



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
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: 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
JULIO 2008

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	iError! Marcador no definido,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 permitía 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.

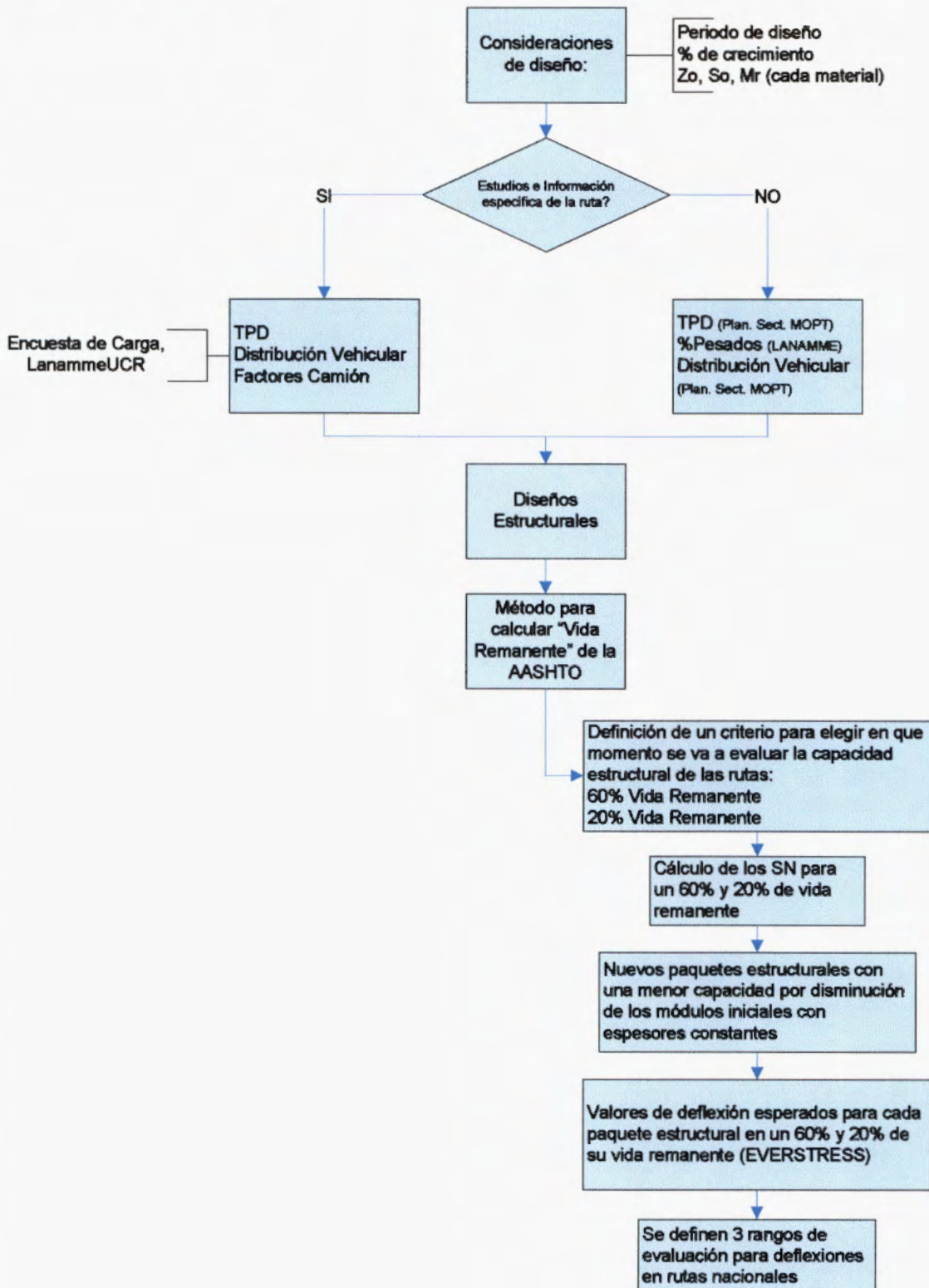
Los rangos planteados en la propuesta original fueron considerados por el equipo de ingenieros del LanammeUCR como los más representativos de la realidad nacional, con una mayor probabilidad de evaluar de forma justa la condición de las rutas en una evaluación a nivel de red, sin embargo, como recomendación 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 dos (2) 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.

La metodología AASHTO-93 permite realizar este tipo de modificaciones y la Unidad de Investigación considera interesante a nivel académico presentar estas variaciones para evaluar la sensibilidad de método y para reafirmar el criterio original como el más adecuado. En el caso del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) los rangos planteados en la propuesta original mejoran por mucho la evaluación de la capacidad funcional previamente utilizada y permiten adicionalmente correlacionar el valor de IRI con el índice de serviciabilidad presente, lo cual es un importante aporte a nivel de gestión de red y no se consideró necesario realizar ninguna modificación a la propuesta inicial.

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 650.000 psi considerado así para una base estabilizada tipo BE-35 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 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 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	3.63	3.0	1.97
5000 - 15000	4.72	4.35	3.59	2.36
15000 - 40000	4.80	4.42	3.66	2.41
Casos Particulares	5.85	5.39	4.45	2.93

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 Granular	345	50.000	4.482	650.000
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	35.84	37.21	40.59	53.14
5000 - 15000	56,9	62,7	74,7	104,7	65.1	70.8	83.3	112.9	31.8	33.04	36.4	49.61
15000 - 40000	54,0	59,2	69,4	95,2	61.4	67.6	79.1	107.9	31.2	32.4	36.2	49.0
Casos Particulares	44,3	48,5	56,7	78,9	51.8	57.2	66.9	93.6	24.5	25.3	27.9	38.2

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

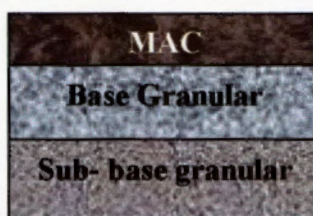
VARIABLES DE DISEÑO:

$Z_r=95\%$,

$S_o=0.5$,

Periodo de falla estructural= 20 años.

