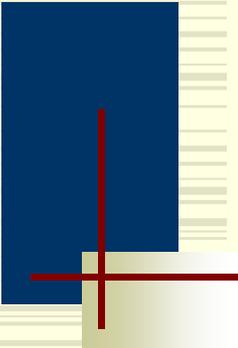


DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, Estado del Arte Actual y Futuro

Ing. Fabián Schvartzer



Contenido

- ◆ Introducción
- ◆ Desarrollo de las metodologías de diseño. Breve Cronología
- ◆ Desarrollos Futuros
- ◆ Estado del arte en Paraguay
- ◆ Conclusiones

Diseño de Pavimentos— Donde estamos??



Definiciones

◆ Diseño Empírico

Basado en resultados de la experiencia y/o ensayos
Requiere muchas observaciones para establecer relaciones entre las variables de diseño y la performance del pavimento.

No necesariamente se establecen bases científicas para establecer relaciones

Ejemplos : AASHTO, CBR, R-veem



Definiciones

◆ Diseño Mecanístico

- Puramente científico
- Enfatiza el comportamiento mecánico de la estructura producido por las cargas
- Las propiedades fundamentales de los materiales deben ser bien conocidas
- Las propiedades geométricas de la estructura y de las cargas también deben ser conocidas con precisión
- Ejemplos : No existen diseños puramente mecanísticos

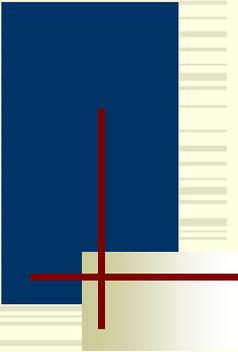


Definiciones

◆ Diseño M-E

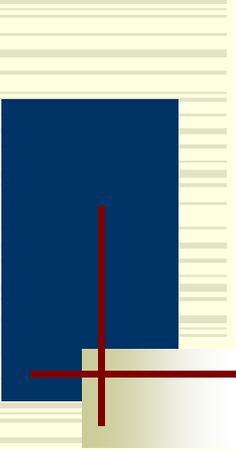
- Combina aspectos mecánicos y empíricos
- Componente mecánico determina las respuestas del pavimento a través de modelos matemáticos
- Componente empírico relaciona las respuestas del pavimento con su performance
- Cada tipo de falla está asociada con una respuesta crítica del pavimento





Ejemplos de Procedimientos de Diseños M-E

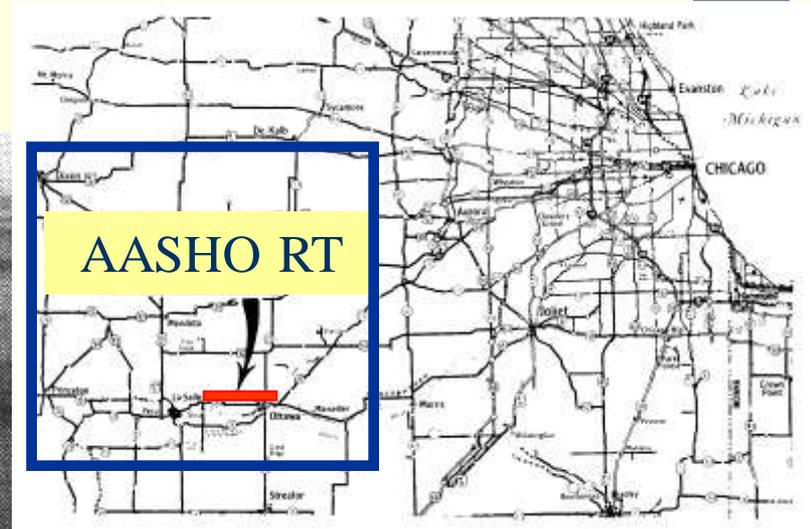
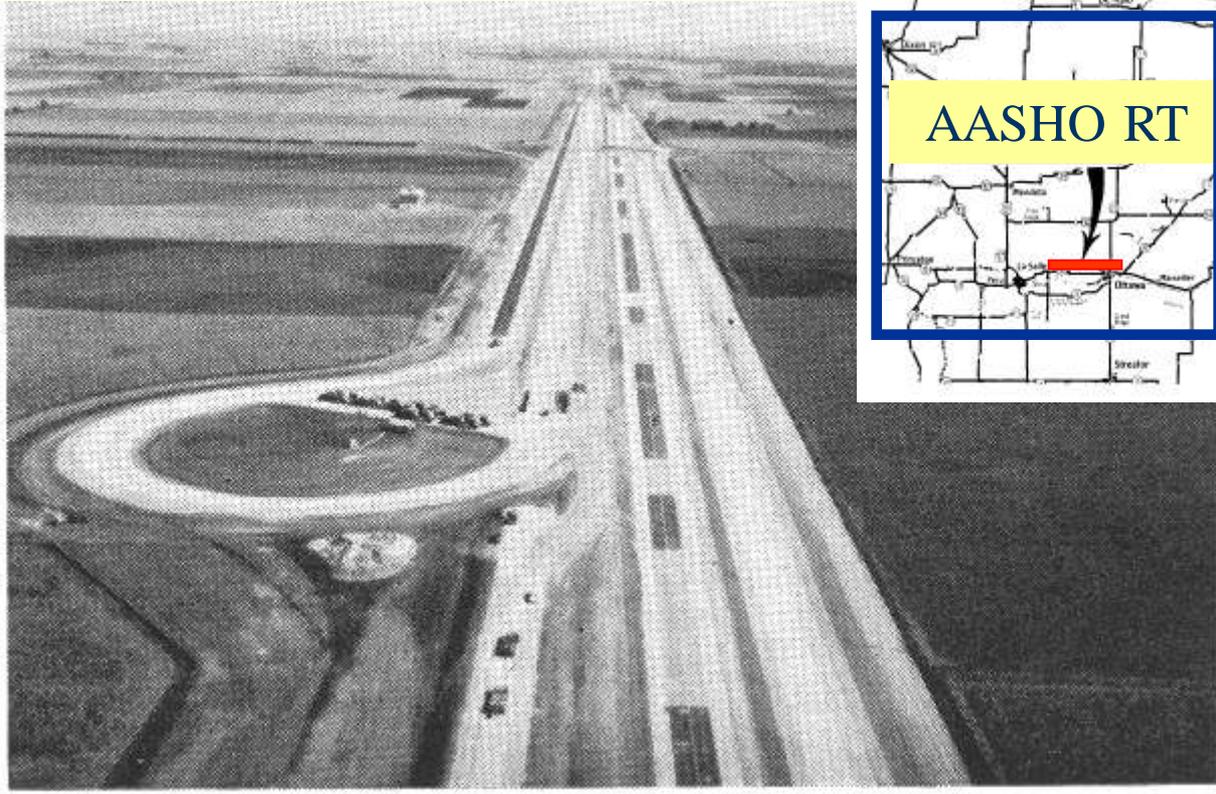
- ◆ Diseños mecánicos
 - Método Shell (1977)
 - Asphalt Institute (1982)
 - NCHRP Project 1-26 (1992)
 - Diseño Sudafricano M-E (1992)
 - Illinois, Kentucky, Washington, Minnesota
 - MEPDG



El Método AASHTO

- ◆ Sus limitaciones

E1 AASHTO Road Test



Un tipo de subrasante....



