



Universidad de Costa Rica
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Unidad de Investigación en Infraestructura Vial (UIIVI)



Proyecto N° UI-PE-03-08:

**VARIACIONES A LOS RANGOS PARA LA CLASIFICACIÓN
ESTRUCTURAL DE LA RED VIAL NACIONAL DE COSTA RICA**

Realizado por:

Ing. Roy Barrantes Jiménez
Ing. Gustavo Badilla Vargas
Denia Sibaja Obando
Juan Diego Porras

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio,
San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica
Tel: (506) 2207-4011

E-mail: rbarrantes@lanamme.ucr.ac.cr

E-mail: gbadilla@lanamme.ucr.ac.cr

E-mail: dsibaja@lanamme.ucr.ac.cr

E-mail: jporras@lanamme.ucr.ac.cr

Revisado por:

Ing. Fabián Elizondo

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio,
San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica
Tel: (506) 2207-4994

E-mail: felizondo@lanamme.ucr.ac.cr

Unidad de investigación aplicada en infraestructura vial
DOCUMENTO CONFIDENCIAL

Este informe no es para su publicación; por ser un documento confidencial
su difusión solo se puede realizar con el permiso de la Unidad de
Investigación Aplicada en Infraestructura Vial

San José, Costa Rica
AGOSTO 2008

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	3
DETERMINACIÓN DE RANGOS DE DEFLEXIONES	5
METODOLOGÍA.....	5
DIAGRAMA DE FLUJO.....	5
DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO	6
1. Definición de los parámetros de entrada para el diseño (variaciones a las consideraciones de diseño de la propuesta original).....	6
2. Cálculo del número estructural, utilizando la metodología de la Guía de Diseño AASHTO 1993.....	8
3. Cálculo de los números estructurales correspondientes a la pérdida de capacidad estructural, utilizando el método de "Vida Remanente" descrito en la Guía de Diseño AASHTO 1993.....	9
4. Definición del paquete estructural para los grupos rutas.....	10
5. Cálculo de las deflexiones correspondientes a cada paquete estructural, utilizando el EVERSTRESS.....	11
6. Determinación de los rangos de deflexiones.....	12
CONCLUSIONES	15
RECOMENDACIONES	16
ANEXO : DISEÑO DE LAS DIFERENTES RUTAS PARA LOS NÚMEROS ESTRUCTURALES FACTORIZADOS PARA LA VIDA REMANENTE	17

INTRODUCCIÓN

Dentro del proceso de mejora continua del LanammeUCR, y con el propósito de cumplir con el mandato de la ley 8114, se presentó en marzo de 2008, una nueva propuesta que tomó en cuenta las distintas características de las rutas y que permitiría clasificarlas según su condición estructural y funcional.

Esta nueva propuesta surgió como resultado de un análisis en el que se consideraron gran cantidad de variables que afectan, en mayor o menor grado, los diseños estructurales de las carreteras por el método AASHTO-93. Una vez analizadas todas las variables y considerando el efecto que tiene en los modelos planteados la ausencia, casi total, de información confiable en temas tan importantes como, tránsito, cargas vehiculares, composición estructural de las rutas nacionales y modelos de deterioro, se logró plantear un conjunto de rangos para que fueran utilizados en la evaluación bienal de la red vial nacional y que permitieran la clasificación de las rutas por su capacidad estructural a través de la deflectometría de impacto y por su capacidad funcional por medio del IRI.

Los rangos planteados en la propuesta original fueron considerados por el equipo de ingenieros del LanammeUCR como los más adecuados para la realidad nacional, bajo el criterio de un mayor periodo de diseño, mayor confiabilidad y variabilidad de los procesos los cuales se verían reflejados en rangos un más exigentes, no obstante, como recomendación del señor Viceministro de Obras Públicas y Transportes Dr. Pedro Luis Castro Fernández, en sus oficios DVOP-2108-08 y DVOP-2732-08 con fechas de 26 de mayo y 02 de julio de 2008 respectivamente, se presentan en este informe cuatro (4) variantes de los rangos iniciales. Estas variantes de rangos fueron calculadas tomando en cuenta las recomendaciones del señor viceministro de modificar los siguientes factores: a) nivel de confianza de un 95% para ser sustituido por un 90% y un 80%, dependiendo de la importancia de la ruta, b) el valor de 0.5 en la desviación estándar sustituido por un valor de 0.45, c) el periodo de falla estructural (PSI=1.5) pasó de ser 20 años a 15 años y d) se realizaron los cálculos considerando paquetes estructurales con bases estabilizadas con cemento hidráulico.

