



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

**LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS
ESTRUCTURALES**

*Se envió a
Pedro Castro
a través de la direc-
ción Lanamme.
21/05/08*

**PROYECTO ESPECIAL:
PROPUESTA DE RANGOS PARA LA CLASIFICACIÓN
DE LA RED VIAL NACIONAL**

Realizado por

**Ing. Roy Barrantes
Ing. Gustavo Badilla
Denia Sibaja**

**05 de marzo
2008**

CONTENIDO

ANTECEDENTES	3
OBJETIVO GENERAL	3
ALCANCES	3
INTRODUCCIÓN	4
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 (consideraciones de diseño)	6
2. Análisis de las rutas estudiadas en el proyecto de investigación: Encuesta de Carga en Pavimentos de Costa Rica	7
3. Análisis de los datos de TPD y el porcentaje de pesados, obtenidos del Departamento de Planificación Sectorial del MOPT para las demás rutas de la Red Vial Nacional.....	9
4. Cálculo del número estructural, utilizando la metodología de la Guía de Diseño AASHTO 1993.....	13
5. 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.....	14
6. Definición del paquete estructural para los grupos rutas	18
7. Cálculo de las deflexiones correspondientes a cada paquete estructural, utilizando el EVERSTRESS.....	20
8. Agrupación de las rutas y determinación de los rangos de deflexiones.....	22
DETERMINACIÓN DE LOS RANGOS DE IRI	23
ANTECEDENTES.....	23
CONCEPTOS GENERALES Y DEFINICIONES	23
DETERMINACIÓN DE LOS RANGOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FUNCIONAL POR MEDIO DEL IRI.....	25
CONCLUSIONES	31
RECOMENDACIONES	33
ANEXO A: EJEMPLO COMPARATIVO ENTRE RANGOS EXISTENTES Y NUEVOS RANGOS PROPUESTOS.....	34
ANEXO B: DISEÑO DE LAS DIFERENTES RUTAS PARA LOS NÚMEROS ESTRUCTURALES FACTORIZADOS PARA LA VIDA REMANENTE	39

ANTECEDENTES

Bajo el marco de la Ley No. 8114, le corresponde al LanammeUCR realizar cada dos años una **Evaluación de la Red Vial Nacional (ERVN)** pavimentada, la cual sirve como instrumento para la rendición de cuentas tanto de la gestión de dicha infraestructura como para la inversión pública realizada.

Dentro del proceso de mejora continua del LanammeUCR, y con el propósito de cumplir con este mandato de ley, se presenta para la evaluación del año 2008, una nueva propuesta que toma en cuenta las distintas características de las rutas y que permite clasificarlas según su condición estructural y funcional con una mayor rigurosidad técnica.

OBJETIVO GENERAL

Brindar criterios, con fundamentos teóricos y técnicos, que permitan clasificar la evaluación de la Red Vial Nacional en términos de su capacidad estructural y funcional.

ALCANCES

En este informe se presentan los diferentes rangos que permiten clasificar los resultados de la evaluación de la Red Vial Nacional, de acuerdo con su capacidad estructural y funcional.

Debido a que las rutas que componen la Red Vial Nacional difieren entre sí, tanto por su importancia como por la cantidad de vehículos y estructura, se reconoce la necesidad de agruparlas y definir rangos de deflexiones que se ajusten a las características de cada subgrupo.

Para lograr definir los rangos de la capacidad estructural, reflejada por la deflectometría de impacto, se realizaron análisis de tránsito y diseños estructurales, que permitieron calcular las deflexiones características de cada subgrupo de rutas.

El método utilizado, que permitió determinar estos rangos, fue el "Método de Vida Remanente, AASHTO 1993¹" el cual correlaciona pérdidas en la vida útil del pavimento con una disminución del número estructural calculado a través de un "Factor de Condición (CF)"

En el caso de la capacidad funcional, reflejada por la medición del Índice de Regularidad Internacional (IRI) con el perfilómetro láser; se investigaron las correlaciones existentes entre los distintos índices que se utilizan para definir la condición funcional de una ruta, tales como el "Present Serviceability Index (PSI)", y el "Present Serviceability Rating (PSR)". Conociendo el modelo matemático que correlaciona el IRI con el PSI y con base en la clasificación funcional existente para PSI, se proponen los nuevos rangos.

Los rangos propuestos en este informe, no deben ser considerados para evaluar la capacidad estructural de los pavimentos rígidos que son, aproximadamente, un 1% de la Red Vial Nacional.

INTRODUCCIÓN

Antes de iniciar la descripción del procedimiento para la definición de los rangos, se debe aclarar que la evaluación funcional y estructural de los pavimentos son actividades distintas pero complementarias. Con base en lo anterior, se puede decir que una vía puede tener una buena capacidad estructural; sin embargo escalonamiento de juntas, por ejemplo, puede significar que la capacidad funcional de la vía es deficiente. De igual modo, una vía puede tener una buena capacidad funcional, pero el hecho de que exista un agrietamiento, como "piel de lagarto", indica que la capacidad estructural es deficiente.

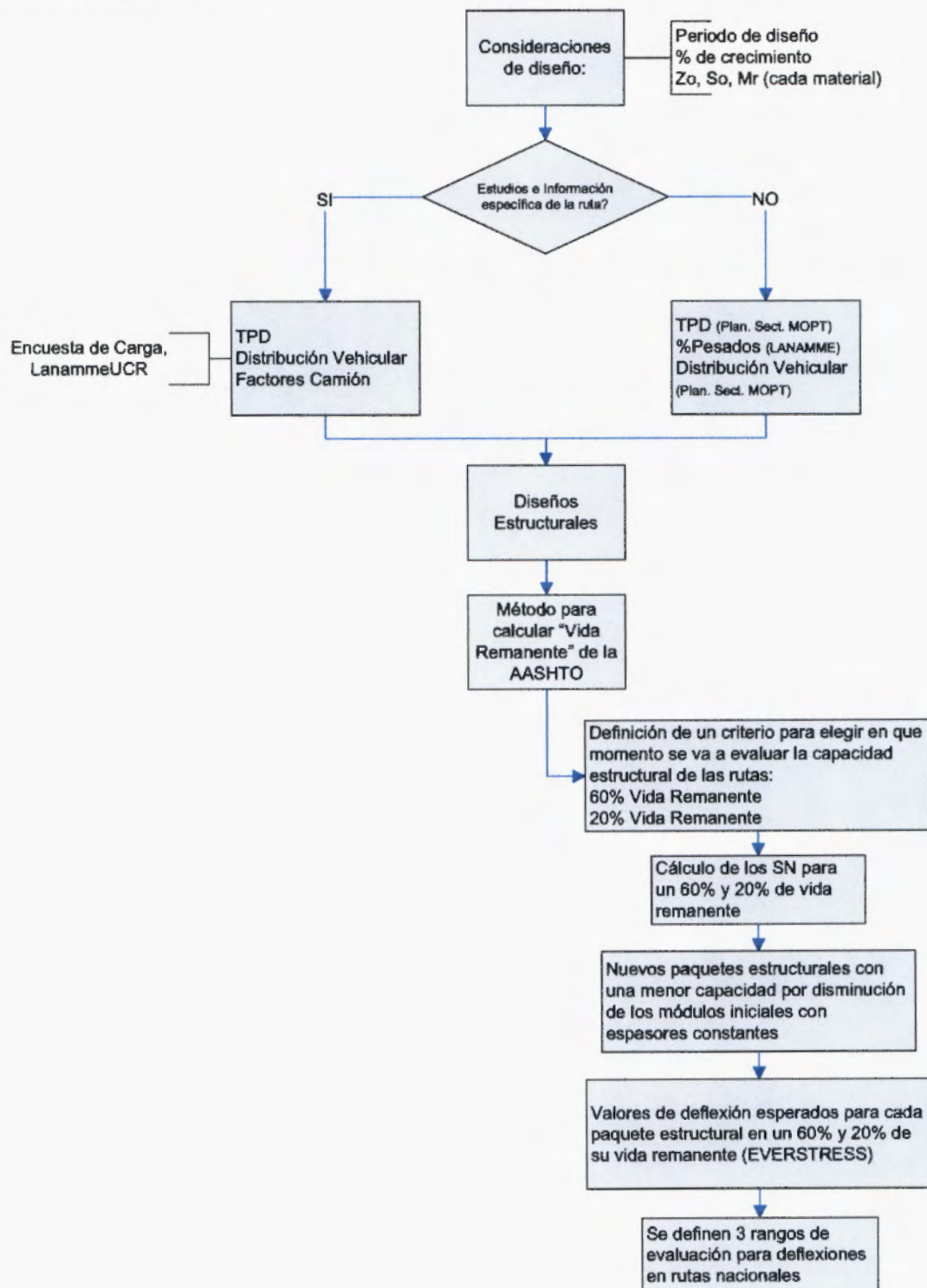
La medición de la calidad de un pavimento presenta una dificultad conceptual que depende del objetivo de la evaluación, ya sea la condición estructural o bien la condición funcional de su superficie. Una vez determinado el objetivo de la evaluación, se deben utilizar criterios de evaluación estandarizados de modo que los resultados sean comparables con mediciones realizadas por otras personas, a lo largo del tiempo y entre un pavimento y otro.

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

DETERMINACIÓN DE RANGOS DE DEFLEXIONES

METODOLOGÍA

DIAGRAMA DE FLUJO



DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

Para determinar 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 (consideraciones de diseño)

Período de diseño

Se considera un período de diseño de veinte 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)

Porcentaje de crecimiento vehicular

Para realizar las proyecciones de tránsito necesarias, se utilizó un porcentaje de crecimiento del **6%** (sugerido por algunas metodologías por su relación con el crecimiento del PIB) para la determinación de los ESAL`s de diseño.

Índice de serviciabilidad

Para determinar el índice de serviciabilidad, es necesario suponer los valores de desempeño tanto iniciales como finales. En el caso del valor inicial o **Po** se supone un valor de desempeño de **4.2** el cual es usual para pavimentos flexibles. En el caso del valor final lo usual es suponer un valor de 2.5, sin embargo como el objetivo es reflejar la totalidad de la pérdida de serviciabilidad, se supuso un valor de **1.5** (valor de Índice de Serviciabilidad Final en el método de Vida Remanente según AASHTO-93, que refleja la falla del pavimento).

Para el cálculo del índice de serviciabilidad en este estudio, no se toman en cuenta los efectos de expansividad de arcillas y el efecto de congelamiento. Es así como se obtiene un Δ PSI como se observa a continuación:

$$\Delta\text{PSI} = 4.2 - 1.5 = 2.7$$

Nivel de confianza

Para realizar los diseños correspondientes, se supuso un nivel de confianza de $R=95\%$, y se calcula un valor de $Z_R = -1.645$ y $S_o = 0.5$ (valor alto, considerando el riesgo de que se apliquen prácticas constructivas que aporten mayor incertidumbre al desempeño. Los valores para este parámetro deben rondar entre 0.4 y 0.5 para pavimentos flexibles)

2. Análisis de las rutas estudiadas en el proyecto de investigación: Encuesta de Carga en Pavimentos de Costa Rica ²

A continuación se presentan las rutas estudiadas en este proyecto, las cuales cuenta con información específica de tránsito, además se muestra el tramo de influencia de los resultados obtenidos:

- **Ruta 1 - General Cañas:** Tramo comprendido entre la Uruca (R3. Hotel Irazú) y límite provincial Heredia/Alajuela, Río Segundo. Incluye las secciones de control: 19003, 40040, 40710.
- **Ruta 1 - Bernardo Soto (Naranjo):** Tramo comprendido entre límite cantonal Alajuela/Grecia (r Poas) y la Radial Naranjo. Incluye las secciones de control: 20020, 20031.
- **Ruta 1 - Esparza:** Tramo comprendido entre Monserrat (r 135) y Esparza (r131). Incluye las secciones de control: 20060, 60200.
- **Ruta 2 - Florencio del Castillo:** Tramo comprendido entre Curridabat (r251) y paso superior a San Rafael (r 251). Incluye las secciones de control: 10250, 30750, 30600 y 30110.

² Badilla Vargas, Ulloa Calderón, Allen Monge, Sibaja Obando. Encuesta de Carga en Pavimentos de Costa Rica. Informe de investigación. Unidad de Investigación. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, LanammeUCR. San José, Costa Rica. 2007

- **Ruta 2 -Pérez Zeledón:** Tramo comprendido entre San Isidro de El General (r243) y Juntas de Pacuar (r 244). Incluye las secciones de control: 10003, 10002.
- **Ruta 27 - Próspero Fernández:** Tramo comprendido entre San Rafael de Escazú y río Tiribí, limite cantonal San José/Escazú. Incluye la sección de control: 19013.
- **Ruta 32 - Braulio Carrillo:** Tramo comprendido entre límite cantonal entre Santo Domingo/San Isidro y la Y Griega (r 4). Incluye las secciones de control: 10550, 10950, 10990, 70160.
- **Ruta 140 - San Carlos:** Tramo comprendido entre Ciudad Quesada (r 140) y Florencia (r 135). Incluye la sección de control: 20630.

