presentan al plantear la modernización de una red carretera, es necesario, de antemano, definir el contexto socioeconómico y político a que está sujeto el crecimiento de esta red.

Si cierto es que se debe hacer un análisis económico de una carretera antes de su creación, también es necesario ahondar en las consecuencias económico-sociales que esta conlleva.

Al plantear una política de inversiones se deben tratar de conciliar diferentes intereses, tanto de desarrollo acelerado en algunos polos como de integración en otros. Con el objeto de lograr esto, se han creado planes de desarrollo que establecen las líneas directrices que se deberán seguir en los diferentes sectores.

Cabe mencionar que México ha tenido la fortuna de poseer grandes yacimientos-

de petróleo en un momento en el que existe crisis de energéticos a nivel mundial. Entonces, la exportación de este producto aporta un ingreso al país -- que le permite atender las necesidades de los sectores menos beneficiados, -- creando la infraestructura básica para asegurar un desarrollo estable y permanente en dichos sectores. Esto se contempla en el Plan Global de Desarrollo.\*

Este Plan Global abarca varios planes de desarrollo específicos, como es el caso del Plan Nacional de Desarrollo Urbano\*\* que entre otros objetivos contiene los de descentralizar las grandes urbes -México, Guadalajara y Monterrey, principalmente-, motivar el desarrollo de asentamientos humanos en zonas específicas y definir el ordenamiento territorial.

Existen datos estadísticos que pueden justificar, fácilmente, algunas metas - del P.N.D.U. En la gráfica I.1, se puede observar que el porcentaje de la población urbana sobre la total se ha incrementado de un 46.1% en 1950 a un - - 62.3% en 1970 y según las proyecciones de CELADE\*\*\*, se llegará a un 71.9% en 1985. La inversión en el sector agrícola se ha descuidado, siendo vital para la producción de alimentos -ésto se observa en la gráfica I.2-. Es claro, -- que la política a seguir debe impulsar el desarrollo rural.

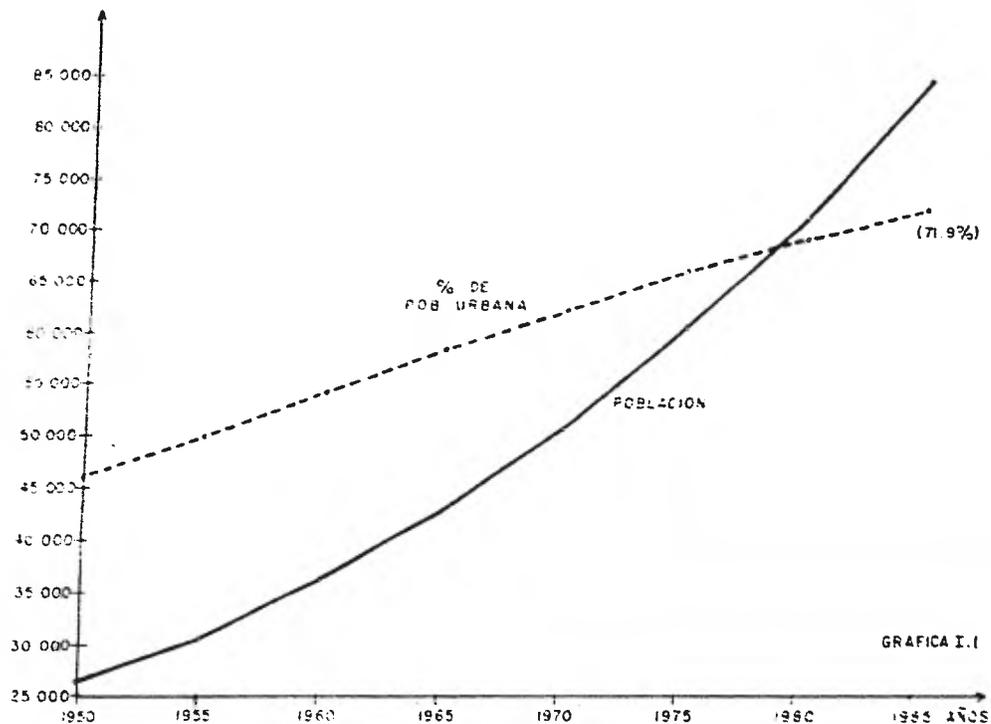
Desde un punto de vista de infraestructura de transporte, resulta muy complicado y difícil tratar de cuantificar los beneficios que va a generar una carretera, sobre todo cuando esos beneficios son de carácter social ¿Que tanto sería beneficiada una zona marginada, por la creación de un camino que la comunicará, en comparación con la construcción de un camino en una zona indus--

Referencia \*(4)

Referencia \*\*(5)

Referencia \*\*\*(6)

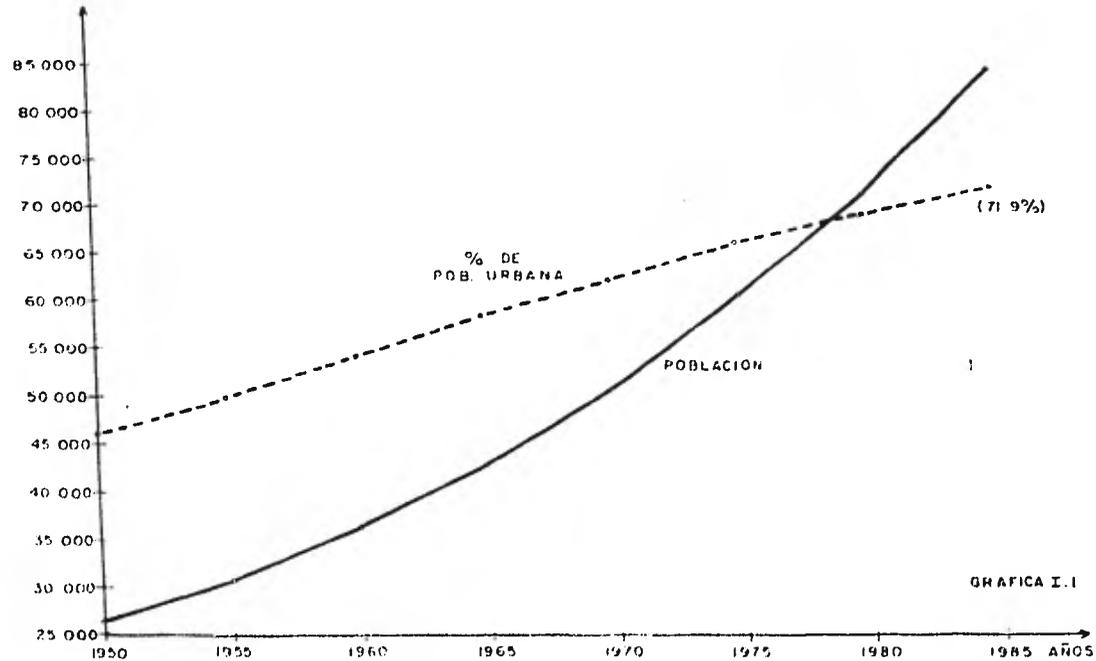
POBLACION TOTAL Y PORCIENTO DE  
POBLACION URBANA (1950-1985)



GRAFICA I.1

FUENTE: BOLETIN DEMOGRAFICO, CELADE, 1977

POBLACION TOTAL Y PORCIENTO DE  
POBLACION URBANA (1950 - 1985)



GRAFICA I.1

FUENTE: BOLETIN DEMOGRAFICO, CELADE, 1977

trial, rentable a corto plazo? Evidentemente el análisis económico nos llevaría a decidir por la segunda opción, pero el carácter prioritario que tiene - el propósito de integrar la República y comunicar zonas marginadas, nos llevaría a la elección del primero, que en consecuencia tendría la posibilidad de ser una zona productiva a nivel nacional, cuyos resultados se presentarían a - largo plazo, siendo esta una política posiblemente más justa y adecuada que - la de fomentar más actividad en zonas ya desarrolladas, sin permitir el avance de zonas marginadas.

Al mismo tiempo no se puede descuidar la producción de una zona desarrollada; se debe procurar mantenerla por lo menos a su nivel de desarrollo.

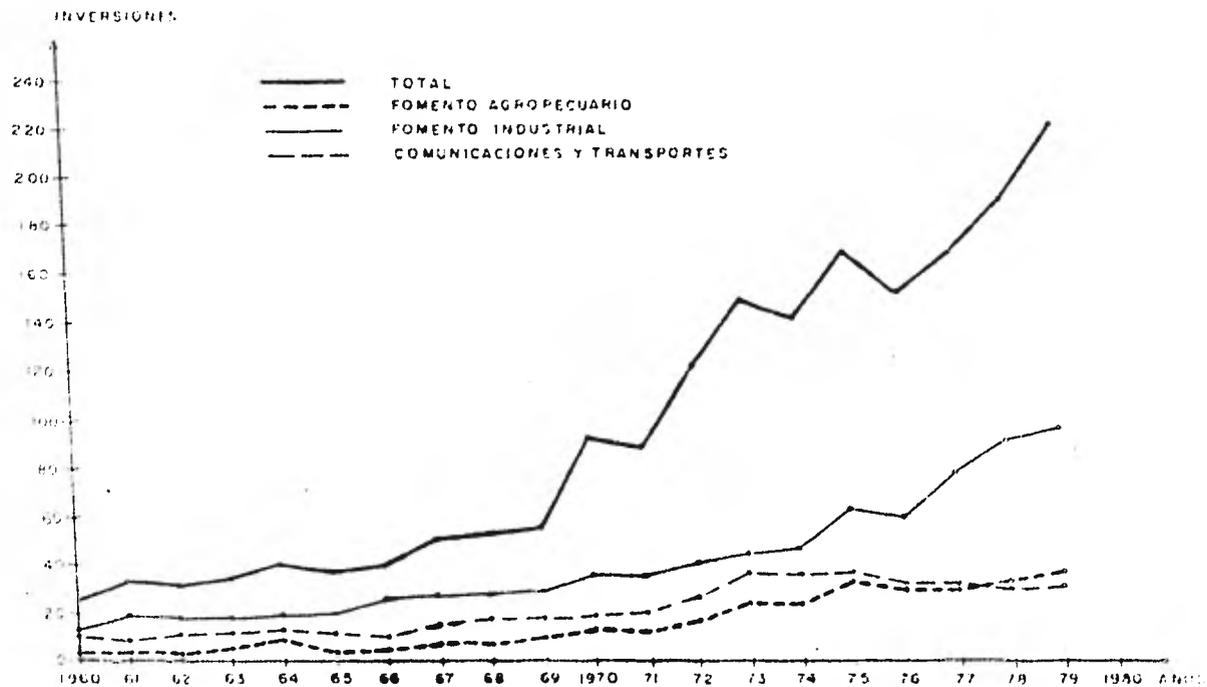
El análisis es aún más delicado, ya que la participación de una carretera en el desarrollo de una zona es de carácter muy variado y aunque es un elemento indispensable, son otros los factores que determinan el desarrollo de la zona. Esto es corroborado por Luis Unikel en su libro "El Desarrollo Urbano de México" cuando menciona que no utilizó las carreteras como parámetros para su índice de desarrollo, ya que fue considerado un parámetro sesgado y por tanto, - poco confiable, a esto se auna en la dificultad de análisis, la falta de información y ciertos intereses particulares.

Así, la influencia de un camino en el desarrollo de una zona es muy variable y responde a situaciones muy diversas, lo que obliga a hacer la discusión de alternativas con más detalle y en participación con otros sectores.

Haciendo un breve análisis sobre la asignación de recursos federales, en los - últimos años, a los diferentes sectores, se pueden hacer las siguientes observaciones (gráficas 1.2 y 1.3).

Referencia \*(7)

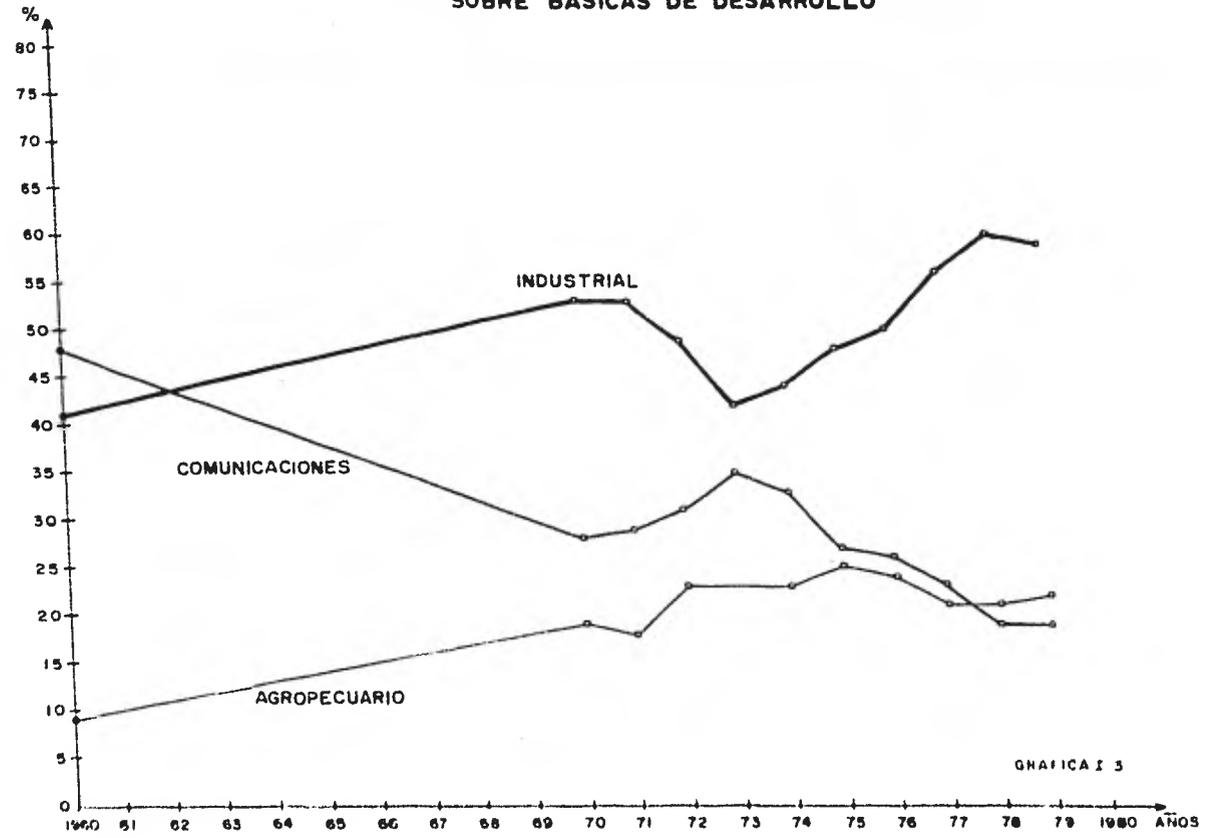
## DESTINO DE LA INVERSION PUBLICA millones de pesos ( precios de 1977 )



FUENTE "INFORMACION ECONOMICA" DEL BANCO DE MEXICO (PRODUCTO INTERNO BRUTO Y GASTO, 1970-1979)

GRAFICA I. 2

### PORCIENTO DE LA INVERSION PUBLICA SOBRE BASICAS DE DESARROLLO



GRAFICA 13

PUNTE "INFORMACION ECONOMICA" DEL BANCO DE MEXICO (PRODUCTO INTERNO BRUTO Y GASTO, 1970-1979)

- Las inversiones se han canalizado cada vez más al sector industrial.
- El sector agrícola ha perdido sus niveles de producción, cediendo el paso al sector industrial.
- El sector de comunicaciones y transportes ha permanecido estático.
- Dentro del sector de comunicaciones y transportes, el sistema carretero - el más extendido y eficiente medio de comunicación e intercambio comercial, se ha mantenido constante ante la creciente demanda del país.

Esta política de inversiones ha traído como consecuencia un éxodo hacia las - urbes, una disminución en la autosatisfacción de la demanda de alimentos en - el país y desde el punto de vista de transporte, una infraestructura inefi- - ciente.

Sin embargo, el Plan Global de Desarrollo pretende dar un nuevo enfoque a las inversiones, con el objeto de desarrollar los sectores que sacrificaron su -- producción por el impulso industrial.

### 1.3 Antecedentes técnicos.

Para el análisis de una red carretera, se deben tomar en cuenta una serie de - elementos técnicos que permitan conocer la eficiencia de la operación de la - red. Dichos elementos se relacionan tanto con la Ingeniería, en sus áreas de Proyecto, Construcción y Operación, como con aspectos de la Ingeniería Econó- mica. El caso de la Ingeniería de Proyecto y Construcción, incide en forma - indirecta, ya que resulta imposible planificar una red tomando en cuenta dife- rentes proyectos a nivel de Ingeniería de detalle. Para evitar este problema, el análisis de la red se simplifica tomando como base costos tipo, de cons- - trucción y mantenimiento por kilómetro.

Es decir, a partir de la experiencia en proyecto y construcción se determinan

ciertos costos de construcción por km., que resultan adecuados para hacer los estudios de rentabilidad de las diferentes alternativas. En relación con la operación, es a través de la Ingeniería de Tránsito que se han definido criterios, internacionalmente aceptados, para calificar una Red Carretera. Sin embargo, cada país tiene sus problemas y los criterios de solución no son necesariamente iguales. Es ejemplo de estos, el caso del concepto de "Nivel de Servicio", que es claro y útil, pero que resulta insuficiente para conocer la operación de un camino en un país con las características de México, ya que aunque sí indica el nivel al que opera una carretera, no sanciona si el nivel de operación es o no adecuado. Es decir, gran parte de las carreteras existentes en México se diseñan para operar a un nivel de servicio B o C y este nivel es adecuado; pero es adecuado porque el presupuesto actual no permite pensar en tener una red de autopistas; también lo es porque los vehículos cumplen su objetivo de trasladarse de un lugar a otro a una cierta velocidad; en otras palabras, es adecuado para el momento que vive el país.

Con la finalidad de que el planificador de caminos en México tenga un criterio claro del funcionamiento de la red, este trabajo propone un "Índice de Eficiencia" que trata de determinar si una carretera, a pesar de estar diseñada para un nivel de servicio B o C, tiene una eficiencia adecuada. Siendo así, la modernización de esa carretera no es prioritaria, comparándola con otra que sea ineficiente, pudiendo ser, en algunos casos, superior el nivel de servicio de esta última.

## VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA OPERACION DE UNA CARRETERA

### 2.1 Concepto de capacidad y de nivel de servicio.

Tradicionalmente se han utilizado en México, los criterios del Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. Este manual está basado en el "Highway Capacity Manual" utilizado para los mismos fines en los Estados Unidos de Norteamérica.

Sin dudar de la validez de estos criterios en E.U.A., es cuestionable la aplicación de los mismos en México, ya que los parámetros propuestos por el manual no han sido comprobados y, en su caso, calibrados para la situación mexicana.

Existen una serie de conceptos que define el manual, a los que enseguida se hará referencia para hacer algunas observaciones:

Capacidad.- Se define por el número máximo de vehículos que puedan circular por un camino, durante un periodo de tiempo, bajo condiciones prevaecientes tanto del propio camino como de la operación del tránsito.

A través de una serie de estudios se llegó a determinar que la capacidad de una carretera esta definida por la siguiente expresión:

$$C = 2000 \frac{v}{c} T_c W$$

Siendo 2000  $\frac{\text{vehículos}}{\text{hora}}$  la capacidad óptima de una carretera de dos carriles y los factores  $\frac{v}{c}$ ,  $T_c$  y  $W$  reductores de dicha capacidad debidos a las características propias del camino, incluyendo la composición del tránsito.

El mismo manual utiliza un concepto que denomina Nivel de Servicio y que defi

ne de la siguiente manera: es un término que denota un número de condiciones de operación, diferentes, que pueden ocurrir en un carril o camino dado, cuando aloja varios volúmenes de tránsito. Es una medida cualitativa del efecto de una serie de factores, entre los cuales se pueden citar: la velocidad, el tiempo de recorrido, las interrupciones del tránsito, la libertad de manejo, la seguridad, la comodidad y los costos de operación.

A partir de estas definiciones, el manual establece que una carretera tiene nivel de servicio A, si los vehículos pueden circular a una velocidad mínima de 100 km/h., disminuyendo el nivel de servicio al aumentar el volumen de tránsito, hasta llegar al flujo inestable en el nivel F, cercano a la capacidad del camino.

Cuando se plantea el problema de la modernización de una red carretera, es necesario que el planificador conozca las características de operación de los caminos y a partir de estas pueda evaluarlos, con el objeto de saber si el camino requiere de una mejora.

La metodología antes descrita no aporta directamente dicha información, ni establece los criterios para lograrla, siendo esta la tarea fundamental que se propone alcanzar este trabajo.

El nivel de acondicionamiento deseado para México, no es el de tener el mayor número de caminos funcionando a un nivel de servicio A, sino que en primera instancia, se deben comunicar zonas que no lo están; posteriormente, deben efectuarse modificaciones a las carreteras que presenten problemas de congestión y después, habiéndose satisfecho estas necesidades, se podrá pensar en tener una red trabajando a nivel de servicio tendiente al A.

Por otra parte, el concepto de capacidad que utiliza el manual, se refiere al

número máximo de vehículos que pueden circular por un camino y esto se asocia a una velocidad. A este respecto, parece más conveniente utilizar la velocidad como principal parámetro para conocer la operación del camino, entonces - la capacidad será el volumen de tránsito asociado a una velocidad mínima permisible, para lograr el adecuado funcionamiento de la carretera. El análisis de estas velocidades límite, se hará en el siguiente capítulo.

## 2.2 Nivel de Eficiencia.

Con base en lo antes expuesto, se propone en este trabajo la identificación - y uso de un parámetro al que se denominará "Nivel de Eficiencia", con el objeto de determinar la calidad del funcionamiento de un camino. Este parámetro - tendrá la característica de estar asociado al camino en cuestión. Bajo la -- consideración de que la velocidad es el indicador más confiable para determinar dicho parámetro, se harán observaciones de velocidades para diferentes vo - lúmenes de tránsito en cada camino. Con la finalidad de determinar los "Nive - les de Eficiencia", se ha observado la operación de algunas carreteras tanto - en condiciones óptimas, es decir para volúmenes de tránsito muy bajos, consi - derando volúmenes bajos a aquellos en los que no se observa interacción vehí - cular, y otras en condiciones de circulación conflictivas, donde se manifies - ta cierta inestabilidad en la velocidad de los vehículos. Entonces, a partir de la velocidad media observada para bajos volúmenes de tránsito, se determi - na la velocidad deseada de recorrido para dicho camino\*. Para el caso de tra - mos en pendientes será necesario observar el comportamiento de los vehículos, en función de su relación peso-potencia. Este punto no será abordado ya que - este trabajo se limita a analizar caminos en terreno plano.

\* En este punto se deben observar únicamente vehículos ligeros.