(AASHO, 1961)

Figure 16. Embankment construction, loop 1, using rotary speed mixers to process and adjust moisture content of soil.

Construcción de los 50....

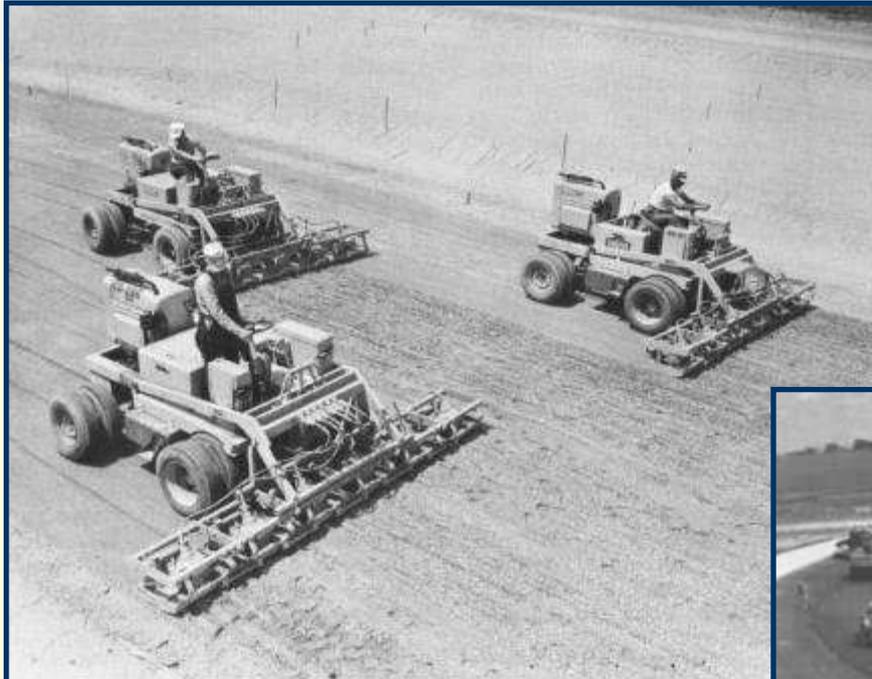


Figure 57. Compacting subbase.



Figure 29. Bituminous concrete construction.

(AASHO, 1961)

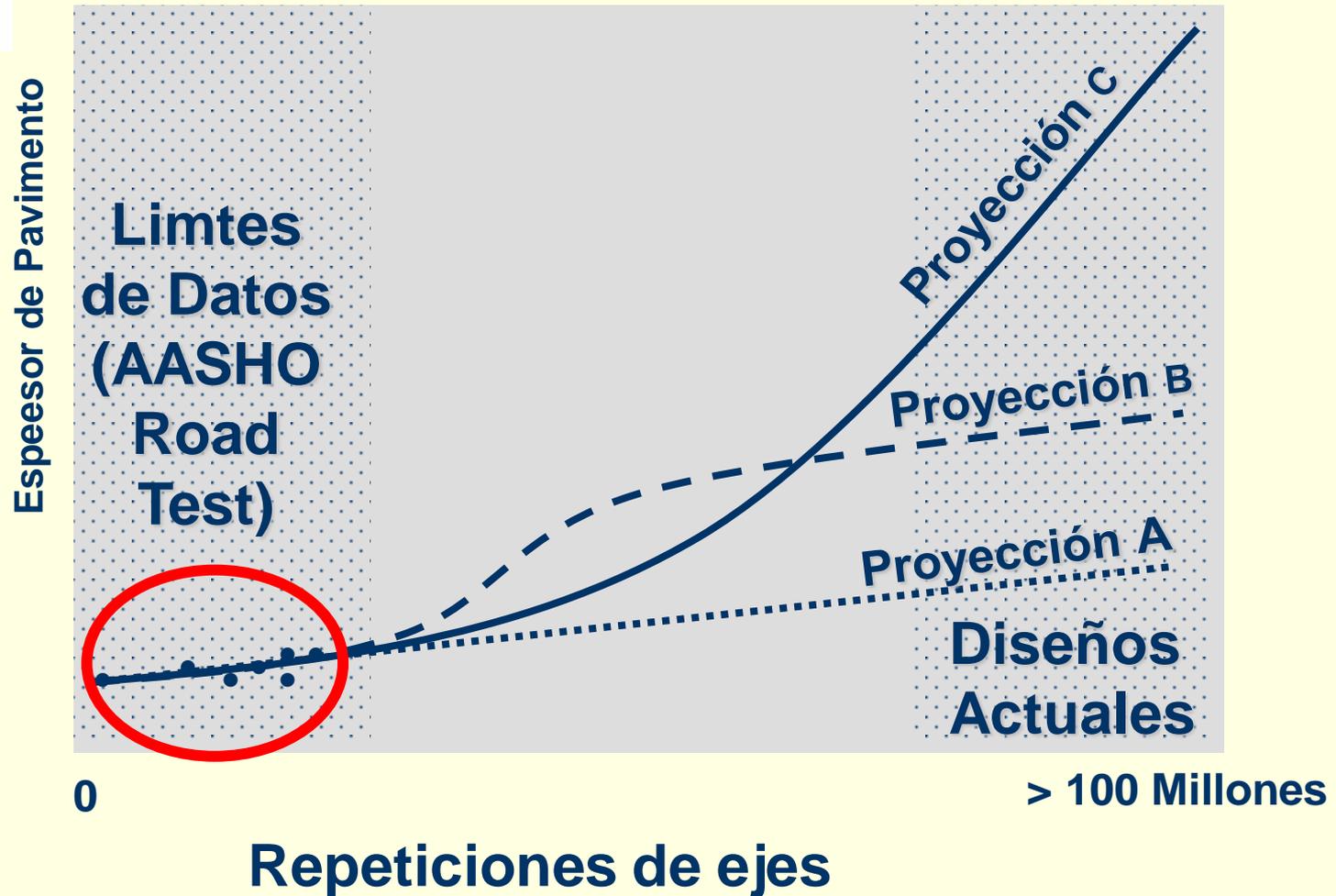
Cargas de Tráfico de los 50' s .

