

COMPARACION DE LOS CRITERIOS DE LOS METODOS DE DISEÑO AASHTO DE 1972 Y 1986

**Hernán de Solminihaq T.
Gerardo Echeverría G.**

**Departamento Ingeniería de Construcción. Escuela de Ingeniería. Pontificia
Universidad Católica de Chile
Casilla 6177, Santiago - Chile**

RESUMEN

La guía AASHTO para el diseño estructural de pavimentos (1986) incorpora nuevos conceptos, entre los que se destacan: confiabilidad de los parámetros usados en el diseño, drenaje y utilización del módulo de resiliencia para la evolución de los coeficientes estructurales de las diferentes capas, aspectos que no estaban desarrollados en la guía interina de 1972, que se utiliza actualmente nuestro país.

En este estudio se pretende dar a conocer en Chile el nuevo método de diseño de la AASHTO, analizando cada uno de los aspectos en que difiere del método de 1972.

El trabajo se ha organizado de la siguiente manera: descripción de los nuevos conceptos incorporados, análisis comparativo de ambos métodos y conclusiones.

1. INTRODUCCION

Uno de los principales objetivos del "AASHO Road Test" (1958-1960) fue entregar información que pueda ser usada para desarrollar criterios y métodos de diseño. En 1961, se desarrolló la "AASHTO Interim Guide for the Design of Rigid and Flexible Pavements". Después de varios años de uso de esta guía, se preparó la "AASHTO Interim Guide of Pavement Structures 1972", (AASHTO, 1974) revisándose el capítulo III, relativo a pavimentos rígidos en 1981. En una evaluación de esta guía, en 1983, se concluyó que era necesario revisarla y ampliarla, hasta que en abril de 1986 se publicó la "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures" (AASHTO, 1986).

El objetivo de este trabajo es dar a conocer en Chile los conceptos incorporados en el nuevo método de diseño de pavimentos de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), a través de un análisis comparativo con la versión de 1972.

Este trabajo se ha organizado básicamente en tres partes. La primera parte presenta y describe los principales conceptos incorporados en la guía 1986, ya sea como conceptos nuevos o como reemplazo de algunos ya contemplados en la guía de 1972. La segunda parte presenta, en forma esquemática, la operatoria propuesta en ambas guías para, apoyándose en ellas, hacer un análisis comparativo de los parámetros involucrados en los métodos de diseño y su forma de determinación. La tercera parte muestra, en forma resumida, las conclusiones del análisis.

2. CONSIDERACIONES NUEVAS INCLUIDAS EN LA GUIA DE 1986

En este punto se señalan aquellos aspectos nuevos incorporados por la guía 1986 y aquellos, que estando contemplados en la guía interina, la nueva guía los trata con mayor extensión.

2.1 Consideraciones nuevas presentes en la guía de 1986

a) nivel de confianza: básicamente, el nivel de confianza o "reliability" incorpora un concepto probabilístico al diseño de pavimentos a través de introducir la dispersión esperada de la sollicitación para un determinado nivel de significación. Esta probabilidad es controlada por medio del uso de un "factor de confianza" (F_R) que multiplica el tránsito predicho para el período de diseño (w_{18}) de modo de obtener el número de aplicaciones de diseño (w_{18}). Para un determinado nivel de confianza (R), el factor de confianza es función

de la desviación estandar total (S_0), que considera la variación, debida tanto a la predicción del tránsito, como a la predicción del comportamiento del pavimento. Lo importante en la introducción de este concepto, es que se considera la incertidumbre como un factor independiente, lo cual permite que el proyectista no utilice valores "conservadores" en los distintos parámetros de entrada del método de diseño, sino sólo las "mejores" estimaciones de los valores (medias). El efecto combinado de la dispersión de los valores de los parámetros se considera a través del nivel de confianza adoptado.

b) drenaje: la nueva guía aporta un mecanismo que permite considerar las condiciones de drenaje de la estructura. En el caso de pavimentos flexibles define un coeficiente (m_1) que modifica los coeficientes estructurales de los distintos copos (q) al calcular el número estructural efectivo (SN_e). Para los pavimentos rígidos define un coeficiente C_d que interviene directamente en la ecuación de comportamiento. La guía recomienda valores para ambos coeficientes (m_1 y C_d) en función de la calidad del drenaje y el tiempo durante el cual el pavimento estará expuesto a condiciones de saturación.

c) bermas solidarias a los pavimentos rígidos: en esta guía se incluye un procedimiento para diseñar pavimentos rígidos con bermas solidarias a él o pistas externas más anchas; de modo de mejorar las condiciones de borde de las losas y con ello disminuir las tensiones de ella. La forma de considerar en el cálculo este tipo de bermas es a través de una disminución significativa del factor de traspaso de carga (J).

