

TESIS CON
FALLAS DE ORIGEN

159
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“EVALUACION ECONOMICA DE
PROYECTOS CARRETEROS EN
CONDICIONES DE RIESGO”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
CARLOS IGNACIO SANTILLAN DOHERTY



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 está 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.

INDICE GENERAL

Presentación		
1.	Introducción	
1.1	Antecedentes	1
1.2	La evaluación económica de proyectos carreteros	2
1.3	La incertidumbre	9
1.4	Planteamiento del estudio	10
2.	Planteamiento teórico	
2.1	Introducción	14
2.2	La media, la desviación estándar y la distribución de probabilidad	14
2.3	Distribuciones de probabilidad de tipo subjetivo	15
2.4	Distribuciones de probabilidad de tipo estadístico	17
3.	Obtención de las distribuciones de probabilidad	23
3.1	Introducción	23
3.2	Variables que intervienen en el cálculo de los índices de rentabilidad	23
3.3	Discusión general e identificación de las variables de estudio	25
3.4	Obtención de las distribuciones de probabilidad	27
4.	Bases para la aplicación del método	
4.1	Generalidades	32
4.2	Descripción de la aplicación del método convencional de evaluación económica de carreteras	32
4.3	Descripción de la aplicación del método propuesto	25
4.4	Rutina para la simulación Monte Carlo	36

INDICE GENERAL

(Continuación)

5.	Análisis de casos específicos	45
5.1.	Número de simulaciones por efectuar	45
5.2	Antecedentes del proyecto por analizar	46
5.3	Descripción de alternativas	47
5.4	Incertidumbre del análisis	48
5.5	Aplicación del método y resultados	50
6.	Conclusiones	53
7.	Anexos	
Anexo 2.1	Tabla de X^2 críticos para distintos niveles de significancia	I
Anexo 3.1	Muestra para Costo Inicial de Inversión	II
Anexo 3.2	Análisis estadístico para costo inicial de inversión	III
Anexo 3.3	Muestra para duración de obra	VII
Anexo 3.4	Análisis estadístico para la duración de la obra	VIII
Anexo 3.5	Muestra para el volumen de tránsito inicial	XII
Anexo 3.6	Análisis estadístico para el volumen de tránsito inicial	XIV
Anexo 3.7	Muestra para tasa de crecimiento de tránsito	XIX
Anexo 3.8	Análisis estadístico de la tasa del crecimiento del tránsito	XXI
Anexo 4.1	Codificación de la rutina de simulación	XXIII
Anexo 4.2	Codificación para rutina del Análisis Estadístico	XIV

Presentación

Es común ver al ingeniero civil ocupado en un campo de actividades bien definido; de ahí que trabajos de este tipo generalmente se limiten a discutir temas muy relacionados con él. En esta ocasión esta tesis no explicará cómo diseñar canales para flujos de agua en régimen supercrítico, ni cómo resolver una estructura hiperestática en tercera dimensión, ni cómo desplantar una cimentación en suelos arcillosos con gran contenido de agua, ni cómo trazar el eje de una carretera de tal suerte que se tenga un movimiento de tierras balanceado, ni cómo construir una escollera en Tuxpan, Veracruz, ni cómo dotar de agua a una población situada a 2 000 m. de "a.s.n.m".

El campo del ingeniero civil debe ser, y es, más amplio que lo descrito anteriormente.

Existen muchos otros elementos de la naturaleza sobre los cuales el ingeniero civil también debe actuar en beneficio de la colectividad; la incertidumbre es uno de ellos.

Este trabajo plantea cómo tomar en cuenta la incertidumbre en el caso particular del análisis económico de proyectos carreteros. Si bien el trabajo contiene una buena dosis de otras disciplinas: economía, probabilidad, computación, entre otras, éstas no son más que herramientas de trabajo; esta tesis no deja de ser un trabajo esencialmente ingenieril. Es tiempo que el estudiante de ingeniería civil amplíe su panorama en cuanto a las actividades que puede desempeñar como profesional; es su obligación.

Una mentalidad abierta hacia otras disciplinas es una manera de "ampliar el panorama".

El ingeniero civil no se debe limitar (o acobardar) en cuanto al uso de herramientas de trabajo que le puedan ser útiles para lograr su fin, debe tomar en cuenta todas las posibilidades, incluso, si es necesario, hasta el del Bel Canto.

Carlos Santillán.

1. Introducción

1. Introducción

1.1. Antecedentes

El desarrollo de cualquier país debe orientarse según objetivos específicos definidos y aceptados por la colectividad nacional. Estos objetivos se refieren, por ejemplo, a mantener la independencia nacional, a lograr la integración política y administrativa del país, a mejorar las condiciones de vida de la población, etc. y frecuentemente se les identifica como objetivos de desarrollo. Los objetivos de desarrollo pueden satisfacerse mediante acciones que involucran la combinación de factores de producción (mano de obra, materiales y maquinaria) genéricamente conocidas como proyectos de desarrollo o, simplemente, proyectos. Es común que los proyectos se clasifiquen por sectores de producción: así, existen los proyectos agrícolas, industriales, comerciales, de transporte, entre otros.

Los proyectos carreteros, como la mayor parte de los proyectos de transporte, se caracterizan por su importancia en el proceso de desarrollo de cualquier país. Las razones de ello son obvias, y la más elemental radica en que el desplazamiento de personas y bienes desde los centros de habitación y vivienda hasta los de producción, y de éstos hacia los centros de consumo nacionales o internacionales posibilita la realización de innumerables actividades de toda índole, sin las cuales la vida se desarrollaría en condiciones más precarias.

Las comunicaciones terrestres no solo apoyan la actividad económica de todo el país, sino que además posibilitan su integración política y su desarrollo cultural. La eficacia, rapidez y seguridad con que se lleven a cabo esos traslados repercute, en mayor o menor grado, sobre el avance del proceso de desarrollo apuntado anteriormente.

Por lo anterior, el objetivo de la inversión en carreteras consiste en mejorar las condiciones de circulación de los vehículos automotores en sus recorridos por el territorio. Dentro de este objetivo general se ubican además otros objetivos parciales, como son la mejora de la accesibilidad, la disminución del cos-

to de transporte, la elevación del nivel de servicio ofrecido a los usuarios, la reducción del impacto nocivo sobre el medio ambiente, y otros. El logro de estos objetivos implica enfrentar y superar una serie de restricciones de tipo técnico, económico, financiero y sociopolítico, inherentes al proyecto mismo. Las diferentes formas de superar estas restricciones se concretan en opciones que constituyen alternativas del proyecto. En todo el país, los recursos disponibles para la realización de proyectos es inevitablemente limitada, por lo que resulta indispensable asegurar que los recursos existentes se aprovechen de la mejor manera posible. Ello implica la necesidad de establecer rigurosos procedimientos de selección de alternativas, tarea en la que resulta fundamental tomar en cuenta criterios económicos.

En el caso de los proyectos carreteros, la evaluación económica constituye un valiosísimo elemento de trabajo, ya que mediante la realización de estudios de evaluación se demuestra el rendimiento económico de los distintos proyectos considerados, y en consecuencia se pone en evidencia la conveniencia o no de llevarlos a cabo.

1.2. Evaluación económica de proyectos carreteros.

La evaluación económica de proyectos carreteros es un instrumento para estudiar sus rendimientos económicos, a partir de los cuales se pueden ordenar las distintas alternativas de proyecto en función de su rentabilidad, es decir, en términos de la productividad obtenida al invertir recursos económicos en su realización. Conocidas las características técnicas básicas del proyecto, el estudio de evaluación económica se basa en la comparación de los beneficios y los costos económicos asociados con el proyecto a todo lo largo de su vida útil, y por lo general consta de las siguientes fases:

- i) Análisis de la demanda
- ii) Determinación de beneficios y costos
- iii) Análisis de la rentabilidad

El análisis de la demanda de un proyecto de carreteras consiste en determinar los volúmenes actuales del tránsito de la carretera estudiada y en estimar su crecimiento futuro, ya que su magnitud influye directamente en los beneficios económicos asociados con el proyecto.

En proyectos de modernización, es decir, de ampliación de capacidad en rutas existentes, el tránsito actual se conoce mediante aforos directos o, en su defecto, se estima mediante series históricas y métodos estadísticos apropiados.

En el caso de obras nuevas, el tránsito se puede determinar a base de estudios socioeconómicos de la región atendida, que permitan inferir los volúmenes de tránsito esperado a partir de datos referentes a la población, a sus tasas de motorización, al producto interno bruto local y a otras variables de interés. En ambos casos, la proyección del tránsito a futuro se efectúa, entre otros métodos, utilizando procedimientos estadísticos o técnicas de econometría. Los beneficios económicos de un proyecto de inversión en carreteras, considerados en forma amplia, están dados por el conjunto de los efectos positivos que, desde un punto de vista económico, se producen como consecuencia de la realización del proyecto. Usualmente, los beneficios que se toman en cuenta para determinar la rentabilidad de un proyecto de modernización de una carretera son aquellos derivados de la reducción en los costos de operación de los vehículos y de la disminución en el tiempo de viaje de las personas que usen la carretera modernizada. Evidentemente, dentro del análisis puede incluirse otro tipo de beneficios, como por ejemplo el abatimiento en el número de accidentes u otros aspectos con impactos positivos sobre la colectividad. A pesar de ello, suelen encontrarse dificultades prácticas para cuantificar estos beneficios en términos monetarios, por lo que los beneficios más considerados son los apuntados arriba.

Los ahorros anuales por reducción en costos de operación se determinan como:

$$ACO = COSP - COCP \quad (1.1)$$

donde:

ACO= Ahorro anual por reducción en los costos de operación de los vehículos

COSP= Costo anual de operación vehicular en ausencia del proyecto (condición sin proyecto).

COCP= Costo anual de operación vehicular si se implanta el proyecto (condición con proyecto).

A su vez, los costos anuales de operación vehicular se calculan de manera general mediante la expresión:

$$COA = CU \times LONG \times VOL \times 365 \quad (1.2)$$

donde:

COA= Costo anual de operación vehicular.

CU = Costo de operación unitario, que se determina en función de la velocidad, del tipo de terreno y de la superficie de rodamiento.

LONG= Longitud de la carretera.

VOL= Volumen de tránsito diario.

Si CU, LONG y VOL correspondieran a la condición sin proyecto, al sustituirlas en la expresión general (1.2) se obtendría la variable COSP que aparece en la fórmula (1.1); en el caso en que correspondieran a la condición con proyecto, se obtendría la variable COCP de esa misma fórmula.

Por su parte, para cuantificar la magnitud del ahorro en tiempo se utiliza la siguiente expresión:

$$BAT = AT \times NU \times VTU \times 365 \quad (1.3)$$

donde:

BAT= Beneficio anual por ahorro en tiempo, en unidades monetarias.

AT= Ahorro diario en tiempo de recorrido. Es la diferencia entre los tiempos de recorrido en las condiciones sin proyecto y con proyecto.

NU= Número promedio de usuarios en un día, sin considerar a los conductores autobuses y camiones.

VTU= Valor promedio del tiempo de los usuarios, establecido en función de su ingreso diario.

Las fórmulas anteriores son expresiones generales empleadas para el cálculo de los beneficios. En aplicaciones prácticas, estas fórmulas se aplican por categoría de vehículos y por tipo de usuario, por lo que se requiere adaptarlas para ello.

Los costos económicos del proyecto, son los recursos reales consumidos en su implantación y conservación, así como la expresión monetaria de los efectos negativos que de alguna forma se derivan de la realización del proyecto. Para efectos del análisis económico, por lo general se utilizan los costos referidos a los recursos económicos consumidos durante la implantación y operación del proyecto, que son los costos de inversión inicial, los de conservación anual y los de conservación periódica del camino.

La determinación de los costos y los beneficios del proyecto durante toda su vida útil constituye el punto de partida para obtener índices de rentabilidad que reflejan, desde un punto de vista económico, la conveniencia de realizar la correspondiente inversión. La rentabilidad económica se calcula tomando en cuenta los costos y los beneficios que ocurren a todo lo largo de la vida económica del proyecto, en el caso de las carreteras se toma por lo general de 20 años, sin incluir el tiempo de construcción. Un proyecto es rentable si los beneficios acumulados durante ese período son superiores a los costos registrados en el mismo lapso.

Los índices de rentabilidad que a continuación se presentan se definen a partir de los valores actualizados de los beneficios y costos del proyecto, expresados por las fórmulas:

$$B = \sum_{i=1}^n \frac{BT_i}{(1+r)^n} \quad (1.4) \quad y$$

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^n} \quad (1.5);$$

donde:

B= Beneficio total actualizado al año base;

C= Costo total actualizado al año base;

BT_i = Beneficios totales en el año i (BT=ACO+BAT, como se indica en las fórmulas 1.1 y 1.3);

C_i = Costos totales en el año i (costos de inversión inicial, de conservación rutinaria y periódica);

r= Tasa de actualización del capital;

n= Años de vida económica del proyecto;

Los índices de rentabilidad más comunes son:

- i) Valor Presente Neto (VPN). Se define como la aportación neta del proyecto a la riqueza colectiva, y se calcula como la diferencia entre los beneficios actualizados totales menos los costos actualizados totales.

Así:

$$VPN = B - C \quad (1.6)$$

La condición para que un proyecto sea rentable es que VPN sea mayor que cero.

- ii) Índice de Rentabilidad (IR). También conocido como relación beneficio-costos, este índice refleja el rendimiento económico obtenido por cada

unidad monetaria invertida en el proyecto. Se calcula como la relación de los beneficios totales actualizados y los costos correspondientes.

Por tanto,

$$IR = B/C \quad (1.7)$$

La condición para que un proyecto sea rentable es que IR sea mayor o igual a uno.

- iii) Tasa Interna de Retorno (TIR). Este indicador se define como la tasa de actualización a la que los beneficios totales obtenidos son iguales al costo total; de manera equivalente, la tasa interna de retorno es aquella tasa de actualización a la que corresponde un VPN nulo.

Una manera de calcular la TIR parte de esta última propiedad. En efecto, si la TIR es la tasa para la cual se cumple que:

$$VPN = B - C = 0 \quad (1.8)$$

entonces sustituyendo 1.4 y 1.5 en 1.8 se tiene que:

$$\sum_{i=1}^n \frac{BT_i}{(1+r)^n} - \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^n} = 0 \quad (1.9)$$

Para que la ecuación se cumpla la tasa interna de retorno debe ser igual a la tasa de actualización. La solución a la ecuación se calcula generalmente por tanteos, y la condición para que un proyecto sea rentable es que TIR sea mayor que r.

Existen otros indicadores económicos que complementan el análisis económico de un proyecto, y que resultan útiles para recomendar los cursos de acción a seguir respecto a él. Uno de ellos es el Índice de Rentabilidad Inmediata (IRI), que se calcula como el cociente del beneficio actualizado obtenido durante el primer

año de operación del proyecto, y el costo de inversión total también actualizado. En consecuencia,

$$IRI = \frac{B_{s+1} (1+r)^{-s-1}}{\sum_{i=1}^s C_i (1+r)^{-i}} \quad (1.10)$$

donde:

IRI= índice de rentabilidad inmediata

B_{s+1} = beneficio económico obtenido durante el primer año de operación

s = número de años de construcción del proyecto

r = tasa de actualización

C_i = costo de construcción del año i

Este índice revela si la construcción de la obra es oportuna, lo que se verifica si los beneficios que se obtienen durante el primer año de operación del proyecto terminado son suficientemente elevados para efectuar una aportación significativa a la colectividad. Esto se analiza comparando el IRI con la tasa de actualización utilizada: si el IRI es igual a r , el proyecto debe realizarse justo en el tiempo en que se ha programado; si el IRI es mayor que r , el proyecto es extemporáneo y ya debía haberse realizado; si el IRI es menor que r , la realización del proyecto es prematura y debe aplazarse. Para hallar el año óptimo de puesta en operación de un proyecto, el IRI se calcula para cada año, hasta llegar a aquel en el que adquiera un valor igual a r . Ese año será el óptimo de construcción.

Los objetivos de un proyecto de carreteras no se limitan en exclusiva a la obtención de beneficios económicos, ya que, en general, todos los proyectos persiguen objetivos múltiples y no solamente el de incrementar el ingreso nacional. Por ello, es deseable que el análisis económico se complemente con otro tipo de estudios de evaluación pues en ocasiones estos objetivos pueden contar con mucho

más peso que las mismas consideraciones económicas.

1.3. La incertidumbre

En la mayor parte de las evaluaciones económicas de proyectos carreteros, los estudios se efectúan con criterios deterministas. De hecho, ello implica que se evade el considerar lo incierto que es el futuro. En ingeniería, esta omisión es muy común, y se traduce en acciones o recomendaciones precautarias, las más de las veces justificadas aunque escasamente fundamentadas. Cuántas veces, por ejemplo, se realizan proyectos excedidos o limitados en sus dimensiones, debido a que los diseñadores se concretan simplemente a aplicar factores ("de seguridad") que agrandan o reducen las dimensiones del proyecto, de una manera automática, sin pensar detenidamente en lo que podría acarrear el futuro; esto es, sin tomar conciencia de la enorme cantidad de factores inciertos que influyen en el proyecto, y que sin duda afectarán su funcionamiento.

Para evitar la crítica anterior, se han adoptado enfoques, como el del análisis de sensibilidad, que presentan resultados alternativos basados en la evolución de algunas variables importantes. Otros estudios más exhaustivos presentan dos o más opciones o "escenarios" futuros, que van desde un extremo pesimista hasta otro optimista. Es indudable que tales enfoques ofrecen una ayuda valiosa en la elaboración de proyectos, pero es absurdo pensar que el proyecto operará bajo las condiciones previstas. Los resultados de esos estudios no son más que casos aislados de la infinidad de situaciones reales que se pueden presentar. Tal vez tengan una mayor oportunidad (o probabilidad) de ocurrir, pero no necesariamente existirán. Lo que sí existe y seguirá presente es la incertidumbre, que no se puede evitar. Decisiones políticas, fenómenos sociales, alteraciones en la economía, evoluciones tecnológicas, entre otros, son factores que pueden dar al traste con las condiciones futuras planteadas por cualquier estudio.

El futuro es incierto y no hay remedio contra ello. Por eso, la ingeniería civil no puede seguir ignorando la presencia de la incertidumbre en el desarrollo de sus proyectos.

Para contribuir a incorporar el trato de la incertidumbre en el análisis económico de proyectos de modernización y obras nuevas carreteras, este trabajo presenta una primera aportación al respecto.

1.4. Planteamiento del estudio.

La inversión en proyectos carreteros es cada vez más elevada, y los recursos disponibles para ello son cada vez más escasos. Por ello, el hecho de que una nueva carretera con trazo paralelo al de otra existente, no atraiga el volumen de tránsito estimado o que los costos de construcción estimados para la misma en la realidad se dupliquen o tripliquen influye directamente en la rentabilidad de la inversión original del proyecto, y por tanto en la eficiencia de los recursos económicos asignados a su ejecución.

Como las anteriores, existen otras variables cuyo valor interviene en la magnitud de los costos y los beneficios de un proyecto carretero, que dependen estrictamente de la condición futura de su operación, que son aleatorias y que implican considerable incertidumbre en su estimación. Por ello, la inversión en estos proyectos es muy riesgosa, ya que se puede dar el caso de invertir en proyectos que, aunque en teoría son rentables, en la realidad resultan antieconómicos por la influencia imprevista de alguna variable relevante.

Desde la perspectiva del análisis, y como ya se apuntó, un paliativo para tomar en cuenta la incertidumbre ha consistido en llevar a cabo análisis de sensibilidad, los cuales tienen por objeto conocer el comportamiento de la rentabilidad de un proyecto ante posibles cambios (fijados arbitrariamente) en los valores estimados de las variables más relevantes del estudio.

En realidad, esto resulta poco útil, pues aún así no se tiene certeza de que estos "posibles cambios" se vayan a presentar; la incertidumbre persiste y el riesgo de realizar una inversión improductiva está latente. El error consiste en ignorar la incertidumbre asociada al valor estimado de esas variables.

Una manera lógica de incorporar la incertidumbre al análisis consiste en tomar en cuenta la probabilidad de que se produzcan los "posibles cambios" referidos. Es claro, por ejemplo, que aunque en la realidad sea posible que el costo de inversión de un proyecto determinado se pueda triplicar, ello resulta muy poco probable; en condiciones normales, es más probable que el costo no se incremente mucho; lo común es que aumente en porcentajes del 20, 30 ó hasta 40% del valor originalmente estimado. También es muy poco probable que el costo de inversión se reduzca a un 80% de su valor original, aunque de hecho pueda suceder.

Este trabajo propone el tratamiento probabilístico de las variables aleatorias identificadas como las que mayormente inciden en los índices de rentabilidad de un proyecto carretero, para incorporar la incertidumbre al análisis económico. Ello se lleva a cabo relacionando las variables mencionadas con distribuciones de probabilidad representativas de su comportamiento. Así, los índices que servirán de base para las decisiones se calcularán en términos no de un simple valor puntual asignado a esas variables, o incluso de una gama de valores que pudieran ser asignados arbitrariamente a las mismas (como en los análisis de sensibilidad), sino en términos de un conjunto de valores estimados probabilísticamente de acuerdo con la distribución de probabilidad que mejor represente el comportamiento de cada variable.

El propósito de un análisis de este tipo es el de eliminar el uso de un pronóstico puntual del valor de las variables, a cambio de un análisis en donde se lleve a cabo un juicio completo del posible rango de valores de cada variable se-

leccionada, conociendo la probabilidad de ocurrencia de cada valor dentro de ese rango.

Para generar estos valores se utiliza el Método de Simulación de Monte Carlo. De una manera general, puede decirse que este método simula los valores de una variable en función de su comportamiento probabilístico. La idea de la simulación consiste en repetir el cómputo de los índices de rentabilidad un número conveniente de veces, de tal suerte que al final se disponga de información suficiente para elaborar un análisis estadístico de esos índices. Este análisis resume los resultados del proceso iterativo y finalmente proporciona los elementos para decidir si un proyecto carretero es conveniente o no.

Por ejemplo, si el análisis estadístico muestra que en el 20% de los casos la construcción de una carretera tiene un índice de rentabilidad menor que uno, podría recomendarse entonces que se llevara a cabo su construcción, tomando en cuenta que existe una probabilidad relativamente baja (0.20) de que la obra no resulte rentable.

La ventaja de utilizar la simulación en este tipo de evaluaciones radica precisamente en la presentación de resultados como el anterior. Es evidente que cuando se emite un juicio con base en los resultados de una evaluación convencional, el riesgo de equivocarse es más alto que cuando se usa el método propuesto, en donde se tiene el antecedente de los resultados de un número considerable de evaluaciones sobre el mismo proyecto. En rigor, el método propuesto es un análisis de sensibilidad, con valores fijados probabilística y no arbitrariamente, y enriquecido con el análisis repetitivo del proyecto bajo distintas condiciones.

De lo descrito anteriormente, el estudio se ha organizado en las siguientes fases generales:

- i) Revisión de variables alcatorias que intervienen en las evaluaciones de proyectos de modernización y obra nueva, e identificación de aquellas que, por su influencia sobre los índices económicos, merezcan un tratamiento probabilístico.
- ii) Obtención, para cada una de las variables identificadas, de una distribución de probabilidad que sea representativa de su comportamiento.
- iii) Implantación del análisis probabilístico en el método de evaluación convencional, lo que implica incluir la simulación de Monte Carlo, efectuar el cómputo iterativo de los índices económicos y el análisis estadístico de los resultados.
- iv) Experimentación del método, sobre la base de un caso real.

Además, el trabajo incluye una primera parte de fundamentación teórica, una de aplicación del método a un caso particular y finalmente las conclusiones.

2. Planteamiento Teórico

2. Planteamiento teórico

2.1. Introducción

El método propuesto para desarrollar el estudio consiste en simular, mediante la técnica de Monte Carlo, valores para las variables identificadas como las que mayormente inciden en los índices de rentabilidad de proyectos de modernización en obra nueva carretera. La idea es repetir este proceso un número adecuado de veces, de tal suerte que al final se disponga de la información suficiente para elaborar un análisis estadístico de los resultados. Este análisis resume los resultados del proceso iterativo y finalmente sirve para decidir si un proyecto conviene o no.

Como se observa, el método propuesto se centra en la simulación. Por su parte, ésta depende de las distribuciones de probabilidad que representan el comportamiento de cada una de las variables elegidas. El objetivo de este capítulo es sentar las bases teóricas para la identificación y determinación de estas distribuciones de probabilidad. Conviene aclarar que la manera de determinarlas depende de la información disponible: cuando es escasa, las distribuciones se obtienen "subjétivamente", y en caso contrario se emplea un análisis estadístico. Además, el capítulo incluye los conceptos teóricos de probabilidad y estadística que se manejarán en el trabajo.

2.2. La Media, la Desviación Estándar y la Distribución de Probabilidad.

El análisis estadístico de este trabajo se concentra fundamentalmente en la media y la desviación estándar, ya que éstos resumen una gran cantidad de información sobre las muestras. La media (m_x) es una medida de tendencia central que representa el valor promedio de los datos de la muestra, es decir, es el valor central al que tienden los datos de la muestra. La desviación estándar (S_x) es una medida de dispersión que refleja la variabilidad de los datos de la muestra respecto a la media.

El cálculo de estas medidas para el caso discreto, que es el que interesa por manejar valores "puntuales" como aquéllos de los que consta la muestra, re-

quiere que primeramente se obtengan las "distribuciones de frecuencia de la muestra", concepto que se explica más adelante. Para ello hay que agrupar los datos en intervalos llamados intervalos de clase (f_i), anotando el valor medio (marca de clase, x_i) de cada intervalo y la frecuencia o número de veces en que se observaron datos de la muestra dentro del intervalo de clase dado f_i . Así, la media puede determinarse como:

$$m_x = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot x_i}{n} \quad (2.1),$$

donde: x_i y f_i es la marca de clase y la frecuencia observada del "i-ésimo" intervalo de clase, respectivamente

n = el número de datos del que consta la muestra.

Por su parte, la desviación estándar puede calcularse como:

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i (x_i)^2}{n} - 1/n \left(\sum_{i=1}^n (f_i \cdot x_i) \right)^2} \quad (2.2).$$

Cuando la muestra es pequeña ($n \leq 30$), se puede usar $n-1$ en lugar de n como denominador.

Una distribución de probabilidad es la relación que existe entre los valores que puede tomar una variable aleatoria y las probabilidades correspondientes a estos valores. En efecto, si una variable x puede tomar una serie de valores $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$ con probabilidades respectivas $p_1, p_2, p_3, \dots, p_k$, donde: $p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_k = 1$, se dice que ha sido definida para x una distribución de probabilidad.

2.3. Distribuciones de probabilidad de tipo subjetivo.

Las distribuciones de probabilidad de tipo subjetivo expresan el juicio del experto analista sobre la probabilidad de que se presente un valor determinado de las variables consideradas. Así, las distribuciones que son producto de un jui-

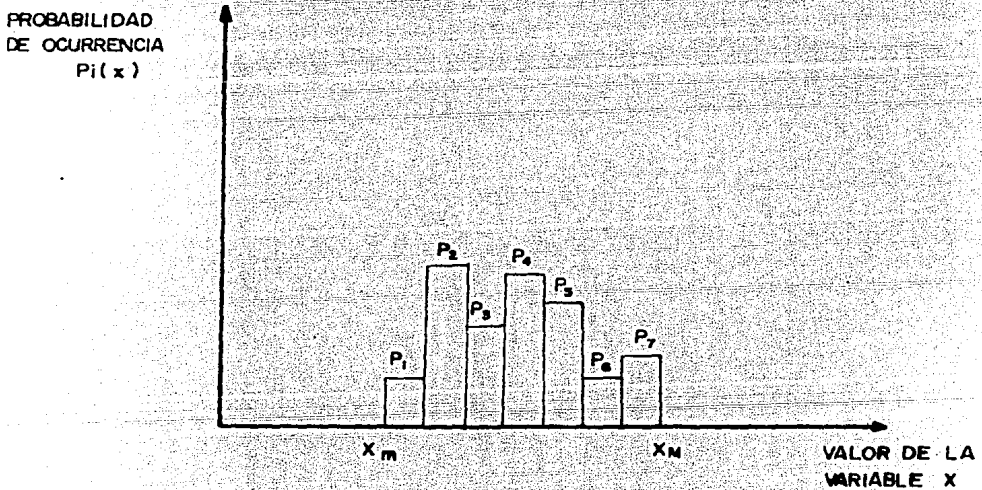
cio vago del analista serán tan útiles como las que correspondan a un juicio detallado, aunque los resultados sean probablemente mejores en el segundo caso. De esta manera se aprovecha la escasa información existente, así como la experiencia del decisor y su conocimiento sobre el probable comportamiento de la variable.

Es muy común que estas distribuciones sean rectangulares, como se muestra en la figura 2.1. Si el analista emite un juicio completo sobre las probabilidades de ocurrencia de cada variable, la distribución contará con un buen número de rectángulos. Si por el contrario, el decisor muestra inseguridad sobre el comportamiento de la variable, la distribución contará con menos rectángulos, pero no por ello dejará de ser válida y útil para el análisis.

Como se advierte, las distribuciones de probabilidad subjetiva dependen en gran medida de la experiencia del analista y no de la información existente. La elaboración de este tipo de distribuciones presenta algunos inconvenientes: por una parte, se desarrollan con lentitud, ya que se trata de un proceso de "tanteos" en que se va depurando la gráfica hasta que el experto queda satisfecho. Por otra parte, las distribuciones de probabilidad subjetiva no son generales, sino que representan el comportamiento de la variable en cuestión bajo las condiciones específicas de cada proyecto. Esto se aclarará con detalle en el capítulo 3, y aquí simplemente se comenta que resulta absurdo pedir al experto analista que elabore una distribución general que abarque todas las condiciones en que se pueda presentar un proyecto de modernización u obra nueva carretera; cuando él emite un juicio sobre el comportamiento de la variable, lo hace concentrado en las condiciones del proyecto específico que analiza. Por tanto, para cada evaluación de un proyecto carretero, será necesario elaborar las distribuciones de probabilidad subjetiva de las variables definidas previamente como de interés. En resumen, la principal desventaja de las distribuciones de probabilidad subjetiva, es que no permiten un tratamiento sistemático y ágil de la incertidumbre en los modelos de evaluación, ya que deben desarrollarse para cada caso particular.

FIGURA 2.1

DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DE TIPO SUBJETIVO
Forma Rectangular



NOTAS:

1.- $X_N - X_m =$ rango de posibles valores de la variable X

2.- $P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_7 = 1$

2.4. Distribuciones de probabilidad de tipo estadístico.

Las distribuciones de probabilidad obtenidas mediante un análisis estadístico evitan los inconvenientes apuntados. A continuación se detalla su obtención y algunos de los conceptos teóricos involucrados.

A diferencia de las distribuciones de probabilidad de tipo subjetivo, las distribuciones provenientes de un análisis estadístico no necesitan por fuerza de un analista experimentado. En este tipo de distribuciones lo importante es la información de que se disponga y el manejo que de ella se haga. En esencia, el análisis consiste en probar si alguna de las distribuciones teóricas de probabilidad ya conocidas se ajusta a los valores de una muestra previamente determinada con la información disponible. En caso de que ninguna de las distribuciones sea apropiada, el mismo análisis proveerá los elementos necesarios para elaborar una distribución de probabilidad empírica de la variable de que se trate.

