

CARACTERIZACIÓN MECANÍSTICA DE MATERIALES GRANULARES PARA PAVIMENTOS

1. RESUMEN

El propósito de este proyecto de investigación es desarrollar y evaluar las herramientas que podrían ser utilizadas para el impulso de especificaciones y predicción del desempeño de materiales granulares que forman parte de un pavimento.

Como objetivos específicos tenemos:

- Un método de ensayo desarrollado para materiales que se encuentran en nuestro medio, del cual se obtendrían las propiedades ingenieriles fundamentales, incluyendo la rigidez que depende del estado de esfuerzos y las características de deformación permanente de los materiales granulares.
- Modelos mecanísticos muy simples de análisis para realizar una mejor simulación del comportamiento no lineal de los materiales granulares y permitir una predicción más realista del comportamiento y deformación de los materiales dentro del pavimento.

Se llevó a cabo un estudio intensivo de precisión Interlaboratorial para establecer el efecto de los siguientes factores, preparación de la muestra y estado de esfuerzos aplicados. Un programa de ensayos en diferentes fuentes de materiales granulares para obtener sus propiedades mecánicas dinámicas (en términos de deformación permanente y módulo resiliente) bajo distintas condiciones de densidad y humedad.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Antecedentes.

2.1.1 Uso de materiales granulares en Costa Rica.

Debido al bajo costo de los materiales granulares en Costa Rica existen gran cantidad de caminos a lo largo y ancho del territorio construidos con estos materiales, que son tomados por facilidad, de zonas cercanas del sitio de compactación, dándose así gran variedad de fuentes de materiales, desde rocas quebradas de tajo como gravas de río hasta materiales tipo lastre de baja calidad.

Dentro del diseño estructural del pavimento es importante considerar los siguientes factores: tipo y calidad de materiales a ser utilizados, cargas a las cuales el pavimento será sometido en su vida útil, el clima tropical húmedo que impera en la mayoría del territorio, pues esto afecta las consideraciones ambientales a tomar en cuenta a la hora del diseño del pavimento, ya sea para la colocación de drenajes u otros sistemas para la evacuación del agua. Las condiciones de congelamiento no tienen que ser consideradas en el diseño pues el país no sufre esta condición tan crítica que se da en otros países.

2.1.2 Especificaciones actuales y estándares de construcción para materiales granulares.

Las especificaciones actuales de materiales granulares sin estabilizar se encuentran en el manual “Especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes de Costa Rica”, CR-2002, dentro del Capítulo 300, cuyo título es Subbase y Bases. El capítulo está dividido en secciones, la sección 302 es la que está dedicada a los materiales granulares utilizados para base.

Dichas especificaciones están basadas en normas internacionales, que no se han estudiado con suficiente base científica para su validación dentro de las condiciones específicas de nuestro país. También en el desempeño observado de los agregados y el control de compactación cuyo monitoreo se ha llevado a cabo a través de evaluaciones con ensayos de laboratorio como ensayos de campo.

Las especificaciones clasifican los diferentes materiales con base en ensayos de laboratorio para evaluar las características físico-mecánicas cuyo valor se considera crítico para su uso, ya sea para bases o subbases.

Dentro de las características a ser evaluadas se encuentran:

1. Calidad del material: resistencia de las partículas, dureza y durabilidad.
2. Tamaño y forma de las partículas de agregado: granulometría y caras fracturadas.
3. Plasticidad de los finos presentes en el material.

En general, los requerimientos de granulometría y plasticidad están correlacionados con el desempeño a corto plazo (o resistencia mecánica) de los materiales, mientras que los requerimientos de calidad del material están correlacionados con el desempeño a largo plazo de los materiales (degradación del material debido a las cargas de tránsito y condiciones climáticas).

Las especificaciones actuales proveen de un nivel aceptable para la construcción de bases y subbases pero no son una garantía total, pues el desempeño a futuro del pavimento depende de los estándares de diseño y construcción, cargas de tránsito, condiciones específicas del lugar de construcción e influencias ambientales.

También se abarcan los procedimientos de compactación, que tratan de lograr un mejor y uniforme producto. El enfoque no considera cómo determinar estándares óptimos de compactación para los diferentes materiales de base y subbase utilizando diferentes

métodos de construcción y opciones de drenajes. Todos estos factores que no están contemplados afectan la calidad del producto final.