Paquete estructural base:



Sub-rasante

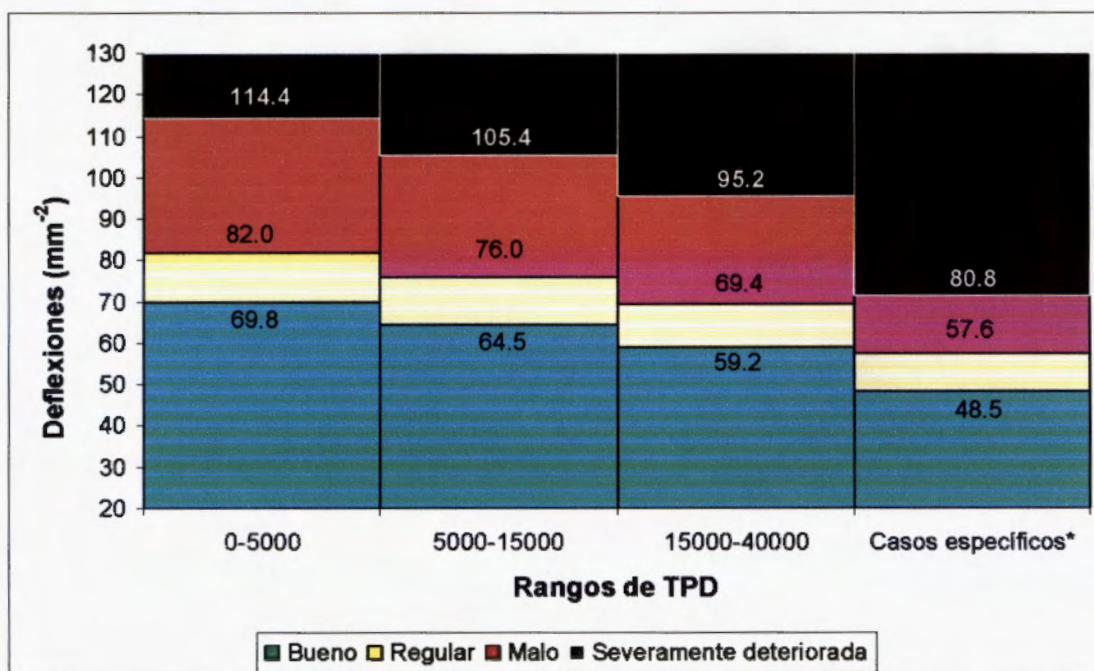


Gráfico 1: Rangos de deflexión en mm^{-2} propuestos para diferentes rangos de TPD

2. Segunda opción

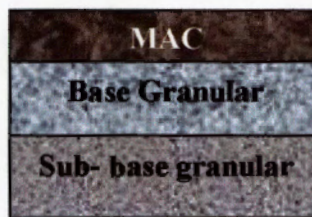
Variables de diseño:

$Z_r=90\%$ y 80%

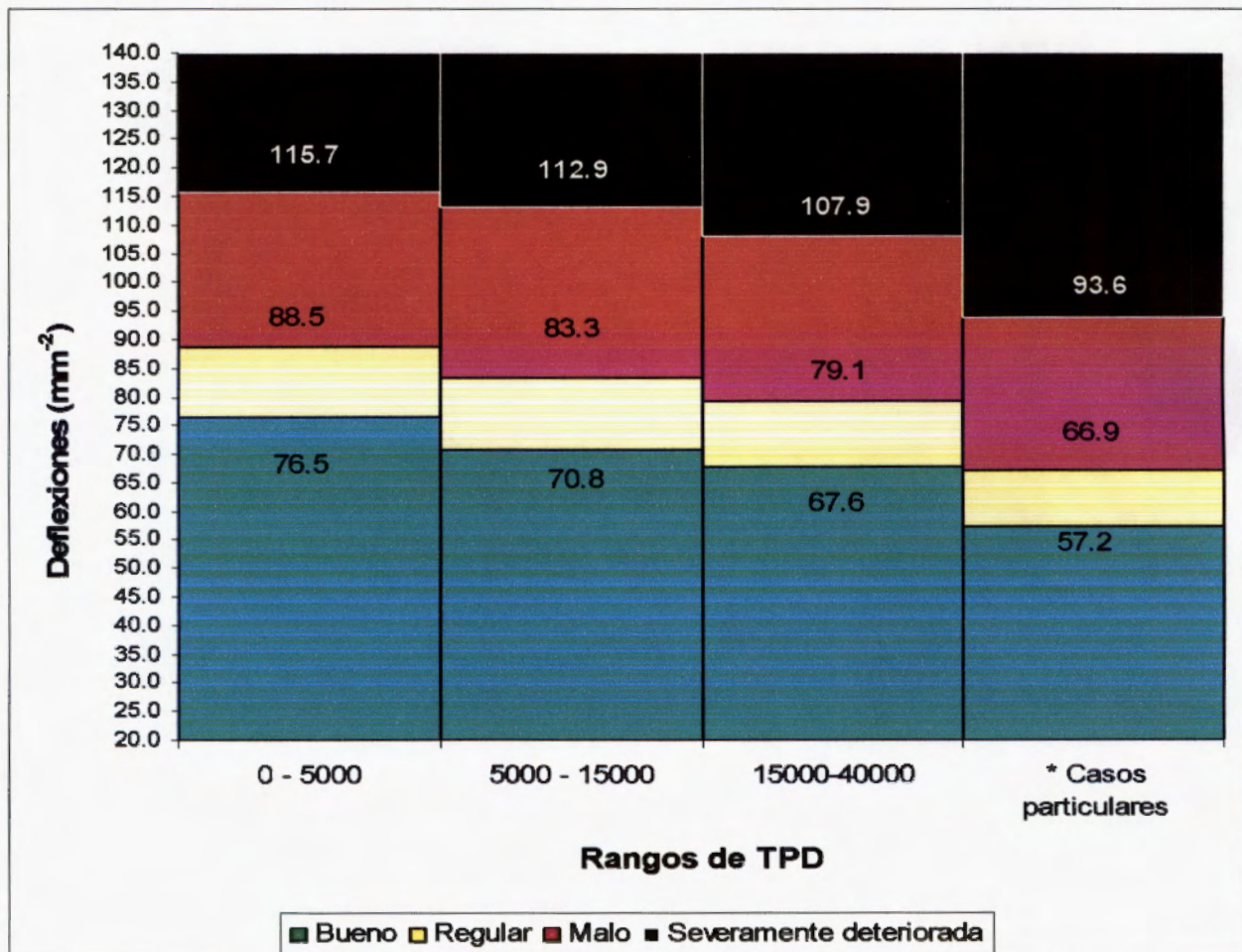
$S_o=0.45,$

Periodo de falla estructural= 15 años.

