

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE MODELOS PARA CUANTIFICAR Y MITIGAR EL RIESGO DE EVENTOS NATURALES EN LA RED VIAL NACIONAL

DESARROLLO DE MODELO DE RIESGO ASOCIADO A AMENAZAS HIDROMETEOROLOGICAS Y MODELOS DE MITIGACION



Santiago, Marzo de 2017

TEMARIO



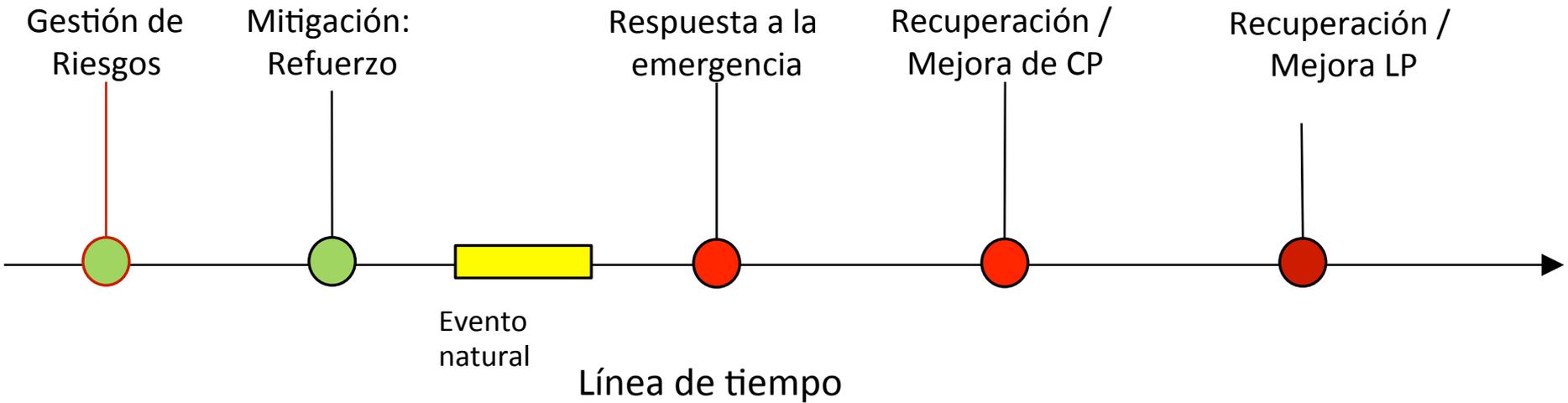
1. Introducción
2. Modelo de Riesgo
3. Modelo de Mitigación
4. Ejemplos Prácticos