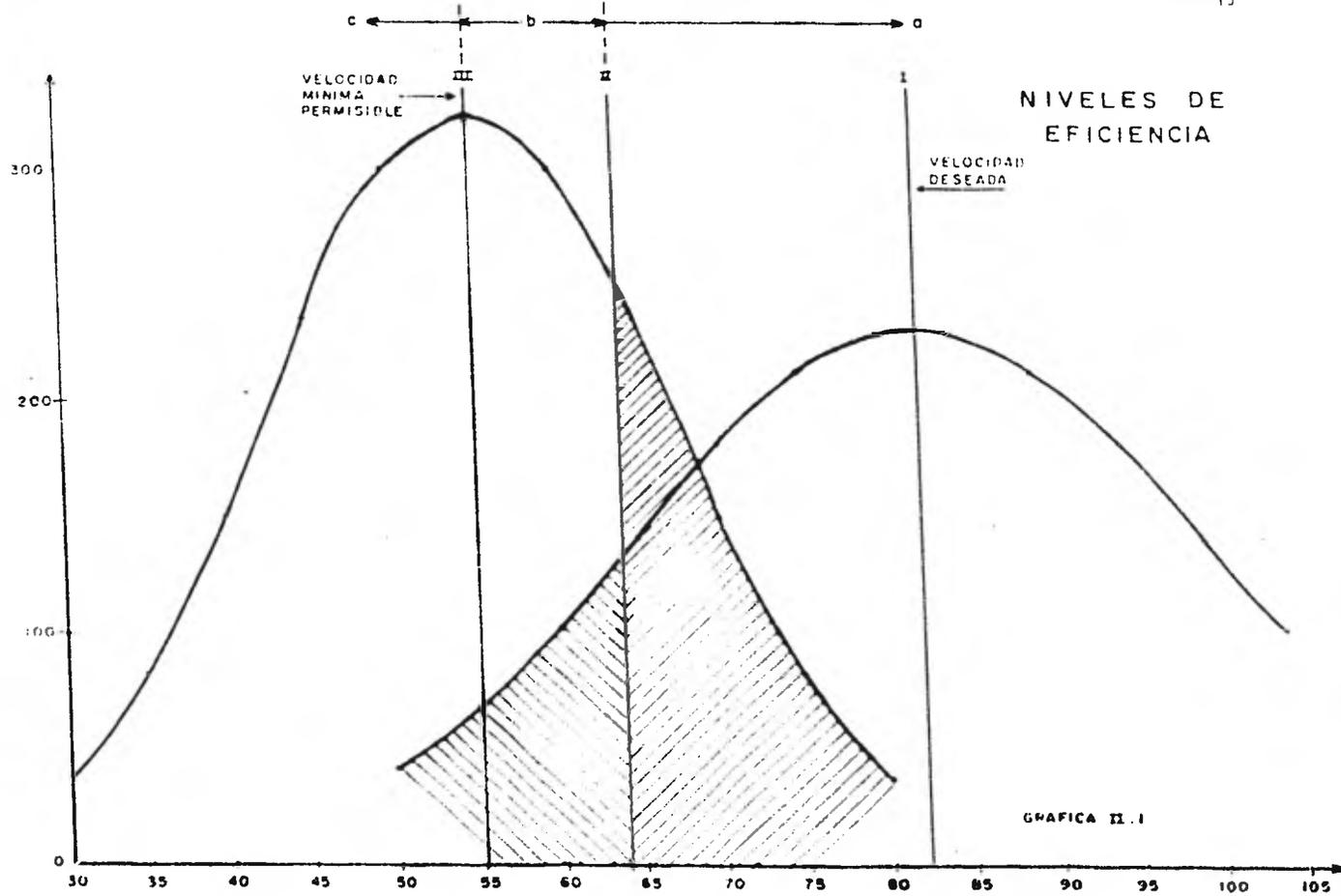
En general, se ha observado que la velocidad de proyecto geométrico, que se podría considerar como una velocidad óptima de recorrido, subestima la velocidad observada de recorrido para bajos volúmenes de tránsito, descartándose, por tanto, la posibilidad de considerarla como velocidad deseada.

Para determinar el límite inferior que es capaz de soportar un camino, se hace también una observación de velocidades, determinándose velocidad límite -- aquella en la que se manifiestan indicios de inestabilidad. Habiéndose obtenido esta velocidad límite inferior, se puede conocer el volumen de tránsito al cual está asociada y así se puede determinar la capacidad.

Si se experimenta una velocidad  $X_0$  se puede establecer la hipótesis de que dicha velocidad observada pertenece a un universo que tiene como media la velocidad deseada. Una hipótesis similar se puede plantear, suponiendo que la velocidad mínima permisible es la media del universo. Existe un punto intermedio en el que la probabilidad de rechazar la hipótesis siendo cierta, es -- igual para ambos casos.

Este punto intermedio puede ser de gran utilidad, ya que si consideramos que el tránsito de un camino es creciente con el tiempo, lógicamente la velocidad media de recorrido va decreciendo, entonces este punto, denominado  $I_1$ , puede servir de aviso para detectar que el camino tendrá problemas de capacidad.

A partir de lo anterior se forman tres intervalos -ver gráfica anexa II.1- el intervalo "a" determina que la carretera funciona adecuadamente, y tiene, entonces un nivel de eficiencia "a"; el intervalo "b" acotado entre  $I_1$  y  $I_2$  que pone de manifiesto problemas de capacidad a corto plazo, llamado nivel "b" de eficiencia y el nivel "c" en el cual se manifiestan problemas de capacidad.



### 2.3 Procedimiento descrito por el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras

A fin de comparar los resultados y parámetros obtenidos mediante el estudio -- con los procedimientos que establece el manual de carreteras, se hará a continuación, el cálculo de la capacidad y los niveles de servicio con dicha base.

Haciendo referencia al manual, la fórmula para obtener la capacidad es:

$$C = 2000 \frac{V}{C} T_c W N$$

Para el tramo 1 se tenían las siguientes características:

- a) Ancho de carril = 2.9 m.
- b) Distancia a obstáculos laterales = 0.3 m.
- c) Terreno plano
- d) Número de carriles = 2
- e) Composición del tránsito A: 29%, B: 4%, C: 67%
- f) Velocidad media de aforo = 54 km./h.
- g) Distancia de visibilidad = 300 m.
- h) Volumen aforado = 363 vehículos
- i) Velocidad de proyecto ponderado = 70 km/h.

En primera instancia se determinará la capacidad, por tanto, la relación  $\frac{V}{C} = 1$ . Por tratarse de una carretera de dos carriles  $N = 1$  ( $N =$  Número de carriles en un sentido).

Resta determinar los factores de reducción de capacidad  $W$  y  $T_c$ .

El factor  $W$  es un efecto combinado del ancho de carril y de la distancia a obstáculos laterales sobre la capacidad.

De la tabla 6-1. del manual se obtiene dicho factor, interpolando para 0.3 m. - de distancia a obstáculos laterales y 2.9 de ancho de carril, las lecturas se-

hacen para el nivel  $E^C$  por tratarse de la capacidad en la tabla correspondiente a obstáculos en ambos lados.

$$\text{interpolando: } W = \frac{0.69 + 65 + 0.62 + 0.58}{4} = 0.635$$

El factor  $T_c$  es una reducción debida a la composición de vehículos.

Por tratarse de tramos cortos se utiliza 6-N en combinación con la tabla 6-H.

De la tabla 6-H, la relación de vehículos pesados a ligeros para terreno plano, es 2, tanto para autobuses como para camiones:

$$N_c = 2; \quad N_b = 2$$

El número equivalente de autobuses  $N_b$  es 2 y de camiones  $N_c$  es 2.

De la tabla 6-H:

$$T_c = \frac{100}{100 - P_c - P_b + N_b P_b + N_c P_c}$$

o bien:

$$T_c = \frac{100}{100 + P_b (N_b - 1) + P_c (N_c - 1)}$$

Sustituyendo:

$$T_c = \frac{100}{100 + 4(2-1) + 67(2-1)} = \frac{100}{171} = 0.585$$

$$C = 200 (1) (0.585) (1) (0.635) = 742 \text{ vehiculos/hora.}$$

Determinación de los volúmenes de servicio:

$$V_{sc} = 742 \times 0.41 = 304 \text{ veh\u00edculos/hora} \quad (V > 65 \text{ km.})$$

$$V_{sd} = 742 \times 0.57 = 423 \text{ veh\u00edculos/hora} \quad (V > 55 \text{ km.}) \quad 304 < 363 < 423$$

Este camino funciona a un nivel de servicio D.

An\u00e1logamente:

Tramo 2:

Datos:

- a) ancho de carril = 3.9 m.
- b) distancia a obst\u00e1culos laterales = 1.5 m.
- c) terreno plano
- d) n\u00famero de carriles = 2
- e) composici\u00f3n del tr\u00e1nsito = A: 56%, B: 4%, C: 40%.
- f) velocidad media de aforo = 54 km/h.
- g) distancia de visibilidad = 400 m.
- h) volumen aforado = 1069 veh\u00edculos
- i) velocidad de proyecto ponderada = 95 km/h.

C\u00e1lculo de la capacidad:

$$C = 2000 \frac{v}{c} T_c W N$$

$$N = 1$$

$$\frac{v}{c} = 1$$

$$T_c = \frac{100}{100 + 4(1) + 40(1)} = \frac{100}{144} = 0.69$$

$$W = 1$$

Sustituyendo valores:

$$C = 2000 (1) (0.69) (1) (1) = 1380 \text{ veh\u00edculos}$$

$$V_{sb} = 2000 (0.35) (0.69) = 483 \text{ veh\u00edculos } (v > 80 \text{ km./h.})$$

$$V_{sc} = 2000 (0.61) (0.69) = 842 \text{ veh\u00edculos (v > 65 km/h.)}$$

$$V_{sd} = 2000 (0.81) (0.69) = 1118 \text{ veh\u00edculos (v > 55 km/h.)}$$

$$1069 > 842$$

El camino opera a nivel de servicio D.

Tramo 3:

Datos:

- a) ancho de carril = 3.45 m.
- b) distancia a obst\u00e1culos laterales = 1.5 m.
- c) terreno plano
- d) n\u00famero de carriles = 2
- e) composici\u00f3n del tr\u00e1nsito = A: 60%, B: 12%, C: 28%.
- f) velocidad media de aforo = 84 km/h.
- g) distancia de visibilidad = 500 m.
- h) volumen aforado = 523 veh\u00edculos
- i) velocidad de proyecto = 95 km/h.

C\u00e1lculo de la capacidad:

$$C = 2000 \frac{v}{c} T_c W N$$

$$N = 1$$

$$\frac{v}{c} = 1$$

$$T_c = \frac{100}{100 + 12(1) + 28(1)} = \frac{10}{14} = 0.71$$

interpolando linealmente en la tabla 6-L:

$$\frac{\frac{1}{2} (1) + (0.88)}{\frac{3}{2}} + \frac{\frac{1}{2} (0.94) + 0.83}{\frac{3}{2}}$$

$$W = \frac{\frac{1}{2} (1) + (0.88)}{\frac{3}{2}} + \frac{\frac{1}{2} (0.94) + 0.83}{\frac{3}{2}} = 0.89$$

Sustituyendo valores:

$$C = 2000 (1) (0.71) (0.89) (1) = 1269 \text{ veh\u00edculos/hora.}$$

$$V_{sb} = (1269) (0.4) = 508 \text{ veh\u00edculos/hora} \quad (v > 80 \text{ km/h.})$$

$$V_{sc} = (1269) (0.66) = 837 \text{ veh\u00edculos/hora} \quad (v > 65 \text{ km/h.})$$

$$523 > 508; \quad 84 \text{ km/h.} > 80 \text{ km/h.}$$

El camino esta en el l\u00edmite del nivel de servicio B - C.

A partir de los c\u00e1lculos realizados para cada tramo, no se puede obtener ninguna conclusi\u00f3n; es necesario realizar un estudio del crecimiento del tr\u00e1nsito y comparar con la capacidad supuesta del camino para determinar si el tramo funciona adecuadamente, de tal suerte que se pueda prever una modernizaci\u00f3n. Estos c\u00e1lculos servir\u00e1n como base para la comparaci\u00f3n con la metodolog\u00eda propuesta.

## ANALISIS DE LA OPERACION DEL TRANSITO

### 3.1 Generalidades.

En este capítulo se desea analizar la operación de una carretera, con el objeto de poder evaluarla y así tener un indicador que sea de utilidad al planificador para que pueda realizar su función.

En primer término se decidió realizar una serie de aforos en caminos de fácil acceso para conocer la relación entre algunas variables del tránsito, como velocidad media, volumen horario, composición, desviación estándar de velocidades, etc. Habiéndose realizado este primer punto, se procede a proponer un parámetro que complementa el concepto de nivel de servicio y que se convierte en elemento básico de ayuda para el conocimiento de la operación de la red.

Para los fines que busca este capítulo, se utilizó un modelo de simulación de carreteras de 2 carriles, diseñado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM; la utilización de este modelo se justificó correlacionando los datos observados en las muestras, con los obtenidos a partir de la simulación del modelo. Los aforos se realizaron en la carretera libre México-Puebla y en la carretera México-Pirámides. En la primera se eligieron dos tramos, el primero antes de la desviación a Cuautla, observándose un volumen alto; el segundo tramo se eligió varios kilómetros después de la desviación para Cuautla; ambos tramos presentaron el problema de estar cerca de una zona conurbada; este problema se resolvió, poniendo especial cuidado en que no hubiera efectos locales que perturbaran las mediciones. El otro aforo se realizó sin problemas, en un tramo recto de varios kilómetros, en la carretera de cuota México-Pirámides.

### 3.2 Estudio estadístico de la operación del tránsito.

Para lograr los fines del estudio, se decidió realizar un muestreo estadísti-

co, pero por la dificultad que ésto presenta a nivel nacional, el universo en estudio se limitó a carreteras de dos carriles en terreno plano y de características geométricas determinadas, lo cual, más que un muestreo, resulta ser un premuestreo.

Generalmente, cuando se plantea realizar un muestreo de gran envergadura, es conveniente realizar un premuestreo para detectar los problemas que puedan -- presentarse, tanto en la recolección como en el manejo de información; este -- trabajo, puede servir como el planteamiento de una metodología que podría alcanzar, por medio de un muestreo, cobertura a nivel nacional.

El premuestreo consistió en realizar simultáneamente dos tipos de aforo. El primero, un aforo de velocidades, permitió obtener 60 datos por sentido dentro de la hora de estudio para este aforo se diseñó un "muestreo sistemático", en el que se mide el tiempo durante el cual un vehículo cubre una cierta distancia y posteriormente, se mide el del primer vehículo en el sentido opuesto, repitiendo este proceso hasta lograr las 60 observaciones deseadas por sentido; sin embargo, estas mediciones pueden producir sesgo en el análisis si el tramo no se elige adecuadamente; con el objeto de evitar este problema, las secciones para el estudio se ubicaron en tramos rectos y planos, de carreteras cuyos alineamientos vertical y horizontal no afectaron el tramo en estudio. En segundo lugar se realizó un aforo de arribos con intervalos de 60 segundos cada uno, clasificando los vehículos en seis tipos:

- 1) vehículos ligeros
- 2) camionetas
- 3) autobuses
- 4) camiones de 2 ejes (10 toneladas)
- 5) camiones de 2 y 3 ejes (15 toneladas)
- 6) trailers

Para la recopilación de datos se diseñó una forma\* que se llenó con toda la información de campo; para lograr la información sobre los arribos se fijó -- una sección para ambos sentidos. En el caso de las velocidades se fijaron -- dos secciones, generalmente haciendo coincidir una de ellas con la fijada para los arribos; simultáneamente, se coloca el aforador en una sección, con un cronómetro, mientras en la otra se instala el enoscopio que permite al aforador ver el paso del vehículo a una distancia previamente fijada; de esta manera se determina el tiempo de recorrido y en consecuencia se logra una estimación de la velocidad puntual. Estrictamente se debió haber tomado para el estudio la velocidad de recorrido, pero siendo que se eligieron tramos rectos y planos, el error en la estimación es mínimo; sin embargo, para aplicar esta metodología a un tramo con otras características, es necesario diseñar otro sistema de muestreo; este podría ser el de estimar la velocidad de recorrido mediante mediciones puntuales en diferentes secciones.

### 3.3 Procesamiento de la información.

A partir de los datos del muestreo, la información que se deseaba obtener era la siguiente:

- 1) volumen observado
- 2) volumen equivalente
- 3) velocidad media
- 4) desviación estándar de velocidades
- 5) distribución direccional
- 6) composición
- 7) características geométricas del tramo

\* Ver forma anexa.

TARLA DE MUESTREO

CROQUIS	SENTIDO:
---------	----------

DATOS

CARR:
TRAMO:
KILOMETRO:
TIPO DE TERRENO:
ESTADO DE LA SUPERFICIE
ANCHO DE CORONA:
ANCHO DE CARRIL:
DISTANCIA A OBSTACULOS LATERALES:
COMENTARIOS:


INTERVALOS      TIPO DE VEHICULOS

MINUTOS	1	2	3	4	5
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41					
42					
43					
44					
45					
46					
47					
48					
49					
50					
51					
52					
53					
54					
55					
56					
57					
58					
59					
60					

Fecha del Afan \_\_\_\_\_ El Responsable: \_\_\_\_\_  
 Urea del Afan \_\_\_\_\_

SENTIDO 1

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

SENTIDO 2

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

Esta información es de gran utilidad ya que permite relacionar los diferentes parámetros entre sí.

La información sintetizada aparece en los cuadros III.1 y III.2.

En el primer cuadro aparece la información desglosada por sentido, siendo el volumen equivalente al que se refiere la columna de volumen-horario; en el cuadro II aparece la información agrupada para ambos sentidos y el volumen referido es el volumen real.

El volumen equivalente que aparece en el cuadro I resulta de transformar los vehículos pesados en ligeros equivalentes. Esta información fue tomada de un estudio realizado en el Instituto de Ingeniería, denominado "Operación de Vehículos en Pendientes"\*. En este caso, por tratarse de terreno plano la equivalencia es de 2 ligeros equivalentes a un pesado, incluyendo en pesados los vehículos definidos tipo 3, 4, 5 y 6.

De la información ya mencionada se obtuvieron las siguientes relaciones: En primer lugar, se realizó una gráfica de las velocidades-desviación estándar de velocidades, agrupando la información de los tres tramos. Para este agrupamiento se hizo la hipótesis de que dicha relación permanece invariante para las diferentes secciones. Esta hipótesis se corroboró estadísticamente al correlacionar las variables y obtener un coeficiente de correlación de 94%. La ecuación de regresión con que se logró este ajuste es la siguiente (ver gráfica III.1):

$$Y = 0.00143 x^2 + 7.592$$

Referencia \*(8)

ENCUESTA	TRAMO	SENTIDO	FECHA	HORA	VOLUMEN HORARIO	COMPOSICION	VELOCIDAD MEDIA	DESVIACION ESTANDAR
1	1	1			292	34, 6, 60		
1	1	2			315	25, 2, 73		
1	1	1	28/Agosto		337	30, 3, 67	53.82	12.05
2	1	2	"		289	45, 3, 52	53.73	11.43
3	3	1	12/Sept.	12:	387	70, 9, 21	84.98	17.78
3	3	2			314	64, 12, 24	89.77	18.71
4	3	1	9/Sept.	11:47	370	59, 12, 29	80.39	15.89
4	3	2			300	62, 11, 27	87.22	16.2
5	3	1	24/Sept.	12:	317	59, 9, 32	81.7	16.25
5	3	2			288	68, 11, 21	91.64	21
6	3	1	10/Sept.	12:10	388	66, 9, 26	76.53	14.72
6	3	2			325	64, 11, 25	89.44	18.55

CUADRO III.1

ENCUESTA	TRAMO	SENTIDO	FECHA	HORA	VOLUMEN HORARIO	COMPOSICION	VELOCIDAD MEDIA	DESVIACION ESTANDAR
1	1	1			292	34, 6, 60		
1	1	2			315	25, 2, 73		
2	1	1	28/Agosto		337	30, 3, 67	53.82	12.05
2	1	2	"		289	45, 3, 52	53.73	11.43
3	3	1	12/ Sept.	12:	387	70, 9, 21	84.98	17.78
3	3	2			314	64, 12, 24	89.77	18.71
4	3	1	9/ Sept.	11:47	370	59, 12, 29	80.39	15.89
4	3	2			300	62, 11, 27	87.22	16.2
5	3	1	24/Sept.	12:	317	59, 9, 32	81.7	16.25
5	3	2			288	68, 11, 21	91.64	21
6	3	1	10/ Sept.	12:10	388	66, 9, 26	76.53	14.72
6	3	2			325	64, 11, 25	89.44	18.55

CUADRO III.1

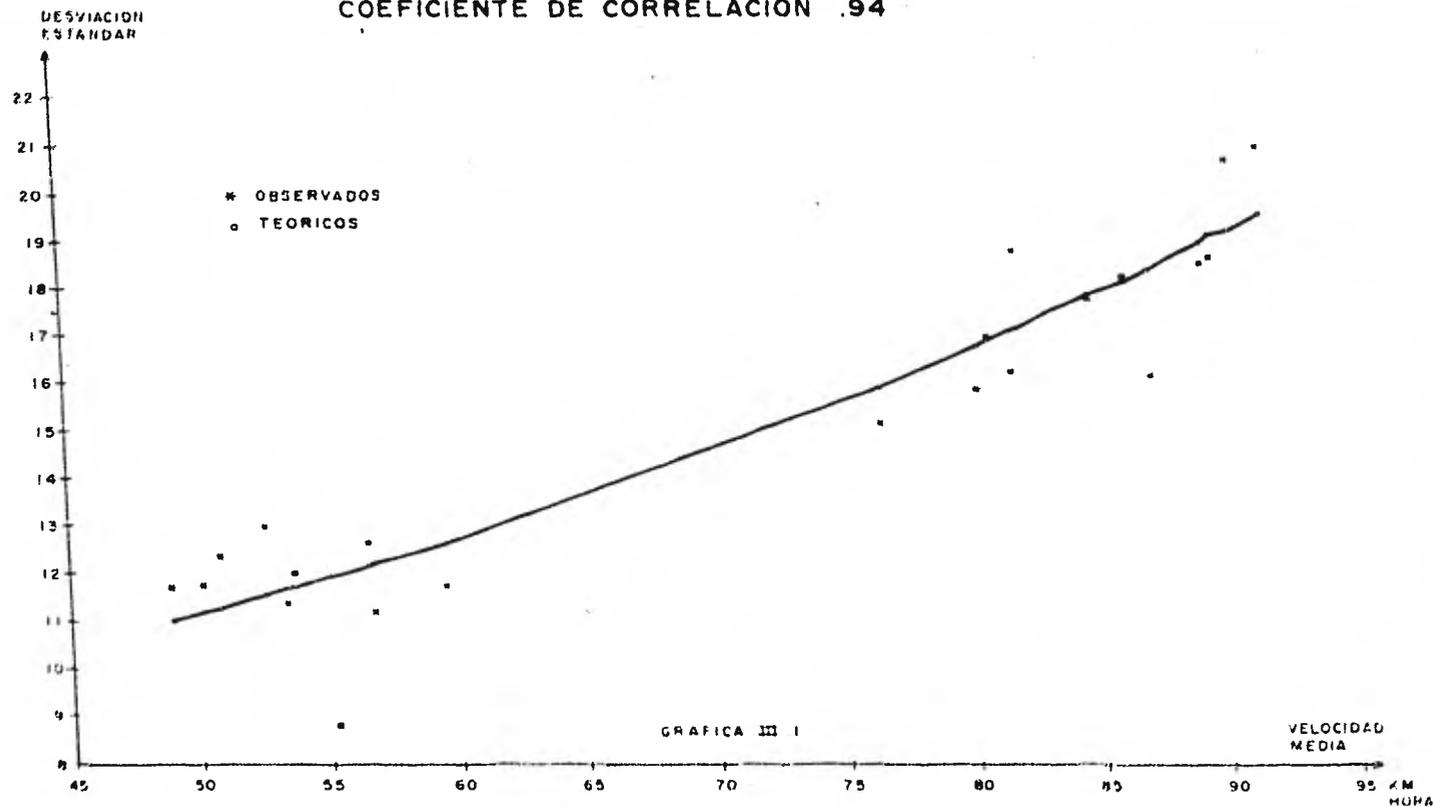
ENCUESTA	TRAMO	SENTIDO	FECHA	HORA	VOLUMEN HORARIO	COMPOSICION	VELOCIDAD MEDIA	DESVIACION ESTAN DAR
7	3	1	4/ Sept.	13:37	328	56, 17, 27	80.82	17
7	3	2			350	67, 12, 21	86.28	18.28
8	3	1	5/ Sept.		379	60, 9, 31	81.97	19.81
8	3	2			315	67, 11, 22	90.38	21.74
9	2	1	3/ Sept.	12:13	911	47, 3, 50	55.26	9.83
9	2	2			725	55, 4, 41	52.72	13.04
10	2	1	2/ Sept.	11:50	750	53, 4, 43	59.48	11.76
10	2	2			616	59, 3, 38	50.93	12.4
11	2	1	8/ Sept.	11:46	746	54, 3, 43	56.59	12.67
11	2	2	"		750	57, 4, 39	50.18	11.81
12	2	1	10./Sept.		713	64, 4, 32	56.79	11.27
12	2	2	"		770	58, 3, 39	49.08	11.73

CUADRO III.1 (CONTINUACION)