Paquete estructural base:



Sub-rasante



3. Tercera opción

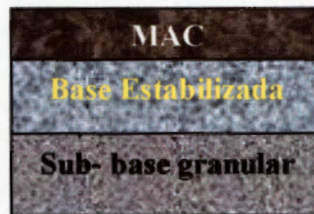
Variables de diseño:

Zr=95%,

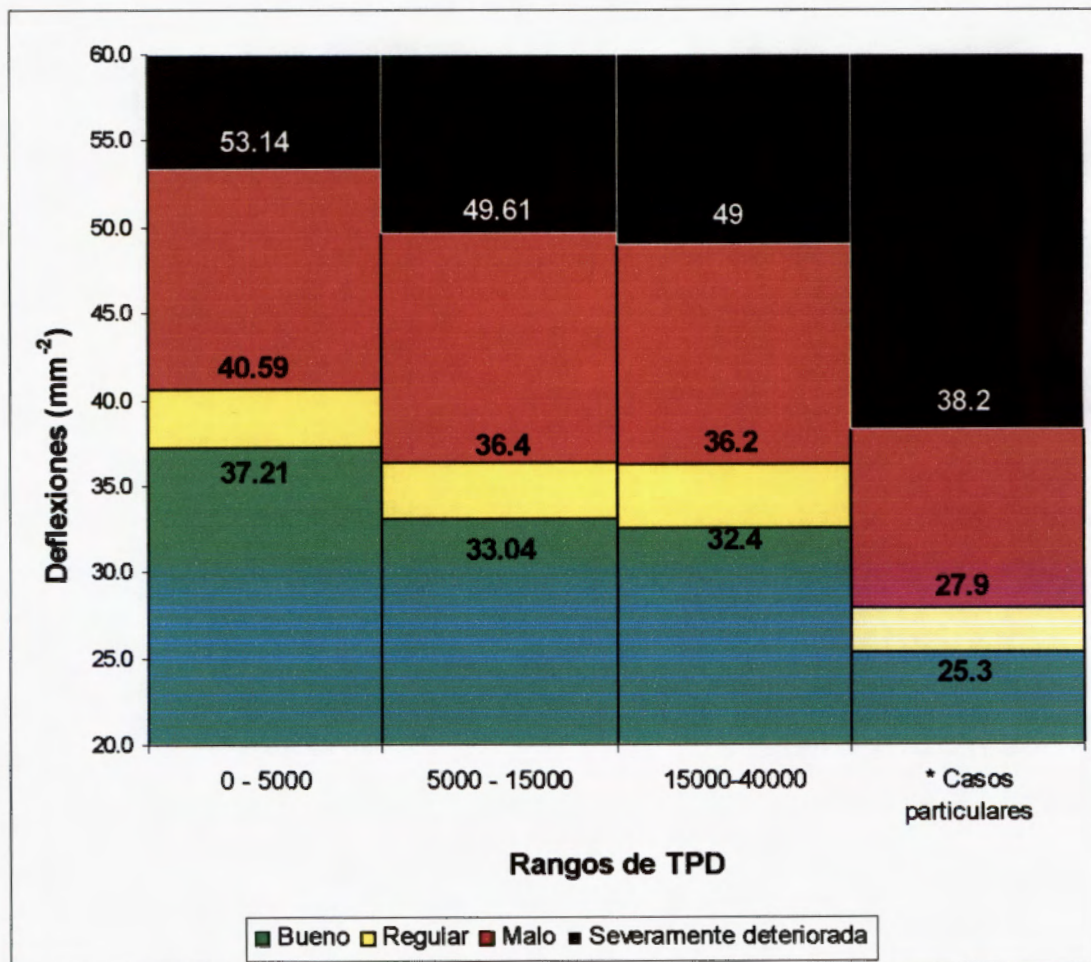
So=0.5,

Periodo de falla estructural= 20 años.

Paquete estructural base:



Sub-rasante



CONCLUSIONES

- Los rangos de deflexiones propuestos originalmente 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, 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 Luis Castro Fernández responden al criterio personal del suscrito, no son mejores que los criterios técnicos elegidos en la propuesta inicial y aunque su efecto no es muy significativo en los rangos, si tienden a formular rangos de evaluación más permisivos de la capacidad estructural de la red vial nacional.
- 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 muy bajos, los cuales solo se podrían aplicar en rutas que cuenten con ese tipo de estructura, sin embargo, ante el desconocimiento total en el país de la ubicación por sección de control o por estacionamiento de aquellas rutas que cuenten con este tipo de base, no es posible incorporar esta variante dentro de la evaluación de las rutas nacionales, por lo que resulta en rangos imprácticos e imposibles de aplicar. El MQPT-CONAVI debería suministrar esta información con registros confiables y trazables para poder aplicar este tipo de rangos en la evaluación de la red vial nacional.

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**

DISEÑOS DE RUTAS REPRESENTATIVAS PARA LOS DIFERENTES RANGOS

Con las siguientes características:

Base	Granular
Periodo de Diseño	20 años
Zo	-1.282
So	0.45

RUTA 32		
zo	-1.282	
so	0.45	
ESALs	70,315,677	
Módulo SR	8500	
ΔPSI	2.7	
zo*so	-0.5769	
9.36*log(SN+1)-.20	7.377874215	
log(ΔPSI/4.2-1.5)	0	
.40+1094/(SN+1)^5.19	0.468735836	
2.32*log(MR)-8.07	1.046251908	
log(W18)	7.847226123	calculado
log(W18)	7.84705216	requerido
Snreq	5.450627237	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	5.45	
Carpeta	15.0	2,758	5.91	400,000	0.419	1.0	2.475	Vida Remanente	
Base Granular	25.0	345	9.84	50,000	0.193	1.0	1.900	100%	
Subbase	28.0	103	11.02	14,900	0.108	0.9	1.075		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	5.45	

46,35.

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	5.01	
Carpeta	15.0	2,413	5.91	350,000	0.397	1.0	2.342	Vida Remanente	
Base Granular	25.0	259	9.84	37,800	0.162	1.0	1.597	60%	0.92
Subbase	28.0	103	11.02	15,000	0.109	0.9	1.081		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	5.02	

50,66.

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.14	
Carpeta	15.0	2,068	5.91	300,000	0.371	1.0	2.189	Vida Remanente	
Base Granular	25.0	193	9.84	28,000	0.130	1.0	1.283	20%	0.76
Subbase	28.0	68	11.02	9,900	0.068	0.9	0.675		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	4.15	

59,24

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.72	
Carpeta	15.0	1,034	5.91	150,000	0.254	1.0	1.502	Vida Remanente	
Base Granular	25.0	103	9.84	15,000	0.063	1.0	0.619	0%	0.50
Subbase	28.0	64	11.02	9,300	0.062	0.9	0.614		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	2.73	

82,09.

PEREZ ZELEDON		
zo	-1.282	
so	0.45	
ESALs	12,977,486	
Módulo SR	8500	
Δ PSI	2.7	
zo*so	-0.5769	
$9.36 \cdot \log(\text{SN}+1) - 20$	6.644015063	
$\log(\Delta\text{PSI}/4.2-1.5)$	0	
$.40+1094/(\text{SN}+1)^{.5.19}$	0.57542792	
$2.32 \cdot \log(\text{MR}) - 8.07$	1.046251908	
$\log(\text{W18})$	7.11336697	calculado
$\log(\text{W18})$	7.11319058	requerido
Snreq	4,385154782	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.39	
Carpeta	12.0	2,758	4.72	400,000	0.419	1.0	1.980	Vida Remanente	
Base Granular	19.0	345	7.48	50,000	0.193	1.0	1.444	100%	
Subbase	25.0	103	9.84	15,000	0.109	0.9	0.965		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	4.39	

55,86.