En el estudio de Encuesta de Carga se calcularon los valores correspondientes a los factores camión, los cuales se presentan en la Tabla 1:

Ruta	Tipo de vehículo	Factor Camión (TF)					
		Pick up	C2+	C2	Bus C2	C3	T3-S2
Ruta 1 – General Cañas (Peaje)		0.011	0.019	0.734	2.022	2.721	2.102
Ruta 1 – Bernardo Soto Naranjo (Peaje)		0.011	0.016	0.902	3.680	1.971	3.701
Ruta 1 – Esparza (Estación policía de tránsito)		0.011	0.233	0.723	2.911	2.834	4.153
Ruta 2 – Florencio del Castillo (Peaje)		0.015	0.031	0.827	1.437	3.202	3.021
Ruta 2 –Pérez Zeledón (Estación policía de tránsito)		0.012	0.014	0.446	1.858	3.330	2.080
Ruta 27 – Próspero Fernández (Peaje)		0.011	0.016	1.163	1.957	3.155	2.695
Ruta 32 – Braulio Carrillo (Peaje)		0.011	0.022	0.695	3.692	2.271	4.229
Ruta 140 – San Carlos (Ciudad Quesada-Florencia)		0.012	0.014	0.521	2.107	3.773	3.861
Promedio		0.012	0.046	0.751	2.458	2.907	3.230
Desviación estándar		0.001	0.076	0.223	0.861	0.585	0.878

Tabla 1 Datos de Factores Camión para las principales rutas nacionales

El Tránsito Promedio Diario y la distribución vehicular derivados del estudio se presentan en la Tabla 2:

Tipo de vehículo		TPD	Distribución vehicular					
			Pick up	C2+	C2	Bus C2	C3	T3-S2
Ruta 1 – General Cañas (Peaje)	San José - Alajuela	33028	8.43%	1.24%	7.52%	5.37%	1.51%	3.13%
	Alajuela - San José	30535	8.32%	1.20%	7.50%	5.38%	1.49%	3.11%
Ruta 1 – Bernardo Soto Naranjo (Peaje)	Naranjo	21105	13.90%	2.02%	11.21%	3.20%	2.71%	8.70%
Ruta 1 – Esparza (Estación policía de tránsito)	Esparza	11696	9.38%	5.30%	6.06%	2.24%	0.78%	7.25%
Ruta 2 – Florencio del Castillo (Peaje)	San José - Cartago	18536	6.04%	1.87%	5.92%	4.77%	1.63%	3.47%
	Cartago - San José	21959	6.24%	2.02%	6.56%	5.19%	1.76%	3.79%
Ruta 2 – Pérez Zeledón (Estación policía de tránsito)	Pérez Zeledón	7669	24.68%	3.27%	8.82%	2.90%	2.40%	3.64%
Ruta 27 – Próspero Fernández (Peaje)	San José - Escazú	18623	4.76%	1.59%	3.16%	1.83%	1.05%	0.78%
	Escazú - San José	27730	6.93%	1.55%	2.89%	1.32%	1.06%	0.55%
Ruta 32 – Braulio Carrillo (Peaje)	Peaje	8472	11.07%	3.23%	10.45%	2.56%	2.96%	23.65%
Ruta 140 – San Carlos (Ciudad Quesada-Florencia)	Ciudad Quesada - Florencia	10828	17.25%	2.27%	5.65%	1.71%	1.25%	0.46%

Tabla 2: TPD y distribución vehicular en las diferentes rutas

Con base en los datos expuestos en la Tabla 1 y la Tabla 2, y los datos supuestos para el crecimiento vehicular, así como para el período de diseño, se logran determinar los ejes equivalentes de 8.2 toneladas (ESAL`s) de diseño, que se muestran en la Tabla 6.

3. Análisis de los datos de TPD y el porcentaje de pesados, obtenidos del Departamento de Planificación Sectorial del MOPT para las demás rutas de la Red Vial Nacional

Se analizaron los rangos de distribución de TPD y los porcentajes de pesados propuestos por el Subprograma de Evaluación de la Red Vial Nacional (ERVN), que se muestra en la Tabla 3, en la cual se propone una variación en el porcentaje de vehículos pesados dependiendo del TPD de las distintas rutas.

TPD	Porcentaje de Pesados (%)
< 2 000	15
2 000 – 5 000	13
5 000 – 10 000	8
> 10 000	6

Tabla 3: TPD y porcentaje de pesados propuestos por el Subprograma de Evaluación de la Red Vial Nacional

Con el propósito de evaluar la representatividad de los rangos propuestos, se consideraron los datos de tránsito obtenidos del Departamento de Planificación Sectorial del MOPT, y se analizó estadísticamente las rutas que presentan información completa, tanto de TPD como de distribución vehicular (aproximadamente 713 secciones de control a lo largo de toda la Red Vial Nacional).

Se realizó una distribución de los datos de TPD por percentiles, ver la Tabla 4 y la Figura 1. Los cuartiles obtenidos de esta manera concuerdan en gran medida con los rangos de TPD de la Tabla 3.

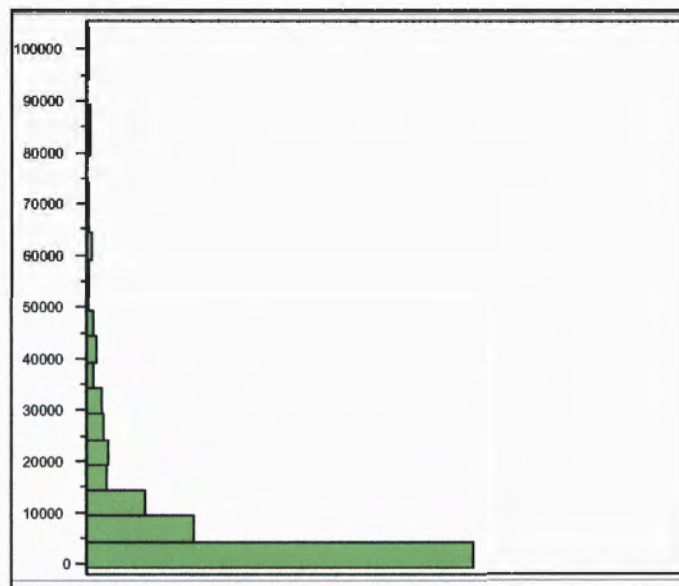


Figura 1: Distribución del TPD para las secciones de control con información completa

Percentil	Descripción	Valor de TPD
100.0%	Máximo	99656
99.5%		88161
97.5%		61443
90.0%		28840
75.0%	Tercer cuartil	10077
50.0%	Mediana	3128
25.0%	Primer cuartil	1142
10.0%		428
2.5%		143
0.5%		74
0.0%	Mínimo	10

Tabla 4: Distribución del TPD para las secciones de control con información completa

Al comparar los rangos planteados en la Tabla 3 con los resultados del análisis estadístico, se encontró que los rangos de TPD eran representativos y que podían ser utilizados para clasificar las rutas.

En el caso de las rutas con datos de TPD mayor a 10000, fue necesario establecer puntos de control, mediante la distribución por cuartiles de estos datos, los cuales se muestran en la Tabla 5.

Percentil	Descripción	Valor de TPD
75.0%	Tercer cuartil	40000
50.0%	Mediana	25000
25.0%	Primer cuartil	15000

Tabla 5: Distribución de cuartiles para TPD mayor a 10000

Luego de haber determinado la representatividad de los rangos de TPD propuesto, se realizó un análisis estadístico para el conjunto de datos dentro de cada cuartil de TPD y se determinó cual era la respectiva distribución del porcentaje de pesados. Los resultados se resumen en el Gráfico 1.

En el Gráfico 1 (línea verde) se muestra la variación en el porcentaje de pesados correspondiente al cuartil 75%, se observan también los porcentajes de pesados que deben ser asociados con los rangos de TPD según el análisis estadístico realizado.

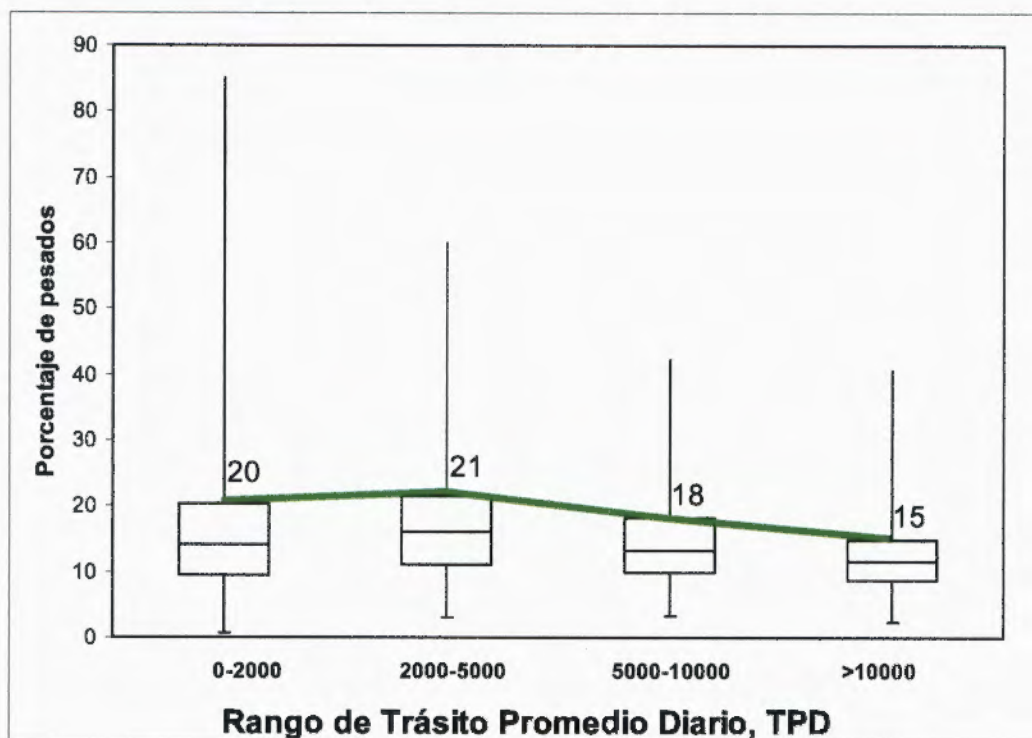


Gráfico 1: Porcentaje de pesados en el cuartil 75% para los diferentes rangos de TPD.

De este análisis se determinó que los valores propuestos por el Subprograma de Evaluación de la Red Vial Nacional diferían considerablemente de los encontrados mediante un análisis estadístico, por lo que se decidió utilizar estos últimos.

Para calcular los Ejes Equivalentes de Diseño, (ejes estandarizados de 9000 kg, ESAL`s por sus siglas en inglés) es necesario conocer, además de los datos de TPD y porcentaje de pesados, el Factor Camión correspondiente.

Dado que no se cuenta con datos de Factor Camión para cada una de las rutas que conforman la Red Vial Nacional, fue necesario utilizar el promedio de los factores camión encontrados en el estudio de **Encuesta de Carga en Pavimentos de Costa Rica** para emplearlo como dato de entrada en el cálculo de los ESAL`s.

En la Tabla 6 se muestran los ESAL`s calculados, tomando en cuenta las consideraciones de los pasos 1, 2 y 3 anteriormente descritos.

Descripción de la ruta diseñada	ESAL`s de diseño
2000, 21%pes	3.332.102
5000, 21%pes	8.330.256
Ciudad Quesada - Florencia	9.657.978
Perez Zeledon	12.977.486
10000. 18%pes	14.280.439
15000. 15%pes	17.850.549
San José - Escazú	28.669.625
25000. 15%pes	29.750.915
Esparza	34.983.735
Escazu_SJ	36.427.863
40000. 15%pes	47.601.464
San José - Cartago	61.827.378
Zurqui	70.315.677
Naranjo	76.015.780
Alajuela - San José	77.763.699
Cartago - San José	79.915.756
San José - Alajuela	84.372.205

*Rutas estudiadas en el proyecto: Encuesta de Carga de Pavimentos en Costa Rica

Tabla 6: ESAL`s para el diseño*

4. Cálculo del número estructural, utilizando la metodología de la Guía de Diseño AASHTO 1993³.

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:

³ AASHTO. Guide for Design of Pavement Structures. Washington, D.C., 1993.

$$Z_R = -1.645$$

$$S_o = 0.5$$

$$\Delta PSI = 2.7$$

$M_R = 8.500$ 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 Tabla 6, se calculó el Número estructural correspondiente al 100% de Vida Remanente, los valores se muestran en la Tabla 7.

Ruta	ESAL's de diseño	Número estructural
2000, 21%pes	3.332.102	3,95
5000, 21%pes	8.330.256	4,45
C. Quesada	9.657.978	4,54
Perez Zeledon	12.977.486	4,72
10000. 18%pes	14.280.439	4,78
15000. 15%pes	17.850.549	4,92
25000. 15%pes	29.750.915	5,25
Esparza	34.983.735	5,36
Escazu_SJ	36.427.863	5,39
40000. 15%pes	47.601.464	5,57
Zurqui	70.315.677	5,85
Naranjo	76.015.780	5,91
SJ_Alajuela	84.472.205	5,99

Tabla 7: Número Estructural para los ESAL's de diseño

5. 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.

El deterioro estructural se define como una reducción de la capacidad del pavimento, para soportar cargas.

La Figura 2 ilustra los conceptos generales de deficiencia estructural y capacidad estructural efectiva. La capacidad estructural, para un pavimento nuevo se denota como SC_o y para pavimentos flexibles, se expresa como SN.

