ANEXO 2: CRITERIOS DE DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO

1 PAVIMENTO RIGIDO 2
1.1 INPUTS DE DISEÑO 3
1.2 RESULTADOS 7
2 SECCIÓN TRANSVERSAL 8
2.1 INCLINACIÓN DE TALUD EN PAQUETE ESTRUCTURAL Y TERRAPLÉN 8
2.2 ANCHO DE BANQUINA 9
INPUTS DE DISEÑO OptiPave2®

1 PAVIMENTO RIGIDO

Para la definición del pavimento se tomaron en cuenta los criterios sobre análisis de alternativas, por lo que se han analizado tres tipos de estructuras de pavimento para el tramo:

- Flexible (Asfalto).
- Rígido (Hormigón Convencional).
- Rígido con Losas de Geometría Optimizada (Hormigón con Macrofibras).

Considerando el Asfalto y Hormigón como los dos tipos de pavimentos analizados, sobre los que se estudiaron exhaustivamente aspectos de importancia bajo criterios estructurales y tránsitos equivalentes sobre apoyos homogéneos, además de contemplar la posibilidad de reciclar los materiales existentes en abundancia, todo ellos puesto a consideración del MOPC, siendo los criterios evaluados son los siguientes:

1. Estructuras equivalentes en cuanto a cantidad de cargas de tránsito (EEq) y vida útil.
2. Presupuesto a 10 (pavimento flexible) y 20 años (pavimento flexible y rígido).
3. Sostenibilidad (criterio ambiental).
4. Constructibilidad (experiencia local, disponibilidad de equipos y liberación al tránsito).

Tras un detenido análisis, se concluye que la opción más conveniente desde el punto de vista técnico, económico y ambiental es el Pavimento Rígido con Losas de Geometría Optimizada.

Específicamente se menciona las principales características para el dimensionamiento, resaltando que la metodología de cálculo utilizando el sistema OptiPave®. El sistema OptiPave® consiste en optimizar el espesor de los pavimentos considerando la ubicación relativa de las cargas de las ruedas con la geometría de las losas del pavimento, con el principio de que a cada losa solo la cargue un set de ruedas. Los cálculos se han ejecutado utilizando el software OptiPave2®, desarrollado para el sistema OptiPave®, que se basa en un análisis de elementos finitos con el software ISLAB 2000TM y los algoritmos de fatiga de NCHRP 1-37ª (AASHTO 2008). El software ha sido calibrado con tramos de pruebas y pavimentos existentes con más de 10 años de antigüedad.

La filosofía de la metodología utilizada en el diseño de las estructuras de pavimentos está fundamentada en los objetivos básicos siguientes:

- Responder estructuralmente a las solicitaciones de carga, la capacidad de soporte y las condiciones climáticas
- Responder en términos de serviciabilidad, controlando tanto la rugosidad (IRI) como la posible erosión que se pueda producir bajo la losa (escalonamiento)Desde el punto de vista constructivo, asegurar que sea compatible con las características de las condiciones técnicas del proyecto.
- Impactar lo menos posible el medio ambiente.

Se incluye en este documento una descripción de las diferentes variables consideradas para el diseño de la estructura del pavimento:

1. Variables de diseño
2. Criterios de comportamiento
3. Propiedades de los materiales de soporte para el diseño
4. Características estructurales del pavimento
5. Cálculo de espesores de la estructura de pavimento

Finalmente, se hace una recomendación de la estructura de pavimento resultante que es la más apropiada para soportar en forma eficiente las demandas de tráfico, los cambios de temperatura y humedad e inclemencias del tiempo a que estará sujeto el pavimento a lo largo de su vida de servicio.

1.1 INPUTS DE DISEÑO

Para el cálculo del espesor de losa se usaron los siguientes inputs o datos de entrada:

- **Trafico**

ESALS o Eje Estandarizado 10.520.700 (20 años). Se tuvo en cuenta el Decreto 1643 (mayo 2024), cuyo horizonte de análisis es 20 años.

- **Hormigón**

Mr: 4,2 MPa a flexotracción con macrofibras estructurales y Rr: 1 MPa (resistencia residual ASTM 1609), a los 28 días. Para el control de calidad rutinario podrá aplicarse los ensayos de compresión simple siempre que se disponga de la correlación según flexotracción y compresión simple en base a la dosificación adoptada del hormigón.

- **Suelo y Apoyo de Losa genéricamente se calcula igual para 3 casos:**
- 15cm de Base Granular Cementada 20kg/cm^2 o equivalente a 500 MPa en el largo plazo
- 20cm Ripio Homogenizado CBR 30% (exigible para ripios nuevos, pero considero 20%, dado lo existente)
- 20cm Ripio Existente CBR 20% o Suelo Cal remanente o existente estabilizado con Cemento en casos donde se disponga, sin embargo, la variabilidad en disponer en no de esta capa obliga a una condición más conservadora de no considerarla. En caso existiese iría a favor de la condición de apoyo de la estructura.
- Núcleo Terraplén o fundación CBR 3%

Para mejor referencia de Módulos correlacionados a CBR se presenta el siguiente cuadro que tiene como orígenes ecuaciones mencionadas en el Manual de Carreteras del Paraguay o típicas correlaciones:

CBR	Módulo	
	Mpa	Psi
0	0	0
1	18	2,548
2	27	3,971
3	36	5,147
4	43	6,188
5	49	7,137
6	55	8,021
7	61	8,853
8	67	9,642
9	72	10,397
10	77	11,123
15	98	14,188
20	115	16,621
30	143	20,773
40	168	24,334
50	190	27,512
60	210	30,413
70	229	33,104
80	246	35,627
90	263	38,012
100	278	40,279

- **Clima**

Húmedo _ No Heladizo con valores de temperatura media de 30°C y en invierno de 15°C.

Los criterios de cálculo convierten los CBR a MPa para los materiales, y los números de temperatura y lluvia (clima) tratan de tomar valores de referencia sin distorsionarlos por probables valores de máxima o mínimas que pudieran darse en el Chaco Paraguayo, especialmente hacia la Zona de Pozo Colorado, sin embargo, se tomaron valores conservadores.

Para los inputs de clima se tuvo en cuenta los parámetros definidos en el Informe de la DINAC (ANUARIO CLIMATOLOGICO 2022), cuyos valores se muestran a continuación, siendo los mismos redondeados o considerados como los extremos de manera conservadora (estación meteorológica de Pozo Colorado). Las ecuaciones de desempeño se muestran en la planilla o reporte de cálculo al final de este anexo.

Tabla 7. Resumen mensual de las principales variables meteorológicas.

Mes	Heliofanía		Pres. Atm. Med.		Precipitación				Viento		Humedad
	Media	Total	Nivel del Mar	Nivel de la Estación	Máx. 24 horas	Día	Total	N° días prec ≥1.0	Vel. Med.	Vel. Max.	relativa media
Ene	10,7	330,6	1006,1	995,1	20,0	26	44,2	4	11,5	25,9	54,5
Feb	8,7	235,7	1008,5	997,4	170,0	4	225,9	6	8,6	18,5	64,3
Mar	8,7	262,4	1010,0	998,9	25,7	24	58,9	6	11,0	33,3	65,9
Abr	7,0	209,6	1010,8	999,5	61,2	28	97,3	4	12,0	33,3	69,3
May	6,4	197,0	1016,2	1004,6	23,4	9	73,8	7	7,4	29,6	78,0
Jun	5,1	151,9	1016,0	1004,3	14,8	1	25,0	2	8,0	29,6	76,8
Jul	7,3	225,5	1011,7	1000,3	2,6	28	2,6	1	10,4	33,3	63,3
Ago	7,4	228,8	1014,8	1003,3	32,0	17	43,9	2	11,3	33,3	59,4
Sep	6,0	179,5	1013,7	1002,2	10,0	27	20,5	5	11,2	33,3	64,2
Oct	7,4	228,1	1011,2	999,9	30,0	30	91,6	6	12,1	37,0	66,9
Nov	9,4	283,0	1011,0	999,8	38,0	12	61,3	4	9,6	25,9	57,0
Dic	10,2	315,8	1006,7	995,7	49,5	10	74,5	3	9,2	22,2	53,1
Anual	**7,8**	**2847,9**	**1011,4**	**1000,1**	**170,0**	**Feb**	**819,5**	**50**	**10,2**	**37,0**	**64,4**

Tabla 8. Temperaturas medias y extremas mensuales.