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.04	
Carpeta	12.0	2,379	4.72	345,000	0.394	1.0	1.862	Vida Remanente	
Base Granular	19.0	259	7.48	37,500	0.162	1.0	1.211	60%	0.92
Subbase	25.0	103	9.84	15,000	0.109	0.9	0.965		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	4.04	

60,88.

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.34	
Carpeta	12.0	2,068	4.72	300,000	0.371	1.0	1.752	Vida Remanente	
Base Granular	19.0	176	7.48	25,500	0.120	1.0	0.899	20%	0.76
Subbase	25.0	76	9.84	11,000	0.078	0.9	0.694		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	3.35	

71,28.

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.19	
Carpeta	12.0	1,034	4.72	150,000	0.254	1.0	1.201	Vida Remanente	
Base Granular	19.0	97	7.48	14,100	0.056	1.0	0.420	0%	0.50
Subbase	25.0	66	9.84	9,500	0.064	0.9	0.566		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	2.19	

100,29.

TPD 10000, 18% pes		
zo	-0.841	
so	0.45	
ESALs	14,280,439	
Módulo SR	8500	
ΔPSI	2.7	
zo*so	-0.37845	
9.36*log(SN+1)-.20	6.486960032	
log(ΔPSI/4.2-1.5)	0	
.40+1094/(SN+1)^5.19	0.614379727	
2.32*log(MR)-8.07	1.046251908	
log(W18)	7.15476194	calculado
log(W18)	7.15474156	requerido
Snreq	4.181062208	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.18	
Carpeta	10.0	2,758	3.94	400,000	0.419	1.0	1.650	Vida Remanente	
Base Granular	18.0	345	7.09	50,000	0.193	1.0	1.368	100%	
Subbase	30.0	103	11.81	15,000	0.109	0.9	1.158		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	4.18	

64.03

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.84	
Carpeta	10.0	2,448	3.94	355,000	0.399	1.0	1.571	Vida Remanente	
Base Granular	18.0	255	7.09	37,000	0.160	1.0	1.137	60%	0.92
Subbase	30.0	101	11.81	14,600	0.106	0.9	1.130		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	3.84	

66.83

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.17	
Carpeta	10.0	2,103	3.94	305,000	0.374	1.0	1.471	Vida Remanente	
Base Granular	18.0	172	7.09	25,000	0.118	1.0	0.837	20%	0.76
Subbase	30.0	78	11.81	11,300	0.081	0.9	0.862		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	3.17	

79.09

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.09	
Carpeta	10.0	1,034	3.94	150,000	0.254	1.0	1.001	Vida Remanente	
Base Granular	18.0	100	7.09	14,500	0.059	1.0	0.419	0%	0.50
Subbase	30.0	66	11.81	9,500	0.064	0.9	0.680		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	2.100	

107.80

TPD 2000, 21% pes		
zo	-0.841	
so	0.45	
ESALs	3,332,102	
Módulo SR	8500	
ΔPSI	2.7	
zo*so	-0.37845	
9.36*log(SN+1)-.20	5.854948981	
log(ΔPSI/4.2-1.5)	0	
.40+1094/(SN+1)^5.19	0.880425156	
2.32*log(MR)-8.07	1.046251908	
log(W18)	6.522750889	calculado
log(W18)	6.522718346	requerido
Snreq	3.435026903	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.44	
Carpeta	10.0	2,758	3.94	400,000	0.419	1.0	1.650	Vida Remanente	
Base Granular	15.0	345	5.91	50,000	0.193	1.0	1.140	100%	
Subbase	17.0	103	6.69	15,000	0.109	0.9	0.656	Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²	
							Sumatoria	3.45	

66,28

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.17	
Carpeta	10.0	2,448	3.94	355,000	0.399	1.0	1.571	Vida Remanente	
Base Granular	15.0	269	5.91	39,000	0.166	1.0	0.981	60%	0.92
Subbase	17.0	97	6.69	14,100	0.103	0.9	0.620	Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²	
							Sumatoria	3.17	

71,60

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.62	
Carpeta	10.0	2,068	3.94	300,000	0.371	1.0	1.460	Vida Remanente	
Base Granular	15.0	172	5.91	25,000	0.118	1.0	0.697	20%	0.76
Subbase	17.0	74	6.69	10,800	0.077	0.9	0.461	Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²	
							Sumatoria	2.62	

83,90

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	1.72	
Carpeta	10.0	1,034	3.94	150,000	0.254	1.0	1.001	Vida Remanente	
Base Granular	15.0	98	5.91	14,200	0.057	1.0	0.336	0%	0.50
Subbase	17.0	66	6.69	9,500	0.064	0.9	0.385	Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²	
							Sumatoria	1.72	

110,77

DISEÑOS DE RUTAS REPRESENTATIVAS PARA LOS DIFERENTES RANGOS

Con las siguientes características:

Base	Granular
Periodo de Diseño	15 años
Zo	-1.282
So	0.45

RUTA 32		
z0	-1.282	
80	0.45	
ESALs	44,492,028	
Módulo SR	8500	
ΔPSI	2.7	
z0*so	-0.5769	
9.36*log(SN+1)-.20	7.178942321	
log(ΔPSI/4.2-1.5)	0	
.40+1094/(SN+1)^5.19	0.488611157	
2.32*log(MR)-8.07	1.046251908	
log(W18)	7.648294229	calculado
log(W18)	7.648282206	requerido
Snreq	5.142547713	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	5.143	
Carpeta	12.0	2,758	4.72	400,000	0.419	1.0	1.980	Vida Remanente	
Base Granular	26.0	345	10.24	50,000	0.193	1.0	1.976	100%	
Subbase	30.8	103	12.13	15,000	0.109	0.9	1.189		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	6.145	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.73	
Carpeta	12.0	2,413	4.72	350,000	0.397	1.0	1.874	Vida Remanente	
Base Granular	26.0	259	10.24	37,600	0.162	1.0	1.661	60%	0.92
Subbase	30.8	103	12.13	15,000	0.109	0.9	1.189		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	4.72	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.91	
Carpeta	12.0	2,068	4.72	300,000	0.371	1.0	1.752	Vida Remanente	
Base Granular	26.0	193	10.24	28,000	0.130	1.0	1.334	20%	0.76
Subbase	30.8	74	12.13	10,700	0.076	0.9	0.826		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	3.91	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.57	
Carpeta	12.0	1,034	4.72	150,000	0.254	1.0	1.201	Vida Remanente	
Base Granular	26.0	103	10.24	15,000	0.063	1.0	0.643	0%	0.50
Subbase	30.8	67	12.13	9,750	0.067	0.9	0.726		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	2.57	