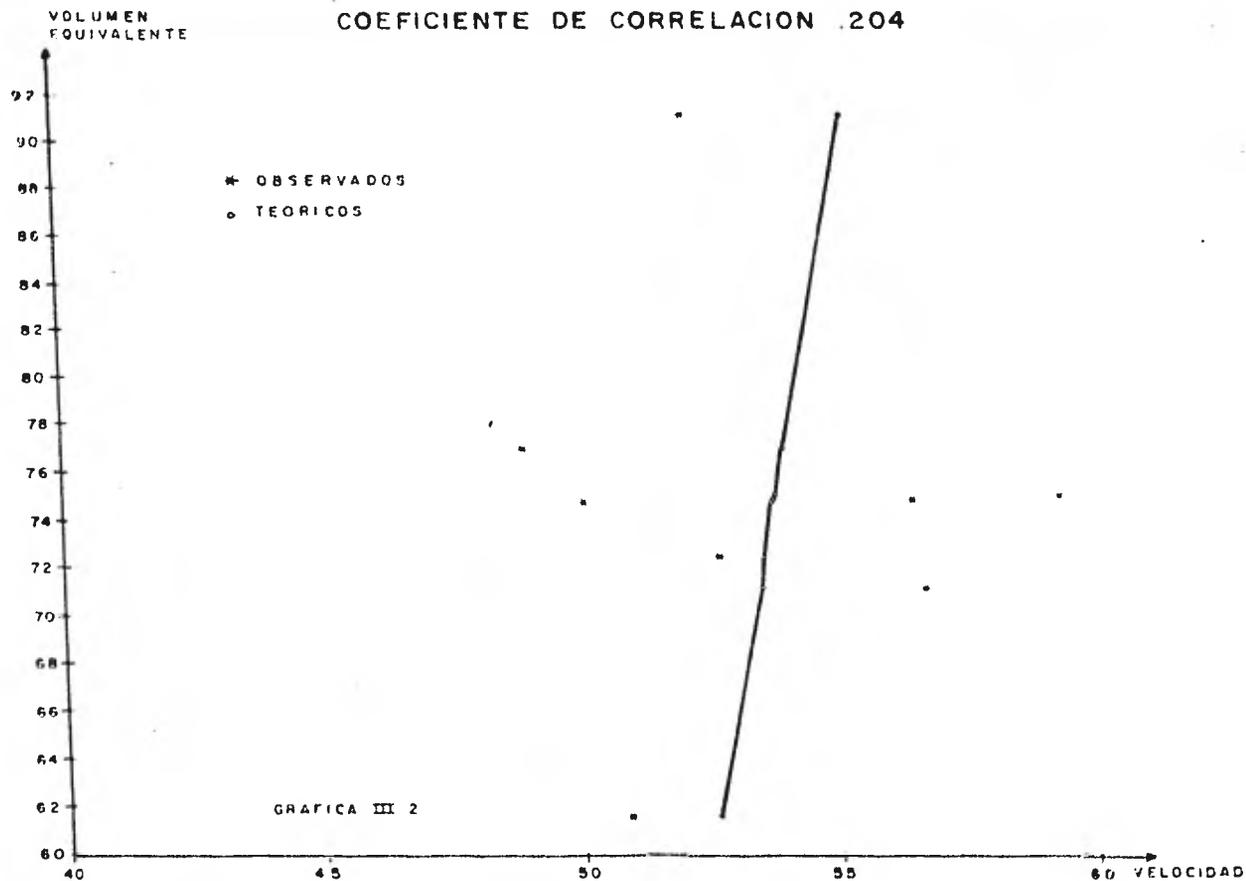
TRAMO	VOLUMEN AFORADO	DISTRIBUCION DIRECCIONAL	COMPOSICION 1, 2, 3 (%)
1	363	0.52	29, 4, 67
1	391	0.54	37, 3, 60
2	1121	0.44	51, 3, 46
2	976	0.45	56, 4, 40
2	1069	0.5	56, 4, 40
2	1099	0.52	61, 4, 35
3	570	0.45	67, 10, 23
3	523	0.45	60, 12, 28
3	476	0.48	63, 10, 27
3	570	0.46	65, 10, 25
3	547	0.52	62, 14, 24
3	546	0.45	63, 10, 27

CUADRO III.2

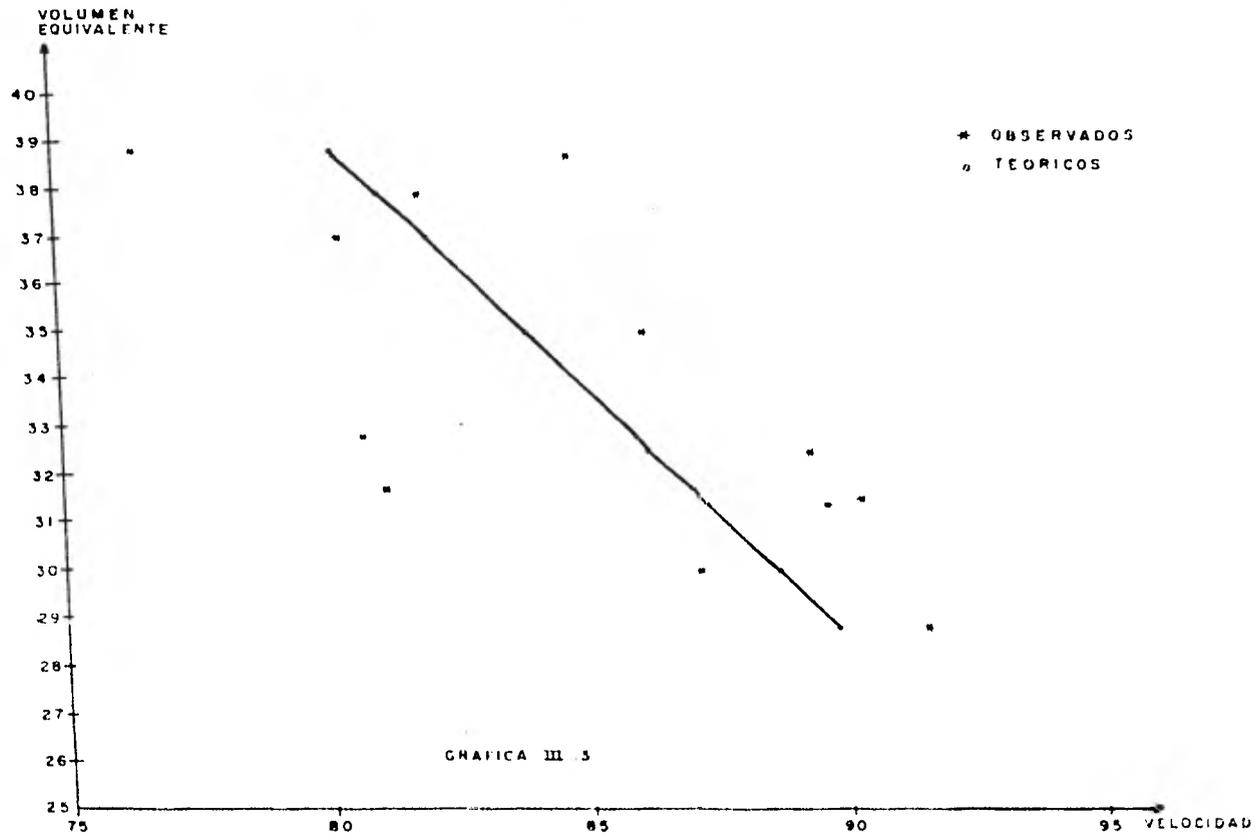
ECUACION DE REGRESION  $Y = .00143 X^2 + 7.592$   
 COEFICIENTE DE CORRELACION .94



ECUACION DE REGRESION  $Y = .0093X + 46.9$   
COEFICIENTE DE CORRELACION .204



ECUACION DE REGRESION  $Y = .095 X + 117.$   
COEFICIENTE DE CORRELACION .694



Por otra parte se intentó correlacionar el volumen horario equivalente con la velocidad media aforada. En este caso no se puede hacer la suposición hecha anteriormente con el fin de agrupar los tres tramos en una sola ley; entonces se realizó un ajuste para cada uno, omitiendo el tramo I por falta de información. De cualquier forma, para los tramos 2 y 3 no se contaba con la suficiente información para realizar el ajuste, lo que se corroboró al rechazar en ambos casos la hipótesis de que las variables estaban relacionadas (ver gráfica III.2 y III.3).

Con el objeto de continuar el estudio, haciendo hincapié en su principal aportación de carácter metodológico, se decidió expandir la muestra utilizando un simulador de operación de carreteras de dos carriles, proceso que se justifica en el inciso siguiente.

#### 3.4 Justificación del uso del modelo de simulación.

La idea de un modelo es la de simplificar las variables reales de un fenómeno haciendo determinadas hipótesis. Es importante destacar que, en general, los resultados son válidos más a nivel cualitativo que cuantitativo.

A continuación se procederá a dar validez a algunas variables que utiliza el modelo a reserva de comentar posteriormente y en forma somera la filosofía -- del simulador.

En primer término el simulador supone una relación velocidad media de recorrido-desviación estándar de dicha velocidad. Este punto queda totalmente justificado al utilizar la relación encontrada en el inciso anterior. Otra hipótesis de importancia que hace el modelo es la distribución del espaciamiento -- vehicular a lo largo del tramo. En este sentido es común utilizar la de --

Schuhl\* que posteriormente fue parametrizada por Kell\*\*. Otra distribución - menos sofisticada pero que ha dado muy buenos resultados es la de Poisson. - Debido a que la información sobre arriivos esta tomada a intervalos de 60 segundos no es posible utilizar la distribución de Schuhl, ya que precisamente la mayor variación de esta distribución se manifiesta en los primeros 60 segundos.

Por lo anterior se decidió utilizar la distribución de Poisson, que se expone a continuación:

Partiendo del interés de conocer el número de vehículos que cruzan una sección durante un cierto período  $t$ ; se elige un intervalo pequeño; la probabilidad - "p" de ocurrencia en dicho intervalo es pequeña y la probabilidad de más de - una ocurrencia resulta despreciable. Entonces, la probabilidad de  $x$  vehícu- los durante "n" ensayos independientes es (para  $n = t$ ).

$$P_x(x) = \frac{n!}{x!} p^x (1-p)^{n-x} \quad (1)$$

Si para el análisis se toman intervalos cada vez más pequeños la probabilidad de ocurrencia de cada intervalo disminuye, pero disminuye proporcionalmente - al tamaño del intervalo. Es decir, el número total de evento en el período  $t$  permanece constante:

$$(n)(p) = \text{cte}; \quad (n)(p) = v$$

$$\bullet \quad \text{si } n \rightarrow \infty \quad p \rightarrow 0; \quad (n)(p) = v$$

Para el caso particular en análisis "v" es la media de llegadas en el período, ya que la relación  $(n)(p)$  permanece constante donde  $n$  es el número de -

Referencia \*(9)

Referencia \*\*(10)

ensayos y  $p$  la probabilidad de ocurrencia en cada uno.

sustituyendo  $p = \frac{v}{n}$  en la ecuación 1:

$$P_x(x) = \frac{n!}{x!(n-x)!} \left(\frac{v}{n}\right)^x \left(1 - \frac{v}{n}\right)^{n-x}$$

que también se puede escribir:

$$P_x(x) = \frac{v^x}{x!} \left(1 - \frac{v}{n}\right)^n \frac{n!}{\left(1 - \frac{v}{n}\right)^x n^x (n-x)!}$$

obteniendo el límite de esta expresión cuando  $n \rightarrow \infty$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{v}{n}\right)^n = e^{-v}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n!}{\left(1 - \frac{v}{n}\right)^x n^x (n-x)!} = 1$$

de donde se obtiene una relación interesante cuyo parámetro es únicamente el valor medio de ocurrencias por intervalo "v":

$$P_x(x) = \frac{v^x e^{-v}}{x!} \quad (2)$$

De la deducción se observa que si es de interés analizar un intervalo de  $2t$ , la media de ocurrencias se doblará. Entonces, es conveniente expresar la ecuación (2) de la siguiente forma:

$$P_x(x) = \frac{ht^x e^{-ht}}{x!}$$

Esta expresión se conoce como la distribución de Poisson. En el anexo estadístico se observan los resultados de haber supuesto para cada encuesta la hipótesis de que la muestra se ajusta a la distribución Poisson, tomando un intervalo de confianza del 10% de cometer el error tipo I al aplicar la prueba de ajuste de Kolmogorov-Smirnov -por el tamaño de la muestra y su faci-

dad de aplicación fue considerada la más apropiada-. La hipótesis se aprobó en todos los casos.

El modelo de simulación no trabaja a partir del número de llegadas en un cierto intervalo de tiempo sino a partir del tiempo de llegada entre los vehículos.

Si  $T$  es el tiempo de llegada del primer vehículo, la probabilidad de que  $T$  exceda el tamaño de un intervalo  $t$  es igual a la de que no haya ocurrencia en dicho intervalo, así:

sustituyendo en la ecuación (2):

$$P(t < T) = \frac{v^0 e^{-ht}}{0!} = e^{-ht}$$

entonces la probabilidad de que ocurra por lo menos un evento, es el complemento:

$$P(t > T) = 1 - e^{-ht} \quad \therefore \quad f(t) = h e^{-ht}$$

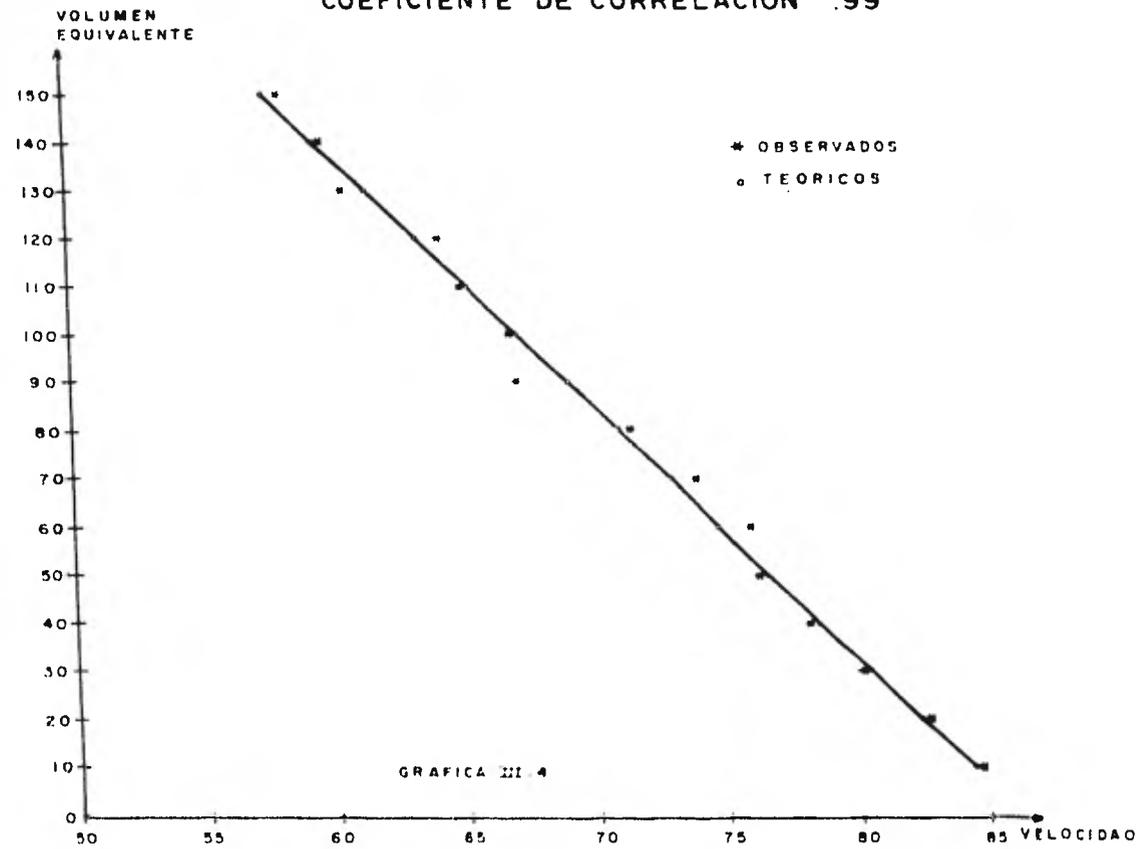
Entonces a partir de esta distribución de densidad de probabilidades se generan los tiempos de llegada entre los vehículos.

#### 3.4.1 Filosofía del modelo.

Este modelo fue desarrollado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM y tiene como objetivo fundamental captar las variaciones globales económicas en un tramo carretero, al variar los parámetros ligados al mismo.

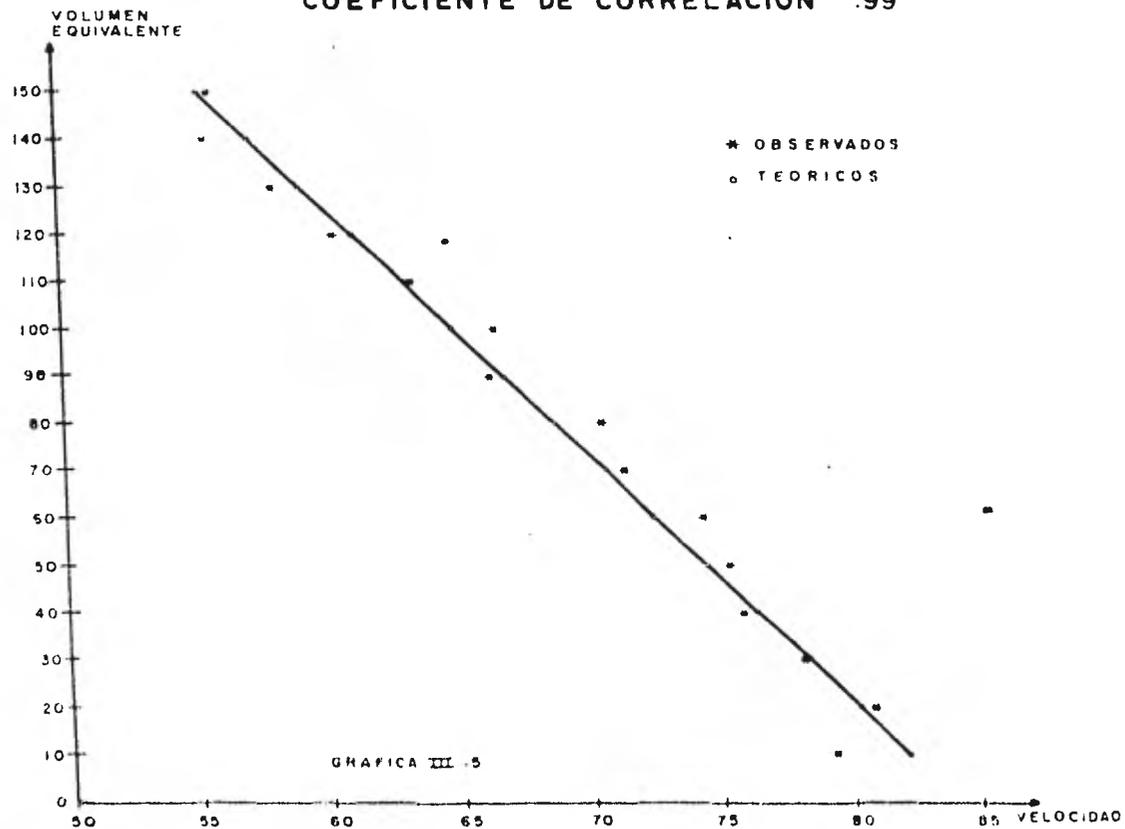
El modelo está hecho bajo la base de simulación montecarlo, es dinámico y de naturaleza estocástica. El simulador maneja el tiempo con el método continuo, incrementándolo en intervalos de un segundo cada vez.

ECUACION DE REGRESION  $Y = .019 X + 86.4$   
COEFICIENTE DE CORRELACION .99

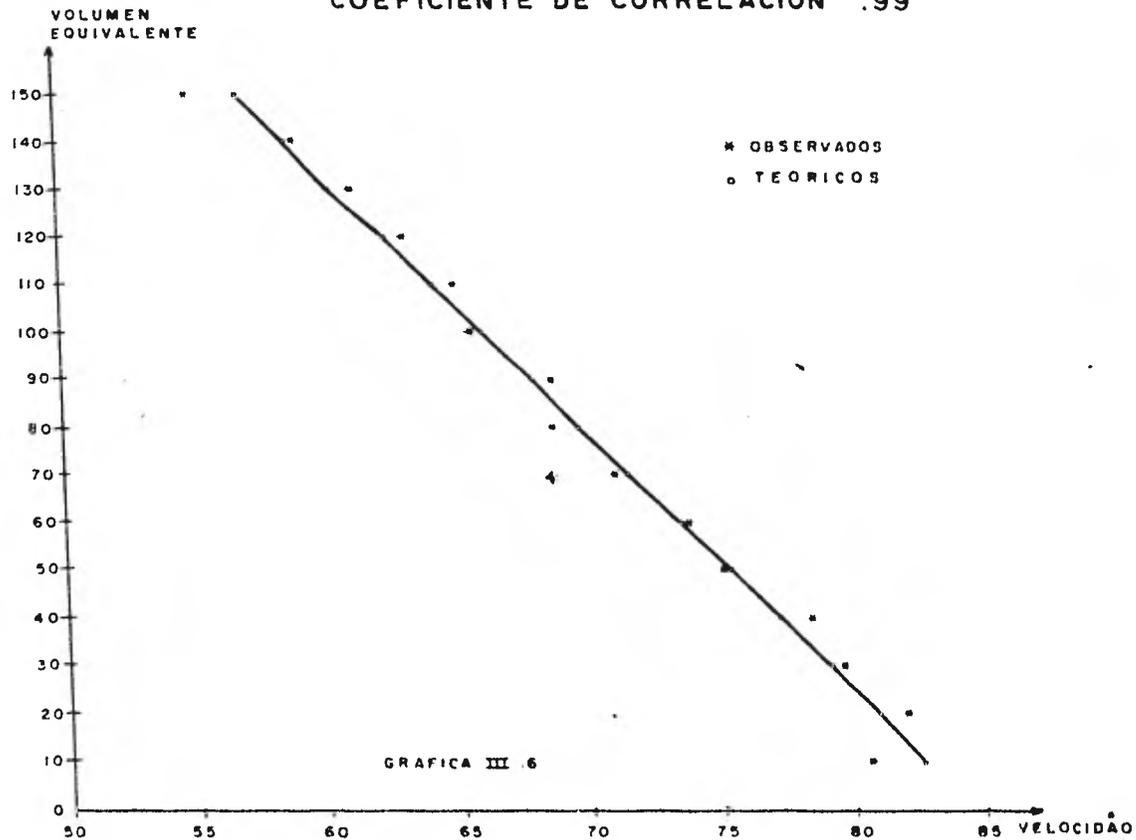


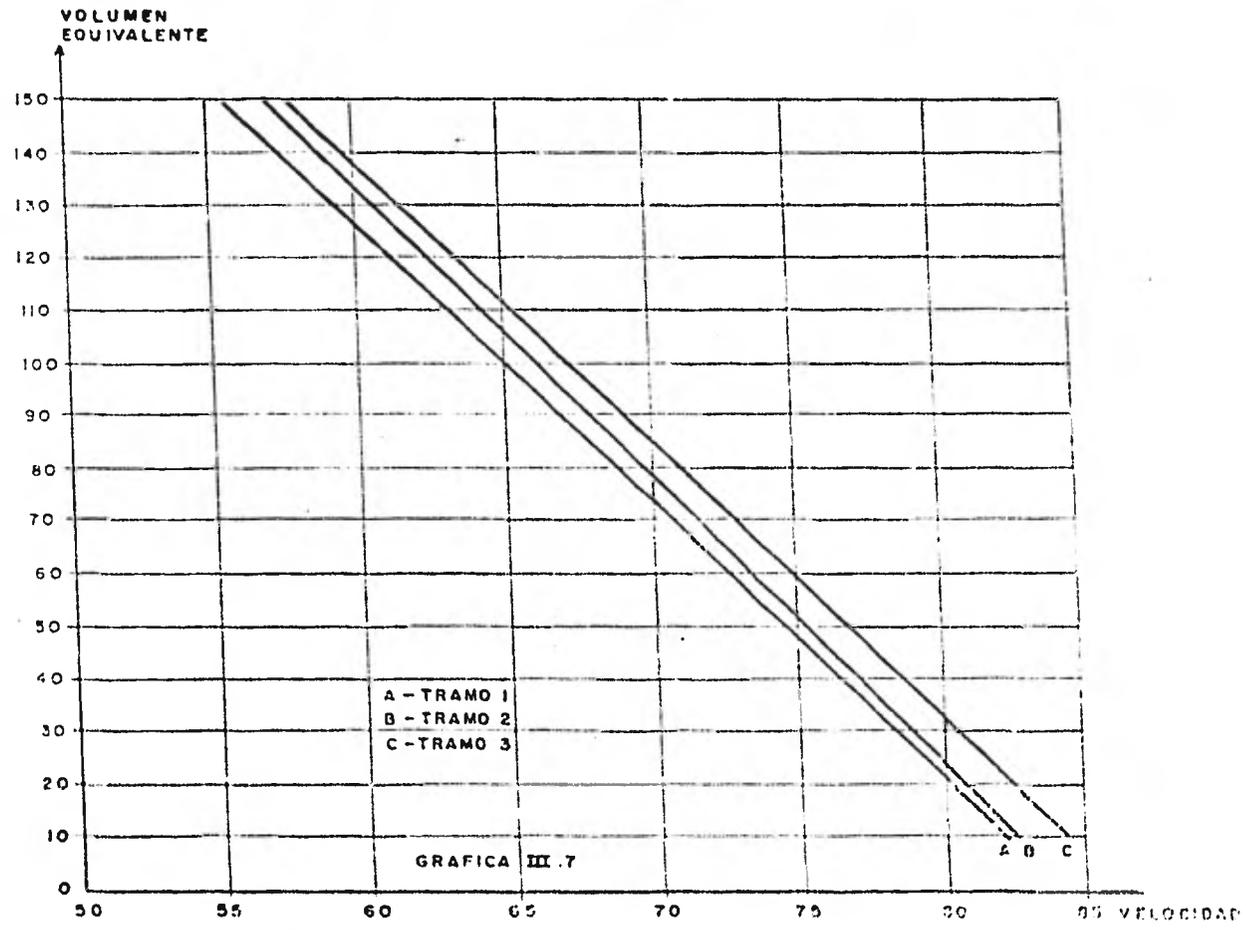
GRAFICA III. 4

ECUACION DE REGRESION  $Y = .0191 X + 84.2$   
COEFICIENTE DE CORRELACION .99



ECUACION DE REGRESION  $Y = .0184 X + 84.7$   
COEFICIENTE DE CORRELACION .99





Entre las hipótesis que hace el simulador, destacan las siguientes:

- se utiliza una distribución teórica del espaciamiento vehicular.
- para determinar la velocidad de un vehículo se compara la velocidad de - proyecto ponderada con la velocidad por volumen de tránsito.