2.1.3 Procedimientos actuales de diseño

A lo largo del tiempo, en Costa Rica se han adoptado métodos empíricos de diseño basados en los resultados de CBR (California Bearing Ratio) para los materiales granulares. Sin embargo, en años recientes se han dado cambios en la tecnología de pavimentos, donde se han aceptado métodos mecanísticos o estructurales debido a la introducción de nuevas técnicas de construcción, alternativas de materiales y procesos. Lo que está conduciendo a cambiar el criterio de CBR de la subrasante por el criterio de esfuerzos-deformaciones que se podrían presentar dentro de las capas del pavimento.

Esta transición ha sido difícil pues la contribución de las capas granulares al desempeño de todo el pavimento se ha asumido como un valor fijo y tampoco se han considerado las características de deformación permanente de las capas granulares.

2.1.4 Nuevos retos

Es por lo expuesto anteriormente, que con este proyecto de investigación se pretende introducir al país dentro de las nuevas corrientes de diseño que tratan de explicar de una manera más realista el comportamiento de los pavimentos.

Por lo tanto, hay nuevos parámetros relacionados directamente con el desempeño en el campo, esto es, módulo resiliente y deformación permanente, que no están incluidos dentro de las especificaciones actuales, por lo que los rangos aceptables de dichos parámetros todavía no han sido establecidos.

En cuanto a las consideraciones de compactación, se debería establecer un procedimiento nacional que considere los problemas antes mencionados a través del establecimientos de correlaciones de módulo resiliente y deformación permanente y el

esfuerzo de compactación y las condiciones de humedad de los diferentes materiales granulares.

Los procedimientos de diseño macanísticos no se podrían desarrollar completamente si no se cuenta con datos confiables como entrada para los modelos de comportamiento, o que los modelos de predicción de desempeño no se puedan validar. Con el desarrollo de esta investigación se tratará de proveer con las diferentes herramientas para lograr un desarrollo más aproximado a la realidad de los pavimentos.

Una preocupación creciente es la excesiva deformación permanente en bases granulares y subbases debido a las crecientes cargas de tránsito. De ahí nace la necesidad de desarrollar y mejorar los métodos de predicción de desempeño pues los factores como cargas axiales, cargas repetidas, aumento de la presión de llanta, y el aumento del grosor de las capas granulares son las causas principales del deterioro.

Todo lo anterior conduce a buscar una disminución de los costos de construcción pues se trata de llegar a un uso óptimo de materiales en cada situación en particular y un mejoramiento en las estimaciones de los costos de operación durante la vida útil.

2.2 Conceptos introductorios.

Dentro de este proyecto de investigación se incluye el uso de equipos de laboratorio de última generación para determinar las propiedades físico-mecánicas de los materiales que están incluidos dentro de los *modelos mecanísticos* de análisis de pavimentos. El comportamiento de los materiales granulares se analizan desde el punto de vista de los *esfuerzos de reacción* y de *falla*, los cuales se consideran los principales indicadores del desempeño.

Se entiende como *modelos mecanísticos* todas aquellas representaciones para el análisis del comportamiento de los pavimentos que incluyen las propiedades mecánicas

fundamentales de los materiales. Los *esfuerzos de reacción* son los que se presentan cuando el pavimento es sometido a cargas repetitivas como lo son las cargas de tránsito. Los *esfuerzos de falla* se dan cuando el material ya no puede continuar soportando las cargas ya sean repetitivas o estáticas (tales como desprendimientos, deformación o fatiga). Los datos de esfuerzos son obtenidos de los resultados de los ensayos de laboratorio.

La definición de *desempeño* es la interpretación que incluye las condiciones estructurales y funcionales del pavimento en un momento dado dentro de la vida útil del mismo (Ullidtz, 1987).

El desarrollo de modelos de esfuerzos de reacción y falla dentro de los modelos de desempeño para predecir el comportamiento de los pavimentos puede estar basado en:

1. Modelos matemáticos basados en las propiedades mecánicas fundamentales; y
2. Relaciones empíricas.

Los métodos mecanísticos de diseño no podrían ser utilizados de manera completa si no se pueden obtener los datos de entrada para el modelo de respuesta de una manera práctica y que tienen que cumplir con 3 cualidades esenciales: bajo costo, confiabilidad y reproducibilidad.