PEREZ ZELEDON		
zo	-1.282	
so	0.45	
ESALs	8,211,465	
Módulo SR	8500	
Δ PSI	2.7	
zo*so	-0.5769	
$9.36 \cdot \log(\text{SN}+1) \cdot .20$	6.445090226	
$\log(\Delta\text{PSI}/4.2-1.5)$	0	
$.40+1094/(\text{SN}+1)^{.5.19}$	0.626151767	
$2.32 \cdot \log(\text{MR})-8.07$	1.046251908	
$\log(\text{W18})$	6.914442134	calculado
$\log(\text{W18})$	6.914420627	requerido
Snreq	4.127970723	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.13	
Carpeta	10.0	2,758	3.94	400,000	0.419	1.0	1.650	Vida Remanente	
Base Granular	20.0	345	7.87	50,000	0.183	1.0	1.520	100%	
Subbase	24.8	103	9.76	15,000	0.109	0.9	0.958		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	4.13	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.80	
Carpeta	10.0	2,379	3.94	345,000	0.394	1.0	1.552	Vida Remanente	
Base Granular	20.0	255	7.87	37,000	0.160	1.0	1.284	60%	0.92
Subbase	24.8	103	9.76	15,000	0.109	0.9	0.958		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	3.8	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.14	
Carpeta	10.0	2,068	3.94	300,000	0.371	1.0	1.460	Vida Remanente	
Base Granular	20.0	176	7.87	25,500	0.120	1.0	0.947	20%	0.76
Subbase	24.8	79	9.76	11,500	0.083	0.9	0.727		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	3.13	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.06	
Carpeta	10.0	1,034	3.94	150,000	0.254	1.0	1.001	Vida Remanente	
Base Granular	20.0	97	7.87	14,100	0.056	1.0	0.442	0%	0.50
Subbase	24.8	69	9.76	10,000	0.069	0.9	0.606		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	2.05	

TPD 10000, 18% pes		
zo	-0.841	
so	0.45	
ESALs	9,035,904	
Módulo SR	8500	
ΔPSI	2.7	
zo*so	-0.37845	
9.36*log(SN+1)-.20	6.288193632	
log(ΔPSI/4.2-1.5)	0	
.40+1094/(SN+1)^5.19	0.676310339	
2.32*log(MR)-8.07	1.046251908	
log(W18)	6.95598539	calculado
log(W18)	6.955971607	requerido
Snreq	3.933817491	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.93	
Carpeta	10.0	2,758	3.94	400,000	0.419	1.0	1.650	Vida Remanente	
Base Granular	15.0	345	5.91	50,000	0.193	1.0	1.140	100%	
Subbase	29.5	103	11.61	15,000	0.109	0.9	1.139		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	3.93	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.615	
Carpeta	10.0	2,448	3.94	355,000	0.399	1.0	1.571	Vida Remanente	
Base Granular	15.0	259	5.91	37,500	0.162	1.0	0.856	60%	0.92
Subbase	29.5	99	11.61	14,300	0.104	0.9	1.090		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	3.617	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.986	
Carpeta	10.0	2,103	3.94	305,000	0.374	1.0	1.471	Vida Remanente	
Base Granular	15.0	165	5.91	24,000	0.114	1.0	0.671	20%	0.76
Subbase	29.5	78	11.61	11,300	0.081	0.9	0.847		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	2.989	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	1.96	
Carpeta	10.0	1,034	3.94	150,000	0.254	1.0	1.001	Vida Remanente	
Base Granular	15.0	90	5.91	13,000	0.047	1.0	0.280	0%	0.50
Subbase	29.5	66	11.61	9,600	0.065	0.9	0.679		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
							Sumatoria	1.960	

TPD 2000, 21% pes		
zo	-0.841	
so	0.45	
ESALs	2,108,378	
Módulo SR	8500	
ΔPSI	2.7	
zo*so	-0.37845	
9.36*log(SN+1)-.20	5.656884017	
log(ΔPSI/4.2-1.5)	0	
.40+1094/(SN+1)^5.19	1.018657415	
2.32*log(MR)-8.07	1.046251908	
log(W18)	6.324685925	calculado
log(W18)	6.323948392	requerido
Snreq	3.224112459	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.22	
Carpeta	10.0	2,758	3.94	400,000	0.419	1.0	1.650	Vida Remanente	
Base Granular	12.0	345	4.72	50,000	0.193	1.0	0.912	100%	
Subbase	17.0	103	6.69	15,000	0.109	0.9	0.656	Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²	
							Sumatoria	3.22	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.96	
Carpeta	10.0	2,448	3.94	355,000	0.399	1.0	1.571	Vida Remanente	
Base Granular	12.0	265	4.72	38,500	0.165	1.0	0.778	60%	0.92
Subbase	17.0	97	6.69	14,100	0.103	0.9	0.620	Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²	
							Sumatoria	2.97	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.45	
Carpeta	10.0	2,068	3.94	300,000	0.371	1.0	1.460	Vida Remanente	
Base Granular	12.0	179	4.72	25,900	0.122	1.0	0.576	20%	0.76
Subbase	17.0	69	6.69	10,000	0.069	0.9	0.416	Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²	
							Sumatoria	2.45	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	1.61	
Carpeta	10.0	1,034	3.94	150,000	0.254	1.0	1.001	Vida Remanente	
Base Granular	12.0	90	4.72	13,000	0.047	1.0	0.224	0%	0.50
Subbase	17.0	65	6.69	9,450	0.063	0.9	0.382	Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	mm ²	
							Sumatoria	1.61	

DISEÑOS DE RUTAS REPRESENTATIVAS PARA LOS DIFERENTES RANGOS

Con las siguientes características:

Base	Estabilizada
Periodo de Diseño	20 años
Zo	-1.645
So	0.5

TPD 2000, 21% pes

zo	-1.845
so	0.5
ESALs	3,332,102
Módulo SR	8500
ΔPSI	2.7
zo*so	-0.8225
9.36*log(SN+1)-.20	6.299021982
log(ΔPSI/4.2-1.5)	0
.40+1094/(SN+1)*5.19	0.672516595
2.32*log(MR)-8.07	1.046251908
log(W18)	6.52277389 calculado
log(W18)	6.522718346 requerido
Snreq	3,948,779.1

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 Estabilizada	18.0	4,482	7.09	650,000	0.172	1.0	1.216	100%
Subbase	28.0	103	11.02	15,000	0.109	0.9	1.081	Miils
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	35.04 mm²
Sumatoria							3.95	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.63
Carpeta	10.0	2,758	3.94	400,000	0.419	1.0	1.650	Vida Remanente
Base Estabilizada	18.0	3,627	7.09	526,000	0.128	1.0	0.895	60% 01.92
Subbase	28.0	103	11.02	15,000	0.109	0.9	1.081	Miils
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	37.21 mm²
Sumatoria							3.63	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.01
Carpeta	10.0	2,068	3.94	300,000	0.371	1.0	1.460	Vida Remanente
Base Estabilizada	18.0	3,447	7.09	500,000	0.115	1.0	0.818	20% 00.776
Subbase	28.0	72	11.02	10,500	0.074	0.9	0.732	Miils
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	40.59 mm²
Sumatoria							3.01	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	1.97
Carpeta	10.0	1,005	3.94	145,000	0.250	1.0	0.982	Vida Remanente
Base Estabilizada	18.0	1,724	7.09	250,000	0.050	1.0	0.354	0% 01.550
Subbase	28.0	65	11.02	9,450	0.063	0.9	0.629	Miils
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	53.14 mm²
Sumatoria							1.97	