Para mayor detalle consultar la referencia 3.

#### 3.4.2 Resultados.

Mediante el uso del simulador se procedió a determinar las curvas volumen - - equivalente-velocidad media, para cada sección. Para este fin se simuló un - tramo recto de un kilómetro en terreno plano con las características geométrí cas de los tramos aforados, se iteró el volumen desde 100 hasta 1500 vehícu- los/hora, así se determinó la velocidad de recorrido para los diferentes volú menes, en este caso como se observa en las gráficas 4, 5 y 6 se obtuvo exce- lente correlación. Estas gráficas son las que se esperaba obtener a partir - de los muestreos. Aquí se observa una gran utilidad de la teoría de la simu- lación, si el modelo llega a arrojar resultados confiables para las diferen- tes secciones, no será necesario realizar los muestreos de campo, tarea diff- cil, lenta y costosa.

#### 3.5 Determinación de los intervalos de eficiencia.

De la gráfica III.7 se observa que para volúmenes muy bajos en el tramo tipo- I la velocidad es aproximadamente de 82 km/h. Se tomará esta como velocidad- deseada ya que es la que han experimentado los vehículos para volúmenes de -- tránsito muy bajos; por otro lado, a 55 km/h. se experimentaron problemas de- estabilidad en el tránsito.

Siguiendo la metodología propuesta se tomará 82 km/h. como límite superior y- 55 como velocidad mínima permisible. De la gráfica, se observa que el volu men asociado a dicha velocidad es 1500 vehículos equivalentes. Es decir, - -

este camino experimenta prácticamente una capacidad de 1500 vehículos/hora.

Conocidos los límites de velocidad, se lee de la gráfica III.1 la desviación-estándar a que están asociados:

	$\bar{x}$	S
1)	82	17.2
2)	55	11.9

Para lograr un mismo nivel de significancia  $Z_1 = -Z_2$  por tanto

$$\frac{x_b - \bar{x}_1}{S_1} = - \frac{x_b - \bar{x}_2}{S_2}$$

$$(x_b - \bar{x}_1) S_2 = (\bar{x}_2 - x_b) S_1$$

$$x_b S_2 - \bar{x}_1 S_2 = S_1 \bar{x}_2 - x_b S_1$$

$$x_b S_2 + x_b S_1 = S_1 \bar{x}_2 + S_2 \bar{x}_1$$

$$x_b = \frac{S_1 \bar{x}_2 + S_2 \bar{x}_1}{S_1 + S_2}$$

donde  $x_b$  corresponde a la velocidad que tiene la misma probabilidad de pertenecer a I que a III:

sustituyendo

$$x_b = \frac{(82)(11.9) + (55)(17.2)}{11.9 + 17.2} = 63.8$$

graficando la función de distribución de frecuencias:

$$F_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-1/2} \frac{(x - M_x)^2}{S_x}$$

para  $N_1$  (82, 17.2) y  $N_2$  (55, 11.9) -ver gráfica III.1-

Por la poca variación observada en los diferentes tramos, debida a las características de los mismos -rectos, en terreno plano-, se decidió mostrar la metodología con la base del primer tramo únicamente.

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE  
MODERNIZACIÓN DE UNA RED CARRETERA

4.1 Problemas fundamentales que se presentan al modernizar la red.

En primera instancia se hará un análisis de las principales causas a las que se debe la creación de un nuevo tramo carretero:

- Al nacimiento de un nuevo polo de desarrollo, que requiere de infraestructura adecuada. Se puede citar como ejemplo el tramo Lázaro Cárdenas-Manzanillo, que junto con el ferrocarril Coróndiro-Las Truchas, dotarán de infraestructura a la siderúrgica Lázaro Cárdenas.
- A asentamientos humanos que por diferentes causas han permanecido sustraídos de vías de comunicación y de intercambio comercial apropiadas. Aquí se pueden citar los caminos de la zona Mixe en la Sierra de Oaxaca, que han incorporado poblaciones como Tontepec, Villa Alta, Etc.
- A ligas que darían congruencia a la red en su conjunto. Este es el caso de Chihuahua-Hermosillo que fomentaría el intercambio comercial en el noroeste del país. La red carretera en México presenta la característica, por circunstancias de tipo histórico-político, de haber crecido en forma radial, induciendo un crecimiento desmedido de algunas ciudades, razón por la cual las nuevas ligas deberán decrementar ese centralismo, promoviendo el desarrollo regional.

Existen otros problemas característicos de una red, como son el congestionamiento y la obsolescencia.

El primer caso ocurre, cuando se presenta un incremento considerable en el volumen de tránsito, manifestándose una disminución en la velocidad de recorrido; cuando el "Nivel de Eficiencia" por esta causa se ve reducido, es necesario plantear una alternativa de solución.

Se pueden presentar problemas de congestión en la red por la disminución de velocidad debida a deterioro de la superficie de rodamiento, lo que se corrige con el reencarpetado, dentro de las operaciones normales de conservación.

La obsolescencia se refiere principalmente a la diferencia creciente entre la demanda de especificaciones geométricas de los vehículos automotores y las características de la infraestructura carretera existente. Esto se detecta tanto por el índice de accidentes como por disminución en la velocidad de recorrido.

En este caso, se aplica también el criterio de los "Niveles de Eficiencia" para modernización, ya que aún cuando una carretera sea obsoleta, no siempre requiere ser modernizada.

Si el índice de accidentes es muy alto en un punto, se puede hacer una modificación a las características geométricas en ese lugar.

#### 4.2 Planteamiento y discusión de alternativas.

Dada la diversidad de problemas a los que se asocia la modernización de la red, es necesario realizar el análisis a diferentes niveles de discusión.

En primera instancia se analizan cada uno de los tramos que tienen un nivel de eficiencia "b". Ubicando cronológicamente el momento en el que el tramo alcanza dicho nivel, se puede determinar la tasa de crecimiento de su tránsito, así se podrá resolver que la modernización requerida se debe realizar antes de la fecha en la que a ese ritmo de crecimiento se alcance el nivel "c".

El criterio para la elección de las alternativas será lograr que el tramo en cuestión alcance el nivel "c"; al cabo del horizonte económico previamente fijado: normalmente dicho horizonte es de 15 a 20 años.

Ante el problema de congestionamiento, la solución es la de efectuar un cambio de sección, que debe estar aunado a un cambio en las características geométricas del tramo de manera que se logre tanto un aumento en el volumen de tránsito como en la velocidad de recorrido.

Las alternativas se podrán plantear recurriendo a las gráficas volumen-velocidad. Se propondrán todas aquellas alternativas que para el horizonte fijado cumplan con el objetivo de tener a un nivel de eficiencia adecuado; posteriormente, realizando un estudio de rentabilidad, se podrá determinar la mejor alternativa.

Una vez realizado el primer análisis se debe proceder a analizar la red en su conjunto haciendo un análisis de congruencia en la modernización de tramos a nivel red.

Este análisis es complicado y alcanza altos niveles de sofisticación. Desde el punto de vista de Ingeniería de Tránsito se puede emplear un modelo de asignación de tránsito, como es el modelo gravitacional. De esta manera se pueden estimar los flujos sobre la red para diferentes años, haciendo proyecciones de crecimiento.

Posteriormente, se deben revisar las políticas de inversión originalmente planteadas, y de acuerdo a los recursos disponibles se hace el plan de trabajo.

#### 4.3 Costos.

Con el objeto de analizar diferentes soluciones para un tramo, se realiza un estudio de rentabilidad, para el que se deben distinguir los siguientes costos:

### 4.3.1 Costos de construcción.

Los siguientes, son costos ponderados a partir de datos en diferentes carreteras de características similares:

Costos de construcción para la carretera de dos carriles de bajas especificaciones. (pesos/kilómetro).

$$\text{terracería} = \frac{159}{\text{costo unitario por m}^2} \times (6.4 \times 1000) = 1,017,600.00$$

ancho de corona

$$\text{drenaje} = \frac{4}{\text{No. de alcantarillas.}} \times \frac{8000}{\text{costo por metro.}} \times 6.4 = 204,800.00$$

$$\text{pavimento} = \frac{300}{\text{costo por m}^2} \times 5.8 \times 1000 = 1,740,000.00$$

$$\text{Puentes} = 6.4 \times \frac{8}{\text{puente km.}} \times 13\,500 = 864,000$$

$$\text{Señalamiento} = \frac{(6.4 + 10)}{\text{derecho de vfa.}} \times 1000 \times 30 \text{ pesos m}^2 = 492,000$$

$$\text{Total} = \$ 4,500,000$$

Costos de construcción para la carretera de dos carriles de altas especificaciones. (pesos/kilómetro).

$$\text{terracería} = 159 \times 11 \times 1000 = 1,749,000$$

$$\text{drenaje} = 4 \times 800 \times 11 = 352,000$$

$$\text{pavimento} = 300 \times 3.45 \times 2 \times 1000 = 2,070,000$$

$$\text{puentes} = 13\,500 \times 8 \times 11 = 1,188,000$$

$$\text{terreno} = (11 + 10) (1000) (30) = 630,000$$

señalamiento = 200,000  
 Total = \$6,200,000

Los cálculos anteriores corresponden a las secciones aforadas. A continuación se hará el cálculo para una vía rápida de 4 carriles de altas especificaciones, que será utilizada posteriormente en el estudio.

Costos de construcción para una vía rápida de cuatro carriles. (pesos/kilómetro).

terracerfa	=	3 500 000
drenaje	=	704 000
pavimento	=	4 200 000
puentes	=	5 346 000
terreno	=	1 260 000
señalamiento	=	400 000
Total	=	\$15 400 000

Estos costos corresponden a una sección de 14 m. de carpeta, con un ancho de corona de 22 m.

#### 4.3.2 Costos de operación.

Para poder determinar los costos de operación de los vehículos, se han realizado estudios para diferentes tipos de terreno y diferentes vehículos. Estos datos deben ser propios de cada país ya que los resultados pueden variar según el modelo predominante en circulación, la composición y los tipos de terreno.

Se ha observado que los costos de operación varían con la velocidad, existen do un mínimo para una velocidad intermedia.

En este caso, por tratarse de terreno plano las curvas que se han utilizado - son:

$$A \text{ costos} = (1.7768 - 0.0253 \text{ vel.} + 0.000176 (\text{vel.})^2) k$$

$$B \text{ costos} = (18.81276 - 0.42 \text{ vel.} + 0.0038 (\text{vel.})^2) k$$

$$C \text{ costos} = (12.6929 - 0.3055 \text{ vel.} + 0.002315 (\text{vel.})^2) k$$

Estas ecuaciones resultaron de una estimación de costos realizada para el año 1977 y actualizada en 1979. Incluyen el costo de combustibles, mantenimiento y depreciación del vehículo, para lograr esto, hubo necesidad de considerar - vehículos tipo para cada categoría de vehículos, esta información se logró -- gracias a los datos proporcionados por la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), en su publicación de 1976. Para el caso del valor de de-- depreciación se realizó un muestreo que dió como resultado que el modelo predo-- minante en circulación en 1979 era equivalente a un modelo 1975.

En última instancia el factor k es un factor de actualización de costos que - permitió convertir los costos de operación estimados a precios actuales. El- valor de k fue considerado de 1.56.

## RENTABILIDAD

El objetivo de este capítulo es exponer una metodología que permita realizar un estudio de rentabilidad aplicado a tramos carreteros.

### 5.1 Parámetros y criterios económicos.

La expresión que permite conocer los beneficios de realizar la obra el año  $n$ , actualizados al año  $no$  es la siguiente:

$$B_n = \frac{-C}{(1+a)^{n-no}} + \sum_{K=n+1} \frac{I_k - E_k}{(1+a)^{k-no}} \quad (1)$$

- El parámetro  $C$  corresponde al costo inicial, o sea, la inversión destinada a la construcción de la carretera. Esta inversión se divide proporcionalmente al número de años de construcción, y se actualiza cada gasto al año base.
- Los egresos  $E_k$  son debidos a conservación y reencarpetao. Se ha estimado que se puede lograr una conservación adecuada con un 3% del costo de construcción, anualmente.
- La variable  $I_k$ , representa los beneficios que va a generar el proyecto. Este parámetro es difícil de determinar, pero es de suma importancia; muchas veces, el éxito o fracaso de un proyecto depende del criterio que se haya seguido para cuantificar dichos beneficios.

En el caso de las carreteras, la mayor parte de los beneficios son indirectos, imposibles de cuantificar muchos de ellos; sin embargo, para los fines de evaluación se considera adecuado estimar los beneficios mediante la diferencia en costos de operación entre un tramo existente y un proyecto nuevo. Esta diferencia representa un beneficio para la nación a corto plazo. La evaluación

de la inversión mediante este procedimiento es bastante precisa ya que la mayor parte de los beneficios indirectos se manifiestan a largo plazo.

- Con el objeto de poder comparar los costos actualizados de diferentes alternativas, se determina una tasa de actualización.

La tasa de actualización para los proyectos de Gobierno se puede interpretar como la mínima rentabilidad que puede tener un proyecto para ser aceptado, cuantificando los beneficios de una manera específica.

Para el caso particular de carreteras se ha convenido adoptar una tasa del 12% para los estudios de evaluación por rentabilidad.

#### 5.2 Determinación del año óptimo de realización.

Existen muchos proyectos que independientemente de sus indicadores económicos, son necesarios en forma inmediata para la comunidad. Sin embargo, puede resultar de gran utilidad determinar el año óptimo de realización, maximizando beneficios, en los casos en que sea posible aplicar este criterio.

En proyectos carreteros, generalmente existe un año óptimo de realización ya que los beneficios no se mantienen constantes debido a la tasa de crecimiento del tránsito. Se puede intuir que si un proyecto carretero se hace con demasiada premura, la carretera estará subutilizada los primeros años y por tanto, los beneficios generados serán bajos, por otra parte, si se espera demasiado tiempo para su realización, los costos de operación antes de la construcción serán muy altos.

A partir de lo anterior, los beneficios actualizados de realizar la obra en diferentes años tiene un máximo.

Este punto se puede determinar buscando la diferencia mínima entre  $B_n$  y  $B_{n-1}$ .

Realizando esta diferencia en la ec. (1):

$$B_n - B_{n-1} = K \left( \frac{C}{(1+a)^n} + \sum_{k=n+1} \frac{I_k - E_k}{(1+a)^k} + \frac{C}{(1+a)^{n-1}} - \sum_{k=n} \frac{I_k - E_k}{(1+a)^k} \right)$$

Simplificando:

$$B_n - B_{n-1} = \frac{K}{(1+a)^n} (Ca - V_n) \quad (2) \quad \text{Siendo } V_n = I_n - E_n$$

donde la expresión (2) tiene el signo de la diferencia  $Ca - V_n$ ; partiendo de que se quiere hacer mínima esa diferencia se buscará que  $Ca - V_n = 0$ , o bien,  $Ca = V_n$

De lo anterior el año óptimo para iniciar el funcionamiento del tramo es cuando se cumpla que el cociente de los beneficios generados en un cierto año y el costo inicial sea igual a la tasa de actualización teniendo presente la hipótesis de que la serie de beneficios es creciente.

### 5.3 Criterios económicos para la selección de alternativas.

Fundamentalmente son dos los criterios para la selección de alternativas.

- El valor actualizado de los flujos de beneficios y costos, que permite conocer en una cifra el valor actual del proyecto. Es de gran utilidad ya que es una estimación del valor presente del proyecto. Por esta razón, es recomendado por el Manual de Evaluación de Proyectos de la Organización de las Naciones Unidas.

Por otra parte, tiene el inconveniente de ser muy sensible a la tasa de actualización.

- La tasa interna de retorno, por otra parte, representa la tasa para la que se igualan costos con beneficios en el proyecto. Este método tiene -

el inconveniente de que se puede presentar más de una vez la igualdad - de beneficios con costos, dando lugar a la existencia de varias tasas para un mismo proyecto; sin embargo, este caso difícilmente se presenta en proyectos carreteros. Este parámetro es ampliamente utilizado por el Banco Mundial en la evaluación de proyectos.

Es importante hacer destacar que para determinar el año óptimo de realización se debe proponer una tasa de actualización. Posteriormente, a partir de ese año de realización se puede calcular la tasa interna de retorno, se observará entonces, que los criterios están íntimamente relacionados, por lo que para su mejor aplicación se recomienda hacer un estudio de sensibilidad, interpretando las diferencias existentes.

### PROCESO DE SELECCION

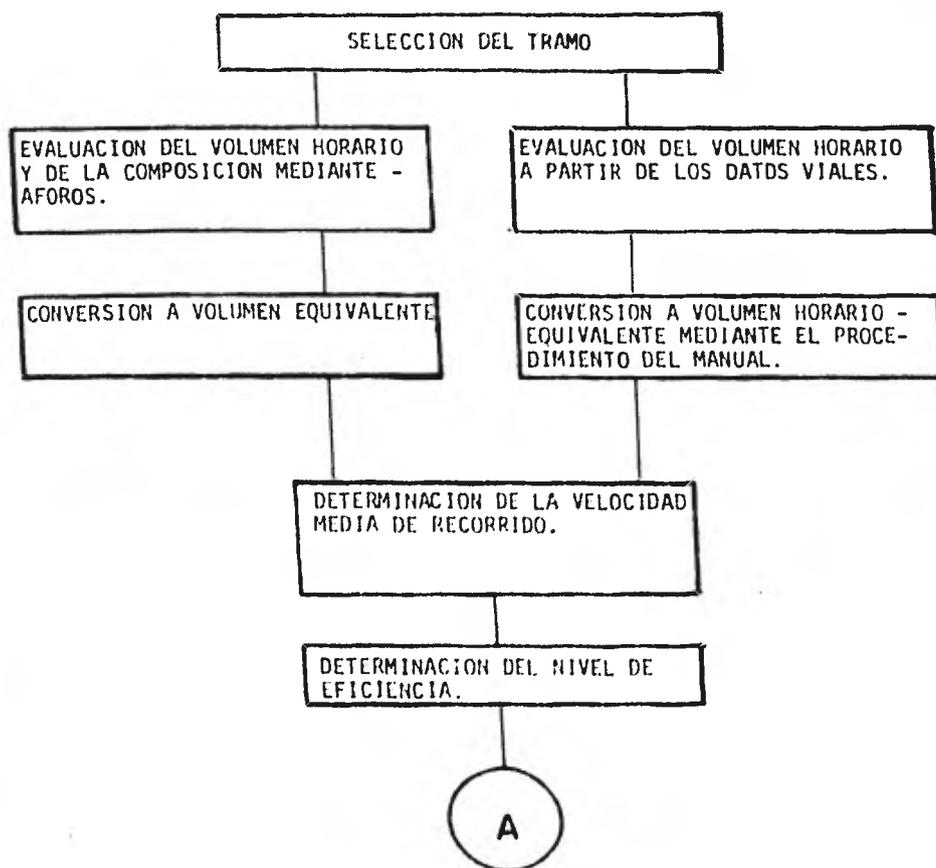
Con el objeto de mostrar la utilidad de la metodología planteada, es conveniente esquematizar cada uno de los pasos que se proponen para la selección de alternativas.

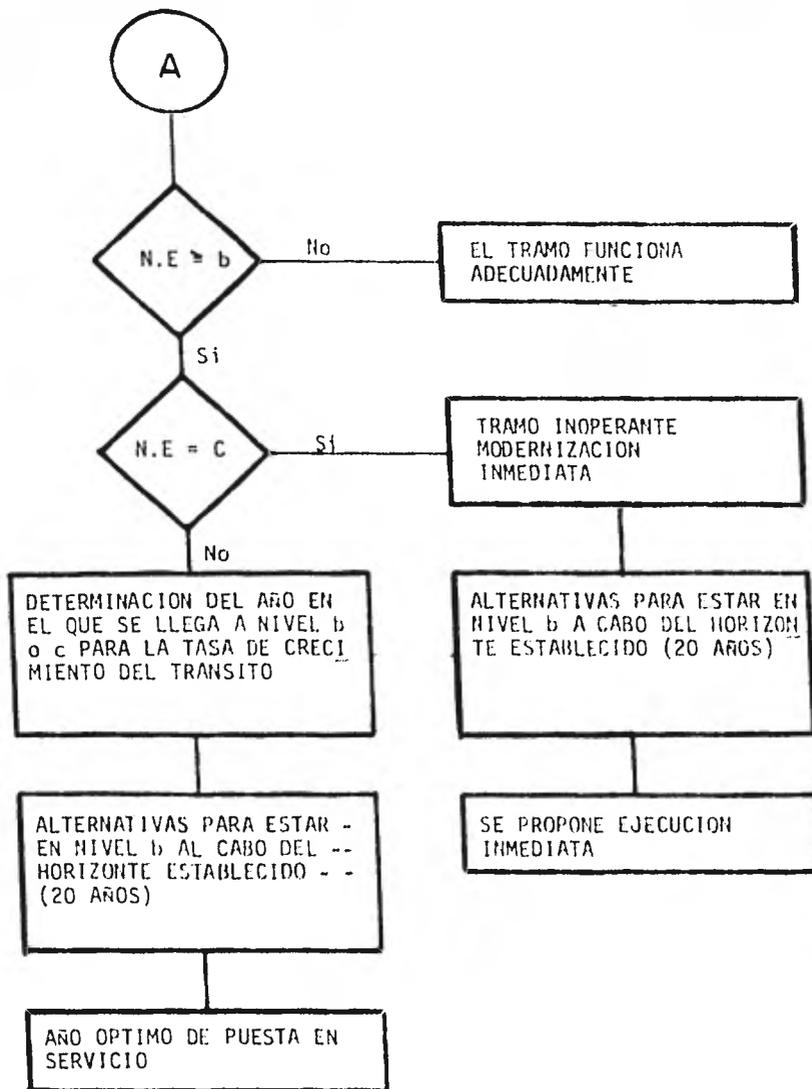
La decisión de crear nuevos arcos no se incluye en esta discusión, ya que para este análisis se requiere realizar un estudio más elaborado. Sin embargo, el nivel al que se plantea la metodología puede ser de gran utilidad tanto para evaluar el funcionamiento de los tramos actuales como para determinar la mejor alternativa de una modernización o del proyecto de una nueva obra.

Brevemente, el proceso consiste en seleccionar el tramo sujeto de análisis; determinar el volumen horario equivalente, esto se puede lograr mediante el procedimiento propuesto por el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, a partir del conocimiento del Volumen Promedio Diario Anual, o bien a través de una muestra que se considere representativa. Para hacer la conversión a vehículos equivalentes se puede utilizar la tabla VI.1, posteriormente se determina la velocidad de operación, asociada a ese volumen equivalente mediante la gráfica VI.1. A partir de lo anterior, se puede determinar el "Nivel de Eficiencia" - tabla VI.2-, y en consecuencia se determina también, la necesidad de modernizar la carretera.