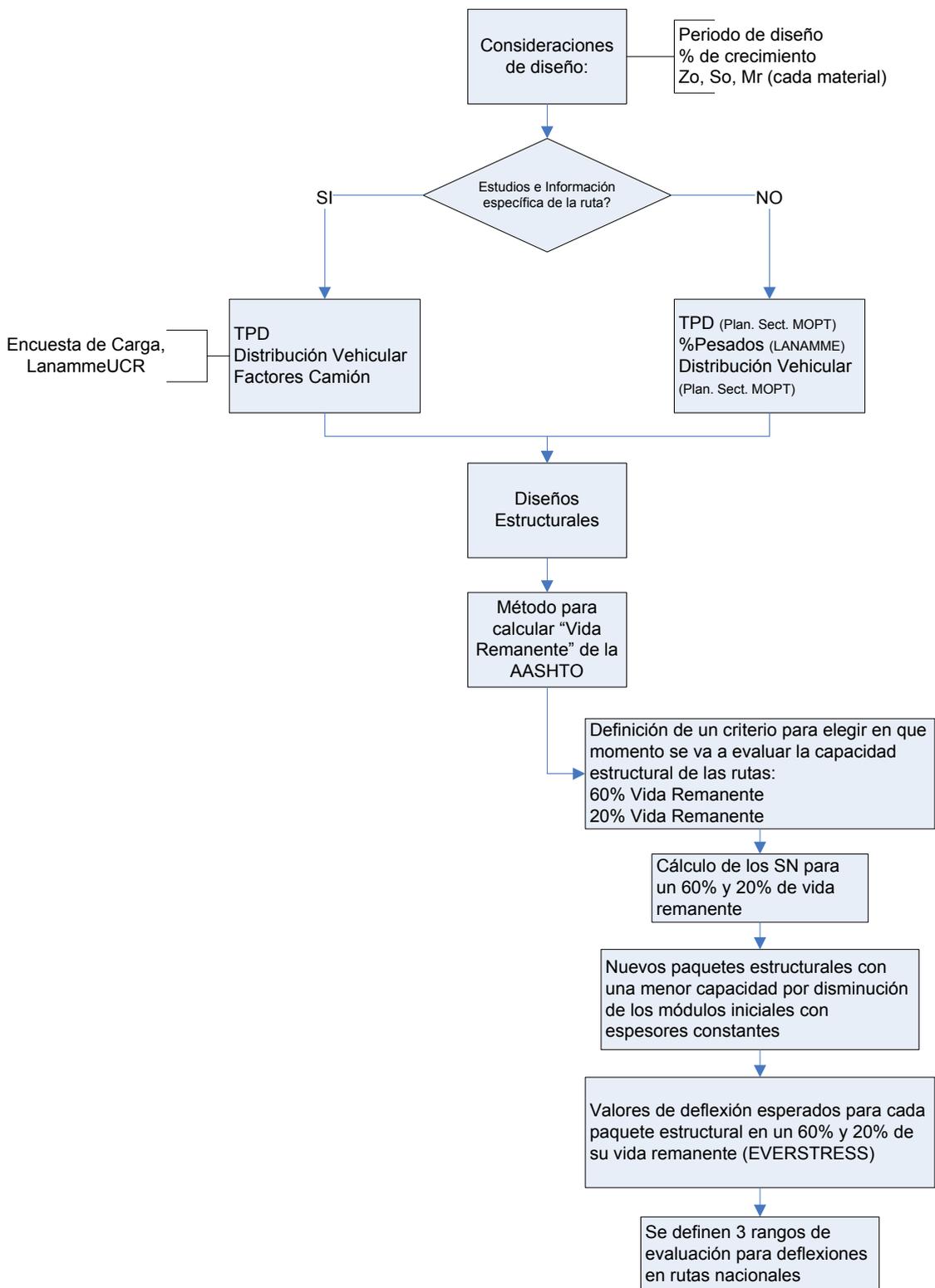
Es importante recalcar que algunas de las recomendaciones hechas por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) no pudieron ser tomadas en cuenta como variables a analizar dentro de este informe debido a que no existe la información o estudios relacionados para las condiciones de nuestro país, por lo que no es factible integrarlas en los análisis en el corto plazo. La Unidad de Investigación considera importante presentar estas variaciones para evaluar la sensibilidad del método y dar más herramientas para definir el criterio con el cual se evaluará la Red Vial Nacional.