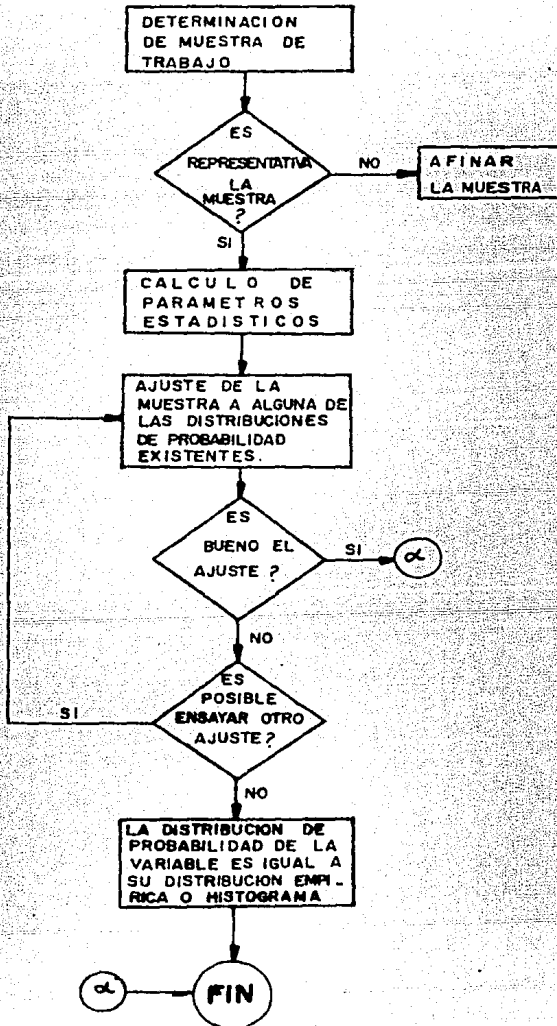
La figura 2.2 muestra esquemáticamente el proceso seguido para seleccionar la distribución teórica o empírica conveniente de una variable. Ahí se advierte que lo primero que procede en el análisis estadístico es la revisión de la información disponible. Esta revisión consiste en determinar una muestra de trabajo con base en su representatividad, así como en qué tan razonables sean los resultados que de ella se obtengan.

El proceso mediante el cual se extrae de una población una muestra representativa de la misma se conoce como muestreo al azar, de acuerdo con ello cada miembro de la población tiene la misma posibilidad de ser incluido en la muestra.

La representatividad de las muestras se puede verificar mediante pruebas de hipótesis, cuyas bases se detallan a continuación. Su funcionamiento se explicará tomando como referencia la distribución normal, ya que estas pruebas son

FIGURA 2.2

PROCESO PARA EL DISEÑO DE UNA DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD MEDIANTE ANALISIS ESTADISTICO



las más comunes.

Para tomar decisiones respecto a la distribución más conveniente se hacen suposiciones sobre las muestras estudiadas. Estas suposiciones pueden o no ser ciertas. La probabilidad máxima con la que se puede estar equivocado en la hipótesis supuesta se llama Nivel de Significancia, o Nivel de Significación, el cual generalmente se fija antes de elaborar la hipótesis. Si por ejemplo se elige un nivel de significación del 5% al diseñar una prueba de hipótesis, entonces habrá aproximadamente cinco ocasiones por cada cien en las que equivocadamente se rechazará la hipótesis cuando debería ser aceptada, es decir, se tiene un 95% de confianza de que se está tomando la decisión adecuada. En tal caso se dice que la hipótesis ha sido rechazada a un nivel de significación del 5%, lo que supone que se puede cometer un error con una probabilidad de 0.05.

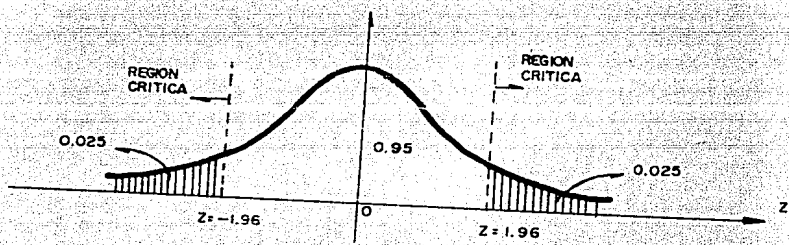
Supóngase ahora que con una hipótesis dada, la distribución muestral de una variable x es normal, con media μ_x y desviación estándar S_x . Entonces, si z es variable tipificada, dada por:

$$z = \frac{x - \mu_x}{S_x}$$

su distribución también será normal tipificada con media = 0 y varianza = 1, tal y como la de la figura 2.3.

Como se indica en la figura, se puede estar con el 95% de confianza de que, si la hipótesis es cierta, el valor de z obtenido de una muestra real se encontrará entre -1.96 y 1.96 (puesto que el área bajo la curva normal entre estos valores es de 0.95). Sin embargo, si al elegir una muestra al azar se encuentra que z se halla fuera del rango -1.96 a 1.96 con gran frecuencia, entonces puede decirse que esta z difiere significativamente de la que cabía esperar bajo esta hipótesis por lo que habría que rechazar la hipótesis.

FIGURA 2.3
DISTRIBUCION NORMAL TIPIFICADA



Zona de aceptación



Zona de rechazo

En la figura 2.4 se muestra esquemáticamente el procedimiento para probar las muestras extraídas de la información disponible, bajo la hipótesis de que éstas son buenas y representativas de la realidad, lo que se verifica según se expuso antes.

Como se observa en la figura, una vez concluido el muestreo aleatorio se fija el nivel de significancia a emplear. A continuación se identifican los elementos mayor y menor de la muestra aleatoria elaborada y se tipifican restando el valor de la media y dividiendo este resultado por la desviación estándar. Para verificar la representatividad de la muestra se comparan estos resultados con los dos valores de z (por la izquierda y por la derecha) que correspondan al nivel de significancia fijado y se aplica la siguiente regla de decisión:

a) si el valor tipificado del elemento más pequeño de la muestra (t_1) es mayor que el menor valor de z (z_1), la muestra es representativa por la izquierda; es decir, se tendrá un error cuando mucho igual al nivel de significancia fijado, de que en la realidad se presenta un valor de la variable menor que el valor más pequeño de la muestra.

b) si el valor tipificado del elemento más pequeño de la muestra (t_1) es menor que z_1 , la muestra no es representativa por la izquierda y no se acepta.

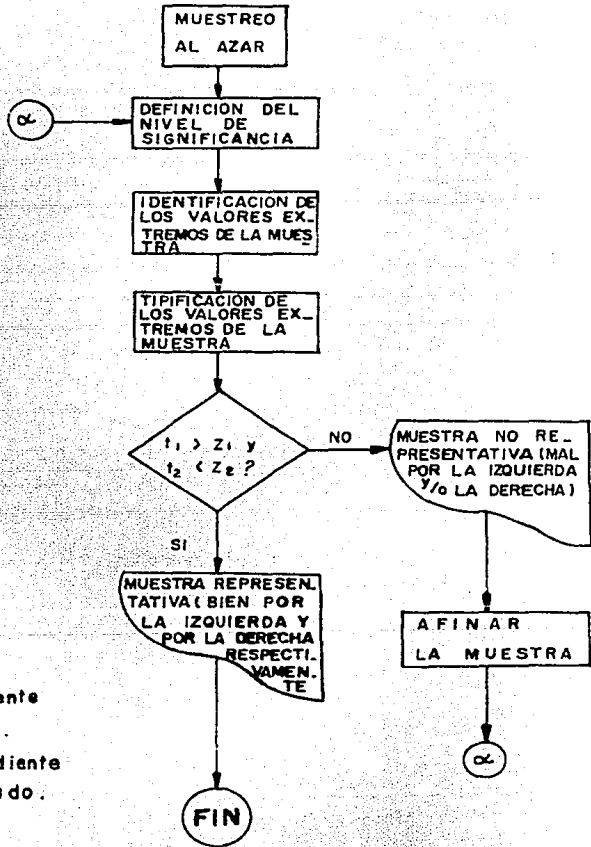
c) si el valor tipificado del mayor elemento de la muestra (t_2) es menor que el mayor valor de z (z_2), la muestra es representativa por la derecha y se acepta porque se tendrá un error cuando mucho igual al nivel de significancia fijado, de que en la realidad se presente un valor de la variable analizada mayor que el valor más grande de la muestra.

d) si el valor tipificado del elemento más grande de la muestra (t_2) es mayor que z_2 la muestra no es representativa por la derecha, y no se acepta.

Una vez que ha sido revisada la representatividad de las muestras, toca

FIGURA 2.4

PROCESO SEGUIDO PARA DETERMINAR LA REPRESENTATIVIDAD DE UNA MUESTRA



donde:

- t_1 = valor tipificado del menor elemento de la muestra
- t_2 = valor tipificado del mayor elemento de la muestra
- Z_1 = menor valor de Z correspondiente al nivel de significancia fijado.
- Z_2 = mayor valor de Z correspondiente al nivel de significancia fijado.

entonces probar si alguna de las distribuciones de probabilidad teóricas existentes se ajusta a ellas. Si se supone una muestra agrupada en intervalos de clase, concepto que será descrito con detalle más adelante, entonces ajustar una distribución teórica a ella consiste en determinar, mediante la expresión matemática que defina a la distribución y con los parámetros estadísticos que definan a la muestra, la frecuencia teórica con la que se espera se presentarán los puntos medios de los intervalos previamente determinados.

La prueba X^2 (chi-cuadrado) puede ser empleada para determinar la forma en que distribuciones teóricas tales como la normal, binomial, y otras se ajustan a los datos de una muestra. En efecto, una medida de la discrepancia existente entre las frecuencias observadas y esperadas es suministrada por el estadístico chi-cuadrado (X^2), dado por:

$$X^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(o_j - e_j)^2}{j} \quad (2.4),$$

donde:

- k= número total de intervalos de clase;
- j= número del intervalo de clase (desde 1 hasta k);
- o= valor de la frecuencia observada;
- e= valor de la frecuencia esperada.

La prueba consiste en que si $X^2 = 0$, las frecuencias observadas y teóricas concuerdan exactamente, mientras que si $X^2 \neq 0$, no se registra una coincidencia exacta. Mientras más se aleja X^2 de cero, mayores son las discrepancias entre las frecuencias observadas y esperadas, o lo que es equivalente, peor es el ajuste de la distribución teórica analizada. Si la prueba de bondad de ajuste se limitara exclusivamente a determinar si chi-cuadrada es cero o no, difícilmente habría alguna

distribución teórica de probabilidad que se ajustara. Por tanto, es necesario comparar el valor de X^2 obtenido contra un "valor crítico", calculado a partir de la probabilidad máxima con la que se desee errar, para darle mayor flexibilidad a la prueba. Se han tabulado valores de X^2 para distintos niveles de significancia y con ellos se efectúa la comparación. Cuando el X^2 obtenido sea menor o aproximadamente igual al X^2 tabulado, el ajuste será bueno.

El anexo 2 presenta una tabla con los valores críticos de X^2 para distintos niveles de significancia y para varios grados de libertad. El grado de libertad se define como:

$$v = k - 1 - m \quad (2.4.1)$$

donde:

v = grado de libertad,

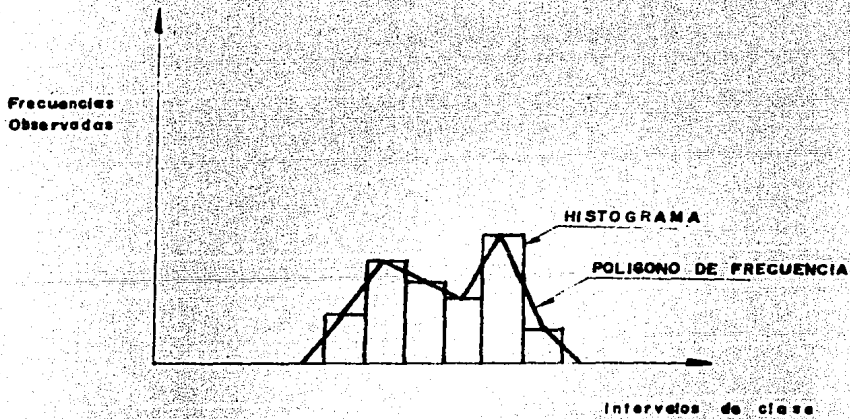
k = # de intervalos de clase

m = # de parámetros poblacionales. En este caso son dos: m_x y S_x .

Los resultados de la prueba de bondad del ajuste conducen a identificar la distribución teórica más apegada al comportamiento de las variables propuestas para el estudio. Cuando ninguna se ajusta lo que procede es obtener una distribución de probabilidad empírica que represente a los datos de la muestra.

Las distribuciones empíricas de probabilidad se pueden elaborar fácilmente aprovechando las distribuciones de frecuencia obtenidas con anterioridad. De hecho, estas distribuciones representan el comportamiento probabilístico de la variable estudiada. Sin embargo, se prefiere no usarlas porque resultan difícilmente manejables. Una manera de suavizarlas consiste en representarlas en forma gráfica, mediante histogramas y polígonos de frecuencia. Como se advierte en la figura 2.5, el histograma está formado por una serie de rectángulos con base igual a la amplitud de los intervalos de clase y altura proporcional a las frecuencias observadas. Por su parte, el polígono de frecuencia se obtiene uniendo

HISTOGRAMA Y POLIGONOS DE FRECUENCIA
Distribuciones de probabilidad empíricas



los puntos medios de los "techos" de los rectángulos en el histograma. Una vez que ha sido trazado el polígono de frecuencias, pueden obtenerse las ecuaciones de las rectas que la conforman y definir así, para cada intervalo, la distribución de probabilidad de la variable de que se trate, en términos de una ecuación matemática.

Es conveniente apuntar que aunque pudiera pensarse que no valiera la pena perder tiempo buscando la distribución teórica que mejor se ajuste a la muestra, en virtud de que las distribuciones pueden desarrollarse empíricamente mediante histogramas, es preferible utilizar las distribuciones teóricas porque facilitan el análisis, así como porque proporcionan probabilidades para un rango infinito de valores de la variable, mientras que las empíricas están restringidas a un intervalo finito.

En el caso de este trabajo no se dispuso de la información suficiente para obtener muestras al azar que permitieran desarrollar distribuciones de probabilidad, con base en análisis estadísticos de las cuales pudiera verificarse su representatividad. Asimismo, tampoco fue posible elaborar distribuciones de probabilidad de tipo subjetivo debido a que para ellos se requiere de una gran sensibilidad y experiencia en cuanto al comportamiento de las variables estudiadas.

En virtud de lo anterior, lo que se hizo fue desarrollar distribuciones de probabilidad de tipo estadístico a partir de la información disponible, en la inteligencia de que éstas no necesariamente serán representativas del comportamiento poblacional de las variables seleccionadas, dada la imposibilidad de obtener muestras rigurosamente al azar y de tamaño adecuado.

Para aplicar los conceptos anteriores a este trabajo, se revisaron las variables que intervienen en el cálculo de los índices económicos de los proyectos carreteros y se definieron las que, gravitan mayormente en su valor.

3. Obtención de las distribuciones de probabilidad

3. Obtención de las distribuciones de probabilidad.

3.1. Introducción

En este capítulo se obtienen las distribuciones de probabilidad que se utilizarán como base para la Simulación de Monte Carlo que plantea el método propuesto para el tratamiento de la incertidumbre.

El capítulo está organizado de la siguiente manera: primeramente se hace una breve discusión sobre las variables que intervienen en el análisis beneficio-costos, para el caso del modelo de evaluación económica de proyectos de modernización y obra nueva carretera. Posteriormente se seleccionan y presentan las variables que mayormente inciden en los resultados de ese análisis, es decir, las variables con las que se desarrollará este estudio. Finalmente, se obtienen las distribuciones de probabilidad de las variables seleccionadas, bajo los términos descritos en el capítulo anterior.

3.2 Variables que intervienen en el cálculo de los índices de rentabilidad.

3.2.1. Variables que intervienen en los beneficios.

Como se describe en el capítulo 1, los beneficios de un proyecto de modernización carretera están dados por el ahorro económico que genera el proyecto a la sociedad a través de la reducción en tiempos de recorrido y costos de operación. Concretamente, en la obtención de beneficios se trata de cuantificar monetariamente los ahorros en tiempo y en costos de operación que se registrarán al operar el proyecto en comparación con la situación que se presentaría de no contar con él.

Al revisar la fórmula 1.3 del capítulo 1, reproducida a continuación

$$BAT = AT : NU \cdot VTU \cdot 365$$

y que se usa para determinar el beneficio monetario por ahorros en tiempo, se advierte que las variables que intervienen en ella son:

AT= El ahorro diario en tiempos de recorrido, es decir, la diferencia entre los tiempos de recorrido sin y con proyecto;

NP= Número promedio de pasajeros en un día;

VTU= Valor promedio del tiempo del usuario, establecido en función de su ingreso diario;

VOL= Volumen de tránsito, calculado mediante el tránsito básico inicial y su tasa de crecimiento.

Es evidente que cualquier valor supuesto para estas variables involucra incertidumbre, ya que depende de la operación futura del proyecto, así como de las condiciones prevaletientes en torno a él.

Al analizar las fórmulas 1.1 y 1.2, también del capítulo 1 y reproducidas abajo,

$$ACO = COSP - COCP,$$

$$COA = CU \cdot LONG \cdot VOL \cdot 365,$$

usadas para obtener los beneficios por ahorros en costos de operación, se identifican las siguientes variables que intervienen en el cálculo:

LONG= longitud de la carretera o del tramo en estudio.

VOL= volumen de tránsito, mismo que se usa para calcular las velocidades de recorrido y, a través de ellas, los costos de operación.

CU= costo de operación unitario, que depende del tipo de vehículo, de la velocidad de operación, del tipo de terreno y de la superficie de rodamiento.

COSP y COCP= costos anuales de operación vehicular en las condiciones "sin proyecto" y "con proyecto", respectivamente. Se obtienen a partir de COA (ver capítulo 1).

A excepción de la longitud, todas estas variables involucran incertidumbre.

ción de una puede ser, o no, compensado por la variación de la otra. Así, si las variables se encuentran correlacionadas "positivamente", el efecto de la variación de una será agravado por la variación de la otra. Por otra parte, si la correlación es "negativa", las variables podrán compensarse sistemáticamente entre sí, lo que sucede con menor frecuencia. Una manera de controlar la correlación es identificando, dentro de las variables del análisis, aquellas que sean más generales, o que muestren un comportamiento más independiente. Al hacerlo el análisis de estas variables llevará implícito el análisis de las variables menos independientes. Este hecho cobra importancia particular al definir las variables de estudio, ya que, además de controlar la correlación, reduce la complejidad del análisis al disminuir considerablemente el número de variables susceptibles de ser tratadas estadísticamente, como se ha explicado en el capítulo anterior.

Por ejemplo, en el caso de las variables que intervienen en la determinación del ahorro en tiempo, es claro que el número de personas desplazadas depende directamente del número anual de vehículos que transiten por la carretera en estudio. A su vez, el valor total anual del tiempo del usuario dependerá de alguna manera del número total de personas trasladadas. Puede entonces considerarse que la variable "más independiente" en este caso es el volumen de tránsito, es decir, el volumen de tránsito inicial (VTI) y su tasa de crecimiento (TF). Por consiguiente, si se estima una distribución de probabilidad aceptable para ambas variables, en alguna forma se estará tomando en cuenta la aleatoriedad de las demás variables involucradas.

Por lo que respecta a las variables aleatorias que aparecen en el cálculo de los ahorros por menores costos de operación, y como se explicó en el capítulo 1, nuevamente están presentes el número de vehículos y su tasa de crecimiento. En esa fórmula, la velocidad depende también del volumen de tránsito que circulará por la carretera, lo que una vez más lleva a la idea expuesta anteriormente

en el sentido de que se pueda trabajar únicamente con el volumen de tránsito inicial y con su tasa anual de crecimiento.

Por otra parte, de las variables que intervienen en la determinación de los costos, puede decirse que todas merecen un tratamiento explícito de la incertidumbre. Sin embargo, eso no es necesariamente cierto, ya que los costos de conservación anual y periódica pueden expresarse en función del costo de inversión inicial, como un porcentaje de éste, por lo que se puede trabajar únicamente con esta variable.

En resumen, las variables que se han identificado como susceptibles de un tratamiento estadístico orientado a obtener su distribución de probabilidad para incorporarlas al análisis del proyecto en condiciones de incertidumbre son las siguientes:

- i) El volumen de tránsito nacional. (VTI)
- ii) La tasa de crecimiento anual del tránsito (TF)
- iii) Los costos de inversión inicial (XINV)
- iv) El tiempo de duración de la obra (NC)

3.4. Obtención de las distribuciones de probabilidad

3.4.1 Introducción

A continuación se presenta el desarrollo práctico de la teoría expuesta en el capítulo 2, con objeto de obtener las distribuciones de probabilidad de las variables seleccionadas en el apartado anterior. Antes de comenzar, y recordando lo señalado en el capítulo 1, cabe mencionar que la distribución de probabilidad de cada variable es distinta para cada proyecto, según las condiciones iniciales de proyecto. Por ejemplo, el tránsito en un libramiento tiene comportamiento distinto al tránsito que se presenta en un tramo carretero interurbano cualquiera; y aún en este tipo de tramos carreteros, el comportamiento de esta variable será diferente si el tramo está en Yucatán o en la zona centro del país, si se trata de un tramo de dos carriles, de cuatro o más, etc.

Esta variación de las distribuciones de probabilidad es incómoda para sistematizar el método, ya que por razones obvias no conviene proponer una distribución de probabilidad distinta cada vez que se vaya a evaluar un proyecto carretero. Para ello, se propone diseñar distribuciones de probabilidad de carácter general, de modo que al incluirlas en el modelo de evaluación económica eviten la necesidad de repetir su determinación.

En esa situación si el análisis estadístico se efectúa en términos absolutos, como se verá a continuación no será posible determinar distribuciones de probabilidad generales. Para superar esa dificultad, se plantea entonces la conveniencia de trabajar con valores relativos, es decir, utilizar información que permita establecer la relación entre el valor real (a posteriori), de una variable registrado durante la operación de un proyecto ya realizado, contra el valor que se haya estimado para esa misma variable (a priori) durante su evaluación económica.

Supóngase lo siguiente: después de realizar, según la relación mencionada, el análisis estadístico de una variable x , se determina que a ésta se le ajusta una distribución de probabilidad con carácter general, de tipo D , con media m_x y desviación estándar S_x . Ahora supóngase que se pretende evaluar un proyecto determinado. La distribución de probabilidad específica de la variable x para ése proyecto será proporcional y del mismo tipo que la distribución general D , previamente determinada. Asimismo, la media y desviación estándar para ese caso particular, serán proporcionales a m_x y a S_x y su valor se obtendrá del producto de estos parámetros estadísticos (de la distribución general) por el valor que se supone tendrá la variable x (el mismo valor puntual estimado, con el que normalmente se trabajaría).

Conviene hacer un ejemplo para aclarar esto. Supóngase que tras el análisis estadístico de la información relativa al número de años de construcción se

encuentra que la distribución de probabilidad que mejor refleja el comportamiento del valor real de esta variable contra lo que se le ha estimado, es de tipo normal, con media, m_x , igual a dos y desviación estándar, S_x , igual a uno. Así, cuando se pretenda evaluar un proyecto determinado y se estima (bajo los criterios con los que normalmente se haga la estimación) que la duración de la obra es de dos años, la distribución de probabilidad para esa variable, en este caso particular, será de tipo normal con media igual a cuatro y desviación estándar igual a dos (valores que corresponden al producto de m_x y S_x , respectivamente, con el valor estimado de la variable en cuestión).

Cabe señalar que la información disponible para el análisis de cada variable se refiere a un total de 42 obras de modernización de carreteras, realizadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes a partir de 1979. Este hecho hace necesarias las siguientes aclaraciones: en primer lugar, la información disponible no fue suficiente para desarrollar un estudio exhaustivo de las variables seleccionadas; además, entre los datos disponibles hubo algunos a los que, bajo un criterio subjetivo, se prefirió no tomar en cuenta, dadas las extravagantes condiciones en que se presentaron. Esta "preselección" de datos hace imposible un muestreo aleatorio, lo que en rigor impide aplicar los criterios estadísticos para verificar la representatividad de las muestras, mismas que se describen en el capítulo 2. Lo anterior obliga a tener cautela en la interpretación de resultados que surjan a partir de este trabajo. Para tener mayor confianza en ellos conviene realizar análisis exhaustivos de las muestras, así como contar con mayor información; con el fin de enriquecer las distribuciones de probabilidad de las variables seleccionadas. A pesar de lo anterior se considera que las distribuciones de probabilidad que a continuación se presentan son apropiadas, tomando en cuenta los alcances y las condiciones en que se desarrollan trabajos de este tipo.

3.4.2. Distribución de probabilidad de los costos iniciales de inversión.

De las 42 obras disponibles, se seleccionaron 18 que reunían la característica común de que su construcción siguió un curso normal, de acuerdo con los términos establecidos en el contrato. Las 24 restantes se descartaron por seguir un curso de construcción anormal. La distribución teórica que mejor se ajustó resultó ser de tipo normal, con media, m_x , igual a 1.08 y desviación estándar, S_x , igual a 0.14. Un listado de las obras que incluye esta muestra aparece en el anexo 3.1. Los cálculos realizados se presentan en el anexo 3.2.

3.4.3. Distribución de probabilidad duración de la construcción del proyecto.

Se seleccionaron diez de las 42 obras disponibles, ya que el resto son obras que se encuentran aún en proceso de construcción.

La distribución teórica que mejor se ajustó resultó ser una curva normal con media igual a 2.6, y desviación estándar igual a 0.47. Un listado de las obras que incluye esta muestra aparece en el anexo 3.3 y los cálculos realizados se presentan en el anexo 3.4.

3.4.4. Distribución de probabilidad del volumen de tránsito inicial.

Para el análisis de esta variable se elaboró una muestra de 31 elementos.

Los 31 elementos son obras sin ninguna característica en especial, simplemente se trata de obras en las que se ha podido hacer un aforo de tránsito que permite su comparación con los valores estimados. Para esta variable no se ajustó ninguna de las distribuciones de probabilidad teóricas existentes por lo que se procedió a elaborar un histograma, mismo que será utilizado en la simulación.

Un listado de las obras que incluye esta muestra aparece en el anexo 3.5 y los cálculos realizados se presentan en el anexo 3.6.

3.2.2. Variables que intervienen en los costos.

Ya se ha dicho que en la determinación de los costos totales del proyecto intervienen los siguientes conceptos: costos de inversión inicial, costos de conservación anual y costos de conservación periódica. En el modelo de evaluación utilizado, los costos de conservación, tanto anual como periódica, se calculan como un porcentaje de los costos de inversión inicial, el cual varía según el tipo de obra de que se trate. Todas estas variables son difíciles de pronosticar, sobre todo tomando en cuenta las condiciones tan variables que influyen en el comportamiento de los precios.

Por último, otra variable que no interviene directamente en la determinación de los beneficios ni en la de los costos, pero que influye en el resultado de la evaluación, es la duración de la obra. La importancia de esta variable radica en que solo cuando ha transcurrido este período obtienen los primeros beneficios, aunque ya una buena parte de los costos de inversión se hayan tenido que cubrir. Es claro que no da lo mismo recibir los beneficios de un proyecto en el tiempo programado, que cuatro o cinco años después. Dadas las condiciones económicas existentes, resulta difícil hacer un pronóstico acertado respecto a la duración de las obras, por lo que también resulta una variable incierta.

3.3. Discusión general e identificación de las variables de estudio.

Entre las variables que han sido citadas, hay algunas que se relacionan entre sí, lo que implica que existe correlación entre ellas. La correlación es el grado de relación entre variables; ésta puede ser difícil de detectar, y más aún, de medir, sin embargo, el ignorarla puede conducir a una interpretación errónea de cualquier análisis que involucre las variables correlacionadas.

El comportamiento exhibido por variables correlacionadas es fácil de comprender. Cuando existen variables que se correlacionan, el efecto de la varia-

3.4.5. Distribución de probabilidad de la tasa anual de crecimiento del tránsito.

La muestra de trabajo constó de 28 elementos y se trata de obras sin ninguna característica en especial, únicamente que en ellas se ha podido registrar el crecimiento del tránsito. En el caso de esta variable no se ajustó ninguna de las distribuciones teóricas existentes, por lo que se procedió a elaborar su histograma. El listado de las obras que incluye esta muestra aparece en el anexo 3.7 y los cálculos realizados en el anexo 3.8.

3.4.6. Conclusiones

El cuadro 3.1 resume los resultados obtenidos. En él se observa que para el caso de las variables con distribución normal la desviación estándar no es muy grande, se trata de curvas "cerradas". Por lo que a las otras dos variables respecta, en ellas la desviación estándar es grande.

Por otra parte, aparentemente los variables con el mismo tipo de distribución, guardan relación entre sí y se comportan igual; esto es, por una parte el costo de inversión inicial guarda relación con la duración de la obra, y por otra, el volumen de tránsito inicial con la tasa anual de crecimiento del tránsito.

Por último, debe recordarse que estas distribuciones se manejan en términos relativos. Por ejemplo, el hecho de que en el costo de inversión inicial el valor medio de la relación valor real, valor supuesto sea de 1.08 (ver cuadro 3.1) indica que si se estima un valor de la inversión inicial, bajo los criterios normalmente seguidos, en la realidad éste valor tenderá a ser superior a un 8%, según la tendencia central observada.

CUADRO 3.1.
RESUMEN DE RESULTADOS

VARIABLE	DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD	m_x	S_x
Costo de inversión inicial	distribución normal	1.08	0.14
Duración de la obra	distribución normal	2.60	0.47
Volumen de tránsito inicial	histograma	0.96	0.42
Tasa anual de crecimiento del tránsito	histograma	0.93	0.53

4. Bases para la aplicación del método.

4. Bases para la aplicación del método

4.1. Generalidades

La aplicación del método consiste en lo esencial en repetir el uso del modelo comúnmente empleado para la evaluación económica de proyectos carreteros de modernización y obra nueva. Según el método propuesto, la evaluación no se realiza una sola vez, sino que se lleva a cabo un cierto número de veces. Por cada vez que se aplica el método se obtienen valores aleatorios de las variables de interés comentados en el capítulo anterior. Los resultados de los índices económicos se almacenan para después realizar su análisis estadístico y extraer conclusiones relativas a la bondad del proyecto bajo condiciones inciertas.

En la figura 4.1 se observa el proceso que normalmente sigue un estudio de evaluación económica, y que comprende las fases de recopilación de información y análisis de datos para alimentar al modelo, cálculo de índices económicos, análisis de sensibilidad y recomendaciones.