PROCESO DE SELECCION

A continuación se muestra el Diagrama de Flujo del Procedimiento

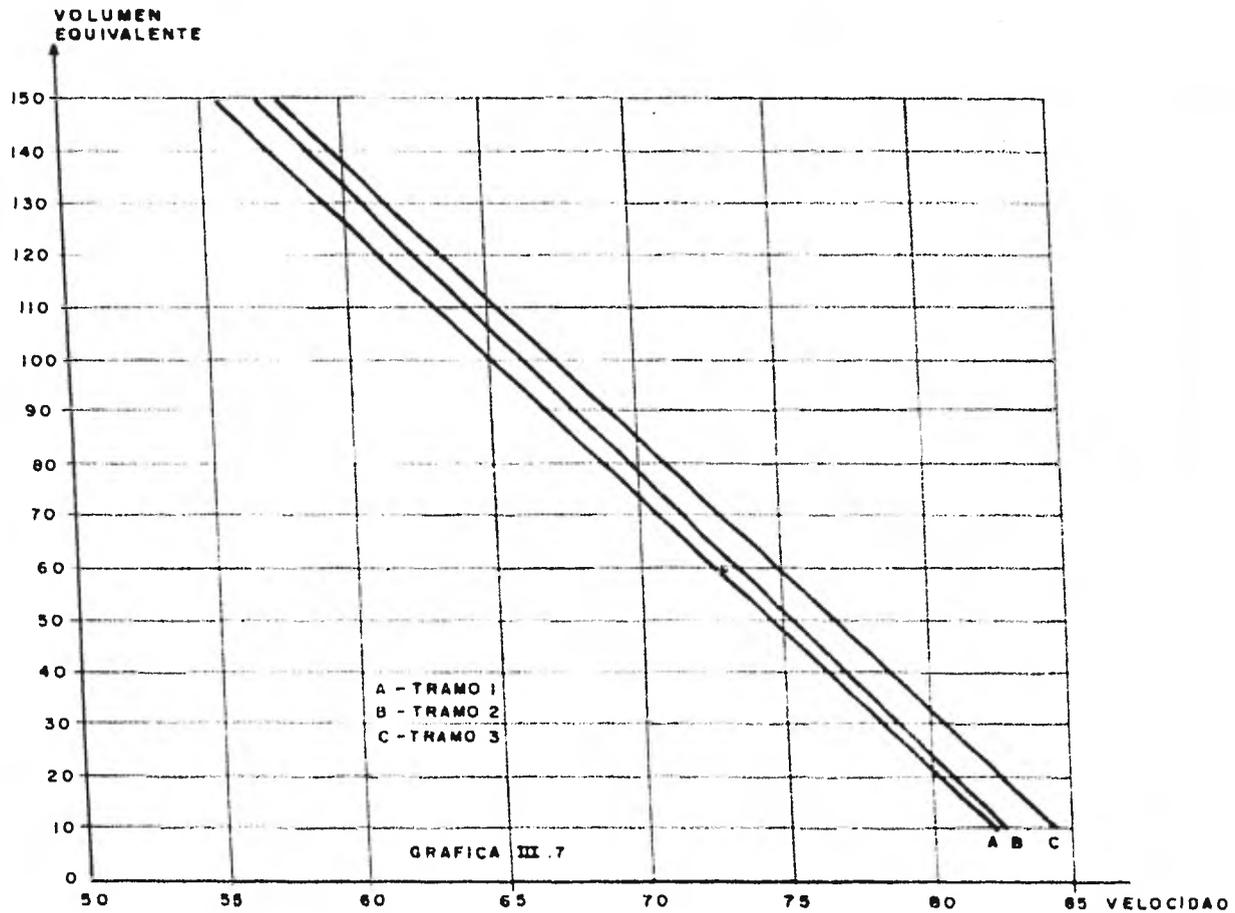




VEHICULOS LIGEROS EQUIVALENTES POR CAMION Y AUTOBUS, PARA  
TANGENTES VERTICALES ESPECIFICAS DE CARRETERAS DE DOS  
CARRILES

Pendiente de la tangente vertical, en porcentaje	Longitud de la tangente vertical, en m	Numero de vehiculos ligeros equivalentes (para todos los niveles de servicio y composiciones)			
		Autobuses	Camiones, en kg/hp		
			90	120	180
0-1	TODAS	2	2	2	2
2	250			2	3
	500			2	4
	1000	2	2	3	5
	2000			3	7
	4000			3	9
8000			4	9	
3	250		2	3	3
	500		2	4	5
	1000	2	3	5	10
	2000		3	6	14
	4000		3	7	16
8000		3	7	17	
4	250		3	5	4
	500		3	5	9
	1000	2	5	8	11
	2000		6	10	21
	4000		6	11	23
8000		6	12	24	
5	250	2	3	4	7
	500	2	5	8	14
	1000	5	7	12	23
	2000	3	8	15	27
	4000	3	9	16	29
8000	3	10	17	30	
6	250	3	4	5	6
	500	3	7	11	21
	1000	4	10	17	29
	2000	5	12	20	34
	4000	5	13	21	36
8000	5	13	22	37	
7	250	3	5	7	11
	500	5	10	16	27
	1000	6	14	22	36
	2000	7	15	24	41
	4000	7	16	25	43
8000	7	17	26	45	
8	250	4	7	10	16
	500	6	13	20	34
	1000	8	17	25	43
	2000	9	19	28	48
	4000	9	20	30	50
8000	10	21	31	51	
9	250	5	9	13	23
	500	8	16	24	41
	1000	10	21	30	50
	2000	11	22	33	54
	4000	12	23	35	58
8000	12	24	36	59	
10	250	6	11	17	29
	500	10	20	29	48
	1000	12	24	35	57
	2000	14	26	38	62
	4000	14	27	39	65
8000	14	27	40	67	

TABLA VI.1



GRAFICA VI. 1

NIVELES DE EFICIENCIA

CARACTERISTICAS DEL TRAMO

ANCHO DE CORONA: 11 m.

ANCHO DE CARRIL: 3.45 m.

TIPO DE TERRENO: PLANO

VELOCIDAD KM/H.	64	64 v 55'	55
NIVEL DE EFICIENCIA	a	b	c

T A B L A VI - 2

### APLICACIONES CON EJEMPLOS ILUSTRATIVOS

En este capítulo se aplicará la metodología planteada a los tres tramos aforados, con la finalidad de conocer la operación de los mismos. Si se determina un Nivel de Eficiencia bajo para cualquiera de ellos, se hará el planteamiento de la modernización correspondiente.

Por haberse realizado las mediciones en carreteras rectas, en terreno plano, no existe gran diferencia entre las curvas volumen-velocidad, por lo que los límites para los niveles de eficiencia se considerarán iguales.

#### 7.1 Determinación de los niveles de eficiencia.

Tramo 1

Volumen equivalente promedio:

$$V_{eq} = 617 \frac{\text{vehículos}}{\text{hora}}$$

Para este dato, se observa en la gráfica VI.1 una velocidad de 72 km/h. y de la tabla VI.2, se determina que la carretera funciona a nivel de eficiencia "a" por lo que no requiere ser modernizada.

Tramo 2

$$V_{eq} = 1495 \frac{\text{vehículos}}{\text{hora}}$$

De la gráfica VI.1 se obtiene una velocidad de 58 km/h.

$$55 < 58 < 64$$

El camino se encuentra a nivel de eficiencia "b". Se deberán proponer y discutir diversas alternativas.

## Tramo 3

$$V_{eq} = 637 \frac{\text{vehículos}}{\text{hora}}$$

Nivel de Eficiencia "a"

### 7.2 Planteamiento y discusión de alternativas.

Se analizarán únicamente las alternativas para el Tramo 2, ya que los otros - trabajan eficientemente.

Este es un camino de especificaciones geométricas altas por lo que no se podría esperar una mejora apreciable corrigiendo el trazo.

Se hará la suposición de que el tránsito crece al ritmo de crecimiento del -- parque automotor, siendo este del 8% actualmente\*. Resulta difícil suponer - que este ritmo de crecimiento se pudiera mantener durante el período en estudio; se podría pensar -por ejemplo- que la tasa de crecimiento se reducirá, - lo que haría que el fenómeno fuera de tipo logístico. Por otra parte, viendo la evolución del parque automotor en otros países, se observa que existe una etapa de crecimiento y posteriormente tiende a estabilizarse. Sin embargo, - para el caso de México, se observa que la etapa de crecimiento es reciente, - entonces, se puede pensar que los próximos años se mantendrá constante al 8%- el crecimiento de vehículos.

Esta hipótesis de crecimiento no deja de ser una hipótesis simplificatoria, - ya que en realidad se debería hacer un estudio local del crecimiento del tránsito. Es importante tener presente lo anterior, para la discusión de alternativas.

Referencia \*(11)

Con la tasa de crecimiento del 8%, el volumen horario crecerá a 1700 en dos años. Lo que significa que se debe planear una modernización antes de dicho lapso.

Para esta modernización, se pueden plantear varias alternativas:

Como se mencionó anteriormente, el cambio de trazo en el tramo existente no es una solución aplicable.

Las dos alternativas más viables son las siguientes:

- A Crear un cuerpo nuevo de dos carriles con especificaciones y trazo tales, que permitan tener, posteriormente, una autopista de cuatro carriles, con la simple ampliación de sección.
- B Crear una vía rápida de cuatro carriles.

Ambas soluciones resuelven el problema, desde el punto de vista del tránsito.

A continuación se hará el análisis económico, para el que se han considerado las siguientes hipótesis de trabajo:

1. El tránsito se distribuye proporcionalmente al número de vías.
2. La relación volumen-velocidad se mantiene lineal, aún para volúmenes correspondientes al nivel de eficiencia "c".
3. La tasa de crecimiento del tránsito se mantiene constante al 8%.
4. Los costos de operación son similares a los de 1979, actualizados por la tasa de inflación correspondiente.

SECRETARIA DE ASSENTAMIENTOS INMANUS Y OBRAS PUBLICAS  
 DIRECCION GENERAL DE ANALISIS DE INVERSIONES

C - 1

OBRA CARRETERA LIBRE MEXICO - PUEBLA  
 TRAMO NUEVO DE OJOS CAÑILES

## PROYECCION DEL TRANSITO

.....  
 AÑO FACTOR TRANSITO  
 .....

1981	1.000	1066
1982	1.000	1154
1983	1.000	1246
1984	1.000	1346
1985	1.000	1454
1986	1.000	1570
1987	1.000	1696
1988	1.000	1832
1989	1.000	1978
1990	1.000	2136
1991	1.000	2307
1992	1.000	2492
1993	1.000	2691
1994	1.000	2907
1995	1.000	3139
1996	1.000	3391
1997	1.000	3662
1998	1.000	3955
1999	1.000	4271
2000	1.000	4613
2001	1.000	4982
2002	1.000	5381

.....

SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS  
 DIRECCION GENERAL DE ANALISIS DE INVERSIONES

C - 4

OBRA CARRETERA LIBRE MEXICO - PUERCA  
 TIANO NUEVO DE DOS CARRETERAS

DIFERENCIAS DE COSTOS DE PREPARACION  
 (MILES DE PESOS)

AÑO	SIN PROYECTO	CON PROYECTO	BENEFICIOS
1981	0	0	0
1982	0	0	0
1983	16765	17568	-803
1984	18350	18752	-401
1985	20192	20041	150
1986	22328	21446	881
1987	25195	22979	2216
1988	28688	24525	4163
1989	32912	26386	6526
1990	37989	28397	9591
1991	44056	33735	13320
1992	52595	33453	19141
1993	63025	36612	26413
1994	77692	43280	34412
1995	88478	44537	43941
1996	100746	47472	51273
1997	114685	55187	59497
1998	130505	61796	68708
1999	148463	69632	79011
2000	168762	78240	90521
2001	191755	88388	103367
2002	207096	122526	84569

SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS  
DIRECCION GENERAL DE ANALISIS DE INVERSIONES

C - 3

OBRA CAPRETERA LIBRE MEXICO - PUEBLA  
TRAMO NUEVO DE DOS CARRILES  
LONGITUD 10.00 KM

CONDICIONES DEL TRANSITO  
A = 0.56  
B = 0.04  
C = 0.40

## CONDICIONES EN PRESENCIA DEL PROYECTO

AÑO	VELOCIDADES			COSTOS (KM)			COSTOS DE OPERACION ANUAL			TOTAL
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
1901	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0
1982	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0
1993	71	71	64	1.875	6.326	6.392	4779	1151	1163	1786
1994	70	70	63	1.871	6.355	6.383	5155	1245	1235	1775
1995	68	68	61	1.871	6.356	6.384	5562	1349	1313	2004
1986	67	67	60	1.870	6.383	6.395	6004	1463	1397	2146
1987	65	65	58	1.872	6.433	6.410	6484	1583	1490	2297
1988	64	64	58	1.875	6.601	6.549	7011	1746	1576	2452
1989	64	64	58	1.875	6.601	6.549	7581	1906	1689	2606
1990	62	62	56	1.882	6.771	6.791	8218	2112	1856	2835
1991	63	63	56	1.892	6.982	6.775	8924	2352	1945	3073
1992	58	58	52	1.905	7.235	6.802	9707	2632	2113	3345
1993	56	56	50	1.922	7.527	6.872	10576	2950	2307	3642
1994	54	54	49	1.942	7.861	6.984	11541	3336	2540	4028
1995	52	52	47	1.966	8.236	7.140	12614	3775	2814	4453
1996	51	51	45	1.992	8.651	7.330	13807	4283	3138	4947
1997	48	48	43	2.022	9.107	7.580	15134	4869	3518	5519
1998	46	46	41	2.055	9.604	7.864	16611	5546	3850	6179
1999	44	44	39	2.091	10.142	8.191	18256	6325	4250	6943
2000	42	42	38	2.130	10.721	8.561	20089	7221	4730	7824
2001	40	40	36	2.173	11.340	8.974	22131	8249	5297	8838
2002	39	39	35	2.223	12.051	9.481	24784	9424	5917	10002

SECRETARIA DE ASUNTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS  
DIRECCION GENERAL DE ANALISIS DE INVERSIONES

OBRA CARRETERA LIBRE MEXICO - PUEBLA

ANALISIS DE SENSIBILIDAD

TASA DE ACTUALIZACION 0.080

O/O INV	INVERSION EN EL TRAMO	SIN CONSIDERAR AUMENTOS EN TIEMPO		CONSIDERANDO AUMENTOS EN T.	
		I.R.	T.I.F.	I.R.	T.I.R.
80.0	\$ 49600000.0	4.46	19.93	6.17	22.96
100.0	\$ 62000000.0	3.54	17.92	4.90	20.81
120.0	\$ 74399984.0	2.94	16.34	4.06	19.12
140.0	\$ 86799968.0	2.51	15.04	3.47	17.75
160.0	\$ 99200016.0	2.19	13.94	3.03	16.58
180.0	\$ 111600000.0	1.94	12.99	2.69	15.59
200.0	\$ 124000000.0	1.74	12.16	2.41	14.71

TASA DE ACTUALIZACION 0.100

O/O INV	INVERSION EN EL TRAMO	SIN CONSIDERAR AUMENTOS EN TIEMPO		CONSIDERANDO AUMENTOS EN T.	
		I.R.	T.I.F.	I.R.	T.I.R.
80.0	\$ 45600000.0	3.43	19.93	4.69	22.96
100.0	\$ 62000000.0	2.70	17.92	3.72	20.81
120.0	\$ 74399984.0	2.24	16.34	3.09	19.12
140.0	\$ 86799968.0	1.91	15.04	2.64	17.75
160.0	\$ 99200016.0	1.67	13.94	2.30	16.59
180.0	\$ 111600000.0	1.48	12.99	2.04	15.59
200.0	\$ 124000000.0	1.33	12.16	1.83	14.71

SECRETARIA DE ASUNTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS  
 DIRECCION GENERAL DE ANALISIS DE INVERSIONES

OBRA CARRETEPA LIBRE MEXICO - PUERLA

ANALISIS DE SENSIBILIDAD

TASA DE ACTUALIZACION 0.120

O/O INV	INVERSION EN EL TRAMO	SIN CONSIDERAR AHORROS EN TIEMPO		CONSIDERANDO AHORROS EN T.	
		I.R.	T.I.R.	I.R.	T.I.R.
33.0	\$ 45600000.0	2.61	19.93	3.60	22.96
100.0	\$ 62000000.0	2.07	17.92	2.86	20.81
120.0	\$ 74399984.0	1.72	16.34	2.37	19.12
140.0	\$ 86799968.0	1.57	15.34	2.02	17.75
160.0	\$ 99200016.0	1.38	13.94	1.77	16.59
180.0	\$ 111600000.0	1.14	12.99	1.57	15.59
200.0	\$ 124000000.0	1.02	12.16	1.41	14.71

TASA DE ACTUALIZACION 0.140

O/O INV	INVERSION EN EL TRAMO	SIN CONSIDERAR AHORROS EN TIEMPO		CONSIDERANDO AHORROS EN T.	
		I.R.	T.I.R.	I.R.	T.I.R.
00.0	\$ 45600000.0	2.02	19.93	2.79	22.96
100.0	\$ 62000000.0	1.61	17.92	2.22	20.81
120.0	\$ 74399984.0	1.33	16.34	1.84	19.12
140.0	\$ 86799968.0	1.14	15.34	1.57	17.74
160.0	\$ 99200016.0	0.99	*****	1.37	16.59
180.0	\$ 111600000.0	0.88	*****	1.22	15.59
200.0	\$ 124000000.0	0.79	*****	1.09	14.71

SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS INDIANOS Y OBRAS PUBLICAS  
 DIRECCION GENERAL DE ANALISIS DE INVERSIONES

C - 4

OBRA CARRETERA LIBRE MEXICO - PUEBLA  
 TRAMO NUEVO DE CUATRO CARRILES

DIFERENCIAS DE COSTOS DE COTIFICACION  
 (MILES DE PESOS)

***** AÑO *****	***** SIN PROYECTO *****	***** CON PROYECTO *****	***** BENEFICIOS *****
1981	0	0	0
1982	0	0	0
1983	16765	12164	4570
1984	18350	13091	5269
1985	20192	14049	6142
1986	22328	15106	7221
1987	25195	16315	8880
1988	28608	17565	11123
1989	32912	18934	13978
1990	37989	20436	17553
1991	44056	22124	21931
1992	52595	23969	28626
1993	63025	25998	37026
1994	77692	28424	49268
1995	98478	31223	67255
1996	100746	34449	66296
1997	114685	38167	76517
1998	130505	42447	88056
1999	148443	47376	101067
2000	168762	53040	115721
2001	191755	59546	132208
2002	207096	67011	140084

\*\*\*\*\*

SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS  
 DIRECCION GENERAL DE ANALISIS DE INVERSIONES

C - 3.

OBRA CAFFETERA LIBRE MEXICO - PUEBLA  
 TRAMO NUEVO DE CLATPE CAFRILES  
 LONGITUD 10.00 KM

COMPOS. DEL TRANSITO  
 A = 0.50  
 B = 0.04  
 C = 0.46

## CONDICIONES EN PRESENCIA DEL PROYECTO

AÑO	VELOCIDADES			COSTOS (KM)			COSTOS DE OPERACION ANUAL			TOTAL
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
1931	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0
1932	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0
1933	71	71	71	1.3558	0.759	0.222	346	104	763	1215
1934	71	71	71	1.3558	0.720	0.187	373	112	822	1309
1935	71	74	71	1.3555	0.709	0.185	402	121	881	1404
1936	71	73	71	1.3554	0.697	0.183	434	130	945	1510
1937	71	73	71	1.3554	0.697	0.183	465	141	1021	1631
1938	71	71	71	1.3553	0.694	0.183	506	152	1097	1756
1939	71	71	71	1.3553	0.700	0.180	547	164	1181	1883
1940	66	71	66	1.3554	0.716	0.183	591	178	1273	2044
1941	66	66	66	1.3555	0.716	0.180	635	194	1377	2212
1942	66	66	66	1.3555	0.716	0.180	680	211	1492	2396
1943	66	66	66	1.3555	0.726	0.178	725	228	1618	2595
1944	66	66	66	1.3557	0.739	0.178	771	246	1754	2811
1945	66	66	66	1.3557	0.756	0.178	818	266	1901	3044
1946	66	66	66	1.3557	0.774	0.178	866	287	2059	3295
1947	66	66	66	1.3557	0.794	0.178	915	310	2229	3564
1948	66	66	66	1.3557	0.816	0.178	965	334	2411	3851
1949	66	66	66	1.3557	0.840	0.178	1017	360	2605	4155
1950	66	66	66	1.3557	0.866	0.178	1071	388	2813	4485
1951	66	66	66	1.3557	0.894	0.178	1127	417	3035	4841
1952	66	66	66	1.3557	0.924	0.178	1185	448	3271	5224
1953	66	66	66	1.3557	0.956	0.178	1245	480	3521	5635
1954	66	66	66	1.3557	0.990	0.178	1307	514	3785	6074
1955	66	66	66	1.3557	1.026	0.178	1371	550	4063	6541
1956	66	66	66	1.3557	1.064	0.178	1437	588	4355	7036
1957	66	66	66	1.3557	1.104	0.178	1505	628	4661	7559
1958	66	66	66	1.3557	1.146	0.178	1575	668	4981	8110
1959	66	66	66	1.3557	1.190	0.178	1647	710	5315	8689
1960	66	66	66	1.3557	1.236	0.178	1721	754	5663	9296
1961	66	66	66	1.3557	1.284	0.178	1797	800	6025	9931
1962	66	66	66	1.3557	1.334	0.178	1875	848	6401	10594
1963	66	66	66	1.3557	1.386	0.178	1955	898	6791	11285
1964	66	66	66	1.3557	1.440	0.178	2037	950	7195	12004
1965	66	66	66	1.3557	1.496	0.178	2121	1004	7613	12751
1966	66	66	66	1.3557	1.554	0.178	2207	1060	8045	13526
1967	66	66	66	1.3557	1.614	0.178	2295	1118	8491	14329
1968	66	66	66	1.3557	1.676	0.178	2385	1178	8951	15160
1969	66	66	66	1.3557	1.740	0.178	2477	1240	9425	16019
1970	66	66	66	1.3557	1.806	0.178	2571	1304	9913	16906
1971	66	66	66	1.3557	1.874	0.178	2667	1370	10415	17821
1972	66	66	66	1.3557	1.944	0.178	2765	1438	10931	18764
1973	66	66	66	1.3557	2.016	0.178	2865	1508	11461	19735
1974	66	66	66	1.3557	2.090	0.178	2967	1580	12005	20734
1975	66	66	66	1.3557	2.166	0.178	3071	1654	12563	21761
1976	66	66	66	1.3557	2.244	0.178	3177	1730	13135	22816
1977	66	66	66	1.3557	2.324	0.178	3285	1808	13721	23899
1978	66	66	66	1.3557	2.406	0.178	3395	1888	14321	25010
1979	66	66	66	1.3557	2.490	0.178	3507	1970	14935	26149
1980	66	66	66	1.3557	2.576	0.178	3621	2054	15563	27316
1981	66	66	66	1.3557	2.664	0.178	3737	2140	16205	28511
1982	66	66	66	1.3557	2.754	0.178	3855	2228	16861	29734
1983	66	66	66	1.3557	2.846	0.178	3975	2318	17531	31085
1984	66	66	66	1.3557	2.940	0.178	4097	2410	18215	32464
1985	66	66	66	1.3557	3.036	0.178	4221	2504	18913	33871
1986	66	66	66	1.3557	3.134	0.178	4347	2600	19625	35306
1987	66	66	66	1.3557	3.234	0.178	4475	2700	20351	36769
1988	66	66	66	1.3557	3.336	0.178	4605	2802	21091	38260
1989	66	66	66	1.3557	3.440	0.178	4737	2906	21845	39779
1990	66	66	66	1.3557	3.546	0.178	4871	3012	22613	41326
1991	66	66	66	1.3557	3.654	0.178	5007	3120	23395	42901
1992	66	66	66	1.3557	3.764	0.178	5145	3230	24191	44504
1993	66	66	66	1.3557	3.876	0.178	5285	3342	25001	46135
1994	66	66	66	1.3557	3.990	0.178	5427	3456	25825	47794
1995	66	66	66	1.3557	4.106	0.178	5571	3572	26663	49481
1996	66	66	66	1.3557	4.224	0.178	5717	3690	27515	51196
1997	66	66	66	1.3557	4.344	0.178	5865	3810	28381	52939
1998	66	66	66	1.3557	4.466	0.178	6015	3932	29261	54710
1999	66	66	66	1.3557	4.590	0.178	6167	4056	30155	56519
2000	66	66	66	1.3557	4.716	0.178	6321	4182	31063	58356
2001	66	66	66	1.3557	4.844	0.178	6477	4310	31985	60221
2002	66	66	66	1.3557	4.974	0.178	6635	4440	32921	62114
2003	66	66	66	1.3557	5.106	0.178	6795	4572	33871	64035
2004	66	66	66	1.3557	5.240	0.178	6957	4706	34835	65984
2005	66	66	66	1.3557	5.376	0.178	7121	4842	35813	67961
2006	66	66	66	1.3557	5.514	0.178	7287	4980	36805	69966
2007	66	66	66	1.3557	5.654	0.178	7455	5120	37811	71999
2008	66	66	66	1.3557	5.796	0.178	7625	5262	38831	74059
2009	66	66	66	1.3557	5.940	0.178	7797	5406	39865	76146
2010	66	66	66	1.3557	6.086	0.178	7971	5552	40913	78260
2011	66	66	66	1.3557	6.234	0.178	8147	5700	41975	80399
2012	66	66	66	1.3557	6.384	0.178	8325	5850	43051	82564
2013	66	66	66	1.3557	6.536	0.178	8505	6002	44141	84755
2014	66	66	66	1.3557	6.690	0.178	8687	6156	45245	86972
2015	66	66	66	1.3557	6.846	0.178	8871	6312	46363	89215
2016	66	66	66	1.3557	7.004	0.178	9057	6470	47495	91484
2017	66	66	66	1.3557	7.164	0.178	9245	6630	48641	93779
2018	66	66	66	1.3557	7.326	0.178	9435	6792	49801	96099
2019	66	66	66	1.3557	7.490	0.178	9627	6956	50975	98444
2020	66	66	66	1.3557	7.656	0.178	9821	7122	52163	100814
2021	66	66	66	1.3557	7.824	0.178	10017	7290	53365	103209
2022	66	66	66	1.3557	8.000	0.178	10215	7460	54581	105629
2023	66	66	66	1.3557	8.178	0.178	10415	7632	55811	108074
2024	66	66	66	1.3557	8.358	0.178	10617	7806	57055	110544
2025	66	66	66	1.3557	8.540	0.178	10821	7982	58313	113039
2026	66	66	66	1.3557	8.724	0.178	11027	8160	59585	115559
2027	66	66	66	1.3557	8.910	0.178	11235	8340	60871	118104
2028	66	66	66	1.3557	9.100	0.178	11445	8522	62171	120674
2029	66	66	66	1.3557	9.292	0.178	11657	8706	63485	123269
2030	66	66	66	1.3557	9.486	0.178	11871	8892	64813	125889
2031	66	66	66	1.3557	9.682	0.178	12087	9080	66155	128534
2032	66	66	66	1.3557	9.880	0.178	12305	9270	67511	131204
2033	66	66	66	1.3557	10.080	0.178	12525	9462	68881	133899
2034	66	66	66	1.3557	10.282	0.178	12747	9656	70265	136619
2035	66	66	66	1.3557	10.486	0.178	12971	9852	71663	139364
2036	66	66	66	1.3557	10.692	0.178	13197	10050	73075	142134
2037	66	66	66	1.3557	10.900	0.178	13425	10250	74501	144929
2038	66	66	66	1.3557	11.110	0.178	13655	10452	75941	147749
2039	66	66	66	1.3557	11.322	0.178	13887	10656	77395	150584
2040	66	66	66	1.3557	11.536	0.178	14121	10862	78863	153444
2041	66	66	66	1.3557	11.752	0.178	14357	11070	80345	156329
2042	66	66	66	1.3557	11.970	0.178	14595	11280	81841	159239
2043	66	66	66	1.3557	12.190	0.178	14835	11492	83351	162174
2044	66	66	66	1.3557	12.412	0.178	15077	11706	84875	165134
2045	66	66	66	1.3557	12.636	0.178	15321	11922	86413	168119

SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS  
DIRECCION GENERAL DE ANALISIS DE INVERSIONES

C - 3.