En el caso del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) los rangos planteados en la propuesta original mejoran la evaluación de la capacidad funcional previamente utilizada mediante criterios que permiten adicionalmente correlacionar el valor de IRI con el índice de serviciabilidad presente mediante modelos preestablecidos, lo cual es un importante aporte a nivel de gestión de red, al igual que en el caso de las deflexiones, al no contar con modelos desarrollados bajo las condiciones de nuestro país y tras la necesidad de generar una mejora en los rangos existentes en el corto plazo se utilizaron estos modelos existentes.

DETERMINACIÓN DE RANGOS DE DEFLEXIONES

METODOLOGÍA

DIAGRAMA DE FLUJO



DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

Para el cálculo de las variaciones en los rangos de deflexiones correspondientes a cada ruta, se realizaron una serie de pasos que se describen a continuación:

1. Definición de los parámetros de entrada para el diseño (variaciones a las consideraciones de diseño de la propuesta original)

Período de diseño

Se considera un período de falla estructural de **quince** años para todas las rutas, considerando que en este lapso la ruta llegará a su condición crítica, que corresponde a un **PSI final de 1.5** (este valor corresponde al criterio de falla de la pista de ensayo de la AASHTO), por lo tanto, se modifican los valores de Ejes Equivalentes de Diseño al correspondiente valor en ese periodo para evaluar su efecto en el método de diseño.

Nivel de confianza

Para realizar los diseños correspondientes, se varió el nivel de confianza de $R=95\%$ y se utilizaron niveles de confianza de 90% para las rutas consideradas como principales y 80% para aquellas de menor volumen, de acuerdo a las posibilidades descritas en la guía de diseño AASHTO-93, y se calcularon valores de $Z_R = -1.282$, $Z_R = -0.841$ y $S_o = 0.45$ respectivos. Estas variaciones solo se aplicaron al paquete estructural original que contenía base granular, no así en la variante con base estabilizada que se detalla más adelante.

Modificación en el paquete estructural

A las variaciones detalladas anteriormente se agregó una modificación importante en el paquete estructural modelado para el cálculo de las deflexiones, ya que se incorporó una base estabilizada con concreto hidráulico de espesores mínimos que según la literatura puede oscilar entre 15-20 cm aproximadamente. El módulo inicial de esta base corresponde a 610.000 psi considerado así para una base estabilizada tipo BE-25 al 100% de vida

remanente. Ya que no existe aún un modelo de deterioro para bases estabilizadas en el país se decide modificar el valor del módulo de forma progresiva, mediante un método iterativo y considerando una pérdida de capacidad al 60% de vida remanente que se concentra en la base estabilizada donde los esfuerzos de tensión son mayores, posteriormente al 20% de vida remanente se modeló una disminución tanto en la capa de ruedo, como en las capas de base y sub-base, de esta forma se calcularon los nuevos rangos de deflexiones considerando una capa de base estabilizada.

Definición de rutas representativas

En el análisis estadístico realizado en el informe **UI-PE-02-08** del 5 de mayo de 2008 se logró demostrar que los rangos representativos de tránsito para el país correspondían los mostrados en la siguiente tabla:

TPD
< 5000
5 000 – 15 000
15 000 – 40 000
Casos específicos

Esto permitió definir combinaciones de TPD y porcentajes de pesados representativos estadísticamente de cada sub-grupo y de cada nivel de deflexiones, por lo tanto, para esta variante de rangos se tomaron aquellas combinaciones que correspondían a las deflexiones mayores, siguiendo las recomendaciones de Dr. Castro y con base en esas combinaciones se calcularon los nuevos rangos.