Mes	Temperatura											
	Extremas				Media			N° días ≤ 0°	0° < N° días ≤ 5°	35° ≤ N° días < 40°	N° días ≥ 40°	Temp. Rocío
	Máx.	Día	Mín.	Día	Máx.	Mín.	Media					
Ene	42,8	18	19,6	12	39,4	23,9	29,1	0	0	14	15	19,4
Feb	40,6	16	18,8	8	36,3	22,5	28,3	0	0	14	5	20,2
Mar	37,6	5	13,8	31	34,1	21,5	26,3	0	0	18	0	19,0
Abr	33,5	26	9,8	15	32,0	20,0	24,9	0	0	14	0	18,2
May	28,7	25	5,0	18	24,9	13,3	17,8	0	1	0	0	13,5
Jun	27,5	27	2,0	13	23,0	11,2	16,4	0	3	0	0	12,2
Jul	32,6	25	5,0	30	31,1	15,5	22,1	0	1	8	0	14,0
Ago	34,7	27	5,0	19	29,1	14,5	20,7	0	2	9	0	12,1
Sep	35,0	8	8,8	6	27,9	15,2	20,6	0	0	3	0	13,0
Oct	35,6	26	12,0	10	31,8	17,7	23,4	0	0	7	1	17,5
Nov	33,6	27	10,0	2	32,9	17,7	24,7	0	0	14	0	16,4
Dic	39,0	8	19,0	14	36,6	22,4	28,8	0	0	17	6	18,8
Anual	**42,8**	**Ene**	**2,0**	**Jun**	**31,6**	**17,9**	**23,6**	**0**	**7**	**118**	**27**	**16,2**

- **Refuerzos**

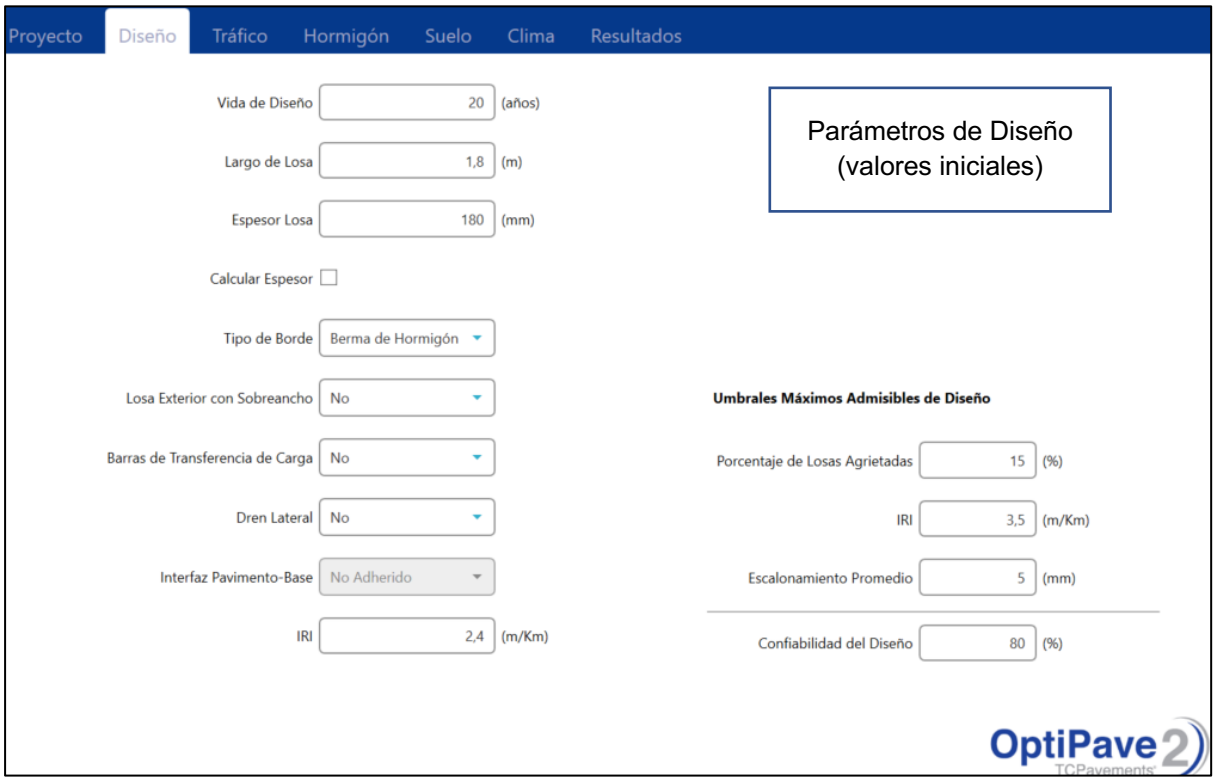
Debe considerarse que la probable presencia de sales (sulfatos y cloruros) en suelo del entorno o eventual exposición de agua salada (no tolerable en la fabricación del hormigón) por arrastre de los neumáticos hace necesaria la tendencia al no uso masivo de pasadores y barras de unión (aceros). Esta consideración define el uso de macrofibras (sintéticas) para evitar agresión de sales, debiéndose tener en cuenta que los requerimientos al hormigón reforzado con fibras (agregados, cemento, fibras sintéticas, aditivos) que se especifican con valores mínimos de referencia. Ejemplo: Relación A/C no mayor a 0,45.

- **Geotextil de interfaz entre Losa y Base Cementada:**

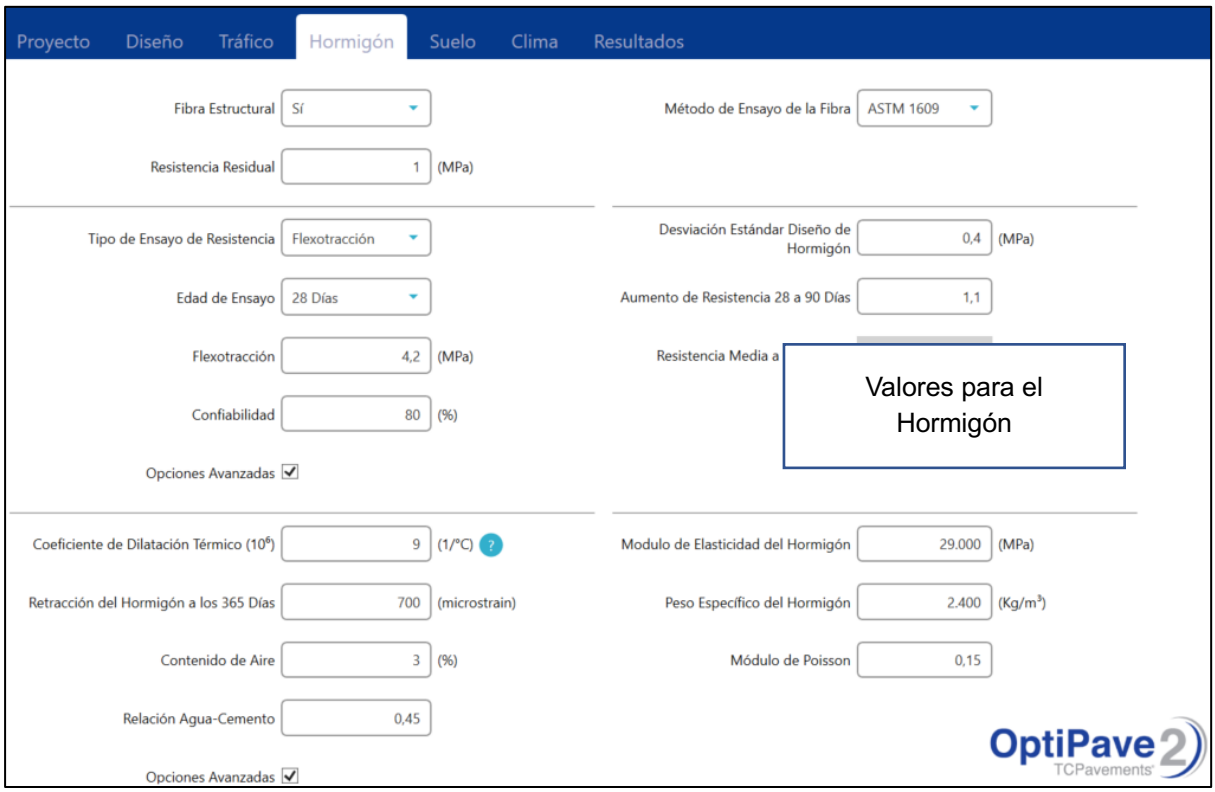
Forma para del análisis la colocación y disposición de un Geotextil no tejido, de mínimo 400 gr/m2 cuyos requerimientos deben cumplir con las exigencias de las EETT.