OBRA CAFFETERA LIBRE MEXICO - PUEBLA  
TRAMO NUEVO DE CLATPC CAPRILES  
LONGITUD 10.00 KM.

COMPOS. DEL TRANSITO  
A = 0.54  
B = 0.04  
C = 0.40

## CONDICIONES EN PRESENCIA DEL PROYECTO

ANO	VELOCIDADES			COSTOS (KM)			COSTOS DE OPERACION ANUAL			TOTAL
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
1981	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0
1982	76	76	72	1.358	5.759	4.222	3461	10468	7635	12194
1984	76	76	71	1.356	5.709	4.187	3732	11226	8222	13081
1985	74	74	70	1.355	5.709	4.187	4024	1222	8810	14045
1986	73	73	69	1.354	5.697	4.123	4366	1306	9454	15106
1987	73	73	66	1.354	5.697	4.123	4653	1410	10210	16315
1988	72	72	68	1.353	5.694	4.103	5068	1522	10974	17575
1989	71	71	67	1.354	5.709	4.086	5474	1642	11913	18934
1990	71	72	66	1.354	5.716	4.083	5915	1782	12737	20476
1991	68	68	65	1.357	5.774	4.088	6403	1945	13775	22124
1992	67	67	64	1.360	5.816	4.101	6928	2116	14924	23967
1993	66	66	63	1.363	5.860	4.120	7452	2306	16193	25996
1994	64	64	61	1.370	5.999	4.178	8143	2546	17734	28424
1995	62	62	56	1.380	6.166	4.262	8857	2826	19538	31223
1996	60	60	55	1.397	6.349	4.372	9649	3153	21647	34446
1997	58	58	55	1.406	6.438	4.505	10526	3533	24137	38167
1998	56	56	53	1.423	6.684	4.671	11501	3975	26975	42446
1999	54	54	51	1.441	7.106	4.859	12582	4488	30305	47337
2000	52	52	45	1.463	7.545	5.074	13785	5082	34175	53046
2001	50	50	47	1.485	8.000	5.314	15121	5768	38656	59546
2002	48	48	46	1.510	8.551	5.581	16607	6540	43843	67611

SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS  
DIRECCION GENERAL DE ANALISIS DE INVERSIONES

OBRA CARRETERA LIBRE MEXICO - PUEBLA

ANALISIS DE SENSIBILIDAD

TASA DE ACTUALIZACION 0.080

P/O INV	INVERSION EN EL TRAMO	SIN CONSIDERAR AHORROS EN TIEMPO I.P.	CONSIDERAR AHORROS EN TIEMPO I.P.	CONSIDERANDO AHORROS EN T. I.P.	CONSIDERANDO AHORROS EN T. I.P.
30.0	\$ 123200000.	2.15	15.15	2.77	17.50
100.0	\$ 154000000.	1.78	13.19	2.29	15.45
120.0	\$ 184799968.	1.52	11.66	1.96	13.86
140.0	\$ 215599936.	1.33	10.41	1.71	12.56
160.0	\$ 246400048.	1.18	9.36	1.51	11.47
180.0	\$ 277199872.	1.05	8.45	1.36	10.53
200.0	\$ 308000000.	0.94	7.66	1.23	9.71

TASA DE ACTUALIZACION 0.100

P/O INV	INVERSION EN EL TRAMO	SIN CONSIDERAR AHORROS EN TIEMPO I.P.	CONSIDERAR AHORROS EN TIEMPO I.P.	CONSIDERANDO AHORROS EN T. I.P.	CONSIDERANDO AHORROS EN T. I.P.
30.0	\$ 123200000.	1.72	15.15	2.20	17.50
100.0	\$ 154000000.	1.42	13.19	1.81	15.45
120.0	\$ 184799968.	1.20	11.56	1.54	13.86
140.0	\$ 215599936.	1.05	10.41	1.34	12.56
160.0	\$ 246400048.	0.93	*****	1.19	11.47
180.0	\$ 277199872.	0.83	*****	1.07	10.53
200.0	\$ 308000000.	0.75	*****	0.97	*****

SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS  
 DIRECCION GENERAL DE ANALISIS DE INVERSIONES

OBRA CARRETERA LIBRE MEXICO - PUEBLA

ANALISIS DE SENSIBILIDAD

TASA DE ACTUALIZACION 0.120

O/O INV	INVERSION EN EL TRAMO	SIN CONSIDERAR AUMENTOS EN TIEMPO		CONSIDERANDO AUMENTOS EN T.	
		I.F.	T.I.P.	I.F.	T.I.P.
30.0	\$ 123200000.	1.38	15.15	1.76	17.50
100.0	\$ 154000000.	1.14	13.19	1.44	15.45
120.0	\$ 184799968.	0.95	*****	1.23	13.86
140.0	\$ 215599936.	0.84	*****	1.06	12.56
160.0	\$ 246400048.	0.74	*****	0.94	*****
180.0	\$ 277199872.	0.66	*****	0.84	*****
200.0	\$ 308000000.	0.60	*****	0.76	*****

TASA DE ACTUALIZACION 0.140

O/O INV	INVERSION EN EL TRAMO	SIN CONSIDERAR AUMENTOS EN TIEMPO		CONSIDERANDO AUMENTOS EN T.	
		I.F.	T.I.P.	I.F.	T.I.P.
30.0	\$ 123200000.	1.12	15.15	1.42	17.50
100.0	\$ 154000000.	0.92	*****	1.16	15.45
120.0	\$ 184799968.	0.78	*****	0.99	*****
140.0	\$ 215599936.	0.68	*****	0.85	*****
160.0	\$ 246400048.	0.60	*****	0.75	*****
180.0	\$ 277199872.	0.53	*****	0.68	*****
200.0	\$ 308000000.	0.48	*****	0.61	*****

De la proyección de tránsito supuesta, se observa que la primera alternativa alcanza el nivel de eficiencia "b" en 1989 y llega al nivel de eficiencia "c" en 1994 lo que sucede dentro del horizonte estudiado, que abarca hasta el año 2002, mientras que la segunda alternativa llega al nivel "b" en 1994 y al "c" en 1999.

En este momento se debe tener presente que la evolución del tránsito se hizo bajo la hipótesis del 8% de crecimiento anual; entonces, no es recomendable planear una futura modernización sin estar a nivel "b". En este sentido, el nivel "b" funciona como una señal de alerta, si se llega al nivel "b" cuando se supuso, simplemente se estaría corroborando la hipótesis de crecimiento.

De las tablas del estudio de rentabilidad, se puede observar que la alternativa A, tiene una tasa interna de retorno de 20.81% considerando el 100% de la inversión, mientras la alternativa "B" tiene únicamente el 15.45%. El índice de rentabilidad para la primera alternativa es de 2.86 y para la segunda es de 1.44. Siguiendo el análisis de sensibilidad para diferentes porcentos de la inversión y para una tasa de actualización que varía del 8% al 20%. Se observa que la alternativa A es la más recomendable.

Se podría tratar de ahondar en el análisis haciendo una 2a. modernización en cada caso. Sin embargo, sería poco realista debido a las hipótesis de trabajo. Por otra parte, la selección de la alternativa A es más adecuada en caso de que la tasa de crecimiento disminuya, pudiendo ocasionar esto que la alternativa B no sea rentable. De cualquier manera, existe la posibilidad de ampliar a cuatro carriles la alternativa A.

## CONCLUSIONES

Es interesante hacer destacar algunos elementos de este trabajo:

- Se propone una metodología complementaria a la existente para conocer la calidad de operación de los caminos. Sobre esta metodología, es importante hacer notar los siguientes puntos:

1. Su implementación práctica implica realizar un muestreo a gran escala - abarcando tanto las secciones más características como los diferentes tipos de terreno.
2. El marco muestral no es difícil de determinar, ya que las diferentes secciones se podrían agrupar de la siguiente forma:

Sección	%
Menos de 8 m.	34.4
de 8 a 10 m.	48.0
de 10 a 12 m.	10.7
de 12 a 13.5 m.	4.3
cuatro o más carriles	2.6

- Haciendo una comparación entre los resultados obtenidos en 2.3, utilizando el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, y los obtenidos utilizando la metodología sintetizada en el capítulo VI, se pueden hacer las siguientes observaciones:

Siguiendo el procedimiento señalado por el manual, se determinan los diferentes volúmenes de servicio para el camino en cuestión, así como su nivel de servicio. Posteriormente, para determinar si la carretera funciona en forma adecuada, se debe hacer una proyección del tránsito, comparan

dola con la capacidad, de tal suerte que se pueda determinar el momento - en el que se llegará a dicha capacidad y por tanto, se hará la previsión de la modernización correspondiente.

La metodología propuesta logra la misma finalidad pero define explícitamente el criterio y los límites que determinan el adecuado funcionamiento del camino.

- También es importante mencionar la utilidad que puede tener la teoría de simulación en la realización de estudios carreteros. En este caso, si se logra dar validez a la simulación, se evitará el problema de realizar el muestreo a nivel nacional. Sin embargo, es necesario hacer un estudio estadístico a gran escala, ya que la información que se tiene a ese respecto es pobre, y por tanto la posibilidad de confrontar los resultados de la simulación con la realidad es reducida.
- El análisis de la red desde el punto de vista de Ingeniería de Tránsito - se puede realizar mediante un modelo de asignación de tránsito; en este sentido, el más utilizado es el modelo gravitacional, con el inconveniente de que es difícil lograr la información suficiente para calibrarlo adecuadamente. La metodología propuesta en este trabajo puede ser de gran utilidad para calificar la operación de los tramos ya que por una parte da una idea del "Nivel de Eficiencia" al que operan, y por otra, permite comparar los tramos, determinando prioridades para su modernización.
- El análisis de la red dentro del contexto socioeconómico nacional, es aún más complicado que el expuesto anteriormente, y es, finalmente, el decisivo en cuanto a la realización y modernización de tramos; esto es lógico ya que los recursos asignables a la creación de infraestructura carretera son

limitados. Aún si la decisión de la creación o modificación de un tramo tiene un fuerte matiz político, más que técnico, la metodología expuesta puede ser de gran utilidad para determinar un nivel de acondicionamiento adecuado.

### ANEXO ESTADISTICO

A continuación se presenta la información obtenida durante los aforos, así como el ajuste a la distribución Poisson que se realizó para justificar el uso del modelo de simulación.

Para cada aforo se muestra, en primera instancia, el número de arribos por -- sentido divididos por tipo de vehículo. En esta clasificación, A corresponde a automóviles y camionetas, B corresponde a autobuses y C agrega todos los camiones. En la misma página aparecen los tiempos que tardaron los vehículos -- en recorrer la distancia indicada en la parte superior.

Cabe mencionar que estas sesenta mediciones por sentido son independientes de los sesenta minutos de aforo.

Adjunta a la información obtenida de la muestra aparece la prueba de ajuste a la distribución Poisson, realizada por sentido. En la primera columna aparece el número de vehículos por intervalo, en la segunda aparecen el número de observaciones realizadas. A partir de esta información se obtuvo la media de observaciones, que fue utilizada como parámetro para la distribución Poisson.

Posteriormente aparecen las frecuencias teóricas según dicha distribución.

El parámetro D corresponde a la máxima diferencia entre la distribución de -- frecuencias acumuladas y el porcentaje de la distribución de frecuencias observadas.

La prueba de Kolmogorov-Smirnov, basada en dicha diferencia dice que la hipótesis nula se acepta para un nivel de significancia del 10% cuando  $D > 1.22/\sqrt{n}$  para un tamaño de muestra mayor de 40;  $1.22/\sqrt{60} = 0.158$

Entonces la hipótesis nula se acepta si  $D < 0.158$ .

- \* "Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers" por Jack R. -- Benjamin y C. Allen Cornell.

TABLA DE MUESTREO

CAHUETANA MEXICO - FUERZA

TRAMO STA. BARBARA

FECHA \_\_\_\_\_ HORA \_\_\_\_\_

DISTANCIA 83.6 METROS

A R R I B O S

T I E M P O S

MINUTO	SENTIDO 1			SENTIDO 2			MEDICION	S-1		S-2	
	A	R	C	A	R	U		TIEMPO	TIEMPO		
1	6			8	1	6	1	5.8	5.0		
2	2	0		0	1		2	5.2	4.4		
3	5	1	1	1	0		3	4.0	3.3		
4	10	0	3	2	0		4	5.1	3.1		
5	5	2	3	2	0		5	4.7	4.5		
6	6	0	2	7	1		6	6.1	3.3		
7	7	0	1	5	0		7	5.6	5.9		
8	6	1	3	2	0		8	7.0	4.4		
9	1	0	2	4	0		9	6.1	6.1		
10	1	0	2	4	0		10	5.0	5.0		
11	9	0	3	7	0		11	5.0	7.8		
12	3	0	2	7	0		12	5.3	4.6		
13	1	1	1	4	1		13	4.7	3.8		
14	3	1	2	4	1		14	4.2	3.8		
15	5	1	6	6	0		15	3.6	6.9		
16	6	2	2	1	0		16	4.8	6.0		
17	2	0	5	13	0		17	5.4	6.4		
18	6	0	3	2	0		18	4.5	4.8		
19	5	0	3	7	0		19	4.4	8.5		
20	3	1	2	5	1		20	6.0	8.5		
21	2	1	6	3	0		21	8.0	6.1		
22	9	0	7	5	0		22	2.1	6.9		
23	4	0	4	4	0		23	3.1	3.2		
24	7	0	4	2	0		24	4.4	6.6		
25	1	0	0	8	0		25	6.0	4.4		
26	6	0	6	2	0		26	4.8	8.8		
27	5	1	4	3	0		27	3.8	6.4		
28	8	0	2	12	1		28	4.1	7.8		
29	6	1	3	2	1		29	6.1	6.6		
30	7	0	6	9	0		30	9.1	8.1		
31	9	0	4	1	0		31	4.9	5.5		
32	4	1	2	13	0		32	6.2	6.3		
33	11	0	4	6	1		33	5.0	3.3		
34	6	0	1	4	0		34	8.0	8.8		
35	11	0	3	8	0		35	3.7	3.3		
36	8	0	1	8	0		36	3.2	6.8		
37	5	0	1	1	0		37	3.2	6.5		
38	2	0	0	4	0		38	2.7	6.5		
39	7	0	1	3	0		39	4.6	8.5		
40	3	1	4	7	1		40	5.8	6.3		
41	9	0	4	8	0		41	6.0	6.0		
42	9	0	5	10	1		42	5.1	5.3		
43	8	0	4	0	0		43	4.7	6.4		
44	6	0	0	0	0		44	5.5	7.6		
45	7	0	2	2	0		45	4.7	6.8		
46	3	0	3	4	0		46	2.8	6.0		
47	5	0	1	4	0		47	5.3	8.0		
48	3	1	3	4	0		48	4.6	6.0		
49	8	0	3	4	0		49	4.3	4.7		
50	8	0	1	1	0		50	6.5	6.3		
51	6	0	1	4	0		51	4.6	5.7		
52	1	0	3	10	2		52	4.8	5.7		
53	4	0	1	6	0		53	5.4	4.0		
54	5	0	1	5	0		54	5.1	6.3		
55	3	0	2	5	0		55	5.3	7.8		
56	7	0	3	1	0		56	4.7	7.8		
57	8	0	2	8	0		57	3.9	9.0		
58	5	1	3	3	0		58	2.4	5.8		
59	3	0	5	2	0		59	4.5	5.6		
60	5	0	3	8	0		60	5.7	4.6		

TABLA DE MUESTREO

CARRERA MEXICO PUEBLA

TRAMO STA. BARBARA

FECHA 8/SEPT/00

HORA 11.46 A.M.

DISTANCIA

83.6 METROS

A R R I B O S

T I E M P O S

MINUTO	SENTIDO 1			SENTIDO 2			MEDICION	S-1		S-2	
	A	B	C	A	B	C		TIEMPO	TIEMPO		
1	4	1	7	1	0	4	1	5.0	4.2		
2	3	0	3	7	1	4	2	5.4	7.8		
3	7	0	7	7	1	1	3	4.8	6.0		
4	1	0	8	6	0	4	4	3.9	6.2		
5	3	1	0	4	0	3	5	4.7	8.4		
6	4	0	2	6	0	3	6	4.2	7.1		
7	3	0	6	4	0	3	7	5.1	6.7		
8	8	0	1	5	1	5	8	4.8	3.9		
9	4	0	4	5	0	1	9	4.5	6.4		
10	3	0	4	1	1	1	10	5.1	9.5		
11	7	0	4	5	0	2	11	4.3	5.3		
12	0	1	5	4	0	1	12	4.1	5.2		
13	7	1	4	4	0	2	13	5.4	7.7		
14	4	1	6	3	0	3	14	6.3	4.1		
15	6	0	1	6	0	1	15	5.5	3.6		
16	3	0	1	6	0	0	16	5.7	6.9		
17	0	0	0	3	0	2	17	6.1	5.2		
18	6	0	6	6	1	3	18	6.1	6.0		
19	2	0	1	1	0	3	19	5.4	5.8		
20	7	0	11	3	0	2	20	6.9	7.6		
21	1	3	1	2	0	2	21	5.0	7.3		
22	3	0	9	4	0	4	22	5.5	7.9		
23	7	0	1	6	1	6	23	4.0	5.8		
24	2	0	2	6	0	4	24	5.7	5.4		
25	2	0	2	2	0	5	25	3.3	6.3		
26	2	0	1	1	0	2	26	5.3	4.6		
27	5	1	4	4	0	5	27	4.7	5.9		
28	2	0	2	6	2	5	28	6.9	7.2		
29	6	1	1	3	0	1	29	6.2	7.4		
30	7	1	4	6	0	1	30	6.6	7.0		
31	2	0	1	4	3	2	31	5.9	6.3		
32	8	0	7	6	0	3	32	6.2	5.0		
33	0	0	3	5	1	0	33	6.6	5.1		
34	4	0	3	2	0	1	34	5.5	6.0		
35	3	0	4	4	0	4	35	6.9	5.4		
36	1	1	3	2	0	3	36	5.1	6.5		
37	6	0	6	3	0	3	37	6.2	5.6		
38	3	0	3	6	0	3	38	5.3	5.3		
39	2	1	1	7	0	2	39	5.3	6.3		
40	2	1	1	3	0	3	40	4.5	5.3		
41	4	1	1	3	1	5	41	4.8	4.8		
42	11	0	2	3	0	1	42	6.9	6.4		
43	0	0	4	3	0	0	43	5.2	6.3		
44	4	0	8	4	1	1	44	3.9	6.0		
45	0	0	10	0	0	0	45	6.5	6.5		
46	5	0	4	5	0	6	46	4.2	5.6		
47	9	0	0	9	0	7	47	4.6	7.4		
48	6	0	2	11	1	4	48	5.0	7.0		
49	4	1	1	4	1	2	49	6.2	7.8		
50	3	1	1	7	0	2	50	6.4	6.5		
51	3	1	7	7	1	2	51	6.4	6.4		
52	6	0	5	6	0	3	52	6.8	6.0		
53	1	0	2	1	0	4	53	6.7	4.0		
54	3	0	2	1	0	1	54	6.4	7.6		
55	3	0	2	7	1	3	55	7.5	6.4		
56	1	0	1	1	0	4	56	4.1	5.4		
57	3	0	2	1	0	1	57	4.1	4.1		
58	1	0	1	1	0	1	58	4.1	4.1		
59	1	0	1	1	0	1	59	4.1	4.1		
60	1	0	1	1	0	1	60	4.1	4.1		

TABLA DE MUESTREO

CARRERA MEXICO - PUERLA TRAMO STA. BARBARA  
 FECHA 2/SEPT./60 HORA 11.50 A.M. DISTANCIA 83.6 METROS.

A R R I B O S

T I E M P O S

MINUTO	SENTIDO 1			SENTIDO 2			MEDICION	TIEMPO	
	A	B	C	A	B	C		E-1	A-2
1	2	0	3	2	0	0	1	5.6	5.2
2	4	0	3	2	0	0	2	5.5	5.3
3	1	0	2	6	0	1	3	4.7	6.5
4	13	0	6	6	1	3	4	5.0	7.3
5	3	0	1	5	1	1	5	6.2	3.0
6	0	0	1	4	0	2	6	4.0	6.8
7	5	0	7	3	0	0	7	5.5	6.8
8	7	0	7	3	0	2	8	5.0	8.8
9	5	1	6	10	0	3	9	3.8	5.4
10	2	0	4	5	1	3	10	5.2	5.8
11	0	0	4	7	1	3	11	5.0	6.4
12	6	0	7	1	0	3	12	5.6	5.1
13	4	1	1	7	0	4	13	5.3	4.8
14	9	1	11	9	0	4	14	3.9	5.2
15	5	0	3	2	0	1	15	4.2	5.0
16	3	0	3	5	0	2	16	4.7	7.6
17	3	1	1	4	1	4	17	5.1	8.0
18	5	0	3	6	1	3	18	4.8	5.4
19	2	0	2	1	0	1	19	5.8	6.0
20	2	0	6	7	1	4	20	6.2	5.1
21	7	0	3	2	0	2	21	5.0	6.2
22	0	0	3	1	0	4	22	6.3	6.0
23	0	0	1	5	0	2	23	6.2	6.6
24	1	0	3	0	0	4	24	4.9	3.1
25	10	1	4	11	0	4	25	5.1	5.1
26	2	1	1	2	0	0	26	3.8	4.0
27	3	0	3	2	1	1	27	6.3	6.7
28	2	1	0	5	0	2	28	5.2	7.4
29	2	0	2	4	1	2	29	3.9	7.3
30	5	0	6	2	0	1	30	7.3	6.9
31	3	0	3	7	0	0	31	4.9	5.3
32	8	0	6	5	0	0	32	5.0	5.8
33	8	0	6	5	0	0	33	6.1	4.3
34	1	0	0	1	1	3	34	5.8	5.4
35	4	0	2	6	1	2	35	6.2	6.1
36	3	0	0	4	1	6	36	4.3	4.7
37	4	0	3	1	0	5	37	4.6	6.0
38	1	0	3	3	0	3	38	4.2	6.2
39	6	0	0	2	0	2	39	5.2	6.7
40	0	0	1	2	0	3	40	5.2	3.4
41	8	1	1	7	0	3	41	5.3	4.4
42	3	1	4	11	0	3	42	6.3	8.6
43	6	0	1	5	0	5	43	5.3	4.6
44	4	0	4	2	1	3	44	4.0	6.3
45	6	0	1	4	1	3	45	4.8	4.9
46	2	0	1	5	0	2	46	5.1	5.2
47	3	0	1	5	0	0	47	4.6	8.6
48	3	1	4	2	0	0	48	3.0	7.3
49	5	0	6	6	0	4	49	5.1	5.3
50	10	0	5	8	1	4	50	2.9	4.6
51	2	0	3	5	0	2	51	4.0	3.8
52	4	0	2	2	0	2	52	4.6	3.2
53	4	0	1	6	0	2	53	5.1	4.8
54	5	0	6	7	0	3	54	5.2	5.8
55	5	0	4	7	0	6	55	5.2	5.8
56	3	1	2	4	0	4	56	5.0	6.6
57	3	1	3	5	1	0	57	4.3	4.2
58	5	0	5	2	0	5	58	6.3	5.5
59	7	1	3	4	0	0	59	6.2	6.3
60	3	1	3	3	1	3	60	4.1	1.2

TABLA DE MUESTREO

CARPINTERA MEXICO-PUEBLA

TRAMO STA. BARBARA

FECHA 3/SDT./80

HORA 12.13 P.M.

