

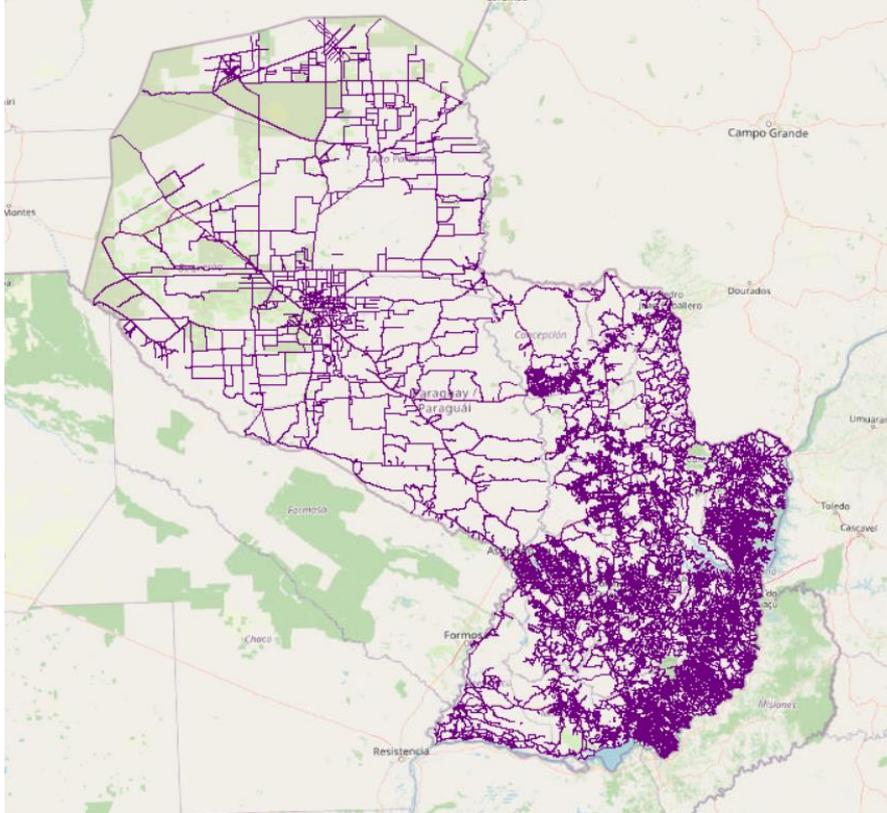
“Análisis de costo de ciclo de vida en alternativas de pavimentación económica – Caso en Paraguay”

Ing. Alejandro Bordón Bogado

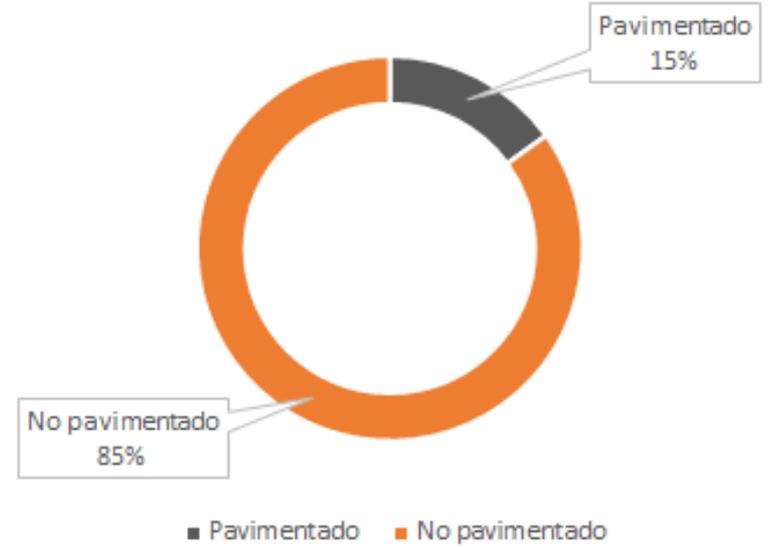
Ing. Fernando Paniagua Rodríguez, MSc

20 de octubre de 2022





Red vial del Paraguay (2021)



9 577
km
C[°]A[°], TS, H[°]

2.202
km
EMP, ADO

66 732
km
DE TIERRA

Fuente: MOPC (Diciembre 2021)

OBJETIVO GENERAL:

Realizar una comparación en términos económicos de distintas alternativas de pavimentación para vías de bajo volumen de tránsito, en base a un análisis de costo de ciclo del vida del pavimento.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- a) Identificar los costos asociados a la pavimentación y operación de una vía de bajo volumen de tránsito en un período determinado de análisis;
- b) Calcular los costos para la administración y para el usuario en distintos escenarios variando el tipo de pavimento, la longitud de la vía, el volumen medio diario y las acciones de mantenimiento;
- c) Calcular el Valor Presente Neto de los costos para cada alternativa.