Controlar la presión de aguas que pueda disponerse bajo losas y que al momento de paso de camiones apliquen cargas de presión sobre la capa de apoyo. Por lo que el dren debe construirse en un ancho tal que cubra toda la plataforma y sobrepase (sobrenacho) las banquinas mínimamente 10 cm. Se menciona el documento Performance Assessment of Nonwoven Geotextile Materials Used as the Separation Layer for Unbonded Concrete Overlays of Existing Concrete Pavements in the US (webspec.cloud), como referencia para la definición del tipo de geotextil.

Los parámetros principales utilizados para el cálculo son los siguientes (impresiones):



Se espera que el IRI en general sea menor a 2.5 m/km), adoptandose un posicion mas desfavorable en el caclculo o dimensionamiento.



Proyecto | Diseño | Tráfico | Hormigón | Suelo | Clima | Resultados

Valores para las capas de Apoyo bajo la losa

N° de Capas 3

	Tipo de Suelo	Módulo Resiliente Invierno (MPa)	Módulo Resiliente Verano (MPa)	Módulo de Poisson	(mm)
Base	Geotextil	100	100	0,5	5
2° Capa	BTC	500	500	0,25	150
3° Capa	A-1-b	115	115	0,44	200
Subrasante	A-2-4	36	43,2	0,44	

Propiedades de la base

Resistencia a la erosión (Capa Bajo el Pavimento)	3	
Coeficiente de Fricción Pavimento-Base	0,65	
Material Fino Bajo Malla N° 200 (Capa Bajo el Pavimento)	10	(%)

CBR	Módulo	
	Mpa	Psi
0	0	0
1	18	2,548
2	27	3,971
3	36	5,147
4	43	6,188
5	49	7,137
6	55	8,021
7	61	8,853
8	67	9,642
9	72	10,397
10	77	11,123
15	98	14,188
20	115	16,621
30	143	20,773
40	168	24,334
50	190	27,512
60	210	30,413
70	229	33,104
80	246	35,627
90	263	38,012
100	278	40,279

OptiPave

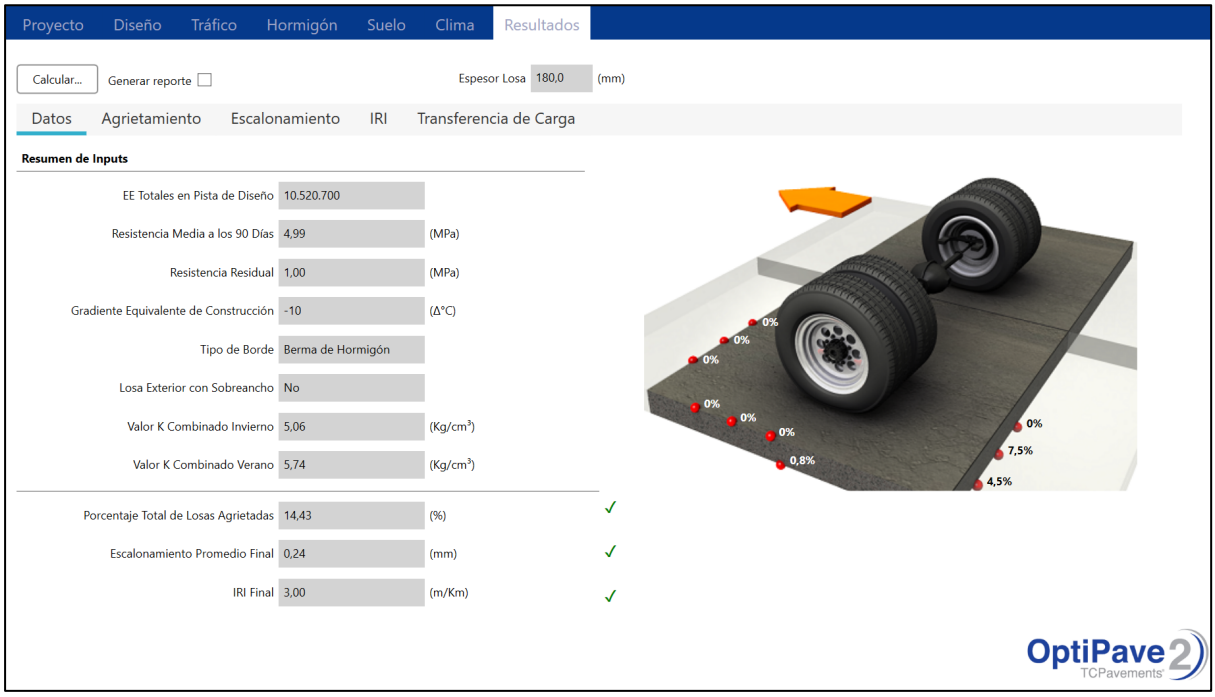
Proyecto | Diseño | Tráfico | Hormigón | Suelo | Clima | Resultados

País	Genérico	
Zona	Húmedo No-heladizo	
Gradiente Equivalente de Construcción	-10	(Δ°C)
Temperatura Media de Invierno	15	(°C)
Temperatura Media de Verano	30	(°C)
Temperatura de Fraguado del Hormigón	45	(°C)
Número de Días al Año con Precipitaciones	150	
Indice de Congelamiento de la Base	0	(%)

1.2 RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados y seguidamente los parámetros utilizados para el cálculo

Figura 1: Impresión de Pantalla del espesor de losa resultante.



En términos de cálculo estructural, el espesor de la losa de 18,0 cm cumple con los parámetros de establecidos. No obstante, debido a las condiciones externas relacionadas con la presencia de sulfatos y cloruros, y obviamente por criterio de seguridad se podría mayorar, pero se mantiene el espesor a 18 cm. A continuación, se presentan los principales parámetros de diseño y resultados obtenidos:

Tabla 1: Resumen de principales parámetros y resultados

RESULTADOS	
Largo de losas (cm)	180
Espesor de losas (mm)	**18 cm adoptado**
Tránsito (Ejes Equivalentes)	10.520.677
Tipo de hormigón	Reforzado con Fibras: Mr: 4,2 MPa con fibra sintética, Rr: 1,0 MPa
Capa de Apoyo (Fundación)	CBR 3%
Porcentaje total de losas agrietadas (%)	14,43%
Escalonamiento promedio final (mm)	<1
IRI final (m/km)	3
Vida Útil de Diseño	20 años

Al final de este Anexo se presentan las variables de diseño utilizadas en el cálculo, donde se muestran los parámetros y resultados que incluyen los tres criterios de fallas del pavimento rígido con fibras:

- Escalonamiento: ≤ 5mm en promedio
- IRI (Índice de Regularidad Internacional): inicial de 1,8m/km, final de 3,5m/km (20 años)
- Porcentaje de agrietamiento de losas: hasta 15%.

