

Adendo



al manual de diseño de pavimentos
Shell



Adendo

Al manual de diseño de pavimentos shell

Se ha tenido el cuidado necesario en la preparación de este Adendo; sin embargo, no se puede aceptar responsabilidad por las consecuencias de cualquier inexactitud que este pueda contener. La compañía Shell no puede hacerse responsable por daños ocasionados como resultado de su utilización.

©Shell International Petroleum Company Limited, Londres, 1985.

ADENDO AL MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS SHELL

PREFACIO

En 1978 se publicó el Manual de Diseño de Pavimentos Shell, presentando a los ingenieros de vías un sistema de diseño de pavimentos analítico con el propósito de que fuera aplicable a todos los climas del mundo. Desde entonces más de 1800 copias del Manual han sido distribuidas alrededor del mundo y se ha obtenido mucha experiencia con relación a la claridad y la conveniencia del procedimiento de diseño y la confiabilidad de los diseños. En 1984 estas experiencias fueron evaluadas concienzudamente de lo cual se obtuvo como resultado dos conclusiones esenciales:

- La experiencia práctica durante seis años desde la publicación del Manual no ha revelado ningún error sistemático en el procedimiento de diseño. El procedimiento ha sido generalmente aceptado así como sonado, más fundamentado para las selecciones de diseño que los métodos empíricos, así como el más complejo.
- El Manual no ha sido claro en que márgenes de seguridad deben ser incorporados a lo largo del procedimiento de diseño. Esto involucra que el ingeniero deberá incorporar algún grado de "conservatismo", el nivel del margen de seguridad se ha dejado a su propio juicio. Se ha considerado que se necesita una mejor guía a este respecto.

Las observaciones realizadas por los usuarios del Manual, una información más explícita con respecto a la incorporación de los márgenes de seguridad, han sido aclaradas en este Adendo de 1985 al Manual.

MARGENES DE SEGURIDAD EN EL PROCEDIMIENTO DE DISEÑO SHELL

1 INTRODUCCIÓN

Las cartas de diseño en el Manual de Diseño de Pavimentos Shell no contienen factores de seguridad implícitamente o explícitamente. Las cartas de diseño son resultado exacto de una comparación de los máximos esfuerzos y deformaciones encontradas con el criterio de la deformación de la subrasante y de deformación de la capa asfáltica. De acuerdo a esto, las cartas de diseño son validas proporcionados los parámetros de entrada para el clima, las cargas del tránsito, el módulo de la subrasante y la rigidez y caracterización de fatiga del asfalto. En la practica esto significa que el ingeniero necesita incorporar ciertos factores de seguridad cuando estime el valor de los parámetros de entrada. Además las cartas de diseño están basadas en relaciones promedio para el criterio de deformación de la subrasante y el módulo de la subbase (E_2). La experiencia ha mostrado que algo de conservatismo al respecto quizás sea apropiado.

2 MÁRGENES DE SEGURIDAD INCLUIDOS GENERALMENTE

2.1 TRÁNSITO

La intensidad del tránsito expresada en términos de cargas de eje estándar es uno de los mayores parámetros de entrada para el procedimiento de diseño.

Las incertidumbres en este parámetro pueden ser consideradas mediante el uso de altos estimativos.

2.2 TEMPERATURA

La influencia de la temperatura ambiente en la vida de servicio del un pavimento asfáltico esta considerada en el procedimiento de diseño mediante la ponderación de la temperatura promedio anual del aire (w-MAAT). Este valor es obtenido de la media mensual de las temperaturas del aire (MMAT) mediante el uso de la carta W. En el uso de este procedimiento se debe tener en cuenta que los valores del MMAT,

generalmente son los promedios de valores obtenidos de largos periodos de observación. Durante la vida de servicio del pavimento, el valor de MMAT puede desviarse del promedio de estos valores. Para periodos de diseño cortos estas desviaciones deben ser tenidas en cuenta mediante la estimación de valores de MMAT más altos, especialmente para el período de verano. El margen apropiado a usar depende de diversas peculiaridades del clima local. Es así como no es posible generalizar acerca de este estimativo.