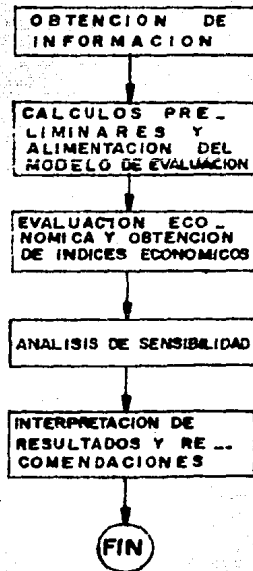
Para aplicar el método propuesto al proceso de evaluación descrito, simplemente hay que añadir las fases de simulación, almacenamiento de resultados generados por la evaluación y análisis estadístico, tal y como se muestra en la figura 4.2.

4.2. Descripción de la aplicación del método convencional de evaluación económica de carreteras.

El diagrama de flujo que aparece en la figura 4.1 se ha desarrollado en un programa FORTRAN de computadora; este programa sirve como base para el cómputo de los índices económicos de proyectos carreteros de modernización y obra nueva, que se estudian en la Dirección General de Planeación de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, y constituye una implantación de lo que se apuntó

FIGURA 4.1

PROCESO CONVENCIONAL QUE SIGUE UN ESTUDIO DE
EVALUACION ECONOMICA



últimas cuatro variables son las seleccionadas para darles trato probabilístico durante la simulación.

3. Proyección del tránsito toma como base el volumen de tránsito inicial (VTI), al que se le aplica la tasa de crecimiento TF hasta cubrir el horizonte económico especificado. Cuando se trata de una obra nueva, la proyección del tránsito debe incluir al tránsito generado, que es aquel que debe su existencia a la construcción del camino.
4. Cálculo de velocidades de operación (con y sin proyecto), para cada año del horizonte económico. Este cálculo se apoya en la relación existente entre el volumen de tránsito anual, que habrá en la carretera y la capacidad de la misma.
5. Cálculo de los costos de operación (con y sin proyecto), para cada año del horizonte económico. Estos costos dependen a grandes rasgos, de la velocidad de operación, del tipo de terreno. La manera como el programa calcula los costos de operación es mediante ecuaciones obtenidas estadísticamente que los relacionan con tasas variables.
6. Cálculo de los tiempos de recorrido (con y sin proyecto), para cada año del horizonte económico, mediante la fórmula tiempo= distancia entre velocidad.
7. Cálculo de los beneficios por ahorros en costos de operación y en tiempos de recorrido, para cada año del horizonte económico. Ello se basa en la diferencia entre las situaciones "sin proyecto" y "con proyecto".
8. Cálculo de inversiones y gastos de conservación (con y sin proyecto) para cada año del horizonte económico. Para ello, el dato de la inversión inicial se distribuye a lo largo de la duración de la obra mediante un factor de distribución de la inversión (en %) que se le da a la máquina

en el capítulo 1, basada en la comparación de beneficios y costos, debidos al proyecto estudiado en la que los beneficios se calculan sobre la base de ahorros en tiempos de recorrido y costos de operación, y los costos constituyen el gasto económico que la colectividad debe afrontar debido a la construcción y mantenimiento del proyecto en cuestión.

Así, el programa está diseñado para calcular el Índice de Rentabilidad, la Tasa Interna de Retorno, el Índice de Rentabilidad Inmediata y el Valor Presente Neto, de la forma descrita en el capítulo 1. La obtención de estos indicadores se efectúa igual que en cualquier otro caso, por lo que la forma de calcularlos no cambia al aplicar el método.

El programa también lleva a cabo un análisis de sensibilidad, en función de variaciones en el valor de la inversión inicial, de los beneficios y de la tasa de actualización. Este análisis, que se basa en la variación individual de cada una de esas variables, sale sobrando al aplicar el método propuesto.

El proceso general que sigue este programa está estructurado de la siguiente manera:

1. El proceso se inicia con la lectura de datos generales del proyecto por evaluar: año base de referencia, número de tramos, horizonte económico del proyecto (20 años más el número de años de construcción del tramo que más tardará en construirse) y el nombre de la obra.
2. El análisis por tramos se inicia con la lectura de los datos del tramo analizado, entre los que destacan sus características geométricas y de rodamiento (con y sin proyecto), el porcentaje de distribución de la inversión inicial para el año de construcción, el volumen de tránsito inicial (VTI), la tasa de crecimiento anual del tránsito (TF), la inversión inicial (XINV) y la duración prevista para la construcción del tramo (NC). Las

como dato. En cuanto a la conservación, el dato alimentado a la máquina está dado en (\$/km), por lo que la máquina simplemente multiplica ese dato por la longitud de la carretera, para obtener la magnitud real del dato.

9. Cálculo de los índices de rentabilidad del tramo. Esto, tal como se anota en el capítulo 1.
 10. Análisis de sensibilidad variando los costos de inversión, beneficios y tasa de actualización (por separado) La máquina varía estos datos utilizando factores de variación (dados en %) y repite desde el paso 2 hasta el paso 9, parando hasta no encontrar algún otro factor de variación e imprimiendo los resultados de cada ciclo. Los factores de variación son dados como dato a la máquina (en el paso 2).
 11. Fin del análisis.
 12. Impresión de resultados.
 13. Fin del proceso
- 4.3 Descripción de la aplicación del método propuesto.

El primer paso para aplicar el método propuesto consiste en insertar al método convencional la rutina para la simulación Monte Carlo. Como puede verse en el capítulo 2, las distribuciones de probabilidad usadas para la simulación dependen de valores supuestos para las variables sujetas a tratamiento probabilístico. Por ello, la inserción necesariamente se efectúa después de que el programa ya dispone de esos datos. Los datos supuestos corresponden a los que normalmente se suministran para efectuar una evaluación convencional.

Una vez efectuada la generación de los valores de las variables referidas por medio del método de Monte Carlo, el proceso continúa como en el caso normal, aunque ahora los cálculos se harán con los valores obtenidos aleatoriamente. El proceso continúa hasta que se calculan los índices de rentabilidad por tramo,

mismos que se almacenan para su posterior análisis estadístico. Una vez guardados los resultados, el mismo proceso se repite un número adecuado de veces con el fin de generar información suficiente para el análisis estadístico. Para ello, el programa convencional se adecúa para repetir este proceso sin tener que efectuar una nueva lectura de datos. Una vez que se dispone de la información suficiente para desarrollar el análisis estadístico, éste procede según métodos convencionales. Cuando se termina el análisis, el programa imprime los resultados y puede procederse al estudio de otro proyecto.

Con respecto al método convencional de evaluación, las principales novedades radican en el uso de la simulación Monte Carlo y el análisis estadístico de los resultados. Por tal motivo, a continuación se describen las características más importantes de las rutinas desarrolladas con ese propósito.

4.4. Rutina para la simulación Monte Carlo.

Dada una variable aleatoria y su distribución de probabilidad, el método de Monte Carlo permite obtener un valor específico de la variable mediante el uso de números aleatorios. Cada número aleatorio está asociado con una probabilidad acumulada, la que a su vez corresponde a un valor específico de la variable.

Por ejemplo, como se observa en la figura 4.3, al número aleatorio y_1 le corresponde una probabilidad acumulada que a su vez conduce a un valor de la variable de interés (x) igual a 5.

Para implementar esta rutina dentro del método de evaluación e incorporarla al programa de cómputo correspondiente es entonces necesario hacer lo siguiente:

- i) Generar un número aleatorio entre cero y uno.
- ii) Mediante la inversa de la función acumulada de la variable de interés obtenida a partir de la distribución de probabilidad específica dis-

cutida en el capítulo 3, usar el número aleatorio para obtener el valor específico de la relación valor real-valor supuesto (la razón de usar esta relación ha sido discutida en el capítulo 3).

- iii) Multiplicar este valor por el valor supuesto de la variable de interés, mismo que se proporcionó al leer los datos. El producto representa al valor simulado de la variable de interés.
- iv) Repetir los pasos i, ii y iii, hasta que se hayan simulado los valores de las cuatro variables seleccionadas: el volumen de tránsito inicial (VTI), su tasa de crecimiento (TF), la inversión inicial (XINV) y el número de años de construcción (NC). Con estos valores simulados, el proceso puede continuar como ya se ha descrito, es decir, con la aplicación de los pasos del método convencional de evaluación.

Supóngase, por ejemplo, que el valor del número de años de construcción supuesto es de dos años, y que la figura 4.3 corresponde a la función acumulada de esta variable. Entonces, la rutina haría lo siguiente:

- i) Generar un número aleatorio entre cero y uno, por ejemplo: 0.80
- ii) Mediante la inversa de la función acumulada de la variable en cuestión se observa que $f^{-1}(0.80) = 5$ (ver figura 4.3), que es el valor específico buscado.
- iii) Obtener producto:

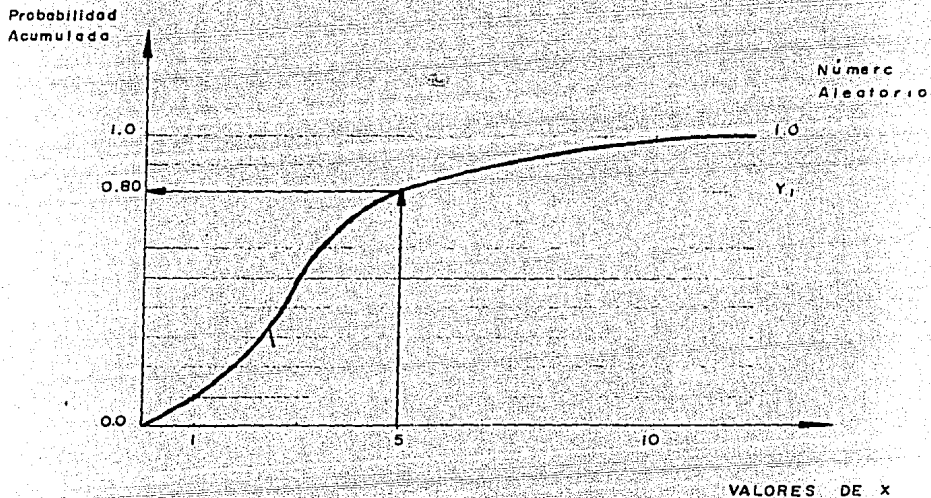
Valor simulado = "valor real" = valor supuesto \times 5 = $2 \times 5 = 10$

El valor simulado para los años de construcción en este caso será de 10 años.

- iv) Volver al paso i, para repetir el procedimiento con la siguiente variable.

FIGURA 4.3

SIMULACION MONTE CARLO



Funcion de distribucion
acumulada de la
Variable de interes.

La manera de generar números aleatorios propiamente dichos es mediante un sorteo, haciendo uso de una urna. Como esto resulta impráctico, en la práctica se utilizan los números llamados "pseudoaleatorios", que se obtienen a base de métodos numéricos calibrados mediante pruebas estadísticas, para que cada número generado tenga aproximadamente la misma probabilidad de aparición. Es común que las computadoras cuenten con una función diseñada para este fin, por lo que en este trabajo se recurrió a una de ellas para generar los números aleatorios.

En el anexo 4.1 se muestra la codificación de esta rutina. Cabe señalar, que la transformación de funciones de probabilidad en distribuciones acumuladas se efectúa mediante las siguientes expresiones:

$$i) \quad FA = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \, dx,$$

para el caso continuo, que es el que se presenta cuando se usan distribuciones teóricas de probabilidad; y

$$ii) \quad FA = \sum_{IC=1}^{NIC} f_i \quad (IC);$$

donde

NIC = No. total de intervalos de clase

IC = Intervalo de clase

para el caso discreto, que corresponde al caso en que se usan distribuciones de probabilidad empíricas. Esta fórmula es la sumatoria de las frecuencias (f_i) con que se observa que existe un elemento de la muestra dentro del intervalo de clase correspondiente (IC).

4.5. Rutina para el análisis estadístico.

El propósito del análisis estadístico es el de habilitar al técnico evaluador para que esté en condiciones de elaborar recomendaciones sobre un proyecto determinado. En otras palabras, el análisis estadístico es el resultado final de la apli-

cación del método de simulación empleado.

Con objeto que cumpla con las finalidades que lo motivan, el análisis debe proporcionar la siguiente información: tabla de frecuencias, que deberá incluir intervalos de clase, frecuencias acumuladas observadas y frecuencias acumuladas relativas; deciles 2,5 y 8; media y desviación estándar; y, finalmente, intervalo de confianza de la media.

Cuando el número de datos es grande, los datos del análisis estadístico se pueden agrupar de manera tal que se puedan distinguir tendencias entre los valores observados. Para lograrlo, conviene condensar los datos tabulando las frecuencias observadas. Estos intervalos se llaman intervalos de clase, y deben estar delimitados de tal forma que permitan identificar plenamente si un dato particular pertenece a uno u otro intervalo de clase. En la práctica, se ha visto que conviene fijar entre cinco y quince intervalos de clase, y en que cada intervalo existan por lo menos cinco observaciones.

En el caso de la rutina aquí descrita se ha escogido trabajar con diez intervalos de clase, por lo que la amplitud de cada intervalo de clase es igual a la diferencia entre el valor mayor de la muestra y el valor menor, dividida por diez unidades.

La frecuencia absoluta observada es el número de veces en que se observa que un dato pertenece a uno de los datos de los intervalos de clase, tomando en cuenta que para ello el dato debe ser mayor o igual al límite mayor del intervalo, y menor que el límite mayor del mismo. Además, en este caso se considerará que el valor mayor de la muestra siempre pertenece al último de los intervalos de clase. La frecuencia acumulada observada es la suma acumulada de las frecuencias absolutas de cada intervalo de clase. La frecuencia relativa acumulada corresponde al cociente de la frecuencia acumulada observada, entre el número de datos de la muestra.

La información que proporcionan los deciles 2, 5 y 8 es muy útil, ya que éstos representan precisamente la fracción de la totalidad de datos que tienen un valor menor o igual al del décil correspondiente. Por ejemplo, si el decil 2 del análisis del índice de rentabilidad de algún tramo fuera igual a 1, esto significaría que el 20% de los índices de rentabilidad generados en la simulación para el tramo en cuestión tendrían un valor menor que 1, o bien, que en el 80% de los casos ese tramo resulto rentable.

La fórmula utilizada para calcularlos es:

$$\text{DECIL } d = L_i + c \frac{(d \cdot n/10) - \sum f}{f_d} \quad (4.1)$$

donde:

$d =$ 2, 5 u8, según el decil que se esté calculando;

$L_i =$ Límite inferior del intervalo de clase en donde se encuentra el decil deseado ;

$c =$ Amplitud del intervalo de clase;

$n =$ Tamaño de la muestra;

$f =$ Suma de las frecuencias de los intervalos anteriores a aquél en donde está alojado el decil buscado;

$f_j =$ Frecuencia observada del mismo intervalo de clase;

La media y la desviación estándar son parámetros descriptivos de una muestra, y ya se han descrito en el capítulo 2. Aquí conviene mencionar que la rutina debe distinguir, para su cálculo, aquellos casos en que se trate de muestras grandes ($n \geq 30$) de otros en que se manejen muestras pequeñas.

Finalmente, para probar qué tan bueno ha sido el análisis estadístico realizado, se usan los intervalos de confianza. Un intervalo de confianza se interpreta como la región de aceptación de algún parámetro desconocido. Si se supone

que se tiene una población de tamaño infinito, de la que se desconoce su media real, el cálculo de intervalos de confianza para esa población permite estimar, con un determinado nivel de confianza, el rango de valores que podría asumir la media de interés. Así, para el análisis estadístico, se propone el uso de los intervalos de confianza como una forma de probar la confiabilidad de los valores generados en él. Lo anterior se lleva a cabo con base en la siguiente regla de decisión: si los límites que marcan los intervalos de confianza para la media poblacional defieren mucho del valor de la media muestral calculada, ello quiere decir que ésta puede diferir sensiblemente de la media de la población total, por lo que el análisis no es bueno. Si, en el caso contrario, la media muestral calculada varía poco con respecto a los mismos límites, se tendrá entonces que la media calculada no difiere mucho de la media poblacional, por lo que el análisis estadístico será bueno. La muestra y su media pueden entonces considerarse como representativas de la población total.

Los límites de confianza de la media poblacional están dados por la expresión.

$$m_x \pm Z_c \cdot S_x / \sqrt{n} \quad (4.2);$$

donde:

- m_x = Media muestral,
- S_x = Desviación estándar de la muestra,
- n = Tamaño de la muestra; si la muestra es pequeña: $n = n-1$,
- Z_c = Valor crítico que depende del nivel de confianza que se desee tener.

En el caso del análisis aquí presentado se trabaja con niveles de confianza del 5% y del 1%, para los cuales Z_c vale 1.96 y 2.58, respectivamente, (para muestras pequeñas Z_c valdría 2.26 y 3.25, respectivamente). La interpretación del nivel de confianza se explica con detalle en el capítulo 3.

La programación de esta rutina es muy sencilla, y consiste simplemente en desarrollar el siguiente proceso:

1. Ordenar la información y prepararla para el análisis:
 - i) Encontrar el mayor y el menor valor de la muestra, así como el rango y la amplitud de los intervalos de clase.
 - ii) Agrupar los datos según los intervalos de clase definidos.
 - iii) Calcular la frecuencia acumulada y la frecuencia relativa.
2. Llevar a cabo el análisis estadístico:
 - i) Obtener la media y la desviación estándar para datos agrupados.
 - ii) Obtener los deciles 2, 5 y 8.
3. Verificar el análisis estadístico:
 - i) Calcular los intervalos de confianza para el nivel del 95% y para el del 99%.

En el anexo 4.2 se muestra la codificación en lenguaje FORTRAN de esta rutina

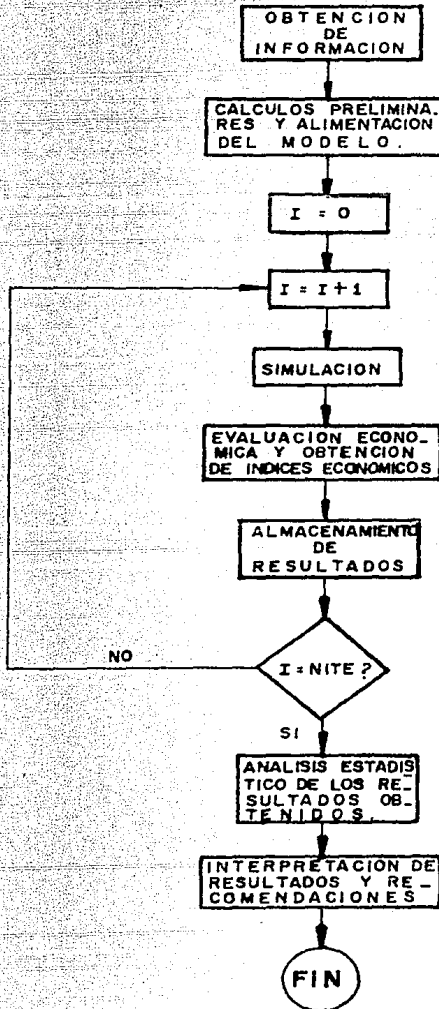
4.6 Consideraciones finales para la aplicación del método.

Con la inserción de estas rutinas en el programa convencional de evaluación quedan sentadas las bases para la aplicación del método que permite el análisis explícito de la incertidumbre que rodea los proyectos. Resta solo introducir algunas consideraciones referentes a la lectura de datos para estar en condiciones de aplicar el método en el análisis de casos específicos.

Al inicio de este capítulo se advierte que la idea básica de este método es que se aplique en el modelo convencional de tal manera que los datos que alimenten a una corrida convencional sean los mismos que alimenten al método propuesto. Esto se cumple con la sola excepción de dos casos, descritos en seguida, debidos a las características propias del método propuesto.

FIGURA 4.2

PROCESO DE EVALUACION ECONOMICA QUE SE SIGUE CON EL METODO QUE TOMA EN CUENTA LA INCERTIDUMBRE



(NITE = N° DE ITERACIONES ESTABLECIDO)

El primer caso se refiere al dato del horizonte económico del proyecto. Este dato se calcula como la suma de 20 años más el número de años de construcción del tramo analizado. En el caso normal, se supone que esta información se conoce desde antes de hacer la corrida, lo que no sucede en el caso del método propuesto, ya que el tiempo de construcción es una de las variables simuladas. Para incorporar esto al análisis, simplemente se instruye a la computadora para que calcule el horizonte económico de cada tramo con la expresión:

$$N = NC + 20 \quad (4.3);$$

donde:

N= Horizonte económico

NC= Número simulado de años de construcción del tramo en cuestión.

Por tanto, N no debe incluirse en la lectura de los datos generales.

El otro caso también se relaciona con el número de años de construcción y se refiere a la forma en que se distribuye la inversión inicial a lo largo del período de construcción del tramo analizado. En el método convencional de análisis, este dato se proporciona junto con los datos particulares de cada tramo. La distribución de la inversión se efectúa a juicio del analista, y es común adoptar criterios que lleven a distribuciones equitativas o bien distribuidas en forma normal. Así, si por ejemplo el número de años de construcción es cuatro, es frecuente suponer que la inversión se repartirá con un 20% para el primer año, 30% para el segundo y el tercero, y 20% para el cuarto. Otra posibilidad es la de repartirla al 25% anual.

En el caso del método de simulación propuesto, es difícil que el técnico evaluador esté en condiciones de precisar la distribución de la inversión, ya que no conoce a priori el valor que la simulación asignará al número de años de construcción. Por ello, hay que idear una manera para que la distribución se efectúe

de manera automática, sin leer ningún dato. En este caso, y para simplificar, se supondrá que se distribuye en partes iguales, de modo que el porcentaje que le tocará a cada año será simplemente $\frac{100}{NC}$

Para concluir, debe mencionarse que con estas consideraciones y otras menores, como dimensionamiento y redimensionamiento de variables vector y definición de formatos de impresión de resultados, se está en condiciones de aplicar el método al análisis de casos específicos.

5. Análisis de casos específicos.

5. Análisis de casos específicos.

En el presente capítulo, el método se utiliza para analizar la propuesta de construcción de un libramiento para la ciudad de Monclova, Coahuila, proyecto en el que existe una gran incertidumbre, especialmente en torno al tránsito que previsiblemente haría uso de él.

5.1 Número de simulaciones por efectuar.

Antes de aplicar el método se realizó una serie de pruebas con objeto de conocer el número de simulaciones por efectuar. La confiabilidad del análisis estadístico realizado con los resultados de la simulación puede ser medida estadísticamente por medio de intervalos de confianza, y depende directamente del número de simulaciones efectuadas para cada caso. En efecto, es evidente que los resultados estadísticos de una corrida con quinientas simulaciones son más confiables que los de otra con solo dos simulaciones, ya que esta última prácticamente correspondería al resultado puntual del método determinístico tradicional. Aunque lo deseable sería contar con el mayor número de simulaciones posibles, ese propósito tiene un costo, que es el de su proceso en computadora, ya que no es lo mismo hacer un cálculo dos veces que hacerlo quinientas aún electrónicamente. Por ello, es importante escoger un tamaño de muestra que garantice un nivel deseado de precisión a un tiempo y costo mínimos de procesamiento por computadora.

Para determinar el número más conveniente de simulaciones a efectuar, se realizaron corridas variando el número de simulaciones. Los resultados obtenidos se resumen en los cuadros 5.1.a, 5.1.b, 5.1.c y 5.1.d, y corresponden al análisis estadístico de los índices de rentabilidad de un proyecto cualquiera al que se le aplicó el método. Del análisis de la información de los cuadros se concluye que doscientos es un número adecuado de simulaciones por corrida, ya que, si bien

CUADRO 5.1.a
 DETERMINACION DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA
 (X= Indice de Rentabilidad)

No. DE ITERACIONES	m_x	s_x	Intervalo de Confianza de m_x al 99%	Diferencia en- tre m_x e intervalo de confianza
2	16.6	12.1	(-22.6, 55.8)	39.2
50	12.6	9.8	(9.0, 16.2)	3.6
100	13.1	10.1	(10.5, 15.7)	2.6
150	12.7	10.2	(10.6, 14.9)	2.1
200	12.3	9.9	(10.5, 14.1)	1.8
250	12.6	9.9	(11.0, 14.2)	1.6
300	12.2	9.7	(10.8, 13.7)	1.4
350	12.2	9.6	(10.9, 13.5)	1.3
400	12.2	9.8	(11.0, 13.5)	1.2
500	12.5	10.0	(11.4, 13.7)	1.1
750	12.7	10.0	(11.7, 13.6)	1.0

CUADRO 5.1. b
DETERMINACION DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

(x= Tasa Interna de Retorno)

No. DE ITERACIONES	m_x (en %)	s_x (en %)	Intervalo de confianza al 99%	Diferencia con respecto a m_x
2	62.3	21.5	(7.5, 132.1)	69.8
50	47.8	20.4	(40.4, 55.3)	7.4
100	49.3	25.8	(42.7, 56.0)	6.6
150	47.7	26.7	(42.0, 55.3)	5.7
200	46.6	26.8	(41.7, 51.5)	4.9
250	46.8	27.1	(42.4, 51.2)	4.4
300	46.2	27.1	(41.2, 50.3)	4.0
350	45.4	27.8	(41.6, 49.2)	3.8
400	45.5	28.0	(41.9, 49.1)	3.6
500	45.4	29.5	(42.0, 48.8)	3.4
750	45.9	28.5	(43.2, 48.6)	2.7

CUADRO 5.1.c

DETERMINACION DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

(x= Valor Presente Neto)

No. DE ITERACIONES	m_x (Millones de pesos)	s_x (Millones de pesos)	INTERVALO DE CONFIANZA AL 99 %	DIFERENCIA CON RESPECTO A m_x
2	4991.7	4330.3	(-9481.7, 19065.11)	14 073.4
50	3053.5	2475.1	(2150.43, 3956.6)	903.1
100	3418.4	2833.3	(2687.4, 4149.4)	731.0
150	3288.6	2871.1	(2683.8, 3893.4)	601.2
200	3158.9	2765.8	(2654.3, 3663.5)	504.6
250	3210.8	2765.9	(2759.5, 3662.2)	451.3
300	3109.1	2687.0	(2708.8, 3509.3)	400.3
350	3093.9	2657.5	(2727.4, 3460.3)	366.5
400	3106.1	2695.8	(2758.4, 3453.9)	347.7
500	3177.5	2700.6	(2865.9, 3489.11)	311.6
750	3176.6	2670.6	(2925.0, 3428.20)	251.6

CUADRO 5.1.d.

DETERMINACION DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

(x= Índice de Rentabilidad Inmediata)

No. DE ITERACIONES	m_x	s_x	INTERVALO DE CONFIANZA AL 99%	DIFERENCIA CON RESPEC- TO m_x
2	71.2	22.0	(- 0.3, 142.7)	71.5
50	59.8	48.6	(- 421, 77.5)	17.7
100	61.7	46.6	(- 49.6, 73.7)	12.1
150	59.7	45.7	(- 50.0, 69.3)	9.7
200	58.9	44.8	(- 50.7, 67.1)	8.2
250	60.8	45.5	(- 53.3, 68.2)	7.5
300	59.5	45.4	(- 52.8, 66.3)	6.7
350	57.9	44.0	(- 51.8, 63.9)	6.1
400	57.6	44.0	(- 51.9, 63.3)	5.7
500	58.4	45.4	(- 53.1, 63.6)	5.3
750	58.5	45.8	(- 54.2, 62.9)	4.3

para un número superior la confiabilidad del análisis es mayor, los resultados estadísticos casi no cambian y se incrementan los tiempos de procesamiento de computadora, tal y como lo muestra el cuadro 5.2.

En efecto, como se observa en los cuadros 5.1 a-d, conforme se incrementa el número de iteraciones la diferencia entre la media y los intervalos de confianza de la media es menor, favoreciendo con ello la confiabilidad del análisis, sin embargo, a partir de la iteración # 200 los parámetros estadísticos no varían sensiblemente y así se tiene que la media y desviación estándar del proceso con doscientas iteraciones son prácticamente iguales a los del proceso con setecientas cincuenta iteraciones, pero con tiempos de procesamiento bastante diferentes entre sí.

La base de la conclusión es simple: si bien es cierto que conforme aumenta el tamaño de la muestra también se incrementa la confiabilidad del análisis, en el límite, con un número infinito de simulaciones, los resultados deben tender hacia un solo valor, si se toma en cuenta el fundamento probabilístico en que se apoya el método.

5.2 Antecedentes del proyecto.

El volumen de tránsito de la carretera Saltillo-Piedras Negras ha aumentado considerablemente en los últimos años, especialmente en el tramo ubicado en la zona suburbana y urbana de la ciudad industrial de Monclova. Debido a ello, las condiciones de servicio ofrecidas al tránsito no son las más adecuadas; situación que se agudiza a la entrada y a la salida de la ciudad, ya que carece de un libramiento. Además, el recorrido de más de 10 km. a través de la ciudad ocasiona un desastre vial interno y un gran deterioro de las avenidas.

En virtud de lo anterior, el Gobierno del Estado de Coahuila ha solicitado al Gobierno Federal la construcción de un libramiento carretero para esa ciudad, con lo que piensa beneficiar tanto a la población de Monclova como al tránsito de paso.

CUADRO 5.2
TIEMPOS DE EJECUCION

No. DE ITERACIONES	CPU SEGUNDOS
2	1.82
50	14.75
100	27.86
150	40.45
200	53.04
250	66.02
300	77.56
350	90.71
400	103.41
500	136.26
750	192.16

El Gobierno Federal ha manifestado que apoyará al Gobierno de Coahuila con la realización de estudios, del proyecto ejecutivo y con la construcción del libramiento, siempre y cuando éste se justifique económicamente, por lo que resulta importante llevar a cabo un cuidadoso análisis de la situación.

Sin embargo, por el momento se cuenta únicamente con información general relativa a tres alternativas de solución, que de ninguna manera constituyen un proyecto definitivo. Esto dificulta la justificación económica de cualquiera de ellas, ya que como es lógico, la evaluación económica de un anteproyecto involucra una mayor incertidumbre que la de un proyecto terminado.

5.3. Descripción de las alternativas.

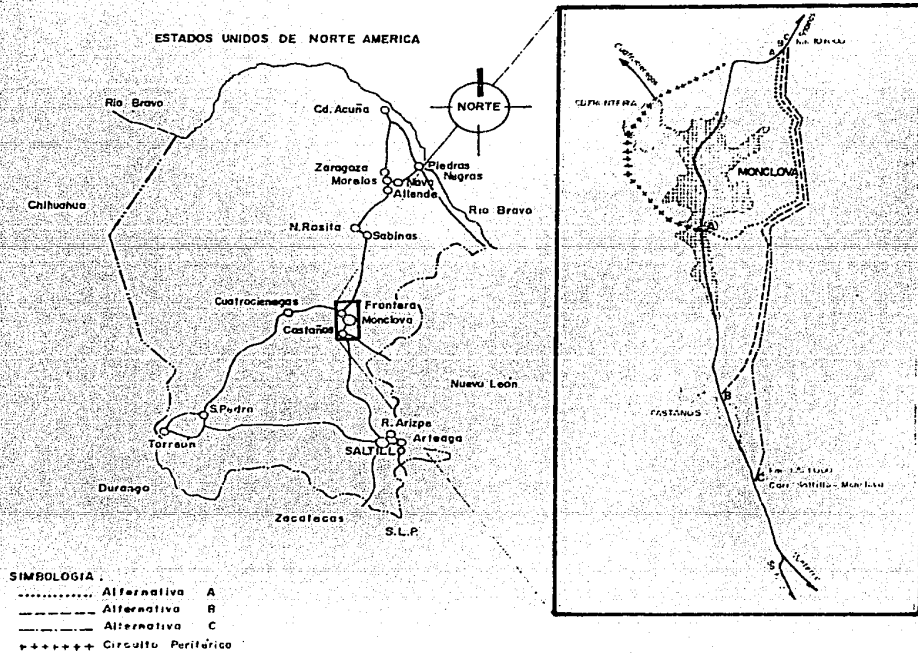
El trazo de las tres alternativas se muestra en la figura 5.1. La primera alternativa, denominada alternativa A, tiene una longitud de 14 km, y su costo aproximado es de 831 millones de pesos de principios de 1986. Incluye obras de drenaje menores y un puente. Esta alternativa funcionaría como parte de un circuito periférico contemplado en el Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Monclova, y que se muestra en la figura 5.1. Se estima que la construcción de esta alternativa tomaría 2 años.