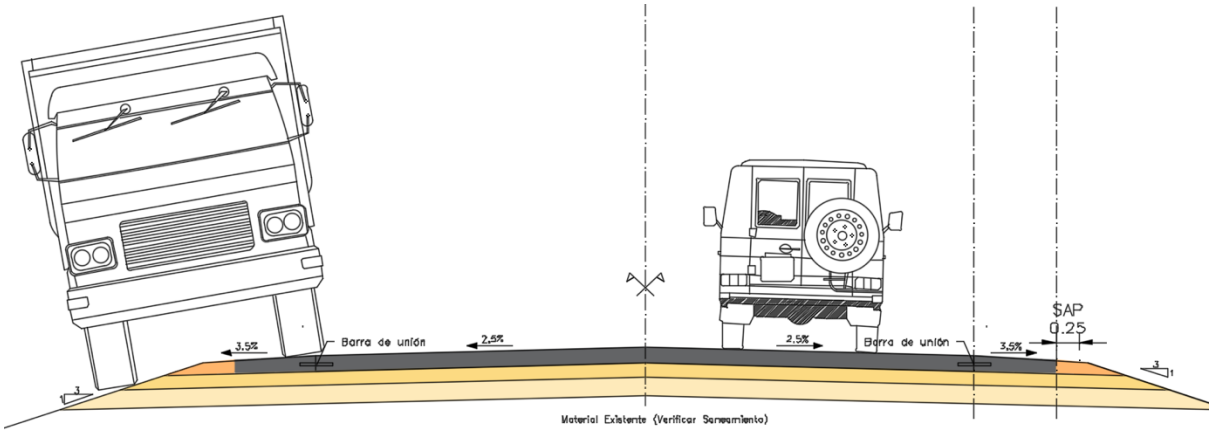
2 SECCIÓN TRANSVERSAL

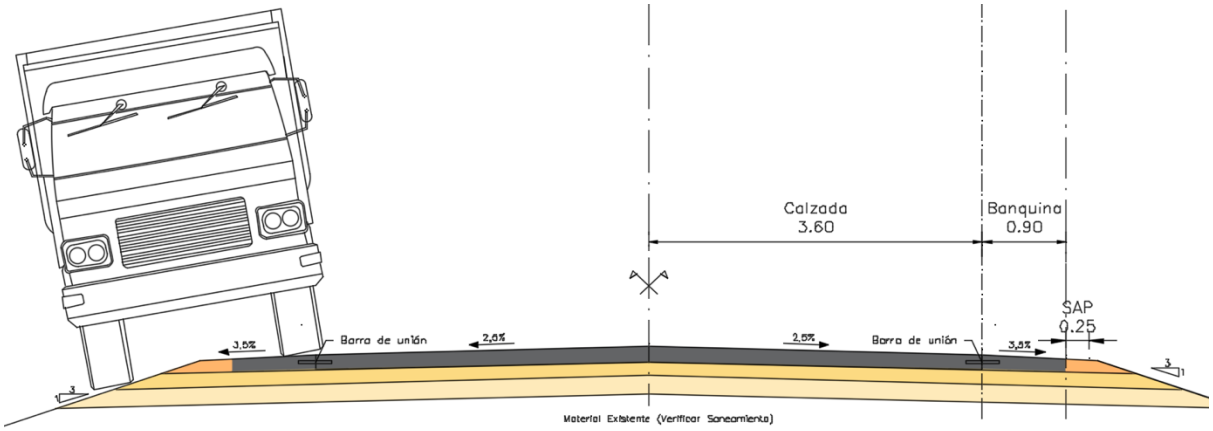
La sección transversal propuesta tiene como objetivo cumplir con los requerimientos geométricos del Lote operativo de la Ruta PY05, desde la prog. 269+800 hasta la prog. 318+920, garantizando su compatibilidad con los mismos. A continuación, se detallan las dos consideraciones principales en relación a la seguridad vial.

2.1 INCLINACIÓN DE TALUD EN PAQUETE ESTRUCTURAL Y TERRAPLÉN

Las exigencias de una inclinación máxima de H:3, V:1 en el talud y en el borde del paquete estructural responden al alto nivel de presencia de camiones carboneros, vehículos precarios, buses de dos pisos, entre otros, que transitan por la zona. Esta consideración es crucial debido a la necesidad de proporcionar una sección transversal que sea permisiva o indulgente, es decir, una infraestructura que pueda tolerar y mitigar los efectos de posibles errores humanos o imprevistos.

Esto se evidencia en las siguientes figuras, donde se observan situaciones de riesgo potencial, como la posibilidad de que un vehículo se desvíe de la calzada y se encuentre con un talud demasiado empinado, lo que aumentaría el riesgo de accidentes graves. Por lo tanto, al diseñar la sección transversal de la carretera, es fundamental tener en cuenta estos factores para garantizar la seguridad vial.





2.2 ANCHO DE BANQUINA

La sección transversal de una carretera describe las características geométricas de ésta, según un plano normal a la superficie vertical que contiene el eje de la carretera. A continuación, se presenta la Tabla 3.1_33. SECCIÓN TRANSVERSAL[1], en función al tipo de vía y la velocidad de proyecto:

TIPO DE RED	CATEGORIA	NUMERO DE CALZADAS	VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)	NUMERO DE CARRILES POR CALZADA	ANCHO CARRILES "a" (m) (1)	ANCHO BANQUINAS		ANCHO SAP (3)		ANCHO MEDIANA – M (incluye bi + Si) (m)			ANCHO TOTAL DE PLATAFORMA A NIVEL DE RASANTE ATP = na + 2(be + Se) + M final		
						"bi" INTE-RIOR (m)	"be" EXTERIOR (m)	"Si" INTE-RIOR (m)	"Se" EXTERIOR (m)	4 CARRILES	6 CARRILES	INICIAL 4 CARRILES AMPLIABLE A 6	4 CARRI-LES	6 PISTAS Y 4 AM-PLIABLE	2 PISTAS
PRIMARIAS	AUTOPISTA	2 - SO	120	2 o más UD	3,5	1,2	2,5	0,5 - 0,8	1.5	6	6	13	28	35	-
			100		3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	1	5	5	13	26	33	-
			80		3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	0.8	4	4	11	24.6	31.6	-
	MULTICARRI-LES	2 - SO	100	2 o más UD	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8 (3)	1 (*)	5	5	13	26	33	-
			90		3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8 (3)	1 (*)	4	4	12	25	32	-
			80		3,5	1,0	2,5	0.5 - 0.8 (3)	0,5 - 0,8 (*)	3	3	10	23.6	30.6	-
	2 CARRILES BD	1	100-90	2 BD	3,5	-	2,5 - 3,0	-	1,0 (*)	-	-	-	-	-	13 (***)
			80		3,5	-	2,0 - 2,5	-	0.80 (*)	-	-	-	-	-	12 (***)

Según lo establecido en la tabla, para una Ruta Primaria de 2 carriles y con velocidad de proyecto igual 100 km/h, los anchos de cada uno de los elementos constituyentes de la sección transversal son:

- Ancho de pista: 3,50 m.
- **Ancho de banquina: 2,50 m.**
- Ancho de SAP exterior (en caso de ser necesario): 1 m.
- Ancho total de calzada completa: 13 m (excluyendo el SAP).

Como se puede observar en la tabla, la adopción de ancho de banquina igual a 1 (un) metro no alcanza al ancho mínimo requerido; por lo tanto, se justifica el ancho de 1 m con el fin de compatibilizar la sección transversal con el Lote ya operativo.

[1] MCPy, 2019. Unidad 3, Volumen 3.1, Capítulo 3.1.1, Sección 3.1.1.8 Criterios de Diseño para la Sección Transversal.

Inputs De Diseño

OptiPave 2 TCPavements

Proyecto

Nombre de Proyecto	Pozo Colorado Concepcion
Localidad	Lote A y B
Sector	py05
Dirección	north
Fecha	12/07/2024 0:00:00
Descripción	iclado, y Losa de Geometria Optimiza
Sistema unidades	US Customary System (USCS)

Resumen de Diseño

Características de la Capa de Hormigon

Largo Losa (m)	1,80
Espesor Losa de Hormigón (mm)	180
Resistencia a la Flexión (Mpa)	4,2
Fibra Estructural	Sí

Tráfico

Ejes Equivalentes Totales	10.520.700

Características de la Base

Tipo de Base	geotextile
Módulo (Mpa)	100
Espesor (mm)	5

Características de la Subrasante

Módulo Resiliente Invierno (Mpa)	36
Módulo Resiliente Verano (Mpa)	43

Clima

Zona	wet_non-freeze

Resultado

Losas Agrietadas a Confiabilidad Especificada	14%
Escalonamiento Promedio a Confiabilidad Especificada (mm)	0,24
IRI a Confiabilidad Especificada (m/km)	3,00