2.3 SUBRASANTE

El módulo dinámico de la subrasante (E_3) es uno de los principales parámetros de entrada en el procedimiento de diseño. Las incertidumbres en este parámetro pueden ser consideradas mediante el uso de bajos estimativos.

Además el procedimiento de diseño esta basado en un criterio de deformación de la subrasante definido, por ejemplo; la relación entre la deformación permisible de la subrasante y el número de repeticiones de carga (Carta RS). Este criterio, esta basado en datos experimentales, es una media de las relaciones, lo cual significa que el 50% de los datos se encuentran por encima y el otro 50% de los datos se encuentran por debajo de la línea. La experiencia practica ha demostrado que es necesario un más alto nivel de confianza. Por consiguiente para estrechar el criterio de deformación de la subrasante y llegar hasta un nivel de confianza del 85%. El criterio ha pasado a ser:

$$\varepsilon_3 = 2.1 \times 10^{-2} \times N^{-0.25} \quad (1a)$$

En algunos casos es considerable tener una mejor aproximación y llegar a un nivel de confianza del 95%. Entonces el criterio vendría a ser:

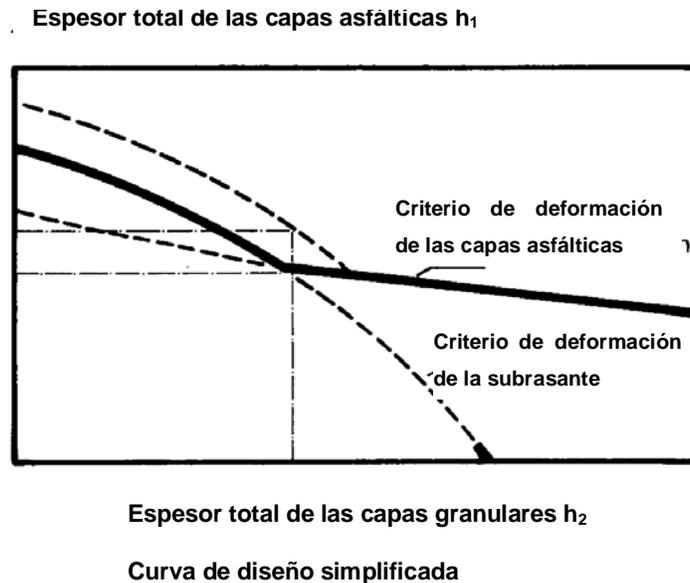
$$\varepsilon_3 = 1.8 \times 10^{-2} \times N^{-0.25} \quad (1b)$$

En el capítulo 10 del Manual se explica cómo incorporar un criterio de deformación de la subrasante diferente. El resultado de la incorporación de los criterios anteriores es el siguiente:

Para diseños gobernados por el criterio de deformación de la subrasante (izquierda de las cartas HN y HT) las cartas deben ser leídas para un periodo de diseño (en

términos de número de ejes estándar) de tres veces (para un nivel de confianza del 85%) o de seis veces (para un nivel de confianza del 95%) el período de diseño esperado.

Para diseños gobernados por el criterio de deformación de la capa asfáltica (derecha de las cartas HN y HT) no debe hacerse corrección por un criterio de deformación de la subrasante diferente. Sin embargo, es necesario saber que cerca del cambio donde gobierna el criterio de deformación de la capa asfáltica a donde gobierna el criterio de deformación de la subrasante, el criterio de deformación de la subrasante prevalecerá sobre el criterio de deformación de la capa asfáltica cuando se haya incorporado el margen de seguridad para la deformación de la subrasante.



