

# ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS VIALES

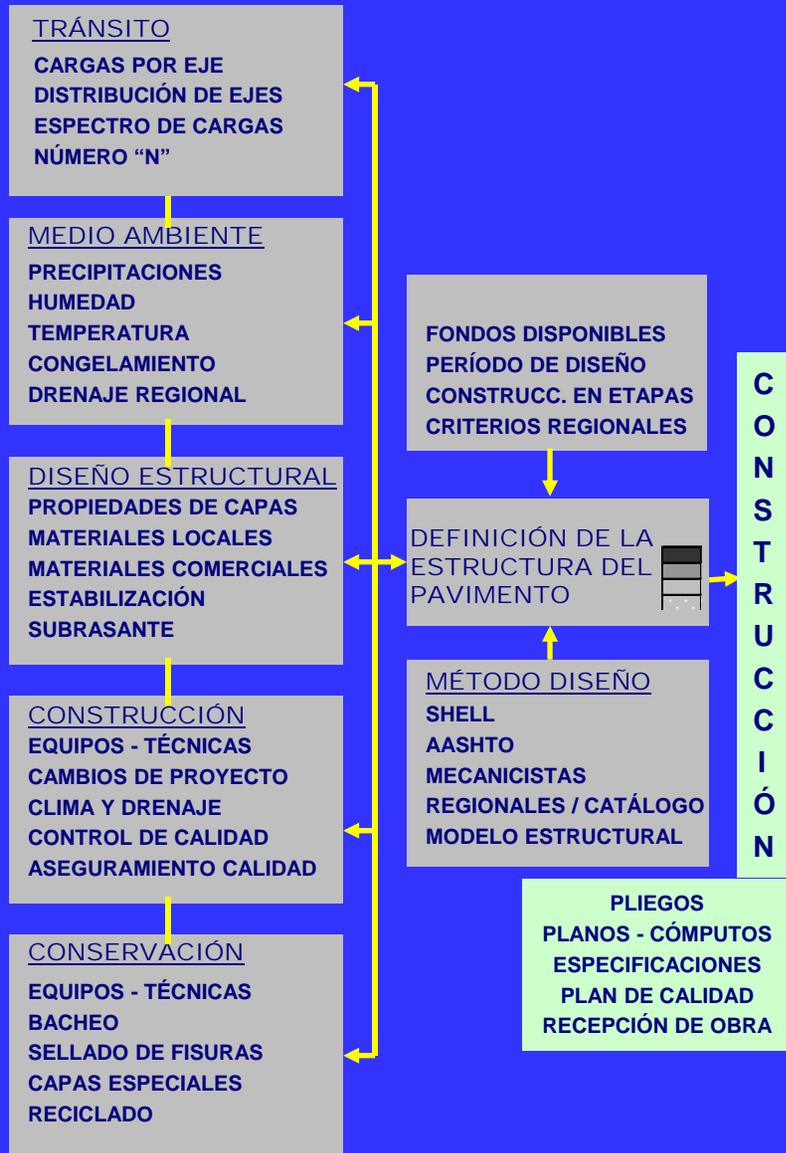
## CON HDM-4



**Dra Ing Marta Pagola**

**Dr Ing Oscar Giovanon**

**Universidad Nacional de Rosario - Argentina**



- NIVEL DE ENSEÑANZA DE LA INGENIERIA DE PAVIMENTOS EN ALGUNAS UNIVERSIDADES, EN LA ACTUALIDAD O EN ALGÚN MOMENTO DEL SIGLO XX.
- ES COMO SI EL PROBLEMA DE LOS PAVIMENTOS FUERA SU PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN.
- ES LA IDEA DEL "PAVIMENTO ETERNO" PARA X AÑOS DE VIDA ÚTIL.
- PERO, COMO VEREMOS, EL VERDADERO PROBLEMA DE LOS PAVIMENTOS COMIENZA CON SU CONSTRUCCIÓN Y SU COMPORTAMIENTO EN SERVICIO.

## INGENIERIA DE PAVIMENTOS. ESQUEMA CONCEPTUAL

# EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

- EL PROBLEMA ES QUE UNA VEZ PUESTO EN SERVICIO EL PAVIMENTO COMIENZA A TENER RESPUESTAS FAVORABLES O DESFAVORABLES QUE DEBEN EVALUARSE PERMANENTEMENTE.
- SU MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN EN TIEMPO OPORTUNO REQUIEREN DE LAS MODERNAS TÉCNICAS DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS.

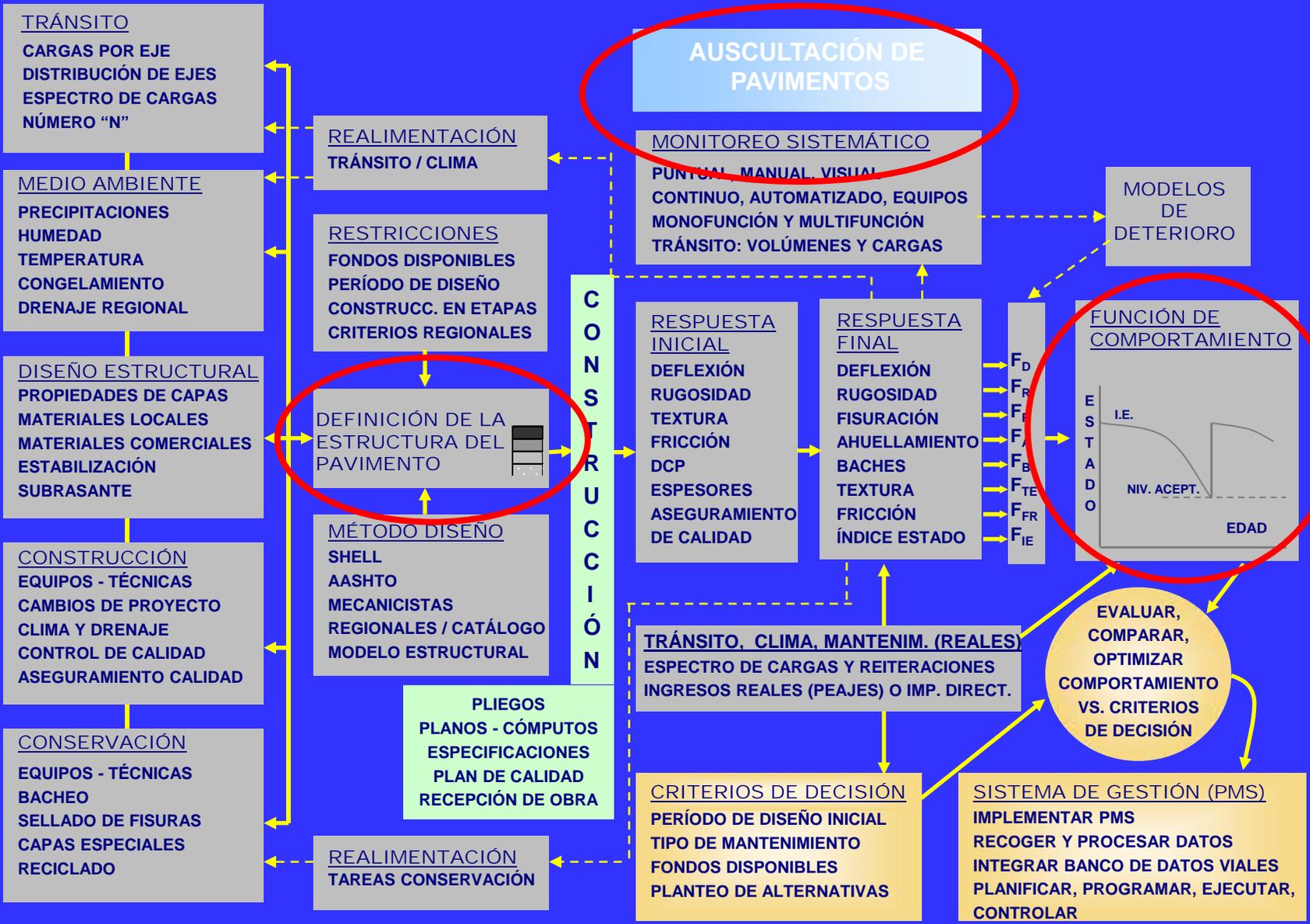


INGENIERIA DE PAVIMENTOS. ESQUEMA CONCEPTUAL

G  
E  
S  
T  
I  
Ó  
N  
  
D  
E  
  
P  
A  
V  
I  
M  
E  
N  
T  
O  
S

# EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

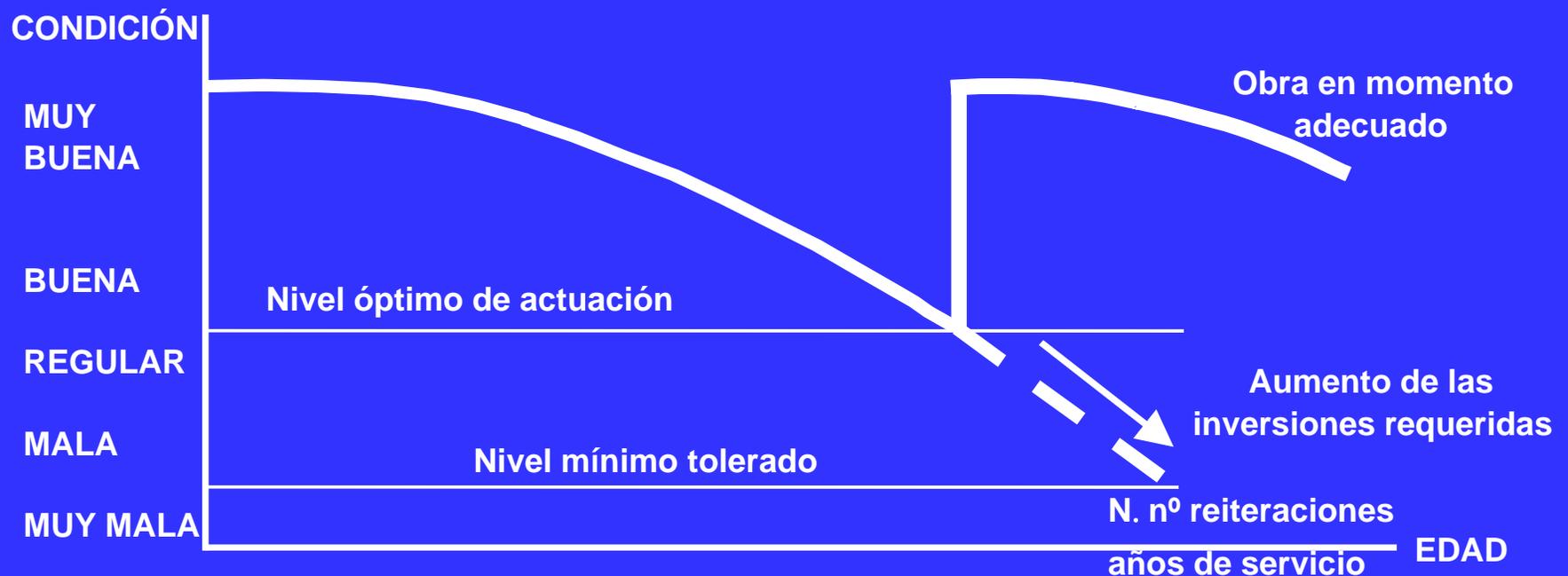
G E S T I Ó N D E P A V I M E N T O S



INGENIERIA DE PAVIMENTOS. ESQUEMA CONCEPTUAL

# PERFORMANCE O CICLO DE VIDA

Mantener la calidad de servicio de la carretera durante el período planteado de diseño, resistiendo las sollicitaciones impuestas por el tránsito y el clima