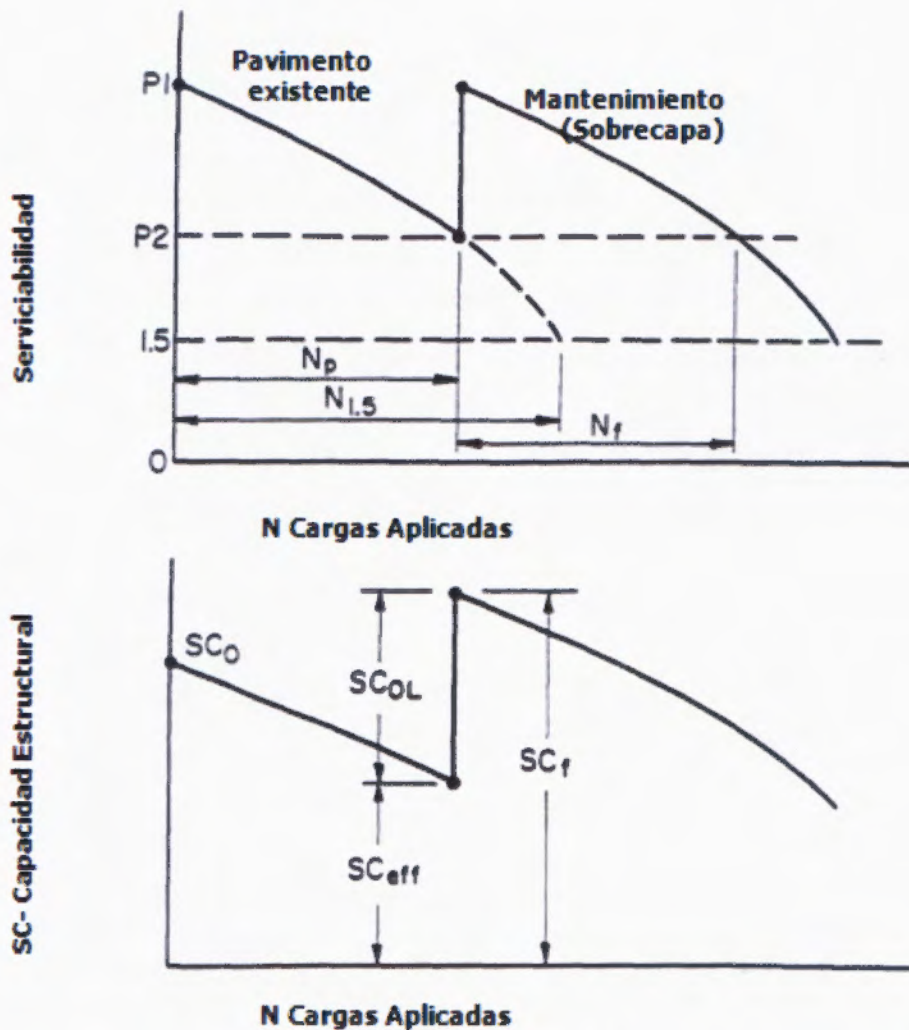


Figura 2: Reducción de la capacidad estructural de los pavimentos en el tiempo por el tránsito.

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

La capacidad estructural del pavimento disminuye con el tiempo y el tráfico, y se denota como SC_{eff} . En el caso de los pavimentos flexibles, la capacidad estructural efectiva se expresa como SN_{eff} . Y puede determinarse mediante tres metodologías alternativas:

1. Capacidad estructural con base en ensayos a los materiales y evaluación visual.
2. Capacidad estructural con base en ensayos no destructivos de deflexión.
3. Capacidad estructural con base en daño por fatiga debido al tráfico.

El método de "Vida Remanente" sigue el concepto de daño por fatiga y depende, directamente, de los conceptos ilustrados en la Figura 2. Esto es, que las cargas repetidas

dañan gradualmente el pavimento y reducen el número de cargas adicionales que puede soportar y que lo llevan a la falla. En este caso, se supone que la reducción en la capacidad estructural del pavimento, no presentará daños observables pero si una reducción en términos de la cantidad de cargas futuras que puede soportar.

Para determinar la "Vida Remanente", el diseñador debe determinar la cantidad de tráfico que el pavimento ha soportado hasta ese momento y la cantidad total de tráfico que se espera, pueda soportar hasta la "falla" (para ser consistentes con la ecuación de diseño de la metodología de la AASHTO 1993, se considera la falla cuando el índice de serviciabilidad, PSI, es igual a 1.5). Ambas cantidades de tráfico deben expresarse en términos de Ejes Equivalentes de Diseño de 9000 Kg (18000 lbs). La diferencia entre estos valores, expresado como un porcentaje del tráfico total para la "falla" se define como "Vida Remanente", y se denota por la Ecuación 2:

$$RL = 100 \cdot \left[1 - \left(\frac{N_p}{N_{1.5}} \right) \right]$$

Ecuación 2

donde:

RL: Vida Remanente, %

N_p : cantidad de Ejes Equivalentes de Diseño en un momento determinado, ESAL`s 18000 lbs

$N_{1.5}$: cantidad de Ejes Equivalentes de Diseño para la falla del pavimento (PSI=1.5), ESAL`s 1800 lbs

Una vez determinada la "Vida Remanente", el diseñador puede obtener el Factor de Condición, CF, a partir de la Figura 3. El Factor de Condición, CF, se define como:

$$CF = \frac{SC_n}{SC_0}$$

Ecuación 3

donde:

SC_n : capacidad estructural del pavimento después de N_p ESAL`s

SC_0 : capacidad estructural original del pavimento

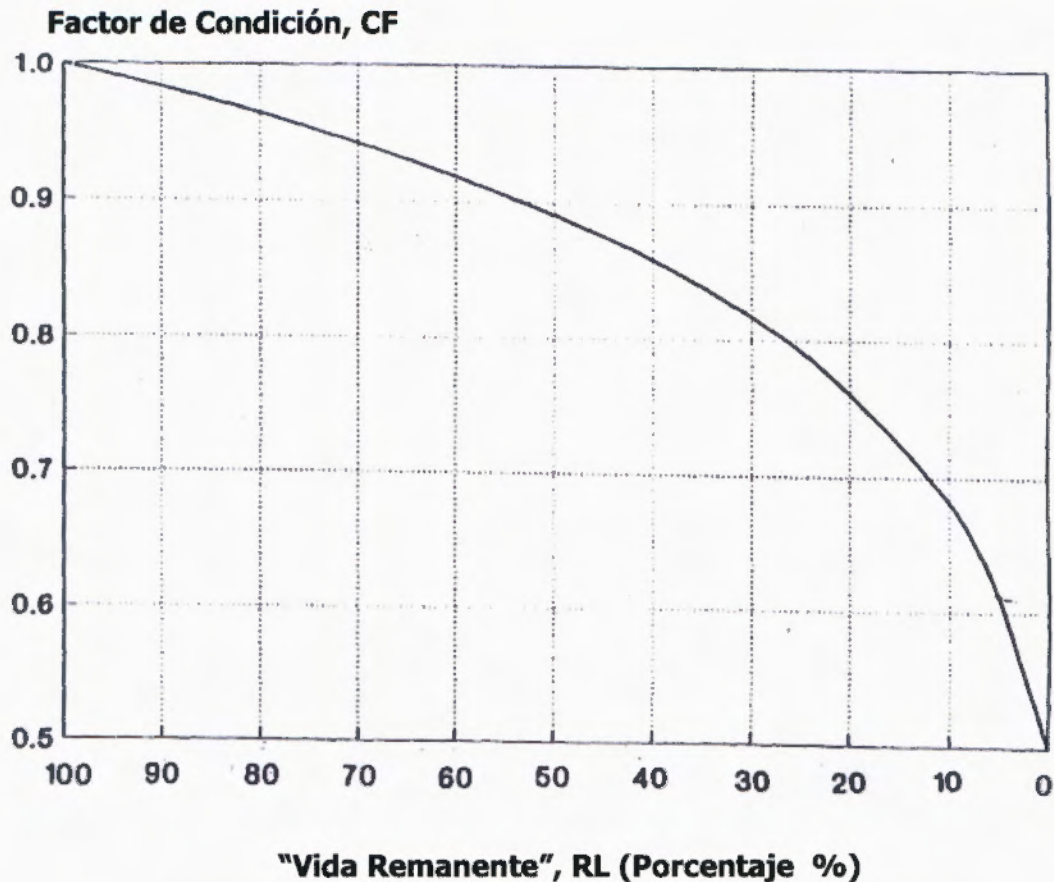


Figura 3: Relación entre Factor de Condición y "Vida Remanente"

La capacidad estructural existente puede ser estimada multiplicando la capacidad estructural original del pavimento por el Factor de Condición, CF , como se muestra a continuación:

$$SN_{eff} = CF \cdot SN_0$$

Ecuación 4

La aproximación de la vida remanente para determinar el SN_{eff} tiene algunas limitaciones asociadas con el método. Las principales son las siguientes:

- La capacidad de predicción de las ecuaciones de diseño obtenidas de la pista de ensayo de la AASHTO.
- Las grandes variaciones en el desempeño típico observado en pavimentos con diseños aparentemente idénticos.

- Estimación de los Ejes Equivalentes de Diseño de 18000 lbs que han pasado en un determinado momento.

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 en 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			
	100%	60%	20%	0%
2000, 21%pes	3,95	3,63	3,00	1,98
5000, 21%pes	4,45	4,09	3,38	2,23
C. Quesada	4,54	4,18	3,45	2,27
Perez Zeledon	4,72	4,34	3,59	2,36
10000, 18%pes	4,78	4,40	3,63	2,39
15000, 15%pes	4,92	4,53	3,74	2,46
25000, 15%pes	5,25	4,83	3,99	2,63
Esparza	5,36	4,93	4,07	2,68
Escazu_SJ	5,39	4,96	4,10	2,70
40000, 15%pes	5,57	5,12	4,23	2,79
Zurqui	5,85	5,38	4,45	2,93
Naranjo	5,91	5,44	4,49	2,96
SJ Alajuela	5,99	5,51	4,55	3,00

Tabla 8: Variación del Número Estructural con respecto a la reducción de Vida Remanente

6. Definición del paquete estructural para los grupos de rutas

Para cada uno de los 54 números estructurales expuestos en la Tabla 8, se realizó el diseño estructural correspondiente.

Para cada ruta, se propusieron tanto espesores como módulos de materiales, para diseñar un paquete que cumpliera con los requerimientos de cada número estructural.

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 9).

Capa	Módulos (MPa)	Módulos (psi)
Carpeta	2.758	400.000
Base Granular	345	50.000
Subbase	103	15.000
Subrasante	59	8.500

Tabla 9: 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.

El detalle de los diseños se muestra en el Anexo B.

7. 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 ruta y para cada número estructural se muestran en la Tabla 10 y en el Gráfico 2.

Ruta	Vida Remanente			
	100%	60%	20%	0%
2000, 21%pes	64,1	69,8	82,0	111,7
5000, 21%pes	58,6	64,5	76,0	105,4
C. Quesada	60,7	66,7	80,0	114,4
Perez Zeledon	54,0	59,2	69,4	95,2
10000. 18%pes	56,9	62,7	74,7	104,7
15000. 15%pes	55,8	61,6	73,5	103,4
25000. 15%pes	51,5	56,1	67,2	93,9
Esparza	49,9	54,8	65,5	92,2
Escazu_SJ	51,1	56,2	66,5	95,1
40000, 15%pes	48,6	53,5	63,3	89,0
Zurquí	44,3	48,5	56,7	78,9
Naranjo	44,5	48,6	57,6	80,8
SJ_Alajuela	44,4	48,6	57,5	80,5

Tabla 10: Variación de las deflexiones (mm²) con respecto a la reducción de Vida Remanente

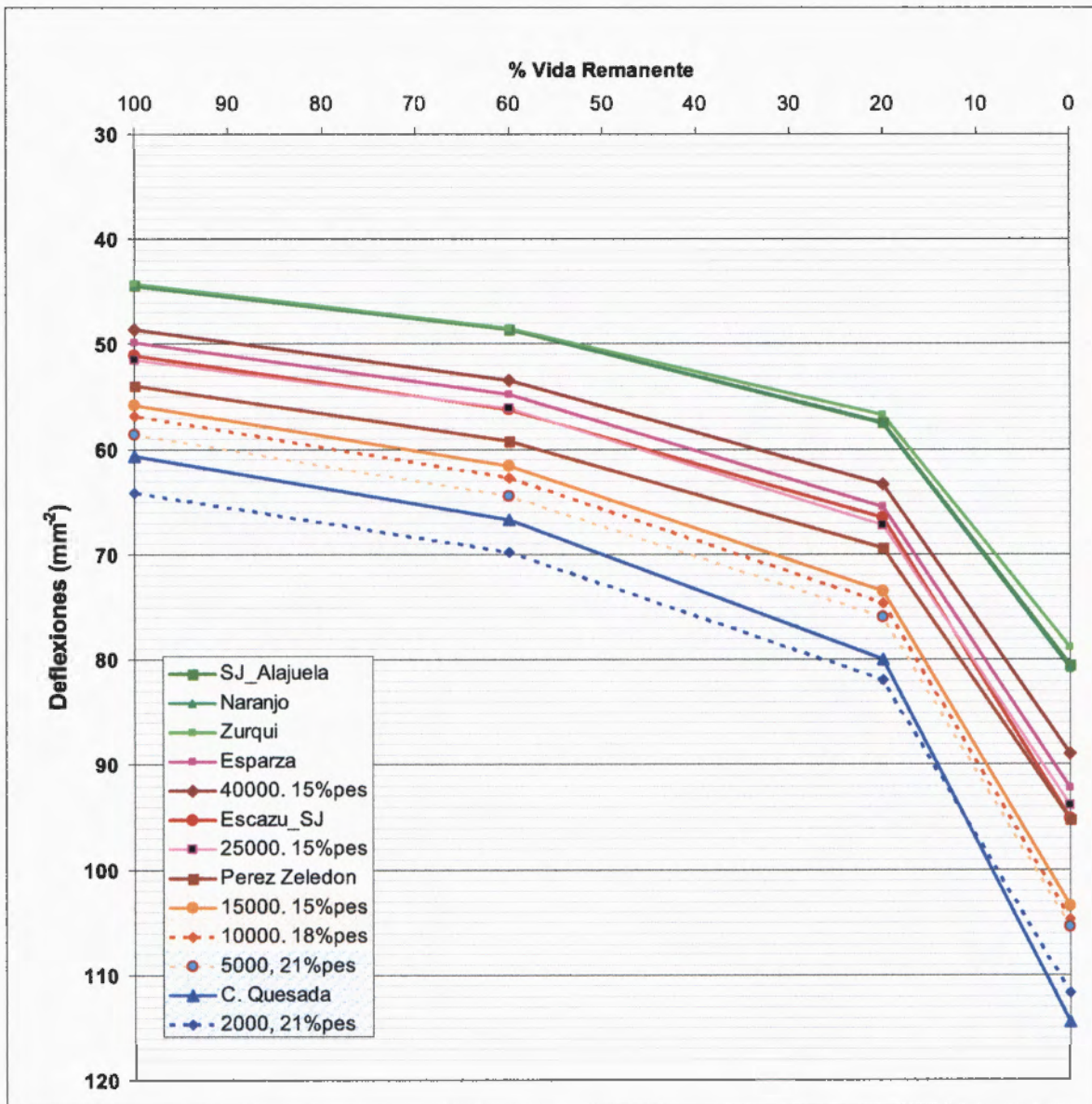


Gráfico 2: Variación de las deflexiones (mm²) con respecto a la reducción de Vida Remanente