Diseño

Vida de Diseño	20
Largo Losa (m)	1,80
Espesor Losa (mm)	180
Tipo de Borde	Berma de Hormigón
Losa Exterior con Sobreancho	No
Barras de Transferencia de Carga	No
Dren Lateral	No
Interfaz Pavimento-Base	No Adherido
IRI Inicial de Construcción (m/km)	2,4
Porcentaje Maximo de Losas Agrietadas Admisible	15%
IRI Máximo Permitido (m/Km)	3,5
Escalonamiento Promedio Máximo Permitido (mm)	5,0
Confiabilidad de Diseño	80%

Tráfico

Método de Análisis de Tráfico	Ejes Equivalentes
Clasificación del Tráfico	FHWA TTC 3
Tasa de Crecimiento Anual de Tráfico	3%
Distancia Huella a Línea de Demarcación (cm)	450
Desv. Estándar de la Distribución Lateral del Tráfico (cm)	250

La tecnología TCP (Thin Concrete Pavements), el método de diseño y construcción de losas delgadas de concreto perfeccionadas para uso en pavimentación y demás derechos relacionados con dicha tecnología (software, know-how, secretos industriales, marcas comerciales, manuales, instructivos, etc.), son de propiedad exclusiva de Comercial TCPavements Ltda. y están protegidos por las leyes y tratados internacionales vigentes en materia de Propiedad Industrial e Intelectual, en particular la patente industrial No 44820 en Chile, patente nº 7.751.581 en Estados Unidos solicitud internacional PCT/EP2006/064732,. ©TCPavements 2005-2011, registro de propiedad intelectual N°166311, todos los derechos reservados.

Hormigón

Tipo de Ensayo de Resistencia	Flexotracción
Edad de Ensayo	28 Días
Resistencia (Mpa)	4,2
Confiabilidad Diseño de Hormigón	80%
Desviación Estándar Diseño de Hormigón (Mpa)	0,4
Aumento Resistencia 29 a 90 Días	1,1
Módulo de Elasticidad (Mpa)	29.000
Peso Específico (Kg/cm3)	2.400
Módulo de Poisson	0,15
Coeficiente de Dilatación Térmico (1/°C)	9,00E-06
Retracción a 365 Días (micr)	700
Contenido de Aire	3%
Relación Agua/Cemento	0,45
Resistencia Final (Mpa)	5,0
Fibra Estructural	Sí
Método Calculo Fibra	ASTM 1609
Resistencia Residual (Mpa)	1

Clima

Pais	generic
Zona	wet_non-freeze
Gradiente Equivalente de Construcción (°C)	-10
Temperatura Media Invierno (°C)	15
Temperatura Media Verano (°C)	30
Temperatura Fraguado del Hormigón (°C)	45
N° de Días al año Con Precipitaciones	150
Índice de Congelamiento de la Base	0%

Suelo

N° Capas	3
Resistencia a la Erosión	3
Coeficiente de fricción Pavimento-Base	0,65
Porcentaje Material Fino	0%

Subrasante	
Módulo Resiliente Invierno (Mpa)	36
Módulo Resiliente Verano (Mpa)	43
Módulo Poisson	0,44

Base	
Módulo Resilente (Mpa)	100

Módulo de Poisson	*0,5*
Espesor (mm)	*5,0*

Segunda Capa	
Módulo Resilente (Mpa)	*500*
Módulo de Poisson	*0,25*
Espesor (mm)	*150,0*

Tercera Capa	
Módulo Resilente (Mpa)	*115*
Módulo de Poisson	*0,44*
Espesor (mm)	*200*

Factores de Calibración

Daño Por Fatiga

$$Log(N_{i,j,k,l}) = a \cdot \left(\frac{\sigma_{i,j,k,l}}{MOR \cdot C_1 \cdot C_2}\right)^b$$

Transversal

a	*2*
b	*-1,22*

Longitudinal

a	*2*
b	*-1,22*

Esquina

a	*2*
b	*-1,22*

C1

$$C_1 = a \cdot h_{pcc}^2 + b_{hpcc} + c$$

Transversal

a	*0,003*
b	*-0,1475*
c	*2,7978*

Longitudinal

a	*0,003*
b	*-0,1475*
c	*2,7978*

Esquina

a	*0*
b	*0*
c	*1*

C2

$$R_{3,e} = \frac{f_{150}^{150}}{MOR} \cdot SF \cdot a$$

Transversal

a	1
SF	0,75

Longitudinal

a	1
SF	0,75

Esquina

a	1
SF	0

Agrietamiento

$$CRK = \frac{1}{1 + b \cdot FD^{a}}$$

Transversal

a	-1,68
b	15,75

Longitudinal

a	-1,68
b	1,465006

Esquina

a	-1,68
b	50

Fibra Estructural

$$f_{150}^{150} = a \cdot f_{test}$$

ASTM 1609

a	1

Ensayo Barcelona

a	0,45

ASTM 1033

a	0,9

Ensayo Resistencia

$$R_{test} = a \cdot R_{flex}$$

Resistencia Cúbica a Compresión

a	8,5

Resistencia Cilíndrica a Compresión

a	9,7

Propiedad del Suelo

Kstat-Kdyn

$$k_{Stat} = a \cdot k_{dyn}$$

a	0,5

Krig-Kflex

$$k_{rig} = b \cdot k_{flex}$$

b	0,7853

Tráfico

Radio Influencia Rueda BWS (mm)	300,0
Ancho Linea Demarcación (mm)	150,0
Aumento Distancia Circulacion con Solera (mm)	250,0
Aumento Desv. Est. Distancia Circulacion con Solera (mm)	-50,0
Aumento Distancia Circulacion Sobreancho (mm)	300,0
Aumento Desv. Est. Distancia Circulacion Sobreancho (mm)	0,0

Transferencia De Carga

Relación Apertura de Junta-Transf. De Carga

$$s = a \cdot \left(h_{pcc}\right)^{b} \cdot e^{d \cdot c_W}$$

a	0,0615
b	1,095
d	-0,0165

Pérdida de Dureza del Árido

$$\Delta s_i = \frac{a * 10^{-6}}{\left(j_w \quad \right)^{f}} \left(\frac{\tau_{iA}}{\tau_{ref}}\right)$$

	$b + c * \left(\frac{2h}{h_{PCC}} - d\right)$
a	0,5
b	1
c	2
d	3
e	-1,98

Transferencia de Carga Junta con Dovelas	85%
Factor de Minoración Modelo Transf. De Carga	

Escalonamiento

$$Fault_i = Fault_{i-1} + \Delta Fault_i$$
$$\Delta Fault_i = C_{34} \cdot (FAULTMAX_{i-1} - Fault_{i-1})^2 \cdot DE_i$$
$$FAULTMAX_0 = C_{12} \cdot \delta_{MAX} \cdot C_A \cdot C_B$$
$$FAULTMAX_i = FAULTMAX_{i-1} + \frac{C_7}{10^6} \cdot C_A \cdot C_B$$
$$C_{12} = C_1 + C_2 \cdot \sqrt[4]{FR}$$
$$C_{34} = C_3 + C_4 \cdot \sqrt[4]{FR}$$
$$C_A = [Log(1 + C_5 \cdot 5^{EROD})]^{C_6}$$
$$C_B = \left[Log\left(\frac{P_{200} \cdot 100 \cdot \left(\frac{Wetdays}{Dren^{C_9}}\right)^{C_8}}{P_S}\right)\right]^{C_6}$$