# CALZADA PAVIMENTADA



# CALZADA NO PAVIMENTADA

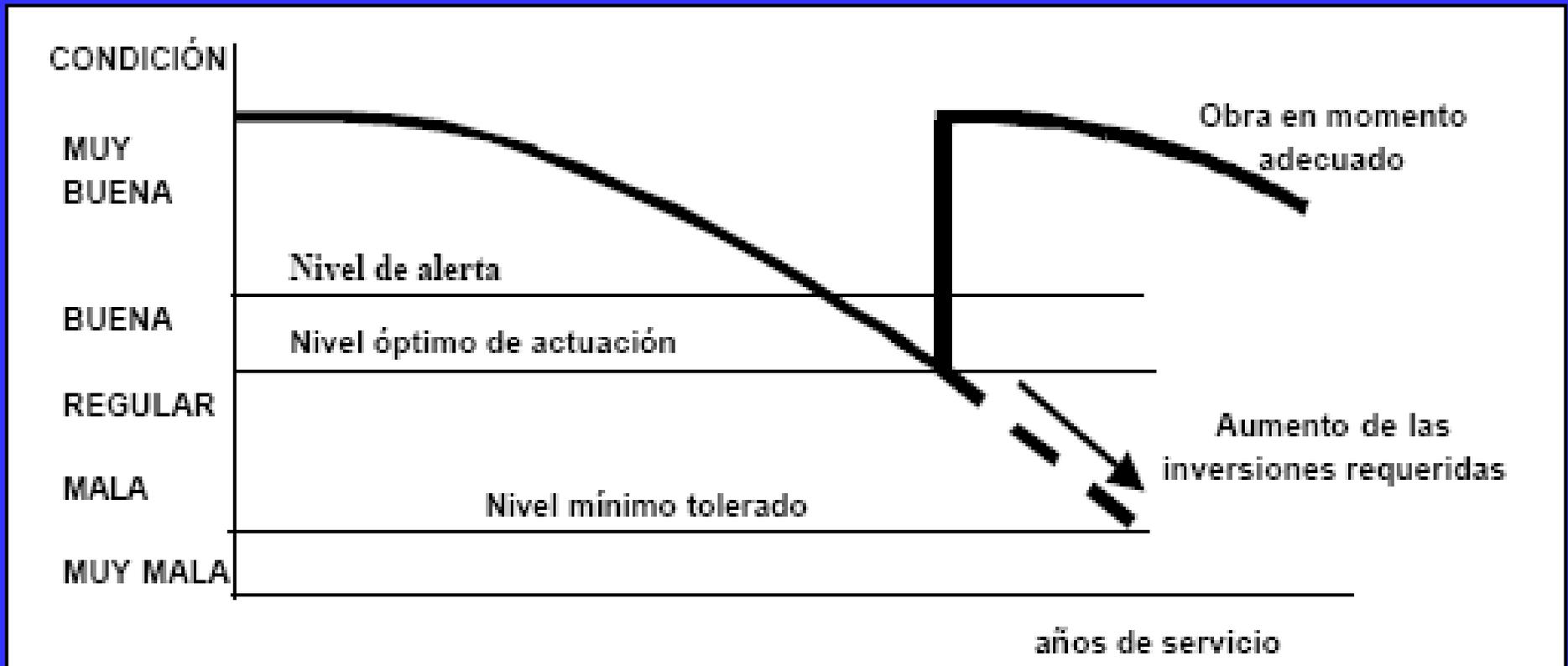


# EVENTOS FISICOS – INVENTARIO

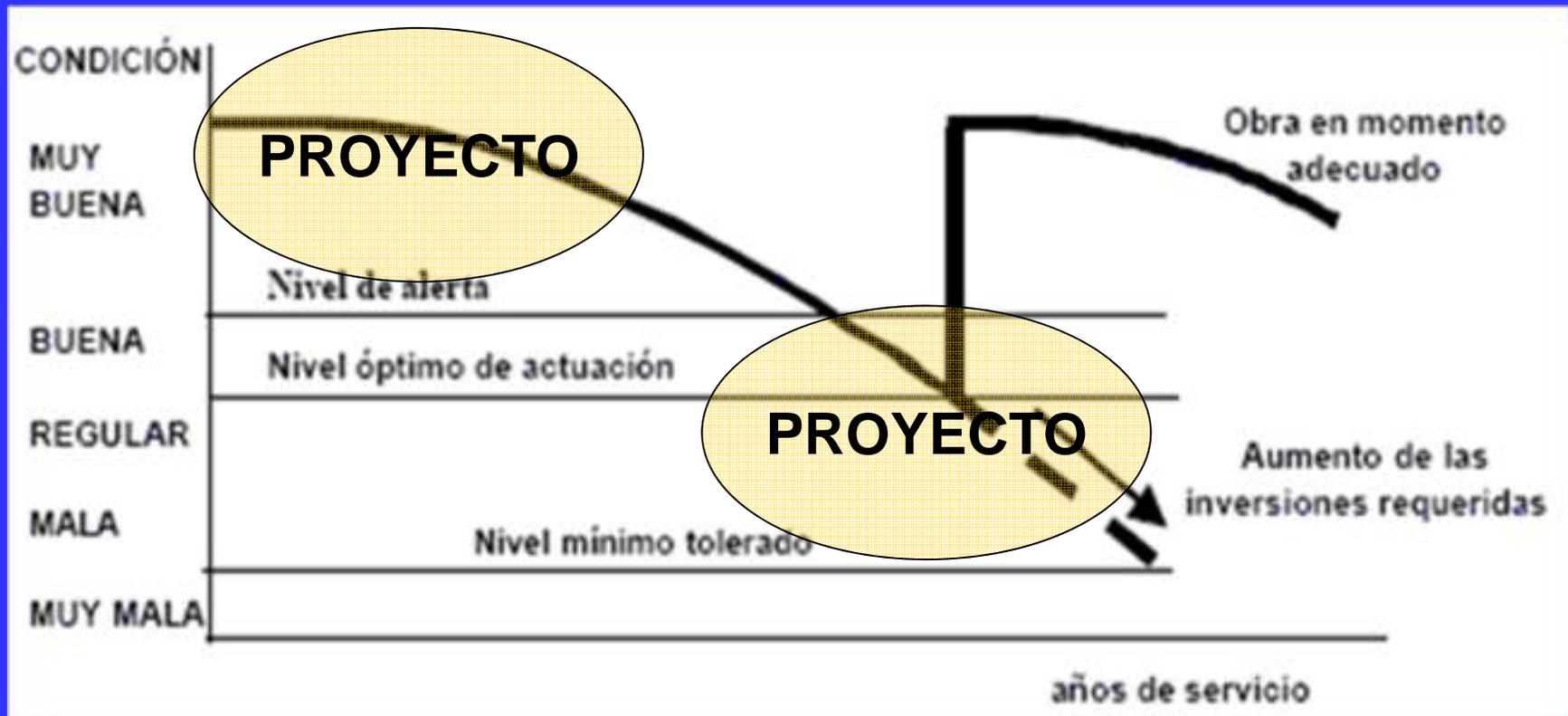
## PUENTES ILUMINACIÓN



# EVOLUCIÓN DEL COMPORTAMIENTO



# EVOLUCIÓN DEL COMPORTAMIENTO



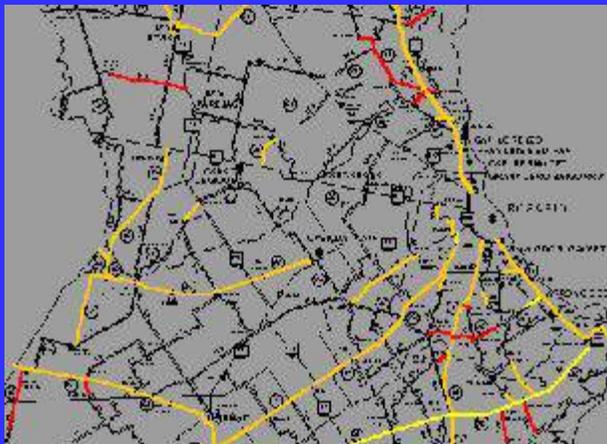
**NECESARIO CUANDO ALGUNO DE LOS INDICADORES DE CALIDAD NO CUMPLE CON LOS ESTÁNDARES PREFIJADOS**

# NIVELES DE PROYECTOS VIALES

## NIVEL RED

**Objetivo: Gerenciamiento de la red.**

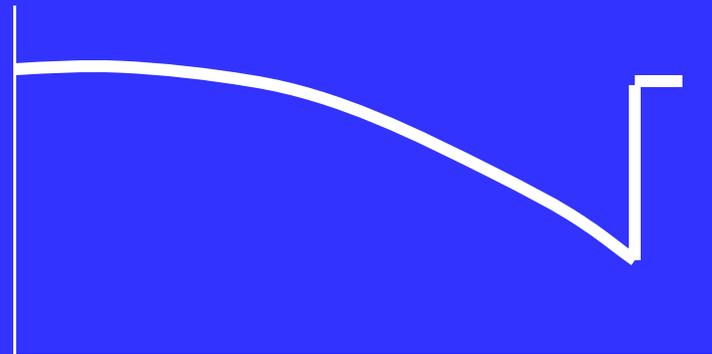
- **tramificación**
- **presupuestos anuales conservación construcción.**
- **pasar a proyecto de mejoras.**



## NIVEL TRAMO

**Objetivo: profundizar el estudio sobre un tramo.**

- **proyecto de mejorar**
- **certificar la calidad lograda, recepción de obra.**
- **seguimiento de tramos experimentales**



## **SITUACIONES DE PROYECTOS**

- Proyecto en una red conocida
- Proyecto en rutas sin dato
- Diseño de caminos nuevos (inexistentes)

## **VENTAJAS DE TENER UN SISTEMA DE GERENCIAMIENTO**

- Conocer historia de los deterioros y mantenimientos
- Conocer la respuesta de las alternativas en proyectos de caminos similares
- Disponer de mayor cantidad de datos

**IMPORTANTE NO SOLO PARA LA ADMINISTRACIÓN  
PÚBLICA SINO TAMBIÉN PARA LOS PRIVADOS  
(CONCESIONES, ZONAS INDUSTRIALES)**

# BENEFICIARIOS DE LOS PROYECTOS VIALES

## USUARIOS

A través de la reducción de:

- costos de circulación y tiempo de viaje,
- desgaste de los vehículos,
- accidentes.