Las *cargas dinámicas* se producen cuando el tráfico de vehículos se mueve a lo largo de la superficie del pavimento, un gran número de pulsos de esfuerzos rápidamente aplicados de magnitud variable son aplicados a cada elemento de material subyacente y hasta cierta distancia fuera de los lados del paso de la llanta (Figura 1). Cerca de la superficie el pulso de esfuerzo tiene una forma haversiana pronunciada. Por lo tanto, se han desarrollado métodos de ensayo de laboratorio que simulen este tipo de cargas, por lo que se tiene equipos que aplican una serie de pulsos de carga que están separados por un período de reposo (Figura 2). El módulo resiliente del material ensayado es determinado a partir de los resultados de los estos ensayos dinámicos.

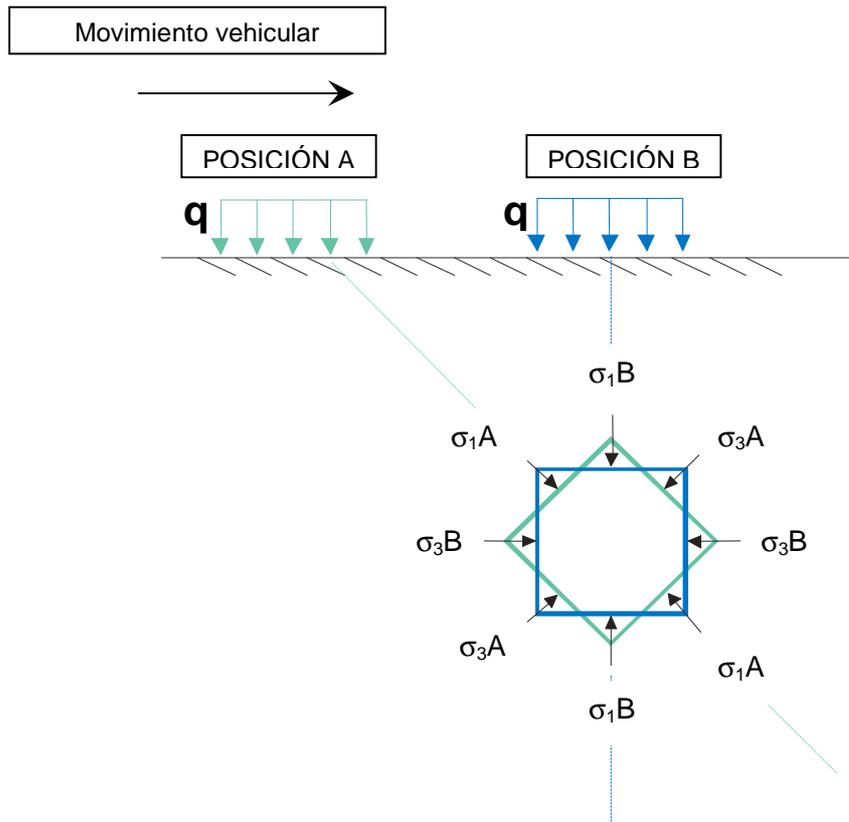


Figura 1. Rotación de los ejes de esfuerzos de un elemento cuando un vehículo circula por la superficie.