La alternativa B tiene una longitud de 22 km, su costo aproximado es de 1983 millones de pesos de la misma fecha que en el caso anterior, e incluye obras de drenaje menores y dos puentes. La ruta se inicia inmediatamente al norte de la población de Castaños, al sur de Monclova, librándola por el oriente.

El libramiento también formaría parte del anillo periférico, y se estima que su construcción conforme a esta alternativa también tomaría dos años.

Por último, la alternativa C tiene una longitud de 27 km, con un costo aproximado de 1615 millones de pesos, también de principios de 1986. Esta alternativa funcionaría como libramiento oriente de Monclova y de Castaños, Coahuila.

FIGURA 5.1
TRAZO DE LAS ALTERNATIVAS



Incluye obras de drenaje menores y dos puentes, y se estima que se podría construir en tres años.

Además, se sabe que la mayor parte del desarrollo de cualquiera de las tres alternativas tendría lugar en terreno de lomerío, por lo que se preven importantes problemas de drenaje.

5.4 Incertidumbre del análisis.

La evaluación económica de un anteproyecto es muy riesgosa, ya que los datos de entrada son aún más inciertos que los de un proyecto. Por ejemplo, el costo de inversión estimado para cada una de las alternativas propuestas puede variar mucho simplemente por la selección del trazo de cada ruta. En efecto, la diferencia entre un trazo y otro puede hacer variar considerablemente los volúmenes de corte y terraplén, las distancias de acarreo de material, el número y tipo de obras de drenaje, y otros conceptos de obra de gran impacto en su costo total.

Los costos de estos conceptos inciden directamente en los costos de construcción. Otro factor que contribuye a la incertidumbre de los costos es la escasa información referente a los puentes. Hay que definir características de cada puente antes de poder estimar un presupuesto final: la longitud del claro, el sistema de apoyo, el tipo de cimentación, y el procedimiento constructivo, entre otros, son factores que deben estudiarse antes de determinar el costo de la estructura, mismo que puede tener un gran impacto en la inversión total del proyecto. Como es lógico, todos los conceptos apuntados también inciden en la duración de la construcción del proyecto.

Además de las características propias de los procedimientos de construcción que inciden en los costos y la duración de la obra, otros factores externos impredecibles también pueden modificar sus respectivos valores, aún tratándose de proyectos definitivos. Algunos de ellos son: el alza de los precios de los

materiales, la disponibilidad de flujos de efectivo, el costo de los fletes y factores meteorológicos, entre otros. El tránsito y su tasa de crecimiento merecen una discusión más profunda, ya que independientemente de que se analice un anteproyecto o no, se trata de variables que de por sí encierran una gran incertidumbre. Esta característica se agrava en el caso de los libramientos, ya que el tránsito local suele usarlos para trasladarse de un extremo de la ciudad a otro, aprovechándolo como circuito periférico, suceso previsto en las alternativas propuestas. Este tránsito local es sumamente difícil de cuantificar, ya que depende mucho de las preferencias y la conveniencia que ofrezcan a los usuarios locales.

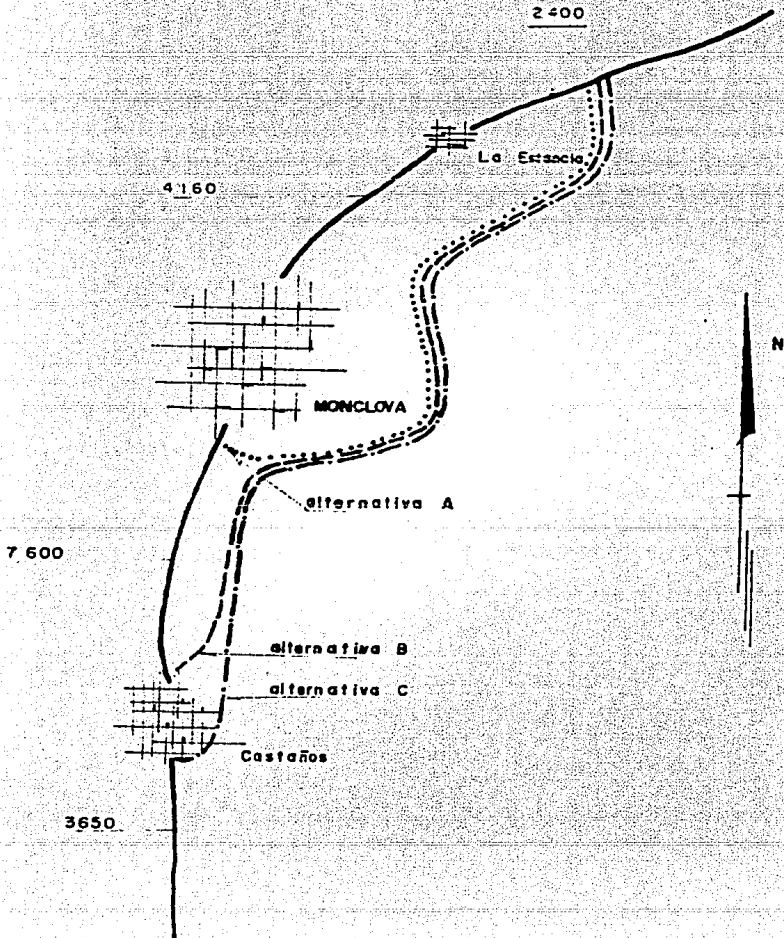
El tránsito usuario natural del libramiento es el de largo itinerario, mismo que resulta fácil de detectar si se llevan a cabo estudios de origen-destino en puntos apropiados. Sin embargo, en el caso de este proyecto no se llegó a disponer de tal información.

La figura 5.2 muestra el tránsito promedio diario anual que se prevé circulará por los tramos actuales durante 1986; este tránsito se obtuvo proyectando el TPDA registrado durante 1983 y 1984 a 1986, según la tendencia de crecimiento histórica observada. Las condiciones económicas erráticas de hoy en día provocan que este método tendencial de pronóstico resulte no muy confiable, pero a pesar de ello es muy común utilizarlo para pronosticar el futuro próximo (1983-1984 a 1986), debido a las dificultades implícitas en la obtención de la información adicional que requieren los modelos de pronóstico más sofisticados.

El análisis del tránsito descrito a continuación como muchos otros, está basado en la lógica y en la experiencia y criterio del técnico responsable. Como la lógica de las cosas y la experiencia adquirida no siempre se ajustan a la realidad el análisis es pletórico en riesgos.

FIGURA 5.2

TRANSITOS PARA 1986 EN LA ZONA DE ESTUDIO
(en TPDA)



Según la lógica, el tránsito que circulará con toda certeza por las tres alternativas propuestas es el de largo itinerario, que se puede calcular como la diferencia entre los tránsitos existentes en los extremos de la zona urbana. Si se considera que la zona conurbada abarca a Castaños, Monclova y La Estancia, el tránsito de largo itinerario estará formado por los 1250 vehículos (TPDA) que hay de diferencia entre el tránsito al sur de Castaños y el tránsito al norte de La Estancia.

Además, en la alternativa A existirá un tránsito local muy importante debido a que prácticamente constituye el tramo oriente del circuito periférico que se pretende construir en la ciudad. La realidad observada en otros libramientos, como los de Acayucan y Cuernavaca, ha demostrado que la ubicación de la obra puede provocar incrementos hasta de un 150% en el valor del tránsito esperado, lo que significa que en la alternativa A podría presentarse un tránsito de 3125 vehículos por día. El trazo de la alternativa B resulta desfavorable para el tránsito local, por lo que se considera que el tránsito estimado sólo se incrementará en un 115%, es decir, en 1440 vehículos. Por lo que respecta a la alternativa C, su trazo definitivamente la perjudica para dar servicio al tránsito local, ya que se encuentra fuera de la zona urbana. El tránsito local que haría uso de esta alternativa sería mínimo y no incrementaría el tránsito estimado de 1250 vehículos por día en forma sustancial.

5.5. Aplicación del método y resultados.

Como lo muestra el listado de los resultados obtenidos (el listado se muestra en las siguientes hojas). El análisis demuestra que las alternativas B y C deben descartarse, ya que en ningún momento arrojaron una rentabilidad positiva del proyecto. Esta situación contrasta con la de la alternativa A, que aún bajo las condiciones más desfavorables (# corrida 106) presenta índices económicos favorables para el proyecto.

CC. DIRECTORIO GENERAL DE PLANEACION
 EVALUACION ECONOMICA DE CARACTERES
 TRATAMIENTO DE LA HEREDITARIO DE ISLAND
 LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO.
 LIBRA LIPRIAMIENT MONTECARLO
 FEBRERO D. C. 1966

RESULTADOS DE LA SIMULACION.

ALTERNATIVA A								
ALTERNATIVA	DURACION DE JUBA (AOS)	INVERSION INICIAL (MILLONES DE \$)	TRAFICO BASICO (TPDA)	CRECIMIENTO ANUAL (%)	AVC (%)	TIR (%)	VPN (MILL.)	IRI (%)
1	4	1030.52	177	10	25.2	49.2	2297.30	17.7
2	5	1922.93	181	7	21.4	41.6	1772.70	15.6
3	5	900.45	1753	7	9.7	34.2	6287.23	15.8
4	5	914.77	1821	5	9.3	36.1	7432.30	14.6
5	5	1027.65	1888	2	4.8	26.7	3314.74	11.4
6	4	756.07	1059	3	6.9	27.2	2504.74	11.5
7	2	117.91	1351	4	8.0	36.1	6686.27	13.5
8	5	1047.49	1753	3	5.8	28.5	4170.82	11.9
9	7	1304.11	1757	2	5.9	37.2	3786.33	12.8
10	7	2964.45	1502	6	3.3	31.0	6593.02	11.1
11	7	1042.95	1713	6	12.4	32.9	9005.15	14.1
12	5	1130.21	1767	10	30.3	44.2	2801.31	17.4
13	5	2611.22	1874	5	10.1	34.0	7529.24	14.2
14	5	381.28	1710	1	9.5	28.9	3351.64	14.5
15	5	900.73	1692	3	7.3	30.4	4916.18	13.9
16	5	732.60	1730	7	12.5	41.7	12133.09	21.2
17	5	863.52	1839	2	3.8	24.7	2172.72	10.3
18	5	276.02	1338	2	6.8	30.4	4810.33	14.1
19	6	763.72	1272	5	17.5	39.2	10547.26	21.7
20	5	325.96	1753	3	6.3	29.6	4364.61	12.3
21	5	22.65	1749	4	16.4	37.9	9923.13	15.6
22	5	372.98	1815	7	14.0	37.7	2876.51	16.2
23	5	987.36	2244	3	9.2	34.2	6986.84	16.9
24	6	214.67	1796	7	16.1	37.0	11311.43	16.9
25	5	271.90	1892	6	13.9	38.1	3784.63	17.2
26	5	210.29	1644	3	5.4	28.4	3596.18	13.3
27	6	237.38	1925	4	11.3	34.2	7095.13	14.3
28	5	163.89	1322	2	2.2	26.1	3362.75	12.1
29	5	708.15	2226	6	20.5	49.6	19586.09	24.9
30	5	207.16	2011	4	15.9	41.0	11765.35	22.5
31	6	866.09	1688	1	4.8	26.4	2782.73	12.8
32	5	758.51	1774	3	12.3	35.7	9468.03	15.6
33	5	971.96	1757	6	17.7	41.5	10179.32	22.9
34	5	263.19	1802	7	18.8	37.8	12537.07	15.2
35	6	801.74	1897	3	8.4	32.2	4942.80	17.1
36	4	787.02	2102	2	9.7	37.6	6404.53	20.5
37	4	168.20	2662	11	32.3	58.8	41277.41	31.2
38	6	743.17	1701	7	30.5	40.6	12128.97	21.6
39	5	203.75	1760	4	10.2	35.0	7210.11	17.0
40	5	553.32	1352	3	7.9	32.3	6164.37	14.2

DCT. DIRECCION GENERAL DE PLANEACION
 PLANIFICACION ECONOMICA DE CARRETERAS
 TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE USANDO
 LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO
 DEL PROGRAMA DE EQUIPAMIENTO VEHICULAR
 DEL 1975-1976

RESULTADOS DE LA SIMULACION.

TRATAMIENTO ALTERNATIVO A								
NO. DE TRAYECTORIA	DURACION DE TRABAJO (AÑOS)	INVERSION INICIAL (MILLONES DE \$)	TRATAMIENTO BASICO (MILLONES DE \$)	CRECIMIENTO ANUAL (%)	9/C	TIR	MPM	IRI
1	4	307.16	253.0	6	11.5	36.9	8435.14	19.7
2	6	343.74	1581.0	4	12.5	34.7	8866.07	15.0
3	5	1069.69	1307.0	4	5.7	27.8	4222.61	10.5
4	6	1024.90	2069.0	1	5.8	28.0	3940.97	13.4
5	4	1065.15	1812.0	9	22.8	43.6	21036.44	16.7
6	5	1100.49	2362.0	2	7.4	31.7	5980.75	15.2
7	5	392.83	332.0	10	20.6	40.2	15329.38	15.6
8	5	937.53	1113.0	3	7.9	31.9	5409.99	14.7
9	6	969.37	2301.0	6	21.5	41.3	14620.08	22.7
10	5	1174.73	2713.0	4	10.1	34.7	7289.39	16.5
11	4	430.47	1036.0	9	13.6	35.3	9620.99	12.2
12	4	430.47	2243.0	4	16.0	44.0	10577.72	24.7
13	6	968.82	2187.0	2	8.2	31.4	5637.02	15.7
14	5	921.74	2065.0	10	38.0	52.0	24684.77	24.9
15	6	975.71	2111.0	4	11.4	34.6	9207.72	17.3
16	5	175.14	2112.0	9	21.3	42.8	17045.72	20.2
17	5	761.92	2308.0	3	11.0	36.8	6745.18	20.2
18	5	1022.17	1308.0	5	8.2	29.6	5591.82	12.6
19	4	831.51	2353.0	3	11.1	30.2	7045.38	20.6
20	5	1022.74	2077.0	3	10.8	36.9	8605.03	19.5
21	4	731.21	1172.0	2	7.9	33.4	5913.32	16.3
22	4	931.11	1167.0	2	16.8	41.1	13717.37	17.3
23	5	948.54	1106.0	1	2.8	21.5	1493.64	8.6
24	5	952.67	1040.0	4	4.8	25.9	3102.60	9.2
25	4	944.27	1366.0	6	14.6	30.7	10402.43	17.4
26	4	160.70	1135.0	2	3.2	29.3	5327.01	14.2
27	4	990.88	2761.0	10	45.2	54.6	37930.52	25.7
28	6	763.18	1171.0	9	16.3	36.3	9787.39	15.0
29	5	973.19	1603.0	10	26.3	43.6	19899.31	19.4
30	4	967.37	1093.0	4	12.4	39.1	9213.17	18.9
31	5	732.57	972.0	3	4.6	26.2	2366.97	10.8
32	4	157.65	1969.0	7	33.2	43.4	20753.45	24.9
33	4	753.03	1840.0	2	7.3	33.5	4909.15	17.1
34	5	379.08	1101.0	2	4.4	26.7	1813.64	13.3
35	4	951.41	2619.0	1	5.0	29.0	3157.02	14.1
36	6	889.12	2182.0	11	44.9	46.3	3198.16	26.3
37	5	973.19	1606.0	7	15.9	37.0	11741.13	16.3
38	4	955.43	1115.0	5	6.0	29.9	4742.22	10.5
39	6	911.32	1689.0	2	5.6	27.5	3392.98	13.0
40	4	872.82	1175.0	2	5.1	29.0	3459.51	12.9

DCA, DIRECCION GENERAL DE PLANEACION
 EVALUACION ECONOMICA DE CARRETERAS,
 TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE USANDO
 LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO,
 DEL ALIBRAMIENTO NONOLVA,
 MEXICO D.F. 1986

RESULTADO DE LA SIMULACION.

IP: 193.50.135.10

***** ALTERNATIVA A *****

# OPCIÓN	DURACION DE OBRA (AÑOS)	INVERSION INICIAL (MILLONES DE \$)	TRAFICO BASICO (TPDA)	CRECIMIENTO ANUAL (%)	B/C	IRR	VPN (MILL.)	IRI (%)
1	7	950.17	1450.	11.0	31.8	41.5	22473.10	12.7
2	7	775.92	3270.	4.	12.3	37.1	9460.95	18.1
3	3	1930.77	1213.	3.	4.9	28.1	3918.23	10.0
4	5	787.12	1953.	5.	11.5	35.0	8955.93	14.5
5	5	931.93	1620.	3.	7.6	32.0	4995.82	15.3
6	6	764.42	1552.	4.	10.0	33.0	5744.74	15.3
7	6	942.57	1949.	8.	10.2	31.7	7103.82	11.2
8	4	312.00	1153.	13.	16.1	36.3	12369.68	12.5
9	6	364.01	1445.	2.	4.3	25.5	4526.64	13.0
10	5	709.19	1721.	3.	8.2	32.4	5775.53	15.0
11	5	866.29	1238.	3.	11.3	34.3	7787.83	13.4
12	5	797.36	1757.	4.	9.1	34.3	5719.84	17.5
13	4	878.61	1617.	6.	13.5	38.6	16143.36	16.4
14	4	1030.40	2019.	5.	12.4	33.2	10649.90	16.6
15	5	887.73	1612.	5.	10.3	34.3	7150.84	15.2
16	6	925.31	1524.	3.	6.5	27.4	3213.32	19.2
17	5	939.79	1524.	3.	7.5	32.3	5668.69	15.3
18	5	862.51	2030.	5.	20.2	44.4	11544.94	27.6
19	5	1085.51	1603.	5.	8.2	31.4	6674.77	12.3
20	5	932.78	1750.	5.	11.7	39.9	9194.07	17.3
21	6	880.31	1664.	5.	11.7	34.2	7903.40	15.5
22	5	940.80	1717.	4.	11.0	36.4	8917.77	17.7
23	3	930.41	1383.	2.	7.1	34.5	5981.03	15.1
24	4	843.41	1719.	5.	13.4	36.8	9730.93	19.2
25	4	211.74	1072.	2.	11.3	34.1	7844.78	16.2
26	6	1050.02	1053.	1.	2.4	19.4	1180.90	7.1
27	4	1147.44	1095.	3.	3.1	22.4	2152.54	7.2
28	5	1150.20	1415.	3.	5.0	23.8	2712.90	7.9
29	6	710.60	2366.	5.	19.2	43.9	11620.29	26.8
30	5	1092.74	2327.	3.	18.4	41.2	16161.49	19.0
31	5	671.95	2235.	3.	14.9	42.1	8349.76	27.9
32	6	672.16	1144.	5.	6.3	27.7	3998.65	10.5
33	6	1171.11	1451.	7.	14.5	34.4	9146.37	13.0
34	7	703.22	1112.	1.	3.0	36.2	6076.65	10.2
35	4	825.92	1307.	7.	6.8	33.1	4473.48	17.7
36	6	953.79	2378.	6.	19.1	39.9	14047.57	20.9
37	5	919.27	1760.	3.	13.2	37.0	9748.98	15.8
38	4	1081.92	1574.	3.	6.7	31.0	5609.32	12.5
39	4	816.70	1207.	5.	13.2	39.8	10314.46	19.0
40	6	124.27	2352.	3.	3.4	32.3	6252.02	10.3

OCT. DIRECCION GENERAL DE PLANIFICACION
 EVALUACION ECONOMICA DE CARRETERAS.
 TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE USANDO
 LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO.
 DR. ALBERTO RAMIREZ HONOLLOVA
 MEXICO D.F. 1986

RESULTADOS DE LA SIMULACION.

TIPO DE ALTERNATIVA A

# CERRADA	DURACION DE OBRA (AÑOS)	INVERSION INICIAL (MILLONES DE \$)	TRANSITO BASICO (PPDA)	CRECIMIENTO ANUAL (%)	B/C	TIR (%)	VPN (MILL. \$)	ENI
121	5	1089.78	2261.	2.	7.7	32.2	6344.51	15.2
122	5	714.22	1343.	5.	7.3	30.1	5089.07	12.4
123	5	970.15	1802.	2.	6.7	30.5	4590.17	14.5
124	6	356.32	1367.	4.	9.0	30.3	4071.97	13.1
125	5	859.27	1657.	10.	34.3	46.2	25024.46	20.5
126	7	927.24	1649.	1.	4.7	25.1	2659.47	11.6
127	4	372.08	785.	14.	5.1	27.4	3392.07	9.7
128	4	331.07	1439.	3.	7.5	32.7	5926.03	17.8
129	4	981.47	981.	5.	5.1	27.3	3690.77	7.0
130	4	322.63	1745.	3.	9.3	34.1	5753.58	15.8
131	5	1094.00	1673.	11.	32.7	44.9	27247.69	19.0
132	5	792.05	2411.	2.	9.0	35.7	5575.71	21.4
133	5	772.72	1025.	9.	12.3	33.9	6698.95	10.9
134	5	693.18	2065.	8.	20.8	42.2	16853.22	19.5
135	5	722.70	1332.	3.	7.2	31.2	3970.59	14.9
136	5	677.37	1670.	5.	16.7	34.3	7381.42	15.7
137	7	772.64	2033.	5.	12.2	33.4	6921.28	16.0
138	5	713.06	2059.	6.	15.9	40.6	12581.46	19.7
139	5	903.16	1433.	8.	37.1	43.6	12097.30	24.2
140	6	923.21	1981.	6.	32.0	44.5	23339.08	11.3
141	6	705.08	1602.	3.	6.0	29.1	4293.66	13.2
142	5	729.30	2622.	2.	6.4	29.2	3502.75	11.5
143	4	399.23	1669.	10.	13.7	36.8	9663.70	14.9
144	5	1023.89	955.	2.	2.6	20.5	1434.77	7.2
145	5	599.20	1110.	3.	6.4	30.5	4929.23	12.4
146	6	368.93	1110.	2.	7.3	30.5	4317.98	15.3
147	7	724.64	1375.	4.	13.6	35.4	7294.35	10.7
148	6	1060.96	1791.	3.	6.3	27.5	4240.02	12.1
149	4	933.28	2146.	8.	26.1	48.1	19546.94	23.6
150	5	823.44	1892.	2.	7.3	31.6	4548.72	15.6
151	5	1176.22	2652.	2.	11.2	38.3	6900.16	24.1
152	5	730.30	3344.	1.	6.0	29.8	4357.21	15.1
153	5	117.22	1535.	1.	3.5	23.4	2370.68	9.5
154	5	1095.56	1671.	4.	7.7	31.2	6459.39	12.4
155	7	701.23	1237.	3.	5.6	26.7	2558.23	12.8
156	5	365.75	2649.	3.	12.9	39.1	8993.75	22.5
157	5	1084.51	1722.	2.	2.6	31.4	4454.89	14.2
158	5	1467.77	2655.	6.	18.6	41.3	16009.12	20.7
159	3	1161.94	1593.	6.	6.5	27.3	4830.14	10.8
160	2	852.32	1761.	3.	9.1	46.5	7381.90	19.0

SECRETARIA GENERAL DE PLANEACION
 EVALUACION ECONOMICA DE CARRETERAS
 TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE USANDO
 LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO.
 OBRAS LIBRETIENDAS HONCLOVA
 ABRIL 30, 1986

RESULTADOS DE LA SIMULACION.

TRAMA ALTERNATIVA A								
TRAMA	DURACION DE OBRA (AÑOS)	INVERSION INICIAL (MILLONES DE \$)	TRAFICO BASICO (TPDA)	CRECIMIENTO ANUAL (%)	R/C	TIR (%)	VPN (MILL.)	IRI (%)
161	4	273.12	1529	3.0	4.0	27.2	2966.36	16.3
162	4	262.65	1114	3.1	4.0	27.3	2450.03	11.3
163	5	332.26	1237	3.1	4.7	25.0	2910.41	0.9
164	5	276.67	2085	4.1	9.3	23.1	2933.50	14.2
165	5	363.96	2232	3.1	11.4	26.7	3066.32	17.3
166	4	120.63	1083	0.1	10.3	33.6	9250.00	10.0
167	5	272.35	2135	11.1	43.0	49.4	32362.15	23.0
168	5	271.27	1695	3.1	8.0	32.2	2544.30	15.2
169	4	241.43	1335	4.1	19.1	37.0	7335.95	17.5
170	4	113.00	2421	11.1	53.2	49.8	43037.22	26.1
171	5	230.03	1863	1.1	5.0	29.5	3985.65	14.3
172	5	285.91	2615	7.1	15.2	37.5	12066.79	19.2
173	4	318.10	2288	4.1	35.2	38.3	9099.32	21.9
174	4	255.76	1868	7.1	7.7	33.0	4564.77	17.8
175	4	202.99	1770	3.1	8.5	34.3	6206.44	15.6
176	2	112.62	2232	2.1	6.4	29.7	2142.85	13.3
177	5	200.03	2413	1.1	7.0	33.4	5918.83	18.6
178	5	290.69	1712	5.1	13.0	37.3	8393.22	18.3
179	4	278.20	1933	5.1	7.4	31.4	5726.16	11.8
180	4	295.67	1343	10.1	20.5	42.7	16597.23	18.6
181	4	257.47	1931	6.1	14.8	40.5	10783.47	18.7
182	4	271.03	2021	3.1	3.6	24.4	2216.72	8.2
183	5	258.90	1520	2.1	5.2	27.7	3466.79	12.1
184	5	296.76	1691	2.1	6.9	32.0	3697.01	17.7
185	5	270.20	2273	7.1	23.8	46.3	19639.85	28.5
186	7	1026.26	2363	4.1	2.0	31.5	5867.58	14.9
187	5	299.15	2110	2.1	7.4	31.7	5913.55	15.3
188	7	200.22	1338	4.1	19.2	35.3	2371.44	7.1
189	5	212.91	1308	6.1	14.2	38.7	9413.73	19.3
190	5	221.62	1319	9.1	17.6	36.8	10097.68	15.1
191	4	111.12	2213	3.1	12.5	35.7	11499.23	19.1
192	5	207.70	2257	5.1	14.0	39.4	11727.56	19.3
193	4	206.63	1977	3.1	9.0	31.3	6346.18	13.4
194	5	1866.25	1728	7.1	15.3	37.7	12236.75	15.7
195	5	261.04	1113	11.1	16.3	33.0	5985.12	12.2
196	5	203.93	2116	3.1	10.6	36.3	6829.78	19.8
197	4	266.01	2322	7.1	21.7	41.4	14754.83	23.0
198	4	299.59	1294	4.1	11.9	33.2	7988.57	12.7
199	5	250.26	1672	1.1	5.1	26.9	2979.04	13.3
200	5	251.01	1401	4.1	6.5	29.3	4482.71	11.9

SECRETARÍA DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 SUBSECRETARÍA DE INGENIERÍA DE TRÁFICO Y VEHÍCULOS
 DIRECCIÓN GENERAL DE PLANEACIÓN Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE CARRETERAS
 TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN RECIBIDA
 LA TÉCNICA DE SIMULACIÓN DE MONTECARLO
 DELA AEROPUERTO MEXQUILTA
 MEXICO D.F. 1986

RESULTADOS DE LA SIMULACION.

TRAMO ALTERNATIVA A									
SECCION	DURACION DE OBRA (AÑOS)	INVERSION INICIAL (MILLONES DE \$)	TRANSITO BASICO (TPD)	CRECIMIENTO ANUAL (%)	9/C	TR	VPH	IRI	
200	5	913.12	1712.	3.	0.0	32.0	5518.64	14.7	
201	5	901.04	1666.	4.	9.2	33.3	6157.32	15.1	
202	5	1033.60	2205.	5.	13.3	37.5	10703.47	17.4	
203	4	775.29	1756.	3.	4.3	32.5	3910.81	14.7	
204	4	983.99	1807.	2.	6.4	31.2	4820.17	14.1	
205	5	972.41	2147.	0.	35.5	48.2	26243.35	24.4	
207	4	1056.12	1839.	3.	7.2	32.2	5937.22	14.0	
208	5	1011.41	2373.	3.	11.2	36.3	13600.14	18.0	
210	4	972.34	1076.	11.	16.4	30.6	33124.18	17.4	
211	5	1144.58	1932.	2.	4.4	29.7	3279.10	10.5	
212	7	918.39	1254.	2.	9.3	32.2	4950.70	15.1	
213	7	936.90	2111.	2.	8.6	31.0	4922.83	17.1	
215	5	1020.42	1231.	11.	24.2	40.5	20256.37	13.6	
216	5	864.44	1370.	4.	6.6	29.1	4258.74	10.5	
217	6	1092.94	1861.	5.	9.6	32.0	7542.30	13.5	
218	5	1005.27	988.	3.	2.6	28.8	1385.42	7.5	
219	5	951.91	1849.	3.	8.0	32.2	5760.01	15.0	
220	4	825.52	1690.	1.	5.8	30.7	3683.14	15.4	
221	4	983.95	1933.	2.	3.2	33.2	2637.50	8.0	
222	7	942.14	1229.	4.	8.0	29.6	4922.12	14.0	
223	6	925.46	1174.	2.	7.2	30.5	4071.44	14.1	
224	5	732.35	1577.	1.	4.4	26.2	2729.97	12.1	
225	6	1037.63	1817.	3.	6.4	28.3	4526.23	11.8	
226	4	983.99	1305.	4.	12.1	40.2	9619.56	20.1	
227	5	920.33	1607.	10.	26.1	43.4	24007.38	18.4	
228	5	713.43	782.	3.	8.0	32.5	5405.92	14.0	
229	7	711.42	1275.	5.	32.2	44.8	20376.75	14.0	
230	6	942.14	1612.	7.	11.0	31.0	3915.82	14.5	
231	5	923.99	1189.	11.	7.8	30.6	5450.43	11.4	
232	6	944.57	1154.	7.	9.0	31.3	6775.74	11.5	
233	7	743.51	1257.	0.	21.2	42.2	13447.63	22.4	
234	7	1094.53	1298.	2.	4.1	23.6	2373.56	9.9	
235	7	999.30	1605.	1.	4.3	25.3	2825.77	11.5	
236	7	776.37	1767.	2.	17.7	37.0	10122.72	19.7	
237	5	940.98	1895.	5.	14.5	38.6	9926.05	19.1	
238	5	820.93	1362.	4.	8.4	32.6	5371.82	15.3	
239	6	761.75	1237.	13.	13.3	34.4	9623.35	13.0	
240	4	857.20	1110.	5.	6.3	30.4	4580.52	11.4	
241	4	744.91	1255.	8.	17.7	40.9	11745.86	16.7	
242	4	782.62	1208.	2.	6.1	30.0	3847.59	16.9	

DEPT. DIRECCION GENERAL DE PLANTACION
 EVALUACION ECONOMICA DE CARRETERAS.
 TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE USANDO
 LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO.
 GENERAL LIBRAMIENTO MONTECARLO
 RESULTADO 3.1. 1986

RESULTADO DE LA SIMULACION.