Del aumento de:

- calidad,
- confort y
- seguridad de circulación.



# JUSTIFICACIÓN DE LOS PROYECTOS VIALES

DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA

**LA JUSTIFICACIÓN ES REDUCIENDO LOS COSTOS  
DE LOS USUARIOS**

DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL INVERSOR PRIVADO

**LA JUSTIFICACIÓN ES OPTIMIZANDO LOS COSTOS  
DE INVERSIONES DE CAPITAL Y DE  
MANTENIMIENTO, RESPETANDO UNA CALIDAD DE  
SERVICIO PREESTABLECIDA**

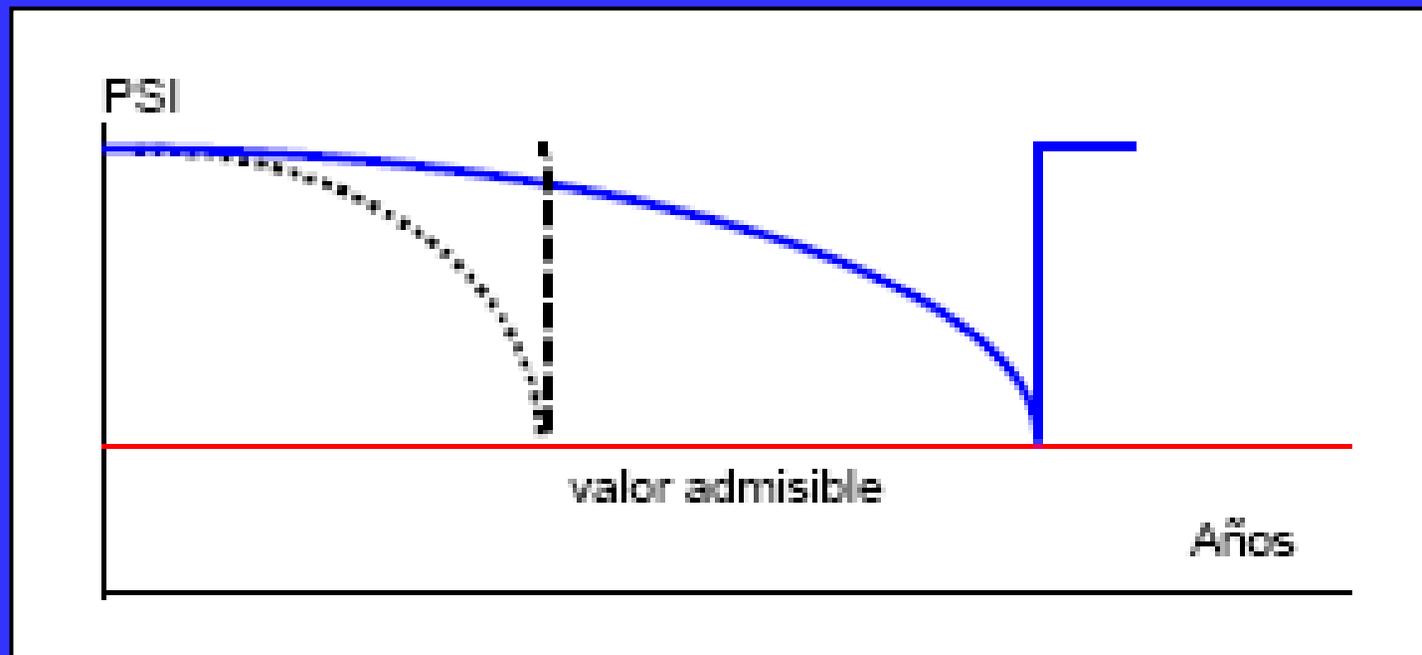
## TIPOS DE PROYECTOS

**INVERSIÓN** (obras nuevas – ampliación existentes)

**MANTENIMIENTO** (durante n años para mantener calidad)

**REHABILITACIÓN** (mejora por deterioros mayores)

Cada uno de ellos tendrá distintas alternativas, todas ellas basadas en análisis técnicos



# DATOS NECESARIOS PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS VIALES

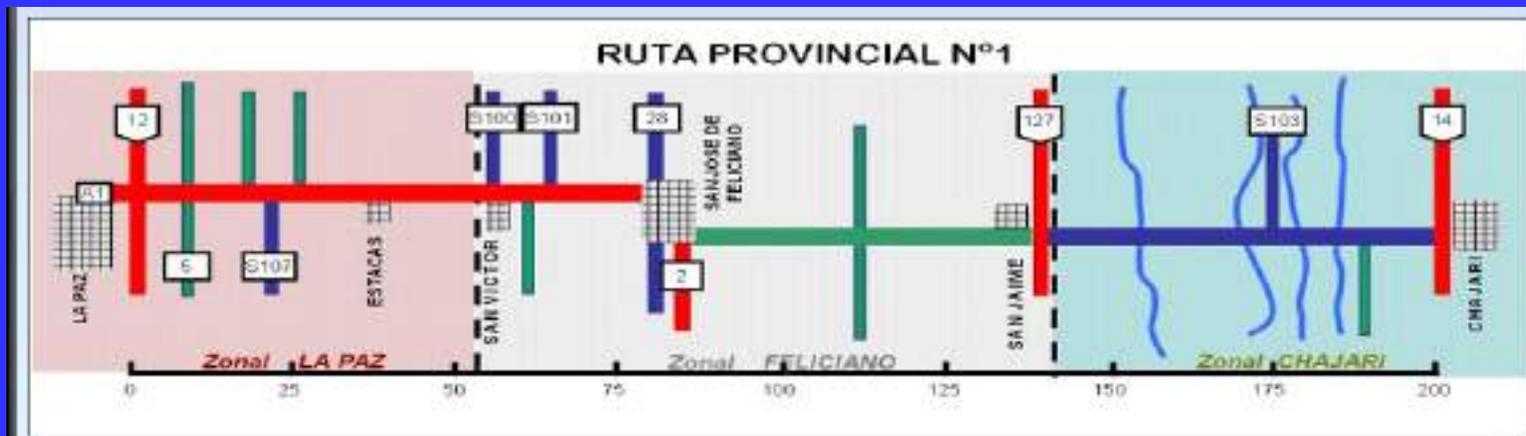
## BASE DE DATOS

Los datos a incluir son seleccionados según sean los usos previstos para el Sistema, en general son:

## DEFINICIÓN DE RUTAS

Comprende la asignación de un nombre a la ruta que permita su identificación y además un mapa que permita determinar su ubicación geográfica.

En el mismo pueden indicarse las principales localidades que la misma atraviesa, intersecciones, ríos y referencias kilométricas.



# DATOS NECESARIOS PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS VIALES

## EVENTOS DE INVENTARIO

El mismo permite la vinculación de hechos físicos existentes en la ruta a un sistema de progresivas.

Posibilita el conocimiento de un variado número de eventos y su ubicación como ser:

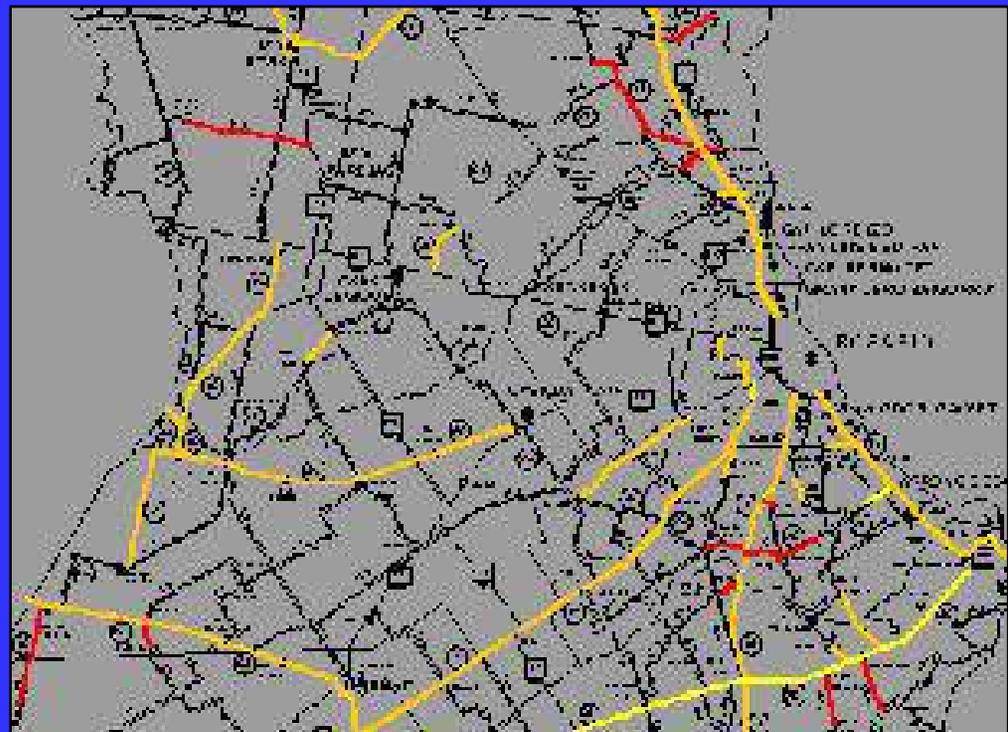
- Tipo de intersecciones
- Alcantarillas
- Señalización vertical y horizontal
- Barandas de seguridad
- Puentes
- Zonas urbanas
- Eventos especiales

# DATOS NECESARIOS PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS VIALES

## LOCALIZACIÓN DE POBLACIONES Y/O INDUSTRIAS

Permite la vinculación de poblaciones, industrias, escuelas, establecimientos agrícolas, establecimientos ganaderos, todos hechos físicos existentes en la ruta a un sistema de progresivas.