d) erosión de la sub-base en pavimentos rígidos: se incluye un mecanismo que permite ajustar las ecuaciones de diseño de pavimentos rígidos para representar una eventual erosión de su sub-base. Este efecto se considera por medio de un factor LS (Loss of Support) que se refiere a la posible pérdida de capacidad de soporte de la sub-base, este factor disminuye el valor del módulo de reacción de la sub-rasante (k).

e) costos de ciclos de vida: en esta guía se agregó información relacionada con el análisis económico y la comparación de distintas alternativas de diseño, basándose en el concepto de costos de ciclos de vida.

f) rehabilitación: se incluye una sección de la guía dedicada especialmente a la rehabilitación de pavimentos, considerando opciones tanto con recarpeteo como sin él.

g) administración de pavimentos: se incluye un concepto general de Administración de Pavimentos (PMS-Pavement Management System), con énfasis para la gestión a nivel de proyecto, tanto en su diseño como en su posterior rehabilitación.

h) caminos de bajo tránsito: se entrega un capítulo exclusivo dedicado al diseño de caminos de bajo tránsito, considerando pavimentos flexibles, rígidos y de agregados.

i) procedimientos mecanicistas de diseño y evaluación estructural: se presentan los principales conceptos mecanicistas de diseño y evaluación estructural de pavimentos, con el fin de introducirlos a los profesionales del área (estos conceptos aún no han sido incluidos en los actuales métodos de diseño de la AASHTO).

2.2 Aspectos modificados en la guía de 1986 en relación a la de 1972

a) valor de soporte del suelo: para la caracterización del suelo de fundación, desde el punto de vista de su capacidad de soporte, se utiliza el módulo resiliente (M_R) determinado a través del ensayo AASHTO T-274. La guía entrega una metodología de ponderación de los valores de M_R en las distintas épocas del año, considerando así el efecto del clima sobre el suelo de fundación.

b) coeficientes estructurales (a_i): uno de los aportes principales de la nueva guía consiste en estimar los coeficientes estructurales de las distintas capas a partir de sus módulos de elasticidad, haciéndolos depender así, en forma directa, de sus cualidades resistentes.

c) equivalencia de cargas: las tablas con valores de equivalencia de carga han sido ampliadas en la nueva guía, incluyendo ejes de mayor peso (hasta 90 toneladas), distintos valores de la serviciabilidad final ($p_f = 2.0, 2.5$ y 3.0) y factores de conversión para ejes triples.

d) tránsito: se introduce más información acerca de métodos para calcular los ejes equivalentes.

e) clima: en la guía de 1986 se introdujeron modificaciones para considerar en mejor forma los efectos del clima en el diseño del pavimento. El énfasis se pone en los efectos de variaciones estacionales sobre los suelos debido a penetración de heladas, deshielos y cambios volumétricos en suelos finos.

3. ANALISIS COMPARATIVO DE AMBOS METODOS DE DISEÑO

3.1. Pavimentos Flexibles

3.1.1 Introducción

La estrategia de los métodos de diseño para pavimentos flexibles, consiste en determinar principalmente el llamado "número estructural necesario" (SN_n), que refleja las condiciones de resistencia que deberá aportar el pavimento para soportar las sollicitaciones de tránsito y clima, y luego diseñar una estructura compuesta por diferentes capas, la cual al ser evaluada desde el punto de vista de su resistencia, entregue un "número estructural efectivo" (SNe) que sea mayor o igual en magnitud que el necesario determinado en primera instancia. La diferencia entre los métodos, se centra básicamente en el tipo y elaboración de la información necesaria para definir los distintos parámetros considerados en cada uno de ellos, y en la incorporación de parámetros adicionales en la guía 1986.

3.1.2 Esquematización de los métodos

En las Figuras 1 y 2 se presentan en forma esquemática las secuencias principales de los procesos de diseño de ambos métodos. En la Figura 2, que se refiere al método 1986, se han destacado con distintos símbolos los parámetros de entrada para diferenciar las siguientes situaciones: parámetros establecidos en igual forma en ambos métodos (IGUALES), parámetros que estando incorporados en el método 1972, la nueva guía los determina considerando otras propiedades (MODIFICADOS) y parámetros incluidos en el método 1986 que no se consideraban en el método 1972 (NUEVOS). Además de las diferencias en la forma de obtención de los parámetros, la AASHTO ha modificado parcialmente las expresiones matemáticas incorporando las nuevas variables (ver Apéndice).