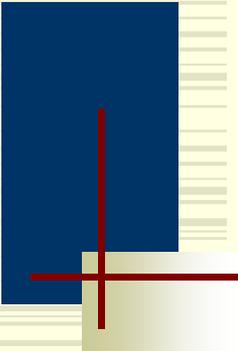


Figure 23. Test vehicles, showing typical axle arrangements and loadings.

(AASHO, 1961)

Limitadas Aplicaciones de Tráfico



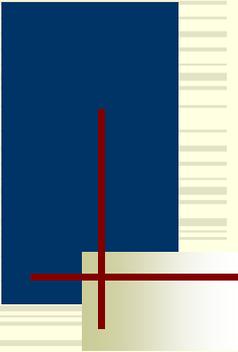


Otros Tópicos

- ◆ Una zona climática
- ◆ Un tipo de base
- ◆ Sin drenes
- ◆ Calidad de la construcción superior a la normal
- ◆ Baja performance medida y modelada
- ◆ Limitada incorporación de confiabilidad

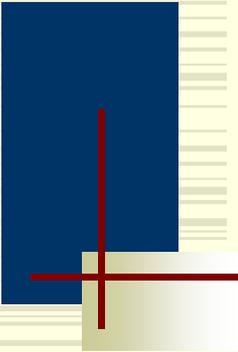
El estudio LTPP (Long Term Pavement Performance)





El Diseño M-E

- ◆ No solo diseño de espesores!!!
- ◆ Estudio detallado de consideraciones estructurales y de los materiales
- ◆ Guías mejoradas para el diseño de rehabilitaciones
- ◆ Mejor manejo de los efectos climáticos y de la confiabilidad en el diseño



Beneficios del Diseño M-E

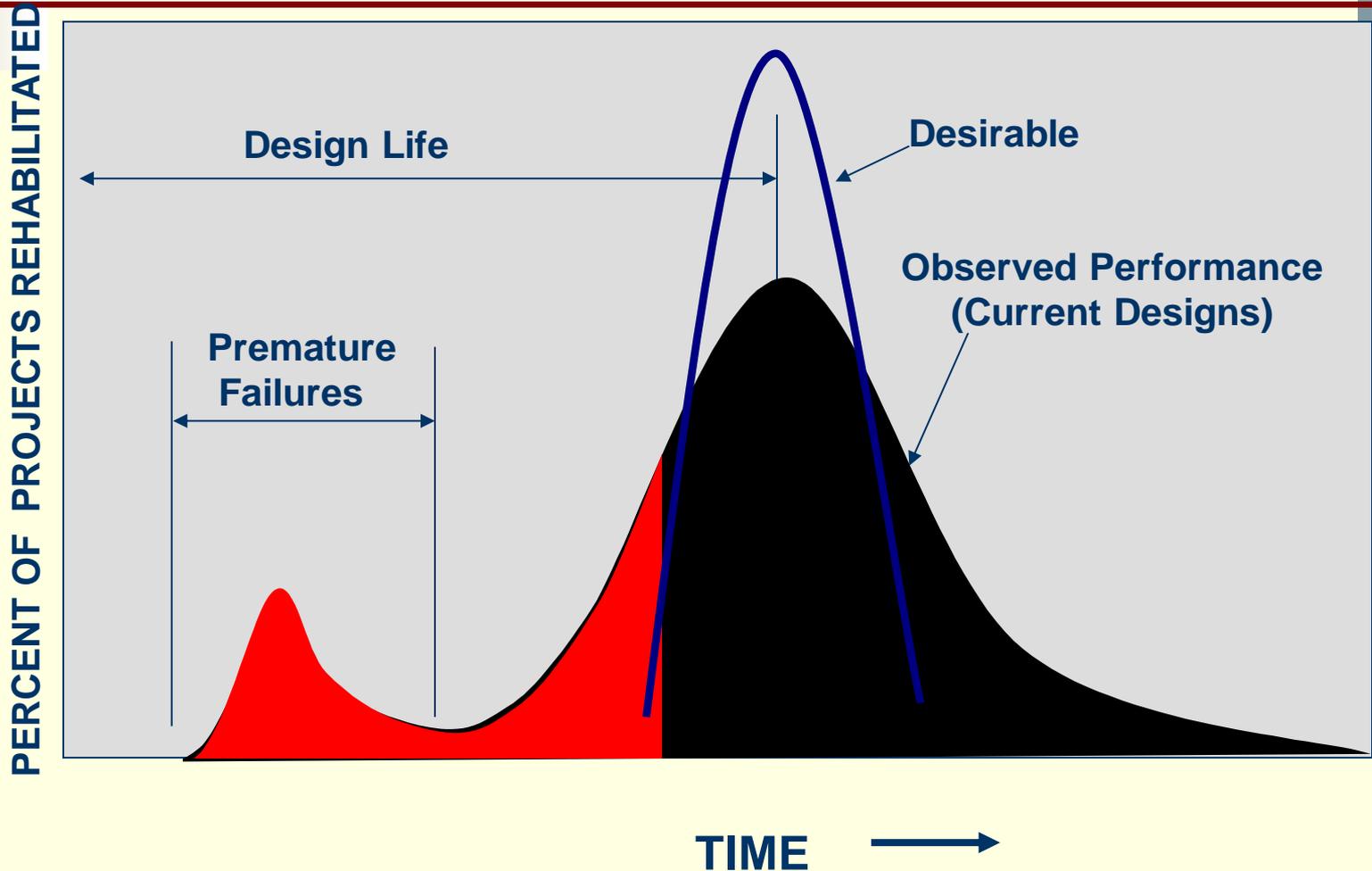
◆ Nuevos Conceptos

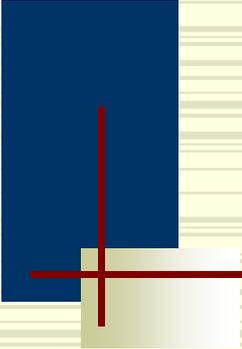
- Performance basada en deformaciones y calidad de la circulación
- Mejor caracterización de los pavimentos existentes
- Consideraciones directas del drenaje y de la erosión en la subbase