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	
$9.36 \cdot \log(SN+1) - .20$	6.930230559	
$\log(\Delta PSI / 4.2 - 1.5)$	0	
$.40 + 1094 / (SN+1)^{5.19}$	0.521729515	
$2.32 \cdot \log(MR) - 8.07$	1.046251908	
$\log(W18)$	7.153982467	calculado
$\log(W18)$	7.15474156	requerido
Snreq	4.777989778	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.8	
Carpeta	15.0	2,758	5.91	400,000	0.419	1.0	2.475	Vida Remanente	
Base Estabilizada	18.0	4,482	7.09	650,000	0.172	1.0	1.216	100%	
Subbase	29.0	103	11.42	15,000	0.109	0.9	1.120		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	31,76	mm ²
							Sumatoria	4.8	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.426	
Carpeta	15.0	2,758	5.91	400,000	0.419	1.0	2.475	Vida Remanente	
Base Estabilizada	18.0	3,475	7.09	504,000	0.117	1.0	0.830	60%	0.92
Subbase	29.0	103	11.42	15,000	0.109	0.9	1.120		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	33,04	mm ²
							Sumatoria	4.425	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.656	
Carpeta	15.0	2,103	5.91	305,000	0.374	1.0	2.206	Vida Remanente	
Base Estabilizada	18.0	3,103	7.09	450,000	0.090	1.0	0.635	20%	0.76
Subbase	29.0	77	11.42	11,200	0.080	0.9	0.824		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	36,37	mm ²
							Sumatoria	3.665	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.41	
Carpeta	15.0	965	5.91	140,000	0.243	1.0	1.433	Vida Remanente	
Base Estabilizada	18.0	1,517	7.09	220,000	0.044	1.0	0.312	0%	0.50
Subbase	29.0	66	11.42	9,600	0.065	0.9	0.668		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	49,61	mm ²
							Sumatoria	2.412	

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	6.889380041	
log(ΔPSI/4.2-1.5)	0	
.40+1094/(SN+1) ⁵ .19	0.52824693	
2.32*log(MR)-8.07	1.046251908	
log(W18)	7.113131949	calculado
log(W18)	7.11319058	requerido
Snreq	4.720215593	

76,015,780
12,977,486

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.72	
Carpeta	15.0	2,758	5.91	400,000	0.419	1.0	2.475	Vida Remanente	
Base Estabilizada	18.0	4,482	7.09	650,000	0.172	0.9	1.095	100%	
Subbase	30.0	103	11.81	15,000	0.109	0.9	1.158		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
Sumatoria							4.73		

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.35	
Carpeta	15.0	2,758	5.91	400,000	0.419	1.0	2.475	Vida Remanente	
Base Estabilizada	18.0	3,447	7.09	500,000	0.115	0.9	0.737	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							4.37		

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.59	
Carpeta	15.0	2,206	5.91	320,000	0.382	1.0	2.253	Vida Remanente	
Base Estabilizada	18.0	2,758	7.09	400,000	0.080	0.9	0.509	20%	0.76
Subbase	30.0	76	11.81	11,000	0.078	0.9	0.833		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
Sumatoria							3.60		

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.36	
Carpeta	15.0	1,069	5.91	155,000	0.260	1.0	1.534	Vida Remanente	
Base Estabilizada	18.0	1,379	7.09	200,000	0.040	0.9	0.255	0%	0.50
Subbase	30.0	59	11.81	8,600	0.054	0.9	0.575		Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-		mm ²
Sumatoria							2.36		

100%

Layered Elastic Analysis by Everstress© 5.0

Title: perez-base est.1
No of Layers: 4

No of Loads: 1

No of X-Y Evaluation Points: 1

Layer	Poisson's Ratio	Thickness (cm)	Moduli(1) (MPa)
1	.40	15.000	2758.00
2	.25	18.000	4482.00
3	.35	30.000	103.00
4	.45		59.00

Load No	X-Position (cm)	Y-Position (cm)	Load (N)	Pressure (kPa)	Radius (cm)
1	.00	.00	40000.0	565.88	15.000

Location No: 1

X-Position (cm): .000

Y-Position (cm): .000

Normal Stresses							
Z-Position (cm)	Layer	Sxx (kPa)	Syy (kPa)	Szz (kPa)	Syz (kPa)	Sxz (kPa)	Sxy (kPa)
.000	1	-708.85	-708.85	-565.88	.00	.00	.00

Normal Strains and Deflections							
Z-Position (cm)	Layer	Exx (10 ⁻⁶)	Eyy (10 ⁻⁶)	Ezz (10 ⁻⁶)	Ux (microns)	Uy (microns)	Uz (microns)
.000	1	-72.14	-72.14	.43	.000	.000	311.642

Principal Stresses and Strains							
Z-Position (cm)	Layer	S1 (kPa)	S2 (kPa)	S3 (kPa)	E1 (10 ⁻⁶)	E2 (10 ⁻⁶)	E3 (10 ⁻⁶)
.000	1	-708.85	-708.85	-565.88	-72.14	-72.14	.43

60%

Layered Elastic Analysis by Everstress© 5.0

Title: perez-base est.2
No of Layers: 4

No of Loads: 1

No of X-Y Evaluation Points: 1

Layer	Poisson's Ratio	Thickness (cm)	Moduli(1) (MPa)
1	.40	15.000	2758.00
2	.25	18.000	3447.00
3	.35	30.000	103.00
4	.45		59.00

Load No	X-Position (cm)	Y-Position (cm)	Load (N)	Pressure (kPa)	Radius (cm)
1	.00	.00	40000.0	565.88	15.000

Location No: 1

X-Position (cm): .000

Y-Position (cm): .000

Normal Stresses							
Z-Position (cm)	Layer	Sxx (kPa)	Syy (kPa)	Szz (kPa)	Syz (kPa)	Sxz (kPa)	Sxy (kPa)
.000	1	-748.14	-748.14	-565.88	.00	.00	.00

Normal Strains and Deflections							
Z-Position (cm)	Layer	Exx (10 ⁻⁶)	Eyy (10 ⁻⁶)	Ezz (10 ⁻⁶)	Ux (microns)	Uy (microns)	Uz (microns)
.000	1	-80.69	-80.69	11.83	.000	.000	324.724

Principal Stresses and Strains							
Z-Position (cm)	Layer	S1 (kPa)	S2 (kPa)	S3 (kPa)	E1 (10 ⁻⁶)	E2 (10 ⁻⁶)	E3 (10 ⁻⁶)
.000	1	-748.14	-748.14	-565.88	-80.69	-80.69	11.83