El sistema vial jerarquizado en el Paraguay, de acuerdo al “*Manual de Carreteras del Paraguay*”, está conformado por carreteras de red:

- Primaria
- Secundaria
- Terciaria
- Municipal



Vias de Bajo
Volumen de
Tránsito

- Vias rurales con tránsito menor a 50 vehículos por día (LEBO e SCHELLING, 2001).
- Tránsito menor a 500 vehículos por día (CARABALLO, 2011).
- Vías con porcentaje de camiones pesados menor a 15% y con tránsito esperado de proyecto menor a 150.000 ejes equivalentes. (THENOUX, HALLES)

ALTERNATIVAS DE PAVIMENTOS



Fuente:
PANIAGUA,
SEGOVIA (2022)

ALTERNATIVAS DE PAVIMENTOS



N	Espesura mínima de revestimiento betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamiento superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espesura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espesura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espesura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espesura

Fuente: SOUZA
(1981)

ALTERNATIVAS DE PAVIMENTOS

Como criterio general, pavimentos de hormigón simple son utilizados para vías de bajo volumen de tránsito



Fuente:
PANIAGUA,
SEGOVIA (2022)

ALTERNATIVAS DE PAVIMENTOS



ANÁLISIS DE COSTO DE CICLO DE VIDA (LCCA)

Definido como:

“el procedimiento para evaluar el valor económico total de un tramo de proyecto a través del análisis de los **costos iniciales** y los **costos futuros descontados**, los cuales comprenden el mantenimiento, costo de usuario, rehabilitación, restauración y reconstrucción dentro del período de vida del proyecto” (Federal Highway Administration, 1998, p. 3).