◆ Adaptabilidad

- Mejora el manejo de los cambios de las características del tráfico
- Habilidad para incorporar cambios de los materiales de pavimentos
- Habilidad para extrapolar resultados de estudios de campo y de laboratorio

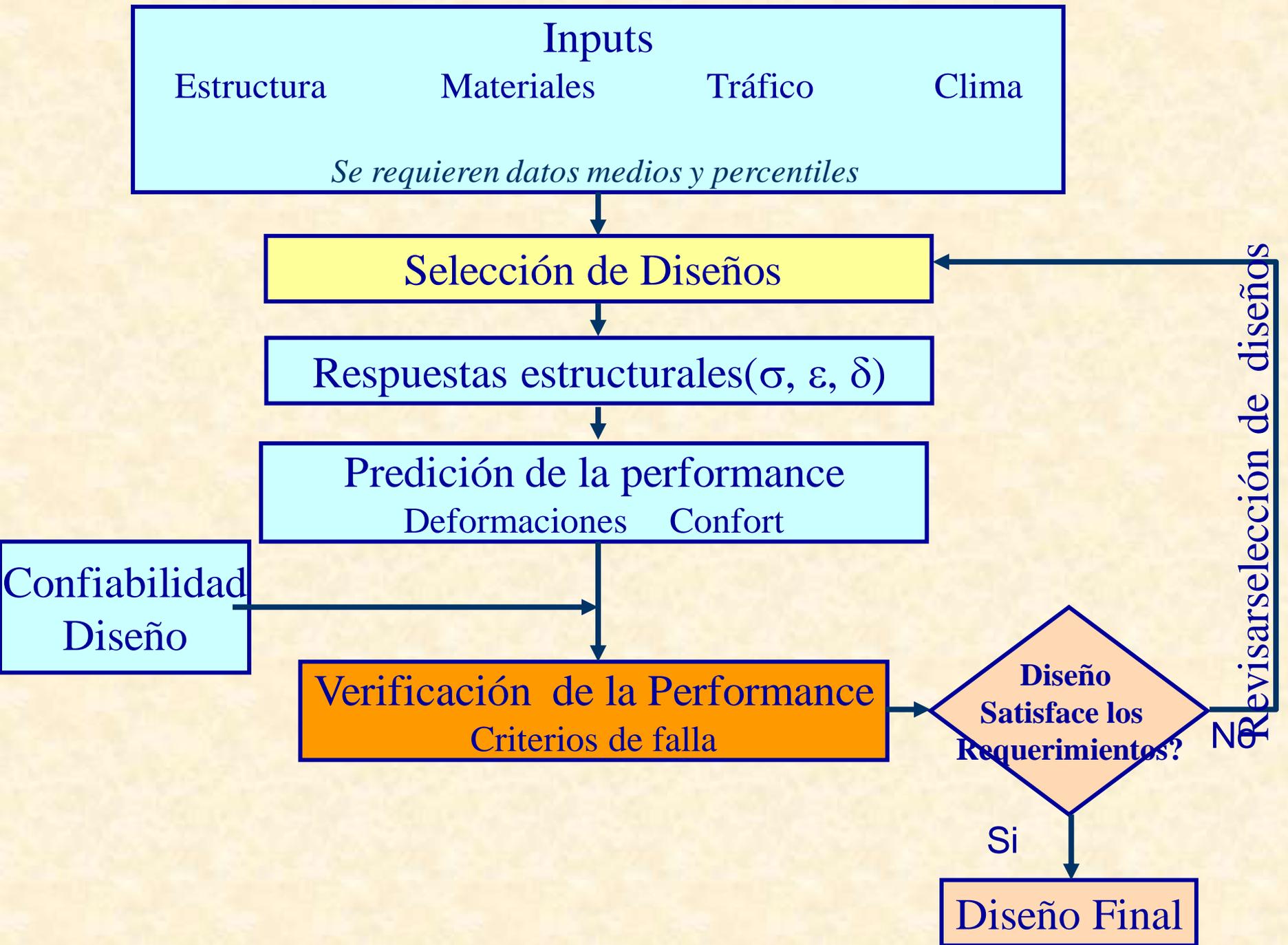
Ahorros Potenciales

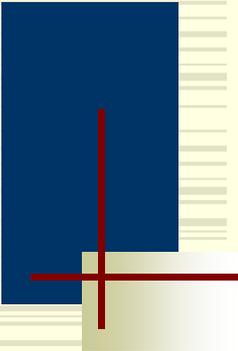




Marco conceptual y Componentes del Diseño M-E

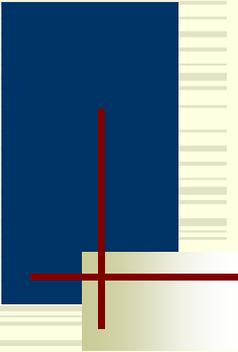






Componentes Claves del Diseño M-E

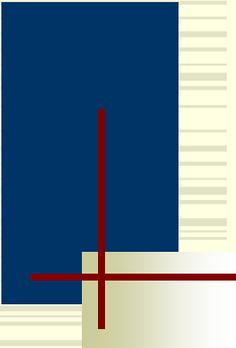
- ◆ Inputs
- ◆ Modelos de Respuesta Estructural
- ◆ Precisión de la performance
 - Modelos de Deterioro
 - Modelos de Regularidad
- ◆ Criterios de falla
- ◆ Confiabilidad del Diseño



Componentes Claves del Diseño M-E

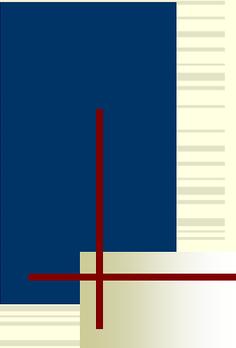
➔ Inputs

- ◆ Modelos de Respuesta Estructural
- ◆ Predicción de la Performance
- ◆ Criterios de Falla
- ◆ Confiabilidad del Diseño



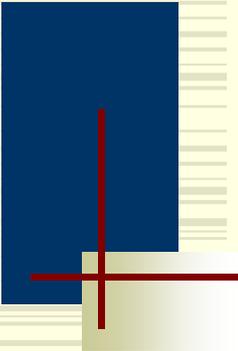
Inputs

- ◆ Inputs relacionados con el sitio (no pueden ser alterados económicamente)
 - Tráfico—ESALs o espectro de cargas
 - Subrasante— propiedades, tensiones, modulos
 - Clima— precipitaciones, temperaturas
- ◆ Inputs relacionados con el diseño (el diseño tiene control de estas propiedades)
 - Secciones estructurales de pavimentos sección—espesores, tipos de capas
 - Materiales del pavimento—tensiones, modulos