3.1.3 Análisis comparativo de los parámetros que intervienen en ambos métodos de diseño

a) Sollicitación de tránsito (W_{18})

En ambos métodos, el tránsito mezclado se considera en un sólo parámetro como el número total de ejes de 18 kips (Ejes Equivalentes) que producirán un deterioro en la serviciabilidad del pavimento igual al que producirían los vehículos que efectivamente circularán por su superficie. El

número total de ejes equivalentes se calcula a partir de: estratigrafía de pesos por eje, volúmenes de tránsito, tasas de crecimiento, vida de diseño y factores de conversión de un eje de determinado peso a ejes de 18 kips. La guía 1986 proporciona una mayor cantidad de factores de conversión, considerando: pesos por eje mayores que en la guía de 1972, distintos valores de serviciabilidad final y factores para ejes triples. A pesar de que el número total de ejes equivalentes se calcula en igual forma en ambos métodos, el método de 1972 incorpora un Factor Regional que lo multiplica para obtener la solicitud final, intentando de esta manera hacer posible la aplicación del método en zonas con características climáticas diferentes a la de la zona en que se efectuó la prueba AASHTO. El método 1986 considera los efectos del clima, en una forma más racional, estimando su efecto sobre los materiales y la reducción que provoca en el período útil de servicio, en vez de ponderar el tránsito. Estos factores se describen en forma especial más adelante.

b) Nivel de confianza (R) y error estandar (S_e)

Este parámetro fue incluido por primera vez en el método de 1986 como forma de incorporar en el cálculo la probabilidad de que la sección diseñada se comporte satisfactoriamente durante el periodo de diseño, frente a las solicitudes de tránsito y ambiente. La forma de considerar el límite inferior del intervalo de confianza de la población es:

$$\mu = \bar{x} + Z_R \sigma_x \quad (1)$$

La fórmula AASHTO ha incorporado este factor, modificando el cálculo de tránsito admisible según la siguiente expresión:

$$\log_{10} (W_{18}) = \log(W_{18}) + Z_R S_e \quad (2)$$

Para estudiar la influencia de este parámetro en el costo de una sección de pavimento, se realizó el ejercicio de estimar la variación del espesor de las capas asfálticas (h_1) ante la variación del nivel de confianza (R), dejando constante todos los demás parámetros (tránsito, suelo, base, sub-base, coeficientes de drenaje, etc). Para el análisis se adoptó la estructura que se muestra en la Figura 3, utilizando además, los siguientes valores:

$$S_o = 0.35$$

$$m = 1$$

$$\Delta PSI = 2.2$$

$$W_{18} = 20 \times 10^6 \text{ kips}$$

$$M_R = 80 \text{ kg/cm}^2$$

La Figura 4 muestra la variación del espesor h_f requerido para distintos niveles de confianza; en ella se puede notar un fuerte crecimiento de h_f a partir de $R = 95\%$.

c) Capacidad soportante del suelo

Ambos métodos incluyen un parámetro que represente la capacidad soportante del suelo, siendo diferente la forma en que se hace su estimación. En la guía 1972, la condición estructural del suelo de sub-rasante se incorpora a través del "valor soporte del suelo de fundación" (S). Este valor corresponde a una escala arbitraria que clasifica los suelos en un rango de 1 a 10, asignando el valor $S = 3$ al suelo de sub-rasante (material de los terraplenes) de los pavimentos de la prueba AASHO. La guía entrega correlaciones de este valor con otros parámetros, siendo la correlación con el CBR (California Bearing Ratio) la más utilizada en Chile. En la guía de 1986, la capacidad de soporte del suelo se estima en base al módulo resiliente efectivo del suelo (M_R); el cual se obtiene como un promedio de los módulos resilientes representativos las distintas estaciones climáticas del año para la zona de diseño. Los suelos varían su capacidad de soporte a medida que varía su contenido de humedad. El método 1986 al representarla por el módulo promedio, está considerando este efecto, en cambio el método 1972 estima el valor de S a partir de correlaciones con ensayos que se efectúan para una determinada humedad.

d) Serviciabilidad (PSI)

La forma en que la guía de 1986 considera la serviciabilidad difiere levemente de la guía de 1972. En esta última se partía de una serviciabilidad inicial 4.2 y sólo se especificaba la terminal. En cambio, en la guía 1986 se introdujo el concepto ΔPSI , que permite considerar la diferencia serviciabilidad entre dos estados superficiales del pavimento. Esta modificación se introdujo fundamentalmente para poder incluir la reducción del periodo útil de servicio del pavimento debido a efectos clima (hinchamiento y penetración de heladas), que se describe en el párrafo siguiente.