Otras Variables de diseño

En cuanto al resto de las variables de diseño se mantienen invariables en relación con la propuesta inicial realizada en el informe **UI-PE-02-08** del 5 de mayo de 2008.

2. Cálculo del número estructural, utilizando la metodología de la Guía de Diseño AASHTO 1993¹.

Para el cálculo del número estructural (SN) se utiliza la fórmula de la AASHTO-93:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Ecuación 1

En la **Ecuación 1** se evalúan los valores explicados en el paso 1:

$Z_R = -1.282$ (90% de nivel de confianza) y $Z_R = -0.841$ (80% de nivel de confianza)

$S_o = 0.45$

$\Delta PSI = 2.7$

$M_R = 8.500$ psi (Es el módulo de la sub-rasante supuesto para todas las rutas diseñadas)

Para los valores de los ESAL`s (W_{18}) mostrados en la Ecuación 1, se calculó el Número estructural correspondiente al 100% de Vida Remanente, los valores se muestran en la Tabla 1.

TPD	ESAL`s de diseño original a 20 años	Número estructural a 20 años	ESAL`s de diseño a 15 años	Número estructural a 15 años
0 - 5000	3.332.102	3,95	2.108.378	3.22
5000 - 15000	14.280.439	4,78	9.035.904	3.93
15000 - 40000	12.977.486	4,72	8.211.465	4.13
Casos Particulares	70.315.677	5,85	44.492.028	5.14

Tabla 1: Comparación del número Estructural para los ESAL`s de diseño

¹ AASHTO. Guide for Design of Pavement Structures. Washington, D.C., 1993.

3. Cálculo de los números estructurales correspondientes a la pérdida de capacidad estructural, utilizando el método de "Vida Remanente" descrito en la Guía de Diseño AASHTO 1993.

Para este estudio el criterio utilizado fue el de evaluar las variaciones en el número estructural al 60% y al 20% de Vida Remanente. Numerosos estudios demuestran que el comportamiento de la curva del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) para la mayoría de los pavimentos tiene un comportamiento donde la variación del índice es muy baja en los primeros años y desciende de forma acelerada al final del período de diseño, por lo tanto, las deflexiones esperadas antes de un 60% de Vida Remanente serán representativas de un pavimento en buen estado estructural y aquellas obtenidas para un pavimento con un 20% de Vida Remanente corresponderían a un pavimento con un mal estado estructural.

Ruta	Vida Remanente original				Vida Remanente con variantes. Base Granular			
	100%	60%	20%	0%	100%	60%	20%	0%
0 - 5000	3,95	3,63	3,00	1,98	3.22	2.96	2.45	1.61
5000 - 15000	4,72	4,34	3,59	2,36	3.93	3.61	2.97	1.96
15000 - 40000	4,78	4,40	3,63	2,39	4.13	3.8	3.14	2.06
Casos Particulares	5,85	5,38	4,45	2,93	5.14	4.73	3.91	2.57

Ruta	Vida Remanente con Base Estabilizada			
	100%	60%	20%	0%
0 - 5000	3.95	3.64	3.00	1.98
5000 - 15000	4.72	4.34	3.59	2.36
15000 - 40000	4.80	4.39	3.63	2.39
Casos Particulares	5.85	5.38	4.44	2.92

Tabla 2: Comparación de la variación del Número Estructural con respecto a la reducción de Vida Remanente

4. Definición del paquete estructural para los grupos de rutas

Para las variantes de rango calculadas, en la primera opción se mantuvo el mismo paquete estructural que fue utilizado originalmente, salvo con las modificaciones del TPD de falla, el Zr y el So. En la segunda opción se sustituye la base granular por base estabilizada.

Inicialmente, se realizó el diseño para cada ruta tomando como base el número estructural correspondiente al 100% de vida remanente. Se propusieron espesores para cada capa y se usaron los valores de módulos típicos (Tabla 3).