c1	0,037
c2	0,03145
c3	0,0008
c4	0,00037
c5	350
c6	0,83
c7	0,03
c8	1
c9	1,5

IRI	$IRI = IRI_I + C1\ CRK + C2\ SPALL + C3\ TFAULT + C4\ SF$
c1	0,013
c2	0,007
c3	0,0008
c4	0,003

Confiabilidad

Agrietamiento

a	-0,00172
b	0,3447
c	4,6772

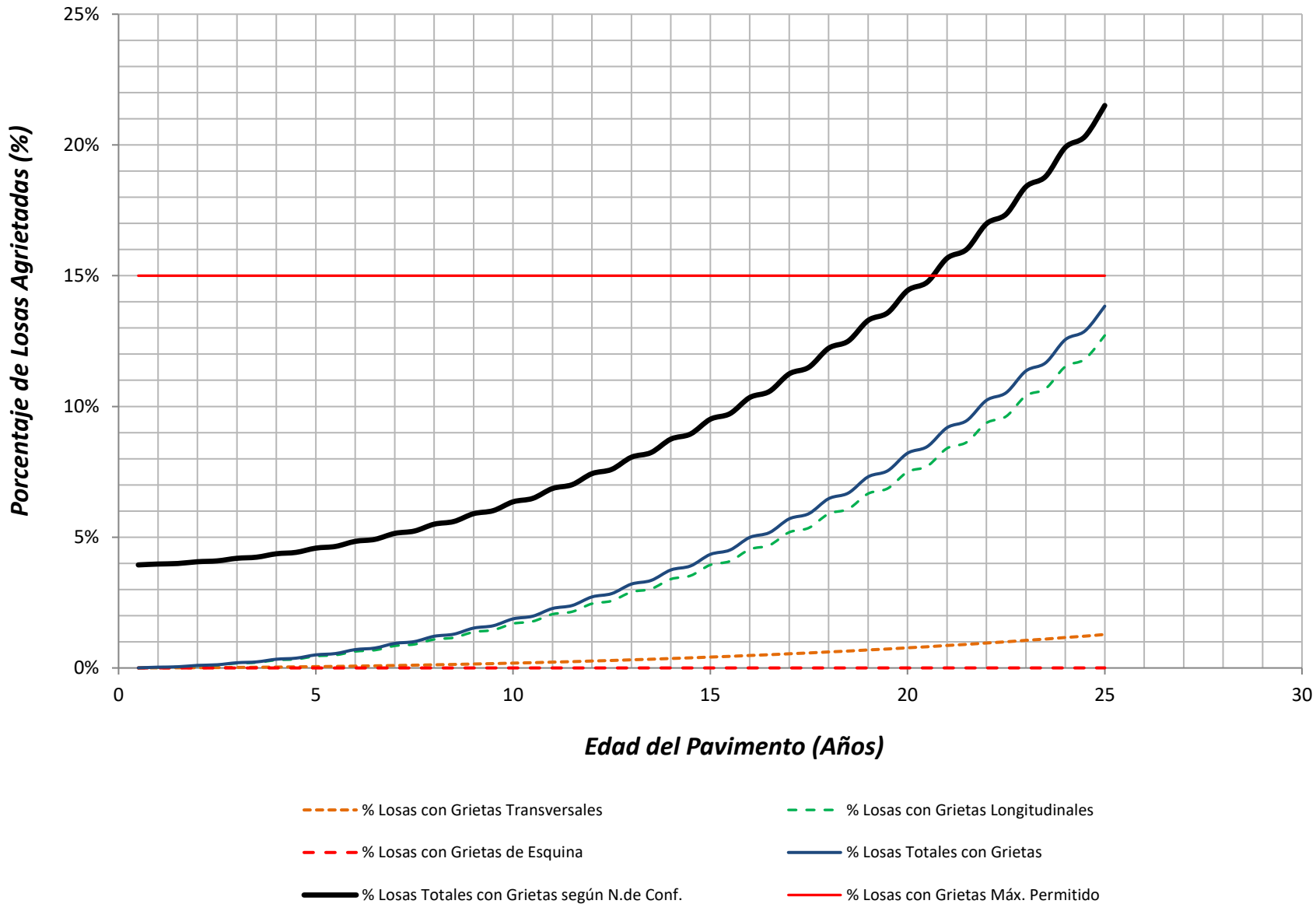
Escalonamiento

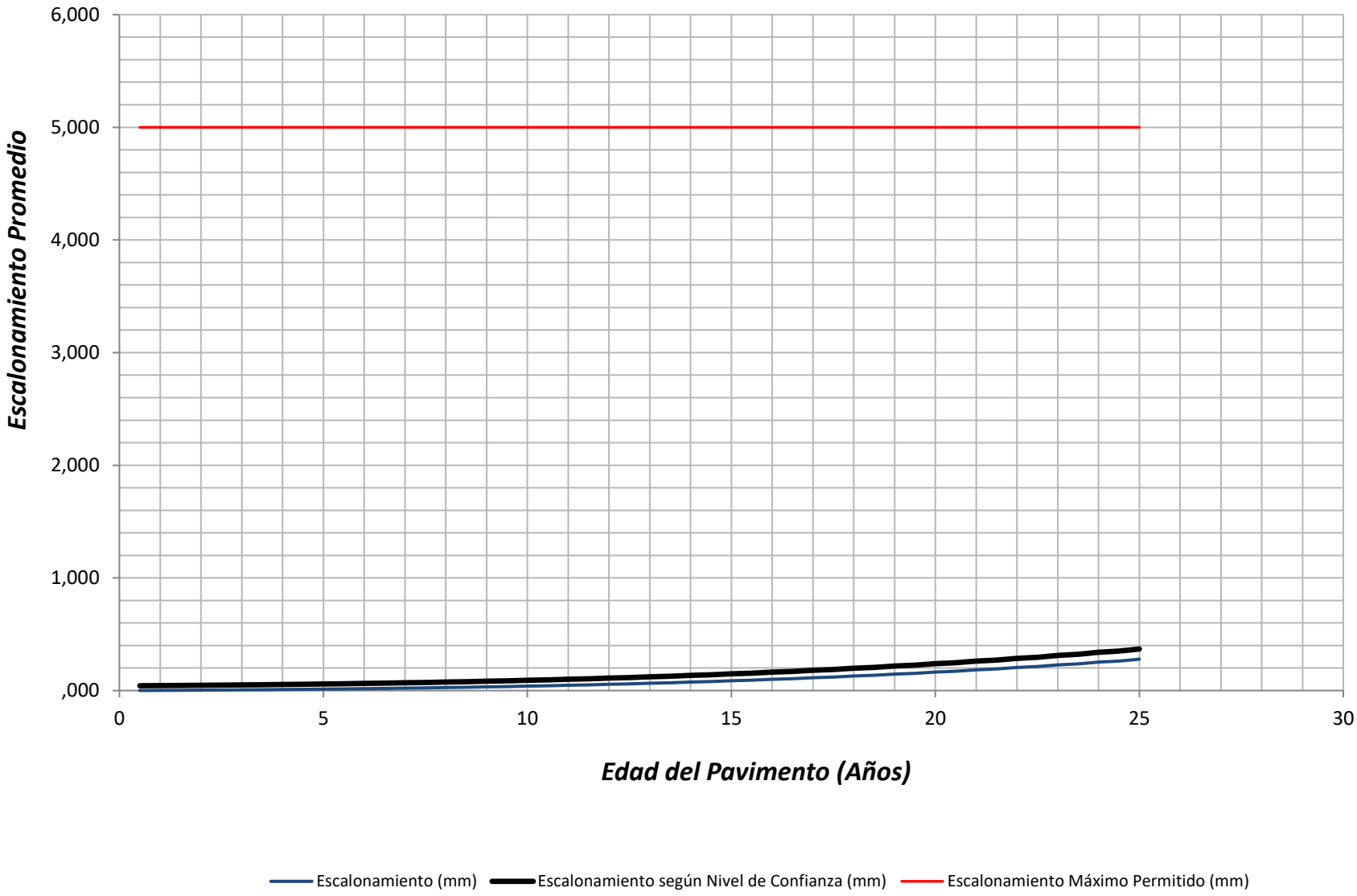
a	0,03261
b	0,00009779

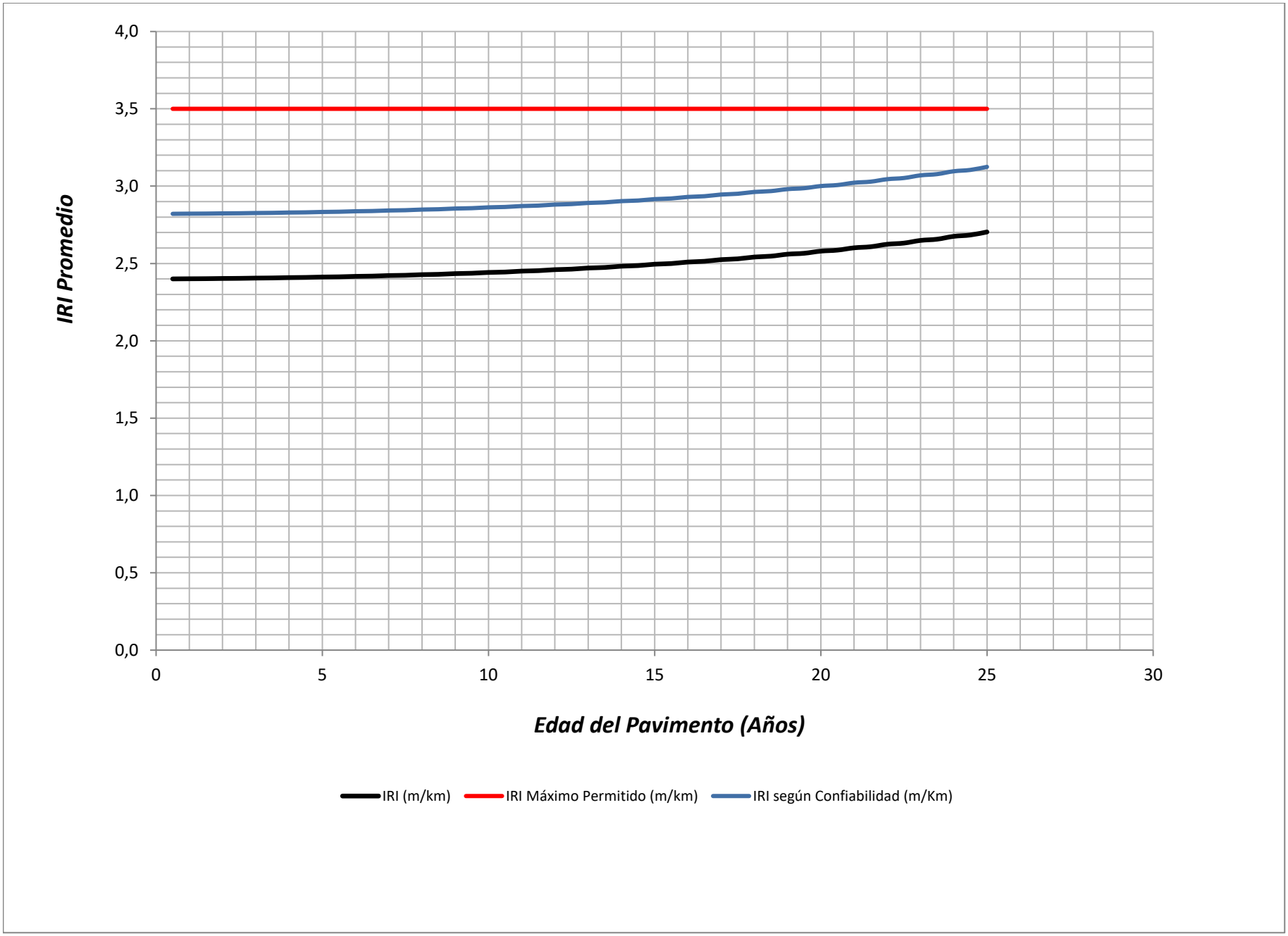
IRI

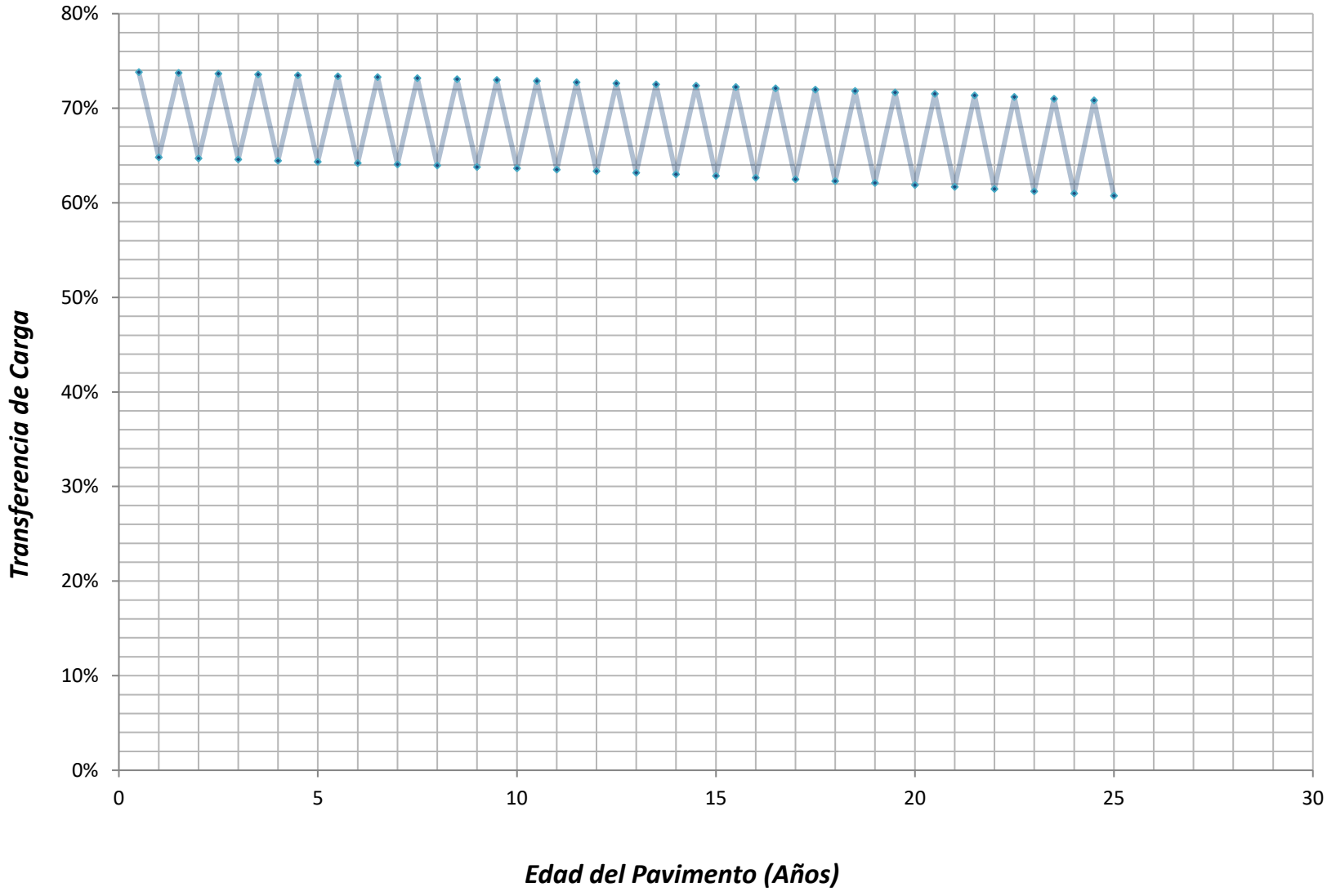
a	0,5

	Tráfico		Propiedades del Material		Desempeño											
Período	Ejes Simples	Ejes Dobles	K-suelo	Transferencia de Carga	% Losas con Grietas Transversales	% Losas con Grietas Longitudinales	% Losas con Grietas de Esquina	% Losas Totales con Grietas	% Losas Totales con Grietas según N.de Conf.	% Losas con Grietas Máx. Permitido	Escalonamiento (mm)	Escalonamiento según Nivel de Confianza (mm)	Escalonamiento Máximo Permitido (mm)	IRI (m/km)	IRI según Confiabilidad (m/Km)	IRI Máximo Permitido (m/km)
Año 1 - Verano	320681	170706	5,7	74%	0%	0%	0%	0%	4%	15%	0,00	0,04	5,00	2,4	2,8	3,5
Año 1 - Invierno	320681	170706	5,1	65%	0%	0%	0%	0%	4%	15%	0,00	0,04	5,00	2,4	2,8	3,5
Año 2 - Verano	330302	175827	5,7	74%	0%	0%	0%	0%	4%	15%	0,00	0,05	5,00	2,4	2,8	3,5
Año 2 - Invierno	330302	175827	5,1	65%	0%	0%	0%	0%	4%	15%	0,00	0,05	5,00	2,4	2,8	3,5
Año 3 - Verano	340211	181101	5,7	74%	0%	0%	0%	0%	4%	15%	0,01	0,05	5,00	2,4	2,8	3,5
Año 3 - Invierno	340211	181101	5,1	65%	0%	0%	0%	0%	4%	15%	0,01	0,05	5,00	2,4	2,8	3,5
Año 4 - Verano	350417	186535	5,7	74%	0%	0%	0%	0%	4%	15%	0,01	0,05	5,00	2,4	2,8	3,5
Año 4 - Invierno	350417	186535	5,1	64%	0%	0%	0%	0%	4%	15%	0,01	0,05	5,00	2,4	2,8	3,5
Año 5 - Verano	360929	192131	5,7	73%	0%	0%	0%	0%	4%	15%	0,01	0,06	5,00	2,4	2,8	3,5
Año 5 - Invierno	360929	192131	5,1	64%	0%	0%	0%	1%	5%	15%	0,01	0,06	5,00	2,4	2,8	3,5
Año 6 - Verano	371757	197894	5,7	73%	0%	0%	0%	1%	5%	15%	0,01	0,06	5,00	2,4	2,8	3,5
Año 6 - Invierno	371757	197894	5,1	64%	0%	1%	0%	1%	5%	15%	0,02	0,06	5,00	2,4	2,8	3,5
Año 7 - Verano	382910	203831	5,7	73%	0%	1%	0%	1%	5%	15%	0,02	0,07	5,00	2,4	2,8	3,5