LCCA – Life Cycle Cost Analysis

Desempeño vs Estrategias de Conservación

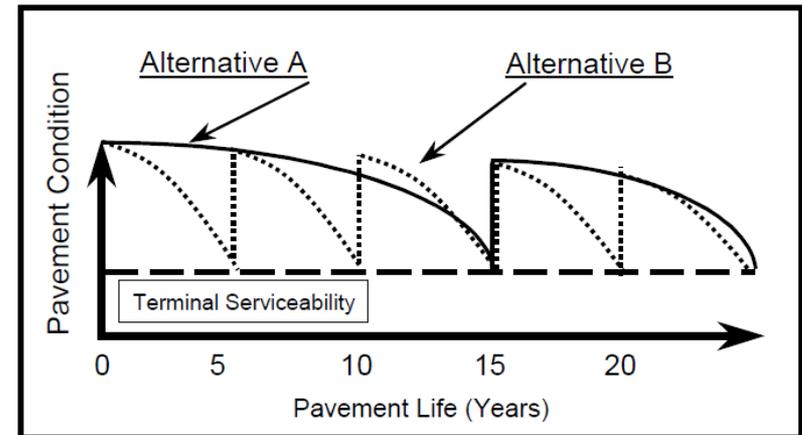
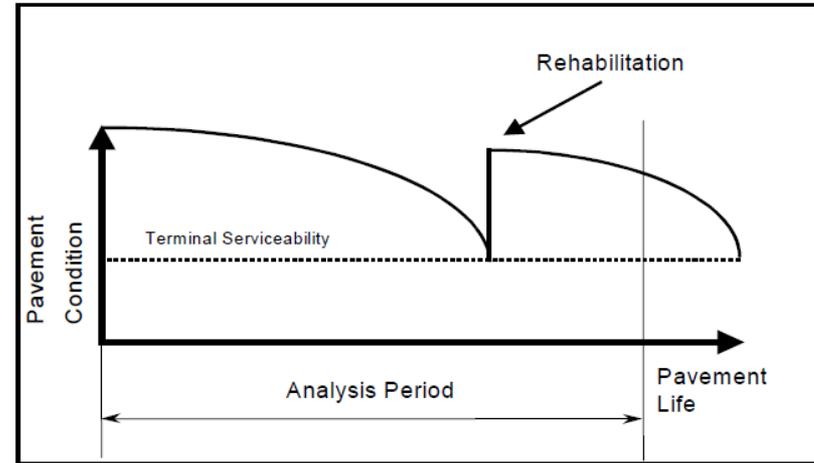
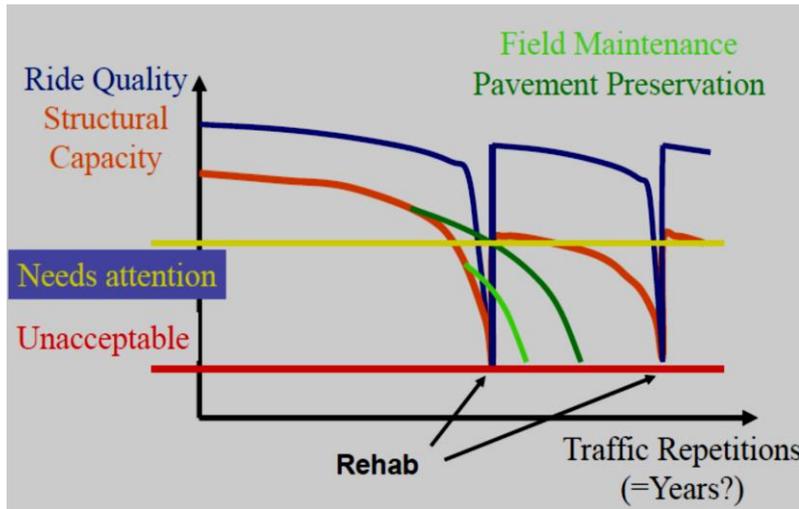
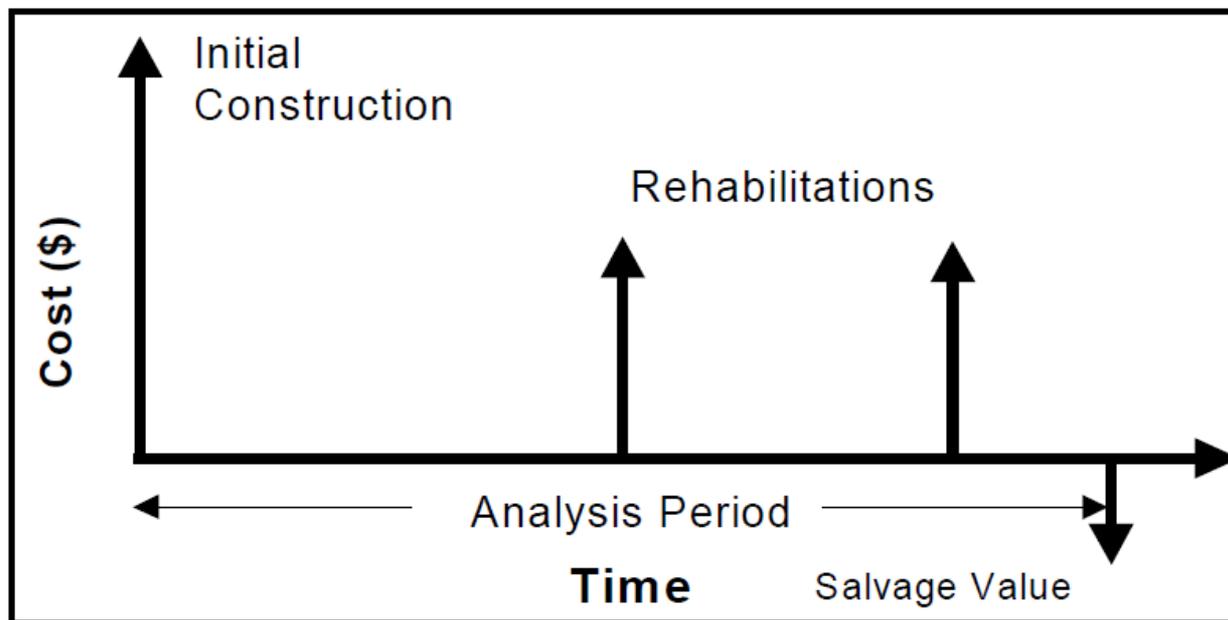