2.4 CAPAS NO TRATADAS (SUBBASE)

El módulo dinámico efectivo de los materiales granulares no tratados (E_2) es un parámetro esencial en el procedimiento de diseño. Sin embargo, esta propiedad, no fue vista como un parámetro de entrada independiente. En la elaboración de las cartas de diseño el módulo de la capa de subbase fue tomado como función del módulo de la subrasante (E_3) y el espesor de la capa no tratada (h_2) en milímetros:

$$E_2 = k \times E_3, \text{ con } k = 0. X h_2^{0.45}, \text{ además } 2 < k < 4 \quad (2)$$

Esta función está basada en medidas dinámicas y consideraciones teóricas. Los procedimientos asumen que el material de la subbase tiene la calidad suficiente para

alcanzar un módulo efectivo con un valor al menos igual al obtenido mediante la expresión anterior. Este requisito se encuentra indicado en las cartas de diseño HN y HT por los valores encerrados en los círculos.

Desde la introducción de la relación anterior se han realizado muchas medidas dinámicas, mostrando que en la práctica existe una dispersión considerable. Algunos materiales (cascajo) generalmente menor, otros materiales (escorias de alto horno) pueden desarrollar un módulo mucho mayor. Adicional a esto, se ha encontrado que la relación anterior no es válida para altos valores del módulo de la subrasante (valores superiores a 2×10^8 Pa). Dado que el módulo de la subbase no está incluido en el Manual como un parámetro de entrada independiente, es difícil para el ingeniero incorporarlo en la experiencia práctica e incorporar márgenes de seguridad. Para mejorar esto, se desarrolló el siguiente procedimiento basado en un gran número de cálculos mediante el programa BISAR.

La capacidad de carga (LBC) de una capa elástica, de acuerdo a los análisis de Odemark*, se puede expresar como:

$$\text{LBC} = \text{Constante} \times \text{Módulo} \times \text{Espesor}^3 \quad (3)$$

Cuando se calcula la deformación de la subbase puede obtenerse una desviación en el módulo de la subbase, de acuerdo a la expresión anterior, esta puede ser determinada definiendo un espesor de subbase ficticio:

$$h_{2, \text{ficticio}} = h_{2, \text{actual}} \times (E_{2, \text{actual}} / E_{2, \text{asumido}})^{1/3} \quad (4)$$

En la figura 1 esta ecuación está presentada un número de valores para la relación módulo actual / módulo asumido.

En los casos donde el ingeniero tenga la suficiente experiencia con un cierto material de subbase para definir un módulo diferente al incorporado en el Manual, o que el ingeniero quiera incorporar un margen de seguridad adicional para el módulo de la subbase, este puede ser de 0.75 (para mayor seguridad 0.50), este aún podrá utilizar las cartas del Manual, pero deberán ser leídas para un espesor de subbase igual al ficticio derivado de la figura 1 del Adendo. Este procedimiento es relevante

* N. Odemark, Investigaciones acerca de las propiedades elásticas de los suelos y diseño de pavimentos de acuerdo a la teoría elástica; Statens Vaginstitu Estocolmo, Meddelande 77, 1949.

solamente para diseños gobernados por el criterio de deformación de la subrasante (izquierda de las cartas HN y HT).

Los diseños gobernados por el criterio de deformación de las capas asfálticas pueden ser también corregidos por desviaciones en el valor del módulo de la subbase. Basados en un gran número de cálculos mediante el programa BISAR para varias combinaciones de parámetros de entrada, se concluyó que la mejor forma de incorporar el efecto de una desviación en el valor del módulo de la subbase en el procedimiento de diseño, es leer de las cartas de diseño con un valor ficticio del módulo de la subbase de acuerdo con la siguiente relación:

$$E_{3, \text{ ficticio}} / E_{3, \text{ actual}} = E_{2, \text{ actual}} / E_{2, \text{ asumido}} \quad (5)$$

Con $E_{3, \text{ ficticio}} < 2 \times 10^8 \text{ N/m}^2$.

Sin embargo, este procedimiento debe omitirse y deben hacerse correcciones cuando el espesor de la capa de subbase es menor de 100 mm. Para la mayoría de cartas esto no es una limitación seria, porque para espesores pequeños de capas de base, el diseño está gobernado por el criterio de deformación de la subrasante, lo cual significa que se debe aplicar el primer procedimiento. También, porque espesores tan delgados son utilizados muy pocas veces.