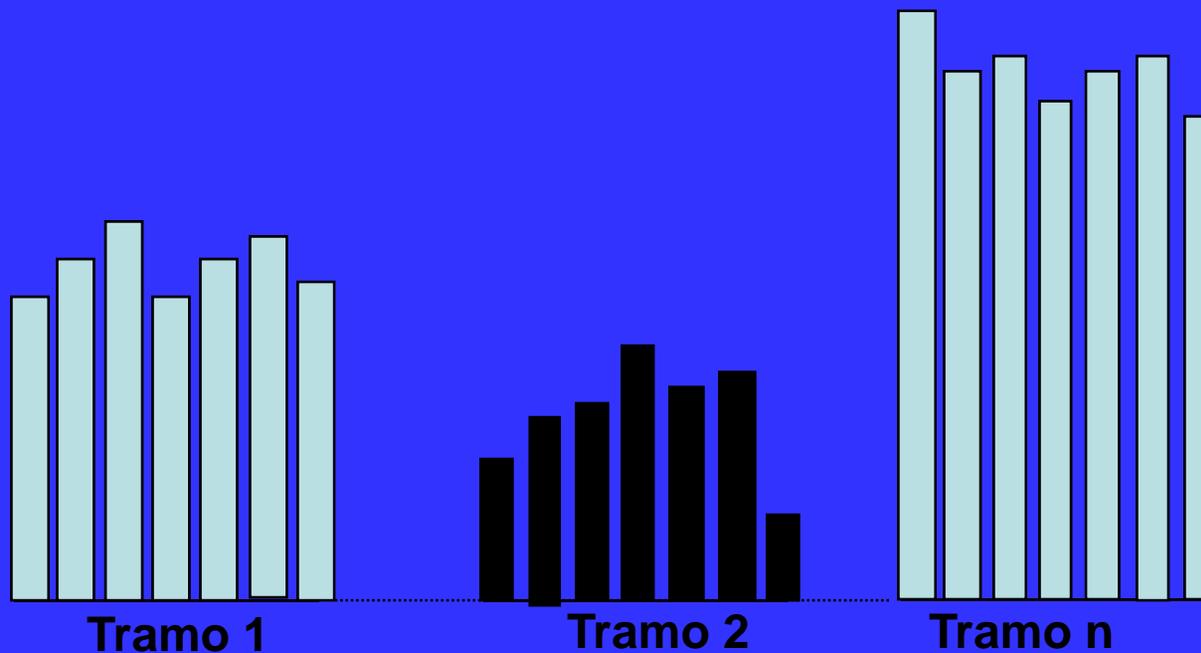
El conocimiento de su existencia posibilita su consideración al momento de analizar impactos sociales y económicos de los distintos proyectos y/o programas a aplicar sobre la red de caminos.



# DATOS NECESARIOS PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS VIALES

## TRAMOS HOMOGÉNEOS

Consisten en la definición de sectores de rutas, de longitudes variables, a ser considerados como una entidad y que poseen, por lo tanto, a lo largo del mismo características similares de tránsito, estructuras, estado, etc.

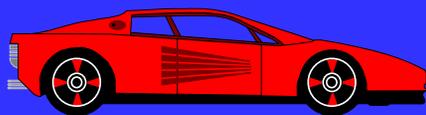


# DATOS NECESARIOS PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS VIALES

## TRÁNSITO

Permite el conocimiento de las solicitudes sobre la estructura y de los potenciales beneficiarios de las acciones realizadas sobre la calzada.

Los valores históricos proporcionan tendencias de crecimiento y posibilitan la acumulación de los tránsitos a lo largo de la vida de los pavimentos a administrar, dato muy importante al realizar planificaciones y análisis técnicos.



# DATOS NECESARIOS PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS VIALES

## EVALUACIONES DE ESTADO DE LA SUPERFICIE

Permite el conocimiento del nivel de servicio ofrecido a los usuarios del camino, valorando distintos parámetros indicadores de la calidad del mismo.

Los valores puntuales posibilitan la definición o confirmación de tramos homogéneos, como así también la eventual definición de tareas específicas de mantenimiento (bacheos, sellados de fisuras, etc.).

Disponer de su evolución histórica es uno de los elementos necesarios para la realización del ajuste de los modelos de comportamiento del HDM, predecir con mayor certeza la evolución futura de los deterioros y programar las tareas de mantenimiento.

# AHUELLAMIENTOS Y HUNDIMIENTOS

Irregularidad del perfil transversal asociada a la acción del tránsito y producida por deformaciones plásticas de los materiales, estructura y subrasante. Se mide mediante vigas rígidas de una dada longitud o mediante perfilógrafos.

- Longitud de la regla
- Aspectos estadísticos



# FISURAS DE SUPERFICIE

Es importante definir claramente sus tipos y forma de cuantificación para uniformizar criterios y evitar subjetivismos. Esta tarea se denomina genéricamente como elaboración de un catálogo de falla.

Su evaluación se realiza en forma visual recorriendo la sección o mediante filmación de la superficie



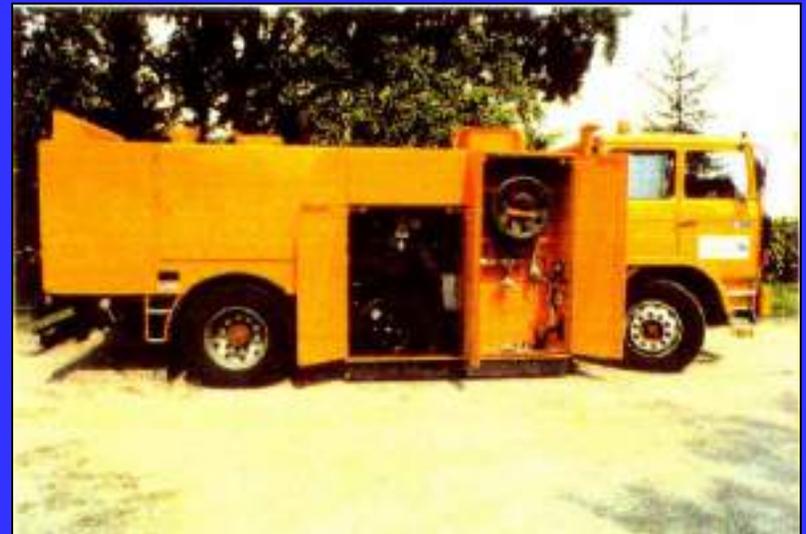
# TEXTURA y COEFICIENTE DE FRICCIÓN



**PERMITEN**

**Reducir la distancia de frenado**

**Mantener en todo momento la trayectoria deseada del vehículo**



# RUGOSIDAD DE PAVIMENTOS



Desviaciones de la superficie del camino con respecto a una superficie plana que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de circulación, cargas dinámicas y drenaje.



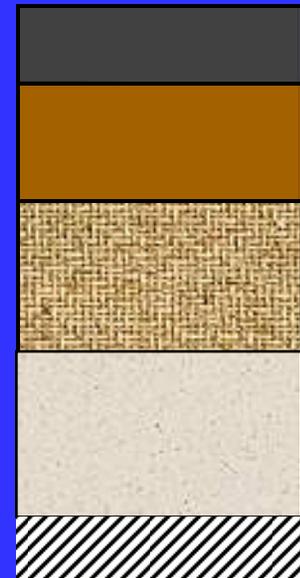
# DATOS NECESARIOS PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS VIALES

## ESTRUCTURAS

El conocimiento de la estructura del pavimento es un dato de fundamental importancia al momento de realizar predicciones de comportamientos futuros bajo la acción del tránsito.

Entre los datos necesarios de conocer se encuentran:

- materiales y espesores constituyentes de cada capa
- calidades de las mismas
- características constructivas y de los materiales,
- fechas constructivas.



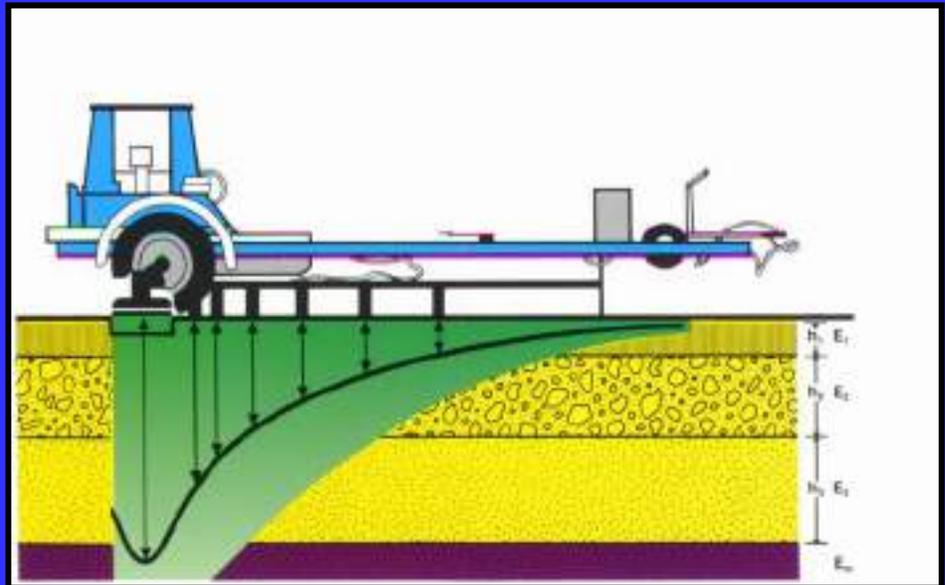
# DATOS NECESARIOS PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS VIALES

## EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

Permite, conjuntamente con la evaluación de estado de la superficie, el conocimiento de la aptitud de la estructura para soportar las solicitaciones del tránsito.