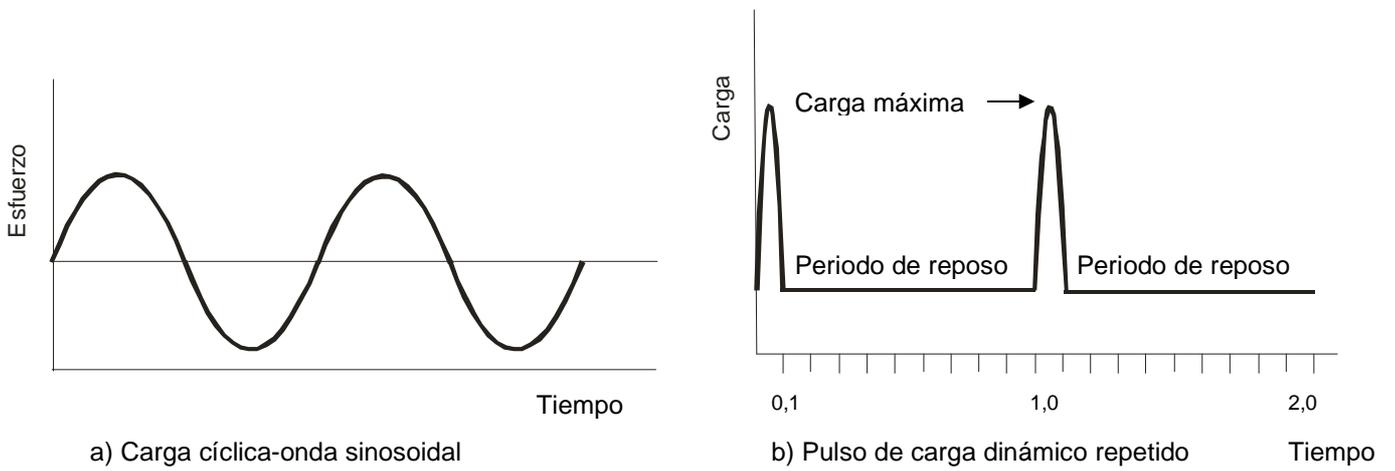


Figura 2. Tipos de cargas dinámicas

El *módulo resiliente* se utiliza para el análisis multicapa, y es una variable muy importante para predecir los esfuerzos resilientes (recuperables), deformaciones y deflexiones dentro de un pavimento flexible. También se puede relacionar con la deformación permanente de materiales sin estabilizar. También ahora es utilizado en la Guía de Diseño AASHTO aunque está basado en modelos estadísticos en lugar de los principios de diseño mecánicos. El uso extendido del módulo resiliente en el diseño del espesor de capa indica que es de suma importancia la obtención de valores confiables de esta variable de diseño.

El *módulo resiliente* es un índice que indica la capacidad de cualquier material para almacenar o absorber energía sin deformación permanente (Figura 3) . Es igual al esfuerzo axial pico repetido dividido entre la deformación axial recuperable que ocurre dentro del espécimen. La deformación axial resiliente es igual a la deformación recuperable a la cual el espécimen se ve sometido cuando es sometido a un pulso, dividida por la distancia axial donde la deformación es medida.

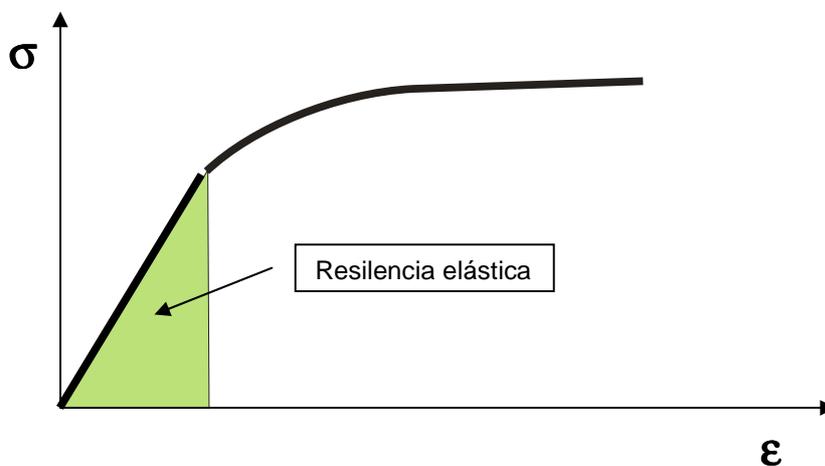


Figura 3. Resiliencia elástica de cualquier material.

El módulo resiliente se designa como M_r y se calcula con la siguiente fórmula:

$$M_r = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{\epsilon_{1r}}$$

Donde

M_r = Módulo resiliente

$(\sigma_1 - \sigma_3)$ = Esfuerzo máximo axial repetido (esfuerzo desviador)

ϵ_{1r} = deformación axial

También el módulo resiliente es conocido como el *módulo de elasticidad*.

En un ensayo dinámico el esfuerzo máximo aplicado ocurre antes de que se desarrolle la deformación máxima por lo que se dice que el esfuerzo y la deformación están desfasados uno de otro. Debido a este desfase el concepto de módulo resiliente es una aproximación.

El módulo de Poisson es la razón del valor de la deformación lineal en dirección lateral a la deformación lineal en dirección axial. El módulo de Poisson resiliente se designa como ν_r y se calcula con la siguiente fórmula:

$$\nu_r = \frac{-\epsilon_{3r}}{\epsilon_{1r}}$$

Donde

ν_r = módulo de Poisson resiliente

ϵ_{3r} = deformación radial resiliente

ϵ_{1r} = deformación axial resiliente

Los pavimentos se compactan con esfuerzos constructivos mucho mayores que las cargas de diseño produciendo en el pavimento los *esfuerzos residuales iniciales*, que son los esfuerzos laterales a los cuales las capas se ven sometidas por los equipos de construcción del pavimento. El estado de esfuerzos completo consiste en un efecto combinado de los esfuerzos residuales iniciales que quedan luego de la construcción y los esfuerzos dinámicos causados por las cargas de tránsito (Figura 4), de manera que corresponde una modelación de comportamiento *resiliente* bajo ciclos de carga y descarga.