TRATAMIENTO ALTERNATIVA A								
M. CARRETERA	DURACION DE OBRA (AÑOS)	INVERSION INICIAL (MILLONES DE \$)	TRAFICO BASICO (TPDA)	CRECIMIENTO ANUAL (%)	9/C (%)	TIR (%)	VPN (MILL. \$)	IRI (%)
241	5	361.36	1788	3	6.2	30.0	3903.06	14.7
242	5	351.60	1734	5	5.4	28.9	4053.24	10.7
243	6	137.07	1734	3	5.6	27.2	3306.72	11.3
244	4	77.92	1734	9	18.0	61.6	10254.36	19.7
245	5	985.38	2022	5	14.2	37.9	11154.81	17.3
246	6	980.14	2400	4	13.3	36.3	9735.70	19.9
247	3	22.31	2013	4	12.3	41.8	9266.93	20.3
248	5	99.35	2111	11	53.1	52.3	40404.41	26.3
249	5	157.90	1895	3	6.3	27.8	4116.37	13.7
250	5	322.35	1740	3	9.1	32.6	5510.52	15.4
251	5	965.45	2493	3	20.2	43.1	15925.07	21.0
252	4	934.03	1656	25	6.1	30.6	4409.71	13.8
253	4	865.06	1198	23	6.5	30.0	4928.88	13.3
254	6	867.37	1714	7	18.0	39.5	11914.82	20.1
255	6	870.25	2270	3	27.5	43.7	13955.58	24.0
256	3	801.30	1431	2	6.6	29.2	3573.23	11.2
257	3	907.93	1634	4	8.0	30.5	7069.38	15.5
258	6	862.04	1577	1	5.0	26.6	2831.43	12.7
259	5	816.60	2002	8	30.2	47.1	20270.45	25.1
260	5	657.81	1903	8	25.7	44.3	17389.38	22.0
261	5	815.73	1610	4	10.2	37.0	6630.30	16.1
262	7	382.43	2130	11	41.2	44.9	30134.10	24.6
263	5	277.22	1706	1	4.6	26.7	3059.71	12.3
264	4	957.20	1976	6	18.8	43.6	14190.48	20.5
265	4	875.48	2001	3	9.3	31.5	7236.44	15.6
266	5	753.33	1577	1	12.4	36.2	7515.38	16.0
267	4	874.91	1605	7	17.7	42.1	14729.83	19.4
268	6	705.22	1225	7	5.9	29.9	3850.59	12.4
269	5	890.82	1744	11	4.7	28.2	3022.24	14.4
270	5	623.18	2113	7	28.9	40.1	16993.21	24.1
271	4	1016.72	1654	6	11.4	33.8	8553.57	14.3
272	6	842.44	1756	4	5.9	29.9	3850.59	12.4
273	3	892.93	1707	7	20.6	46.1	17231.99	19.4
274	6	924.41	1623	6	11.2	33.5	8339.93	14.2
275	8	901.00	1555	6	12.9	32.2	7011.88	14.8
276	5	396.09	2471	7	26.3	45.9	19705.46	24.5
277	4	931.83	1521	3	12.0	39.6	9863.74	20.0
278	4	707.15	1822	1	5.6	30.4	3326.84	15.2
279	5	1007.69	1701	7	17.6	39.2	13889.51	16.0
280	7	213.95	1334	6	2.8	29.4	5500.66	11.0

SCT. DIRECCION GENERAL DE PLANEACION
 EVALUACION ECONOMICA DE CARRETERAS
 TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE USANDO
 LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO
 OBRA DE LIBRAMIENTO HOUILOVA
 MEXICO D.F. 1986

RESULTADOS DE LA SIMULACION.

TRAMO ALTERNATIVA A									
COMIDA	DURACION DE OBRA (AÑOS)	INVERSIÓN INICIAL (MILLONES DE \$)	TRATAMIENTO BÁSICO (TPBA)	CRECIMIENTO ANUAL (%)	B/C	TIR (%)	VPH (MILL. \$)	IRI (%)	
221	5	955.37	1351.	6.	13.2	39.2	10719.29	17.1	
222	5	769.36	1562.	7.	22.9	41.3	18280.89	15.4	
223	5	973.41	1500.	2.	5.3	27.7	3564.81	12.2	
224	5	1172.17	1500.	2.	5.5	29.3	4467.62	12.2	
225	6	737.06	1976.	6.	11.2	35.5	6298.11	26.4	
226	5	900.66	1740.	2.	6.8	30.7	4567.48	14.6	
227	4	781.24	1302.	11.	27.0	45.6	19136.95	18.1	
228	6	852.70	1778.	3.	8.0	31.1	4907.58	15.4	
229	4	777.53	1568.	6.	14.2	40.2	7482.85	19.0	
230	5	1024.83	1764.	3.	6.4	29.3	4795.99	12.1	
231	6	766.03	2668.	2.	9.0	33.2	6257.52	18.5	
232	5	747.17	963.	4.	5.7	28.0	3144.30	11.0	
233	5	628.16	1742.	5.	14.2	39.5	7791.81	22.5	
234	4	1009.34	3231.	4.	11.0	37.5	9158.35	17.5	
235	6	793.56	1742.	11.	55.5	50.0	34773.55	27.3	
236	4	721.82	1833.	4.	12.4	40.2	8092.29	20.9	
237	3	745.84	1602.	7.	18.3	46.3	13826.14	21.0	
238	4	753.51	3511.	2.	10.9	40.3	7096.88	24.4	
239	3	1084.27	1875.	3.	7.2	33.5	6490.87	14.1	
300	5	766.36	1571.	3.	5.9	34.1	5365.13	18.1	

SCT, DIRECCION GENERAL DE PLANEACION
 EVALUACION ECONOMICA DE CARRETERAS,
 TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE USANDO
 LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO.
 OBRA: LIBRAMIENTO MICHUOYA
 MEXICO D.F. 1986

ANALISIS ESTADISTICO DE LOS
 RESULTADOS DE LA SIMULACION.
 TRAMA: ALTERNATIVA A

VALOR PRESENTE NETO, (EN MILLONES DE PESOS).

INTERVALO DE CLASE	FRECUENCIA OBSERVADA	FRECUENCIA ACUMULADA	FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA	DECILES
(1116.00, 5571.73)	108	108	36.00%	2 = 3911.93
(5871.93, 9556.96)	94	202	67.33%	5 = 7241.84
(9556.96, 13741.93)	51	253	84.33%	8 = 12675.22
(13741.93, 17927.00)	18	271	90.33%	
(17927.00, 22112.06)	13	284	96.67%	
(22112.06, 26297.09)	5	289	98.33%	
(26297.09, 30482.12)	4	293	99.67%	
(30482.12, 34667.16)	2	295	100.00%	
(34667.16, 38852.19)	2	297	100.00%	
(38852.19, 43037.22)	4	301	100.00%	

ESTADISTICOS.— MX = 8998.96, SX = 7158.19. INTERVALOS DE CONFIANZA DE MX: (1888.96, 7908.99) AL 95%, (7932.70, 10065.22) AL 99%.

INDICE DE RENTABILIDAD INMEDIATA, (EN %).

INTERVALO DE CLASE	FRECUENCIA OBSERVADA	FRECUENCIA ACUMULADA	FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA	DECILES
(1.0, 1.5)	11	11	3.67%	
(1.5, 2.0)	16	27	12.67%	
(2.0, 2.5)	59	86	35.33%	
(2.5, 3.0)	73	159	53.67%	2 = 12.4
(3.0, 3.5)	51	210	76.67%	5 = 15.8
(3.5, 4.0)	31	241	87.00%	8 = 19.0
(4.0, 4.5)	15	256	92.00%	
(4.5, 5.0)	16	272	97.33%	
(5.0, 5.5)	7	279	99.67%	
(5.5, 6.0)	1	280	100.00%	

ESTADISTICOS.— MX = 16.3, SX = 4.5. INTERVALOS DE CONFIANZA DE MX: (15.0, 16.0) AL 95%, (15.6, 17.0) AL 99%.

SCT, DIRECCION GENERAL DE PLANEACION
 EVALUACION ECONOMICA DE CARRETERAS,
 TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE USA 101
 LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO,
 OBRA: LIBRAMIENTO MONCLOVA,
 MEXICO D.F., 1995

ANALISIS ESTADISTICO DE LOS
 RESULTADOS DE LA SIMULACION
 TRAMO ALTERNATIVO A

INDICE DE FIABILIDAD.

INTERVALO DE CLASE	FRECUENCIA OBSERVADA	FRECUENCIA ACUMULADA	FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA	DECILES:
(2.4, 7.7)	131	131	33.67%	
(7.7, 13.6)	101	202	67.33%	2 = 5.6
(13.6, 20.3)	46	249	96.67%	5 = 10.3
(20.3, 25.6)	21	271	70.33%	8 = 17.4
(25.6, 29.9)	10	281	73.67%	
(29.9, 34.2)	9	290	76.33%	
(34.2, 39.6)	3	292	77.33%	
(39.6, 44.9)	2	294	78.00%	
(44.9, 50.2)	2	296	78.67%	
(50.2, 55.5)	4	300	100.00%	

ESTADÍSTICOS.— $HX = 12.6$, $SX = 9.2$, INTERVALOS DE CONFIANZA DE HX : (11.6, 13.6) AL 95%; (11.2, 14.0) AL 99%.

TASA INTERNA DE RETORNO, (EN %).

INTERVALO DE CLASE	FRECUENCIA OBSERVADA	FRECUENCIA ACUMULADA	FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA	DECILES:
(10.4, 23.4)	6	6	2.00%	
(23.4, 27.3)	26	32	10.67%	
(27.3, 31.2)	69	97	32.33%	
(31.2, 35.1)	72	169	56.33%	2 = 29.0
(35.1, 39.1)	48	217	72.33%	5 = 34.1
(39.1, 43.1)	40	263	81.67%	
(43.1, 47.3)	24	287	93.67%	
(47.3, 51.6)	9	295	98.67%	
(51.6, 56.1)	3	299	99.67%	
(56.1, 61.1)	1	300	100.00%	

ESTADÍSTICOS.— $HX = 35.0$, $SX = 6.7$, INTERVALOS DE CONFIANZA DE HX : (34.2, 35.7) AL 95%; (34.0, 36.0) AL 99%.

SCT, DIRECCION GENERAL DE PLANEACION
 EVALUACION ECONOMICA DE CARRETERAS.
 TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE USANDO
 LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO.
 OBRA EN EL TRAMO HILTO MANCILLA
 MEXICO D.F. 1986

RESULTADOS DE LA SIMULACION.

TRAMO ALTERNATIVA B

NUM. CERCEDA	DURACION DE OBRA (AÑOS)	INVERSION INICIAL (MILLONES DE \$)	TRAFICO BASICO (TPDA)	CRECIMIENTO ANUAL (%)	BYC	IRR (%)	VPN (MILL.)	IRI (%)

1	7	1599.23	632.	0.	-21.8	*****	-2207.59	-8.6
2	6	1598.95	621.	0.	-4.0	*****	-7464.78	-8.6
3	4	1495.52	1118.	4.	-1.3	*****	-5160.88	-11.5
4	6	1447.30	1242.	4.	-3.0	*****	-4652.25	-10.7
5	6	1460.39	1178.	4.	-4.7	*****	-6774.28	-14.7
6	5	1768.23	1343.	4.	-3.7	*****	-5510.22	-9.5
7	4	1587.09	2040.	11.	-17.9	*****	*****	-22.3
8	5	1537.66	1376.	3.	-2.4	*****	-4521.86	-10.0
9	5	1331.64	1316.	3.	-3.0	*****	-4588.17	-17.1
10	4	1664.74	1363.	5.	-2.9	*****	*****	-12.6
11	6	1605.32	1450.	1.	-1.9	*****	-3754.29	-9.5
12	5	1489.13	1232.	5.	-3.8	*****	-6204.95	-10.9
13	7	1330.01	1252.	5.	-2.3	*****	-3831.23	-10.3
14	5	1457.39	2246.	10.	-15.4	*****	*****	-21.3
15	6	1906.14	1180.	11.	-17.4	*****	*****	-21.7
16	5	1411.29	1160.	5.	-4.8	*****	-7079.11	-13.1
17	4	1380.72	1221.	3.	-2.9	*****	-4978.06	-11.3
18	5	1111.95	1852.	3.	-10.1	*****	*****	-22.0
19	5	1454.35	1605.	5.	-6.1	*****	-8875.46	-14.6
20	7	1490.77	790.	2.	-1.4	*****	-2736.35	-6.1
21	4	1503.02	1487.	7.	-7.6	*****	*****	-11.8
22	4	1296.73	1305.	3.	-2.0	*****	-4176.95	-11.9
23	4	1441.95	1235.	6.	-4.5	*****	-7309.24	-12.0
24	5	1626.95	1196.	6.	-3.8	*****	-6642.57	-10.2
25	5	1440.41	937.	5.	-2.2	*****	-4405.16	-9.8
26	6	1564.78	1373.	6.	-4.4	*****	-6585.76	-11.9
27	6	1201.25	1283.	2.	-2.9	*****	-3923.00	-12.7
28	4	1390.11	1442.	1.	-1.2	*****	-3629.37	-9.8
29	6	1632.16	1250.	4.	-2.9	*****	-5142.46	-10.6
30	4	1274.72	1373.	3.	-3.9	*****	-4966.88	-11.7
31	5	1604.11	1312.	2.	-5.8	*****	-9268.59	-11.7
32	7	1389.67	1259.	3.	-2.3	*****	-4456.35	-8.2
33	5	1275.99	1332.	3.	-3.0	*****	-4479.54	-12.6
34	6	1391.26	1323.	3.	-2.7	*****	-7567.77	-9.6
35	5	1901.77	963.	6.	-3.7	*****	-6124.59	-9.1
36	7	1709.20	1373.	4.	-3.1	*****	-5335.33	-9.8
37	6	1716.46	862.	8.	-4.1	*****	-6645.63	-9.0
38	6	1393.26	1373.	3.	-3.0	*****	-5991.65	-10.2
39	5	1435.68	1311.	5.	-4.1	*****	-6311.85	-13.1
40	5	1322.16	1262.	4.	-3.6	*****	-6196.50	-12.3

OCT. DIRECCION GENERAL DE PLANEACION
 EVALUACION ECONOMICA DE CARACTERES
 TRAMITACION DE LA INVESTIDURA J. J. J.
 LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO
 DDEA: LIBRAMIENTO MONCLAVA
 MEXICO D.F. 1986

RESULTADOS DE LA SIMULACION.

TERMINO ALTERNATIVA B	DURACION DE OBRA (AÑOS)	INVERSION INICIAL (MILLONES DE \$)	TR/USUO BASIC (TDA)	CRECIMIENTO ANUAL (%)	B/C	IRR (%)	VPN (MILL. \$)	IRI (%)
41	4	1373.07	1354	4.1	-3.4	****	-5637.13	-12.6
42	6	1730.72	1282	1.	-1.8	****	-3460.42	-8.9
43	5	1407.06	2077	0.	-14.3	****	*****	-32.1
44	5	1258.95	1124	5.	-3.1	****	-5567.77	-9.3
45	6	1468.72	2048	9.	-19.0	****	*****	-21.4
46	6	1474.33	1584	3.	-3.4	****	-5380.61	-12.9
47	4	1400.43	1923	2.	-2.9	****	-3424.21	-17.4
48	4	1259.90	1718	3.	-3.4	****	-4550.95	-12.7
49	4	1342.31	216	2.	-1.8	****	-3381.77	-7.3
50	5	1392.41	1321	4.	-3.2	****	-5106.90	-10.5
51	6	1573.74	1694	5.	-9.2	****	-7983.16	-13.4
52	5	1568.44	1203	5.	-5.3	****	-6448.84	-15.3
53	5	1403.45	776	7.	-3.2	****	-5129.45	-9.2
54	6	1713.92	1474	2.	-2.5	****	-4733.44	-9.3
55	7	1542.73	1270	6.	-3.8	****	-6761.20	-10.4
56	4	1334.32	1275	7.	-7.1	****	*****	-14.3
57	6	1542.31	1427	6.	-5.4	****	-8060.12	-12.4
58	5	1856.13	1361	4.	-2.7	****	-5839.16	-9.2
59	4	1247.31	1937	3.	-4.7	****	-7693.14	-13.2
60	4	1261.25	2324	10.	-19.0	****	*****	-12.2
61	4	1632.60	1417	1.	-2.0	****	-4478.98	-10.2
62	6	1222.25	771	1.	-3.0	****	-5347.98	-10.4
63	4	1446.99	1628	10.	-12.0	****	*****	-17.5
64	6	1492.93	1297	6.	-2.6	****	*****	-12.2
65	9	1633.26	1453	5.	-4.8	****	-8239.55	-11.9
66	6	1712.33	1702	1.	-1.5	****	-3750.98	-7.3
67	4	1192.22	2484	8.	-11.4	****	*****	-20.5
68	4	1542.32	1732	10.	-20.0	****	*****	-21.5
69	5	1573.28	1201	1.	-1.7	****	-3535.22	-5.7
70	5	1292.60	1373	2.	-2.0	****	-4311.90	-12.4
71	5	1394.24	1273	3.	-3.0	****	-4825.17	-11.4
72	5	1181.96	184	4.	-2.4	****	-3750.90	-10.4
73	5	1542.75	1534	5.	-5.0	****	-9337.30	-12.7
74	5	1300.60	1337	7.	-6.7	****	-9069.29	-14.6
75	5	1334.59	1370	9.	-4.1	****	-5992.70	-13.0
76	5	1573.19	124	8.	-6.6	****	*****	-13.0
77	5	1010.59	822	3.	-2.8	****	-3524.11	-11.6
78	5	1407.06	1094	2.	-3.1	****	*****	-16.5
79	6	1527.29	1224	5.	-4.2	****	-6454.71	-11.5
80	5	1110.66	111	11.	-14.3	****	*****	-17.6

SCT. DIRECCION GENERAL DE PLANEACION
 EVALUACION ECONOMICA DE CARRETERAS
 TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE USANDO
 LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO
 OFICINA LIBRERIA DEL HEMICLAVO
 MEXICO D.F. 1986

RESULTADOS DE LA SIMULACION.

TRAMO ALTERNATIVA B								
NO. OBRA	DURACION DE OBRA (AOS)	INVERSION INICIAL (MILLONES DE \$)	PROYECTO BASICO (PPDA)	INCREMENTO ANUAL (%)	R/C	IRR (%)	VPN (MILL.)	IRI (%)
81	5	1256.64	1312	1	-2.4	*****	-3808.49	-12.0
82	5	1113.01	834	1	-1.5	*****	-2513.97	-8.0
83	6	1260.30	1200	3	-2.7	*****	-3136.72	-11.1
84	5	1573.35	1206	2	-10.2	*****	*****	-17.3
85	4	1603.98	1352	2	-2.3	*****	-4808.06	-10.2
86	4	1633.91	1238	5	-3.2	*****	-6191.37	-10.1
87	5	1347.67	1394	5	-4.3	*****	-5238.04	-13.5
88	4	1702.39	1771	2	-3.5	*****	-6920.47	-13.6
89	4	1775.38	1261	2	-3.0	*****	-6991.44	-9.5
90	7	1242.32	1443	2	-2.0	*****	-3820.39	-8.7
91	7	1329.35	1778	6	-7.6	*****	-8892.42	-17.7
92	5	1468.96	1340	2	-2.9	*****	-4941.52	-12.2
93	5	1563.36	1869	6	-7.2	*****	*****	-16.3
94	5	1224.87	1625	3	-4.2	*****	-5666.09	-16.0
95	5	1232.10	1702	10	-19.6	*****	*****	-22.7
96	4	1109.33	1242	7	-7.0	*****	-5536.43	-16.4
97	3	1697.18	1815	6	-5.3	*****	-9951.43	-12.1
98	6	1435.00	1106	5	-3.6	*****	-5907.04	-10.8
99	7	1782.18	376	5	-2.4	*****	-4201.73	-6.5
100	4	1745.37	119	2	-2.2	*****	-4772.70	-8.9
101	3	1394.65	1301	5	-4.1	*****	-7793.13	-13.7
102	6	1325.23	1534	1	-2.4	*****	-3976.50	-11.2
103	7	1903.09	1741	8	-12.7	*****	*****	-17.4
104	5	1736.29	2133	2	-2.2	*****	-4657.21	-13.5
105	5	1756.37	1888	3	-2.5	*****	-4063.74	-9.5
106	7	1844.34	1276	2	-3.2	*****	-4409.89	-9.1
107	4	1364.98	762	4	-1.7	*****	-3970.44	-7.5
108	4	1116.71	247	2	-2.8	*****	-3178.95	-10.1
109	5	1404.87	1484	6	-5.4	*****	-6310.20	-14.5
110	5	1749.90	784	6	-2.2	*****	-4711.85	-6.3
111	5	1670.29	1324	6	-4.2	*****	-7592.80	-11.2
112	6	1269.05	1616	2	-2.6	*****	-3999.83	-13.3
113	6	1308.34	1401	1	-3.2	*****	-3606.16	-10.8
114	4	1425.23	228	2	-5.0	*****	-7901.27	-12.6
115	5	2460.74	1602	2	-3.0	*****	-5944.08	-12.7
116	5	1623.22	1646	6	-6.1	*****	-9805.66	-14.1
117	6	1750.21	1328	6	-10.0	*****	*****	-13.0
118	6	1364.15	1522	4	-4.9	*****	-6567.60	-15.0
119	6	1507.21	1340	7	-5.3	*****	-8824.14	-12.3
120	5	1322.90	1212	7	-6.4	*****	-8571.26	-14.4

SCT. DIRECCION GENERAL DE PLANEACION
 EVALUACION ECONOMICA DE CARRETERAS.
 TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE USANDO
 LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO.
 DREAJ. LIBERAMIENTO HOUCLOVA
 MEXICO D.F. 1996

RESULTADOS DE LA SIMULACION.

TRAMITE ALTERNATIVA 5								
RECEPCION	DIRECCION DE OBRA	INVERSION INICIAL	TRAMITO BASICO	CRECIMIENTO ANUAL	R/C	IRR	VPN	IRI
(A-OS)		(MILLONES DE \$)	(TPDA)	(%)		(%)	(MILL.)	(%)
12	5	1537.63	1316	4.	-4.6	*****	-7370.12	-12.8
127	6	1527.25	1775	5.	-5.6	*****	-8189.01	-15.9
22	6	1159.65	741	1.	-1.6	*****	-2536.15	-4.7
128	7	1379.54	241	5.	-2.9	*****	-7199.21	-13.7
125	6	1714.46	970	3.	-1.6	*****	-3611.21	-6.7
126	6	1675.57	1134	2.	-1.7	*****	-3603.07	-7.6
127	5	1302.18	1120	5.	-3.7	*****	-5392.17	-11.6
128	5	1464.26	1771	4.	-4.7	*****	-7264.69	-15.1
129	5	1596.93	2069	2.	-1.6	*****	-5270.97	-16.6
130	5	1547.34	2019	9.	-11.3	*****	*****	-16.4
131	4	1455.87	1311	3.	-2.8	*****	-5118.66	-11.3
132	5	1516.79	1436	5.	-4.7	*****	-7376.78	-12.7
133	5	1410.63	746	11.	-7.4	*****	-9724.49	-10.1
134	6	1673.87	1012	7.	-4.1	*****	-6702.75	-9.0
135	5	1514.18	720	3.	-1.3	*****	-3015.62	-5.0
136	5	1561.60	1123	3.	-2.0	*****	-5308.74	-10.4
137	3	1915.11	1227	3.	-2.9	*****	-5669.87	-10.7
138	6	1604.62	1241	14.	-1.6	*****	-3405.86	-8.2
139	4	1254.39	1360	11.	-11.6	*****	*****	-14.5
140	4	1244.13	783	2.	-2.9	*****	-5595.34	-11.7
141	6	1500.62	1266	3.	-2.0	*****	-3605.62	-9.3
142	6	1373.18	1356	2.	-2.5	*****	-3901.22	-11.0
143	3	1192.99	1385	2.	-4.3	*****	-5642.00	-18.1
144	7	1541.24	1225	1.	-1.8	*****	-4375.83	-5.1
145	4	1366.71	1251	1.	-1.8	*****	-3223.66	-9.1
146	5	1697.48	1292	11.	-11.3	*****	*****	-13.2
147	6	1257.26	1577	4.	-5.1	*****	-6300.54	-15.2
148	6	1264.13	1205	2.	-2.9	*****	-5445.85	-10.4
149	5	1951.93	1266	11.	-11.5	*****	-6133.85	-7.6
150	5	1703.62	1299	10.	-10.7	*****	*****	-12.6
151	6	1309.77	1253	6.	-3.3	*****	-5186.14	-12.2
152	5	1614.24	1270	5.	-1.3	*****	-6201.95	-10.2
153	3	1470.46	1531	3.	-2.0	*****	-4622.84	-10.6
154	6	1041.11	1167	3.	-5.3	*****	-4133.60	-10.7
155	3	1373.79	1231	7.	-4.2	*****	-6215.13	-12.5
156	5	1738.07	1934	2.	-1.3	*****	-6206.84	-12.3
157	6	1280.66	1272	2.	-2.2	*****	-3606.66	-11.2
158	4	1403.33	706	2.	-1.8	*****	-3590.12	-3.0
159	5	1540.21	1170	2.	-1.7	*****	-3774.08	-4.8
160	5	1722.06	1171	6.	-3.7	*****	-7365.77	-6.7

SCF, DIRECCION GENERAL DE PLANEACION
 ESTACION ECONOMICA DE CARRETERA
 TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE USANDO
 LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO
 OBRA: LIBRAMIENTO MONCLOVA
 MEXICO D.F. 1986

RESULTADO DE LA SIMULACION.

TRAMO: ALTERNATIVA 9

ACCION	DURACION DE OBRA (AÑOS)	INVERSION INICIAL (MILLONES DE \$)	TRAFICO BASICO (VPA)	CAPACIDAD ANUAL (V)	BOC	TIR (%)	VPI (MILL.)	TRI (%)
161	4	1273.24	1273	1	2.8	22.22	-4234.88	-9.7
162	6	1224.3	1277	4	-3.8	22.22	-6569.03	-11.1
163	5	1334.31	1276	3	-2.9	22.22	-4692.33	-11.3
164	5	1242.32	1281	6	-4.6	22.22	-7622.63	-11.6
165	6	1400.42	1282	6	-6.0	22.22	-8043.38	-14.7
166	5	1491.32	1291	10	-15.9	22.22	*****	-19.8
167	6	1492.62	1294	5	-2.0	22.22	-4715.21	-8.2
168	5	1421.20	1297	4	-5.2	22.22	-7725.55	-15.6
169	5	1479.25	1327	1	-6.0	22.22	-8777.60	-13.9
170	5	1219.35	1327	0	-5.9	22.22	-7981.26	-13.4
171	4	1497.39	1343	3	-3.2	22.22	-3786.26	-11.4
172	4	1240.27	1107	6	-4.6	22.22	-6504.96	-12.6
173	5	1521.67	1327	2	-1.7	22.22	-12548.74	-3.1
174	5	1372.52	1300	8	-7.7	22.22	-9857.33	-15.4
175	5	1491.01	1243	3	-3.6	22.22	-6007.55	-13.8
176	6	503.52	1337	4	-2.8	22.22	-9067.71	-7.7
177	7	1711.50	1224	5	-3.0	22.22	-5141.60	-7.0
178	7	1507.52	1322	2	-2.7	22.22	-6709.26	-13.5
179	5	577.03	1800	2	-7.0	22.22	*****	-14.8
180	7	1593.62	1192	6	-4.1	22.22	-6236.71	-10.3
181	7	1407.73	1322	6	-4.9	22.22	-7251.75	-13.0
182	5	1247.27	1255	8	-7.8	22.22	-8521.56	-12.2
183	6	1471.76	1213	0	-8.4	22.22	*****	-13.5
184	5	1293.75	1743	9	-13.5	22.22	*****	-20.8
185	5	1422.61	1570	5	-4.9	22.22	-7147.29	-14.3
186	6	1240.36	1419	4	-1.9	22.22	-3758.26	-7.1
187	6	1053.23	1441	1	-5.2	22.22	-8260.32	-11.0
188	5	207.46	207	2	-2.1	22.22	-5120.72	-7.8
189	7	1546.92	1771	7	-11.5	22.22	*****	-17.5
190	5	1279.12	1406	6	-6.1	22.22	-5771.37	-11.4
191	4	1305.69	1428	4	-4.6	22.22	-7020.09	-14.3
192	5	1240.31	1421	3	-2.7	22.22	-5507.36	-10.2
193	5	1271.76	1423	2	-1.4	22.22	-6589.44	-8.1
194	6	1240.34	1424	3	-2.9	22.22	-5709.26	-8.5
195	5	1397.27	1445	3	-4.0	22.22	-6038.69	-15.4
196	4	1257.47	1420	3	-3.4	22.22	-4899.03	-13.7
197	6	1364.28	1471	2	-1.8	22.22	-1270.71	-10.2
198	5	1094.72	1500	1	-2.4	22.22	-4575.49	-11.4
199	5	1531.50	154	4	-1.7	22.22	-4035.56	-6.4
200	5	1535.22	150	1	-1.2	22.22	-2890.97	-6.1

SCA, DIRECCION GENERAL DE PLANEACION
 EVALUACION ECONOMICA DE CARRETERAS
 TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE USANDO
 LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO
 SOBRE EL TRASMENITO MEXICANO
 MEXICO S.F. 1983

RESULTADOS DE LA SIMULACION.