Los valores puntuales posibilitan la definición o confirmación de tramos homogéneos, pueden incluir:

- Evaluaciones de deflexiones
- Extracción de muestras
- Calicatas
- Penetrómetro dinámico de cono



# DATOS NECESARIOS PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS VIALES

## MANTENIMIENTOS REALIZADOS

La documentación de las tareas realizadas permite valorar lo realmente efectivizado sobre cada uno de los tramos, corroborar la certeza de los modelos que plantearon la previsión de los mismos, como también valorar la calidad de un caso particular por comparación con el comportamiento medio esperado.



# DATOS NECESARIOS PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS VIALES

## ALTERNATIVAS

Deben especificarse las alternativas de:

- acciones de mantenimiento
- construcción
- rehabilitación



Estas alternativas serán particulares para cada tipo de pavimento. Las mismas deben posibilitar la planificación de las acciones de mejora a realizar, según sea la calidad de servicio que se pretenda brindar a los usuarios.



# DATOS NECESARIOS PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS VIALES

## COSTOS UNITARIOS

Deben especificarse los costos unitarios de:

- acciones de mantenimiento
- construcción
- operación de vehículos
- tiempos de viaje
- impacto ambiental
- impacto social



Una vez definidas las acciones, la clara adopción de los costos unitarios permite la elaboración del presupuesto de las inversiones a realizar.

# DATOS NECESARIOS PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS VIALES

## ESTÁNDARES DE CALIDAD

La definición de estándares permite el planteo de las acciones en forma equitativa para el conjunto de la red.

- no baches ó % admisible
- no fisuras ó % admisible
- ahuellamiento  $< x$  (mm)
- señalización horizontal visible día y noche
- altura césped en banquetas  $< x$  (mm)

Una vez definidas las acciones, la clara adopción de los costos unitarios permite la elaboración del presupuesto de las inversiones a realizar.

La aplicación de adecuadas alternativas de mantenimiento, resulta del análisis donde se incluyen los costos de los usuarios; y la disminución de estos costos justifica la rentabilidad de las inversiones.

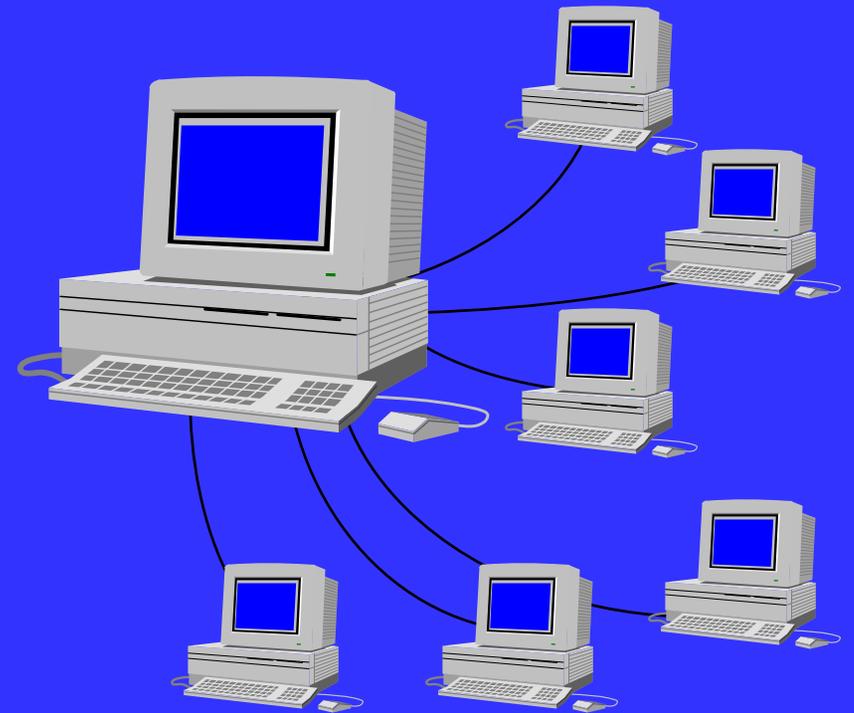
# MANEJO DE LA INFORMACIÓN RECOGIDA

PARA QUE DICHA INFORMACIÓN PUEDA SER UTILIZADA EN FUTUROS ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA

dispersa



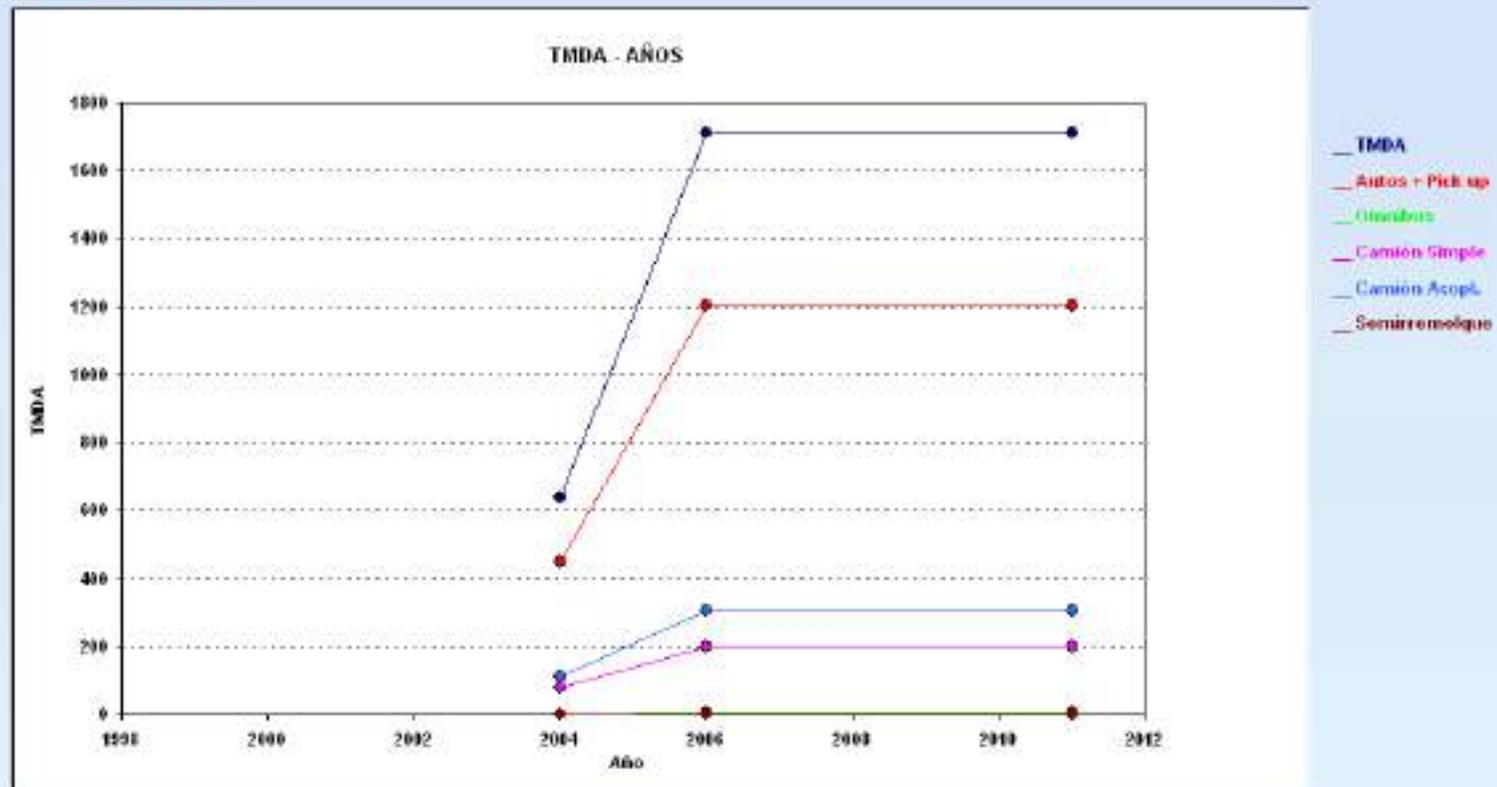
centralizada



## EVOLUCION DEL TRANSITO



RUTA: P002  
PKC: 35,835 TRAMO: RN 127 (Los Conquistadores) - RP 5  
PKD: 75,030



Salir

## EVOLUCION DE DETERIOROS SUPERFICIALES DEL TRAMO



Seleccione el gráfico a visualizar:

Ruta: P001

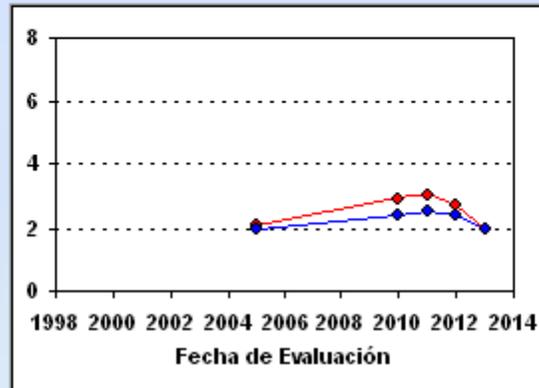
Pki: 0.000

Pkf: 15.386

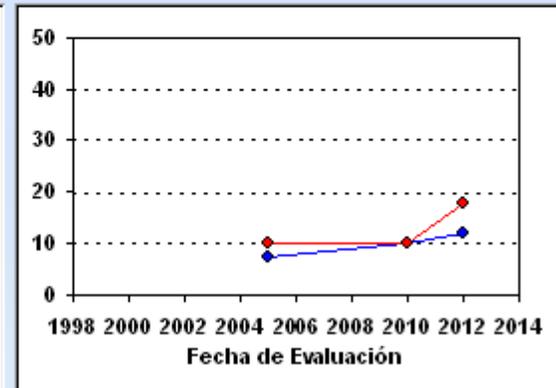
Tramo: RN 12 - San Gustavo

- Característicos al 80%
- Valor Medio

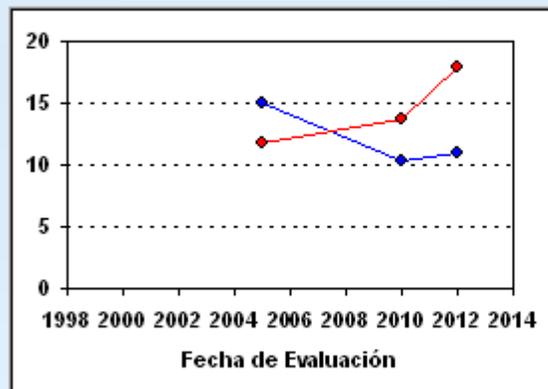
RUGOSIDAD IRI [m/km]