e) período útil de servicio y su reducción por efectos del clima

Estos parámetros, que no estaban considerados en la guía 1972, reemplazan, en conjunto con los valores en que se describen el punto (h), el concepto de Factor Regional que incluía aquel método, según se señaló el punto (a). El período útil de servicio se fija de acuerdo a la experiencia y consiste en reconocer que los pavimentos tienen una duración máxima independiente de su capacidad estructural y que si se desea proyectar el pavimento para una vida de diseño mayor que este período, es necesario considerar, como parte del diseño, una rehabilitación planificada (o segunda etapa), de modo de alcanzar el período deseado. Un punto importante en este aspecto es que se debe modificar el nivel de confianza de acuerdo a la cantidad de etapas que se proyecten (ver Figura 5):

$$R_E = (R_T)^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

donde: R_T = nivel de confianza total para el período de diseño

R_E = nivel de confianza para cada etapa

n = número de etapas, incluida la inicial

El concepto de reducción de vida útil de servicio por efecto del clima permite considerar la susceptibilidad de algunos suelos a los cambios volumétricos por efectos de humedad y/o de la penetración de heladas.

f) Espesor de las capas (h_i)

Este parámetro se considera de igual forma en ambos métodos y corresponde a los espesores de diseño de las distintas capas que conformarán el pavimento.

g) Coeficientes estructurales (a_i)

La forma de estimar estos coeficientes difiere en ambos métodos. La guía 1972 especifica coeficientes estructurales para distintos tipos de capa, entregando una lista de valores en que se considera la ubicación de la capa en la estructura de pavimento y los materiales que la constituyen. En la guía 1986 se presentan ábacos y expresiones matemáticas que permiten definir el coeficiente estructural de las distintas capas, a partir de los módulos elásticos de cada una de ellas. La ventaja del método propuesto en la guía

1986 es apreciable, toda vez que permite la incorporación en el diseño, de capas con distintas propiedades estructurales (mezclas asfálticas con distinta composición, materiales granulares con distinto CBR, etc); en cambio, en el método 1972, era necesario considerar la construcción de capas con condiciones similares a las de la prueba AASHO para poder utilizar, con confianza, los valores estructurales propuestos.

h) Coeficientes de drenaje (m_1)

Este parámetro se introdujo en el nuevo método de diseño para considerar las condiciones y calidad del drenaje en las distintas capas del pavimento. La forma de incluirlas es a través de ponderar los coeficientes estructurales de las capas por un factor " m_1 " tal como se muestra en la ecuación 4 del Apéndice. Este coeficiente reemplaza en parte el Factor Regional del método 1972, al considerar el tiempo durante el cual el pavimento está expuesto a condiciones de saturación. Para poder visualizar el efecto de este parámetro, se realizó un ejercicio analizando la incidencia del coeficiente en el número admisible de ejes equivalentes para distintos espesores de la capa asfáltica (la figura 6 muestra que el efecto del drenaje es importante y que para cualquier espesor de la capa asfáltica, el número de ejes admisibles es mayor en el caso de buen drenaje que en el caso contrario. En el caso analizado, para $m = 1,15$ (buen drenaje) se obtienen tránsitos admisibles entre 2 y 3 veces superiores que para $m = 0,80$ (drenaje pobre). Para este análisis se ha considerado la estructura mostrada en la Figura 3, utilizando los siguientes valores:

$$\begin{array}{lll} Z_R & = & -1,645 \quad (R = 95\%) \quad \Delta PSI = 2,2 \\ S_o & = & 0,42 \quad M_R = 800 \text{ Kg/cm}^2 \end{array}$$

3.2 Pavimentos rígidos

3.2.1 Introducción

El método de diseño de pavimentos rígidos de la AASHTO consiste básicamente en la evaluación de una determinada estructuración, definida por el diseñador, para calcular el número total de ejes equivalentes que soporta y compararlo con la sollicitación de tránsito que se espera para el pavimento.

3.2.2 Esquemmatización de los métodos

En las Figuras 7 y 8 se presentan en forma esquematizada los procesos de diseño de ambos métodos. En la Figura 8, que se refiere al método 1986, se han destacado con distinta simbología los parámetros de entrada del modelo, para diferenciar las siguientes situaciones: parámetros establecidos en igual forma en ambos métodos (IGUALES), parámetros que estando incorporados en el método 1972, la nueva guía los determina considerando otras propiedades (MODIFICADOS) y parámetros incluidos en el método 1986 que no se consideraban en el método 1972 (NUEVOS). Además de las diferencias en la forma de obtención de los parámetros, la AASHTO ha modificado parcialmente las expresiones matemáticas, incorporando nuevas variables (ver Apéndice).