8. Agrupación de las rutas y determinación de los rangos de deflexiones.

Al analizar el Gráfico 2, se puede notar que las tendencias de las curvas presentan grupos diferenciados principalmente por el Tránsito Promedio Diario (TPD), lo cual permite establecer rangos de deflexiones característicos para cada grupo. Los rangos de deflexiones definidos con respecto a los TPD son los que se muestran en el Gráfico 2 y en la Tabla 11:

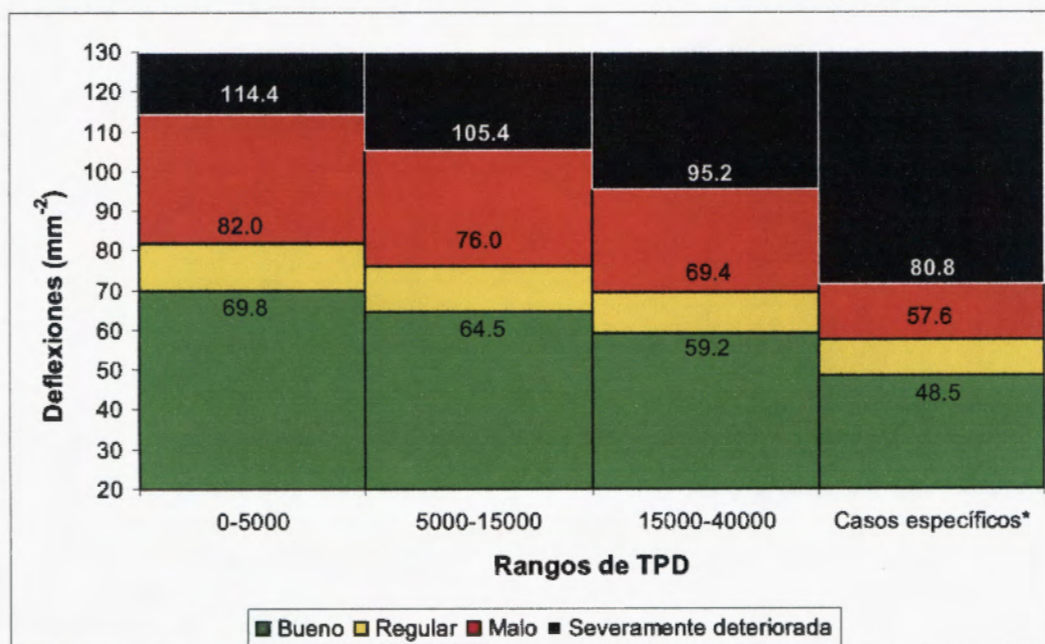


Gráfico 3: Rangos de deflexión en mm^2 propuestos para diferentes rangos de TPD

Deflexiones (D1) mm^2	Rangos de TPD			
	0 - 5 000	5 000 - 15 000	15 000 - 40 000	Casos específicos
Combinaciones o rutas representativas	<ul style="list-style-type: none"> ● 5000, 21%pes ▲ C. Quesada ◆ - 2000, 21%pes 	<ul style="list-style-type: none"> ● 15000, 15%pes ◆ 10000, 18%pes 	<ul style="list-style-type: none"> ● Esparza ● 40000, 15%pes ● Escazu_SJ ● 25000, 15%pes ● Perez Zeledon 	<ul style="list-style-type: none"> ■ SJ_Alajuela ■ Naranjo ■ Zurquí
Bueno	< 69.8	< 64.5	< 59.2	< 48.5
Regular	69.8 < D1 < 82	64.5 < D1 < 76.0	59.2 < D1 < 69.4	48.5 < D1 < 57.6
Malo	82.0 < D1 < 114.4	76.0 < D1 < 105.4	69.4 < D1 < 95.2	57.6 < D1 < 80.8
Severamente Deteriorado	> 114.4	> 105.4	> 95.2	> 80.8

Tabla 11: Rangos de deflexión en mm^2 propuestos para diferentes rangos de TPD

DETERMINACIÓN DE LOS RANGOS DE IRI

ANTECEDENTES

Desde el año 2001 la ley 8114 "Ley de Simplificación y Eficiencia Tributaria" (Gaceta No. 130) designó al LanammeUCR como responsable de realizar evaluaciones bienales de la Red Vial Nacional.

Con el propósito de realizar una evaluación integral de la condición real de nuestra Red Vial Nacional se definieron evaluaciones que abarcaron, tanto la capacidad estructural de las vías como su capacidad funcional.

En términos de la capacidad funcional, el método reconocido internacionalmente para evaluar el confort de los usuarios es mediante la determinación de "Índice de rugosidad Internacional" (IRI), y es por medio de este índice que el LanammeUCR ha calificado a capacidad funcional de la rutas nacionales desde el año 2004.

Como parte de un proceso de mejora continua y respondiendo a la necesidad de contar con indicadores cada vez más completos y objetivos, la Unidad de Investigación propone un nuevo rango de valores para calificar la condición funcional de las vías.

Este nuevo rango de valores cuenta con la ventaja de poder calificar las vías, no solo por su condición funcional por medio del IRI, sino que permite calificar esas mismas vías por medio del "Índice de Serviciabilidad Presente" (PSI), el cual es un parámetro de control sumamente útil en la aplicación de Sistemas de Administración de Pavimentos y determinación de modelos de deterioro en carreteras.

CONCEPTOS GENERALES Y DEFINICIONES

El Índice de Rugosidad o Regularidad Internacional (IRI) es uno de los indicadores que ha ganado mayor aceptación a nivel mundial. Este índice fue desarrollado originalmente por el

"National Cooperative Highway Research Program" (NCHRP) en 1980 y posteriormente ampliado y validado por el Banco Mundial en 1986.

El IRI es un indicador estadístico de la irregularidad superficial de pavimento y representa la diferencia entre el perfil longitudinal teórico (recta o parábola continua perfecta, $IRI = 0$) y el perfil longitudinal real existente en el instante de la medida.

El perfil real de una carretera recién construida tiene un estado cero, pero se define por su IRI inicial mayor a cero, debido principalmente a que alcanzar valores de $IRI = 0$ es sumamente difícil desde el punto de vista constructivo. Una vez puesta en servicio, la regularidad del pavimento se modifica lentamente en función de paso del tránsito.

El IRI se determina mediante un cálculo matemático realizado con las ordenadas o cotas de una línea de perfil longitudinal obtenidas por cualquier técnica o equipo de medida de perfil longitudinal.

Las consideraciones más importantes sobre e IRI son:

- Su principal ventaja reside en que el IRI es un modelo matemático cuyo resultado es independiente de la técnica o equipo utilizado para obtener el perfil.
- Para el cálculo del IRI es importante considerar la representatividad de las ordenadas que se introducen, es decir, la confiabilidad de la técnica o equipo con el que se obtiene el perfil y la frecuencia del muestreo utilizado.
- La precisión de los equipos de medida de la irregularidad superficial es uno de los temas más complejos de decidir y valorar.

Paterson, en 1986, define el IRI como: "El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie de camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la rugosidad de camino en un auto de pasajeros típico, está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificadas ($RARS_{80}$, Reference Average Rectified Slope, razón entre el movimiento acumulado de la suspensión y la distancia recorrida) producto de la simulación

del modelo de cuarto de carro, (RQCS, Reference Quarter Car Simulation), para una velocidad de desplazamiento de 80 km/h. Es calculado a partir de las elevaciones de la superficie medidas mediante un levantamiento topográfico o perfilometría.

Otro concepto importante y relacionado con el Índice de Rugosidad Internacional es el de "serviciabilidad", definido como la percepción que tienen los usuarios del nivel de servicio de pavimento. La serviciabilidad se expresa en términos de "Present Serviciability Index" (PSI).

DETERMINACIÓN DE LOS RANGOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FUNCIONAL POR MEDIO DEL IRI

Para definir rangos que pudieran reflejar la condición funcional de las rutas nacionales de forma objetiva se analizó la fundamentación técnica que dio origen al concepto de IRI, y se aplicaron las correlaciones existentes con otros índices, aceptados internacionalmente, que describen la condición funcional de las rutas (serviciabilidad) considerando tanto la rugosidad de los pavimentos, como los deterioros existentes.

Uno de los principios fundamentales considerados por la "American Association of State Highway and Transportation Officials" (AASHTO) en el desarrollo de la Guía de Diseño Estructural de Pavimentos (AASHTO, Washington D.C., 1993) es la relación existente entre los conceptos de serviciabilidad y desempeño. De acuerdo con estos conceptos el pavimento existe para brindar confort y seguridad a los usuarios; por consiguiente, el desempeño de un pavimento debería ser cuantificado en términos de su serviciabilidad.

La AASHTO desarrolló en 1962, por medio de experimentación en el "tramo de prueba de escala natural" una definición de serviciabilidad de un pavimento, denominada como "Present Serviciability Rating" (PSR). El cálculo de este índice se realizó por medio de una apreciación subjetiva sobre la calidad de rodado, realizado por un grupo de personas que formaron parte de un panel evaluador. De esta evaluación subjetiva surgió una escala de clasificación que calificó la calidad de ruedo con valores entre 0 (intransitable) y 5 (excelente).

Uno de los objetivos principales de este estudio era desarrollar una relación entre el índice PSR subjetivo y un índice objetivo como lo es el índice PSI.

Producto de desarrollo de modelos de regresión lineal se logró calcular los valores de PSI, a partir de datos provenientes de las distintas secciones de la "Pista de Prueba" construida por la AASHTO. De esta forma fue posible estimar el PSR como una función derivada de variables como el "Slope Variante", (SV) y considerando el aporte de deterioros como agrietamientos y bacheo, la cual logró estimar un nuevo índice de serviciabilidad objetivo conocido como PSI y representado por las siguientes ecuaciones:

Para Pavimentos Asfálticos:

$$PSI = 5.03 - 1.91 * \log(1 + SV) - 1.38 * D^2 - 0.01 * (C + P)^{0.5}$$

Ecuación 5

Para Pavimentos de Concreto Hidráulico:

$$PSI = 5.41 - 1.78 * \log(1 + SV) - 0.09 * (C + P)^{0.5}$$

Ecuación 6

Donde:

SV: Varianza de a pendiente longitudinal (Slope Variance) medida con un perfilómetro CHLOE, rod x 10^{-6} (in/ft²).

RD: Ahuellamiento promedio en pavimentos de asfalto, in.

C (en asfalto): Superficie agrietada, ft²/1000ft².

C (en hormigón): Longitud total (transversales y longitudinales) de grietas, selladas o abiertos, ft²/1000ft².

P: Superficie bacheada, ft²/1000ft².

Considerando el alto grado de correlación existente entre las calificaciones de serviciabilidad por parte del usuario y ciertas variables que miden cuantitativamente el deterioro físico de pavimento, el concepto inicial de serviciabilidad (en términos de la opinión de un usuario, PSR) fue reemplazado por el de un índice de serviciabilidad (PSI) calculado según las relaciones anteriores, a partir de ciertos parámetros medidos con absoluta objetividad.

Una vez establecido el PSI como un indicador objetivo de la serviciabilidad de un pavimento, se desarrollaron investigaciones que permitieron establecer distintos modelos de correlación matemáticos para la estimación del PSI en función del IRI, entre ellos tenemos:

Para Pavimentos Asfálticos:

$$PSI = 5 - 0.2937 X^4 + 1.1771 X^3 - 1.4045 X^2 - 1.5803 X$$

Ecuación 7

R² = 95%

Para Pavimentos de Concreto Hidráulico:

$$PSI = 5 + 0.6046 X^3 - 2.2217 X^2 - 0.0434 X$$

Ecuación 8

R² = 96.5%

Donde **x = log (1+SV)** para ambos casos

Adicionalmente se establece una ecuación de regresión del análisis de pares ordenados IRI – SV, obteniendo la siguiente ecuación:

$$SV = 2.2704 * IRI^2$$

Ecuación 9

R² = 98.8%

Combinando la Ecuación 7 y Ecuación 9 para pavimentos flexibles y la Ecuación 8 y la Ecuación 9 para pavimentos rígidos es posible obtener modelos que correlacionen PSI e IRI con un alto grado de confianza.