El resultado de los cálculos con el BISAR para diseños gobernados por el criterio de deformación de las capas asfálticas, es consistente con el siguiente razonamiento.

Para capas gruesas de subbase, el diseño no está directamente afectado (al menos no significativamente) por el módulo de la subrasante (E_3).

(Esto no debe confundirse con las cartas de diseño en el Manual, que sí muestran una influencia definitiva. Esto resulta de la introducción de la mencionada unión entre el módulo de la subbase y el módulo de la subrasante.)

De acuerdo a esto, el cambio del módulo de la subrasante a un valor ficticio no debe tener un efecto directo significativo en el resultado del diseño. Sin embargo, desde que se introdujo el módulo de la subbase en el procedimiento de diseño por medio de la unión del módulo de la subrasante (según la expresión 2), el cambio del módulo de la subrasante a un valor ficticio, tiene un efecto indirecto en el diseño.

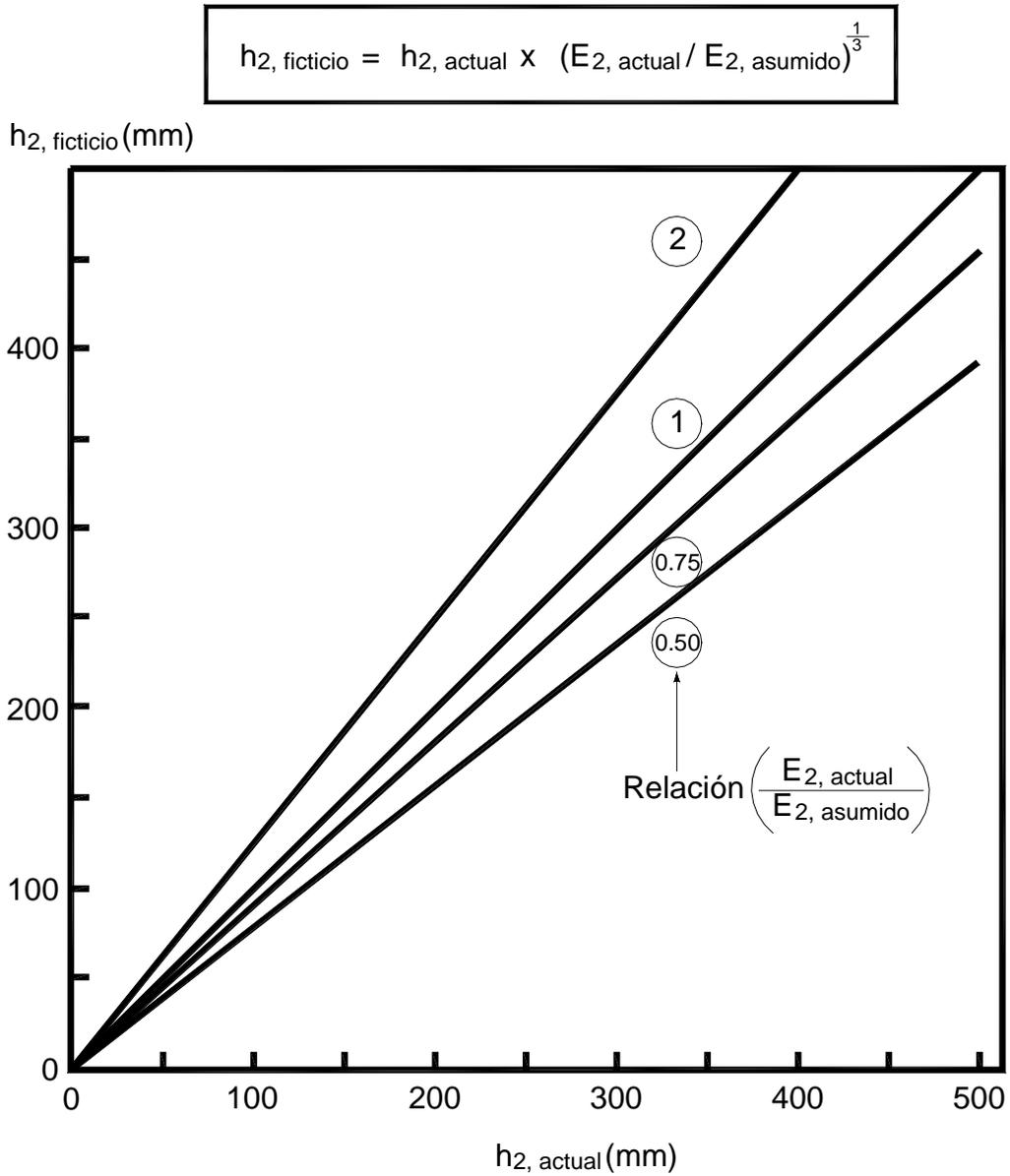


Figura 1

2.5 MATERIALES BITUMINOSOS

2.5.1 Caracterización de Rigidez de la Mezcla

Para propósitos de diseño la rigidez de la mezcla asfáltica (módulo dinámico S_{mix}) es un parámetro importante de entrada. Dos curvas

características introducidas (S1 y S2), las cuales no son mezclas representativas, pero son el promedio de dos rangos en los cuales se encuentran las mezclas usadas más comúnmente. De las pruebas actuales para mezclas se puede apreciar, si un material es caracterizado de mejor manera por la curva S1 o S2. Una comparación de la rigidez actual con las caracterizaciones S1 y S2 (Carta M-1) también da indicios del margen de seguridad que se ha incorporado cuando se adopta la caracterización S1 o S2 en el procedimiento de diseño. Con base en esta comparación se puede además determinar cual es el espesor de capa asfáltica necesario, por interpolación o con una ligera extrapolación de dos valores obtenidos a partir de la caracterización S1 o S2. Información adicional acerca de esto puede ser encontrada en el numeral 8.2 del Manual. Cuando no se disponga de mediadas de la rigidez actual, en el apéndice 2 del Manual se presenta un método para estimar más aproximadamente la caracterización de rigidez con base en el contenido de ligante, el contenido de vacíos y el contenido de agregado mineral. En el uso de este nomograma se debe tener en cuenta sin embargo, que este da un estimativo promedio. La rigidez actual puede variar del valor estimado en un factor de 1.5 o más.