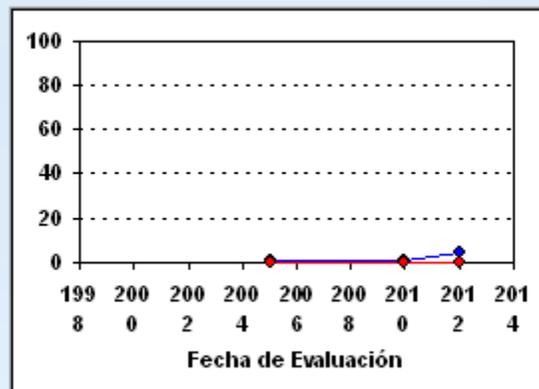
AHUELLAMIENTO [mm]



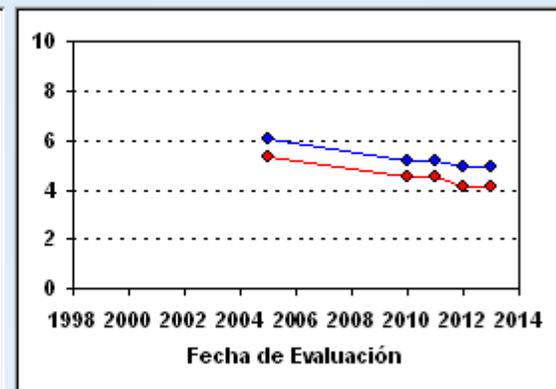
FISURAS LONG.+TRANV



FISURAS PIEL DE COCODRILO



INDICE DE ESTADO



# DATOS NECESARIOS PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS VIALES

## SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (GIS)

DIGITALIZACIÓN → REFERENCIACIÓN GEOGRÁFICA

Elementos de la Base De Datos: Señales  
Rugosidad  
Mantenimientos  
Accidentes

## AGREGAR INFORMACIÓN

Elementos del propio Sistema  
Instalación telefónicas subterráneos  
Gasoductos  
Líneas de alta tensión  
Ferrocarriles





Escala 1: 3,477,939

5,311.40 ++  
6,447.11 ↓

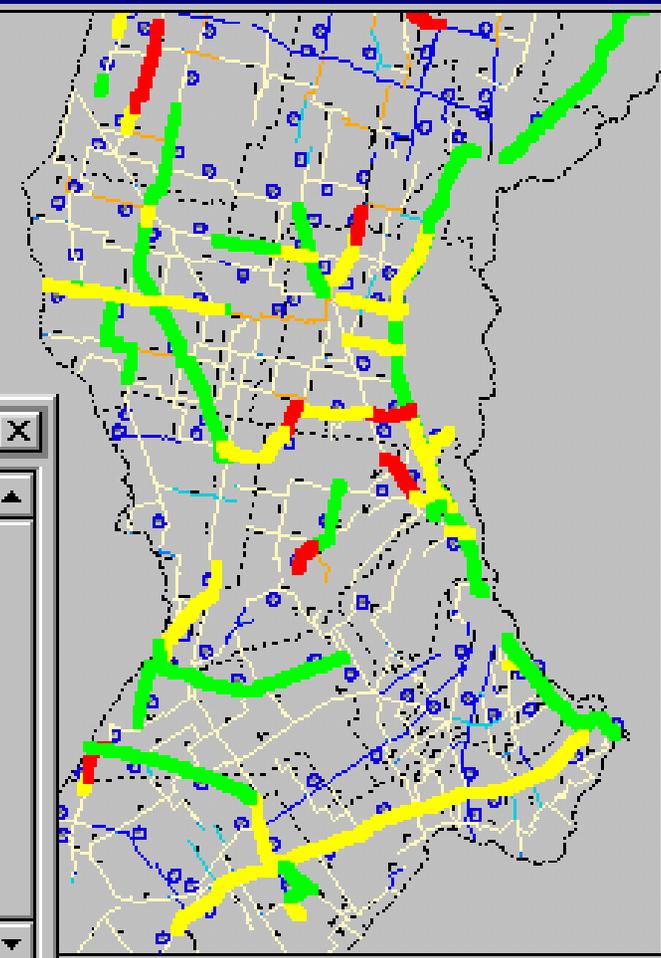
Evaluaciones superficiales

- Índice de Estado
  - 6 - 10
  - 4 - 6
  - 0 - 4
- Rugosidad [IRI m/Km]
  - 0 - 2
  - 2 - 4
  - 4 - 7
- Ahuellamiento [m]
  - 0 - 12
  - 12 - 20
  - 20 - 50
- Grado Fisuración
  - 0 - 2
  - 2 - 4
  - 4 - 6
  - 6 - 8
  - 8 - 10
- Baches
  - 0 - 0.5 %
  - 0.5 - 1 %

Identificar resultados

1: Índice de Estado - F	Ruta	P020
	Tramo	Plamor
	Pki	76.855
	Pkf	93.110
	Tipo superficie	Mezcla
	Índice de Estado	6.7227
	Rugosidad	2.0080
	Ahuellamiento	8.2000
	Baches	0.0040
	Tipo Fisuras	2.0000
	% Fisuras	2.4000
	Año	2002.0

Borrar    Borrar todo



# DATOS NECESARIOS PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS VIALES

## ANÁLISIS ECONÓMICO

Debe tener incorporadas herramientas que permitan realizar el análisis económico del proyecto:

- adecuada valoración de costos de inversión
- cuantificar los beneficios a los usuarios
- cuantificar los beneficios sociales
- calcular los indicadores económicos VAN, TIR, B/C

El **Modelo HDM** es una herramienta muy útil en esta etapa, ya que permite valorar los costos y los beneficios que surgirán del análisis completo del ciclo de vida de los pavimentos. Teniendo incorporados modelos que predicen la variación de los mismos en función de los deterioros de los pavimentos.

# HDM - 4 - World Bank - 2000

## H D M - 4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Versión **1.3**

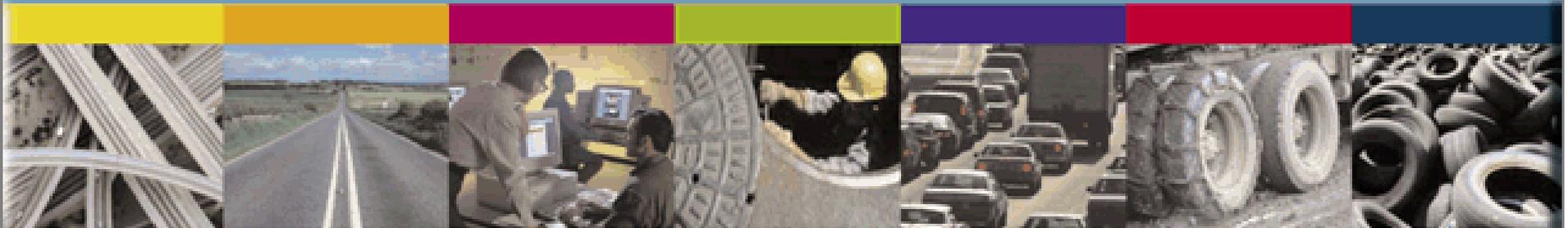
*Programa para evaluación de alternativas de inversión en carreteras*

Copyright © 2001 Asociación mundial de carreteras (AIPCR), Paris,  
en nombre de los patrocinadores de ISOHDM. Todos los derechos reservados.

Association  
mondiale  
de la Route



World Road  
Association



Usuario registrado: 62208:4

Tipo de Licencia: Versión completa - Actualización (4 usuarios)

Versión: 1.30

# HDM - 4 - World Bank - 2005

# H D M - 4

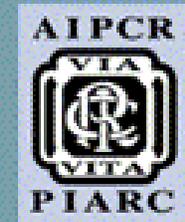
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

## Version 2

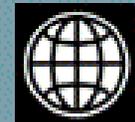
*Software for investigating road investment choices*

Copyright © 2005 The World Road Association (PIARC), Paris,  
on behalf of the ISOHDM Sponsors. All rights reserved.

Association  
mondiale  
de la Route



World Road  
Association



Product ID: 101120

Licence type: Full - Single User Version

Version: 2.04

# HDM - 4

ES UNA HERRAMIENTA ÚTIL PARA AYUDAR A LOS RESPONSABLES DE LA TOMA DE DECISIONES A ENCONTRAR LA ÓPTIMA DISTRIBUCIÓN DE LOS FONDOS DESTINADOS AL MANTENIMIENTO Y RECONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS

ESTADO  
DE LA  
RED



PREDICCIÓN



ESTADO  
FUTURO



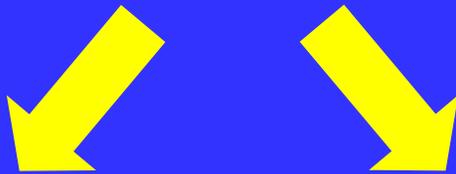
MANTENIMIENTOS - MEJORAS



COSTOS ACCIONES – BENEFICIOS USUARIOS

# TIPOS DE SUPERFICIE DE RODAMIENTO CONSIDERADAS EN LOS MODELOS HDM

## ASFÁLTICA



### MEZCLAS ASFÁLTICAS

- Concreto asfáltico
- mezcla con polímero
- mezcla con caucho
- Mezcla en frío
- mezcla drenante
- SMA

### TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

- tipo simple
- tipo doble
- slurry seal
- de penetración

## HORMIGÓN

(solo en HDM – 4)