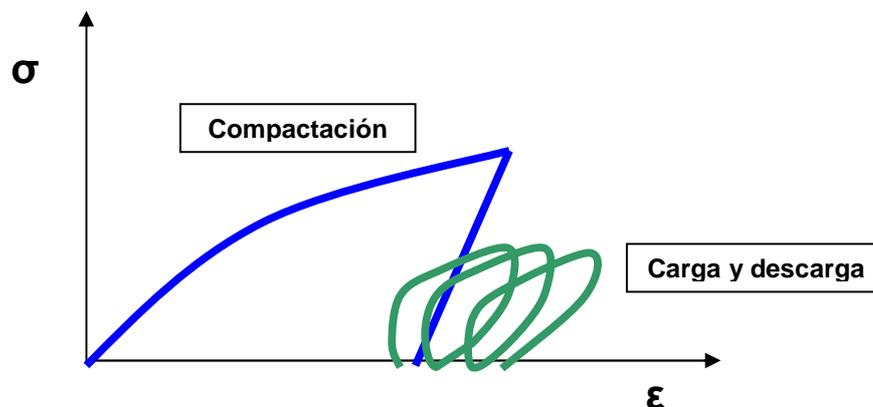


Figura 4. Ciclos de carga y descarga en estructura de pavimento.

Observaciones:

- Acumulación de micro-deformaciones permanentes.
- Sistemas elásticos, equivalentes-elásticos, o no-lineales elásticos no modelan la deformación plástica acumulada (“roderas”).

- Metodologías mecánicas convencionales se basan en teorías elásticas, pero “ ϵ_p ” debe calcularse con base en la máxima respuesta elástica, a partir de las cargas de tránsito aplicadas. Ejemplo: aplicación de leyes de fatiga y deformación plástica a partir de la estimación de una deformación elástica unitaria en modelos de multi-capa elástica.

Para la modelación de la deformación permanente se han estado desarrollando modelos que expliquen con mayor certeza el comportamiento de los materiales granulares.

A continuación se presentan unos ejemplos de modelos para deformación plástica acumulada:

$$\epsilon_p (N) = \epsilon_p (1) + a \cdot \log (N)$$

donde:

$\epsilon_p (1)$ = deformación plástica que se presenta a los primeros 100 ciclos de carga.

N : número de ciclos de carga.

a = constante

$$\log \{ \epsilon_p (N) \} = \log \{ \epsilon_p (1) \} + S \cdot \log \{ N \}$$

$$\epsilon_p (N) = \epsilon_o \cdot e^{\left(\frac{-\rho}{N}\right)^\beta}$$

Donde:

ρ = deformación unitaria

2.3. Caracterización de los módulos de rigidez.

La Figura 5 ilustra los métodos disponibles para la modelación de rigidez en capas de pavimentos.

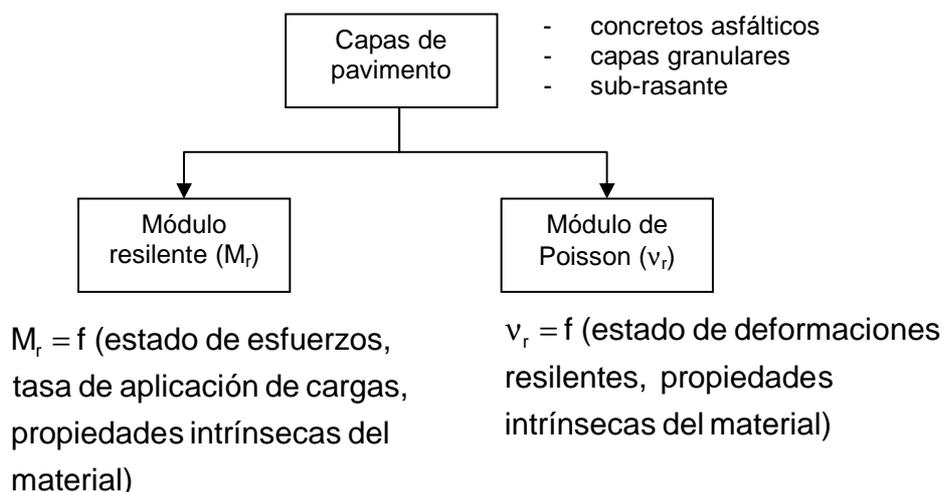


Figura 5. Métodos para la caracterización de la rigidez de materiales para pavimentos.