Inputs

- ◆ El grado de sofisticación de los inputs es función de
 - Modelos de respuesta estructural
 - Función de la transferencia
 - Confiabilidad
- ◆ Procedimientos M-E puede manejar inputs complejos de materiales y trafico
 - Cracterización No –lineal de los materiales
 - Variabilidad de inputs



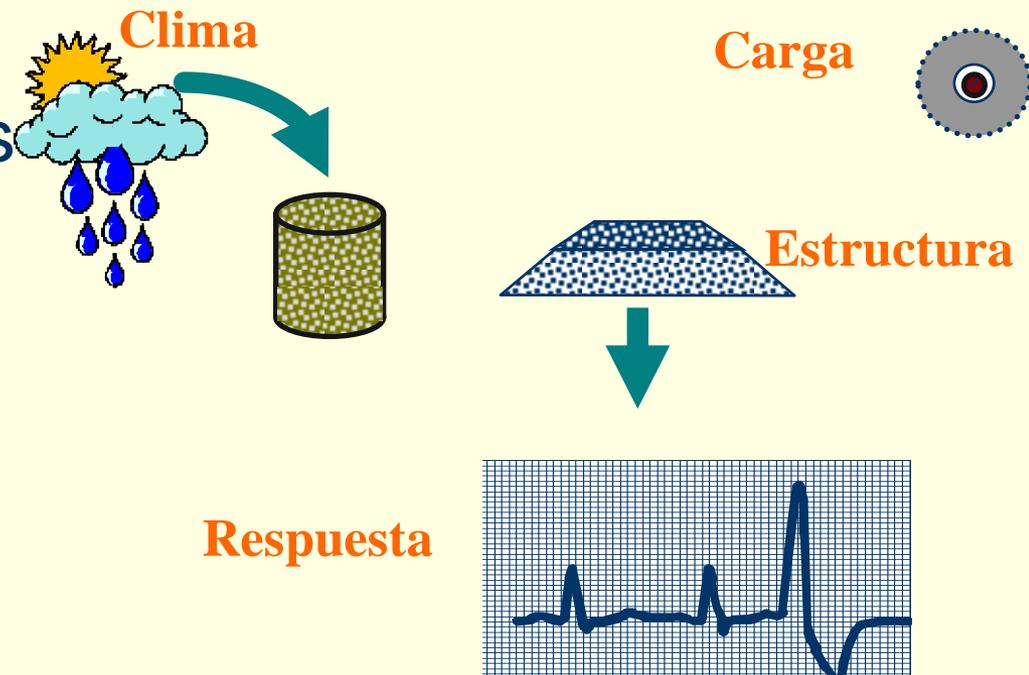
Componentes Claves del Diseño M-E

- ◆ Inputs
- ➔ Modelos de Respuesta Estructural
- ◆ Predicción de la performance
- ◆ Criterios de falla
- ◆ Confiabilidad del Diseño

Modelos de Respuesta estructural

- ◆ Ayuda a determinar la respuesta del pavimento como función de las cargas aplicadas (trafico o ambientales)

- Tensiones
- Deformaciones
- Deflexiones



Tensión

- ◆ Fuerza por Unidad de Area

$$\sigma = \frac{\text{Carg}}{\text{Area}} = \frac{P}{A}$$

- ◆ Unidad: MPa, psi, ksi
- ◆ Tipo: soporte (penetración), corte, axial

Deformación

- ◆ Porcentaje de deformación causada por cargas de la longitud original del material

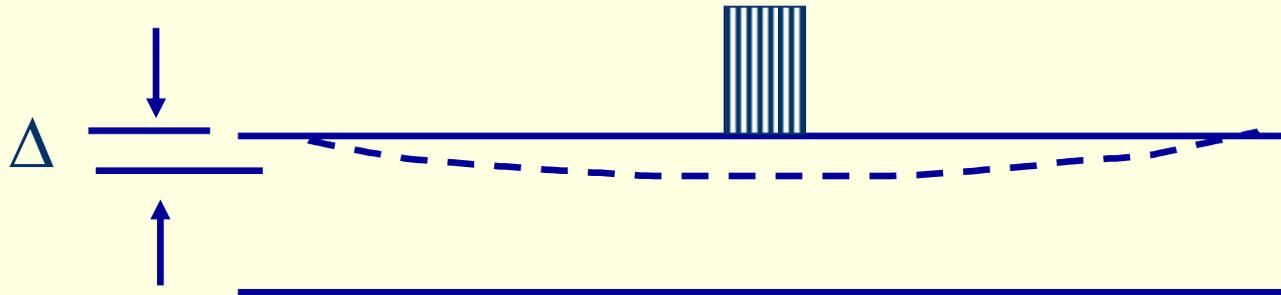
$$\varepsilon = \frac{\text{Cambio en Long.}}{\text{Original Long.}} = \frac{\Delta L}{L}$$

- ◆ Unidades: Adimensional
- ◆ En el rango elástico de deformaciones:

$$\sigma = E \varepsilon$$

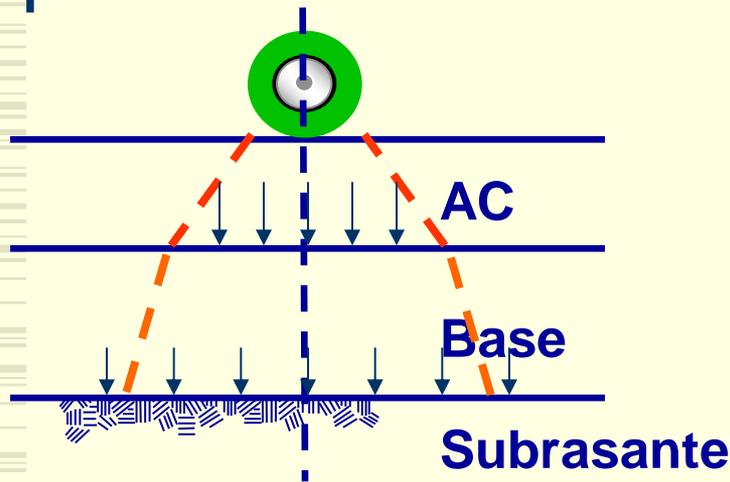
Deflexión (Δ)

- ◆ Cambio en longitud
- ◆ Deformaciones
- ◆ Unidades: mm, mils (0.001 in)