20%

Layered Elastic Analysis by Everstress© 5.0

Title: perez-base est.3
No of Layers: 4

No of Loads: 1

No of X-Y Evaluation Points: 1

Layer	Poisson's Ratio	Thickness (cm)	Moduli(1) (MPa)
1	.40	15.000	2206.00
2	.25	18.000	2758.00
3	.35	30.000	76.00
4	.45		59.00

Load No	X-Position (cm)	Y-Position (cm)	Load (N)	Pressure (kPa)	Radius (cm)
1	.00	.00	40000.0	565.88	15.000

Location No: 1 X-Position (cm): .000 Y-Position (cm): .000

Z-Position (cm)	Layer	Normal Stresses			Syz (kPa)	Sxz (kPa)	Sxy (kPa)
		Sxx (kPa)	Syy (kPa)	Szz (kPa)			
.000	1	-738.92	-738.92	-565.88	.00	.00	.00

Z-Position (cm)	Layer	Normal Strains and Deflections			Ux (microns)	Uy (microns)	Uz (microns)
		Exx (10 ⁻⁶)	Eyy (10 ⁻⁶)	Ezz (10 ⁻⁶)			
.000	1	-98.37	-98.37	11.45	.000	.000	362.146

Z-Position (cm)	Layer	Principal Stresses and Strains			E1 (10 ⁻⁶)	E2 (10 ⁻⁶)	E3 (10 ⁻⁶)
		S1 (kPa)	S2 (kPa)	S3 (kPa)			
.000	1	-738.92	-738.92	-565.88	-98.37	-98.37	11.45

0%

Layered Elastic Analysis by Everstress© 5.0

Title: perez-base est.4
No of Layers: 4

No of Loads: 1

No of X-Y Evaluation Points: 1

Layer	Poisson's Ratio	Thickness (cm)	Moduli(1) (MPa)
1	.40	15.000	1069.00
2	.25	18.000	1379.00
3	.35	30.000	59.00
4	.45		59.00

Load No	X-Position (cm)	Y-Position (cm)	Load (N)	Pressure (kPa)	Radius (cm)
1	.00	.00	40000.0	565.88	15.000

Location No: 1 X-Position (cm): .000 Y-Position (cm): .000

Z-Position (cm)	Layer	Normal Stresses			Syz (kPa)	Sxz (kPa)	Sxy (kPa)
		Sxx (kPa)	Syy (kPa)	Szz (kPa)			
.000	1	-682.02	-682.02	-565.88	.00	.00	.00

Z-Position (cm)	Layer	Normal Strains and Deflections			Ux (microns)	Uy (microns)	Uz (microns)
		Exx (10 ⁻⁶)	Eyy (10 ⁻⁶)	Ezz (10 ⁻⁶)			
.000	1	-171.06	-171.06	-18.96	.000	.000	490.077

Z-Position (cm)	Layer	Principal Stresses and Strains			E1 (10 ⁻⁶)	E2 (10 ⁻⁶)	E3 (10 ⁻⁶)
		S1 (kPa)	S2 (kPa)	S3 (kPa)			
.000	1	-682.02	-682.02	-565.88	-171.06	-171.06	-18.96

RUTA 32		
zo	-1.645	
so	0.5	
ESALs	70,315,677	
Módulo SR	8500	
Δ PSI	2.7	
zo*so	-0.8225	
$9.36 \cdot \log(\text{SN}+1) - 20$	7.823454854	
$\log(\Delta\text{PSI}/4.2-1.5)$	0	
$40+1094/(\text{SN}+1)^{0.5}$	0.450235636	
$2.32 \cdot \log(\text{MR}) - 8.07$	1.046251908	
$\log(W18)$	7.847206761	calculado
$\log(W18)$	7.84705216	requerido
Snreq	5.852344677	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	5.85		
Carpeta	15.0	2,758	5.91	400,000	0.419	1.0	2.475	Vida Remanente		
Base Estabilizada	30.0	4,482	11.81	650,000	0.172	1.0	2.027	100%		
Subbase	35.0	103	13.78	15,000	0.109	0.9	1.351		Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	24,5	mm ²	
							Sumatoria	5.85		

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	5.39		
Carpeta	15.0	2,758	5.91	400,000	0.419	1.0	2.475	Vida Remanente		
Base Estabilizada	30.0	3,730	11.81	541,000	0.132	1.0	1.583	60%	0.92	
Subbase	35.0	103	13.78	15,000	0.109	0.9	1.351		Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	25,3	mm ²	
							Sumatoria	5.39		

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.45		
Carpeta	15.0	2,068	5.91	300,000	0.371	1.0	2.189	Vida Remanente		
Base Estabilizada	30.0	3,447	11.81	600,000	0.115	1.0	1.364	20%	0.76	
Subbase	35.0	71	13.78	10,300	0.072	0.9	0.892		Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	27,9	mm ²	
							Sumatoria	4.45		

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.93		
Carpeta	15.0	1,034	5.91	150,000	0.254	1.0	1.502	Vida Remanente		
Base Estabilizada	30.0	1,662	11.81	241,000	0.048	1.0	0.569	0%	0.50	
Subbase	35.0	69	13.78	10,000	0.069	0.9	0.856		Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	38,2	mm ²	
							Sumatoria	2.93		

DISEÑOS DE RUTAS REPRESENTATIVAS PARA LOS DIFERENTES RANGOS

Con las siguientes características:

Base	Estabilizada
Periodo de Diseño	15 años
Zo	-1.282
So	0.45

RUTA 32		
zo	-1.282	
so	0.45	
ESALs	44,492,028	
Módulo SR	8500	
Δ PSI	2.7	
zo*so	-0.5769	
$9.36 \cdot \log(\text{SN}+1) - .20$	7.178942321	
$\log(\Delta\text{PSI}/4.2-1.5)$	0	
$.40 + 1094/(\text{SN}+1)^{.5.19}$	0.488611157	
$2.32 \cdot \log(\text{MR}) - 8.07$	1.046251908	
$\log(\text{W18})$	7.648294229	calculado
$\log(\text{W18})$	7.648282206	requerido
Snreq	5,142,547,713	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	5.143
Carpeta	15.0	2,758	5.91	400,000	0.419	1.0	2.475	Vida Remanente
Base estabilizada	20.0	4,482	7.87	850,000	0.172	0.9	1.218	100%
Subbase	37.5	103	14.76	15,000	0.109	0.9	1.448	Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	30,30 mm ²
Sumatoria							5.14	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.73
Carpeta	15.0	2,758	5.91	400,000	0.419	1.0	2.475	Vida Remanente
Base Granular	20.0	3,413	7.87	495,000	0.113	0.9	0.803	60% 0.92
Subbase	37.5	103	14.76	15,000	0.109	0.9	1.448	Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	31,68 mm ²
Sumatoria							4.73	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.91
Carpeta	15.0	2,517	5.91	385,000	0.404	1.0	2.384	Vida Remanente
Base Granular	20.0	2,758	7.87	400,000	0.068	0.9	0.480	20% 0.76
Subbase	37.5	76	14.76	11,000	0.078	0.9	1.042	Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	34,14 mm ²
Sumatoria							3.91	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.57
Carpeta	15.0	1,379	5.91	200,000	0.303	1.0	1.787	Vida Remanente
Base Granular	20.0	2,068	7.87	300,000	0.006	0.9	0.044	0% 0.50
Subbase	37.5	60	14.76	6,700	0.055	0.9	0.734	Mills
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	41,61 mm ²
Sumatoria							2.57	