Otros modelos propuestos por Al -Omari y Darter son:

Al -Omari y Darter⁴ para pavimentos flexibles

$$PSR = 5 * e^{(-0.24*IRI)}$$

Ecuación 10

R² = 73%

Al -Omari y Darter⁴ para pavimentos rígidos

$$PSR = 5 * e^{(-0.272*IRI)}$$

Ecuación 11

R² = 73%

De los modelos antes descritos, se eligen, para la determinación de los rangos de IRI, los representados por la Ecuación 7 y Ecuación 8 (por sus coeficientes de variación R² más altos), combinados con la Ecuación 9

De esta forma, mediante el uso de los modelos mostrados, se pueden establecer rangos para el IRI, cuyos límites van a estar determinados por los correspondientes valores del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), los cuales ya fueron definidos por la AASHO en 1962.

Los rangos propuestos se muestran en la Tabla 12 y permiten clasificar las rutas por su condición funcional considerando valores de rugosidad (IRI) y de serviciabilidad (PSI).

⁴ Al-Omari, B., Darter, M.I. Relationships between International Roughness Index and Present Serviceability Ratings. In Transportation Research Council, Washington, D.C., 1994.

Pavimentos Flexibles (Modelo de AASHO)			Pavimentos Rígidos (Modelo de AASHO)			Calificación	Descripción AASHO
Valores de PSI	Valores de IRI	Rangos de IRI	Valores de PSI	Valores de IRI	Rangos de IRI		
5.0	0.0	0 - 1.0	5.0	0	0 - 1.4	Muy Buena	Sólo los pavimentos nuevos (o casi nuevos) son los suficiente suaves y sin deterioro para clasificar en esta categoría. La mayor parte de los pavimentos construidos o recarpeteados durante el año de inspección normalmente se clasificaría como muy buenos.
4.2	0.8		4.5	0.97			
4.0	1.0		4.0	1.4			
3.0	1.9	1.0 - 1.9	3.0	2.3	1.4 - 2.3	Buena	Los pavimentos de esta categoría, si bien no son tan suaves como los "Muy Buenos", entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden esta comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria. Los pavimentos rígidos pueden estar empezando a mostrar evidencias de un leve deterioro superficial, como desprendimientos y fisuras menores.
2.5	2.6	1.9 - 3.6	2.5	2.9	2.3 - 3.6	Regular	En esta categoría la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos, y pueden presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamiento, parches y agrietamiento. Los pavimentos rígidos en este grupo pueden presentar fallas en las juntas, agrietamiento, escalonamiento y bombeo de finos.
2.0	3.6		2.0	3.6			
1.5	4.9	3.6 - 6.4	1.5	4.6	3.6 - 6.0	Mala	Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde pueden afectar la velocidad de tránsito de flujo libre. Los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas profundas; el deterioro incluye pérdida de áridos, agrietamiento y ahuellamiento, y ocurre en un 50% o más de la superficie. El deterioro en pavimentos rígidos incluye desconches de juntas, escalonamiento, parches, agrietamiento y bombeo.
1.0	6.4		1.0	6.0			
0.0	9.5	> 6.4	0.0	11.2	> 6.0	Muy Mala	Los pavimentos en esta categoría se encuentran en una situación de extremo deterioro. Los caminos se pueden pasar a velocidades reducidas y con considerables problemas de manejo. Existen grandes baches y grietas profundas. El deterioro ocurre en un 75% o más de la superficie.

Tabla 12: Rangos y Valores característicos de IRI en función del PSI

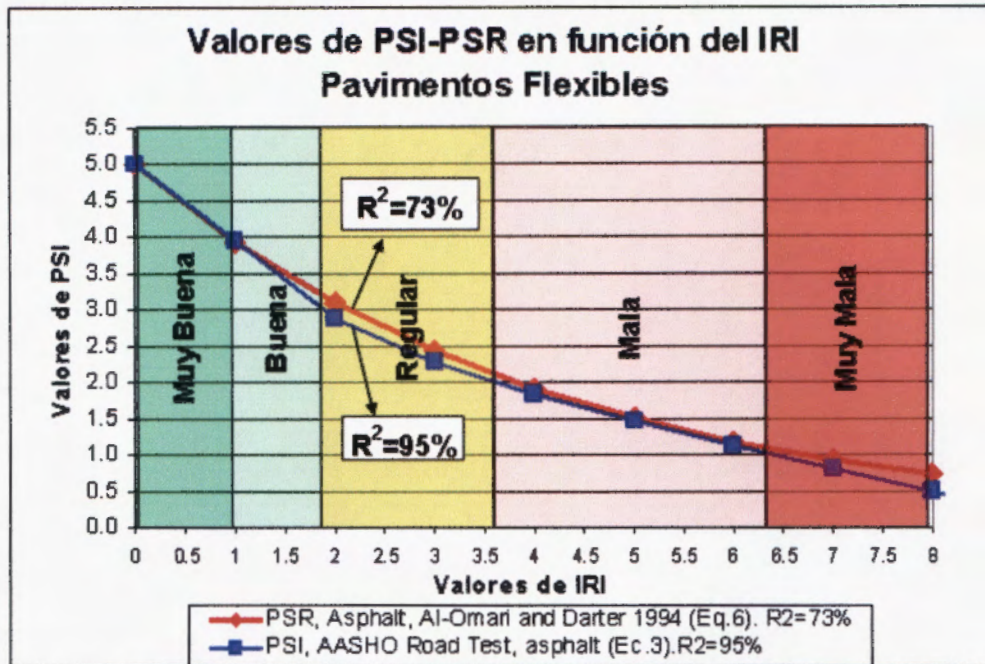


Gráfico 4: Rangos de IRI para Pavimentos Flexibles. Modelo de correlación con PSI.

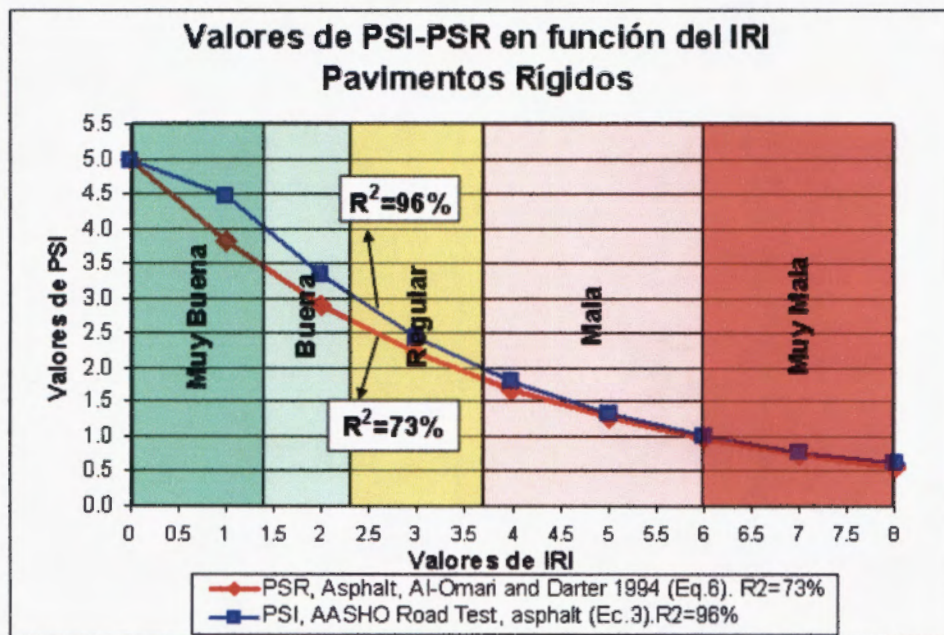
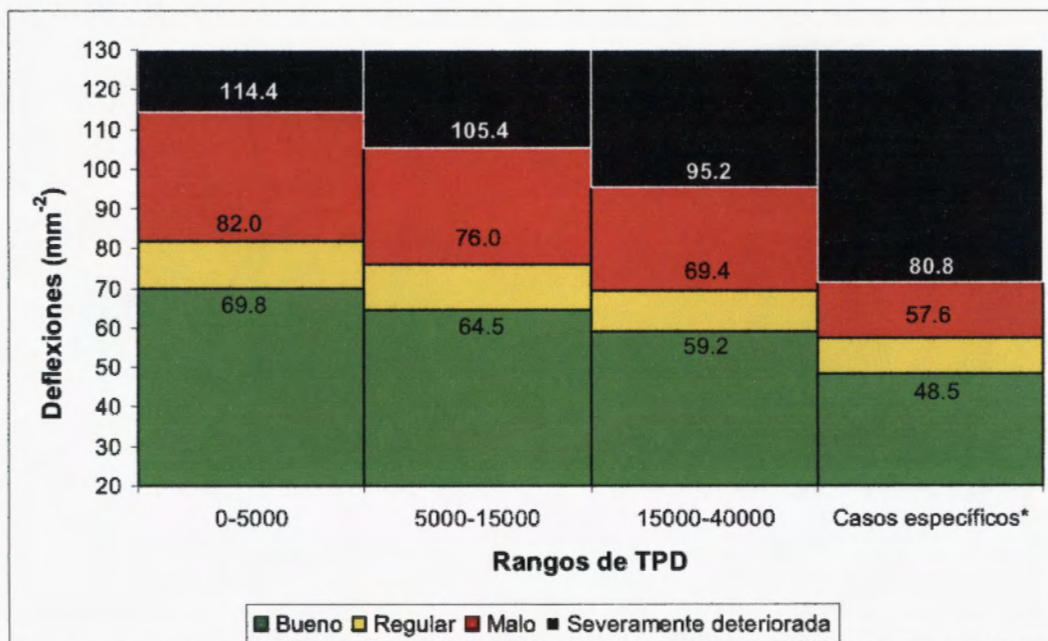


Gráfico 5: Rangos de IRI para Pavimentos Rígidos. Modelo de correlación con PSI.

CONCLUSIONES

- El estudio realizado demostró que era necesario clasificar con distintos rangos de deflexiones las rutas de la Red Vial Nacional, ya que cada ruta tiene características muy distintas en términos de tránsito promedio diario, distribución vehicular y factores camión. Las exigencias en términos estructurales (deflexiones) deben ser acordes con la importancia de la ruta, en términos de las características del espectro de carga mencionadas. Las rutas de mayor importancia deben ser evaluadas con rangos de deflexiones más rigurosos que aquellas de menor importancia.
- Los rangos de deflexiones propuestos permiten calificar la capacidad estructural de la Red Vial Nacional tomando en cuenta sus características de tránsito promedio diario. El análisis realizado evidenció que el TPD es uno de los parámetros que mejor refleja las diferencias que existen entre las distintas rutas nacionales, y por lo tanto puede ser utilizado para elegir cual rango de deflexiones es aplicable a cada ruta.
- La realización de un total de 54 diseños estructurales para diferentes escenarios de tránsito y la aplicación de método de Vida Remanente (AASHTO 1993) permitió definir los rangos de deflexiones que se proponen a continuación:



- Es importante señalar que es necesario conocer la distribución del Tránsito Promedio Diario (TPD) a lo largo de la ruta para establecer el rango de deflexiones que corresponde a un determinado tramo dentro de esta.
- Los rangos propuestos para clasificar los datos de IRI tienen como objetivo ampliar la propuesta inicial, complementando la calificación funcional de la red, por medio de su relación con el índice de serviciabilidad presente (PSI). Se utilizaron modelos matemáticos, que permitieron correlacionar con un alto nivel de confianza, los valores de IRI con los de PSI, y de esta manera establecer distintos rangos de rugosidad tanto para pavimentos rígidos como flexibles; rangos que pueden asociarse con un nivel de serviciabilidad ya establecido por la AASHTO, en sus estudios iniciales.
- La aplicación de los modelos mencionados, da como resultado los siguientes rangos de rugosidad.

Pavimentos Flexibles (Modelo de AASHTO) m/km	Pavimentos Rígidos (Modelo de AASHTO) m/km	Calificación
0 - 1.0	0 - 1.4	Muy Buena
1.0 - 1.9	1.4 - 2.3	Buena
1.9 - 3.6	2.3 - 3.6	Regular
3.6 - 6.4	3.6 - 6.0	Mala
> 6.4	> 6.0	Muy Mala

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).
- Los cálculos realizados en este estudio para pavimentos semirígidos demostraron que las variaciones en las deflexiones, en distintos periodos de "Vida Remanente", eran muy pequeñas al igual que los rangos de deflexiones obtenidos, y por lo tanto de difícil aplicación práctica.
- Se debe ampliar el estudio, con respecto a la determinación de los rangos de deflexiones para los pavimentos rígidos, tomando en consideración que representan menos del 1% de la Red Vial Nacional.

**ANEXO A: EJEMPLO COMPARATIVO ENTRE RANGOS
EXISTENTES Y NUEVOS RANGOS PROPUESTOS**

En este ejemplo, se compara la clasificación de las deflexiones (D1) de la ruta 1, en el tramo San José – Esparza. En la figura A1 se puede observar la clasificación de los datos de la ERVN 2006, según los rangos existentes, en la figura A2 se observan los mismos datos de D1 pero clasificados según los rangos propuestos en el presente estudio.