3.2.3 Análisis comparativo de los parámetros que intervienen en ambos métodos de diseño

a) Solicitación de tránsito (W_{18})

En ambos métodos, el tránsito solicitante se mide en Ejes Equivalentes de 18 kips, determinándolo, en líneas generales, en igual forma que la descrita para los pavimentos asfálticos (3.1.3. a). En el caso de pavimentos rígidos se usan coeficientes de equivalencia distintos que en el caso citado y la solicitud calculada no se afecta por algún factor que incorpore el efecto climático, tal como el Factor Regional.

b) Serviciabilidad (PSI)

La forma de considerar este aspecto en el método de 1986 se modificó levemente en relación con la del método de 1972, ya que en el primero se utiliza el concepto de diferencia de serviciabilidad en vez de partir de una serviciabilidad inicial fija ($p_i = 4.5$) y sólo especificar la serviciabilidad terminal (p_t). Este parámetro ya fue discutido en el punto 3.1.3. d.

c) Módulo de reacción de la sub-rasante (k_d)

Las condiciones resistentes del suelo se definen a través del módulo de reacción de la sub-rasante (k), que cuantifica la relación tensión-deformación medida en el ensayo de placa de carga. La forma de incluir este parámetro, con todas sus modificaciones difiere en ambos

métodos. En el método de 1972, se determina un k combinado (k_o), en función de la calidad y espesor de la sub-base. En cambio, en el método, de 1986 se incorpora un k de diseño (k_d) que depende de un número mayor de factores lo que se muestra en la Figura 9. En esta figura se pueden apreciar varios conceptos nuevos además de los considerados en la guía 1972.

- consideración de la variación de la capacidad soportante del suelo en las distintas épocas del año.

- posibilidad de considerar la presencia de fundaciones rígidas ubicadas a menos de 3.3 m (10 pies) desde la superficie.

- pérdida de soporte (LS) para considerar la potencial pérdida de capacidad resistente del suelo debido a la erosión del material de sub-base y/o movimientos por variaciones volumétricas del suelo.

d) Resistencia del hormigón a la flexotracción (S_o)

La forma de determinar la tensión de diseño de flexotracción del hormigón es distinta en ambos métodos. El método de 1972 considera la fórmula siguiente para determinar esta tensión:

$$f_t = \bar{S}_c / c \quad (4)$$

donde: f_t = tensión de diseño

\bar{S}_c = tensión media de flexotracción a los 28 días (AASHTO T-97)

c = factor de seguridad

El método de 1986 considera como resistencia de diseño, la media a la flexotracción a los 28 días de edad, usando la norma AASHTO T-97. Si se quiere utilizar la resistencia de especificación, ésta se debe modificar de acuerdo a las siguiente expresión:

$$S_c' = S_c + Z(SD_s) \quad (5)$$

donde: S_c' = tensión de diseño (estimación del valor medio)

S_c = resistencia especificada del hormigón a la flexotracción

SD_s = desviación estandar de la resistencia a la flexotracción

Z = abscisa de la curva normal tipificada, para el nivel de confianza considerado

e) Coeficiente de transferencia de carga (J)

El coeficiente de transferencia de carga (J) es un factor usado en el diseño de pavimentos rígidos para considerar el efecto de traspaso (distribución) de carga a través de discontinuidades (ej: juntas, grietas, etc). La guía de 1972 asume un valor de $J = 3.2$, que representa las condiciones del AASHTO Road Test. La guía de 1986 permite variar este coeficiente según el tipo de pavimento, berma y mecanismo de transmisión de carga.

f) Coeficiente de drenaje (C_d)

Este concepto se introduce por primera vez en el método de 1986 y tiene por objeto incorporar en la fórmula de diseño dos aspectos de fundamental incidencia en el comportamiento de un pavimento: el tiempo durante el cual estará sometido a niveles de saturación y la calidad del drenaje asociado a la estructura de pavimento. Desde el punto de vista matemático, consiste en incluir un coeficiente de drenaje (C_d) en la ecuación de comportamiento (ecuación 6 del Apéndice), cuyo efecto es similar al del factor de transferencia de carga J. La guía recomienda algunos valores de C_d para distintas calidades de drenaje y condiciones de saturación.

g) Nivel de confianza (R) y error estándar (S_o)

Estos parámetros, de reciente incorporación en el método de diseño de la AASHTO, se consideran de forma similar que en el caso de los pavimentos flexibles (3.1.3. b).

h) período útil de servicio y su reducción por efecto del clima

Estos factores se consideran en forma similar que los pavimentos flexibles (3.1.3. e).

4. CONCLUSIONES

Ambos métodos se basan en regresiones matemáticas desarrollados para explicar el deterioro de los pavimentos en función de las solicitaciones de carga y clima, a partir de las mediciones efectuadas en las pistas de prueba construidas en Illinois U.S.A. 1958, por la American Association of State Highway Officials, (AASHO). El método de diseño establecido en la guía de 1986, incorpora, ya sea como parámetros independientes o como antecedentes para determinar el valor de algunos parámetros de entrada, conceptos que caracterizan los materiales y su comportamiento, en base a propiedades estructurales que acercan este método, de carácter empírico, a los métodos mecanicistas que se desarrollan en la actualidad.