TRANS ALTERNATIVA 5								
CONDOMINIO	DURACION DE OBRA (AÑOS)	INVERSION INICIAL (MILLONES DE \$)	TRAFICO BASICO (TPDA)	CRECIMIENTO ANUAL	D/C	TIP	VPM (MILL.)	IRI
201	4	1517.37	1500.	7.	-6.4	*****	*****	-14.2
202	6	1375.07	1360.	7.	-7.9	*****	*****	-14.5
203	4	1310.43	1264.	9.	-7.7	*****	-6311.12	-11.4
204	5	1354.74	1344.	9.	-9.0	*****	*****	-15.1
205	6	1410.07	1408.	6.	-5.8	*****	-7885.63	-13.9
206	4	1470.74	1479.	4.	-3.3	*****	-5687.40	-11.1
207	4	1724.99	1736.	5.	-2.2	*****	-8044.95	-11.9
208	6	1667.31	1647.	7.	-5.7	*****	*****	-13.3
209	6	1493.37	1411.	8.	-5.2	*****	-7157.69	-10.7
210	6	1424.42	1416.	2.	-2.3	*****	-4431.75	-10.2
211	4	1337.66	1284.	10.	-11.1	*****	*****	-15.5
212	5	1704.69	1724.	3.	-2.3	*****	-6990.98	-9.5
213	5	1395.20	1426.	2.	-2.1	*****	-4760.56	-13.4
214	5	1338.11	1043.	1.	-1.6	*****	-2493.03	-8.5
215	5	1764.33	1700.	4.	-1.8	*****	-4195.59	-6.5
216	6	1501.43	1471.	10.	-14.8	*****	*****	-15.6
217	5	1527.36	1562.	6.	-3.8	*****	-6287.32	-13.8
218	5	1435.55	1401.	1.	-1.2	*****	-2709.73	-6.3
219	5	1629.32	1625.	10.	-6.9	*****	*****	-8.1
220	5	1747.67	1762.	8.	-1.3	*****	*****	-10.7
221	5	1505.76	1305.	4.	-2.9	*****	-5053.11	-10.2
222	5	1441.31	1336.	6.	-4.8	*****	-7124.13	-12.7
223	4	1413.98	902.	3.	-1.9	*****	-3842.17	-9.2
224	6	1687.84	1707.	8.	-6.3	*****	-7198.17	-10.5
225	6	1245.00	1245.	6.	-5.0	*****	-6249.74	-13.6
226	5	1245.45	1238.	1.	-2.2	*****	-3512.74	-11.3
227	5	1276.70	1282.	2.	-1.6	*****	-4768.62	-15.2
228	6	1407.35	1464.	1.	-1.0	*****	-3323.79	-8.4
229	6	1374.43	1521.	1.	-2.3	*****	-3751.61	-11.6
230	6	1304.86	942.	1.	-1.6	*****	-2772.63	-7.9
231	6	1750.96	1392.	1.	-2.0	*****	-4172.76	-9.4
232	6	1434.84	1177.	3.	-1.6	*****	-6195.13	-8.4
233	5	1417.29	1307.	6.	-3.3	*****	-7776.17	-13.0
234	4	1486.24	1347.	4.	-2.9	*****	-5192.90	-9.9
235	5	1497.97	1961.	1.	-2.0	*****	-8145.84	-15.8
236	6	1441.76	1740.	10.	-11.0	*****	*****	-18.7
237	7	1553.63	2048.	10.	-25.9	*****	*****	-23.0
238	6	1368.02	1372.	4.	-1.5	*****	-5004.96	-12.2
239	5	1389.63	1367.	4.	-3.3	*****	-5811.51	-12.6
240	5	1893.11	1781.	7.	-3.8	*****	-7259.78	-12.2

SECRETARÍA GENERAL DE PLANEACIÓN
 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE CARRETERAS
 TRAFICADO DE LA INCERTIDUMBRE USUARIO
 LA TÉCNICA DE SIMULACIÓN DE MONTECARLO
 OBRAS LIBERAMIENTO AMOLOVA
 MEXICO D.F. 1993

RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN.

ALTERNATIVA B

SECCION	DURACION DE OBRA (AÑOS)	INVERSIÓN INICIAL (MILLONES DE \$)	TCAS (COSTO BÁSICO) (MILL. \$)	CRECIMIENTO ANUAL (%)	R/C	TIR (%)	VPH (MILL. \$)	IRI (%)
241	4	1568.93	1430	4.	-1.5	*****	-997.85	-10.8
242	4	1114.37	1364	8.	-10.6	*****	*****	-17.1
243	4	1451.10	1438	6.	-9.0	*****	*****	-14.0
244	4	1643.35	1484	4.	-9.3	*****	-6276.39	-14.0
245	5	1647.27	1644	2.	-2.9	*****	-4873.70	-11.2
246	5	1863.09	1775	3.	-2.1	*****	-4817.70	-7.8
247	2	1328.46	705	3.	-5.2	*****	-3758.45	-6.7
248	4	1309.79	725	6.	-2.0	*****	-4893.45	-7.3
249	4	864.47	1804	1.	-2.4	*****	-2581.70	-11.2
250	6	1227.32	1122	6.	-4.3	*****	-6650.30	-10.6
251	7	176.02	1377	6.	-4.3	*****	-7742.99	-10.3
252	5	1371.49	1301	7.	-7.8	*****	*****	-16.6
253	6	1229.04	1112	3.	-4.0	*****	-5137.02	-15.8
254	3	1222.37	1273	3.	-2.9	*****	-4863.49	-12.9
255	5	1412.20	1386	2.	-2.4	*****	-4204.67	-13.7
256	5	1532.84	1373	7.	-11.9	*****	-3688.61	-8.2
257	5	1421.21	1480	4.	-4.0	*****	-6213.50	-13.3
258	5	1540.34	1341	6.	-3.3	*****	-5336.11	-10.8
259	5	1344.64	1884	2.	-2.9	*****	-6148.77	-17.5
260	6	1681.46	1401	3.	-3.5	*****	-6577.71	-10.0
261	6	1211.36	1373	7.	-7.5	*****	-8557.70	-16.4
262	7	1720.02	1113	5.	-3.7	*****	-6170.16	-9.1
263	3	1417.68	1297	4.	-3.4	*****	-6087.67	-12.2
264	5	1258.38	2007	2.	-2.3	*****	*****	-19.6
265	6	1158.38	1113	6.	-4.7	*****	-6772.42	-14.9
266	6	1274.76	1100	6.	-5.2	*****	-6500.56	-12.9
267	4	1375.79	740	4.	-2.1	*****	-3476.58	-7.0
268	4	1364.09	1245	2.	-2.3	*****	-5212.12	-11.4
269	6	1059.17	1927	7.	-12.6	*****	*****	-25.5
270	5	1479.29	1077	1.	-1.7	*****	-3464.63	-8.4
271	6	1460.88	1385	1.	-2.1	*****	-3730.72	-18.3
272	5	1691.66	1345	2.	-2.4	*****	-4380.45	-9.9
273	5	1463.71	1736	6.	-6.5	*****	-931.55	-15.3
274	6	1525.48	1517	1.	-2.2	*****	-4011.23	-10.6
275	4	1535.15	731	3.	-1.7	*****	-4315.49	-4.5
276	6	1708.20	1246	2.	-1.6	*****	-3706.36	-7.6
277	6	1416.44	1231	2.	-2.3	*****	-3843.97	-10.0
278	5	1293.60	1907	6.	-4.7	*****	-6088.76	-11.8
279	6	1573.43	279	2.	-2.7	*****	-4929.76	-11.1
280	6	1131.25	1101	7.	-4.5	*****	-5208.35	-13.7

SCT, DIRECCION GENERAL DE PLANEACION
 EVALUACION ECONOMICA DE LOS BENEFICIOS
 TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE USANDO
 LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO.
 OBRAS DE ABASTECIMIENTO HUANILTYA
 MEXICO D.F., 1995

RESULTADOS DE LA SIMULACION.

***** ALTERNATIVA D *****								
EL CANTO DE	DURACION DE OTRA	INVERSIÓN INICIAL	TRATAMIENTO BASICO	CRECIMIENTO ANUAL	B/C	TIR	VPN	TRI
(AÑOS)	(AÑOS)	(MILLONES DE \$)	(TPDA)	(%)		(%)	(MILL.)	(%)
252	6	1316.52	1572.	10.	-1.9	*****	-6601.31	-19.1
253	4	134.84	1311.	8.	-2.1	*****	-4907.54	-11.2
254	5	1492.18	1711.	2.	-2.1	*****	-4907.54	-7.5
255	7	1997.10	1742.	10.	-1.3	*****	*****	-16.6
256	5	1550.49	1577.	9.	-0.9	*****	*****	-15.7
257	7	1460.66	1615.	4.	-4.1	*****	-5783.59	-13.1
258	7	1271.30	1392.	4.	-3.3	*****	-5186.62	-10.7
259	7	1254.76	1452.	2.	-1.2	*****	-2766.28	-5.8
260	4	1434.51	1192.	5.	-1.7	*****	-5550.10	-11.0
261	4	1359.10	1506.	3.	-3.0	*****	-6312.89	-10.9
262	5	1357.94	1899.	1.	-3.3	*****	-5154.87	-15.4
263	5	1704.47	1063.	3.	-2.1	*****	-4549.65	-7.7
264	7	1392.42	1232.	5.	-3.5	*****	-4892.69	-11.1
265	6	1570.41	2072.	3.	-4.4	*****	-6998.05	-15.0
266	5	1352.98	1731.	1.	-3.3	*****	-5865.77	-10.0
267	6	1719.20	1892.	2.	-3.0	*****	-5332.98	-12.1
268	5	1234.50	14701.	2.	-2.9	*****	-4259.11	-13.6
269	3	1135.01	1210.	2.	-2.8	*****	-4384.53	-13.5
270	4	1462.75	1442.	7.	-6.6	*****	-9263.98	-14.2
271	6	1250.75	1312.	3.	-3.7	*****	-6547.70	-13.7

TESIS CON
FALLAS DE ORIGEN

SCY, DIRECCION GENERAL DE PLANEACION
EVALUACION ECONOMICA DE CARRETERAS
TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE USANDO
LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO.
OBRA: LISPANIZADO HONCLOVA
MEXICO, D.F., 1986

ANALISIS ESTADISTICO DE LOS
RESULTADOS DE LA SIMULACION.
TRATAMIENTO ALTERNATIVA B

VALOR PRESENTE NETO, (EN MILLONES DE PESOS).

INTERVALO DE CLASE	FRECUENCIA OBSERVADA	FRECUENCIA ACUMULADA	FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA	DECILES:
(-1000, -900]	1	1	.33%	
(-900, -800]	2	3	.67%	
(-800, -700]	4	7	1.33%	
(-700, -600]	6	13	3.33%	
(-600, -500]	8	21	6.00%	
(-500, -400]	10	31	7.33%	
(-400, -300]	12	43	13.33%	
(-300, -200]	46	89	29.67%	2 = -9363.98
(-200, -100]	102	191	60.67%	5 = -6848.03
(-100, 0]	119	310	100.00%	8 = -3797.15

ESTADISTICOS: $\bar{X} = -7174.36$, $SX = 4464.69$. INTERVALOS DE CONFIANZA DE \bar{X} : (-7572.86, -6875.92) AL 95%, (-7930.46, -6518.25) AL 99%.

INDICE DE RENTABILIDAD INMEDIATA, (EN %).

INTERVALO DE CLASE	FRECUENCIA OBSERVADA	FRECUENCIA ACUMULADA	FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA	DECILES:
(-33.9, -21.5)	1	1	.33%	
(-21.5, -10.4)	3	4	2.67%	
(-10.4, -7.4)	5	9	4.33%	
(-7.4, -19.3)	21	30	31.00%	
(-19.3, -13.3)	23	53	15.67%	
(-13.3, -11.3)	47	100	31.33%	2 = -14.8
(-11.3, -9.2)	77	177	35.00%	5 = -11.7
(-9.2, -7.2)	77	254	30.67%	8 = -9.3
(-7.2, -5.1)	15	309	76.00%	
(-5.1, -3.1)	15	309	100.00%	

ESTADISTICOS: $\bar{X} = -12.1$, $SX = 3.5$. INTERVALOS DE CONFIANZA DE \bar{X} : (-12.9, -11.7) AL 95%, (-12.77, -11.6) AL 99%.

SCF, DIRECCION GENERAL DE PLANEACION
 EVALUACION ECONOMICA DE CARRIFESA,
 TRATAMIENTO DE LA INERTIDUMBRE USANDO
 LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO.
 OBJETIVO: TRATAMIENTO MONTECARLO
 MEXICO D.F. 1986

ANALISIS ESTADISTICO DE LOS
 RESULTADOS DE LA SIMULACION.
 TRAMO: ALTERNATIVA B

INDICE DE FIABILIDAD.

INTERVALO DE CLASE	FRECUENCIA OBSERVADA	FRECUENCIA ACUMULADA	FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA	DECILES:
(-23.9, -23.5)	1	1	4.33%	
(-23.5, -23.0)	3	4	9.33%	
(-23.0, -22.5)	2	6	13.67%	
(-22.5, -22.0)	6	12	27.60%	
(-22.0, -21.5)	13	25	57.60%	
(-21.5, -21.0)	9	34	77.60%	
(-21.0, -20.5)	23	57	129.60%	
(-20.5, -20.0)	98	155	352.33%	
(-20.0, -19.5)	143	300	687.60%	2* -6.0

E S T A D I S T I C O S. --- MX= -4.7, SX= 3.5. INTERVALO DE CONFIANZA DE MX: (-5.2, -4.3) AL 95%, (-5.3, -4.2) AL 99%.

TASA INTERNA DE RETORNO, (EN %).

INTERVALO DE CLASE	FRECUENCIA OBSERVADA	FRECUENCIA ACUMULADA	FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA	DECILES:
(-0.000, -0.000)	15	10	6.33%	
(-0.000, -0.000)	26	43	26.33%	
(-0.000, -0.000)	37	76	46.33%	
(-0.000, -0.000)	64	140	86.67%	2*****
(-0.000, -0.000)	59	199	123.00%	
(-0.000, -0.000)	95	254	157.67%	4*****
(-0.000, -0.000)	4	258	160.00%	
(-0.000, -0.000)	37	277	170.33%	
(-0.000, -0.000)	10	287	178.67%	8*****
(-0.000, -0.000)	13	300	187.00%	

E S T A D I S T I C O S. --- MX=*****, SX= 0. INTERVALO DE CONFIANZA DE MX: (*****,*****) AL 95%, (*****,*****) AL 99%.

SCT, DIRECCION GENERAL DE PLANEACION
 EVALUACION ECONOMICA DE CARRETERAS
 TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE USANDO
 LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO
 DREA, LIBRANTEMO MEXICANA
 MEXICO D.F. 1986

RESULTADOS DE LA SIMULACION.

TIAMM ALTERNATIVA C

ALTERNATIVA	DURACION DE OBRA (AOS)	INVERSION INICIAL (MILLONES DE \$)	TRAFICO BASICO (TPD)	COCIENTE DE TRAFICO ANUAL (%)	PVC	TIR (%)	IRI (MILL.)
1	8	1622.92	1407	25	-4.7	*****	-6818.16
2	11	1748.39	1347	9	-31.1	*****	-13.9
3	3	2497.16	1174	4	-6.0	*****	-723.83
4	7	1432.78	1825	4	-10.2	*****	-26.7
5	8	2286.82	1209	1	-2.5	*****	-5664.76
6	7	1799.36	1544	2	-4.6	*****	-756.19
7	6	1816.07	1908	4	-4.9	*****	-9135.43
8	8	2014.07	1827	5	-3.3	*****	-6218.49
9	8	2762.14	1570	0	-34.2	*****	-20.3
10	8	1259.74	1422	3	-2.6	*****	-7521.73
11	9	1502.92	1501	8	-25.4	*****	-32.5
12	6	1524.21	1676	3	-8.2	*****	-25.9
13	7	1690.98	1890	5	-6.7	*****	-16.9
14	7	1449.36	1312	6	-11.0	*****	-24.9
15	9	2130.42	1301	6	-8.2	*****	-13.5
16	11	1899.78	124	4	-4.2	*****	-6383.51
17	9	1482.21	1687	4	-6.0	*****	-7736.84
18	8	2175.78	1447	4	-4.7	*****	-8793.40
19	2	1628.79	1238	3	-6.3	*****	-3208.38
20	7	1872.71	710	5	-4.9	*****	-8432.18
21	8	1807.24	813	4	-3.9	*****	-6489.63
22	2	1655.14	1471	5	-7.1	*****	-8222.38
23	7	1650.45	1608	1	-2.0	*****	-7677.00
24	7	2056.87	1130	6	-7.3	*****	-15.2
25	9	1823.23	1323	1	-3.4	*****	-5256.78
26	10	1738.93	1367	1	-3.1	*****	-4547.27
27	7	1752.69	1707	4	-9.1	*****	-24.2
28	6	1544.31	1531	1	-5.2	*****	-7836.98
29	6	1944.78	1213	3	-4.5	*****	-7259.39
30	6	1608.77	274	4	-11.5	*****	-27.3
31	6	2168.39	828	8	-8.0	*****	-12.8
32	6	1158.19	1232	2	-5.7	*****	-5936.67
33	9	1330.79	767	1	-2.9	*****	-5211.64
34	9	1313.87	1367	1	-3.2	*****	-4227.02
35	9	1378.67	711	3	-1.5	*****	-11.8
36	6	1793.80	1141	4	-6.0	*****	-16.6
37	8	1561.12	1162	5	-8.5	*****	-19.8
38	6	1701.84	756	4	-4.7	*****	-7541.52
39	6	2013.83	1504	11	-20.4	*****	-19.7
40	9	2619.73	1211	5	-5.4	*****	-8799.70

SCT, DIRECCION GENERAL DE PLANEACION
 EVALUACION ECONOMICA DE CARRETERAS.
 TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE USANDO
 LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO.
 DISEÑO Y TRATAMIENTO DE DATOS
 MEXICO D.F. 1986

RESULTADOS DE LA SIMULACION.

TRANS ALTERNATIVA C

NO. CARRETERA	DURACION DE OBRA (AÑOS)	INVERSION INICIAL (MILLONES DE \$)	TRANSITO BASICO (TPDA)	CRECIMIENTO ANUAL (%)	B/C	TIR (%)	VPN (MILL.)	ROI (%)
42	7	1729.47	1746	3.4	-16.6	*****	*****	-18.9
43	11	1818.73	1528	3.4	-3.4	*****	-4967.93	-12.9
44	7	1854.38	1117	1.	-13.4	*****	-5385.07	-15.1
45	8	1453.26	1154	3.	-12.2	*****	*****	-22.9
46	11	1803.25	881	4.	-4.1	*****	-5676.64	-11.2
47	8	1835.21	1126	11.	-26.7	*****	*****	-23.9
48	8	1448.50	157	6.	-8.0	*****	-9700.84	-17.2
49	8	1506.14	1388	11.	-29.7	*****	*****	-27.1
50	7	1357.69	1311	4.	-3.1	*****	-9956.75	-22.6
51	6	1601.10	1377	4.	-7.2	*****	*****	-20.5
52	9	2033.23	1305	5.	-10.6	*****	*****	-21.8
53	8	2246.76	735	3.	-4.1	*****	-7139.64	-10.3
54	3	1342.42	1370	5.	-6.7	*****	-9936.96	-16.3
55	10	1762.39	726	5.	-4.3	*****	-6121.47	-10.7
56	8	2153.24	778	5.	-3.8	*****	-7396.41	-9.7
57	6	2462.60	1288	10.	-21.1	*****	*****	-21.1
58	9	1817.74	1136	7.	-10.5	*****	*****	-18.7
59	9	1747.42	1730	7.	-17.3	*****	*****	-26.6
60	6	1511.47	1124	7.	-11.1	*****	*****	-22.0
61	8	1820.36	807	3.	-2	*****	-4390.48	-9.7
62	8	1771.49	1475	3.	-11.0	*****	-7732.97	-14.2
63	10	1746.97	1085	5.	-7.1	*****	-9168.09	-16.0
64	8	1748.46	1155	4.	-5.0	*****	-9970.17	-14.7
65	6	1801.34	1328	2.	-8.7	*****	-9640.00	-12.4
66	8	162.57	140	3.	-7.3	*****	-9088.93	-18.8
67	8	1972.14	1267	3.	-4.5	*****	-7766.77	-14.4
68	8	2186.47	767	4.	-2.8	*****	-5492.53	-9.6
69	6	1844.28	318	10.	-8.0	*****	*****	-24.6
70	7	1687.68	1375	4.	-16.7	*****	*****	-24.6
71	7	1815.54	1336	5.	-0.8	*****	*****	-19.7
72	4	2405.63	1463	2.	-4.3	*****	*****	-15.1
73	7	2097.00	1622	11.	-13.9	*****	*****	-18.6
74	6	1643.29	713	3.	-2.9	*****	-5129.55	-10.6
75	7	1722.01	1156	5.	-6.4	*****	-9150.43	-16.1
76	9	1397.15	974	3.	-4.8	*****	-5726.02	-15.6
77	10	2087.27	882	4.	-3.0	*****	-5609.16	-10.4
78	6	1564.11	497	3.	-16.7	*****	-8930.70	-17.0
79	8	1907.1	1126	1.	-2.7	*****	-5153.45	-11.7
80	8	1574.47	707	11.	-18.2	*****	*****	-20.0

SCT. DIRECCION GENERAL DE PLANEACION
 EVALUACION ECONOMICA DE CARPENTERAS.
 TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE USA IDJ
 LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO.
 OBRA: LICENCIAMIENTO MONCLOVA.
 MEXICO D.F. 1986

RESULTADOS DE LA SIMULACION.

TRANS. ALTERNATIVA C									
ALTERNATIVA	DURACION DE OBRA (A-O-S)	INVERSION INICIAL (MILLONES DE \$)	TRAFICO BASICO (TPDA)	CRECIMIENTO ANUAL (%)	D/C	TIR (%)	VPN (MILL.)	IRI (%)	IRI
01	10	1475.02	1331.4	2	-4.0	*****	-6072.05	-15.6	
02	8	1503.30	1411.4	4	-0.4	*****	*****	-21.5	
03	9	1710.40	1461.4	4	-3.0	*****	-5706.53	-10.0	
04	7	1832.37	1493.7	1	-4.5	*****	*****	-21.5	
05	7	1939.50	1260.4	1	-3.4	*****	-6138.25	-14.2	
06	8	1603.33	1082.3	2	-3.2	*****	-5158.18	-13.2	
07	7	1838.45	1365.5	8	-14.5	*****	*****	-22.8	
08	8	1194.72	1360.7	7	-11.0	*****	*****	-18.4	
09	3	2940.06	1361.1	11	-32.7	*****	*****	-5.5	
10	8	1857.22	1707.3	3	-6.2	*****	*****	-19.3	
11	6	2073.83	1466.1	1	-3.5	*****	-7449.03	-15.0	
12	7	1577.10	1095.2	2	-3.8	*****	-5875.61	-15.1	
13	8	1420.32	1258.2	2	-2.2	*****	-6203.85	-8.2	
14	8	1773.26	1041.5	5	-9.7	*****	-9176.08	-19.3	
15	8	1369.04	1295.3	3	-6.6	*****	-7750.42	-21.3	
16	10	1778.43	1766.2	2	-6.0	*****	-8052.01	-19.1	
17	6	1371.44	1808.2	2	-6.4	*****	-8575.14	-24.7	
18	4	2161.80	1652.2	2	-1.8	*****	-5348.16	-7.6	
19	7	1609.88	1263.3	2	-4.7	*****	-8304.49	-15.3	
20	7	1911.95	1229.2	2	-4.1	*****	-6444.46	-16.4	
21	6	2015.19	1109.3	3	-4.3	*****	-7705.07	-14.7	
22	2	3182.22	1382.6	6	-8.0	*****	*****	-16.2	
23	5	1384.01	1195.4	4	-7.7	*****	*****	-22.7	
24	6	1530.42	1069.5	5	-7.8	*****	*****	-19.2	
25	5	1541.12	1452.2	2	-4.5	*****	-5821.881	-15.2	
26	9	1471.63	1132.2	2	-3.0	*****	-5992.39	-15.3	
27	5	1857.04	1152.5	5	-7.3	*****	*****	-15.3	
28	7	1827.75	1261.2	2	-13.9	*****	*****	-20.4	
29	7	1706.21	1096.1	1	-2.7	*****	4338.85	-11.7	
30	6	1306.61	1090.3	4	-4.8	*****	-6801.72	-18.4	
31	9	2091.77	1110.1	10	-22.3	*****	*****	-21.1	
32	9	1759.72	811.8	8	-0.7	*****	*****	-15.0	
33	8	1781.74	1242.4	4	-4.9	*****	-6359.22	-13.2	
34	8	1907.05	1095.2	2	-3.9	*****	-4445.28	-8.0	
35	8	1973.07	1023.2	2	-2.5	*****	-4641.51	-10.1	
36	8	2059.71	746.6	6	-4.6	*****	-8251.64	-10.4	
37	8	1929.48	1203.2	2	-6.2	*****	*****	-12.8	
38	9	1945.96	1160.4	4	-5.0	*****	*****	-16.3	
39	6	1520.02	1176.3	3	-5.4	*****	-8090.62	-18.6	
40	8	1833.26	1071.5	5	-6.9	*****	*****	-15.8	

DGT, DIRECCION GENERAL DE PLANEACION
 EVALUACION ECONOMICA DE CARRETERAS.
 TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE USANDO
 LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO.
 OBRAS DE ASFALTADO MORELOVA
 MEXICO 30.7. 1996

RESULTADOS DE LA SIMULACION.

TRANSITO ALTERNATIVA C								
CORRIDO	DURACION DE OBRA (AÑOS)	INVERSION INICIAL (MILLONES DE \$)	TRANSITO BASICO (TPDA)	CRECIMIENTO ANUAL (%)	B/C	TIR (%)	VPN (MILL.)	IRI (%)
127	9	1337.53	1336	3	-3.6	*****	-5817.95	-12.0
128	9	1513.45	1379	1	-3.0	*****	-4210.26	-13.0
129	9	1507.95	1069	3	-4.3	*****	-5911.95	-15.6
130	5	1513.45	1379	1	-6.4	*****	*****	-15.1
131	8	1661.95	1106	5	-8.2	*****	*****	-17.9
132	9	1575.74	1545	0	-4.4	*****	-5941.47	-18.0
133	4	1838.28	1102	1	-3.3	*****	-7100.69	-14.5
134	5	1803.16	647	7	-5.7	*****	*****	-11.2
135	8	1721.72	1043	6	-7.0	*****	*****	-14.7
136	7	1706.04	707	2	-3.3	*****	-6300.37	-14.1
137	6	2003.94	1729	2	-5.3	*****	*****	-18.4
138	9	1826.04	1108	2	-3.4	*****	-5540.69	-12.5
139	9	1721.72	1320	2	-4.8	*****	-6950.61	-16.1
140	10	440.56	81	5	-7.2	*****	-934.56	-15.7
141	6	170.35	1573	5	-9.1	*****	*****	-20.7
142	8	1535.77	1215	2	-20.6	*****	*****	-27.0
143	8	2329.47	1203	4	-8.8	*****	-8154.15	-19.5
144	7	154.93	1400	5	-5.9	*****	-9227.55	-15.8
145	9	1427.97	1520	6	-15.7	*****	*****	-28.1
146	7	733.71	1351	4	-6.0	*****	*****	-18.7
147	6	2089.31	1150	5	-7.0	*****	*****	-19.0
148	7	893.20	1400	3	-6.0	*****	*****	-18.2
149	11	1624.60	1192	6	-9.8	*****	*****	-19.2
150	9	2043.64	1281	4	-5.5	*****	-9080.64	-14.7
151	6	1487.31	1152	1	-8.6	*****	*****	-17.7
152	4	1702.43	1450	1	-3.3	*****	-6210.92	-12.7
153	5	1503.43	1703	4	-9.7	*****	*****	-27.4
154	3	329.77	1210	1	-2	*****	-5304.41	-11.6
155	8	1739.98	1530	7	-16.3	*****	*****	-25.0
156	9	1344.50	1141	6	-7.9	*****	*****	-16.3
157	10	2226.74	365	3	-3.0	*****	-5035.75	-9.7
158	7	1503.04	1056	5	-7.4	*****	-6938.27	-19.5
159	6	579.19	1376	3	-16.0	*****	*****	-24.5
160	9	1072.21	1337	4	-3.2	*****	-8272.10	-17.1
161	9	1322.44	1294	5	-7.1	*****	*****	-17.4
162	9	1509.39	1323	4	-8.2	*****	-9603.48	-20.7
163	9	1739.98	1530	7	-16.3	*****	*****	-25.0
164	9	1193.08	1141	6	-7.9	*****	*****	-16.3
165	9	1074.02	1047	3	-3.0	*****	-6089.41	-12.3
166	8	2017.14	1379	2	-4.4	*****	-7287.92	-16.1

SCT. DIRECCION GENERAL DE PLANEACION
 EVALUACION ECONOMICA DE CARRETERAS
 TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE USANDO
 LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO.
 OBRAS DE LIBRAMIENTO MONCLOVA
 MESERO D.F. 1986

RESULTADOS DE LA SIMULACION.

TRAMITE ALTERNATIVA C								
OPERA	DURACION DE OBRA (A-OS)	INVERSION INICIAL (MILLONES DE \$.)	TRANSITO BASICO (TPDA)	CRECIMIENTO ANUAL (%)	D/C	TR	VPN (MILL.)	IRI (%)
161	7	2064.62	1331.	5.2	-1.7	*****	-7607.20	-20.0
162	7	1671.05	1330.	1.	-4.5	*****	-7607.20	-20.0
163	7	1912.63	1331.	5.	-7.6	*****	-7607.20	-19.5
164	7	1675.57	1337.	1.	-3.2	*****	-5405.50	-14.4
165	9	1600.31	1211.	9.	-19.1	*****	-7607.20	-23.6
166	6	1631.68	925.	6.	-7.6	*****	-7607.20	-16.4
167	8	1843.37	1022.	1.	-2.5	*****	-4670.10	-11.0
168	6	1770.97	1142.	9.	-15.7	*****	-7607.20	-21.3
169	7	2077.10	1370.	2.	-3.3	*****	-6777.23	-13.2
170	7	1320.44	1045.	3.	-3.7	*****	-6072.32	-14.1
171	7	2052.77	1090.	2.	-3.2	*****	-6538.60	-11.9
172	8	1271.39	1339.	5.	-11.8	*****	-7607.20	-27.5
173	6	1650.97	1718.	2.	-6.7	*****	-7607.20	-24.1
174	11	1912.33	1364.	3.	-5.0	*****	-7026.67	-14.5
175	7	2033.79	1085.	4.	-4.0	*****	-8078.70	-13.4
176	6	1316.29	1362.	1.	-6.2	*****	-7607.20	-19.1
177	8	1835.47	807.	2.	-2.4	*****	-4500.85	-9.5
178	7	1793.34	1311.	2.	-4.5	*****	-7475.61	-16.5
179	7	1720.61	1355.	1.	-4.0	*****	-6622.35	-16.3
180	10	1875.44	1215.	1.	-4.0	*****	-6016.17	-15.7
181	7	1654.23	1072.	6.	-7.7	*****	-7607.20	-17.8
182	6	1635.07	1155.	5.	-7.4	*****	-7607.20	-19.1
183	9	1732.36	1420.	4.	-7.3	*****	-9099.73	-18.7
184	7	1826.71	1422.	1.	-3.0	*****	-5632.71	-13.0
185	7	1699.55	1205.	7.	-10.4	*****	-7607.20	-17.0
186	7	1734.52	1166.	2.	-3.4	*****	-5923.31	-14.3
187	9	1573.77	744.	6.	-5.4	*****	-6996.54	-13.0
188	7	1427.97	521.	3.	-3.3	*****	-5290.37	-11.4
189	7	1360.34	1261.	6.	-10.4	*****	-7607.20	-25.1
190	9	1585.97	1039.	6.	-8.0	*****	-9965.22	-17.7
191	7	2009.12	1232.	4.	-5.6	*****	-7607.20	-14.7
192	7	1511.43	1123.	4.	-5.7	*****	-7796.33	-18.0
193	8	1905.53	1200.	3.	-4.9	*****	-8639.45	-14.8
194	6	1727.34	756.	4.	-3.4	*****	-6250.73	-11.2
195	7	1750.04	1100.	2.	-3.4	*****	-5904.04	-13.5
196	8	1745.17	1331.	6.	-16.0	*****	-7607.20	-27.0
197	7	1494.29	1053.	9.	-9.5	*****	-7607.20	-16.3
198	7	1350.69	1402.	0.	-2.1	*****	-7607.20	-33.4
199	8	1686.35	1089.	1.	-3.0	*****	-4993.74	-12.9
200	1	1254.18	631.	3.	-1.7	*****	-4994.30	-7.3

SCT, DIRECCION GENERAL DE PLANEACION
 EVALUACION ECONOMICA DE CARRETERAS
 TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE USANDO
 LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO
 BBVA LIBRAMIENTO MEXICANA
 MEXICO D.F. 1985

RESULTADOS DE LA SIMULACION.