Deflectometría de Impacto

Rangos Actuales

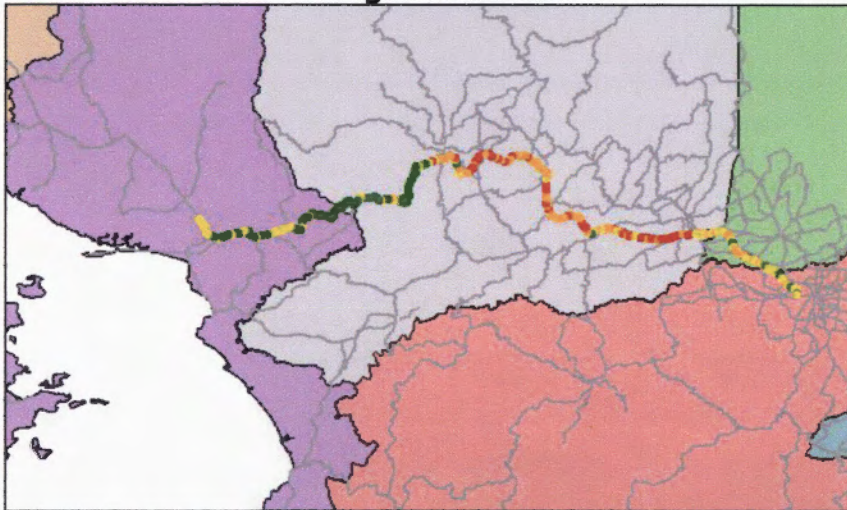


Figura A1: Resultados de Deflectometría de Impacto año 2006. Ruta 1. Tramo San José – Esparza. Empleando los rangos de clasificación de resultados de deflexión empleados en la ERVN 2006

Rangos Propuestos

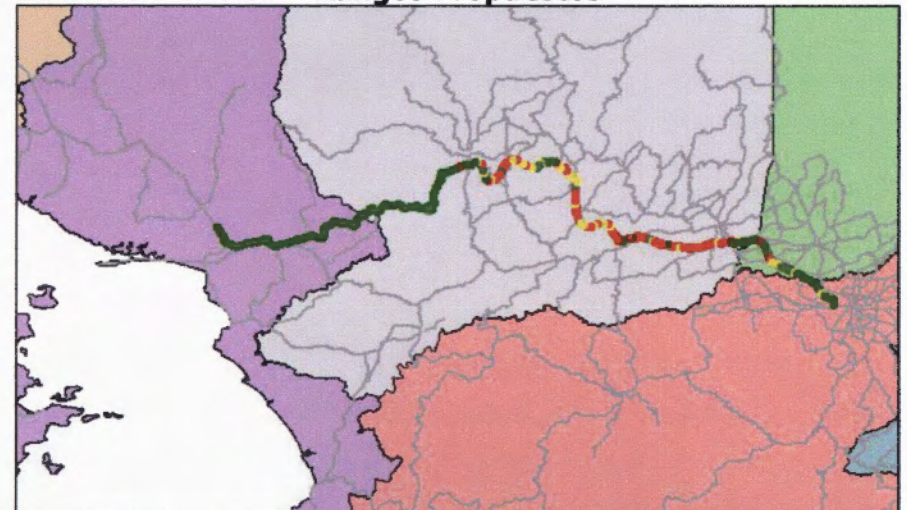


Figura A2: Resultados de Deflectometría de Impacto año 2006 Ruta 1. Tramo San José – Esparza. Empleando la propuesta de nuevos rangos de clasificación de resultados de deflexión para diferentes rangos de TPD

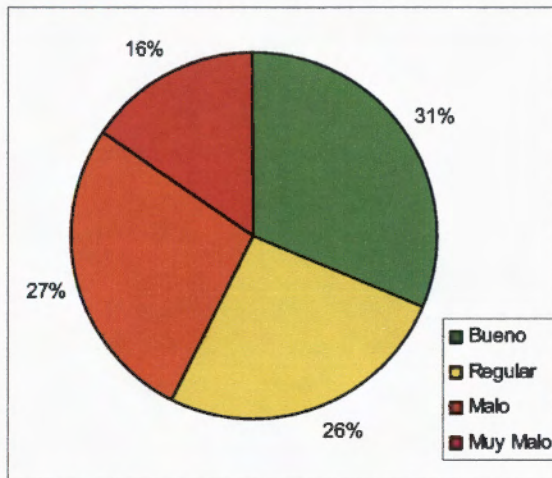


Figura A3: Distribución porcentual de resultados de deflexión Ruta 1. Tramos San José - Esparza

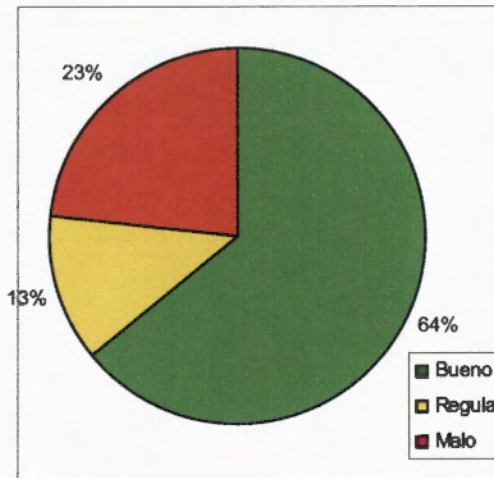


Figura A4: Distribución porcentual de resultados de deflexión Ruta 1. Tramos San José - Esparza

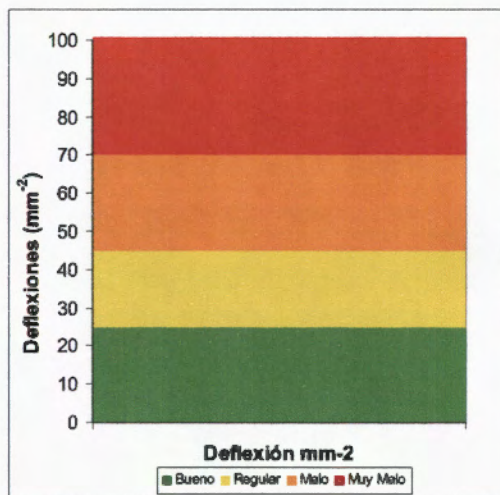


Figura A5: Rangos de clasificación de resultados de deflexión empleados en la ERVN 2006

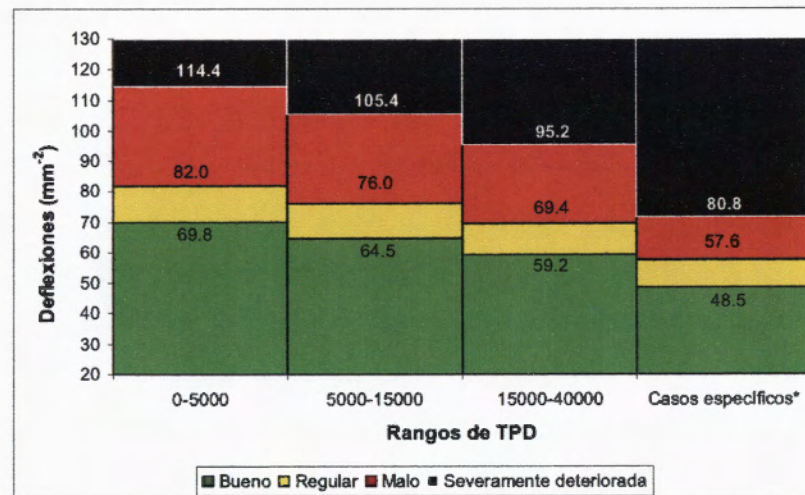


Figura A6: Propuesta de nuevos rangos de clasificación de resultados de deflexión para diferentes rangos de TPD

Casos extremos obtenidos de la aplicación de rangos de evaluación.

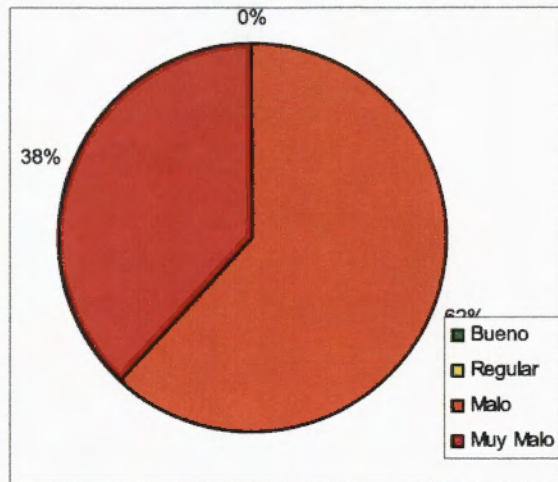


Figura A7: Distribución porcentual de la condición estructural de un pavimento con TPD medio (5000-15000), empleando los rangos de clasificación de deflexión empleado en la ERVN 2006.

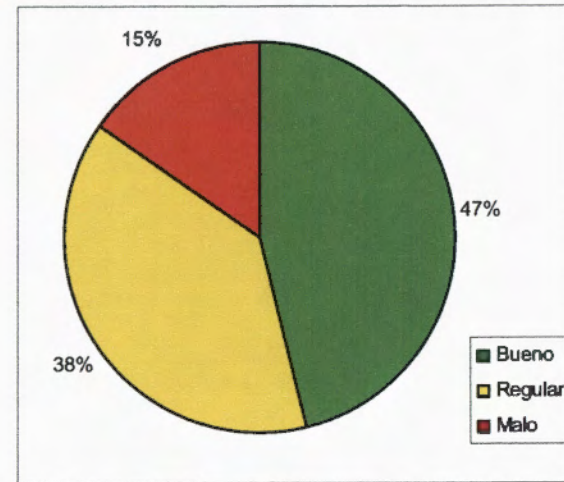


Figura A8: Distribución porcentual de la condición estructural de del mismo pavimento mostrado en la figura A7, empleando la nueva propuesta de rangos de clasificación de deflexión.

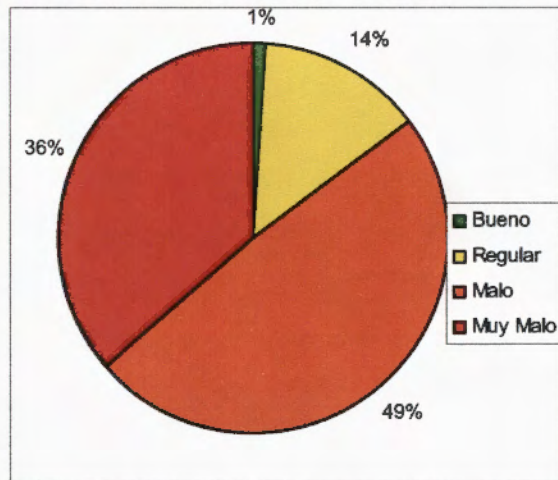


Figura A9: Distribución porcentual de la condición estructural de un pavimento con TPD muy alto (>40000), empleando los rangos de clasificación de deflexión empleado en la ERVN 2006.

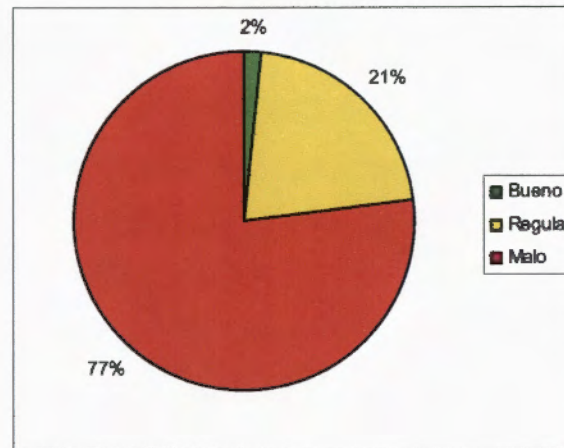


Figura A10: Distribución porcentual de la condición estructural de del mismo pavimento mostrado en la figura A9, empleando la nueva propuesta de rangos de clasificación de deflexión.