Capa	Paquete estructural con base granular		Paquete estructural con base estabilizada	
	Módulos (MPa)	Módulos (psi)	Módulos (MPa)	Módulos (psi)
Carpeta	2.758	400.000	2.758	400.000
Base	345	50.000	4.206	610.000
Subbase	103	15.000	103	15.000
Subrasante	59	8.500	59	8.500

Tabla 3: Módulos típicos para materiales

Posteriormente, para el diseño correspondiente al 60% y 20% de Vida Remanente, se mantuvieron constantes los espesores y se simuló la disminución en la capacidad estructural del paquete, mediante la reducción de los valores de sus módulos. La reducción de la capacidad (y por tanto del módulo) se supuso que afectaría inicialmente las capas superiores, y sucesivamente las inferiores, con excepción del caso de base estabilizada donde el deterioro empieza en la base y conforme se pierde vida remanente se trasladan a las demás capas.

El detalle de los diseños de las variantes se muestra en el Anexo.

5. Cálculo de las deflexiones correspondientes a cada paquete estructural, utilizando el EVERSTRESS.

Los diseños realizados fueron analizados mediante el paquete de computación EVERSTRESS. Se introdujeron los datos de espesores para cada ruta, así como los módulos correspondientes al diseño para cada porcentaje de vida remanente (número estructural).

De esta manera se obtuvieron las deflexiones correspondientes (D1) para una carga de 40000N aplicados en un área de contacto circular de 15cm de radio, lo cual equivale a una presión de 566kPa aproximadamente, para simular la carga aplicada durante el ensayo de deflectometría de impacto.

Los resultados de deflexiones para cada rango y para cada número estructural se muestran en la Tabla 4.

Rangos de TPD	Vida Remanente de la propuesta original				Vida Remanente con base granular y modificaciones de Periodo, Zr y So.				Vida Remanente con base Estabilizada.			
	100%	60%	20%	0%	100%	60%	20%	0%	100%	60%	20%	0%
0 - 5000	64,1	69,8	82,0	111,7	71.1	76.5	88.5	115.7	35.2	36.4	39.7	53.3
5000 - 15000	56,9	62,7	74,7	104,7	65.1	70.8	83.3	112.9	31.3	32.4	36.7	50.4
15000 - 40000	54,0	59,2	69,4	95,2	61.4	67.6	79.1	107.9	30.4	31.7	35.9	50.5
Casos Particulares	44,3	48,5	56,7	78,9	51.8	57.2	66.9	93.6	23.7	24.5	26.9	38.0

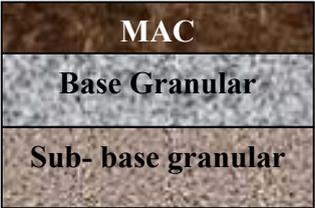
Tabla 4: Variación de las deflexiones (mm^{-2}) con respecto a la reducción de Vida Remanente

6. Determinación de los rangos de deflexiones.

Una vez realizadas las modificaciones se muestran a continuación las distintas opciones de rangos para evaluación de la red vial nacional, detallándose las variaciones en los parámetros de diseño para cada uno de ellos:

1. Solución óptima

Variables de diseño:

Para rutas con TPD [0 – 15000]	Para rutas con TPD [15000 – 40000 y casos especiales]
Zr=80% y 90%	Zr=95%
So=0.45	So=0.5
Periodo de falla estructural= 15 años	Periodo de falla estructural= 20 años
 <p>Sub-rasante</p>	 <p>Sub-rasante</p>