Entre los nuevos conceptos incorporados por la guía 1986 en el diseño de pavimentos, cabe destacar: a) nivel de confianza, que da cuenta de la variabilidad en el comportamiento de los pavimentos; b) módulos elásticos de las distintas capas, para describir su comportamiento estructural; c) consideración del clima en forma explícita, a través de: coeficientes de drenaje, variación del módulo resiliente del suelo en las distintas épocas del año y reducción del período útil de servicio debido a efecto de la humedad en el suelo de fundación (hinchamiento) y a la penetración de helados; d) mantención planificada en forma explícita; debido a que reconoce que los pavimentos tienen un máximo período útil de servicio independiente de las solicitaciones, e incluye la mantención y/o rehabilitación planificada en la etapa de diseño.

Otras de las ventajas destacables de la nueva guía, es la presentación de capítulos dedicados a aspectos que sin ser parte del método de diseño propiamente tal, son de fundamental importancia en la Ingeniería vial, tales como: sistema de administración de pavimentos, rehabilitación de pavimentos, pavimentos para caminos de bajo tránsito, evaluación económica de pavimentos y conceptos de diseño mecanicista.

REFERENCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO) (1974). AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures 1972, EE.UU.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO) (1986). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, EE.UU.

NOMENCLATURA

W_{18} : número total de ejes equivalentes
 $F.R.$: factor regional
 S : valor soporte del suelo
 P_t : índice de serviciabilidad final
 SN_n : número estructural necesario
 SN_e : número estructural efectivo
 h_i : espesor capa i
 a_i : coeficiente estructural capa i

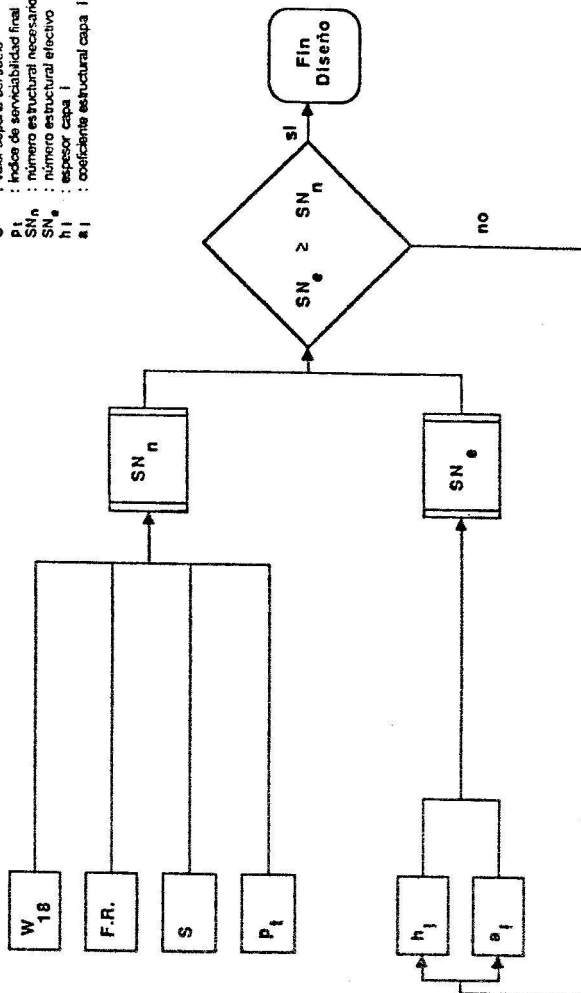
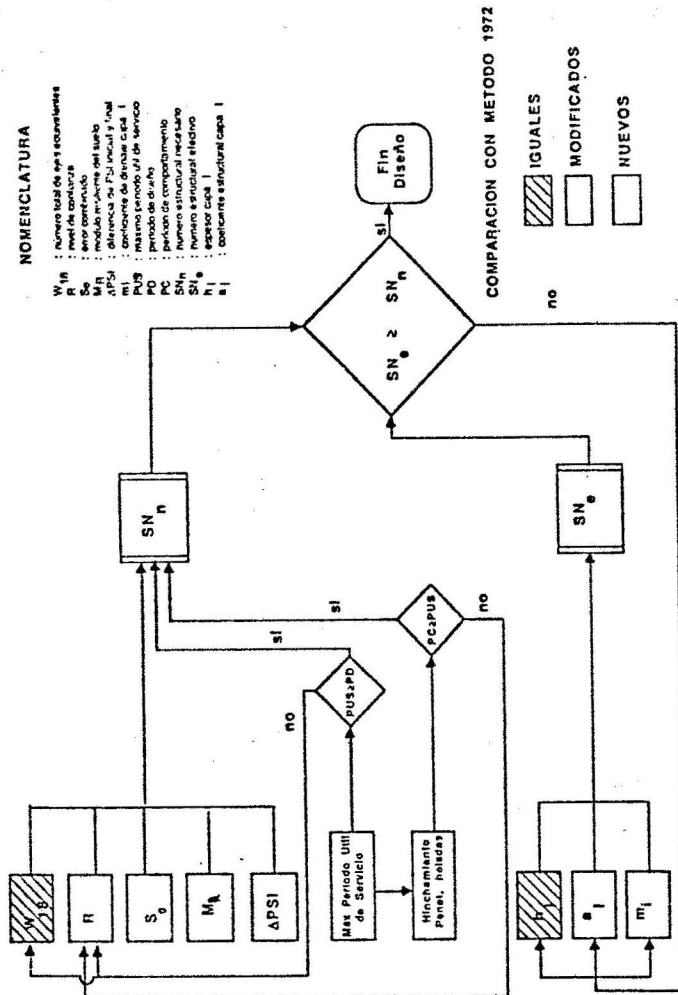