Regularidad Superficial

Rangos Actuales

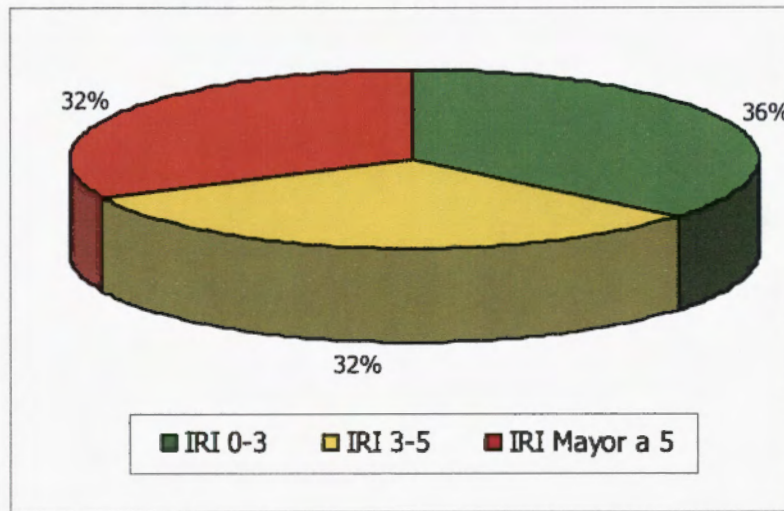


Figura A11: Resultados de regularidad superficial de la Red Vial Nacional en el año 2006. Empleando los rangos de clasificación de resultados de regularidad superficial empleados en la ERVN 2006

Rangos Propuestos

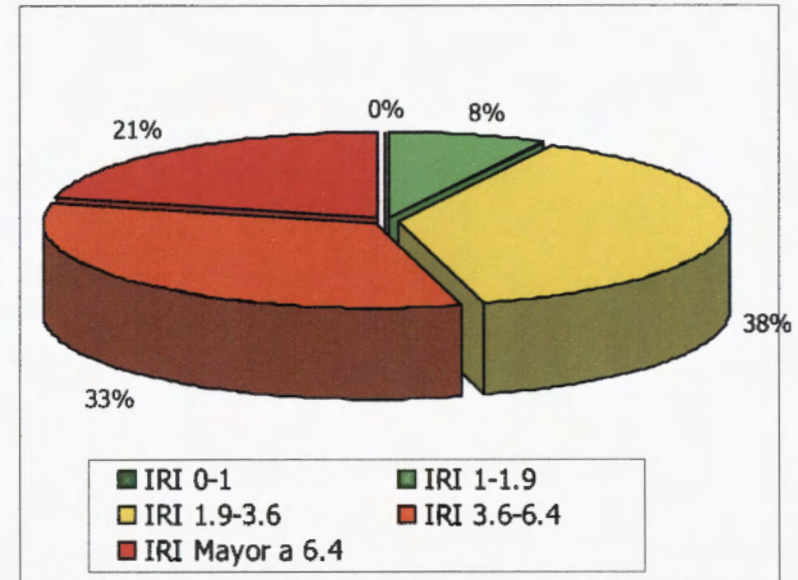


Figura A12: Resultados de regularidad superficial de la Red Vial Nacional en el año 2006. Empleando la propuesta de nuevos rangos de clasificación de resultados de regularidad superficial

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

Ruta	TPD	Factor direccional	Factor uso de carril	TPD carril de diseño	Distribución % Pesados	Factor Camión (TF)					
						Pick up	C2+	C2	Bus C2	C3	T3-S2
2000, 21%pes	2,000	0.5	1.0	1,000	21.0	0.012	0.046	0.751	2.458	2.907	3.230
5000, 21%pes	5,000	0.5	1.0	2,500	21.0	0.012	0.046	0.751	2.458	2.907	3.230
Perez Zeledon	7,669	0.5	1.0	3,835	45.7	0.012	0.014	0.446	1.858	3.330	2.080
Zurqui	8,472	0.5	1.0	4,236	53.9	0.011	0.022	0.695	3.692	2.271	4.229
10000, 18%pes	10,000	0.5	1.0	5,000	18.0	0.012	0.046	0.751	2.458	2.907	3.230
C. Quesada	10,828	0.5	1.0	5,414	28.6	0.012	0.014	0.521	2.107	3.773	3.861
Esparza	11,696	0.5	1.0	5,848	31.0	0.011	0.233	0.723	2.911	2.834	4.153
15000, 15%pes	15,000	0.5	1.0	7,500	15.0	0.012	0.046	0.751	2.458	2.907	3.230
Naranjo	21,105	0.5	0.9	9,497	41.7	0.011	0.016	0.902	3.680	1.971	3.701
25000, 15%pes	25,000	0.5	1.0	12,500	15.0	0.012	0.046	0.751	2.458	2.907	3.230
40000, 15%pes	45,000	0.5	1.0	22,500	15.0	0.012	0.046	0.751	2.458	2.907	3.230
SJ Alajuela	33,028	1.0	0.7	23,120	27.2	0.011	0.019	0.734	2.022	2.721	2.102
Escazu_SJ	27,730	1.0	0.9	24,957	14.3	0.011	0.016	1.163	1.957	3.155	2.695

Ruta	ESALs de diseño	SN100	Espesores Estructura (cm)		
			Carpeta	Base Granular	Subbase
2000, 21%pes	3332102	3.95	10	15	29
5000, 21%pes	8330256	4.45	10	22	29.5
C. Quesada	9657978	4.54	8.5	23	35
Perez Zeledon	12977486	4.72	12.5	20	29.5
10000, 18%pes	14280439	4.78	10	23.5	35
15000, 15%pes	17850549	4.92	10	25.5	35
25000, 15%pes	29750915	5.25	12	25	35.5
Esparza	34983735	5.36	12	29	30.5
Escazu_SJ	36427863	5.39	11	30	33.5
40000, 15%pes	47601464	5.57	13	27	35.5
Zurqui	70315677	5.85	16	27	30
Naranjo	76015780	5.91	15	30	30
SJ Alajuela	84472205	5.99	15	30	32

Deflexiones (mm ²)			
% Vida Remanente			
0	20	60	100
111.7	82.0	69.8	64.1
105.4	76.0	64.5	58.6
114.4	80.0	66.7	60.7
95.2	69.4	59.2	54.0
104.7	74.7	62.7	56.9
103.4	73.5	61.6	55.8
93.9	67.2	56.1	51.5
92.2	65.5	54.8	49.9
95.1	66.5	56.2	51.1
89.0	63.3	53.5	48.6
78.9	56.7	48.5	44.3
80.8	57.6	48.6	44.5
80.5	57.5	48.6	44.4

Naranjo Peaje		
zo	-1.645	
so	0.5	
ESALs	76,015,780	
Módulo SR	8500	
ΔPSI	2.7	
zo*so	-0.8225	
9.36*log(SN+1)-.20	7.658512544	
log(ΔPSI/4.2-1.5)	0	
40+1094/(SN+1)^5.19	0.448159486	
2.32*log(MR)-6.07	1.046251908	
log(W18)	7.880264452	calculado
log(W18)	7.880903756	requerido
Snreq	5.908296867	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	5.91	
Carpeta	15.0	2,758	5.91	400,000	0.419	1.0	2.475	Vida Remanente	
Base Granular	30.0	345	11.81	50,000	0.193	1.0	2.280	100%	
Subbase	30.0	103	11.81	15,000	0.108	0.9	1.158		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	5.913	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	5.44	
Carpeta	15.0	2,448	5.91	355,000	0.399	1.0	2.356	Vida Remanente	
Base Granular	30.0	269	11.81	38,000	0.168	1.0	1.963	60%	0.92
Subbase	30.0	100	11.81	14,500	0.108	0.9	1.123		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	5.442	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.49	
Carpeta	15.0	2,103	5.91	305,000	0.374	1.0	2.206	Vida Remanente	
Base Granular	30.0	179	11.81	26,000	0.122	1.0	1.445	20%	0.76
Subbase	30.0	77	11.81	11,100	0.079	0.9	0.843		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	4.493	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.96	
Carpeta	15.0	1,034	5.91	150,000	0.254	1.0	1.502	Vida Remanente	
Base Granular	30.0	100	11.81	14,500	0.059	1.0	0.699	0%	0.50
Subbase	30.0	71	11.81	10,300	0.072	0.9	0.764		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	2.965	

Esparza		
zo	-1.645	
so	0.5	
ESALs	34,983,735	
Módulo SR	9500	
ΔPSI	2.7	
zo*so	-0.8225	
9.36*log(SN+1)-.20	7.320287904	
log(ΔPSI/4.2-1.5)	0	
.40+1094/(SN+1)^5.19	0.47397996	
2.32*log(MR)-8.07	1.046251908	
log(W18)	7.544039812	calculado
log(W18)	7.54386617	requerido
Snreq	5.359889388	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	5.36	
Carpeta	12.0	2,758	4.72	400,000	0.419	1.0	1.980	Vida Remanente	
Base Granular	29.0	345	11.42	50,000	0.183	1.0	2.204	100%	
Subbase	30.5	103	12.01	15,000	0.109	0.9	1.178		Mils
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	5.362	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.93	
Carpeta	12.0	2,448	4.72	385,000	0.399	1.0	1.885	Vida Remanente	
Base Granular	29.0	269	11.42	39,000	0.166	1.0	1.897	60%	0.92
Subbase	30.5	101	12.01	14,600	0.106	0.9	1.149		Mils
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	4.931	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.07	
Carpeta	12.0	2,103	4.72	305,000	0.374	1.0	1.765	Vida Remanente	
Base Granular	29.0	176	11.42	25,500	0.120	1.0	1.373	20%	0.76
Subbase	30.5	82	12.01	11,900	0.086	0.9	0.931		Mils
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	4.068	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.68	
Carpeta	12.0	1,034	4.72	150,000	0.254	1.0	1.201	Vida Remanente	
Base Granular	29.0	100	11.42	14,500	0.059	1.0	0.876	0%	0.50
Subbase	30.5	73	12.01	10,600	0.075	0.9	0.808		Mils
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	2.685	

SJ ALAJUELA		
zo	-1.645	
so	0.5	
ESALs	84,372,205	
Módulo SR	8500	
ΔPSI	2.7	
zo*so	-0.8225	
9.36*log(SN+1)-.20	7.70242628	
log(ΔPSI/4.2-1.5)	0	
.40+1094/(SN+1) ^{5.19}	0.445417505	
2.32*log(MR)-8.07	1.046251906	
log(W18)	7.926178167	calculado
log(W18)	7.926190402	requerido
Snreq	5.986767796	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	5.99	
Carpeta	15.0	2,758	5.91	400,000	0.419	1.0	2.475	Vida Remanente	
Base Granular	30.0	345	11.81	50,000	0.193	1.0	2.280	100%	
Subbase	32.0	103	12.60	15,000	0.109	0.9	1.236	Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²	
							Sumatoria	5.990	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	5.51	
Carpeta	15.0	2,448	5.91	355,000	0.399	1.0	2.356	Vida Remanente	
Base Granular	30.0	269	11.81	39,000	0.166	1.0	1.963	60%	0.92
Subbase	32.0	99	12.60	14,400	0.105	0.9	1.180	Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²	
							Sumatoria	5.509	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.55	
Carpeta	15.0	2,103	5.91	305,000	0.374	1.0	2.206	Vida Remanente	
Base Granular	30.0	179	11.81	26,000	0.122	1.0	1.445	20%	0.76
Subbase	32.0	77	12.60	11,100	0.079	0.9	0.899	Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²	
							Sumatoria	4.550	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.00	
Carpeta	15.0	1,034	5.91	150,000	0.254	1.0	1.502	Vida Remanente	
Base Granular	30.0	103	11.81	15,000	0.063	1.0	0.742	0%	0.50
Subbase	32.0	68	12.60	9,800	0.067	0.9	0.760	Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²	
							Sumatoria	3.004	

PEREZ ZELEDON		
zo	-1.645	
so	0.5	
ESALs	12,977,486	
Módulo SR	8500	
ΔPSI	2.7	
zo*so	-0.8225	
9.36*log(SN+1)-.20	6.889450787	
log(ΔPSI/4.2-1.5)	0	
.40+1094/(SN+1) ^{5.19}	0.528235347	
2.32*log(MR)-8.07	1.046251908	
log(W18)	7.113202695	calculado
log(W18)	7.11319058	requerido
Snreq	4.720315147	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.72		
Carpeta	12.5	2,758	4.92	400,000	0.419	1.0	2.062	Vida Remanente		
Base Granular	20.0	345	7.87	50,000	0.193	1.0	1.520	100%		
Subbase	29.5	103	11.81	15,000	0.109	0.9	1.139		Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²	
							Sumatoria	4.721		

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.34		
Carpeta	12.5	2,379	4.92	345,000	0.394	1.0	1.940	Vida Remanente		
Base Granular	20.0	255	7.87	37,000	0.160	1.0	1.264	60%	0.92	
Subbase	29.5	103	11.81	15,000	0.109	0.9	1.139		Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²	
							Sumatoria	4.343		

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.59		
Carpeta	12.5	2,068	4.92	300,000	0.371	1.0	1.824	Vida Remanente		
Base Granular	20.0	176	7.87	25,500	0.120	1.0	0.947	20%	0.76	
Subbase	29.5	76	11.81	11,000	0.078	0.9	0.819		Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²	
							Sumatoria	3.591		

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.36		
Carpeta	12.5	1,034	4.92	150,000	0.254	1.0	1.251	Vida Remanente		
Base Granular	20.0	97	7.87	14,100	0.056	1.0	0.442	0%	0.50	
Subbase	29.5	66	11.81	9,500	0.064	0.9	0.668		Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²	
							Sumatoria	2.362		

RUTA 32		
zo	-1.645	
so	0.5	
ESALs	70,315,677	
Módulo SR	8500	
ΔPSI	2.7	
zo*so	-0.8225	
9.36*log(SN+1)-.20	7.623134154	
log(ΔPSI/4.2-1.5)	0	
40+10B4/(SN+1) ^{5.19}	0.45025621	
2.32*log(MR)-9.07	1.046251908	
log(W18)	7.846886062	calculado
log(W18)	7.84705216	requerido
Snreq	5.851803997	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	5.85	
Carpeta	16.0	2,758	6.30	400,000	0.419	1.0	2.640	Vida Remanente	
Base Granular	27.0	345	10.63	50,000	0.193	1.0	2.052	100%	
Subbase	30.0	103	11.81	15,000	0.109	0.9	1.158		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	5.850	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	5.38	
Carpeta	16.0	2,413	6.30	350,000	0.397	1.0	2.498	Vida Remanente	
Base Granular	27.0	259	10.63	37,600	0.162	1.0	1.724	60%	0.92
Subbase	30.0	103	11.81	15,000	0.109	0.9	1.158		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	5.381	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.45	
Carpeta	16.0	2,068	6.30	300,000	0.371	1.0	2.335	Vida Remanente	
Base Granular	27.0	193	10.63	28,000	0.130	1.0	1.388	20%	0.76
Subbase	30.0	69	11.81	10,000	0.069	0.9	0.733		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	4.454	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.93	
Carpeta	16.0	1,034	6.30	150,000	0.254	1.0	1.602	Vida Remanente	
Base Granular	27.0	103	10.63	15,000	0.083	1.0	0.668	0%	0.50
Subbase	30.0	64	11.81	9,350	0.062	0.9	0.663		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	2.933	