2.4. Esquema general normalizado de modelación.

Anteriormente se utilizaban modelos empíricos que no incluían la dependencia en el estado de esfuerzos, basados en el CBR (California Bearing Ratio). Estos modelos simplistas se han utilizado a lo largo del tiempo hasta que se lograron desarrollar equipos de laboratorio que pueden simular los estados de esfuerzos que se pueden presentar en las capas del pavimento. En la Tabla 1 se presenta un resumen de algunos modelos empíricos.

Expresión matemática del modelo (M_r en MPa)	Referencia
$M_r = 10 \cdot \text{CBR}$	Heukelom y Foster (1960)
$M_r = 38 \cdot \text{CBR}^{0,711}$	Green y Hall (1975)
$M_r = 18 \cdot \text{CBR}^{0,64}$	Lister (1987)
$M_r = 21 \cdot \text{CBR}^{0,65}$	Ayres (1997)
$M_r = B \cdot \text{CBR}$	Guía de Diseño AASHTO con $5,25 < B < 21$; $B = 10,5$ para $\text{CBR} < 10$

Tabla 1. Ejemplos de modelos empíricos.

Los materiales granulares sin estabilizar utilizados como bases y subbases en pavimentos flexibles exhiben una dependencia direccional de su rigidez bajo un estado de esfuerzos en particular al cual el material es sometido. Esta dependencia direccional del comportamiento resiliente puede ser representado adecuadamente con funciones exponenciales dependientes del estado de esfuerzos en la capa granular.

Modelo K- θ . Este modelo ha sido el más utilizado como modelo no lineal del módulo resiliente. Apareció por primera vez en la Guía AASHTO de diseño de estructuras de pavimento en 1993. El módulo resiliente está expresado como una función de los esfuerzos principales (θ) a los cuales el espécimen está sometido. El *primer invariante de esfuerzos* θ es igual a la suma de los esfuerzos principales ($\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$) que actúan en el espécimen. La relación entre M_r y θ es una recta en un gráfico log-log. Como resultado, las constantes k_1 y k_2 se obtienen del análisis de regresión lineal del gráfico. La desventaja de este modelo es que no toma en cuenta los efectos del esfuerzo cortante.

$$M_r = k_1 \cdot \theta^{k_2}$$

Modelos simples que toman en cuenta los efectos del esfuerzo cortante:

Modelo Uzan: Desarrollado por J. Uzan. Considera al primer invariante de esfuerzos θ y el esfuerzo desviador σ_d . El esfuerzo desviador está relacionado directamente con el máximo esfuerzo cortante τ_m aplicado al espécimen. ($\tau_m = \sigma_d / 2$). Las tres constantes k_3 , k_4 y k_5 debe ser evaluadas en un análisis de regresión múltiple de una secuencia de ensayos dinámicos de módulo resiliente.

$$M_r = k_3 \cdot \theta^{k_4} \cdot (\sigma_d)^{k_5}$$

Modelo esfuerzo cortante octahédrico: Desarrollado por Witczak y Uzan. Considera un cambio en el esfuerzo desviador por el esfuerzo cortante octahédrico que es un parámetro fundamental. Los esfuerzos fueron normalizados utilizando la presión atmosférica. Tiene la misma precisión que el modelo anterior pues el esfuerzo desviador y el esfuerzo octahédrico son proporcionales.

$$MR = k_1 \cdot Pa \cdot \left(\frac{\theta}{Pa} \right)^{k_2} \cdot \left(\frac{\tau_{oct}}{Pa} \right)^{k_3}$$

donde

k_1 , k_2 y k_3 = constantes propias de cada material

$\theta = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$

Pa = presión atmosférica, y

τ_{oct} = esfuerzo cortante octahédrico (Ver Figura 6)