TRAMO ALTERNATIVA C								
SECCION	DURACION DE OBRA (AÑOS)	INVERSION INICIAL (MILLONES DE \$)	TRATAMIENTO BASICO (TRPA)	CRECIMIENTO ANUAL (%)	B/C	IRR (%)	WPI (MILL.)	IRI (%)
200	7	1760.28	1573	3%	-4.4	*****	-8060.48	-17.7
201	8	1764.39	1553	0%	-13.6	*****	*****	-21.1
202	8	1942.34	1130	2%	-3.2	*****	-5504.37	-12.9
203	7	1804.47	1320	2%	-3.3	*****	-5210.39	-12.6
204	4	1958.26	1336	0%	-5.4	*****	*****	-15.8
206	11	2028.07	1855	3%	-4.9	*****	-7310.04	-14.9
207	7	1392.43	747	2%	-3.1	*****	-4432.77	-12.5
208	6	1785.30	1072	2%	-3.2	*****	-6307.22	-13.1
209	6	1900.43	1256	11%	-2.4	*****	*****	-20.4
210	8	1767.16	1403	1%	-3.3	*****	-6142.49	-13.7
211	9	2493.20	1175	4%	-5.0	*****	-9332.05	-13.0
212	12	2070.89	1323	4%	-5.1	*****	-7235.18	-13.5
213	9	1792.05	1302	3%	-10.6	*****	*****	-16.1
214	7	1947.37	1607	3%	-5.6	*****	-9777.71	-18.3
215	11	1754.25	821	2%	-2.2	*****	-3444.23	-8.7
216	8	1807.34	1300	0%	-2.9	*****	*****	-27.4
217	7	1762.03	1258	0%	-9.9	*****	*****	-16.7
218	7	1766.05	1394	3%	-4.4	*****	-7322.43	-14.6
219	7	1517.83	966	0%	-11.2	*****	*****	-21.8
220	7	2409.33	1666	4%	-7.5	*****	*****	-27.7
221	10	1961.61	1336	7%	-13.5	*****	*****	-20.6
222	11	2110.37	1104	1%	-2.3	*****	-4305.41	-9.5
223	10	1236.84	1369	2%	-5.9	*****	-5769.13	-21.6
224	8	1844.74	1019	3%	-4.3	*****	-7104.56	-13.2
225	6	2082.23	1252	0%	-5.4	*****	*****	-16.7
226	6	1023.30	1321	4%	-5.0	*****	*****	-16.7
227	6	2034.26	1176	4%	-4.9	*****	-9465.34	-14.0
228	7	1803.33	1307	6%	-3.6	*****	*****	-18.9
229	9	1931.83	1523	3%	-13.7	*****	*****	-20.4
230	6	1780.43	1275	2%	-3.9	*****	-7156.04	-15.9
231	8	1824.27	1031	3%	-3.9	*****	-6119.27	-13.7
232	8	1851.84	1342	7%	-14.9	*****	*****	-25.6
233	8	1745.90	2075	6%	-7.3	*****	*****	-16.9
234	8	2214.24	1440	10%	-17.2	*****	*****	-17.9
235	6	1703.02	1387	1%	-3.7	*****	-6869.71	-15.4
236	8	1560.72	1312	3%	-13.7	*****	*****	-24.1
237	9	1740.86	1095	3%	-13.7	*****	*****	-20.4
238	8	1711.26	1311	2%	-3.9	*****	-6115.14	-15.4
239	8	1610.76	1130	6%	-0.3	*****	*****	-10.5
240	6	1677.85	1120	10%	-5.7	*****	*****	-23.4

SCT. DIRECCION GENERAL DE PLANEACION
 EVALUACION ECONOMICA DE CARRETERAS.
 TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE USANDO
 LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO.
 OBRAL LIBRAMIENTO BUNCLAYA
 MEXICO D. F. 1996

RESULTADOS DE LA SIMULACION.

TRAMIT: ALTERNATIVA C

F. CORRIDA	DURACION DE OBRA (AÑOS)	INVERSION INICIAL (MILLONES DE \$)	TRAMITE BASICO (TPDA)	CRECIMIENTO ANUAL (%)	O/C	IRR (%)	VPH (MILL.)	IRI (%)
242	6	1679.75	1237	6.1	-3.3	****	****	****
242	10	1746.36	1132	1.	-3.6	****	-4526.30	-20.5
242	7	2146.38	977	4.	-2.6	****	-5876.55	-8.1
242	9	1965.70	1202	6.	-16.1	****	****	-27.2
245	8	1664.38	1377	10.	-27.9	****	****	-29.8
246	9	1643.36	1301	3.	-8.2	****	****	-23.4
247	7	1526.50	1332	4.2	-6.0	****	-8349.76	-18.2
240	9	1755.38	1234	4.	-5.2	****	-7546.82	-14.3
248	8	1984.81	1269	2.	-4.2	****	-6115.72	-16.5
249	7	1927.16	1211	1.	-4.5	****	-6272.18	-19.9
251	10	2192.18	365	9.	-3.8	****	-6664.92	-9.4
252	7	1679.58	1743	3.	-9.2	****	****	-23.7
253	8	1828.61	1051	2.	-14.2	****	-7270.19	-13.1
254	9	2151.11	1324	4.	-6.4	****	****	-19.1
255	6	1762.54	1145	7.	-9.2	****	****	-16.9
256	9	1351.32	1013	2.	-3.1	****	-5239.07	-11.4
257	7	1678.71	860	2.	-25.9	****	-3968.65	-14.3
258	7	1303.37	1126	7.	-11.1	****	****	-21.9
259	8	1885.26	800	2.2	-2.5	****	-4671.55	-9.4
260	7	1643.40	936	2.	-2.9	****	-5919.65	-12.7
261	10	1978.76	1091	4.	-4.9	****	-7544.90	-18.4
262	8	1602.62	1343	2.	-9.9	****	-8341.13	-16.6
263	4	1682.45	1177	2.	-2.5	****	-9583.43	-10.9
264	7	1945.82	1068	8.	-5.4	****	-7946.06	-14.1
265	9	1729.37	1366	3.	-2.8	****	-3029.67	-18.4
266	8	1754.17	1319	6.	-1.4	****	****	****
267	8	1552.33	1511	11.	-38.0	****	****	-35.8
268	10	1887.86	1127	1.	-3.0	****	-4167.70	-12.9
269	7	1867.66	1041	3.	-5.4	****	-7115.66	-14.4
270	8	1827.67	923	7.	-8.9	****	-9109.88	-10.8
271	6	1345.42	1323	7.	-16.1	****	****	-20.4
272	7	1667.47	1268	2.	-4.5	****	-6775.64	-17.6
273	6	1891.47	1445	6.	-13.2	****	****	-25.9
274	7	1887.52	1137	7.	-10.2	****	****	-20.1
275	7	1889.26	822	8.	-8.7	****	****	-14.2
276	6	1925.49	1347	1.	-5.2	****	-9199.43	-22.8
277	8	1876.49	1305	2.	-2.7	****	-6326.74	-14.2
278	9	1724.49	1135	1.	-10.7	****	-9105.25	-11.2
279	7	194.36	662	9.	-8.1	****	****	-14.7
280	8	1528.70	1332	2.	-4.1	****	-6914.70	-15.6

DCT. DERECHOS GENERAL DE PLANEACION
 EVALUACION ECONOMICA DE CARRETERAS
 TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE ASABO
 LA TECNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO
 OBRAS DE ARRANQUE MONCLAJA
 MEXICO D.F. 1986

RESULTADOS DE LA SIMULACION.

TRAMO ALTERNATIVA C									
CONDICION	DIFUSION DE OBRA (AOS)	INVERSION INICIAL (MILL. DE \$)	TRAFICO BASICO (TPDA)	CRECIMIENTO ANUAL (%)	B/C	TIR (%)	VPH (MILL.)	IRI (%)	
251	7	2148.43	1607	5.1	-8.5	*****	*****	-18.9	
252	8	1767.34	1295	6.1	-8.5	*****	*****	-13.5	
253	9	1441.05	1044	6.1	-10.4	*****	*****	-20.3	
254	7	1693.32	1131	7.1	-11.7	*****	*****	-20.1	
285	8	1937.60	1145	2.1	-3.1	*****	-5745.95	-12.2	
286	9	2122.34	1934	2.1	-4.0	*****	-7195.02	-14.2	
287	7	1847.16	1852	4.1	-9.7	*****	*****	-19.3	
288	7	1749.30	1231	4.1	-5.9	*****	-9362.44	-17.3	
289	7	1631.61	1150	8.1	-13.2	*****	*****	-20.1	
290	8	1461.47	1369	3.1	-3.7	*****	-6955.41	-19.8	
291	8	2129.77	1130	2.1	-3.6	*****	-8256.73	-13.0	
292	11	2079.21	1212	4.1	-4.6	*****	-7064.12	-12.6	
293	7	2011.44	1243	5.1	-6.1	*****	*****	-14.2	
294	7	1690.50	1305	4.1	-6.3	*****	*****	-13.5	
295	7	2041.57	1301	6.1	-6.4	*****	*****	-14.3	
296	7	1625.30	1241	3.1	-4.9	*****	-6945.57	-13.8	
297	8	1930.37	1492	9.1	-26.6	*****	*****	-32.2	
298	9	1961.99	1162	8.1	-13.0	*****	*****	-19.1	
299	9	2021.32	1432	8.1	-13.8	*****	-6570.09	-14.0	
300	8	1704.27	1322	4.1	-4.1	*****	-7045.89	-12.7	

SECRETARÍA GENERAL DE PLANEACIÓN
 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE CARRERAS,
 TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE Y ANÁLISIS
 LA TÉCNICA DE SIMULACIÓN DE MONTECARLO.
 DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA
 REVISTA N.º 133

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS
 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN
 DEL ALTERNATIVO C

VALOR PRESENTE NETO (EN MILLONES DE PESOS).

INTERVALO DE CLASE	FRECUENCIA OBSERVADA	FRECUENCIA ACUMULADA	FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA	DECILES:
(-1.000000-0.000000)	2	2	.077	
(-0.500000-0.000000)	0	2	.077	
(0.000000-0.500000)	4	6	2.000	
(0.500000-1.000000)	0	6	5.000	
(1.000000-1.500000)	4	10	6.333	
(1.500000-2.000000)	9	19	7.333	
(2.000000-2.500000)	15	34	13.477	
(2.500000-3.000000)	41	75	27.333	
(3.000000-3.500000)	94	170	58.677	2=70.000
(3.500000-4.000000)	124	294	100.000	5=93.250

ESTADÍSTICOS.— MX=7719.36. INTERVALOS DE CONFIANZA DE MX: (*****AL 95% (*****AL 90%.

ÍNDICE DE RENTABILIDAD INMEDIATA (EN %).

INTERVALO DE CLASE	FRECUENCIA OBSERVADA	FRECUENCIA ACUMULADA	FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA	DECILES:
(-1.00-1.00)	2	2	.077	
(-0.25-1.00)	7	9	1.077	
(-0.50-1.00)	16	25	4.077	
(-0.25-1.00)	25	50	10.000	
(-1.00-1.00)	40	90	34.077	
(-1.00-1.00)	9	99	39.000	2=-21.7
(-1.00-1.00)	75	174	80.000	5=16.5
(-1.00-1.00)	44	218	96.077	8=13.0
(-1.00-1.00)	16	234	100.000	

ESTADÍSTICOS.— MX=1.2, SX=5.3. INTERVALOS DE CONFIANZA DE MX: (-1.8,-18.7) AL 95%, (-16.0,-16.7) AL 90%.

SECRETARÍA GENERAL DE PLANEACIÓN
 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE CASERÍAS.
 TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE USANDO
 LA TÉCNICA DE SIMULACION DE MONTECARLO.
 OBRA DE DESARROLLO MONTECARLO
 REVISTA 3.ª, 1986

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS
 RESULTADOS DE LA SIMULACION
 TRAMO ALTERNATIVA C

INDICE DE VENTABILIDAD.

INTERVALO DE CLASE	FRECUENCIA OBSERVADA	FRECUENCIA ACUMULADA	FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA	DECILES:
(-30.0;-25.1)	1	1	1.33%	
(-25.1;-21.4)	1	2	2.67%	
(-21.4;-17.7)	3	5	6.67%	
(-17.7;-14.0)	5	10	13.33%	
(-14.0;-10.3)	8	18	24.00%	
(-10.3;-6.6)	7	25	33.33%	
(-6.6;-2.9)	19	44	58.67%	
(-2.9; 0.8)	29	73	96.67%	
(0.8; 4.5)	01	74	100.00%	2=-10.8
		154	54.67%	5=-6.0
				8=-3.4

ESTADÍSTICOS: $\bar{X} = -7.0$, $SX = 5.7$. INTERVALOS DE CONFIANZA DE \bar{X} : (-8.5, -7.2) AL 95%; (-8.7, -6.9) AL 90%.

TASA INTERNA DE RETORNO, (EN %).

INTERVALO DE CLASE	FRECUENCIA OBSERVADA	FRECUENCIA ACUMULADA	FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA	DECILES:
(-10.0;-5.0)	0	0	2.00%	
(-5.0; 0.0)	1	1	4.33%	
(0.0; 5.0)	7	8	13.33%	
(5.0; 10.0)	30	38	25.00%	
(10.0; 15.0)	73	111	51.00%	2=****
(15.0; 20.0)	63	174	72.00%	
(20.0; 25.0)	46	220	87.33%	
(25.0; 30.0)	24	244	96.00%	8=****
(30.0; 35.0)	1	245	97.33%	
(35.0; 40.0)	0	245	100.00%	

ESTADÍSTICOS: $\bar{X} = 11.0$, $SX = 11.1$. INTERVALOS DE CONFIANZA DE \bar{X} : (****,****) AL 95%, (****,****) AL 90%.

Si se usa el decil 2 para decidir si esta alternativa es buena o mala y se aplica el siguiente criterio de decisión, se tiene que: decil 2 $\frac{B}{C} = 5.6 > 1.0$ Proyecto con baja probabilidad de no ser rentable (0.20 de probabilidad); o bien decil 2 $TIR = 29.0 >$ tasa de actualización del capital empleado, que es del 12%, lo que implica que cuando mucho en un 20% de los casos simulados el proyecto no es rentable; o bien, decil 2 $VPN = 3511.92$ millones de pesos > 0.0 y que refleja la misma conclusión.

Si se aumenta el rigor de la interpretación de los resultados y se exige que para que el proyecto sea bueno el menor valor de los índices de rentabilidad obtenidos debe reflejar una rentabilidad positiva del proyecto, la alternativa A seguiría sin tener problemas. Como lo muestra la corrida No. 106, el valor más bajo obtenido durante la simulación de los índices de rentabilidad verifican la rentabilidad del proyecto. Los valores de esta corrida pueden verse también en el análisis estadístico, como el límite inferior del primer intervalo de clase del análisis de cada índice de evaluación. En el caso de la alternativa A, sus valores son:

- a) menor valor obtenido de la relación $B/C = 2.4$. Como es mayor que 1.0, el proyecto es rentable, ya que en el 99.6% de los casos la relación B/C será mayor que 2.4 y por tanto superior a 1.0.
- b) menor valor obtenido de $TIR = 19.4\%$ como es mayor que la tasa de actualización usada, del 12%, el proyecto es rentable, ya que en el 99.6% de los casos analizados TIR superará el valor 19.4% y por tanto al 12%.
- c) menor valor obtenido del $VPN: 1186.9$ millones de pesos. Este monto asegura la rentabilidad del proyecto ya que en el 99.6% de los casos el VPN será mayor a él y por tanto a 0.

Por lo que al IRI respecta, el hecho de que su decil 2 sea de 12.4% indica que tan sólo en el 20% de los casos la inversión sería prematura. Este último valor es relativamente alto y tal vez conviniera retrasar la inversión, aunque también exista posibilidades de que la inversión resultara oportuna.

En conclusión, se deben desechar las alternativas B y C y llevar a cabo la alternativa A, que refleja tener una muy alta probabilidad de resultar rentable. Se sugiere que se inicien los estudios tendientes a la realización del proyecto de esa alternativa y que, una vez disponible, se afine el análisis económico del proyecto para obtener resultados aún más confiables.

Este ejemplo utiliza un concepto que podría incluirse como criterio de decisión; este concepto se refiere al menor valor obtenido de los índices de rentabilidad. En efecto, en una primera fase podría preguntarse si el proyecto es o no rentable según este valor. En caso afirmativo, no habría necesidad de usar el criterio del decil 2, o del decil 1, según sea el caso. Por último es preciso apuntar que en este ejemplo el método propuesto ha servido para conocer la mejor opción de inversión sin necesidad de contar con un proyecto definitivo. Esto resulta muy atractivo, sobre todo si se toma en cuenta el desperdicio de recursos humanos y monetarios en que se incurre al elaborar el proyecto ejecutivo de un proyecto que no es rentable y que no se llevará a cabo. En este sentido, el método propuesto ofrece una opción para la racionalización y administración eficiente de los recursos disponibles.

6. Conclusiones

6. Conclusiones

El futuro es siempre incierto y no hay remedio. A pesar de ello, la incertidumbre suele ignorarse al momento de planear y hacer ingeniería; hecho que frecuentemente se manifiesta en el distanciamiento entre lo real y lo proyectado. Las evaluaciones económicas de proyectos carreteros, como instrumentos de apreciación y apoyo a la toma de decisiones que involucran la predicción del futuro, deben tomar en cuenta su incertidumbre para no arriesgar inversiones escasas en proyectos que pudieran no dar los resultados previstos.

En el pasado, los análisis económicos han recorrido el paliativo de los análisis de sensibilidad. Sin embargo, la aportación real de estos análisis es escasa, ya que se basan en variaciones arbitrarias del valor de ciertas variables del análisis; que muchas veces son tan irreales como los valores iniciales mismos. La deficiencia observada consiste en ignorar la incertidumbre asociada al valor estimado de esas variables, lo que es relativamente fácil de evitar si se trabaja en términos probabilísticos.

El objeto de este trabajo es el incorporar la incertidumbre al análisis económico de carreteras, mediante la técnica de simulación de Monte Carlo, para aumentar la confiabilidad de los resultados de análisis carreteros comunes.

Como se explicó, la simulación Monte Carlo se apoya tanto en las distribuciones de probabilidad de las variables aleatorias identificadas como más importantes para el cálculo de los índices de rentabilidad, y como en el análisis estadístico de los resultados de la simulación.

El diseño de distribuciones de probabilidad que reflejen el comportamiento de las variables mencionadas puede ser subjetivo o estadístico y el tipo seleccionado dependerá de la información disponible. Si ésta es suficiente y confiable, la distribución de probabilidad por diseñar podrá ser de tipo estadístico; en caso contrario, será de tipo subjetivo.

Aunque las distribuciones subjetivas pueden ser muy útiles, las distribuciones de probabilidad de tipo estadístico son en cierta medida más confiables, ya que su proximidad con los valores reales de la variable analizada puede comprobarse mediante pruebas estadísticas, como las pruebas de hipótesis y las pruebas chi-cuadrada o de bondad de ajuste.

La principal desventaja de utilizar distribuciones de probabilidad subjetivas es que no permiten un tratamiento ágil y sistemático de la incertidumbre en los modelos de evaluación empleados, debido principalmente a la imposibilidad de diseñar distribuciones subjetivas de carácter general. Ello se debe a que cada vez que se evalúa un proyecto, solo se pueden elaborar distribuciones específicas para ese proyecto, según sus propias condiciones y las de su entorno.

Por lo que se refiere a las distribuciones estadísticas, pueden ser a su vez de dos tipos: teóricas, cuando los datos se ajustan a alguna de las distribuciones de probabilidad conocidas, tales como la normal, la exponencial, la de Poisson, etc., y las empíricas, que se tienen cuando el análisis estadístico se aprovecha para obtener histogramas que constituyen, en esencia, la distribución de probabilidad de la variable analizada.

Aunque el ajuste de alguna distribución teórica a los datos disponibles toma por lo general más tiempo, suele ser preferible ya que son más fáciles de manejar y además arrojan probabilidades para un rango infinito de valores de la variable que representan, mientras que las distribuciones empíricas-estadísticas y las subjetivas no lo hacen. Es imposible diseñar distribuciones de probabilidad que reflejen el comportamiento real de la variable en estudio, simplemente ello implicaría que la incertidumbre dejara de existir y que se controlara el futuro. Las distribuciones de probabilidad, por tanto, solo sirven para asignar valores probables y constituyen un medio por tomar en cuenta seriamente la incertidumbre del valor futuro de una variable.

Las distribuciones de probabilidad generales tienen la ventaja de que evitan el diseño repetitivo de distribuciones de probabilidad específicas para cada proyecto por evaluar, con lo que facilitan el manejo sistemático del método propuesto. Para lograr esa ventaja fue preciso trabajar en términos relativos, con los que se obtuvieron buenos resultados.

Como se explicó en el capítulo 3, las distribuciones de probabilidad diseñadas para las variables seleccionadas dependieron de la relación valor real vs. valor estimado referente a la variable de interés. En ese mismo capítulo se identificó que las variables aleatorias que mayor peso tienen en el resultado de los índices de rentabilidad son:

- i) Los costos de inversión inicial
- ii) El tiempo de duración de la obra
- iii) El volumen de tránsito inicial
- iv) La tasa anual de crecimiento del tránsito

Estas variables se seleccionaron para la simulación y aplicación del método. A cada una de ellas se le diseñó la distribución de probabilidad que mejor reflejara su comportamiento con base en la información disponible.

Los análisis estadísticos de estas variables permitieron observar que su valor real siempre se ha comparado desfavorablemente con el valor estimado para la evaluación económica determinística. En la muestra utilizada, la inversión inicial tiende a ser superior en un 8% del valor estimado en las evaluaciones. La duración de la obra se incrementa en un 160% sobre el valor previsto, mientras que en el caso del volumen de tránsito inicial y de su tasa anual de crecimiento, se presentan valores reales de alrededor de un 5.5% por debajo de lo estimado. En efecto, el tránsito real registrado es del 96% de lo estimado y la tasa anual de crecimiento, del 93% del valor estimado. Como se observa, estas variaciones actúan siempre en contra de la rentabilidad del proyecto.

En el mismo análisis estadístico se observa que mientras la inversión inicial y la duración de la obra tienen un comportamiento más consistente y acorde con la distribución normal, el tránsito y su tasa de crecimiento no tuvieron un comportamiento claro, por lo que no existió una distribución teórica que se les ajustara. Esto puede atribuirse al comportamiento disperso de ambas variables en cuanto al valor observado, lo que se refleja en la magnitud relativamente grande de la desviación estándar obtenida para cada una de ellas.

De lo descrito anteriormente se vislumbra cierta correlación entre la inversión inicial y la duración de la obra, por una parte, y por otra, entre el volumen de tránsito inicial y su tasa anual de crecimiento. Por esta razón, sería conveniente realizar un estudio de correlación que midiese y aclarase de qué manera se relacionan esas variables entre sí, con objeto de conocer su grado de influencia en los resultados del método.

COMENTARIOS SOBRE LA APLICACION DEL METODO.

El número de iteraciones más conveniente para aplicar el método descrito en este trabajo es de doscientos, cifra definida en términos de la mayor confiabilidad de los resultados a menores tiempos de procesamiento. Los resultados del método son bastante confiables y las distribuciones de probabilidad obtenidas en lo general reflejan aceptablemente el comportamiento de las variables que representan. Sin embargo, conviene revisar la distribución de probabilidad del volumen de tránsito inicial, misma que a pesar de haber mostrado resultados satisfactorios, éstos no resultaron tan buenos como los de las demás variables, lo que se relaciona con el hecho ya concretado de que la variable tiene un comportamiento disperso, cuando menos en los valores disponibles en la muestra.

En el trabajo se manejó el decil dos como base para decidir si conviene o no realizar un proyecto. Sin embargo, de las mismas pruebas al método, se observó que ese nivel es demasiado tolerante. En efecto, el hecho de que solo en un 20%

de los casos el Índice de Rentabilidad sea menor que la unidad, por citar el criterio empleado en el trabajo, no garantiza la rentabilidad del proyecto. A pesar de que ésta nunca se halla del todo asegurada, al menos es más probable que se logre si se emplean criterios de aceptación más exigentes, de tal suerte que le den mayor confiabilidad a la decisión que apoyen; manejar el 5% de los casos es, a todas luces, mejor que el 20% apuntado.

La aplicación del método al caso real evidenció otro concepto que pudiera influir en primera instancia sobre la decisión de realizar el proyecto o no. Este concepto se refiere al valor mínimo de los índices de rentabilidad obtenido durante la simulación, que correspondería a la rentabilidad del proyecto en la situación más desfavorable. Si el proyecto es rentable aún bajo esta situación, la probabilidad de que efectivamente lo sea en la realidad es muy alta y conviene la realización del proyecto.

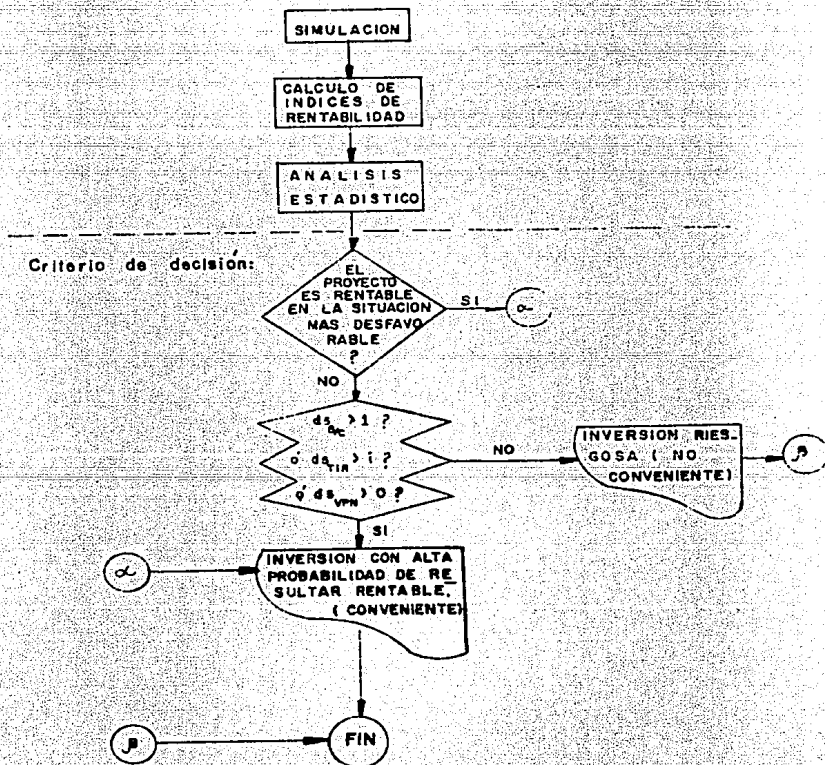
Por otra parte, cualquier decil puede usarse para jerarquizar los proyectos o alternativas de proyecto elegidas, según cualesquiera de los criterios descritos. Esto sucede al aceptar que un proyecto rentable siempre será mejor otro proyecto también rentable. Dado eso, el decil "N" del primer proyecto deberá ser mayor que el correspondiente decil "N" del segundo.

En concreto, el siguiente criterio de decisión puede establecerse para definir la conveniencia de realizar o no un proyecto:

Un proyecto conviene si éste es rentable aún para la situación simulada más desfavorable. Si esto no sucede, el proyecto seguirá siendo conveniente si resulta no rentable en un máximo del 5% de los casos simulados; en caso contrario, la inversión resulta muy riesgosa y es preferible no llevarla a cabo. En la figura 6.1 se muestra lo anteriormente descrito.

Además, de dos proyectos cualesquiera elegidos bajo el criterio anterior, se preferirá aquel cuyo decil "N" sea mayor que el de los demás (como decil "N" puede emplearse cualquiera de los deciles).

FIGURA 6.1
**CRITERIO PARA DECIDIR SI CONVIENE
 O NO LA REALIZACION DE UN PROYECTO**



NOTA, d_5 = DECIL CINCO

CONCLUSIONES DEL EJEMPLO DE APLICACION.

En algunas ocasiones, a pesar de que el valor simulado de la duración de la obra es exageradamente grande y totalmente desfavorable para la rentabilidad del proyecto, los índices de rentabilidad obtenidos no son negativos. Esto no es congruente con la realidad, ya que, como se sabe, cuando esto sucede los beneficios obtenidos por la operación de la obra se perciben tardíamente y en muchos de los casos resultan de menor magnitud que si se hubieran obtenido en el tiempo planeado. Además, los costos de inversión inicial generalmente se incrementan por diversas razones: pago de alquiler de equipo, mantenimiento de lo que ya está construido; cambio en el tamaño del proyecto, contingencias, etc.

Si la duración de la obra se incrementa exageradamente, los beneficios se reducen y los costos aumentan. Por ello, no es lógico que aún en esta situación el proyecto resulte rentable.

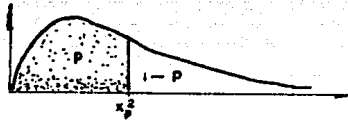
De las dos situaciones antes mencionadas, la primera sí se toma en cuenta en el modelo empleado, pero la segunda no, lo que tiene que ver con la correlación existente entre la inversión inicial y la duración de la obra, razón por la que en estudios posteriores deberá medirse esta correlación e incorporarse al modelo descrito.

Por último, la aplicación del método a un caso práctico ha permitido conocer la mejor opción de inversión sobre la base de un anteproyecto y con escasa información disponible. Como ya se mencionó, esto vuelve atractivo al método, tomando en cuenta el consumo de recursos humanos y monetarios en que se incurre al elaborar el proyecto técnico de un proyecto de inversión que al final de cuentas puede no resultar rentable y no llevarse a cabo. Esto no evita el hecho de que cuando se cuente con el proyecto definitivo se deba estudiar nuevamente su factibilidad económica; sin embargo, el método propuesto es útil para racionalizar el uso de los recursos destinados al estudio económico de proyectos de modernización a obra nueva carretera.