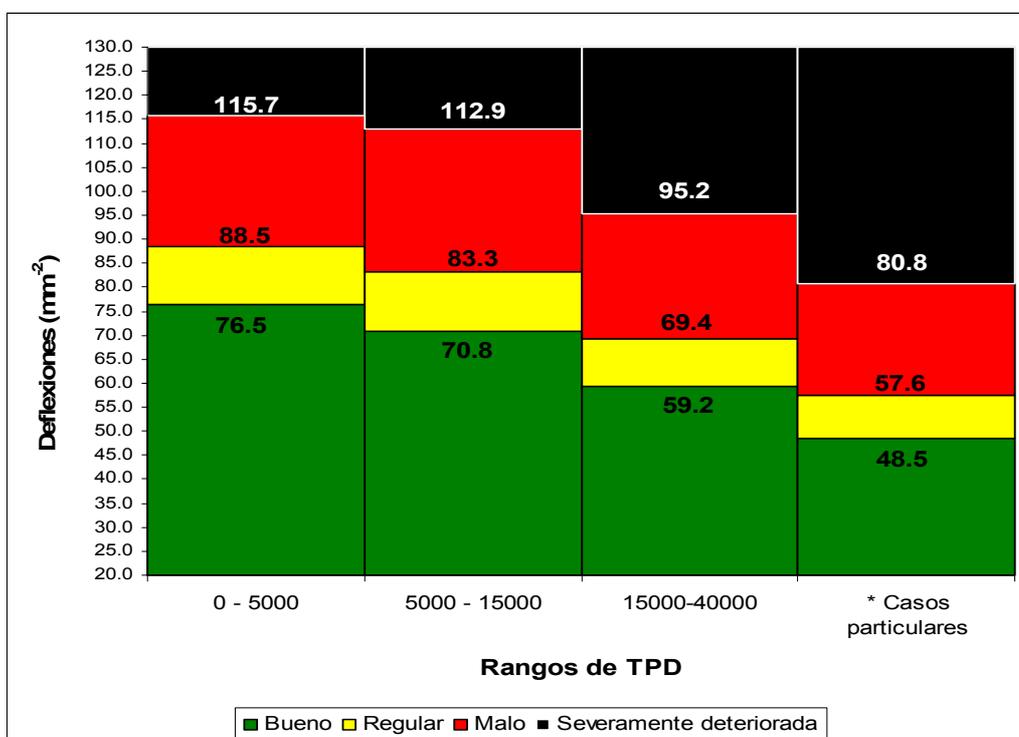


Gráfico 1: Rangos de deflexión en mm^{-2} propuestos para diferentes rangos de TPD

2. Segunda opción

Variables de diseño:

$Z_r=95\%$,

$S_o=0.5$,

Periodo de falla estructural= 20 años.

Paquete estructural base:



Sub-rasante

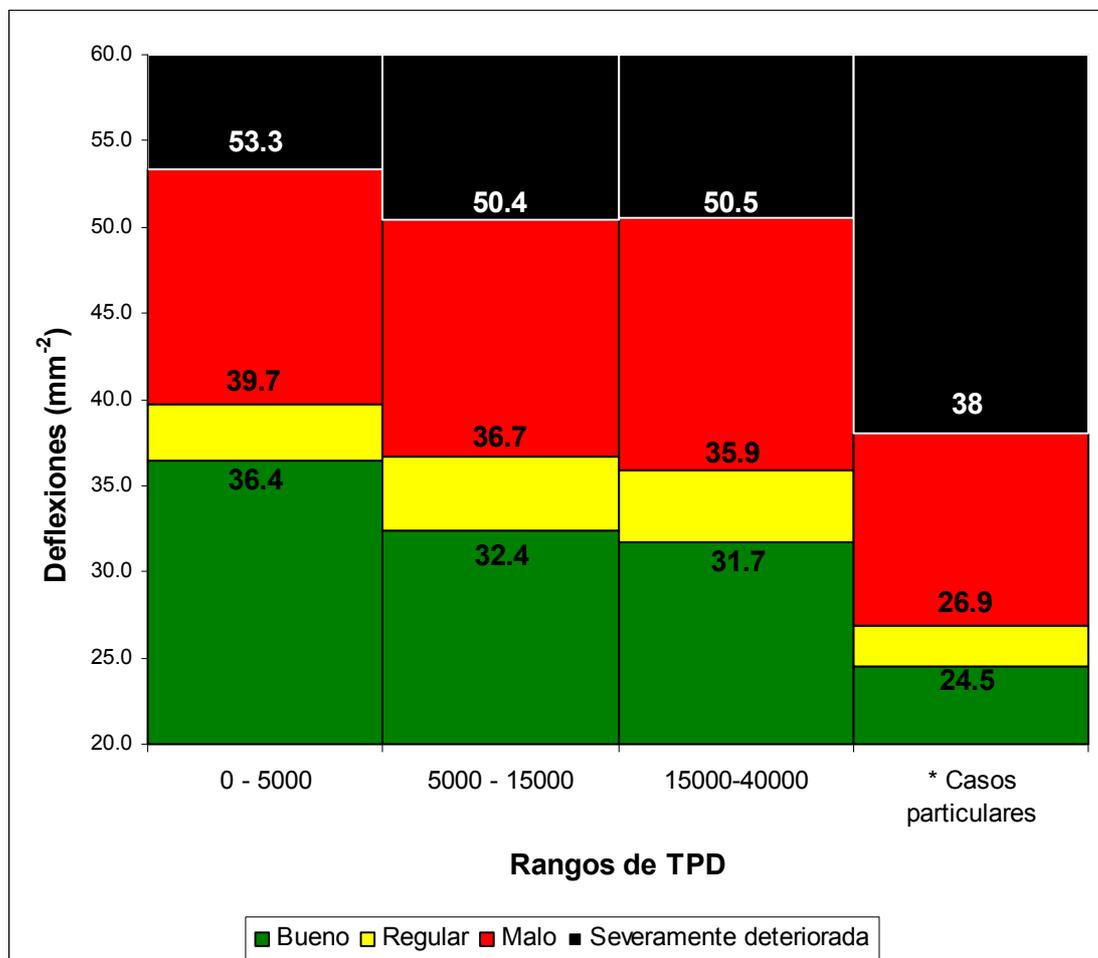


Gráfico 2: Rangos de deflexión en mm² propuestos para diferentes rangos de TPD

CONCLUSIONES

- Los rangos de deflexiones propuestos permiten calificar la capacidad estructural de la Red Vial Nacional tomando en cuenta sus características de tránsito promedio diario y representan una mejora importante en la evaluación de las rutas, ya que son de fácil aplicación y evidencian un estado estructural acorde con la realidad nacional y con el nivel que deben tener las vías luego de las enormes inversiones de fondos públicos a lo largo de las campañas de conservación de los últimos años.
- Los parámetros de diseño elegidos originalmente en el informe **UI-PE-02-08** del 5 de mayo de 2008 responden a criterios técnicos objetivos y equilibrados, que no pretenden ser permisivos, ni exigentes con la capacidad estructural esperada.
- Las variaciones a los parámetros de diseño realizadas producto de las recomendaciones del Dr. Pedro Castro Fernández fueron tomadas en consideración y resultaron en la propuesta de nuevos rangos, aplicados para rutas de volúmenes entre 0 y 15.000 vehículos diarios, ya que se consideran rutas nacionales de importancia entre regular y baja, donde se pueden considerar apropiados el uso de niveles de confianza, desviaciones estándar y periodos de falla estructural menores.
- En el caso de las rutas de mayor volumen vehicular TPD [15.000 – 40.000 y casos especiales] se mantienen los rangos originales propuestos, considerando que la exigencia en términos de capacidad estructural para este tipo de ruta debe ser mayor, dada su importancia y el nivel de inversión realizado.
- La variación recomendada por el Dr. Castro Fernández sobre la incorporación de base estabilizada con cemento hidráulico dentro del paquete estructural resulta en rangos de deflexiones mucho mas bajos que los establecidos en un paquete estructural con

base granular debido a la rigidez del paquete producto de las características mecánicas de la base estabilizada, estos rangos podrían ser aplicados en rutas que cuenten con ese tipo de estructura, para esto requeriríamos el apoyo del MOPT-CONAVI en la definición de las secciones que actualmente presentan base estabilizada y lograr de esta forma una clasificación mejor, ajustada a las condiciones reales.

Por último queremos reiterar que esta propuesta de rangos para la evaluación de la red vial, tiene como objetivo proponer una clasificación basada en criterios técnicos que mejoren la utilizada actualmente, además reconocemos que puede ser mejorada a mediano y largo plazo, sin embargo, para esto se debe establecer una política enfocada en la recolección de mejores bases de datos que permitan establecer modelos validados para nuestras condiciones.

RECOMENDACIONES

- Con la finalidad de obtener rangos de deflexiones para una ruta específica, es recomendable realizar diseños estructurales, teniendo a disposición datos confiables para esta ruta de: TPD, distribución vehicular, factores camión, así como características del paquete estructural (espesores y materiales).

**ANEXO: DISEÑO DE LAS DIFERENTES RUTAS PARA LOS NÚMEROS
ESTRUCTURALES FACTORIZADOS PARA LA VIDA REMANENTE**