Año 7 - Invierno	382910	203831	5,1	64%	0%	1%	0%	1%	5%	15%	0,02	0,07	5,00	2,4	2,8	3,5
Año 8 - Verano	394397	209946	5,7	73%	0%	1%	0%	1%	5%	15%	0,02	0,07	5,00	2,4	2,8	3,5
Año 8 - Invierno	394397	209946	5,1	64%	0%	1%	0%	1%	5%	15%	0,03	0,08	5,00	2,4	2,8	3,5
Año 9 - Verano	406229	216245	5,7	73%	0%	1%	0%	1%	6%	15%	0,03	0,08	5,00	2,4	2,9	3,5
Año 9 - Invierno	406229	216245	5,1	64%	0%	1%	0%	2%	6%	15%	0,03	0,08	5,00	2,4	2,9	3,5
Año 10 - Verano	418416	222732	5,7	73%	0%	1%	0%	2%	6%	15%	0,04	0,09	5,00	2,4	2,9	3,5
Año 10 - Invierno	418416	222732	5,1	64%	0%	2%	0%	2%	6%	15%	0,04	0,09	5,00	2,4	2,9	3,5
Año 11 - Verano	430969	229414	5,7	73%	0%	2%	0%	2%	6%	15%	0,04	0,09	5,00	2,4	2,9	3,5
Año 11 - Invierno	430969	229414	5,1	63%	0%	2%	0%	2%	7%	15%	0,05	0,10	5,00	2,5	2,9	3,5
Año 12 - Verano	443898	236296	5,7	73%	0%	2%	0%	2%	7%	15%	0,05	0,10	5,00	2,5	2,9	3,5
Año 12 - Invierno	443898	236296	5,1	63%	0%	2%	0%	3%	7%	15%	0,06	0,11	5,00	2,5	2,9	3,5
Año 13 - Verano	457215	243385	5,7	73%	0%	3%	0%	3%	8%	15%	0,06	0,12	5,00	2,5	2,9	3,5
Año 13 - Invierno	457215	243385	5,1	63%	0%	3%	0%	3%	8%	15%	0,07	0,12	5,00	2,5	2,9	3,5
Año 14 - Verano	470931	250687	5,7	73%	0%	3%	0%	3%	8%	15%	0,07	0,13	5,00	2,5	2,9	3,5
Año 14 - Invierno	470931	250687	5,1	63%	0%	3%	0%	4%	9%	15%	0,08	0,14	5,00	2,5	2,9	3,5
Año 15 - Verano	485059	258207	5,7	72%	0%	4%	0%	4%	9%	15%	0,08	0,14	5,00	2,5	2,9	3,5
Año 15 - Invierno	485059	258207	5,1	63%	0%	4%	0%	4%	10%	15%	0,09	0,15	5,00	2,5	2,9	3,5
Año 16 - Verano	499611	265954	5,7	72%	0%	4%	0%	5%	10%	15%	0,09	0,15	5,00	2,5	2,9	3,5
Año 16 - Invierno	499611	265954	5,1	63%	0%	5%	0%	5%	10%	15%	0,10	0,16	5,00	2,5	2,9	3,5
Año 17 - Verano	514599	273932	5,7	72%	1%	5%	0%	5%	11%	15%	0,11	0,17	5,00	2,5	2,9	3,5
Año 17 - Invierno	514599	273932	5,1	62%	1%	5%	0%	6%	11%	15%	0,11	0,18	5,00	2,5	2,9	3,5
Año 18 - Verano	530037	282150	5,7	72%	1%	5%	0%	6%	12%	15%	0,12	0,19	5,00	2,5	3,0	3,5
Año 18 - Invierno	530037	282150	5,1	62%	1%	6%	0%	6%	12%	15%	0,13	0,20	5,00	2,5	3,0	3,5