Diagrama típico de flujos de costos



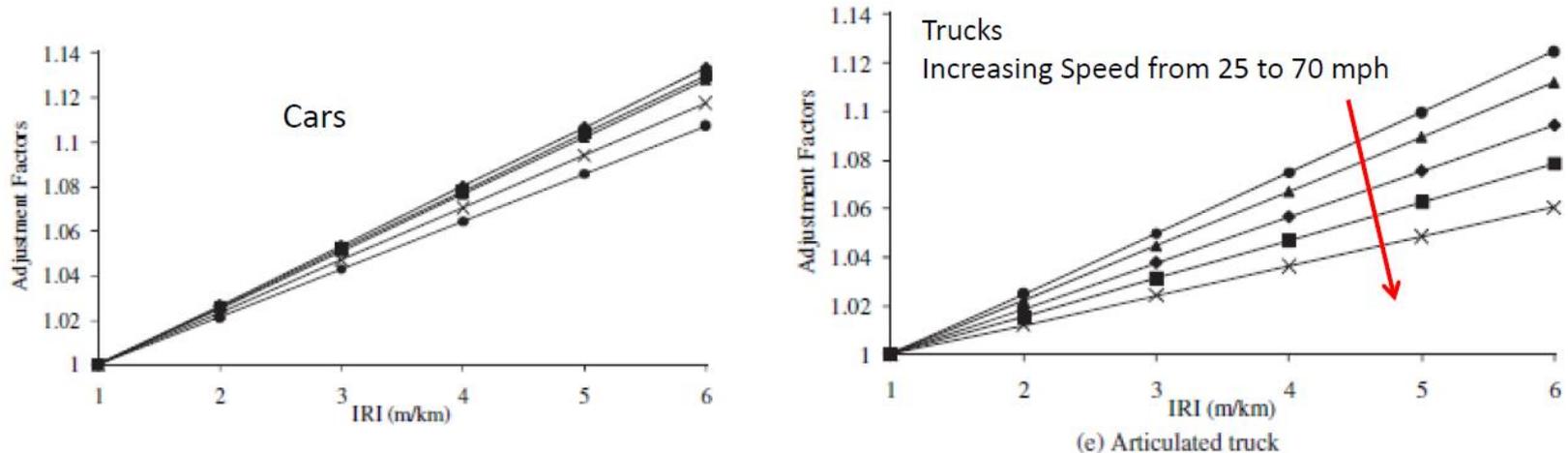
Fuente: FHWA (1998)

Variables para el análisis

Variables		Niveles
1	Tipo de Pavimento	Concreto Asfáltico
		Hormigón
		Adoquinado
		Empedrado
		Camino de tierra
2	Estrategia de mantenimiento	Rutinaria o preventiva
		De respuesta o correctiva
3	Longitud de tramo (km)	3
		8
		15
		30
4	TMDA	200
		500
		800
5	Vehículo	Automóviles
		Camiones
		Ómnibus
6	Período de análisis	5 años

COSTOS DE OPERACIÓN VEHICULAR (VOC)

Los VOC comprenden todos los costos asociados con el consumo de combustible, aceite, desgaste de neumáticos y otras piezas del vehículo. Son primordialmente función de la capacidad de servicio del pavimento, o sea, de la **rugosidad** y de la rigidez de la superficie.



RESUMEN DE RESULTADOS DE IRI

N°	Ubicación	Tipo de pavimento	Estado	IRI (m/km)			
				Merlin	Roadroid	Rugosímetro III	Promedio mediciones
1	Avenida José Asunción Flores (Costanera)	Asfalto	Bueno	1,88	1,55	2,88	2,10
2	Autopista Ñu Guasú		Bueno	2,04	1,64	2,97	2,22
3	Ruta Nacional N°2 Mariscal José Félix Estigarribia		Regular	/	3,44	3,6	3,52
4	Avenida Colón		Malo	6,75	8,4	9,43	8,19
5	Calle Carlos Gómez	Hormigón	Bueno	5,06	3,26	/	4,16
6	Avenida Choferes del Chaco		Malo	9,31	8,56	10,01	9,29
7	Calle interna del Jardín Botánico	Adoquinado	Regular	8,41	9,8	/	9,11
8	Calle Teniente Marcelino Espinoza	Empedrado	Regular	15,98	17,81	16,58	16,79
9	Camino vecinal de acceso a la Compañía Aurora	Tierra Roja	Regular	8,48	9,42	11,32	9,74

$$\text{Total VOC} = a + b * \text{IRI} + c * \text{IRI}^2$$

$$a = \text{??????}$$

$$b = \text{??????}$$

$$c = \text{??????}$$

(ARCHONDO-CALLAO &
FAIZ, Estimating Vehicle
Operating Costs, 1994)

¿CÓMO
CORRELACIONAR EL
IRI Y LOS VOC?