## NO PAVIMENTADA

## LOS PROGRAMAS HDM POSEEN GRAN CANTIDAD DE MODELOS:

- VELOCIDAD DE CIRCULACIÓN
- CONSUMOS
- TRABAJOS DE MANTENIMIENTO
- **PREDICCIÓN DE DETERIOROS**

- FLUJO DE TRÁNSITO
- CONGESTIÓN
- COSTOS DE USUARIO



## SUBMODELO DE TRÁNSITO

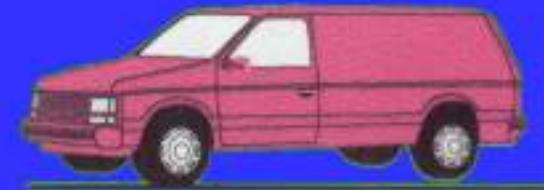
- UTILIZA DATOS SUMINISTRADOS POR EL USUARIO

- Número de vehículos por tipos
- Ejes equivalentes por vehículo

- PARA CADA TIPO DE VEHÍCULO

- Tránsito fijo por año
- Tránsito inicial e incremento anual en número
- Tránsito inicial y tasa de crecimiento anual

- CALCULA EL TRÁNSITO PARA CADA AÑO EXPRESADO EN NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES A 80 KN , EL TMDA Y VERIFICA LA CAPACIDAD DE SERVICIO



# SUBMODELO DE DETERIORO Y MANTENIMIENTO

- La condición del pavimento es la indicada por los datos del usuario (si se trata del primer año), o calculada por el modelo en los siguientes años.

$$\text{CONDICIÓN}_{(i+1)} = \text{CONDICIÓN}_{(i)} + \text{DELTA DETERIORO}$$



# SUBMODELO DE DETERIORO Y MANTENIMIENTO

## TIPOS DE DETERIORO EN CAMINOS ASFALTICOS

### • FISURACIÓN

#### FISURAS ESTRUCTURALES:

**TOTALES** suma de las áreas que encierran la zona con fisuras

**ANCHAS** fisuras interconectadas o lineales de más de 3 mm de ancho



#### FISURAS TÉRMICAS TRANSVERSALES

• **DESPRENDIMIENTO** pérdida del mat de superficie

• **AHUELLAMIENTO** máxima depresión del perfil transversal

• **BACHES** pozo de al menos 15 cm de diámetro y 2.5 cm de profundidad

• **RUGOSIDAD** deformaciones del perfil longitudinal

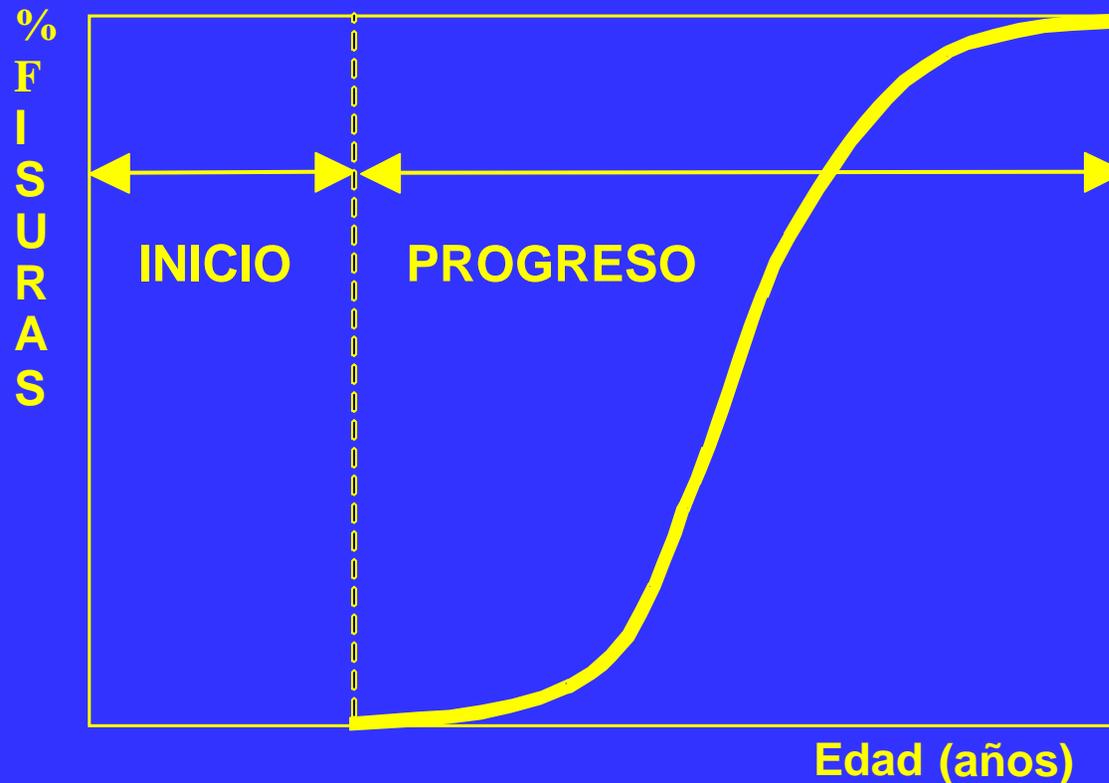
• **TEXTURA**

• **COEFICIENTE DE FRICCIÓN**

• **ROTURA DE BORDE**



# CURVA TÍPICA DE EVOLUCIÓN DE LOS DETERIOROS



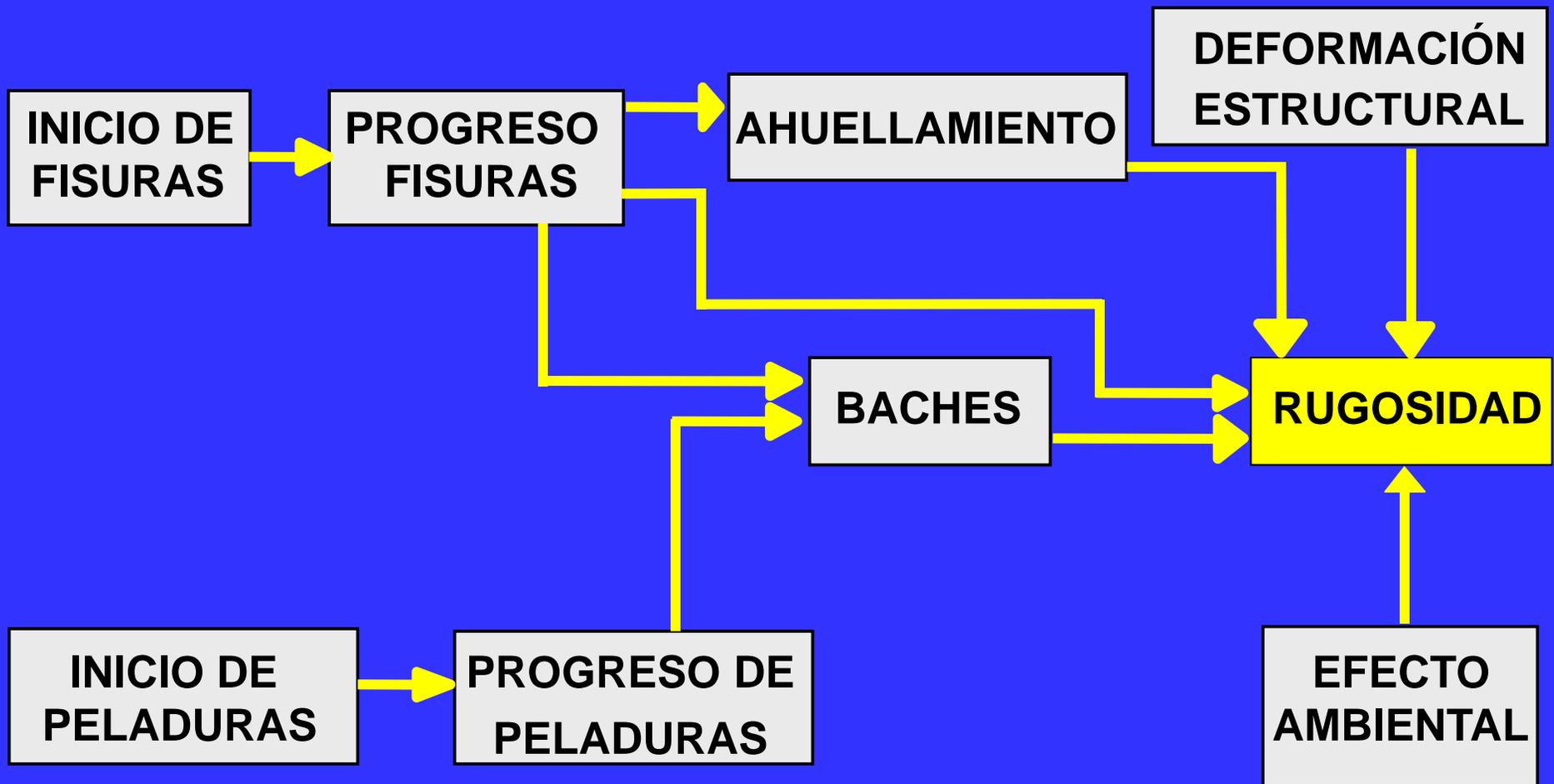
PARA LOGRAR EL AJUSTE DE LAS DOS FASES EXISTEN

**COEFICIENTES DE CALIBRACIÓN "K"**

PARA LA TOTALIDAD DE LOS MODELOS DE DETERIORO SON:

- 7 en HDM III
- 22 en HDM 4

# INTERACCIÓN DE LOS MODELOS DE DETERIORO



# **SUBMODELO DE DETERIORO Y MANTENIMIENTO**

## **ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO EN PAVIMENTOS ASFALTICOS**

- **MANTENIMIENTO DE RUTINA** limpieza de la zona de camino, de desagües, corte de malezas
- **BACHEO**
- **MANTENIMIENTO PREVENTIVO**
- **TRATAMIENTOS DE SUPERFICIE – LECHADAS**
- **REFUERZO**
- **RECONSTRUCCIÓN**