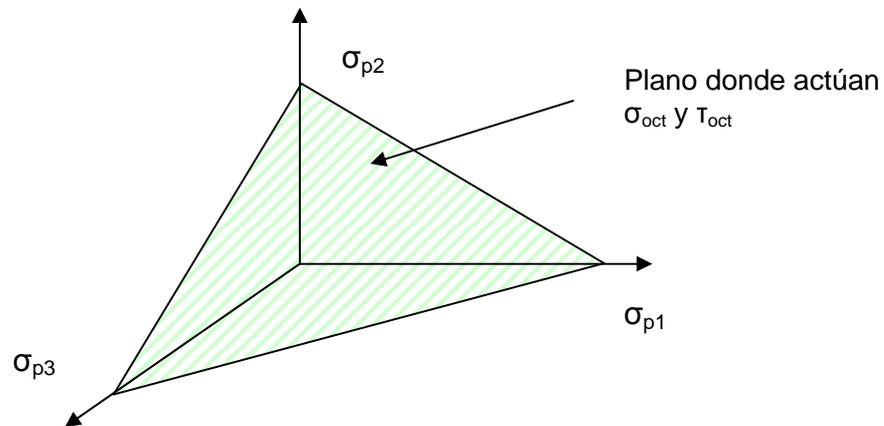


Figura 6. Concepto de esfuerzo cortante octahédrico.

Notas:

1. Si $k_3 = 0$ entonces

$$MR = k_1 \cdot Pa \cdot \left(\frac{\theta}{Pa} \right)^{k_2}$$

Para materiales granulares.

2. Si $k_2 = 0$ entonces

$$MR = k_1 \cdot Pa \cdot \left(\frac{\tau_{oct}}{Pa} \right)^{k_3}$$

Para materiales cohesivos.

Modelo UT-Austin: Desarrollado en la Universidad de Texas-Austin, utiliza la presión de confinamiento en lugar del primer invariante de esfuerzos del modelo anterior. Este modelo utiliza la deformación axial (ε_a) en lugar del módulo resiliente, y utiliza el σ_d y la presión de confinamiento σ_3 como predictores independientes.

$$M_r = N_6 \cdot \sigma_d^{N_7} \cdot (\sigma_3)^{N_8}$$

Donde:

$$N_6 = K_6 = 10^3$$

$$N_7 = 1 - K_7$$

$$N_8 = -K_8$$

Modelo UTEP: Desarrollado por la Universidad Texas-El Paso, utiliza el primer invariante de esfuerzos y la deformación axial como variables predictoras. Como el módulo resiliente es igual al esfuerzo desviador repetido dividido entre la deformación axial resiliente, en realidad la deformación está presente en ambos lados de la ecuación.

$$M_r = k_9 \cdot \theta^{k_{10}} \cdot \varepsilon_a^{k_{11}}$$

Donde

ε_a = deformación axial resiliente

Modelo de 4 parámetros: Desarrollado por Itani, modifica dentro del modelo de Uzan el efecto de la presión de confinamiento (σ_3) y cambia el invariante de esfuerzos por esfuerzos promedio.

Modelos avanzados:

Un buen número de modelos avanzados de módulo resiliente se han propuesto para materiales granulares. Muchos de estos modelos requieren de instrumentación especial, la evaluación de constantes de los materiales es complicada a pesar de que se obtiene una mejor aproximación del módulo resiliente. Se presenta un pequeño resumen de estos modelos.

Modelo K-G: modelo no lineal del módulo secante (K) y el módulo de cortante secante (G), los cuales son función del estado de esfuerzos.

$$G = A \times F(e) \times (OCR)^{k_s} \times (\sigma')^n$$

Donde:

G = módulo de rigidez al cortante.

F(e) = función volumétrica, que depende del tipo de material (plasticidad) y el nivel de vacíos (%).

$$F(e) = \frac{[B - e]^2}{[1 + e]}$$

OCR = tasa de pre-compactación.

σ' = esfuerzo vertical efectivo.

Material	A	B	n
Roca triturada (Prange)	7230	2.97	0.38
Grava redondeada (Kokusho y Esashi)	13000	2.17	0.55
Grava (Tanaka y otros)	3080	2.17	0.60
Arenas redondeadas (Hardin y Richard)	7000	2.17	0.50
Arenas angulosas (Hardin y Richard)	3300	2.97	0.50
Arenas limpias (Shibata y Soelarno)	42000	0.67	0.50
Caolinita (Hardin y Black)	3300	2.97	0.50
Bentonita (Marcuson y Wahls)	450	4.40	0.50
Arcillas no alteradas (Kokusho y otros)	141	7.32	0.60

Tabla 2. Coeficientes para diferentes tipos de materiales.