FIGURA 1 Esquema de diseño para pavimentos flexibles
 Método AASHTO 1972

De Salazar - Echeverría
 III Congreso Chileno de Ing. de Transporte



De Salmerón, Echeverría
III Congreso Chileno de Ing. de Transporte

FIGURA 2 Esquema de diseño para pavimentos flexibles
Método AASHTO 1986

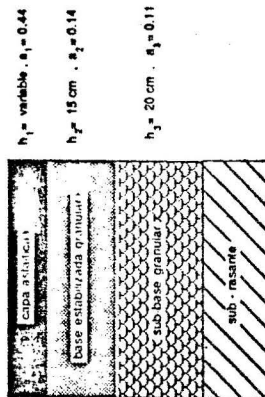


FIGURA 3 Estructura utilizada en el análisis

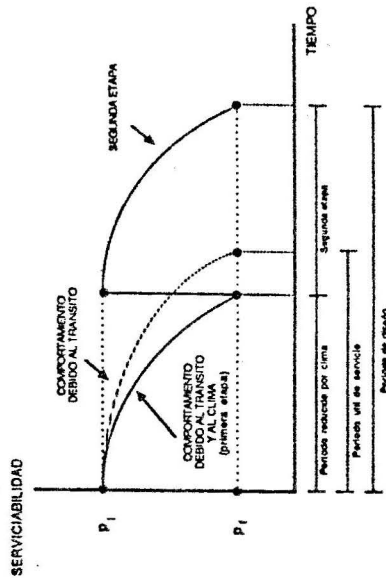


FIGURA 5 Efecto del periodo útil de servicio y el clima en el diseño

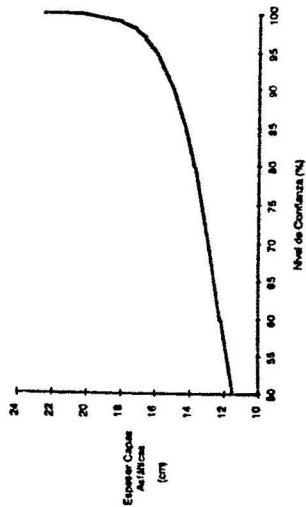


FIGURA 4 Influencia del nivel de confianza en el espesor de la capa asfáltica

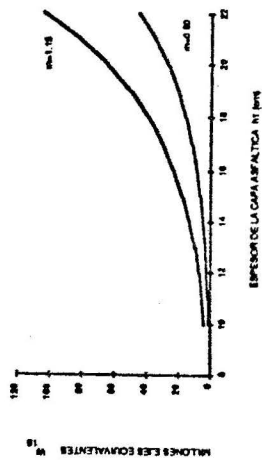


FIGURA 6 Efecto del coeficiente de drenaje (m)