DISTANCIA 81.6 METROS.

A R R I B O S

T I E M P O S

MINUTO	SENTIDO 1			SENTIDO 2			MEDICION	TIEMPO	
	A	B	C	A	B	C		0-1	0-2
1	4	0	5	5	0	3	1	5.1	5.1
2	5	0	8	3	1	4	2	5.2	6.2
3	5	0	5	8	0	5	3	5.2	6.7
4	2	0	3	0	0	3	4	5.4	6.1
5	2	0	3	1	0	10	5	5.5	6.3
6	7	0	11	5	0	2	6	5.9	6.9
7	5	0	11	2	1	0	7	4.0	6.1
8	4	2	1	1	1	1	8	4.0	6.2
9	4	0	0	8	0	2	9	4.2	7.3
10	9	0	2	0	0	1	10	5.2	6.3
11	4	1	7	8	0	2	11	4.7	4.4
12	4	0	10	5	0	3	12	5.3	4.9
13	6	0	5	6	0	1	13	5.8	5.4
14	4	0	4	1	0	2	14	5.1	6.4
15	7	2	3	3	1	3	15	6.0	5.9
16	7	0	7	7	0	3	16	4.4	5.8
17	3	0	0	3	0	3	17	5.1	5.2
18	5	0	4	3	0	2	18	5.2	5.2
19	4	0	6	8	1	0	19	5.2	5.1
20	2	0	3	1	0	2	20	3.2	4.2
21	4	0	11	6	0	4	21	5.2	4.8
22	6	0	1	4	0	4	22	5.7	5.6
23	1	0	1	1	0	0	23	5.1	6.1
24	4	2	7	4	0	1	24	5.4	6.6
25	6	0	10	1	0	0	25	6.1	5.3
26	1	0	2	4	1	7	26	6.1	6.1
27	4	0	1	9	1	5	27	6.0	6.1
28	4	2	6	6	0	3	28	5.9	4.7
29	6	0	5	7	0	5	29	6.4	4.4
30	5	0	3	6	0	3	30	6.4	4.4
31	7	0	0	2	0	2	31	5.9	4.0
32	3	0	4	2	0	1	32	4.4	5.5
33	3	0	8	1	1	1	33	5.2	5.0
34	3	0	1	5	0	1	34	5.1	6.6
35	5	0	5	0	0	8	35	5.4	5.8
36	3	2	4	3	1	7	36	4.2	7.8
37	5	0	2	4	1	3	37	5.3	7.0
38	7	0	7	4	1	3	38	6.0	6.7
39	1	0	3	12	1	11	39	5.8	7.0
40	2	0	5	7	0	3	40	5.4	6.9
41	5	0	5	2	0	3	41	5.2	6.0
42	3	0	1	6	0	5	42	5.0	5.3
43	7	1	2	1	0	1	43	4.0	5.3
44	1	1	2	3	0	4	44	5.2	5.3
45	5	0	8	1	1	5	45	5.2	4.9
46	3	0	2	9	0	1	46	5.3	5.4
47	6	0	7	2	0	4	47	5.7	6.5
48	5	1	7	3	0	7	48	4.7	5.0
49	6	1	4	7	1	6	49	6.2	7.0
50	5	0	2	1	0	3	50	4.2	6.1
51	6	0	3	4	0	2	51	4.5	10.1
52	4	0	2	6	0	5	52	5.4	6.2
53	8	0	2	3	0	2	53	6.1	5.7
54	6	0	6	1	0	3	54	4.8	7.6
55	1	0	3	7	0	6	55	5.0	5.0
56	3	0	8	6	0	5	56	4.2	4.6
57	13	1	9	2	1	7	57	6.6	6.9
58	3	0	5	4	0	7	58	6.0	5.2
59	5	0	4	4	0	2	59	6.8	7.4
60	3	1	5	1	0	1	60	7.1	7.4

TABLA DE MUESTREO

CARRILERA MEXICO-TULCAN, V.F.E. TRAMO MEXICO-TEOTIHUACAN  
 FECHA                      HORA 12.02 P.M. DISTANCIA 67 KILOMETROS

A R R I B O S

T I E M P O S

MINUTO	SENTIDO 1			SENTIDO 2			MEDICION	TIEMPO	
	A	B	C	A	B	C		B-1	B-2
1	3	0	4	2	0	7	1	2.5	2.5
2	1	0	1	3	0	1	2	2.4	3.1
3	2	1	0	0	0	2	3	3.1	3.1
4	3	0	1	4	1	4	4	3.6	2.5
5	0	0	1	2	1	1	5	3.2	2.6
6	0	0	4	4	0	0	6	2.5	3.1
7	2	0	0	2	0	1	7	2.9	2.5
8	0	3	0	3	1	3	8	2.9	1.7
9	0	0	0	2	0	0	9	2.8	4.0
10	3	1	1	3	1	0	10	3.1	2.5
11	1	0	1	1	0	3	11	2.4	3.5
12	6	0	4	2	0	1	12	2.3	2.6
13	3	0	0	0	0	3	13	2.7	2.9
14	1	3	1	1	0	0	14	2.7	3.3
15	7	2	1	5	1	2	15	2.9	3.4
16	2	0	3	0	0	0	16	2.9	2.2
17	4	0	2	0	1	0	17	2.4	2.2
18	2	0	0	1	0	0	18	2.4	3.2
19	4	0	0	2	0	0	19	2.8	3.0
20	1	0	0	1	0	0	20	3.2	3.0
21	1	0	2	3	1	0	21	2.2	3.0
22	3	0	3	2	0	0	22	3.0	1.9
23	3	0	0	1	0	3	23	3.1	2.1
24	2	1	0	1	0	0	24	2.7	4.2
25	2	0	1	4	0	0	25	3.2	3.4
26	0	0	0	0	0	0	26	3.3	2.3
27	2	0	2	0	0	0	27	2.8	2.2
28	4	0	0	5	0	0	28	2.8	2.2
29	3	0	1	2	0	1	29	2.5	2.7
30	1	0	3	4	1	2	30	2.3	2.5
31	3	2	3	4	1	2	31	2.8	3.5
32	5	2	1	0	1	2	32	2.7	2.7
33	0	0	1	1	0	0	33	3.0	3.1
34	2	0	0	1	0	0	34	3.1	2.6
35	0	0	1	4	0	1	35	3.1	3.9
36	0	0	3	1	1	1	36	2.5	3.1
37	2	0	3	2	1	1	37	4.1	2.6
38	1	0	2	2	0	3	38	3.9	2.8
39	3	0	0	8	2	0	39	2.8	2.4
40	1	1	1	0	0	0	40	2.4	2.2
41	7	0	3	4	0	0	41	2.7	2.0
42	3	0	1	0	1	2	42	2.4	2.1
43	3	0	0	3	1	1	43	2.3	2.5
44	3	0	0	3	1	1	44	3.7	2.6
45	2	0	2	1	0	1	45	3.1	2.4
46	2	0	2	5	0	0	46	3.1	2.4
47	1	0	0	1	0	1	47	3.5	1.6
48	5	0	4	3	0	0	48	2.7	3.4
49	6	0	0	2	0	0	49	3.2	3.0
50	4	0	1	0	2	0	50	3.0	2.5
51	2	0	0	2	0	1	51	2.3	2.7
52	2	2	1	3	0	0	52	4.1	2.2
53	4	0	0	1	2	1	53	2.2	2.5
54	2	0	1	7	0	0	54	3.1	2.4
55	1	1	2	1	0	1	55	2.4	1.8
56	1	1	1	0	0	0	56	3.0	3.0
57	6	1	2	2	0	0	57	1.2	1.0
58	2	2	2	11	2	2	58	2.3	4.1
59	2	0	2	4	0	0	59	3.1	2.8
60	2	0	1	7	0	2	60	3.1	2.4

TARLA DE MUESTREO

CARRERA MEXICO-TUNAH, VER.

TRAMO MEXICO-TEOTIHUACAN

FECHA 4/SEPT./66 HORA 13.37 P.M. DISTANCIA 67 METROS

A R R I B O S

T I E M P O S

MINUTO	SENTIDO 1			SENTIDO 2			MENCION	TIEMPO	
	A	B	C	A	B	C		B-1	B-2
1	2	0	2	5	0	2	1	3.4	2.1
2	2	0	0	6	0	2	2	2.6	3.0
3	0	1	0	4	0	1	3	2.7	2.5
4	1	2	0	5	1	0	4	3.0	2.5
5	0	0	0	5	0	1	5	2.7	2.2
6	2	2	1	1	0	1	6	2.1	2.7
7	7	0	2	1	0	0	7	2.4	3.4
8	0	0	0	1	0	2	8	3.8	2.5
9	5	0	3	1	2	0	9	3.7	2.8
10	3	0	0	6	1	1	10	3.0	2.1
11	0	0	0	3	1	0	11	2.7	2.5
12	0	0	1	1	0	1	12	4.0	2.7
13	3	0	2	5	0	0	13	3.0	2.8
14	5	0	2	4	0	0	14	2.0	2.7
15	2	0	1	4	1	1	15	3.0	2.2
16	3	1	1	2	1	0	16	3.1	2.2
17	2	1	1	2	1	2	17	2.8	3.1
18	2	0	1	1	0	0	18	3.8	2.7
19	0	0	1	1	0	1	19	4.2	3.4
20	1	1	2	3	2	2	20	3.2	3.8
21	3	1	0	4	0	1	21	2.8	2.8
22	2	0	2	2	1	1	22	3.0	3.8
23	3	1	3	2	2	0	23	3.1	3.0
24	2	0	0	4	1	0	24	3.0	2.8
25	0	0	1	0	0	0	25	2.8	2.5
26	2	0	1	1	0	0	26	3.0	2.4
27	0	1	1	4	1	2	27	3.0	3.2
28	3	0	5	2	0	2	28	2.8	2.7
29	0	0	3	2	1	2	29	2.7	2.3
30	0	1	1	2	0	4	30	2.7	3.2
31	2	0	0	3	0	0	31	3.0	2.2
32	0	0	3	0	0	3	32	3.1	2.4
33	2	0	3	1	1	0	33	3.2	5.0
34	2	0	0	5	1	0	34	2.7	3.0
35	1	0	2	2	0	1	35	3.6	3.2
36	3	1	2	0	0	2	36	2.5	2.5
37	0	2	0	2	1	0	37	3.0	2.3
38	1	0	0	5	1	1	38	3.6	2.3
39	1	0	1	5	2	0	39	2.3	2.3
40	0	0	0	5	0	2	40	2.6	2.0
41	2	0	3	3	0	1	41	3.6	2.6
42	2	0	0	2	0	1	42	3.2	2.7
43	2	0	1	6	0	1	43	2.7	3.5
44	3	0	1	0	0	2	44	3.1	2.2
45	0	1	1	2	0	1	45	2.2	2.4
46	3	0	1	1	0	0	46	2.6	2.3
47	0	0	1	1	1	0	47	3.1	2.6
48	5	1	2	2	0	0	48	3.2	3.0
49	6	1	1	2	1	3	49	3.4	2.8
50	3	4	1	6	2	1	50	2.6	4.2
51	1	1	1	0	0	0	51	2.9	2.2
52	2	0	2	2	0	2	52	3.2	3.2
53	2	0	2	2	0	0	53	3.0	2.8
54	3	1	1	4	0	1	54	2.6	2.2
55	4	0	1	0	1	1	55	2.3	3.8
56	2	0	1	2	1	1	56	2.1	2.2
57	2	2	2	1	0	1	57	3.0	2.7
58	5	1	1	2	0	1	58	2.3	2.6
59	0	1	0	6	4	2	59	3.0	3.2
60	0	1	0	6	0	1	60	3.1	2.7

TABLA DE MUESTREO

CAÑADERA MEXICO-TUXPAN, V.R.

TRAMO MEXICO-TEOTIHUACAN

FUJIA 10/SEPT. '60

HORA 12.10 P.M.

DISTANCIA 57 METROS

A R R I B O S

T I E M P O S

MINUTO	SENTIDO 1			SENTIDO 2			MEDICION	B-1	
	A	B	C	A	B	C		TIEMPO	TIEMPO
1	0	0	0	1	0	0	1	3.2	2.7
2	1	1	0	5	0	2	2	3.2	2.1
3	0	1	1	0	0	0	3	3.3	3.1
4	4	3	1	6	0	1	4	2.5	2.1
5	3	2	0	4	0	0	5	2.9	1.8
6	3	0	2	5	1	0	6	3.5	1.2
7	2	1	3	4	2	1	7	5.1	1.4
8	2	0	0	3	1	0	8	4.3	1.5
9	6	0	6	2	1	3	9	3.8	1.1
10	6	0	0	0	0	0	10	3.8	1.9
11	2	0	1	2	1	1	11	3.0	2.3
12	3	0	2	5	1	0	12	4.2	2.5
13	7	0	3	1	0	0	13	3.7	1.8
14	0	1	1	5	0	0	14	3.3	2.5
15	1	0	0	5	0	2	15	3.4	2.1
16	0	1	1	3	0	0	16	2.6	2.7
17	4	1	0	3	0	2	17	3.4	2.8
18	5	0	2	3	0	1	18	3.0	3.4
19	4	0	1	0	0	0	19	2.9	3.3
20	3	0	2	2	2	2	20	2.6	2.3
21	3	0	2	0	0	0	21	1.1	1.9
22	6	0	3	0	0	3	22	2.2	3.1
23	7	0	1	1	1	1	23	2.2	3.6
24	7	0	1	2	0	0	24	3.3	3.1
25	1	1	0	2	1	2	25	3.3	2.8
26	5	1	0	5	0	0	26	3.4	3.0
27	1	0	0	2	0	1	27	2.6	3.3
28	3	0	0	0	0	1	28	3.5	2.4
29	5	0	3	0	1	0	29	3.1	2.7
30	7	1	0	1	0	1	30	2.7	2.2
31	3	0	0	2	1	2	31	4.0	2.5
32	3	1	0	2	1	2	32	2.4	3.1
33	0	0	0	0	0	2	33	3.6	2.6
34	4	0	0	4	0	1	34	2.0	2.4
35	4	0	3	0	0	2	35	3.1	2.3
36	3	0	2	3	4	3	36	3.0	2.3
37	0	0	2	2	0	0	37	3.0	2.7
38	0	0	0	3	0	2	38	2.5	2.8
39	1	0	1	2	0	1	39	3.8	2.3
40	0	0	4	5	0	2	40	2.8	2.4
41	2	0	1	1	0	0	41	4.0	2.3
42	2	0	2	1	1	0	42	3.1	3.1
43	2	0	2	1	1	0	43	2.7	3.0
44	2	0	0	1	1	2	44	3.2	2.5
45	2	0	0	3	3	0	45	2.8	2.5
46	1	1	0	4	0	0	46	2.0	1.0
47	1	1	1	1	1	0	47	3.0	3.6
48	2	0	3	2	0	0	48	3.2	3.2
49	5	0	5	2	0	0	49	2.7	3.6
50	4	1	1	2	0	1	50	3.0	2.0
51	4	0	1	3	0	1	51	3.2	2.9
52	0	0	0	3	0	0	52	3.6	2.8
53	2	0	3	1	0	2	53	3.7	2.5
54	0	0	0	2	0	2	54	3.1	3.0
55	0	0	0	3	1	4	55	3.5	3.1
56	5	1	1	0	0	1	56	3.3	2.3
57	2	0	0	3	0	1	57	3.0	2.3
58	1	0	0	2	0	0	58	3.0	2.3
59	4	1	2	1	0	1	59	3.1	2.1
60	2	0	1	5	0	0	60	3.1	2.1

TABLA DE MUESTREO

CARRETERA MEXICO - TUXTEPEC, VER.

TRAMO MEXICO - TEOHUACAN

FECHA 24 SEPT. 60

HORA 12.00

DISTANCIA 67 METROS

A R R I B O S

T I E M P O S

MINUTOS	SENTIDO 1			SENTIDO 2			MENCION	S-1		S-2	
	A	B	C	A	B	C		TIEMPO	TIEMPO		
1	2	0	0	1	0	1	1	2.8	3.1		
2	2	0	0	1	2	0	2	2.7	2.4		
3	1	1	0	0	0	0	3	2.9	3.1		
4	1	0	1	4	1	0	4	3.1	2.0		
5	3	0	1	1	1	0	5	3.3	2.3		
6	2	0	1	2	0	1	6	2.8	3.0		
7	2	0	1	1	0	1	7	2.6	2.7		
8	0	0	2	1	0	2	8	3.7	3.5		
9	4	0	2	1	0	2	9	3.5	3.8		
10	2	1	0	2	0	1	10	3.0	3.8		
11	0	1	1	0	1	2	11	2.2	3.9		
12	4	0	0	0	1	0	12	2.4	3.7		
13	0	0	1	1	0	1	13	3.5	3.8		
14	5	1	1	8	0	0	14	3.3	2.9		
15	1	0	0	1	0	1	15	2.5	2.3		
16	2	0	0	0	0	2	16	2.8	2.5		
17	2	0	0	3	0	0	17	2.7	2.4		
18	3	0	1	1	2	0	18	2.6	2.8		
19	2	0	0	1	1	0	19	2.4	2.3		
20	1	0	1	4	0	0	20	3.9	2.2		
21	9	1	1	0	1	3	21	3.9	2.2		
22	1	0	0	1	0	0	22	2.3	2.5		
23	2	0	2	4	0	1	23	3.0	2.7		
24	2	1	0	4	0	0	24	3.0	2.3		
25	0	0	0	5	1	1	25	2.8	2.3		
26	2	0	2	3	2	1	26	2.1	2.5		
27	4	1	1	1	1	0	27	2.4	2.2		
28	1	0	1	2	0	1	28	3.1	4.0		
29	1	0	0	3	1	0	29	2.8	3.4		
30	2	1	1	5	0	0	30	3.0	3.0		
31	2	0	0	0	0	0	31	2.7	2.5		
32	5	0	2	2	0	2	32	2.7	2.8		
33	4	0	1	0	0	0	33	2.8	2.3		
34	4	0	1	4	0	0	34	2.8	2.7		
35	5	0	2	1	1	1	35	3.5	2.4		
36	4	0	0	1	1	0	36	2.8	2.8		
37	1	1	3	1	0	0	37	2.7	1.9		
38	3	1	0	1	0	2	38	2.6	2.0		
39	6	1	1	2	0	1	39	2.4	3.0		
40	1	0	0	2	0	0	40	2.4	3.0		
41	2	0	1	4	0	1	41	2.4	2.5		
42	0	0	1	7	0	0	42	2.8	2.3		
43	1	1	0	7	0	0	43	3.4	1.9		
44	0	1	1	0	0	1	44	2.9	2.4		
45	1	0	0	3	1	0	45	2.6	2.6		
46	0	0	1	2	1	0	46	3.2	2.8		
47	0	0	1	2	1	0	47	3.0	2.4		
48	3	0	1	1	0	1	48	3.2	2.5		
49	0	0	1	2	2	2	49	3.5	2.9		
50	1	1	2	1	1	1	50	2.1	2.7		
51	1	0	1	6	2	1	51	2.1	2.1		
52	1	1	0	2	1	1	52	2.3	2.4		
53	4	0	0	3	0	0	53	2.7	2.7		
54	2	0	2	7	0	0	54	1.2	3.3		
55	0	0	2	0	0	0	55	3.0	3.2		
56	5	0	0	1	0	0	56	4.0	3.2		
57	0	0	0	1	0	0	57	3.2	3.3		
58	1	0	0	1	0	0	58	4.8	2.3		
59	1	1	0	2	0	2	59	3.0	2.8		
60	2	0	4	1	0	1	60	3.1	2.8		

TABLA DE MUESTROS

CARRILERA MIXCO-TUXMAN ER. TRAMO MEXICO-TOTIHUACAN  
 FECHA 9-IX-69 HORA 11:47 DISTANCIA 67 METROS

A R R I B O N

T I E M P O S

MINUTO	SENTIDO 1			SENTIDO 2			MEDICION	TIEMPO	
	A	B	C	A	B	C		B-1	B-2
1	1	0	1	2	0	0	1	3.0	2.7
2	3	2	1	2	0	1	2	3.0	3.5
3	2	1	0	2	0	0	3	3.0	2.9
4	2	0	0	4	0	0	4	3.7	3.2
5	0	0	2	3	0	0	5	2.8	2.5
6	3	0	0	3	0	1	6	3.6	2.7
7	1	0	0	2	0	0	7	3.0	2.3
8	1	0	0	4	0	0	8	3.5	2.6
9	3	1	1	4	2	2	9	3.2	2.6
10	4	1	1	1	0	0	10	3.8	2.6
11	2	0	1	4	1	0	11	3.4	4.5
12	2	0	1	0	0	1	12	2.8	2.7
13	3	0	2	1	0	2	13	3.0	1.3
14	0	2	2	2	0	0	14	2.7	2.6
15	1	1	0	2	1	1	15	4.3	2.5
16	3	1	1	1	1	0	16	4.2	2.4
17	2	0	0	2	1	0	17	2.8	2.5
18	2	0	1	1	0	0	18	2.7	2.8
19	1	0	1	1	1	1	19	3.0	2.7
20	0	0	2	3	0	0	20	2.8	2.7
21	3	2	0	0	0	0	21	4.3	2.8
22	5	2	0	0	0	1	22	3.2	3.1
23	1	0	0	1	0	0	23	2.7	2.5
24	6	2	2	3	1	2	24	2.1	3.1
25	1	0	0	3	1	0	25	3.8	3.0
26	1	0	1	0	0	0	26	3.8	2.5
27	5	0	1	3	0	2	27	2.3	2.6
28	2	2	1	1	0	0	28	2.8	2.9
29	1	0	1	0	1	0	29	3.3	3.5
30	4	0	0	0	0	2	30	3.2	2.5
31	2	2	3	2	0	2	31	3.0	2.7
32	1	0	1	8	0	1	32	3.6	2.1
33	1	0	2	4	2	0	33	3.8	2.8
34	4	0	1	1	1	0	34	2.3	3.3
35	3	0	1	1	0	0	35	3.1	1.1
36	4	0	0	4	0	2	36	2.9	1.5
37	1	0	0	4	1	1	37	2.9	2.3
38	1	0	1	2	1	0	38	3.3	2.3
39	4	3	1	2	0	0	39	2.7	2.2
40	0	0	2	2	0	0	40	3.6	2.7
41	1	0	2	1	0	0	41	2.5	2.8
42	2	0	1	2	0	0	42	3.3	2.6
43	2	1	1	5	1	0	43	3.2	2.5
44	2	0	1	3	1	0	44	2.6	2.3
45	2	0	2	3	1	3	45	2.9	2.4
46	4	0	1	3	1	0	46	3.8	3.2
47	3	0	0	2	0	1	47	2.6	2.4
48	0	1	0	1	0	1	48	2.8	2.6
49	2	0	0	1	0	1	49	2.7	2.1
50	3	0	2	1	0	0	50	2.7	2.1
51	0	0	0	1	0	2	51	2.1	2.2
52	8	1	2	0	0	6	52	3.6	2.2
53	10	2	4	9	2	0	53	2.9	2.6
54	1	1	2	1	0	0	54	2.8	2.6
55	1	0	3	1	0	1	55	3.0	2.8
56	0	0	0	1	0	0	56	3.6	2.8
57	2	1	4	7	1	2	57	2.5	2.4
58	2	1	2	1	1	2	58	4.2	2.3
59	3	0	0	3	0	1	59	1.7	2.8
60	1	0	2	1	0	2	60	3.0	2.7

TARLA DE MUESTREO

CARRITERA MEXICO-TUXTEPEC VER.