**Los mismos pueden ser FIJOS (número de años, cantidad por año), EN RESPUESTA A LA CONDICION DE SUPERFICIE**

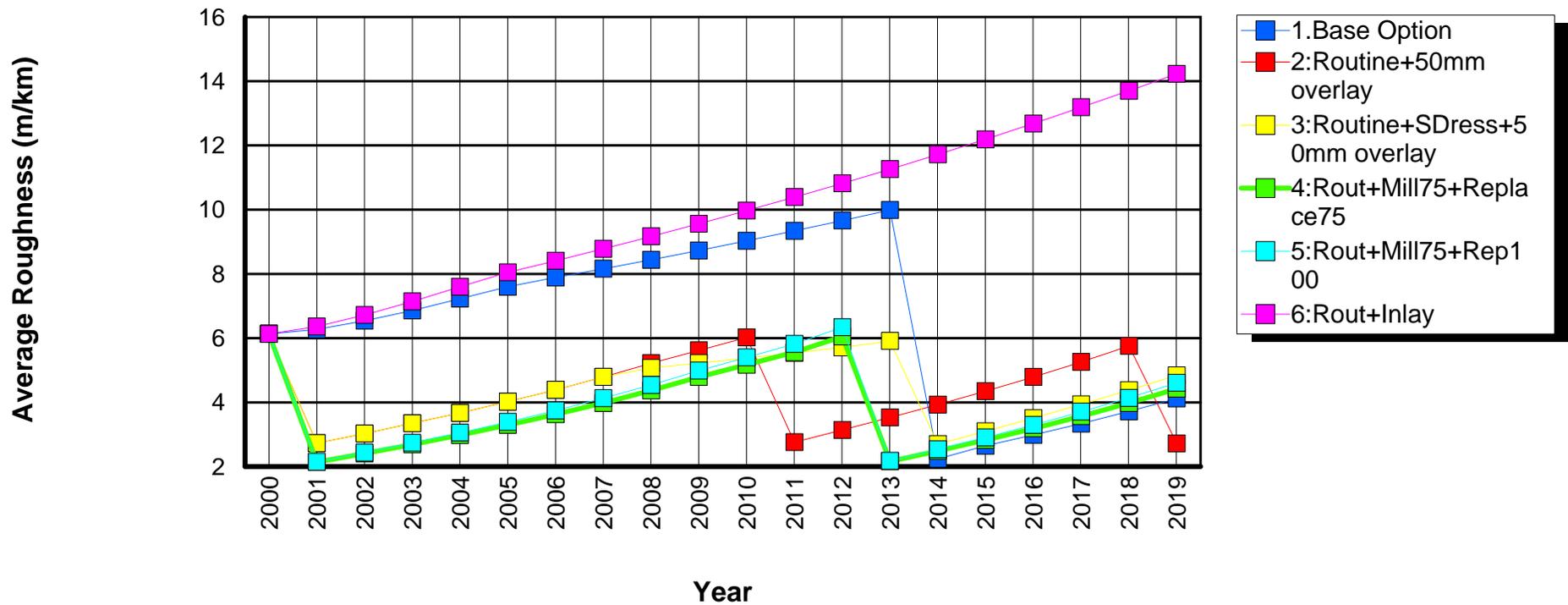
# ESTRUCTURA DE LOS MODELOS HDM III y 4

## ETAPAS / SUBMODELOS QUE LO FORMAN

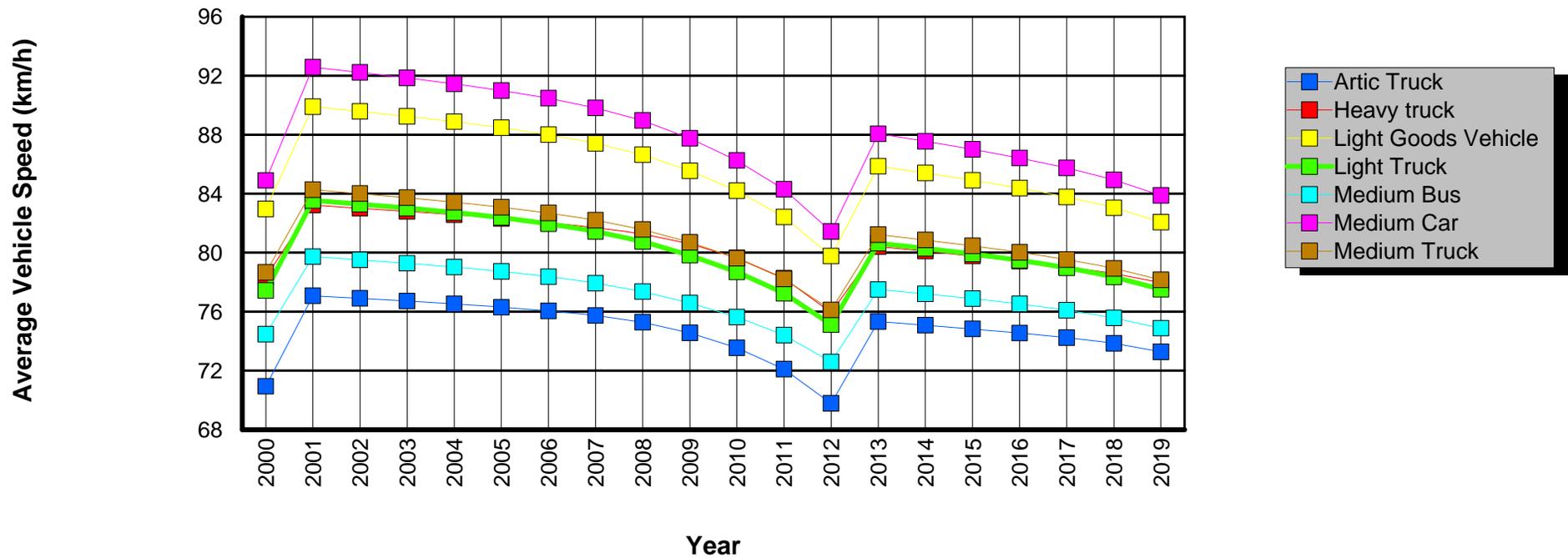
P  
A  
R  
A  
  
C  
A  
D  
A  
  
A  
Ñ  
O

- ❖ **TRÁNSITO** calcula el tránsito para cada año
- ❖ **CONSTRUCCIÓN** inicia la construcción del camino según el tránsito límite o el año
- ❖ **DETERIORO Y MANTENIMIENTO** Predice el deterioro de la superficie del camino, aplica los mantenimientos
- ❖ **COSTOS DE MEJORAS APLICADAS**
- ❖ **COSTOS DE OPERACIÓN** predice los costos de operación de los vehículos
- ❖ **COSTOS Y BENEFICIOS EXÓGENOS** asigna los costos y beneficios exógenos del presente año
- ❖ **INFORMES** almacena los resultados

# EVOLUCION DE DETERIOROS Y APLICACIÓN DE MANTENIMIENTOS

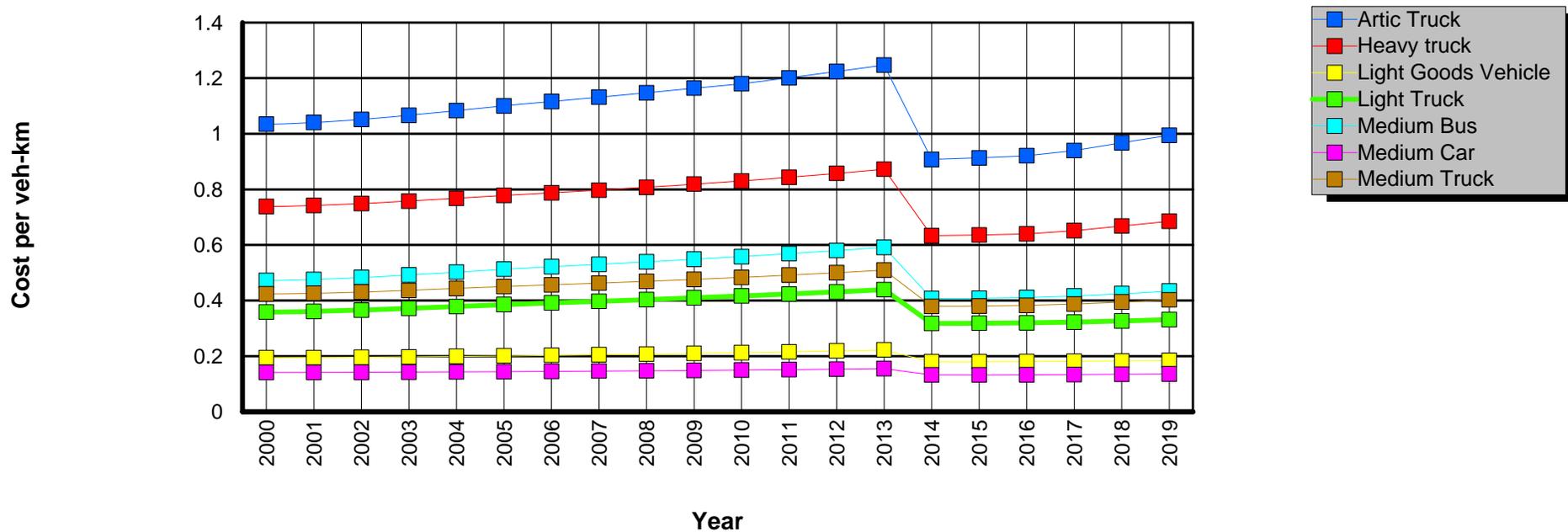


# EVOLUCION DE VELOCIDADES DE OPERACIÓN DE VEHICULOS



# CÁLCULO DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN DE VEHÍCULOS

## Annual Average Vehicle Operating Cost per veh-km



**EL HDM - 4 ES UNA BUENA HERRAMIENTA PARA  
VALORAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS CALZADAS  
Y A PARTIR DE ELLOS REALIZAR ANÁLISIS  
ECONÓMICOS DE FACTIBILIDAD DE DISTINTAS  
ALTERNATIVAS DE OBRAS Y MANTENIMIENTOS  
SOBRE LA RED VIAL**

**PARA QUE ESTAS HERRAMIENTAS SEAN ÚTILES Y LOS RESULTADOS OBTENIDOS SEAN VÁLIDOS ES NECESARIO QUE SUS MODELOS SE ENCUENTREN AJUSTADOS A LA ZONA DE APLICACIÓN**

**LOS MODELOS DE DETERIORO Y LOS MODELOS DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN DE VEHÍCULOS , SI BIEN SON UNA PARTE DE LOS MODELOS QUE EL MISMO DISPONE, TIENEN UN PESO IMPORTANTE EN LOS RESULTADOS FINALES, DE AHÍ LA IMPORTANCIA DE SU CALIBRACIÓN**