ENTRADAS

Section: Empedrado, 3km, VMD=200

Definition | Geometry | Pavement | Condition

Section Name: Empedrado, 3km, VMD=200
Section ID: E03-200
Link Name:
Link ID:
Speed flow type: Two Lane Narrow
Traffic flow pattern: Free-Flow
Climate zone: Tropical Sub-Humid
Road class: Tertiary or Local
Surface class: Unsealed
Pavement Type: Gravel

Length: 3 km
Carriageway width: 6,6 m
Shoulder width: 1,2 m
Number of Lanes: 2

Traffic
Motorised: 200 AADT
NMT: 0 AADT
Year: 2018
Flow direction: Two-way

Details... Aceptar Cancelar

The annual average daily motorised traffic for the section

ID

LONGITUD

ANCHO DE CALZADA

ANCHO DE BANQUINA

TMDA

CLIMA Y SUPERFICIE

ENTRADAS – DEFINICIÓN DE LOS VEHÍCULOS

Vehicle Attributes: Camiones Pesados

Definition | Basic Characteristics | Economic Unit Costs | Financial Unit Costs

Physical

Passenger Car Space Equiv: 1.6

No. of Wheels: 22

No. of Axles: 3

Tyres

Tyre type: Bias-ply

Base no. of recaps: 1.3

Retread cost: 15 %

Utilisation

Annual km: 86000 km

Working hours: 2050 hrs

Average life: 14 years

Private use: 0 %

Passengers: 0 persons

Work related passenger-trips: 0 %

Loading

ESALF: 5.29

Operating weight: 49.5 tonnes

Calibration...

Reset Defaults

Acceptar

Cancelar

Passenger Car Space Equivalents factor (PCSE)

ENTRADAS – TRÁNSITO

Normal Traffic Details ×

Motorised

Section Details

Name:

AADT: Year:

Growth Periods

Vehicle	Initial Composition (%)	Annual % increase from 2018
Camiones Pesados	10.00	4.00
Ómnibus	5.00	4.00
Vehículos Livianos	85.00	4.00

ENTRADAS – ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

Variables		Mantenimiento rutinario		Mantenimiento de respuesta	
		Actividad	Criterio de Intervención	Actividad	Criterio de Intervención
1	Concreto asfáltico	Recapado delgado	3 años	Sellado de grietas	Grietas por fatiga > 5%
		Microaglomerado	1 año	Fresado y Reposición	Área con deterioro severo > 5%
2	Hormigón	Limpieza y sello de juntas	1 año	Reparación de losa	0 < Área fisurada < 20%
		Drenaje	1 año	Reemplazo de losa	Área fisurada > 50%
3	Adoquinado	Limpieza	6 meses	Remoción y reposición	12 < IRI < 15
		Drenaje	1 año		
4	Empedrado	Reparaciones localizadas	18 < IRI < 30	Remoción y reposición	20 < IRI < 30
5	Caminos de tierra	Perfilado, limpieza de cunetas	3 a 6 meses	Perfilado	15 < IRI < 30