7. Anexos.

ANEXO 2.1

PERCENTILES (χ^2_p) DE LA DISTRIBUCION CHI-CUADRADO CON ν GRADOS DE LIBERTAD



F	$\chi^2_{.005}$	$\chi^2_{.01}$	$\chi^2_{.025}$	$\chi^2_{.05}$	$\chi^2_{.10}$	$\chi^2_{.25}$	$\chi^2_{.50}$	$\chi^2_{.75}$	$\chi^2_{.90}$	$\chi^2_{.95}$	$\chi^2_{.975}$	$\chi^2_{.99}$	$\chi^2_{.995}$	$\chi^2_{.999}$
1	.0000	.0002	.0010	.0039	.0158	.102	.455	1.32	2.71	3.84	5.02	6.63	7.88	10.8
2	.0100	.0201	.0308	.103	.211	.375	1.39	2.77	4.61	5.99	7.38	9.21	10.6	13.8
3	.0717	.115	.166	.352	.584	1.21	2.37	4.11	6.25	7.81	9.35	11.3	12.8	16.3
4	.207	.287	.384	.711	1.06	1.92	3.36	5.39	7.78	9.49	11.1	13.3	14.9	18.5
5	.412	.584	.731	1.15	1.61	2.67	4.35	6.63	9.24	11.1	12.8	15.1	16.7	20.5
6	.676	.872	1.24	1.64	2.20	3.45	5.53	7.84	10.6	12.6	14.4	16.8	18.5	22.5
7	.989	1.24	1.69	2.17	2.83	4.25	6.35	9.04	12.0	14.1	16.0	18.5	20.3	24.3
8	1.34	1.65	2.18	2.73	3.49	5.07	7.34	10.2	13.4	15.5	17.5	20.1	22.0	26.1
9	1.73	2.09	2.70	3.33	4.17	5.90	8.34	11.4	14.7	16.9	19.0	21.7	23.6	27.9
10	2.16	2.56	3.25	3.94	4.87	6.74	9.34	12.5	16.0	18.3	20.5	23.2	25.2	29.6
20	7.43	8.26	9.59	10.9	12.4	15.5	19.3	23.6	28.4	31.4	34.2	37.6	40.0	45.3
30	13.8	15.0	16.8	18.3	20.6	24.5	29.3	34.8	40.3	43.8	47.0	50.9	53.7	59.7
40	20.7	22.2	24.4	26.5	29.1	33.7	39.3	45.6	51.8	55.8	59.3	63.7	66.8	73.4
50	28.0	29.7	32.4	34.8	37.7	42.9	49.3	56.3	63.0	67.3	71.4	76.2	79.5	86.7
60	35.3	37.3	40.3	43.2	46.5	52.3	59.3	67.0	74.4	79.1	83.3	88.4	92.0	99.6
70	43.8	45.4	48.8	51.7	55.3	61.7	69.3	77.8	85.5	90.5	95.0	100	104	112
80	51.2	53.5	57.2	60.4	64.3	71.1	79.3	89.1	96.6	102	107	112	116	125
90	59.2	61.8	65.6	69.1	73.3	80.6	89.3	99.6	108	113	118	124	128	137
100	67.3	70.1	74.2	77.9	82.4	90.1	99.3	109	118	124	130	136	140	149

Fuente: Murrey R. Spiegel, Estadística Serie Schaum.

ANEXO 3.1

ANALISIS DE COSTOS REALES Y COSTOS ESTIMADOS

(Obras con contrato completo)

TRAMO	COSTO REAL/COSTO ESTIMADO
Río Bravo-T ¹ Aeropuerto y Lib. Río Bravo	1.11
T Periférico- T Aeropuerto	1.32
T Aeropuerto- T Sta. Rosa	1.36
Querétaro- T Sn. Miguel de Allende	1.02
T Sn. Miguel de Allende-Dr. Mora	0.93
Sta. María del Río-Villa de Reyes	0.97
T Nuevo Teapa-Río Tonalá	1.01
Silao-León	1.20
Chilapa-Tlapa	1.21
Zinapécuaro-Uriangato	1.09
Tampico-Altamira	0.86
Altamira-Estación Manuel	1.22
Santa Ana Chiautempan-Ocotoxco	1.15
Km. 40+000-Km. 80+300 (Guad.-Tepetongo)	1.06
Libramiento Poniente Tampico	1.18
Km. 40+000-Km. 65000 (Mexicali-Tijuana)	1.07
La Venta-Xaltianguis	0.99
Colima- T Tecomán	0.77

1. T= Entronque en "T"

ANEXO 3.2

OBTENCION ESTADISTICA DE LA DISTRIBUCION DE
 PROBABILIDAD DE LOS COSTOS INICIALES DE INVERSION

A. Cálculo de parámetros estadísticos (datos agrupados)

Usando la fórmula para determinar la amplitud de los intervalos de clase, se tiene que:

$$aic = \frac{VM - vm}{1 + 3.22 \log N};$$

donde:

VM = Elemento mayor de la muestra,

vm = Elemento menor de la muestra,

N = Tamaño de la muestra.

Sustituyendo datos se tiene que:

$$aic = \frac{1.36 - 0.77}{1 + 3.222 \log (18)} = 0.12$$

ANEXO 3.2

OBTENCION ESTADISTICA DE LA DISTRIBUCION DE
PROBABILIDAD DE LOS COSTOS DE INVERSION

INTERVALO DE CLASE	PUNTO MEDIO	FRECUCENCIA OBSERVADA		ACUMULADO		$(x_i)^2$	$f_i(x_i)$	$f_i(x_i)^2$
		f_i	%	f_{ic}	%			
0.77 - 0.88	0.83	2	11.10	2	11.10	0.69	1.66	1.38
0.89 - 1.00	0.95	3	16.70	5	27.80	0.90	0.285	2.70
1.01 - 1.12	1.07	6	33.30	11	61.10	1.14	6.42	6.84
1.13 - 1.24	1.19	5	27.80	16	88.90	1.42	5.95	7.10
1.25 - 1.36	1.31	2	11.10	18	100.00	1.72	2.62	3.44
TOTALES		18	100.0				19.50	21.46

De las expresiones 2.1 y 2.2 se tiene que:

$$m_x = \frac{\sum f_i x_i}{n} = \frac{19.5}{18} = 1.08; \text{ además,}$$

$$S_x = \sqrt{\frac{f_i (x_i)^2 - V_n (\sum f_i x_i)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{21.46 - 1/18 (19.5)^2}{17}} = 0.14$$

En resumen la muestra tiene media igual a 1.08 y desviación estándar igual a 0.14

V

ANEXO 3.2

- B. AJUSTE A DISTRIBUCION TEORICA OBTENCION ESTADISTICA DE LA DISTRIBUCION DE
 1) Ajuste a curva normal. PROBABILIDAD DE LOS COSTOS DE INVERSION

INTERVALO DE CLASE	LIMITE REAL DE CLASE	Z	AREA BAJO LA CURVA NORMAL	AREA PARA CADA CLASE	FRECUENCIA ESPERADA	FRECUENCIA OBSERVADA
	0.765	- 2.25	0.4878			
0.77 - 0.88				0.0701	1.26 ó 1.00	2
	0.885	- 1.39	0.4177			
0.89 - 1.00				0.2123	3.82 ó 4.00	3
	1.005	- 0.54	0.2054			
1.01 - 1.12				0.3309	5.96 ó 6.00	6
	1.125	0.32	0.1255			
1.13 - 1.24				0.2555	4.59 ó 5.00	5
	1.245	1.18	0.3810			
1.25 - 1.36				0.0983	1.77 ó 2.00	2
	1.365	2.04	0.4793			

DETENCION ESTADISTICA DE LA DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DE LOS COSTOS DE INVERSION

Prueba de la bondad del ajuste. (χ^2)

De la fórmula .4:

$$\chi^2 = \frac{(2-1.26)^2}{1.26} + \frac{(3-3.82)^2}{3.82} + \frac{(6-5.96)^2}{5.96} + \frac{(5-4.59)^2}{4.59} + \frac{(2-1.77)^2}{1.77} = 0.68$$

$$\nu = 5 - 1 - 2 = 2 \text{ grados de libertad.}$$

$\chi^2_{0.05} = 0.103$; $\chi^2 > \chi^2_{0.05}$ para $\nu=2$. Sin embargo, la diferencia no es mucha.
El ajuste es bueno y se acepta.

Conclusión: LA DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DE LOS COSTOS DE INVERSION
INICIAL ES UNA CURVA NORMAL CON:

$$m_x = 1.08 \quad \text{y} \quad S_x = 0.14$$

ANEXO 3.3

ANALISIS DE LA DURACION REAL Y DE LA DURACION ESTIMADA DE LAS OBRAS

(Obras totalmente concluidas)

TRAMO	DURACION REAL/DURACION ESTIMADA
T ¹ Morelos- T. Tizayuca II	1.67
T Tizayuca II - T. Colonia	2.00
T Villa de Reyes- Sn. Luis Potosí	2.50
Querétaro-T. San Miguel de Allende	2.00
Morelia - T. Zinapécuaro	2.00
Cárdenas - Km. 142 + 380	2.50
Guaymas - T. Sn. Carlos	3.00
Hermosillo - T. Ures	3.00
Acceso derecho al puente Coatzacoalcos II	2.50
Acceso izquierdo al puente Coatzacoalcos II	2.50

1. T = Entronque en "T"

ANEXO 3.4

OBTENCION ESTADISTICA DE LA DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DE LA DURACION DE LA OBRA

INTERVALO DE CLASE ¹	OBSERVADAS		ACUMULADAS		xi	xi ²	fixi	fixi ²
	f _i	%	f _{ic}	%				
1.50 - 1.99	1	10.00	1	10.00	1.75	3.06	1.75	3.06
2.00 - 2.49	3	30.00	4	40.00	2.25	5.06	6.75	15.18
2.50 - 2.99	4	40.00	8	80.00	2.75	7.56	11.00	30.24
3.00 - 3.49	2	20.00	10	100.00	3.25	10.56	6.50	21.12
TOTALES	10	100.00					26.00	69.60

1. Se consideró una amplitud de 0.50 para los intervalos de clase, esto por facilidad y por las características de la muestra.

ANEXO 3.4

ESTIMACION ESTADISTICA DE LA DISTRIBUCION
DE PROBABILIDAD DE LOS COSTOS DE INVERSION

$$m_x = \frac{\sum f_i x_i}{N} = \frac{26}{10} = 2.6$$

$$s_x = \frac{6960 - 1/10 \cdot (26)^2}{9} = 0.47$$

media = 2.6, desviación estándar = 0.47

ANEXO 3.4

OBTENCION ESTADISTICA DE LA DISTRIBUION DE PROBABILIDAD DE LOS COSTOS DE INVERSION

B. AJUSTE A DISTRIBUCION TEORICA

i) A la curva normal.

INTERVALO DE DE CLASE	LIMITE REAL DE CLASE	Z	AREA BAJO LA CURVA D Z	AREA PARA CADA CLASE	FRECUENCIA ESPERADA	FRECUENCIA OBSERVADA
1.50 - 1.99	1.495	- 2.35	0.4906	0.0909	0.909 ó 1.0	1.0
2.0 - 2.49	1.995	- 1.28	0.3997	0.3126	3.126 ó 3.0	3.0
2.50 - 2.99	2.495	- 0.22	0.0871	0.3867	3.867 ó 4.0	4.0
3.00 - 3.49	2.995	0.84	0.2996	0.1717	1.717 ó 2.0	2.0
	3.495	1.90	0.4713			

ANEXO 3.4

OBTENCION ESTADISTICA DE LA DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DE LOS COSTOS DE INVERSIONES

PRUEBA DE LA BONDAD DEL AJUSTE.

$$\chi^2 = \frac{(1 - 0.909)^2}{0.909} + \frac{(3 - 3.126)^2}{3.126} + \frac{(4 - 3.867)^2}{3.867} + \frac{(2 - 1.717)^2}{1.717} = 0.065$$

$$v = 4 - 1 - 2 = 1 \text{ grado de libertad}$$

$\chi^2_{0.05} = 0.0039 < \chi^2$ Sin embargo, es evidente que el ajuste es bueno.

Conclusión:

LA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LA DURACION DE CONSTRUCCION ES UNA CURVA NORMAL CON:

$$m_x = 2.60 \text{ y } S_x = 0.47$$

ANEXO 3.5.

ANALISIS DE VOLUMENES DE TRANSITO REALES Y ESTIMADOS

TRAMO	VOLUMEN REAL/VOLUMEN ESTIMADO
Abastecimiento Reynosa y Glorieta Morelos-T ¹ Aeropuerto	0.50
Abastecimiento Río Bravo y T. Aerop.-Río Bravo	0.99
Periférico-T. Aeropuerto	0.84
Aeropuerto-T. Sta. Rosa	0.84
Santa Rosa-Chapala	0.52
Villa de Reyes-San Luis Potosí	1.12
Querétaro- T. San Miguel de Allende	1.03
San Miguel de Allende-Dr. Mora	0.80
Sta. María del Río-Villa de Reyes	0.95
Árdenas-Km. 142+380	1.14
San Juan de los Ríos-Nuevo Teapa-Río Tonalá	1.41
Cuaymas-T. Sn. Carlos	1.25
Tehuacan-T. Ures	0.95
Tehuacan-Silao	0.96
Silao-León	0.95
León-Potrero del Llano	0.83
Tlalpam-Tlapa	1.06
Morelia-T. Zinapécuaro	0.85
Zinapécuaro-Uriangato	1.07
Morelia-T. Tizayuca II	0.70
Tizayuca II-T. Colonia	0.96
Tampico-Altamira	0.88
Altamira-Estación Manuel	0.92
Tampico- Ana Chiautempan-Ocotoxco	1.01

ANEXO 3.5.
(Continuación)

ANALISIS DE VOLUMENES DE TRANSITO REALES Y ESTIMADOS

TRAMO	VOLUMEN REAL/VOLUMEN ESTIMADO
Puebla-Sta. Ana Chiautempan	0.87
Libramiento de Cuernavaca	0.78
KM. 40+000 - 80+300 (Guadalajara Tepetengo)	1.19
Libramiento Guacamayas-La Orilla	0.90
Km. 40+000 - 65+000 (Mexicali-Tijuana)	0.64
Morelia - Tiripetio	0.91
Colima - T Tecomán	1.30

i. T= Entronque en "T"

ANEXO 3.6.

OBTENCION ESTADISTICA DE LA DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DEL VOLUMEN DE TRANSITO INICIAL

A. CALCULO DE PARAMETROS ESTADISTICOS

$$aic = \frac{VM - Vm}{1+3.22 \log n} = \frac{1.41 - 0.50}{1+3.22 \log 31} = 0.16$$

INTERVALO DE CLASE	PUNTO MEDIO	FRECUENCIA OBS.		FRECUENCIA AC.		x_i^2	$f_i(x_i)$	$f_i(x_i)^2$
		f_i	%	f_{ic}	%			
0.50 - 0.65	0.58	3	9.70	3	9.70	0.34	1.74	1.02
0.66 - 0.81	0.74	2	6.50	5	16.10	0.55	1.48	1.10
0.82 - 0.97	0.90	14	45.20	19	61.30	1.11	12.60	15.54
0.98 - 1.13	1.06	7	22.30	26	83.90	1.12	7.42	7.84
1.14 - 1.29	1.22	3	9.70	29	93.50	1.49	3.66	4.47
1.30 - 1.45	1.38	2	6.50	31	100.00	1.90	2.76	3.80
		31	100.00				29.66	33.77

OBTENCION ESTADISTICA DE LA DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD
DEL VOLUMEN DE TRANSITO INICIAL

A. Cálculo de parámetros estadísticos.

$$m_x = \frac{\sum f \cdot xi}{N} = \frac{29.66}{31} = 0.96$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum fixi^2 - 1/n (\sum fixi)^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{33.77 - 1/31 (29.66)^2}{30}} = 0.42$$

Media = 0.96, desviación estándar = 0.42

ANEXO 3.6

OBTENCION ESTADISTICA DE LA DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DEL
VOLUMEN DE TRANSITO INICIAL

Prueba de la bondad de ajuste.

$$= \frac{(3-3.08)^2}{3.08} + \frac{(2-4.05)^2}{4.05} + \frac{(14-4.74)^2}{4.74} + \frac{(7-4.55)^2}{4.55} + \frac{(3-3.70)^2}{3.70} + \frac{(2-3.06)^2}{3.06}$$

$$= 20.95$$

$\chi^2_{5-1-2} = 3$ grados de libertad.

$$P.C.E = 0.352 \quad \chi^2 \quad \text{NO ES BUEN AJUSTE}$$

Por inspección de los datos de la muestra puede verse que no es posible ajustar alguna otra distribución de probabilidad, por lo tanto se procederá a elaborar histograma. La figura A.3.1 muestra el histograma en cuestión.

ANEXO 3.6

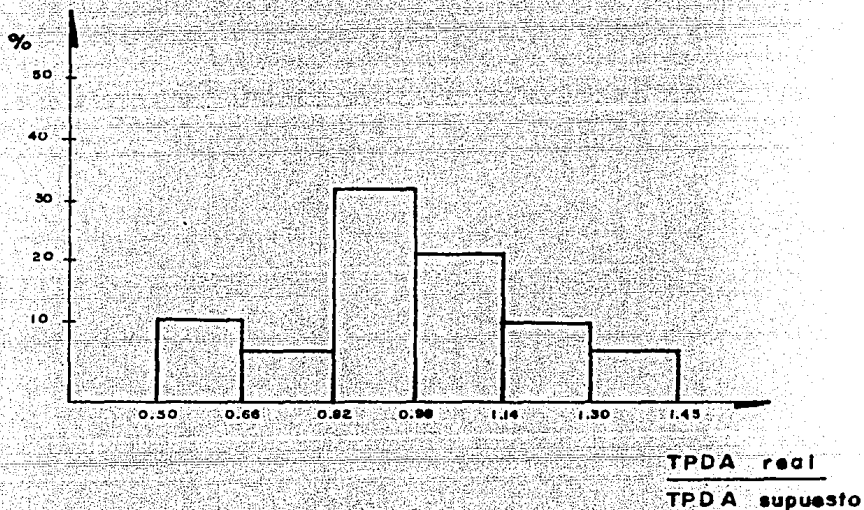
OBTENCION ESTADISTICA DE LA DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DEL VOLUMEN DE TRANSITO INICIAL

B. AJUSTE A DISTRIBUCION TEORICA:

i) Curva normal

INTERVALO DE CLASE	LIMITE REAL DE CLASE	Z	AREA BAJO LA CURVA NORMAL	AREA PARA C/CLASE	FRECUENCIA ESPERADA	FRECUENCIA OBSERVADA
0.50 - 0.65	0.495	- 1.11	0.3665	0.0192	3.08 6 3	3
0.66 - 0.81	0.655	- 0.73	0.2673	0.1305	4.05 6 4	2
0.82 - 0.97	0.815	- 0.35	0.1368	0.1528	4.74 6 5	14
0.98 - 1.13	0.975	0.04	0.0160	0.1468	4.55 6 5	7
1.14 - 1.29	1.35	0.42	0.1628	0.1195	3.70 6 4	3
1.30 - 1.45	1.295	0.78	0.2823	0.0987	3.06 6 3	2
	1.455	1.18	0.3810			

HISTOGRAMA DE RELACION DE TRANSITOS



ANEXO 3.7

ANALISIS DE LAS TASAS DE CRECIMIENTO DEL TRANSITO REALES Y ESTIMADAS

TRAMO	TASA REAL / TASA ESTIMADA
Río Bravo-T ¹ Aeropuerto y Libramiento Río Bravo	0.85
T Periférico-Entr. Aeropuerto	0.49
T Aeropuerto-Entr. Sta. Rosa	0.34
T Villa de Reyes-San Luis Potosí	1.36
Querétaro-T San Miguel de Allende	1.10
San Miguel de Allende-Dr. Mora	0.17
Sta. Ma. del Río-Villa de Reyes	0.90
Cárdenas-Km. 142-380	1.30
T Nuevo Teapa-Río Tonalá	1.90
Guaymas-T San Carlos	1.83
Hermosillo-T Ures	0.86
Irapuato-Silao	0.85
Silao-León	0.81
Alamo-Potrero del Llano	0.78
Chilapa-Tlapa	1.12
Morelia-T Zinapécuaro	0.35
Zinapécuaro-Uriangato	1.24
T Morelos-T Tizayuca II	0.36
T Tizayuca II-T Colonia	0.88
Tampico-Altamira	0.67
Altamira-Estación Manuel	0.79
Sta. Ana Ciautempan-Ocotoxco	1.04
Puebla-Sta. Ana Ciautempan	0.49
Libramiento de Cuernavaca	0.42
García de la Cadena-Teul de González Ortega	2.03
Libramiento Guacamayas-La Orilla	0.64
Morelia-Tiripetío	0.70
Colima-Entronque Tecomán	2.16

L. T = Entronque en "T"

ANEXO 3.8

OBTENCION ESTADISTICA DE LA DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DE LA TASA ANUAL DE CRECIMIENTO DEL TRANSITO

A. Cálculo de parámetros estadísticos.

$$Aic = \frac{VM - vm}{1 + 3.222 \log n} \quad N = \frac{2.16 - 0.17}{1 + 3.222 \log 28} = 0.35$$

INTERVALO DE CLASE	FRECUENCIA OBSERVADA		FRECUENCIA ACUM		x_i^2	fixi	fi(xi) ²
	Fi	%	fic	%			
0.17 - 0.51	7	25.00	7	25.00	0.12	2.42	0.84
0.52 - 0.86	8	28.60	15	53.60	0.48	5.56	3.84
0.87 - 1.21	6	21.40	21	75.00	1.09	6.27	6.54
1.22 - 1.56	3	10.70	24	85.70	1.95	4.19	5.85
1.57 - 1.91	2	7.10	26	92.80	3.05	3.49	6.10
1.92 - 2.27	2	7.10	28	99.90	4.39	4.19	8.78
TOTALES	28	100.00				26.12	31.95

$$m_x = \frac{\sum fixi}{n} = \frac{26.12}{28} = 0.93$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum fixi^2 - 1/n (\sum fixi)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{31.95 - 1/28 (26.12)^2}{27}} = 0.53$$

Media = 0.93

Desviación estándar = 0.53

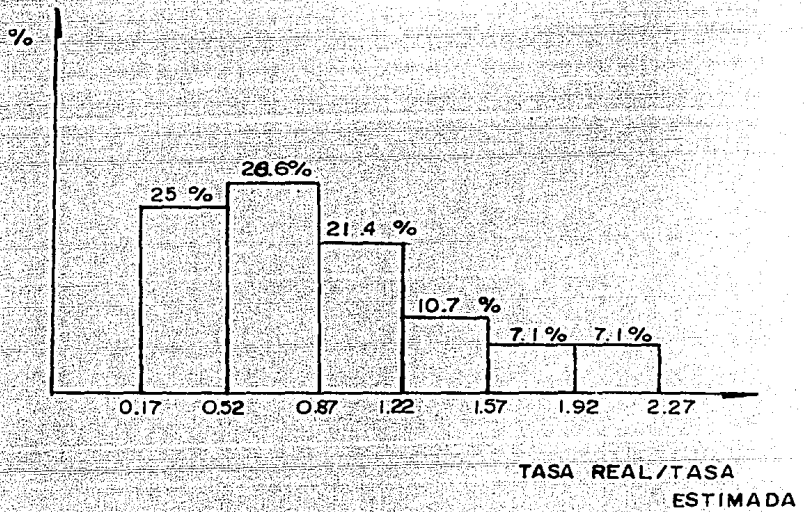
ANEXO 3.8

OBTENCION ESTADISTICA DE LA DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD
DE LA TASA ANUAL DE CRECIMIENTO DEL TRANSITO

Ajuste a distribución teórica

Se probaron la distribución normal y exponencial sin tener resultados satisfactorios, por lo que se juzgó conveniente utilizar el histograma del análisis estadístico de esta variable. La figura A 3.2 presenta el histograma señalado.

HISTOGRAMA DE LA TASA ANUAL DE
CRECIMIENTO DEL TRANSITO (TF)



ANEXO 4.1

CODIFICACION DE LA RUTINA DE SIMULACION

SIMULACION DEL TPAE CASCO.

```

CC=0.12
RANEA=РАНF()
XAC=CC*(RANEA-0.0335)/(1.-0.0335)+1.29
IF(RANEA.GE.0.AND.RANEA.LE.0.0968) XAC=CC*RANEA/0.0968+0.150
IF(RANEA.GT.0.0968.AND.RANEA.LE.0.1617) XAC=CC*(RANEA-0.0968)/
(0.1617-0.0968)+0.67
IF(RANEA.GT.0.1617.AND.RANEA.LE.0.3129) XAC=CC*(RANEA-0.1617)/
(0.3129-0.1617)+0.81
IF(RANEA.GT.0.3129.AND.RANEA.LE.0.6387) XAC=CC*(RANEA-0.3129)/
(0.6387-0.3129)+0.97
IF(RANEA.GT.0.6387.AND.RANEA.LE.0.9355) XAC=CC*(RANEA-0.6387)/
(0.9355-0.6387)+1.13
VTI(KLM,I)=XAC*DS(I)
RECIBIENDO....
XVTI=VTI(KLM,I)
NXVTI=NXVTI
DIF=NVTI-NXVTI
IF(DIF.GE.0.50) VTI(KLM,I)=NXVTI+1.
NVTI=0
XVTI=0.

```

SIMULACION DE LA TASA DE CRECIMIENTO DEL TRANSITO.

```

CC=0.35
RANEA=РАНF()
XAC=CC*(RANEA-0.0280)/(1.-0.0280)+1.92
IF(RANEA.GE.0.AND.RANEA.LE.0.25) XAC=CC*RANEA/0.25+0.17
IF(RANEA.GT.0.25.AND.RANEA.LE.0.5360) XAC=CC*(RANEA-0.25)/
(0.5360-0.25)+0.52
IF(RANEA.GT.0.5360.AND.RANEA.LE.0.75) XAC=CC*(RANEA-0.5360)/
(0.75-0.5360)+0.87
IF(RANEA.GT.0.75.AND.RANEA.LE.0.8570) XAC=CC*(RANEA-0.75)/
(0.8570-0.75)+1.22
IF(RANEA.GT.0.8570.AND.RANEA.LE.0.9290) XAC=CC*(RANEA-0.8570)/
(0.9290-0.8570)+1.57
VTI(KLM,I)=XAC*DS(I)

```

SIMULACION DE LOS AVIOS DE CONSTRUCCION (DISTR. NORMAL).

```

B=0.
CC=0.77 Q=1.12
B=0.РАНF()
XAC=DS(I)*(12.60+0.47*(B-0.))
RECIBIENDO....
NOKLM,I=NXK
DIF=NC-NOK(NLM,I)
IF(DIF.GE.0.50) NC(NLM,I)=NOK(NLM,I)+1
NXK=0.

```

SIMULACION DEL COSTO DE INVERSION INICIAL (DISTR. NORMAL).

```

B=0.
CC=0.77 Q=1.12
B=0.РАНF()
XAC=DS(I)*(12.60+0.47*(B-0.))

```

ANEXO 4.2

CODIFICACION PARA RUTINA DEL ANALISIS ESTADISTICO

```

0000 SUBROUTINE STATA
0010 MAKE ANALISIS ESTADISTICO:
0020 TIENE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS,
0030 MODOS Y PARAMETROS ESTADISTICOS.
0040 TIENE ROUTINE STATA(VAR)
0050 DIMENSION COD(ITER),N,NTR
0060 DIMENSION VAR(3,300,11)
0070
0080 OBTENCION DEL MAYOR Y MENOR ELEMENTOS DE LA MUESTRA
0090
0100 KLM=1
0110 UMENOR=VAR(M,KLM,NTR)
0120 VMAYOR=UMENOR
0130 DO 20 KLM=2,ITER
0140 IF(UVMAYOR.GE.VAR(M,KLM,NTR)) GO TO 10
0150 VMAYOR=VAR(M,KLM,NTR)
0160 GO TO 20
0170 IF(UMENOR.LE.VAR(M,KLM,NTR)) GO TO 20
0180 UMENOR=VAR(M,KLM,NTR)
0190 CONTINUE
0200
0210 AGRUPA DATOS Y OBTIENE ESTADISTICOS:
0220
0230 AICLAS=(VMAYOR-UMENOR)/10.
0240 FLAG=0.
0250 ZUMA=0.
0260 ZUMA=0.
0270 NAFI=0
0280 DO 100 L=1,10
0290 NFI=0
0300 UMENOR=(L-1)*AICLAS
0310 L=1+AICLAS
0320 DO 50 KLM=1,ITER
0330 IF(A.ER.2) GO TO 50
0340 IF(VAR(M,KLM,NTR).GE.A) GO TO 30
0350 GO TO 50
0360 IF(VAR(M,KLM,NTR).LT.B) GO TO 40
0370 IF(ABS(B-VMAYOR).LE.0.00001) GO TO 40
0380 GO TO 50
0390 IF(A.NFI=1
0400 CONTINUE
0410 NFI=NAFI+NFI
0420 IF(A.EQ.3) NAFI=ITER
0430 L=100.9*NAFI/ITER
0440 IF(L.EQ.5) OR(L.EQ.8) WRITE(3,30100) A,B,NFI,NAFI,PERCE
0450 IF(L.EQ.7) WRITE(3,30107) A,B,NFI,NAFI,PERCE
0460 IF(L.EQ.9) WRITE(3,30109) A,B,C,L,NFI,NAFI,PERCE

```

ANEXO 4.2

(Continuación)

```

000      CALCULO DE LOS DECIMALES 2, 5 Y 8.
010      IF(FLAG.GE.20.) GO TO 70
020      IF(PERCE.GE.20.) GO TO 40
030      GO TO 120
040      FLAG=20.
050      GO TO 110
060      IF(FLAG.GE.30.) GO TO 50
070      IF(PERCE.GE.50.) GO TO 80
080      GO TO 120
090      FLAG=30.
100      GO TO 110
110      IF(FLAG.GE.80.) GO TO 120
120      IF(PERCE.GE.80.) GO TO 100
130      GO TO 120
140      FLAG=80.
150      FI=NF1
160      IF(NFI.LE.0) FI=0.00000000001
170      DECIL=(A-AICLAS)*(.01*NITER*(FLAG-NFI+FI)/PI)
180      NFLAG=FLAG/10.
190      IF(M.LE.3.OR.M.LE.4) WRITE(3,40000) NFLAG,DECIL
200      IF(M.LE.7) WRITE(3,40001) NFLAG,DECIL
210      IF(M.LE.8) WRITE(3,40100) NFLAG,DECIL,ACC.
220      PTCN=A-AICLAS/2.
230      IF(PTCN.LT.0) PTCN=0
240      SUMA=CUMA(NFI+PTCN)
250      ZUM=(ZUM+NF1)/PTCN+2.
260      CONTINUE

```


BIBLIOGRAFIA

1. R. SPIEGEL. "Estadística. Teoría y problemas resueltos"
México, Edit. Mc Graw - Hill, 1970, 357 pp.

2. Y. Pouliquen, Louis. "Risk Analysis in Project Appraisal"
Londres, Edit. Johns Hopkins University Press para el Banco
Mundial. 1970, 70 pp.

3. Sh. REUTLINGER. "Techniques for project appraisal under
uncertainty"
Londres, Edit. Johns Hopkins University Press para el Banco
Mundial, 1970, 95 pp.