2.5.2 Caracterización de Fatiga de la Mezcla

Como en el caso de la caracterización de rigidez S1 y S2, la caracterización de fatiga F1 y F2 utilizada en el Manual, estas no son mezclas representativas, pero son el promedio de dos rangos en los cuales se encuentran las mezclas usadas más comúnmente. De estudios actuales de fatiga de mezclas se puede apreciar, si un material es caracterizado de mejor manera por la curva F1 o F2 (Carta M-3 y M-4). Una comparación del comportamiento actual de fatiga con la F1 u la F2 también da indicios del margen de seguridad que se ha incorporado cuando se adopta la caracterización F1 o F2 en el procedimiento de diseño. Con base en esta comparación se puede decidir cual es el espesor de capa asfáltica necesario, por interpolación o con una ligera extrapolación de dos valores obtenidos a partir de la caracterización F1 o F2. Información adicional acerca de esto puede ser encontrada en el numeral 8.2 del Manual. Cuando no se disponga de mediadas de la fatiga actual, en el apéndice 3 del Manual se presentan dos métodos para estimar la caracterización de fatiga de una mezcla en particular que será

utilizada en la construcción de un pavimento. En el uso de uno de estos nomogramas se debe tener en cuenta sin embargo, que este da un estimativo promedio. La fatiga actual puede variar del comportamiento estimado en un factor de 1.4 o más de la deformación por fatiga.

3 MÁRGENES DE SEGURIDAD A SER INCLUIDOS EN CASOS ESPECIALES

3.1 VARIABILIDAD DEL MÓDULO DE LA SUBRASANTE

En algunos tipos de suelos el módulo de la subrasante (E_3) puede fluctuar con el tiempo durante el año a causa de variaciones en el contenido de humedad y la temperatura. Como las variaciones pueden ser caracterizadas por el uso de muy bajos estimativos del módulo de la subrasante prevaleciente durante períodos de tiempo razonables. De esta manera se introduce un factor de seguridad adicional. Sin embargo, para grandes variaciones del módulo de la subrasante este procedimiento conduce a sobre diseños importantes. Para evitar esto, un procedimiento más sofisticado se presenta en el capítulo 8.1 del Manual.