Año 19 - Verano	545938	290615	5,7	72%	1%	6%	0%	7%	13%	15%	0,14	0,21	5,00	2,5	3,0	3,5
Año 19 - Invierno	545938	290615	5,1	62%	1%	7%	0%	7%	13%	15%	0,15	0,22	5,00	2,6	3,0	3,5
Año 20 - Verano	562316	299333	5,7	72%	1%	7%	0%	8%	14%	15%	0,15	0,23	5,00	2,6	3,0	3,5
Año 20 - Invierno	562316	299333	5,1	62%	1%	7%	0%	8%	14%	15%	0,16	0,24	5,00	2,6	3,0	3,5
Año 21 - Verano	579186	308313	5,7	72%	1%	8%	0%	8%	15%	15%	0,17	0,25	5,00	2,6	3,0	3,5
Año 21 - Invierno	579186	308313	5,1	62%	1%	8%	0%	9%	16%	15%	0,18	0,26	5,00	2,6	3,0	3,5
Año 22 - Verano	596561	317563	5,7	71%	1%	9%	0%	9%	16%	15%	0,19	0,27	5,00	2,6	3,0	3,5
Año 22 - Invierno	596561	317563	5,1	61%	1%	9%	0%	10%	17%	15%	0,21	0,29	5,00	2,6	3,0	3,5
Año 23 - Verano	614458	327089	5,7	71%	1%	10%	0%	11%	17%	15%	0,21	0,30	5,00	2,6	3,1	3,5
Año 23 - Invierno	614458	327089	5,1	61%	1%	10%	0%	11%	18%	15%	0,23	0,31	5,00	2,6	3,1	3,5
Año 24 - Verano	632892	336902	5,7	71%	1%	11%	0%	12%	19%	15%	0,24	0,32	5,00	2,7	3,1	3,5
Año 24 - Invierno	632892	336902	5,1	61%	1%	12%	0%	13%	20%	15%	0,25	0,34	5,00	2,7	3,1	3,5
Año 25 - Verano	651879	347009	5,7	71%	1%	12%	0%	13%	20%	15%	0,26	0,35	5,00	2,7	3,1	3,5
Año 25 - Invierno	651879	347009	5,1	61%	1%	13%	0%	14%	22%	15%	0,28	0,37	5,00	2,7	3,1	3,5


25%
20%
15%
10%
5%
0%
0
5
10
15
20
25
30
Porcentaje de Losas Agrietadas (%)
Edad del Pavimento (Años)
% Losas con Grietas Transversales
% Losas con Grietas Longitudinales
% Losas con Grietas de Esquina
% Losas Totales con Grietas
% Losas Totales con Grietas según N.de Conf.
% Losas con Grietas Máx. Permitido


6,000
5,000
4,000
3,000
2,000
1,000
,000
Escalonamiento Promedio
0
5
10
15
20
25
30
Edad del Pavimento (Años)
Escalonamiento (mm)
Escalonamiento según Nivel de Confianza (mm)
Escalonamiento Máximo Permitido (mm)


4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
IRI Promedio
0
5
10
15
20
25
30
Edad del Pavimento (Años)
IRI (m/km)
IRI Máximo Permitido (m/km)
IRI según Confiabilidad (m/Km)


80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
Transferencia de Carga
0
5
10
15
20
25
30
Edad del Pavimento (Años)