RESULTADOS

Simulaciones iniciales p/ VMD = 200 e IRI igual para todas las alternativas

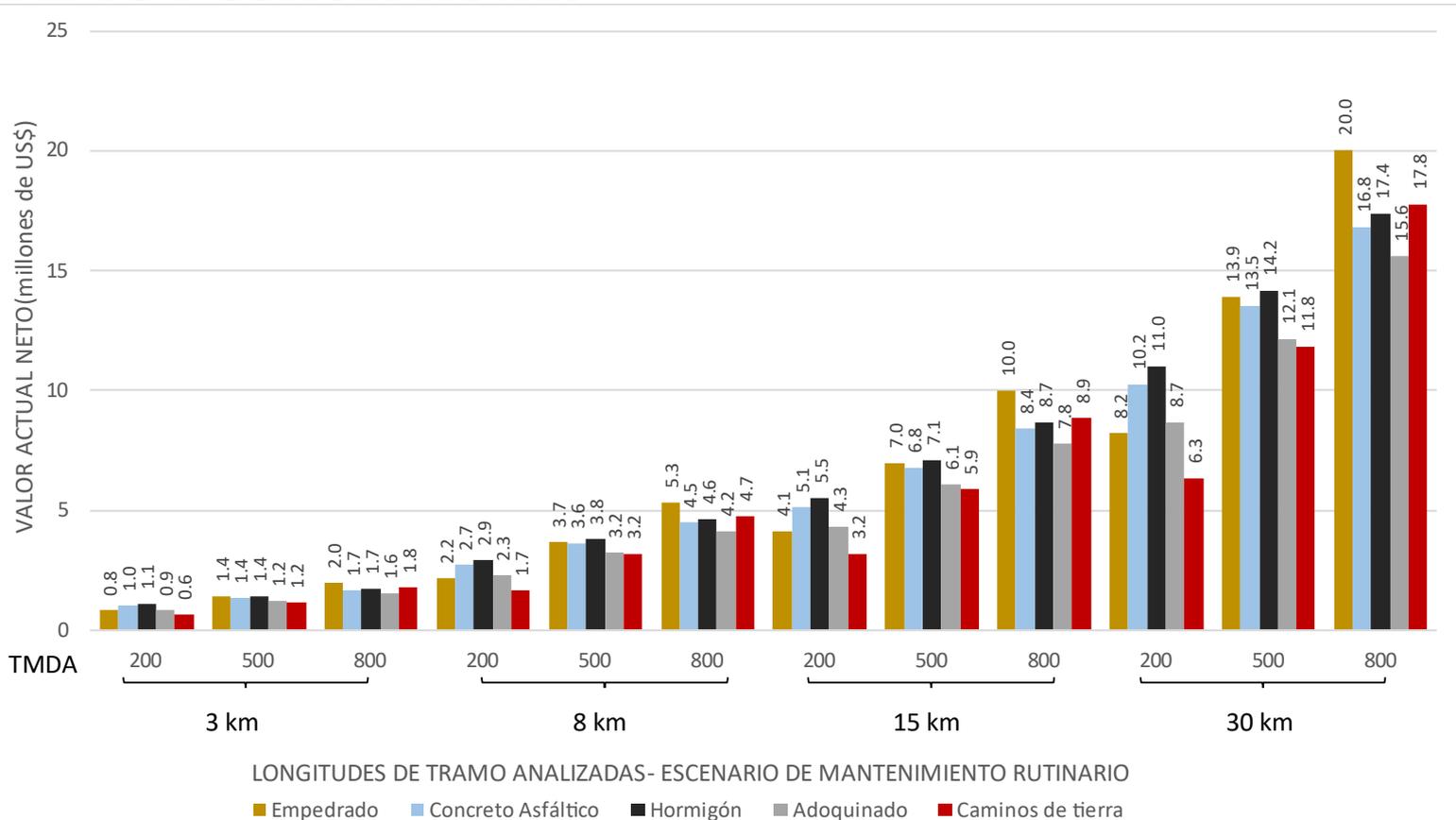
Tipo	1	2	3	4	5
concreto asfáltico	0.070	0.073	0.077	0.080	0.084
empedrado	0.077	0.085	0.094	0.101	0.107
tlerra	0.080	0.084	0.088	0.092	0.096
hormigón	0.100	0.124	0.129	0.134	0.140
adoquin	0.100	0.124	0.129	0.134	0.140

Variación de hasta 47% en los resultados de VOC, dependiendo del modelo utilizado.