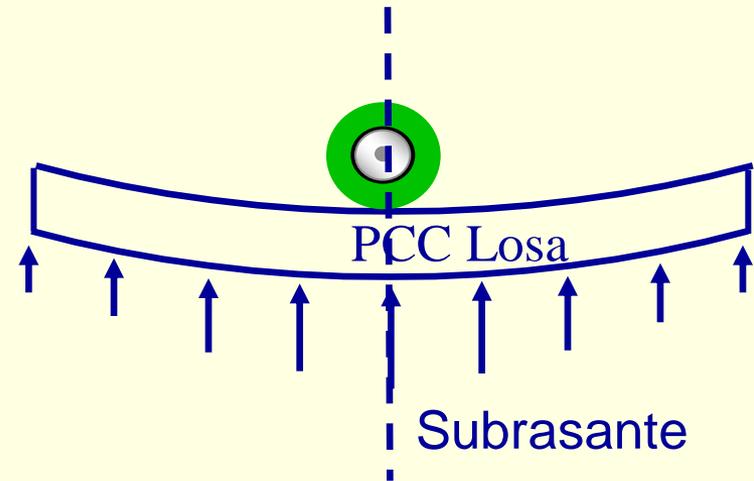


Modelo de Respuesta Estructural

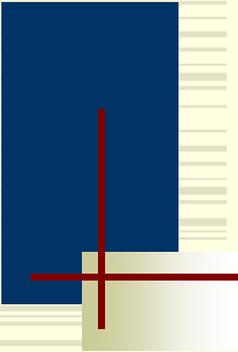
- ◆ Diferentes métodos de análisis para CA y para PCC



- Sistema de capas
- Todas las capas toman cargas

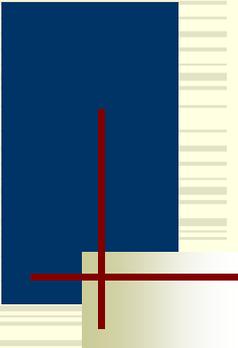


- Losa posee acción predominante
- Losa toma toda la carga



Componentes Claves del Diseño M-E

- ◆ Inputs
- ◆ Modelos de Respuesta Estructural
- ➔ **Predicción de la Performance**
- ◆ Criterios de Falla
- ◆ Confiabilidad del Diseño



Indicadores de la Performance de Pavimentos Flexibles

- ◆ Fisuras de Fatiga– Bottom-up
- ◆ Fisuras de Fatiga – Top-down
- ◆ Deformación Permanente (Rutting)
- ◆ HMAC Fisuras Térmicas
- ◆ Calidad de la Regularidad Superficial (Smoothness)

Fisuras de Fatiga



Deformación Permanente



Causas?? Cargas, Clima, Materiales

Fisuras por Bajas Temperaturas

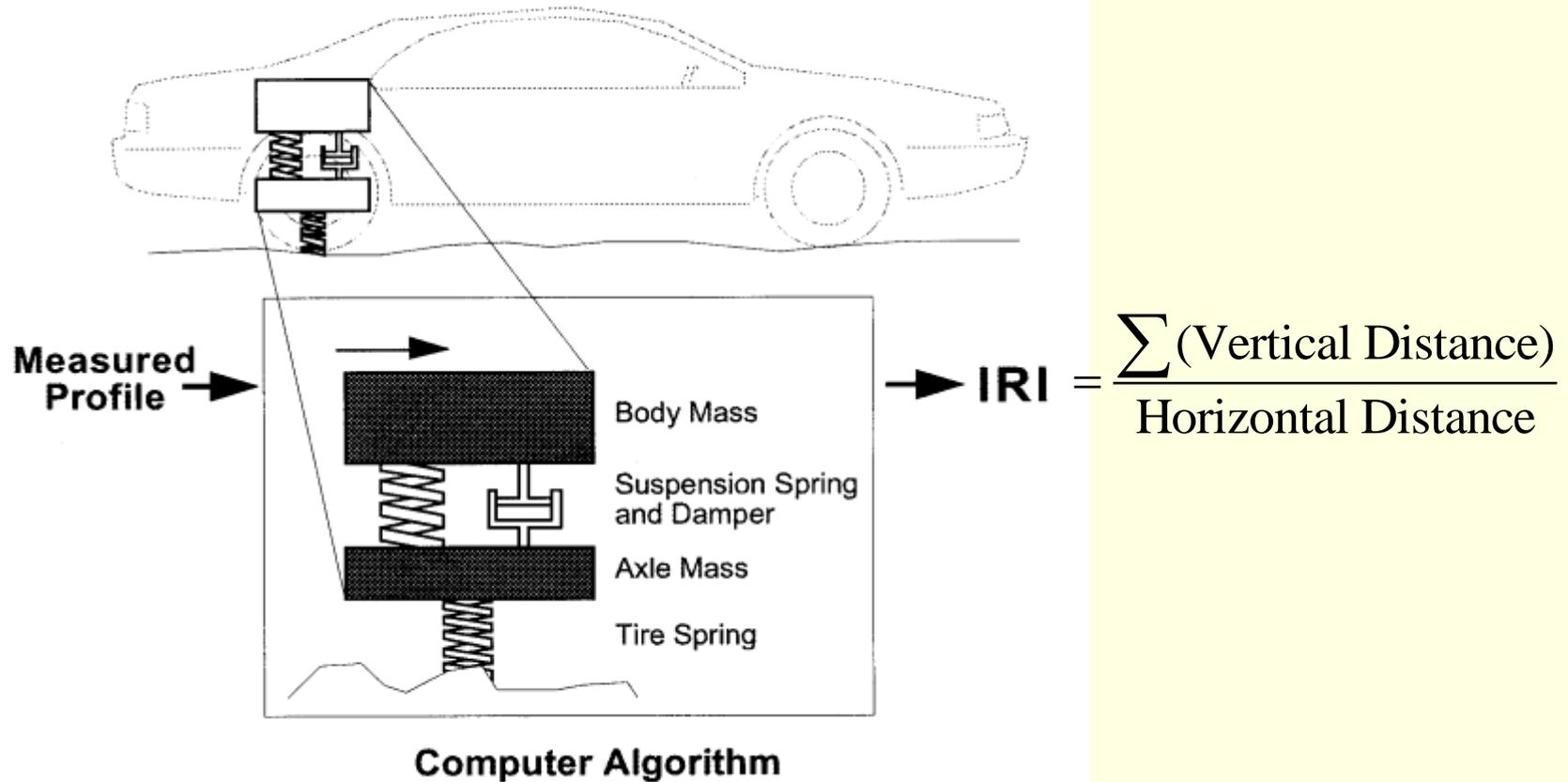


Causas?? Materiales

Calidad de Circulación

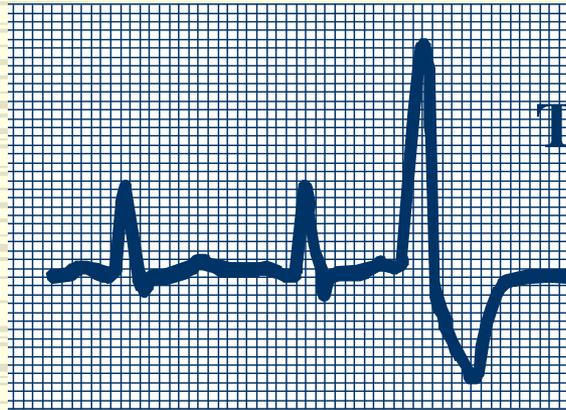
International Roughness Index (IRI)

Speed = 80 km/h



Como Predecir las Fallas?