TPD 2000, 21% pes		
zo	-0.841	
so	0.45	
ESALs	2,108,378	
Módulo SR	8500	
Δ PSI	2.7	
zo*so	-0.37845	
$9.36 \cdot \log(\text{SN}+1) \cdot .20$	5.656884017	
$\log(\Delta\text{PSI}/4.2-1.5)$	0	
$40+1094/(\text{SN}+1)^{.5} \cdot 19$	1.018657415	
$2.32 \cdot \log(\text{MR}) - 8.07$	1.046251908	
$\log(W18)$	6.324685925	calculado
$\log(W18)$	6.323948392	requerido
Snreq	3,224112459	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.22		
Carpeta	10.0	2,758	3.94	400,000	0.419	1.0	1.650	Vida Remanente		
Base Estabilizada	15.0	4,482	5.91	650,000	0.172	0.9	0.912	100%		
Subbase	17.0	103	6.69	15,000	0.109	0.9	0.656		Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	40.25	mm ²	
							Sumatoria	3.22		

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.96		
Carpeta	10.0	2,758	3.94	400,000	0.419	1.0	1.650	Vida Remanente		
Base Estabilizada	15.0	3,585	5.91	520,000	0.124	0.9	0.658	60%	0.92	
Subbase	17.0	103	6.69	15,000	0.109	0.9	0.656		Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	41.78	mm ²	
							Sumatoria	2.96		

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.45		
Carpeta	10.0	2,103	3.94	305,000	0.374	1.0	1.471	Vida Remanente		
Base Estabilizada	15.0	3,309	5.91	480,000	0.107	0.9	0.567	20%	0.76	
Subbase	17.0	69	6.69	10,000	0.069	0.9	0.416		Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	45.87	mm ²	
							Sumatoria	2.45	45.37	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	1.61		
Carpeta	10.0	965	3.94	140,000	0.243	1.0	0.958	Vida Remanente		
Base Estabilizada	15.0	2,620	5.91	380,000	0.057	0.9	0.302	0%	0.50	
Subbase	17.0	62	6.69	9,000	0.059	0.9	0.353		Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	54.87	mm ²	
							Sumatoria	1.61		

TPD 10000, 18% pes		
zo	-0.841	
so	0.45	
ESALs	9,035,904	
Módulo SR	8500	
Δ PSI	2.7	
zo*so	-0.37845	
$9.36 \cdot \log(\text{SN}+1) - .20$	6.288193632	
$\log(\Delta\text{PSI}/4.2-1.5)$	0	
$.40+1094/(\text{SN}+1)^{5.19}$	0.676310339	
$2.32 \cdot \log(\text{MR}) - 8.07$	1.046251908	
$\log(\text{W}18)$	6.955995539	calculado
$\log(\text{W}18)$	6.955971607	requerido
Snreq	3.933817491	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.93		
Carpeta	12.0	2,758	4.72	400,000	0.419	1.0	1.980	Vida Remanente		
Base Estabilizada	15.0	4,482	5.91	650,000	0.172	0.9	0.912	100%		
Subbase	27.0	103	10.63	15,000	0.109	0.9	1.043		Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	37,32	mm ²	
							Sumatoria	3.93		

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.620		
Carpeta	12.0	2,758	4.72	400,000	0.419	1.0	1.980	Vida Remanente		
Base Estabilizada	15.0	3,413	5.91	495,000	0.113	0.9	0.602	60%	0.92	
Subbase	27.0	103	10.63	15,000	0.109	0.9	1.043		Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	38,94	mm ²	
							Sumatoria	3.62		

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.990		
Carpeta	12.0	2,310	4.72	335,000	0.389	1.0	1.839	Vida Remanente		
Base Estabilizada	15.0	3,103	5.91	450,000	0.093	0.9	0.494	20%	0.76	
Subbase	27.0	69	10.63	10,000	0.069	0.9	0.660		Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	42,28	mm ²	
							Sumatoria	2.99		

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	1.97		
Carpeta	12.0	1,034	4.72	150,000	0.254	1.0	1.201	Vida Remanente		
Base Estabilizada	15.0	2,413	5.91	350,000	0.039	0.9	0.208	0%	0.50	
Subbase	27.0	62	10.63	9,000	0.059	0.9	0.561		Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	52,35	mm ²	
							Sumatoria	1.97		

PEREZ ZELEDON		
zo	-1.282	
so	0.45	
ESALs	8,211,465	
Módulo SR	8500	
ΔPSI	2.7	
zo*so	-0.5769	
9.36*log(SN+1)-.20	6.445090226	
log(ΔPSI/4.2-1.5)	0	
.40+1094/(SN+1)^5.19	0.626151767	
2.32*log(MR)-8.07	1.046251908	
log(W18)	6.914442134	calculado
log(W18)	6.914420627	requerido
Snreq	4.127970723	

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	4.13		
Carpeta	12.0	2,758	4.72	400,000	0.419	1.0	1.980	Vida Remanente		
Base Granular	15.0	4,482	5.91	650,000	0.172	0.9	0.912	100%		
Subbase	32.0	103	12.60	15,000	0.109	0.9	1.236		Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	37,01	mm ²	
							Sumatoria	4.13		

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.80		
Carpeta	12.0	2,758	4.72	400,000	0.419	1.0	1.980	Vida Remanente		
Base Granular	15.0	3,365	5.91	488,000	0.110	0.9	0.586	60%	0.92	
Subbase	32.0	103	12.60	15,000	0.109	0.9	1.236		Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	38,68	mm ²	
							Sumatoria	3.80		

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	3.14		
Carpeta	12.0	2,482	4.72	360,000	0.401	1.0	1.896	Vida Remanente		
Base Granular	15.0	2,758	5.91	400,000	0.068	0.9	0.360	20%	0.76	
Subbase	32.0	76	12.60	11,000	0.078	0.9	0.889		Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	42,05	mm ²	
							Sumatoria	3.15		

Capa	Espesores	Módulos	Espesores (in)	Módulos	a	m	SN	2.06		
Carpeta	12.0	1,379	4.72	200,000	0.303	1.0	1.430	Vida Remanente		
Base Granular	15.0	2,034	5.91	295,000	0.003	0.9	0.014	0%	0.50	
Subbase	32.0	59	12.60	8,600	0.054	0.9	0.614		Mills	
Subrasante	-	59	-	8,500	-	-	-	50,97	mm ²	
							Sumatoria	2.06		