TRAMO MEXICO-TEOTIHUACAN

FECHA 12/07/1960 HORA 12.00

INSTANCIA 67 METROS

A R R I T O S

T I E M P O S

MINUTO	SENTIDO 1			SENTIDO 2			MEDICION	8-1		8-2	
	A	B	C	A	B	C		TIEMPO	NUMERO	TIEMPO	NUMERO
1	2	0	1	1	0	0	1	3.0	4.1		
2	0	1	0	1	0	0	2	3.0	3.8		
3	3	1	2	4	1	2	3	2.3	3.1		
4	0	1	1	4	1	2	4	2.4	2.4		
5	5	1	5	1	1	0	5	3.1	2.3		
6	1	0	2	1	0	0	6	2.6	2.5		
7	1	0	0	1	0	1	7	2.7	2.3		
8	1	0	0	1	0	0	8	2.1	2.4		
9	1	0	0	0	0	0	9	3.0	2.5		
10	1	0	0	8	0	2	10	2.9	2.4		
11	1	1	0	0	0	0	11	2.7	2.1		
12	0	0	0	3	0	1	12	2.7	2.0		
13	1	1	0	2	1	0	13	2.0	2.5		
14	1	0	4	2	0	0	14	3.4	1.1		
15	0	0	4	1	1	2	15	3.2	2.7		
16	2	1	2	1	1	0	16	2.8	2.5		
17	1	0	2	1	0	2	17	2.8	2.5		
18	1	0	1	1	0	0	18	2.5	2.0		
19	1	0	1	0	0	0	19	2.7	2.1		
20	4	1	0	1	1	1	20	2.8	2.3		
21	4	0	1	2	1	0	21	2.9	2.2		
22	4	2	1	3	1	3	22	3.7	3.3		
23	3	1	0	0	0	2	23	1.2	1.1		
24	5	0	0	0	0	0	24	2.4	2.3		
25	1	1	1	0	0	1	25	2.7	2.1		
26	0	0	0	6	1	1	26	2.8	2.5		
27	3	0	2	4	1	2	27	2.8	2.5		
28	3	0	0	1	0	1	28	2.5	2.6		
29	1	0	0	1	0	2	29	2.8	2.5		
30	1	0	2	1	1	0	30	2.8	2.2		
31	1	1	4	2	0	1	31	2.5	2.2		
32	2	0	1	1	2	1	32	2.5	2.5		
33	1	1	0	1	0	1	33	2.3	1.3		
34	1	0	0	3	0	3	34	1.8	2.7		
35	1	0	2	3	0	0	35	2.5	2.2		
36	5	1	2	3	1	0	36	2.0	2.2		
37	6	1	2	4	0	0	37	3.5	2.3		
38	5	1	0	2	0	0	38	2.2	3.1		
39	1	0	2	6	0	0	39	2.5	1.1		
40	7	0	0	2	0	0	40	3.2	2.6		
41	2	0	7	1	0	7	41	3.2	2.2		
42	2	0	0	5	0	1	42	1.9	1.9		
43	1	0	0	5	1	2	43	2.6	2.6		
44	1	0	1	0	0	0	44	1.1	2.5		
45	0	0	0	1	2	0	45	2.3	2.3		
46	0	1	1	0	1	2	46	2.9	3.2		
47	2	0	0	0	0	0	47	3.8	2.6		
48	5	1	2	2	0	1	48	2.2	3.2		
49	4	0	0	4	0	2	49	2.0	1.1		
50	1	0	2	1	0	1	50	2.0	3.0		
51	1	0	2	1	0	1	51	1.7	2.4		
52	3	1	1	5	0	0	52	2.3	2.1		
53	2	1	1	2	1	2	53	3.7	2.2		
54	4	0	0	3	1	0	54	2.7	2.4		
55	2	1	0	2	1	2	55	3.4	2.0		
56	1	0	0	2	0	1	56	2.9	2.5		
57	7	1	2	3	0	1	57	2.8	2.5		
58	1	0	0	1	0	0	58	1.2	2.6		
59	1	0	1	6	1	1	59	2.7	3.0		
60	1	0	0	1	1	1	60				

TABLA DE MUESTREO

CARRETERA MEXICO-PUERTO

TRAMO . . . STA. DAMBARA-PUERTO

FECHA 20 AGOSTO '69 HORA 11.05 a 14.05

DISTANCIA 75 KILOMETROS

A R R I B O S

T I E M P O S

MINUTO	SENTIDO 1			SENTIDO 2			MEDICION	TIEMPO	
	A	B	C	A	B	C		S-1	S-2
1	2	7	3	0	0	1	1	5.1	5.0
2	2	0	3	1	0	2	2	4.7	4.7
3	0	0	3	0	0	2	3	5.7	5.8
4	0	0	2	2	0	2	4	4.9	4.8
5	0	0	3	1	0	2	5	5.2	5.4
6	0	0	3	0	0	3	6	5.7	6.0
7	2	0	3	2	0	3	7	4.0	4.2
8	0	0	2	2	1	0	8	3.4	3.2
9	1	0	2	1	1	2	9	4.8	4.8
10	0	0	1	1	0	1	10	3.7	3.0
11	4	0	4	2	1	4	11	6.2	6.3
12	1	0	1	0	0	2	12	4.4	4.0
13	1	0	0	1	0	4	13	4.1	5.0
14	2	0	2	2	0	0	14	10.0	5.1
15	3	1	3	3	0	0	15	5.0	5.6
16	1	0	0	2	0	1	16	4.8	3.7
17	0	0	0	2	0	2	17	3.8	3.2
18	1	0	2	1	0	1	18	5.2	4.2
19	2	0	2	1	0	1	19	3.7	5.1
20	2	0	0	2	0	1	20	5.0	5.8
21	2	0	4	1	0	0	21	3.9	5.3
22	0	0	5	1	1	1	22	5.6	4.4
23	1	0	1	1	0	1	23	5.0	5.5
24	1	0	2	1	0	2	24	5.9	4.7
25	2	0	1	4	0	1	25	4.5	4.7
26	1	0	0	2	0	1	26	8.0	6.0
27	0	0	1	2	0	4	27	4.5	5.1
28	0	0	0	1	0	1	28	3.2	4.0
29	0	0	8	1	0	0	29	5.3	5.2
30	1	0	1	0	0	0	30	3.5	5.6
31	0	0	1	0	0	3	31	4.2	5.2
32	0	0	5	0	0	3	32	2.1	4.0
33	0	0	2	0	0	1	33	2.4	4.2
34	0	0	2	1	0	2	34	4.6	5.4
35	1	0	3	1	0	0	35	4.2	5.3
36	1	0	1	2	0	1	36	7.0	5.5
37	1	0	3	1	0	1	37	5.0	5.4
38	1	0	2	1	0	3	38	3.6	5.2
39	1	0	3	0	0	1	39	5.0	4.7
40	3	0	0	2	0	0	40	5.1	4.6
41	1	0	0	1	0	1	41	5.4	4.5
42	0	0	3	2	0	2	42	4.9	6.3
43	0	0	2	1	0	5	43	4.0	4.8
44	0	0	2	1	0	0	44	5.1	3.7
45	0	0	2	0	0	0	45	4.4	4.0
46	4	0	6	2	0	1	46	6.5	5.1
47	0	0	3	0	0	0	47	4.5	5.3
48	0	0	0	4	0	2	48	5.0	5.0
49	0	0	1	1	0	0	49	5.1	5.7
50	0	0	1	2	1	1	50	4.9	5.5
51	0	0	2	0	0	1	51	4.0	5.0
52	2	0	3	0	0	2	52	4.0	5.2
53	0	0	1	1	0	1	53	4.1	5.3
54	2	0	1	2	0	2	54	4.0	4.2
55	1	0	1	0	0	2	55	5.3	4.1
56	0	0	2	1	0	0	56	4.8	3.5
57	2	1	6	1	0	2	57	6.0	5.2
58	1	0	1	2	0	2	58	4.3	4.8
59	0	0	2	1	0	0	59	5.1	4.5
60	0	0	1	0	1	2	60	5.1	4.2

MAPA DE MUESTREO

CARRETERA MEXICO - PUERTO TRAMO 27A. CALAPA

FUJCHA 22/10/1960 HORA 14.04 a 15.04 DISTANCIA 75 METROS

A R R I B O S

T I E M P O S

MINUTO	SENTIDO 1			SENTIDO 2			MEDICION	S-1		S-2	
	A	B	C	A	B	C		TIEMPO	TIEMPO		
1	3	0	1	0	0	0	1	7			
2	2	0	1	1	0	7	2	6		5	
3	1	0	1	0	0	2	3	10		8	
4	1	1	1	1	0	1	4	23		9	
5	0	0	2	0	0	3	5	9		13	
6	1	0	1	1	1	3	6	7		7	
7	1	0	1	0	0	1	7	5		7	
8	1	0	1	1	0	5	8	7		5	
9	1	0	2	0	0	2	9	7		7	
10	0	0	0	2	0	2	10	5		7	
11	1	0	2	0	0	3	11	5		7	
12	2	0	1	1	0	1	12	6		10	
13	1	0	4	1	0	2	13	6		6	
14	1	0	1	2	0	5	14	3		5	
15	1	0	3	1	0	0	15	5		10	
16	0	0	1	2	0	4	16	14		7	
17	0	0	3	0	0	2	17	7		10	
18	0	0	2	0	1	1	18	5		6	
19	0	0	1	3	0	2	19	7		6	
20	2	0	0	0	0	0	20	5		6	
21	0	0	0	2	0	2	21	7		6	
22	1	0	7	2	0	2	22	6		5	
23	1	0	3	0	0	0	23	5		6	
24	0	0	3	0	0	1	24	6		6	
25	0	0	1	1	0	2	25	5		5	
26	0	0	2	2	0	1	26	7		7	
27	0	0	0	0	0	2	27	7		5	
28	0	0	4	1	0	0	28	6		6	
29	1	1	2	1	0	0	29	7		5	
30	1	1	3	0	0	1	30	17		5	
31	1	1	0	0	0	0	31				
32	2	0	0	2	0	7	32				
33	1	0	7	4	0	3	33				
34	2	0	2	0	0	5	34				
35	1	0	2	0	2	3	35				
36	2	0	4	0	0	1	36				
37	1	0	2	1	0	2	37				
38	1	0	2	2	0	2	38				
39	0	0	2	0	0	1	39				
40	1	0	4	1	0	0	40				
41	2	1	2	1	0	2	41				
42	0	0	0	1	0	1	42				
43	1	0	0	0	0	2	43				
44	0	0	0	0	0	2	44				
45	0	0	1	1	0	1	45				
46	2	0	1	0	0	1	46				
47	2	0	7	1	0	2	47				
48	5	0	1	1	0	1	48				
49	2	0	2	3	0	1	49				
50	1	0	2	0	0	2	50				
51	0	0	3	2	0	8	51				
52	0	0	2	1	0	5	52				
53	2	0	1	1	0	5	53				
54	1	0	0	0	0	2	54				
55	1	0	1	0	0	2	55				
56	0	0	2	0	0	4	56				
57	1	1	1	0	0	2	57				
58	1	0	2	0	0	1	58				
59	2	0	5	0	0	2	59				
60	0	0	1	0	0	1	60				

1 S1.

NUMERO DE VEHICULOS POR INTERVALO	NUMERO DE INTERVALOS OBSERVADOS	NUMERO DE INTERVALOS TEORICOS ( SEGUN POISSON ) .
0	5	3.24
1	8	9.6
2	13	13.8
3	15	13.44
4	10	9.78
5	3	5.7
6	3	2.76
7	1	0.14
8	2	0.42

Media = 2.91

Dif. Máx. = 0.029

1 S2.

0	2	2.7
1	11	8.4
2	21	13.2
3	9	13.2
4	4	10.2
5	5	6.6
6	3	3.6
7	2	1.5
8	1	0.6
9	1	0.18
10	1	0.06

Media = 3.0

Dif. Máx. = 0.143

2 S1.

NUMERO DE VEHICULOS POR INTERVALO	NUMERO DE INTERVALOS OBSERVADOS	NUMERO DE INTERVALOS TEORICOS ( SEGUN POISSON ).
0	2	2.22
1	8	7.32
2	17	12.06
3	11	13.2
4	7	10.8
5	8	7.2
6	1	3.96
7	2	1.86
8	2	0.78
9	1	0.3
10	1	0.12

Media = 3.3

Dif. Máx. = 0.091

2 S2.

0	2	2.7
1	11	8.4
2	12	12.96
3	14	13.44
4	8	10.38
5	5	6.42
6	6	3.36
7	1	1.5
8	0	0.06
9	1	0.18

Media = 3.1

Dif. Máx. = 0.039

3 S1.

NUMERO DE VEHICULOS POR INTERVALOS	NUMERO DE INTERVALOS OBSERVADOS	NUMERO DE INTERVALOS TEORICOS ( SEGUN POISSON ) .
0	4	0.42
1	7	2.1
2	3	5.22
3	8	8.58
4	7	10.62
5	10	10.5
6	4	8.7
7	6	6.12
8	3	3.78
9	1	2.1
10	2	1.02
11	1	0.48
12	2	0.192
13	1	0.072
14	0	0.0
15	1	0.0

Media = 4.95

Dif. Máx. = 0.141

3 S2.

0	6	1.26
1	5	4.92
2	7	9.48
3	12	12.12
4	10	11.7
5	4	9.0
6	6	5.76
7	4	3.18
8	4	1.5
9	0	0.66
10	2	0.24

Media = 3.85

Dif. Máx. = 0.08

4 S1.

NUMERO DE VEHICULOS POR INTERVALO	NUMERO DE INTERVALOS OBSERVADOS	NUMERO DE INTERVALOS TEORICOS ( SEGUN POISSON)
0	2	0.72
1	3	3.3
2	12	7.2
3	12	10.5
4	8	11.52
5	6	10.08
6	5	7.38
7	6	4.62
8	2	2.52
9	0	1.26
10	1	0.54
11	1	0.24
12	0	0.06
13	1	0.0
14	0	0.0
15	0	0.0
16	1	0.0

Media = 4.383Dif. Máx. = 0.121

4 S2.

0	2	1.56
1	8	5.76
2	14	10.44
3	11	12.66
4	6	11.52
5	6	8.34
6	6	5.04
7	2	2.64
8	2	1.2
9	1	0.48
10	0	0.18
11	0	0.06
12	1	0.0

Media = 3.63Dif. Máx. = 0.103

NUMERO DE VEHICULOS POR INTERVALO	NUMERO DE INTERVALOS OBSERVADOS	NUMERO DE INTERVALOS TEORICOS ( SEGUN POISSON ) .
0	2	1.44
1	11	5.29
2	10	9.9
3	5	12.42
4	15	11.64
5	3	8.7
6	8	5.46
7	2	2.94
8	1	1.38
9	1	0.6
10	1	0.24
11	0	0.06
12	0	0.0
13	0	0.0
14	0	0.0
15	1	0.0

Media = 3.75Dif. Máx. = 0.106

0	6	1.56
1	4	5.7
2	8	10.38
3	15	12.66
4	9	11.52
5	7	8.4
6	2	5.1
7	4	2.7
8	2	1.2
9	3	0.48

Media = 3.65Dif. Máx. = 0.074

NUMERO DE VEHICULOS POR INTERVALO	NUMERO DE INTERVALOS OBSERVADOS	NUMERO DE INTERVALOS TEORICOS (SEGUN POISSON)
0	5	0.48
1	3	2.4
2	8	5.76
3	7	9.18
4	7	10.98
5	8	10.5
6	5	8.34
7	5	5.7
8	5	3.42
9	2	1.8
10	2	0.84
11	1	0.36
12	1	0.18
13	1	0.06

Media = 4.783Dif. M&x. = 0.123

0	3	1.14
1	5	4.44
2	14	8.88
3	8	11.76
4	4	11.7
5	5	9.36
6	10	6.18
7	9	3.54
8	1	1.74
9	0	0.78
10	1	0.3

Media = 3.983Dif. M&x. = 0.138

7 S1.

NUMERO DE VEHICULOS POR INTERVALO	NUMERO DE INTERVALOS OBSERVADOS	NUMERO DE INTERVALOS TEORICOS (SEGUN POISSON)
0	4	1.38
1	9	5.16
2	10	9.78
3	11	12.3
4	9	11.64
5	4	8.82
6	2	5.58
7	2	3.0
8	5	1.44
9	2	0.6
10	0	0.24
11	0	0.06
12	1	0.0
13	1	0.0

Media = 3.783

Dif. Máx. = 0.112

7 S2.

0	2	0.72
1	4	3.3
2	12	7.2
3	8	10.5
4	7	11.52
5	9	10.08
6	4	7.38
7	5	4.62
8	5	2.52
9	3	1.26
10	0	0.54
11	0	0.24
12	1	0.06

Media = 4.384

Dif. Máx. = 0.113

NUMERO DE VEHICULOS POR INTERVALO	NUMERO DE INTERVALOS OBSERVADOS	NUMERO DE INTERVALOS TEORICOS (SEGUN POISSON)
0	2	0.66
1	6	3.0
2	9	6.72
3	13	10.14
4	7	11.4
5	7	10.26
6	3	7.68
7	3	4.92
8	1	2.76
9	3	1.38
10	3	0.6
11	0	0.24
12	1	0.12
13	1	0.06
14	0	0.0
15	1	0.0

Media = 4.5Dif. Máx. = 0.1577

0	4	1.2
1	8	4.62
2	11	9.06
3	8	11.94
4	11	11.7
5	4	9.24
6	3	6.06
7	3	3.42
8	3	1.68
9	1	0.72
10	2	0.3
11	1	0.12
12	0	0.06
13	0	0.0
14	0	0.0
15	1	0.0

Media = 3.93Dif. Máx. = 0.135

NUMERO DE VEHICULOS POR INTERVALO	NUMERO DE INTERVALOS OBSERVADOS	NUMERO DE INTERVALOS TEORICOS (SEGUN POISSON)
3	1	0.48
4	5	1.2
5	4	2.34
6	4	3.9
7	7	5.52
8	2	6.84
9	5	7.56
10	6	7.5
11	5	6.78
12	2	5.58
13	8	4.26
14	3	3.06
15	5	2.04
16	1	1.26
17	0	0.72
18	0	0.42
19	0	0.24
20	0	0.12
21	1	0.06
22	1	0.24

Media = 9.93Dif. Mx. = 0.127

NUMERO DE VEHICULOS POR INTERVALO	NUMERO DE INTERVALOS OBSERVADOS	NUMERO DE INTERVALOS TEORICOS (SEGUN POISSON)
1	1	0.12
2	2	0.48
3	5	1.38
4	3	2.88
5	4	4.8
6	7	6.72
7	4	7.98
8	5	8.34
9	5	7.68
10	8	6.42
11	6	4.86
12	2	3.36
13	3	2.16
14	2	1.26
15	1	0.72
16	0	0.36
17	1	0.18
18	0	0.06
19	0	0.06
20	0	0.0
21	0	0.0
22	0	0.0
23	0	0.0
24	1	0.0

Media = 8.32Dif. M&x. = 0.102

NUMERO DE VEHICULOS POR INTERVALO	NUMERO DE INTERVALOS OBSERVADOS	NUMERO DE INTERVALOS TEORICOS ( SEGUN POISSON ).
1	2	0.102
2	0	0.42
3	3	1.26
4	5	2.7
5	3	4.56
6	11	6.42
7	6	7.8
8	5	8.28
9	3	7.8
10	7	6.6
11	1	5.1
12	3	3.6
13	3	2.34
14	0	1.44
15	4	0.78
16	2	0.42
17	0	0.24
18	0	0.12
19	1	0.06
20	0	0.0
21	1	0.0

Media = 8.48Dif. Máx. = 0.142

0	1	0.0
1	1	0.3
2	3	1.08
3	1	2.64
4	5	4.8
5	9	7.2
6	5	8.72
7	10	8.88
8	4	8.1
9	7	6.6
10	5	4.8
11	2	3.0
12	2	1.8
13	2	1.08
14	1	0.54
15	1	0.06
16	0	0.12
17	1	0.0

Media = 7.3Dif. Máx. = 0.069

NUMERO DE VEHICULOS POR INTERVALO	NUMERO DE INTERVALOS OBSERVADOS	NUMERO DE INTERVALOS TEORICOS (SEGUN POISSON)
0	2	0.0
1	0	0.12
2	0	0.42
3	3	1.26
4	7	2.64
5	2	4.5
6	8	6.06
7	2	7.74
8	5	8.28
9	9	7.8
10	2	6.6
11	5	5.1
12	7	3.6
13	3	2.4
14	1	1.44
15	1	0.84
16	0	0.42
17	1	0.12
18	2	0.00

Media = 8.5Dif. Máx. = 0.126

NUMERO DE VEHICULOS POR INTERVALO	NUMERO DE INTERVALOS OBSERVADOS	NUMERO DE INTERVALOS TEORICOS (SEGUN POISSON)
1	1	0.234
2	0	0.9
3	4	2.22
4	3	4.26
5	8	6.42
6	8	8.1
7	8	8.76
8	5	8.28
9	10	6.96
10	4	5.28
11	4	3.6
12	2	2.28
13	0	1.32
14	0	0.72
15	1	0.36
16	2	0.18

Media = 7.57Dif. Máx. = 0.038

NUMERO DE VEHICULOS POR INTERVALO	NUMERO DE INTERVALOS OBSERVADOS	NUMERO DE INTERVALOS TEORICOS (SEGUN POISSON)
2	1	0.36
3	2	1.08
4	2	2.34
5	2	4.08
6	7	5.94
7	5	7.38
8	11	8.1
9	7	7.86
10	10	6.9
11	1	5.46
12	5	4.02
13	3	2.7
14	2	1.68
15	0	0.96
16	1	0.54
17	1	0.3

Media = 8.75Dif. M&x. = 0.05

NUMERO DE VEHICULOS POR INTERVALO	NUMERO DE INTERVALOS OBSERVADOS	NUMERO DE INTERVALOS TEORICOS ( SEGUN POISSON)
1	1	0.06
2	1	0.3
3	2	0.9
4	7	1.98
5	3	3.54
6	6	5.4
7	5	6.96
8	5	7.86
9	4	7.92
10	5	7.14
11	3	5.88
12	4	4.44
13	3	3.06
14	2	1.98
15	2	1.2
16	6	0.66
17	0	0.36
18	0	0.18
19	0	0.06
20	1	0.0

Media = 9.05Dif. M&x. = 0.131

REFERENCIAS

- (1) Niles M. Hansen, "Unbalanced Growth and Regional Development", en Regional Economics, David L. Mc Kee, Robert D. Dean y William H. Leahy (eds.), the Free Press, Nueva York, 1970.
- (2) Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.
- (3) "Desarrollo de un modelo que capte las variaciones globales económicas en un tramo carretero, al variar los parámetros ligados al mismo" Roberto Magallanes, Instituto de Ingeniería, UNAM.
- (4) Plan Global de Desarrollo, México, 1980-1982.
- (5) Plan Nacional de Desarrollo Urbano. SAHOP.
- (6) Población de América Latina, boletín Demográfico. CELADE, Vols. I-VII.
- (7) "El Desarrollo Urbano en México: Diagnóstico e Implicaciones Futuras". Luis Unikel, Colegio de México.
- (8) "Operación de Vehículos en Pendientes", Roberto Magallanes y Gonzalo -- Negroe. Instituto de Ingeniería, UNAM.
- (9) "The Probability Theory applied to distribution of vehicles of two-lanes highways", en "Poisson and traffic", Eno Foundation for Highway traffic Control Saugatuck (1948).
- (10) "Analysing vehicular delay at intersections through simulation, Highway Research Board, Bulletin 356, Washington, D.C. (1962).
- (11) Asociación Mexicana de la Industria Automovilística.

B I B L I O G R A F I A

- "Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers" por Jack R. Benjamin y C. Allin Cornell. Mc Graw-Hill book Company.
  
- "Highway Engineering Handbook" por Kenneth B. Woods Mc Graw Hill Book Company.
  
- "A Policy on Geometric Design of Rural Highways", 1965, American Association of State Highway Officials (AASHO). Actualmente, American - - Association of State Highway and Transport Officials (AASHTO).
  
- Manual de Evaluación de Proyectos de la Organización de las Naciones - Unidas.