**Respuesta del
Pavimento**



**FUNCIONES DE
TRANSFERENCIA**



Fallas



Respuesta Fallas Correlaciones – CA

Tipo de Falla

- ◆ Fisuras de Fatiga
- ◆ Deformación Permanente

- ◆ Fisura por baja temperatura
- ◆ Fisura por fatiga térmica

Respuesta Crítica Relevante

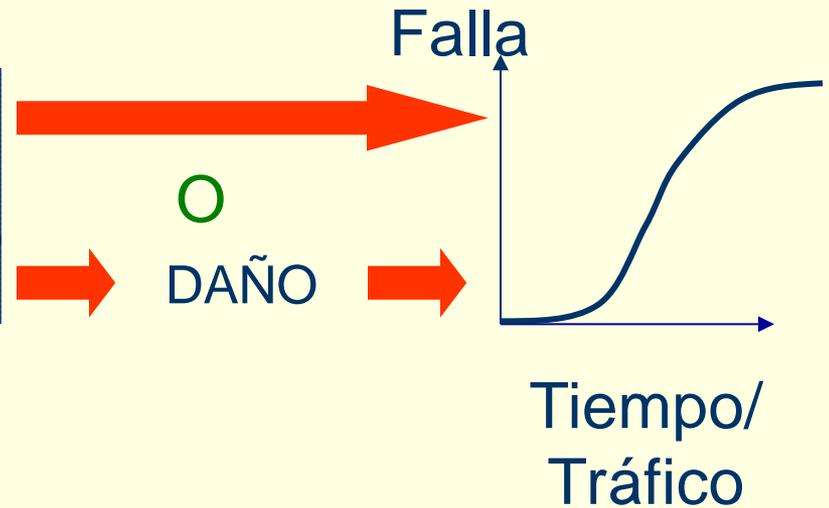
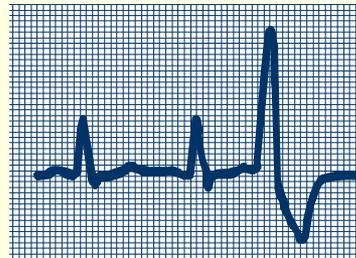
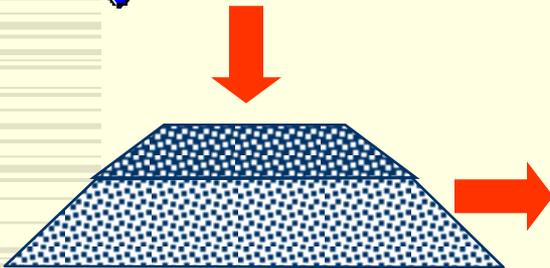
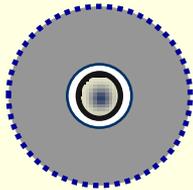
- ◆ Def. por tracción en la capa de CA
- ◆ Def. Vertical en la subrasante,
Def. Plástica en CA,
Tensiones en capas no ligadas
- ◆ Tensiones de tracción en CA

- ◆ Def. por tracción en CA

Funciones de Transferencia o modelos de Performance

- ◆ Existen multiples funciones de transferencia para predecir los principales fallas identificadas del pavimento
- ◆ Las funciones de transferencia pueden ser clasificadas en las siguientes categorías:
 - Daño por fatiga
 - Modelos de predicción del deterioro

Predicción de la Performance

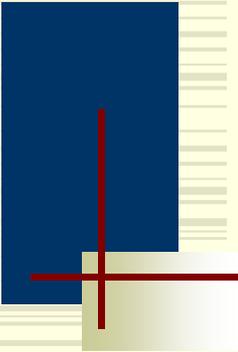


Daño Incremental Acumulado

- ◆ “El daño siempre es incremental
- ◆ Es factible dividir en períodos (anual, estacional, día/noche)
- ◆ Cambios pueden deberse
 - Tensión del material y rigidez
 - Humedad y temperaturas
 - Variaciones estacionales y anuales del tráfico

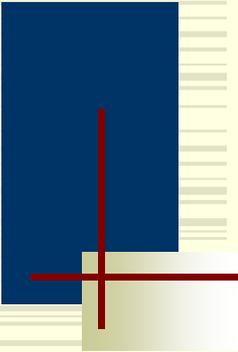
Calibración de los Modelos de Performance del Deterioro

- ◆ El daño de las respuestas es correlacionado con las fallas a través de ecuaciones de performance calibradas
- ◆ La calidad de las observaciones, las técnicas estadísticas utilizadas y un adecuado modelo usado en la calibración afecta el comportamiento de las funciones de transferencia.



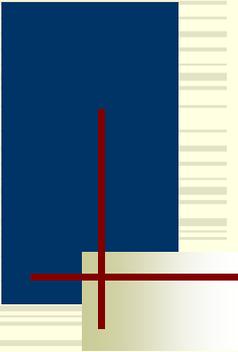
Predicción de la Regularidad

- ◆ No existe un modelo mecanístico que permita predecir la regularidad
- ◆ IRI es actualmente predecido basado en una combinación de
 - IRI inicial
 - Cambios en las fallas
 - Efecto de actividades de mantenimiento



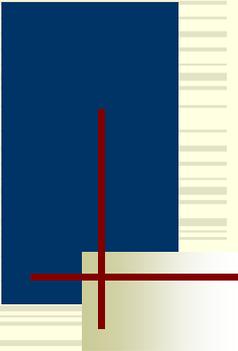
Componentes Claves del Diseño M-E

- ◆ Input module
- ◆ Structural response models
- ◆ Performance prediction
- ➔ Criterios de falla**
- ◆ Design reliability