3.2 CONDICIONES ESPECIALES DE TRÁNSITO

En el procedimiento de diseño se ha asumido que las repeticiones de carga por eje están distribuidas uniformemente las 24 del día. Ligeras desviaciones de este supuesto no tienen un efecto significativo en el diseño resultante. Sin embargo, en algunos casos es necesario adaptar el diseño a condiciones especiales de tránsito como lo son el tránsito diario, el tránsito canalizado, etc. Los procedimientos que permiten asignar estas condiciones especiales están presentadas en el capítulo 8. Del Manual.

4 EJEMPLOS

4.1 EJEMPLO 1

Diseño gobernado por el criterio de deformación de la subrasante.

Código de la Mezcla S2 – F2 – 100

Módulo de la Subrasante $E_3 = 5 \times 10^7$ Pa

w-MAAT 12°C

Período de diseño requerido 10^6 aplicaciones de ejes estándar (80 kN)

Espesor de la subbase granular 250 mm

De acuerdo al diseño (Carta HN 47) se requieren 130 mm de mezcla asfáltica.

Con la incorporación de un criterio más confiable para la deformación de la subrasante (85% de confiabilidad) y un factor de seguridad para el módulo de la subrasante (Módulo reducido por un factor de 0.75), conduce a que se requieren 180 mm. de mezcla asfáltica (Mientras el período de diseño este gobernado por el criterio de deformación de la subrasante, se lee de la Carta HN 47 con un espesor ficticio de la base granular de 230 mm, y un número de ejes estándar de 3×10^6 , ver Figura 2).

Con la incorporación de un criterio más confiable para la deformación de la subrasante (95% de confiabilidad) y una reducción del módulo de la subbase por un factor de 0.50, conduce a que se requieren 210 mm de mezcla asfáltica. (Leer de la Carta HN 47 con un espesor ficticio de la base granular de 200 mm, y un número de ejes estándar de 6×10^6 , ver Figura 2).

A este espesor debe adicionarse las variaciones de la extendedora de mezcla, es decir 10 mm.

4.2 EJEMPLO 2

Diseño gobernado por el criterio de deformación de las capas asfálticas.

Código de la Mezcla S2 – F2 – 100

Módulo de la Subrasante $E_3 = 5 \times 10^7$ Pa

w-MAAT 12°C

Período de diseño requerido 10^6 aplicaciones de ejes estándar (80 kN)

Espesor de la subbase granular 400 mm

De acuerdo al diseño (Carta HN 48) se requieren 140 mm de mezcla asfáltica.

Mientras el diseño se encuentre gobernado por el criterio de deformación de las capas asfálticas, una mayor confiabilidad en el criterio de deformación de la subrasante no es relevante. La incorporación de un factor de seguridad para el módulo de la subrasante (Módulo reducido por un factor de 0.75), conduce a que se requieran **170 mm** de mezcla asfáltica. (Leer la Carta con un módulo ficticio de la subrasante de 3.75×10^7 Pa, con esto leer las Cartas HN 48 y HN 16 con un espesor de 400 mm de subbase y un número de ejes estándar de 10^6 e interpolar para una subrasante de 3.75×10^7 Pa, ver Figura 3).

La incorporación de un mayor nivel de seguridad para el módulo de la subbase (Módulo reducido por un factor de 0.50), conduce a que se requieran **210 mm** de mezcla asfáltica. (Leer la Carta con un módulo ficticio de la subrasante de 2.50×10^7 Pa, con esto leer la Carta HN 16 con un espesor de subbase de 400 mm y número de ejes estándar de 10^6).

A este espesor debe adicionarse las variaciones de la extendidora de mezcla, es decir 10 mm.