Modelo de contorno: Desarrollado por Brown y Pappin, la longitud de la trayectoria de los esfuerzos seguida influencia el módulo resiliente al igual que los esfuerzos normales promedio y los esfuerzos de cortante. Se requiere de un equipo de ensayo triaxial que permita variar simultáneamente la presión de confinamiento y la axial.

Modelo Crockford: propone un modelo de 4 constantes que expresa el módulo resiliente como función del contenido de agua volumétrico, esfuerzos de succión del suelo, esfuerzo cortante octahédrico, peso unitario del material y el primer invariante de esfuerzos.

2.5. Técnicas de modelación mecánica.

2.5.1. Ensayos de caracterización:

Se tienen 5 tipos de equipo de carga repetida: Celda triaxial, dispositivo de cortante simple, columna resonante, cilindro hueco y celda triaxial “verdadera”.

Celda triaxial: En el ensayo triaxial los esfuerzos principales σ_1 y σ_3 se aplican en direcciones conocidas simulando una sola rueda que aplica la carga al pavimento directamente sobre el elemento. En la dirección axial o radial se puede saturar el espécimen. Se puede simular el drenaje lateral de una base granular en este equipo. La presión de poro se puede medir en los bordes extremos del espécimen. Se puede medir la deformación en el eje axial, radial y volumétrico. Una ventaja es que se pueden ensayar núcleos de subbase obtenidos en sitio. Como desventajas es la rotación limitada de los ejes principales de esfuerzo, la inversión de los esfuerzos de cortante. En el ensayo sólo se puede simular una rotación ortogonal de los ejes principales de los esfuerzos, por lo que no se puede representar el paso de los vehículos en el pavimento. Tampoco se puede controlar el esfuerzo principal intermedio aplicado al espécimen.

Ensayo de torsión-cortante: se utiliza un espécimen cilíndrico, cargado torsionalmente por cortante. El fondo del espécimen está fijo y la parte superior se somete a movimiento torsional. La frecuencia de carga es menor a 10 Hz. El módulo se determina por medio de la histéresis esfuerzo cortante-deformación cortante. Este ensayo puede usarse para determinar el módulo a deformación cortante hasta 10^{-3} in/in. Para materiales pobres, las deformaciones de cortante que se desarrollan bajo las cargas altas pueden ser mayores que la capacidad del equipo de ensayo, por lo tanto es recomendable solo utilizarlo en suelos de subrasante.

Ensayo de columna resonante: somete al espécimen a deformaciones axiales cíclicas menores a las aplicadas por cargas de tránsito altas cerca de la superficie. No se recomienda utilizarlo para probar materiales para autopistas.

Ensayo de cortante simple: un esfuerzo cortante se aplica a la parte superior e inferior de un bloque cuadrado o disco. En el ensayo dinámico el esfuerzo se aplica alternativamente en cada dirección. La condición de carga es una rotación de 90° del eje principal de esfuerzos acompañado de una inversión del esfuerzo cortante. Representa de una manera más realista la deformación permanente debido a la

inversión del esfuerzo cortante. El módulo resiliente de cortante determinado en arena utilizando el equipo de cortante y compresión dinámica triaxial son comparables en los niveles de esfuerzos. No funciona para obtener el módulo resiliente para materiales granulares.

Ensayo de cilindro hueco: simula de mejor manera las condiciones de esfuerzos complejos incluyendo rotación de los ejes de los esfuerzos principales. Se utiliza un espécimen de pared gruesa, cilíndrico. El tamaño de partícula es limitado a arenas gruesas. Se puede controlar el esfuerzo aplicado en el interior del cilindro, lo que implica un control de los esfuerzos tangenciales. Sirve para estudiar la deformación permanente simulando las cargas de tránsito. No sirve como ensayo rutinario para evaluar el módulo resiliente.

Ensayo triaxial “verdadero”: un espécimen cúbico, capaz de controlar independientemente los 3 esfuerzos normales ortogonales aplicados. Se ha utilizado en arenas y arcillas. Sirve para investigar la influencia de los esfuerzos intermedios, anisotropía de los esfuerzos iniciales, resistencia anisotrópica y esfuerzos invariantes. No funciona como ensayo rutinario para evaluar módulo resiliente.