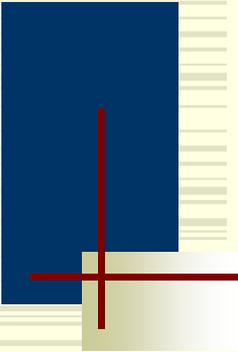
Criterio de Falla

- ◆ El éxito o la falla de un diseño seleccionado es determinado por un chequeo de las fallas predecidas vs criterio de falla elegido
- ◆ El diseño puede fallar
 - El daño predicho es mayor que el aceptable
 - La regularidad predicha es inaceptable



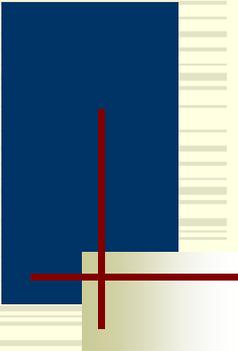
Componentes Claves del Diseño M-E

- ◆ Inputs
 - ◆ Modelos de Respuesta Estructural
 - ◆ Predicción de la Performance
 - ◆ Criterios de Falla
- ➔ Confiabilidad en el diseño**



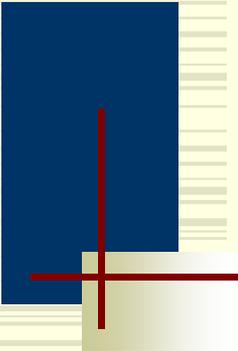
Confiabilidad

- ◆ En el diseño M-E, cada variación puede ser modelada separadamente o puede ser tomada con un factor de ajuste independiente.



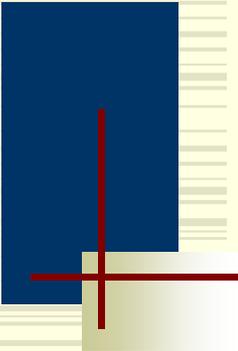
Desarrollos Actuales y Futuros

- ◆ Calibración de los modelos en cada estado de EEUU
- ◆ Adopción de los nuevos métodos en cada estado
- ◆ Investigaciones del funcionamiento de los pavimentos en cada región



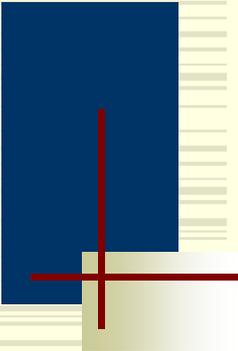
Situación en Paraguay

- ◆ Pavimentos de tipo flexible
- ◆ Uso intensivo del AASHTO 1993, no calibrado.
- ◆ Comienzo incipiente del uso de métodos mecanicistas



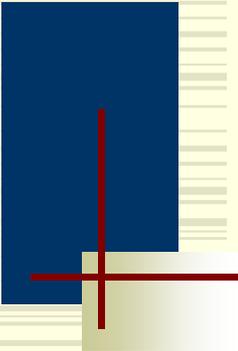
Diseño estructural en Paraguay

- ◆ Los coeficientes de aporte estructural no se encuentran calibrados a las condiciones locales.
- ◆ Temperaturas muy elevadas
- ◆ Altos porcentajes de humedad
- ◆ Diferentes formas de explotación de materiales a las utilizadas en EEUU



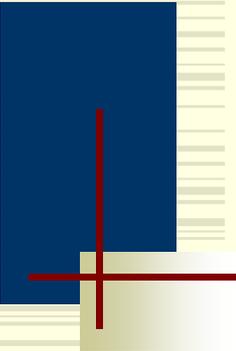
Diseño estructural en Paraguay

- ◆ Que semejanza hay con el AASHTO ROAD TEST de Illinois? Ninguna
- ◆ Materiales particulares de la región, por ejemplo: suelos lateríticos en la región oriental, suelos dispersivos en la región occidental.



Que podemos hacer?

- ◆ Como podemos introducir estas condiciones en los modelos de predicción de fallas?



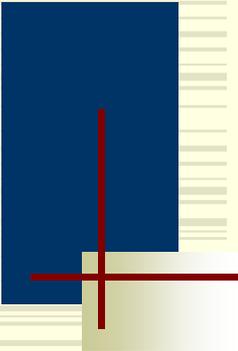
Que podemos hacer?

- ◆ Investigando y analizando tramos de prueba y viendo su comportamiento en el tiempo (LTPP).
- ◆ Es necesario que el MOPC encare tareas que permitan ajustar sus diseños.

Que podemos hacer?

Para ellos se debería contar con:

- ◆ Decisión política
- ◆ Recursos humanos
- ◆ Recursos de equipamiento
- ◆ Infraestructura
- ◆ Fuentes de Financiamiento asegurada



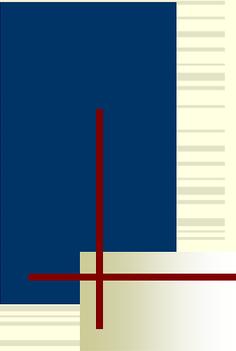
Que podemos hacer?

- ◆ Apoyo de expertos con experiencia en este tema.
- ◆ Seguimiento de estas tareas a muy largo plazo.

Que podemos hacer?

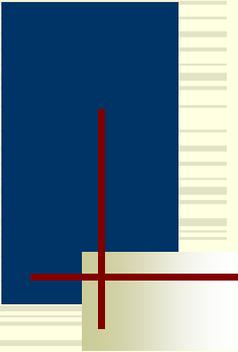
Considero que dadas las características de Paraguay:

- ◆ Superficie mediana
- ◆ Dos zonas geográficas bien diferenciadas
- ◆ Pavimentos flexibles
- ◆ Una red no muy extensa



Que podemos hacer?

- ◆ Es razonable y prudente que comience a desarrollar un Plan para calibración que sin duda redundará en mejores diseños con mayor durabilidad
- ◆ Hay ejemplos de cómo los pavimentos han sufrido deterioros prematuros en los últimos años, Chaco, Concepción-Pozo Colorado, etc.



Conclusiones

- ◆ El avance del desarrollo en el diseño de pavimentos deja atrás los métodos empíricos y se direcciona hacia métodos mecanísticos
- ◆ Aplicar métodos empíricos sin calibrar sus variables pueden llevarnos a importantes errores (sobre o subdimensionamientos)

Conclusiones

- ◆ Las características propias de Paraguay (superficie, climas, regiones geográficas) permitirían realizar una calibración de los modelos utilizando experimentos en escala real similares a los utilizados en el LTPP de EEUU.



MUCHAS GRACIAS