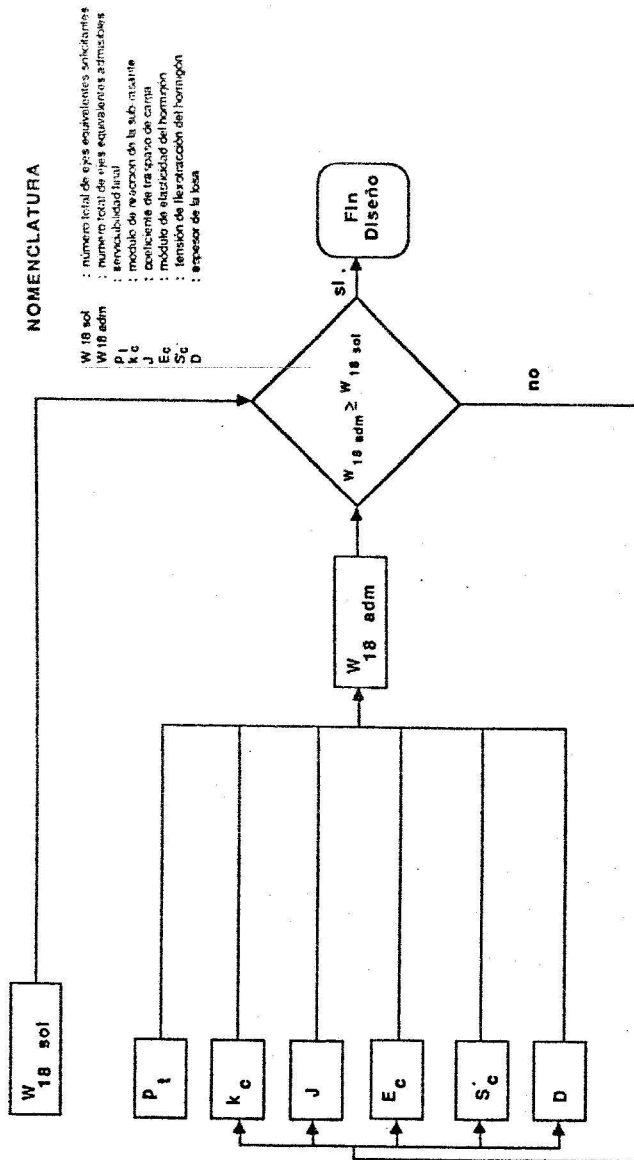


FIGURA 7 Esquema de diseño para pavimentos rígidos
Método AASHTO 1972

De Solimhac - Echeverría
III Congreso Chileno de Ing. de Transporte

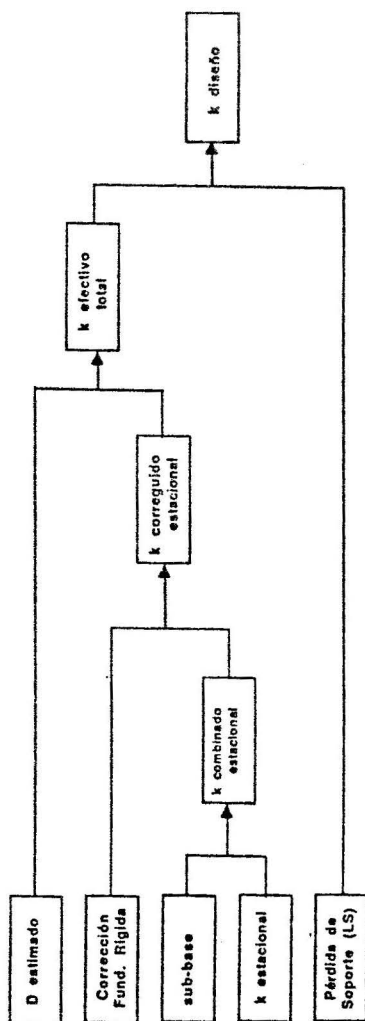


FIGURA 9 Esquema para determinar el k de diseño
Método AASHTO 1986

De Salinas - Echeverría
III Congreso Chileno de Ing. de Transporte

APENDICE

Pavimentos Flexibles

Método 1972

$$\log_{10} (W_{18}) = 9.36 \log_{10} (SN+1) - 0.20 \cdot \frac{\log_{10} \left[\frac{4.2 - D_1}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 \cdot \frac{1.094}{(SN+1)^{3.19}}} \quad (1)$$

$$\cdot \log \frac{1}{FR} \cdot 0.372 (S-3.0)$$

$$SN = \sum_{i=1}^n a_i h_i \quad (2)$$

Método 1996

$$\log_{10} (W_{18}) = Z_R \times S_e + 9.36 \times \log_{10} (SN+1) - 0.20$$

$$\cdot \frac{\log_{10} \left[\frac{APSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 \cdot \frac{1.094}{(SN+1)^{3.19}}} \cdot 2.32 \times \log_{10} (W_8) - 6.07 \quad (3)$$

$$SN = a_1 h_1 + \sum_{i=2}^n m_i a_i h_i \quad (4)$$

Pavimentos Rígidos

Método 1972

$$\log_{10} (W_{18}) = 7.35 \times \log (D+1) - 0.06 \cdot \frac{\log_{10} \left[\frac{4.5 - h_1}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} \quad (5)$$

$$\cdot (4.22 - 0.32 a_1) \times \log_{10} \left[\frac{S_e \times [D^{0.75} - 1.132]}{215.63 \times J \times [D^{0.75} - 1.132]} \right] \frac{1}{(E/E_s)^{0.25}} \quad (6)$$

Método 1996

$$\log_{10} (W_{18}) = Z_R \times S_e + 7.35 \times \log_{10} (D+1) - 0.06$$

$$\cdot \frac{\log_{10} \left[\frac{APSI}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} \cdot (4.22 - 0.32 \times a_1)$$

$$\times \log_{10} \left[\frac{S_e \times C_e \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \times [D^{0.75} - 1.132]} \right] \frac{1}{(E/E_s)^{0.25}} \quad (6)$$