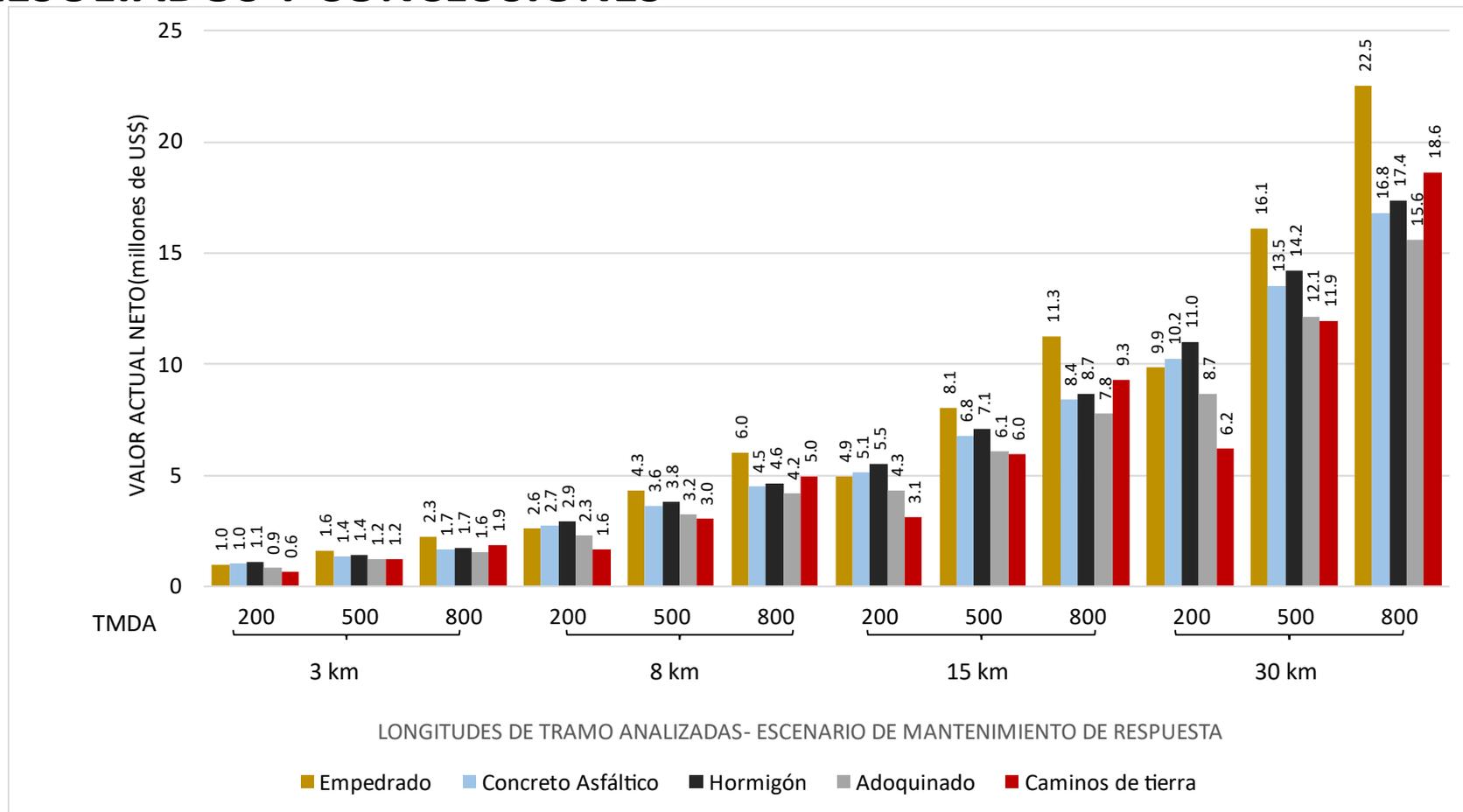
RESULTADOS

Tasa de des							0	1	1	2	2	
0.04							4					
							Año 0	Año 1		Año 2		
ID	Cód	Tipo de pavimer	Longitud	VMD	Mantenimiento	Horizonte de análisis	Costo inicial	VOC	Mantenimiento	VOC	Mantenimiento	
0004	E03_200_1_05	Empedrado	3	200	Mantenimiento Rutinario	5	484,363.64	70,000.00	2,000.00	70,000.00	2,000.00	
0005	E03_500_1_05	Empedrado	3	500	Mantenimiento Rutinario	5	484,363.64	182,000.00	2,000.00	191,000.00	2,000.00	
0006	E03_800_1_05	Empedrado	3	800	Mantenimiento Rutinario	5	484,363.64	300,000.00	2,000.00	322,000.00	2,000.00	
0007	E03_200_2_05	Empedrado	3	200	Mantenimiento de respuesta	5	484,363.64	81,000.00	0.00	88,000.00	93,000.00	
0008	E03_500_2_05	Empedrado	3	500	Mantenimiento de respuesta	5	484,363.64	207,000.00	0.00	229,000.00	117,000.00	
0009	E03_800_2_05	Empedrado	3	800	Mantenimiento de respuesta	5	484,363.64	337,000.00	0.00	374,000.00	138,000.00	
0040	E08_200_1_05	Empedrado	8	200	Mantenimiento Rutinario	5	1,291,636.36	186,666.67	5,333.33	186,666.67	5,333.33	
0041	E08_500_1_05	Empedrado	8	500	Mantenimiento Rutinario	5	1,291,636.36	485,333.33	5,333.33	509,333.33	5,333.33	
0042	E08_800_1_05	Empedrado	8	800	Mantenimiento Rutinario	5	1,291,636.36	800,000.00	5,333.33	858,666.67	5,333.33	
0043	E08_200_2_05	Empedrado	8	200	Mantenimiento de respuesta	5	1,291,636.36	216,000.00	0.00	234,666.67	248,000.00	
0044	E08_500_2_05	Empedrado	8	500	Mantenimiento de respuesta	5	1,291,636.36	552,000.00	0.00	610,666.67	312,000.00	
0045	E08_800_2_05	Empedrado	8	800	Mantenimiento de respuesta	5	1,291,636.36	898,666.67	0.00	997,333.33	368,000.00	
0058	E15_200_1_05	Empedrado	15	200	Mantenimiento Rutinario	5	2,421,818.18	350,000.00	10,000.00	350,000.00	10,000.00	
0059	E15_500_1_05	Empedrado	15	500	Mantenimiento Rutinario	5	2,421,818.18	910,000.00	10,000.00	955,000.00	10,000.00	