Escazu_SJ		
zo	-1.645	
so	0.5	
ESALs	36,427,863	
Módulo SR	8500	
ΔPSI	2.7	
zo*so	-0.8225	
9.36*log(SN+1)-.20	7.337816809	
log(ΔPSI/4.2-1.5)	0	
.40+1094/(SN+1) ^{5.19}	0.47234269	
2.32*log(MR)-8.07	1.046251906	
log(W18)	7.561568516	calculado
log(W18)	7.561433694	requerido
Snreq	5.387373134	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	5.39
Carpeta	11.0	2,758	4.33	400,000	0.419	1.0	1.815	Vida Remanente
Base Granular	30.0	345	11.81	50,000	0.193	1.0	2.280	100%
Subbase	33.5	103	13.19	15,000	0.109	0.9	1.294	Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²
							Sumatoria	5.388

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.96
Carpeta	11.0	2,448	4.33	355,000	0.399	1.0	1.728	Vida Remanente
Base Granular	30.0	272	11.81	38,500	0.168	1.0	1.979	60% 0.92
Subbase	33.5	100	13.19	14,500	0.106	0.9	1.254	Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²
							Sumatoria	4.961

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.10
Carpeta	11.0	2,068	4.33	300,000	0.371	1.0	1.606	Vida Remanente
Base Granular	30.0	203	11.81	29,500	0.136	1.0	1.606	20% 0.76
Subbase	33.5	73	13.19	10,600	0.075	0.9	0.887	Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²
							Sumatoria	4.099

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.69
Carpeta	11.0	1,034	4.33	150,000	0.254	1.0	1.101	Vida Remanente
Base Granular	30.0	108	11.81	15,700	0.088	1.0	0.801	0% 0.50
Subbase	33.5	67	13.19	9,750	0.067	0.9	0.789	Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²
							Sumatoria	2.691

TPD 2000, 21% pes		
zo	-1.645	
so	0.5	
ESALs	3,332,102	
Módulo SR	8500	
Δ PSI	2.7	
zo*so	-0.8225	
$9.36 \cdot \log(\text{SN}+1) \cdot .20$	6.298977288	
$\log(\Delta\text{PSI}/4.2-1.5)$	0	
$.40+1094/(\text{SN}+1)^{.5} \cdot 19$	0.672532146	
$2.32 \cdot \log(\text{MR})-8.07$	1.046251908	
$\log(W18)$	6.52729196	calculado
$\log(W18)$	6.52718346	requerido
Snreq	3.94692334	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.95	
Carpeta	10.0	2,758	3.94	400,000	0.419	1.0	1.650	Vida Remanente	
Base Granular	15.5	345	6.10	50,000	0.193	1.0	1.178	100%	
Subbase	29.0	103	11.42	15,000	0.109	0.9	1.120	Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²	
							Sumatoria	3.948	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.63	
Carpeta	10.0	2,448	3.94	355,000	0.399	1.0	1.571	Vida Remanente	
Base Granular	15.5	265	6.10	38,500	0.165	1.0	1.006	60%	0.92
Subbase	29.0	97	11.42	14,100	0.103	0.9	1.057	Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²	
							Sumatoria	3.634	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.00	
Carpeta	10.0	2,068	3.94	300,000	0.371	1.0	1.460	Vida Remanente	
Base Granular	15.5	179	6.10	25,900	0.122	1.0	0.744	20%	0.76
Subbase	29.0	76	11.42	11,000	0.078	0.9	0.806	Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²	
							Sumatoria	3.009	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	1.97	
Carpeta	10.0	1,034	3.94	150,000	0.254	1.0	1.001	Vida Remanente	
Base Granular	15.5	97	6.10	14,000	0.055	1.0	0.338	0%	0.50
Subbase	29.0	64	11.42	9,250	0.061	0.9	0.630	Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²	
							Sumatoria	1.969	

TPD 5000, 21% pes		
zo	-1.645	
so	0.5	
ESALs	8,330,256	
Módulo SR	8500	
Δ PSI	2.7	
zo*so	-0.8225	
$9.36 \cdot \log(\text{SN}+1) \cdot .20$	6.896872718	
$\log(\Delta\text{PSI}/4.2-1.5)$	0	
$40+1094/(\text{SN}+1)^{.5} \cdot 19$	0.563979599	
$2.32 \cdot \log(\text{MR})-8.07$	1.046251908	
$\log(\text{W18})$	6.920624626	calculado
$\log(\text{W18})$	6.920658354	requerido
Snreq	4.45635867	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.46	
Carpeta	10.0	2,758	3.94	400,000	0.419	1.0	1.650	Vida Remanente	
Base Granular	22.0	345	8.66	50,000	0.193	1.0	1.672	100%	
Subbase	29.5	103	11.81	15,000	0.109	0.9	1.139	Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²	
							Sumatoria	4.461	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.10	
Carpeta	10.0	2,448	3.94	355,000	0.399	1.0	1.571	Vida Remanente	
Base Granular	22.0	255	8.66	37,000	0.160	1.0	1.390	60%	0.92
Subbase	29.5	103	11.81	15,000	0.109	0.9	1.139	Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²	
							Sumatoria	4.100	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.39	
Carpeta	10.0	2,068	3.94	300,000	0.371	1.0	1.460	Vida Remanente	
Base Granular	22.0	186	8.66	27,000	0.126	1.0	1.095	20%	0.76
Subbase	29.5	77	11.81	11,200	0.080	0.9	0.838	Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²	
							Sumatoria	3.393	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.23	
Carpeta	10.0	1,034	3.94	150,000	0.254	1.0	1.001	Vida Remanente	
Base Granular	22.0	104	8.66	15,100	0.064	1.0	0.551	0%	0.50
Subbase	29.5	66	11.81	9,600	0.065	0.9	0.679	Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²	
							Sumatoria	2.231	

TPD 10000, 18% pes		
zo	-1.645	
so	0.5	
ESALs	14,280,439	
Módulo SR	8500	
Δ PSI	2.7	
zo*so	-0.8225	
$9.36 \cdot \log(\text{SN}+1) \cdot .20$	6.930715712	
$\log(\Delta\text{PSI}/4.2-1.5)$	0	
$.40+1094/(\text{SN}+1)^{.5.19}$	0.521654136	
$2.32 \cdot \log(\text{MR})-8.07$	1.046251908	
$\log(\text{W18})$	7.154467619	calculado
$\log(\text{W18})$	7.15474156	requerido
Snreq	4.778679415	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.78	
Carpeta	10.0	2,758	3.94	400,000	0.419	1.0	1.650	Vida Remanente	
Base Granular	23.5	345	9.25	50,000	0.193	1.0	1.766	100%	
Subbase	35.0	103	13.78	15,000	0.109	0.9	1.351		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	4.787	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.40	
Carpeta	10.0	2,448	3.94	355,000	0.399	1.0	1.571	Vida Remanente	
Base Granular	23.5	259	9.25	37,500	0.162	1.0	1.498	60%	0.92
Subbase	35.0	102	13.78	14,800	0.106	0.9	1.335		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	4.404	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.64	
Carpeta	10.0	2,103	3.94	305,000	0.374	1.0	1.471	Vida Remanente	
Base Granular	23.5	179	9.25	26,000	0.122	1.0	1.132	20%	0.76
Subbase	35.0	80	13.78	11,600	0.084	0.9	1.037		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	3.639	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.39	
Carpeta	10.0	1,034	3.94	150,000	0.254	1.0	1.001	Vida Remanente	
Base Granular	23.5	103	9.25	15,000	0.063	1.0	0.581	0%	0.50
Subbase	35.0	66	13.78	9,600	0.065	0.9	0.806		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	2.388	

15000 15% prom		
zo	-1.645	
so	0.5	
ESALs	17,850,549	
Módulo SR	8500	
Δ PSI	2.7	
zo*so	-0.8225	
$9.36 \cdot \log(SN+1) - 20$	7.027148038	
$\log(\Delta PSI/4.2 - 1.5)$	0	
$.40 + 1094/(SN+1)^{5.19}$	0.507561386	
$2.32 \cdot \log(MR) - 8.07$	1.046251908	
$\log(W18)$	7.250899946	calculado
$\log(W18)$	7.251651578	requerido
Snreq	4.917403724	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.92	
Carpeta	10.0	2,758	3.94	400,000	0.419	1.0	1.650	Vida Remanente	
Base Granular	25.2	345	9.92	50,000	0.193	1.0	1.915	100%	
Subbase	35.0	103	13.78	15,000	0.109	0.9	1.351		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	4.917	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.52	
Carpeta	10.0	2,448	3.94	355,000	0.399	1.0	1.571	Vida Remanente	
Base Granular	25.2	259	9.92	37,500	0.162	1.0	1.607	60%	0.92
Subbase	35.0	103	13.78	14,900	0.108	0.9	1.343		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	4.521	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.74	
Carpeta	10.0	2,103	3.94	305,000	0.374	1.0	1.471	Vida Remanente	
Base Granular	25.2	179	9.92	26,000	0.122	1.0	1.214	20%	0.76
Subbase	35.0	81	13.78	11,800	0.085	0.9	1.058		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	3.742	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.46	
Carpeta	10.0	1,034	3.94	150,000	0.254	1.0	1.001	Vida Remanente	
Base Granular	25.2	103	9.92	15,000	0.063	1.0	0.624	0%	0.50
Subbase	35.0	68	13.78	9,850	0.068	0.9	0.837		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	2.462	

25000 15% prom		
z0	-1.645	
so	0.5	
ESALs	29,750,915	
Módulo SR	8500	
ΔPSI	2.7	
z0*so	-0.8225	
9.36*log(SN+1)-.20	7.24938226	
log(ΔPSI/4.2-1.5)	0	
.40+1094/(SN+1)^5.19	0.480989807	
2.32*log(MR)-8.07	1.046251908	
log(W18)	7.473134168	calculado
log(W18)	7.473500327	requerido
Snreq	5.249915895	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	5.25
Carpeta	12.0	2,758	4.72	400,000	0.419	1.0	1.980	Vida Remanente
Base Granular	25.0	345	9.84	50,000	0.193	1.0	1.900	100%
Subbase	35.5	103	13.98	15,000	0.109	0.9	1.371	Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²
							Sumatoria	5.251

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.83
Carpeta	12.0	2,448	4.72	355,000	0.399	1.0	1.885	Vida Remanente
Base Granular	25.0	259	9.84	37,500	0.162	1.0	1.594	60% 0.92
Subbase	35.5	102	13.98	14,800	0.108	0.9	1.354	Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²
							Sumatoria	4.833

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.99
Carpeta	12.0	2,103	4.72	305,000	0.374	1.0	1.765	Vida Remanente
Base Granular	25.0	179	9.84	26,000	0.122	1.0	1.204	20% 0.76
Subbase	35.5	78	13.98	11,300	0.081	0.9	1.019	Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²
							Sumatoria	3.988

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.63
Carpeta	12.0	1,034	4.72	150,000	0.254	1.0	1.201	Vida Remanente
Base Granular	25.0	103	9.84	15,000	0.063	1.0	0.619	0% 0.50
Subbase	35.5	66	13.98	9,550	0.064	0.9	0.811	Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²
							Sumatoria	2.631

40000 15% prom		
zo	-1.645	
so	0.5	
ESALs	47,601,464	
Módulo SR	8500	
ΔPSI	2.7	
zo*so	-0.8225	
9.36*log(SN+1)-.20	7.453669973	
log(ΔPSI/4.2-1.5)	0	
40+1094/(SN+1)^5.19	0.462395813	
2.32*log(MR)-8.07	1.046251908	
log(W18)	7.677421881	calculado
log(W18)	7.67762031	requerido
Snreq	5.572033726	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	5.57
Carpeta	13.0	2,758	5.12	400,000	0.419	1.0	2.145	Vida Remanente
Base Granular	27.0	345	10.63	50,000	0.193	1.0	2.052	100%
Subbase	35.5	103	13.98	15,000	0.109	0.9	1.371	Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²
							Sumatoria	5.568

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	5.12
Carpeta	13.0	2,448	5.12	355,000	0.399	1.0	2.042	Vida Remanente
Base Granular	27.0	259	10.63	37,500	0.162	1.0	1.721	60% 0.92
Subbase	35.5	102	13.96	14,800	0.106	0.9	1.354	Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²
							Sumatoria	5.118

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.23
Carpeta	13.0	2,103	5.12	305,000	0.374	1.0	1.912	Vida Remanente
Base Granular	27.0	179	10.63	26,000	0.122	1.0	1.300	20% 0.76
Subbase	35.5	78	13.96	11,300	0.081	0.9	1.019	Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²
							Sumatoria	4.232

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.78
Carpeta	13.0	1,034	5.12	150,000	0.254	1.0	1.301	Vida Remanente
Base Granular	27.0	103	10.63	15,000	0.063	1.0	0.668	0% 0.50
Subbase	35.5	66	13.96	9,550	0.064	0.9	0.811	Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²
							Sumatoria	2.780