0060	E15_800_1_05	Empedrado	15	800	Mantenimiento Rutinario	5	2,421,818.18	1,500,000.00	10,000.00	1,610,000.00	10,000.00	
0061	E15_200_2_05	Empedrado	15	200	Mantenimiento de respuesta	5	2,421,818.18	405,000.00	0.00	440,000.00	465,000.00	
0062	E15_500_2_05	Empedrado	15	500	Mantenimiento de respuesta	5	2,421,818.18	1,035,000.00	0.00	1,145,000.00	585,000.00	
0063	E15_800_2_05	Empedrado	15	800	Mantenimiento de respuesta	5	2,421,818.18	1,685,000.00	0.00	1,870,000.00	690,000.00	
0076	E30_200_1_05	Empedrado	30	200	Mantenimiento Rutinario	5	4,843,636.36	700,000.00	20,000.00	700,000.00	20,000.00	
0077	E30_500_1_05	Empedrado	30	500	Mantenimiento Rutinario	5	4,843,636.36	1,820,000.00	20,000.00	1,910,000.00	20,000.00	
0078	E30_800_1_05	Empedrado	30	800	Mantenimiento Rutinario	5	4,843,636.36	3,000,000.00	20,000.00	3,220,000.00	20,000.00	
0079	E30_200_2_05	Empedrado	30	200	Mantenimiento de respuesta	5	4,843,636.36	810,000.00	0.00	880,000.00	930,000.00	
0080	E30_500_2_05	Empedrado	30	500	Mantenimiento de respuesta	5	4,843,636.36	2,070,000.00	0.00	2,290,000.00	1,170,000.00	
0081	E30_800_2_05	Empedrado	30	800	Mantenimiento de respuesta	5	4,843,636.36	3,370,000.00	0.00	3,740,000.00	1,380,000.00	
0112	A03_200_1_05	Concreto Asfáltico	3	200	Mantenimiento Rutinario	5	799,686.00	46,000.00	0.00	48,000.00	0.00	
0113	A03_500_1_05	Concreto Asfáltico	3	500	Mantenimiento Rutinario	5	799,686.00	115,000.00	0.00	119,000.00	0.00	
0114	A03_800_1_05	Concreto Asfáltico	3	800	Mantenimiento Rutinario	5	799,686.00	184,000.00	0.00	190,000.00	0.00	
0115	A03_200_2_05	Concreto Asfáltico	3	200	Mantenimiento de respuesta	5	799,686.00	46,000.00	0.00	48,000.00	0.00	

RESULTADOS Y CONCLUSIONES



RESULTADOS Y CONCLUSIONES



ASUNCIÓN
2022

¡MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN !

Ing. Alejandro Bordón Bogado

Ing. Fernando Paniagua Rodríguez, MSc

20 de octubre de 2022