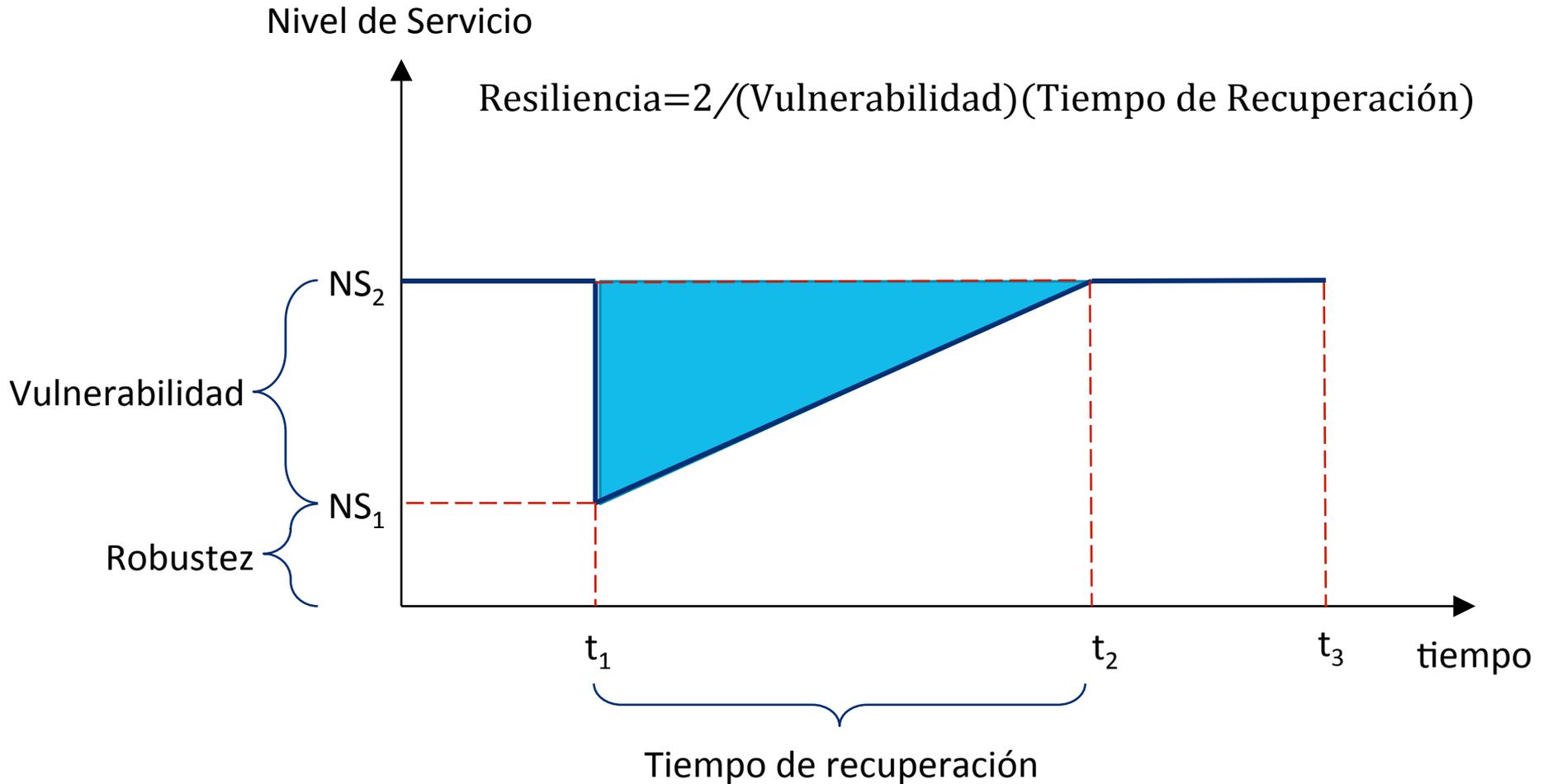
INTRODUCCION



Línea temporal de ocurrencia de un evento natural que afecta la infraestructura

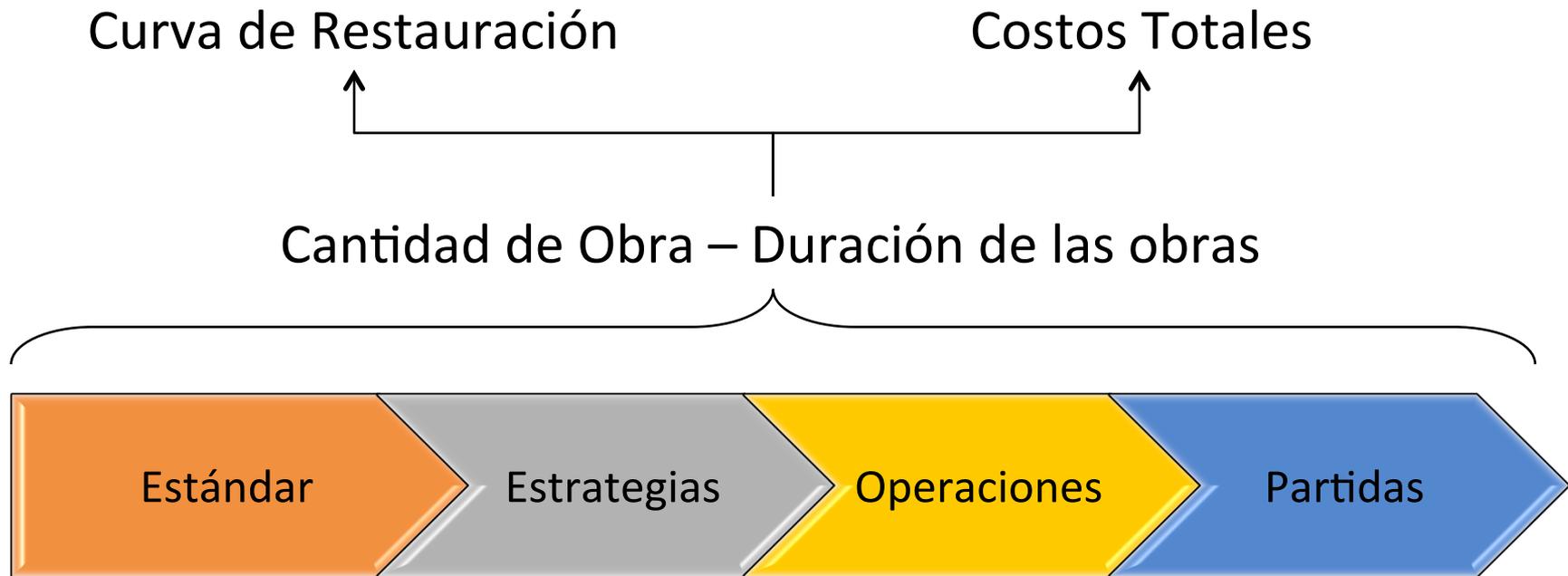


El concepto de Resiliencia





Estándares de mitigación / recuperación

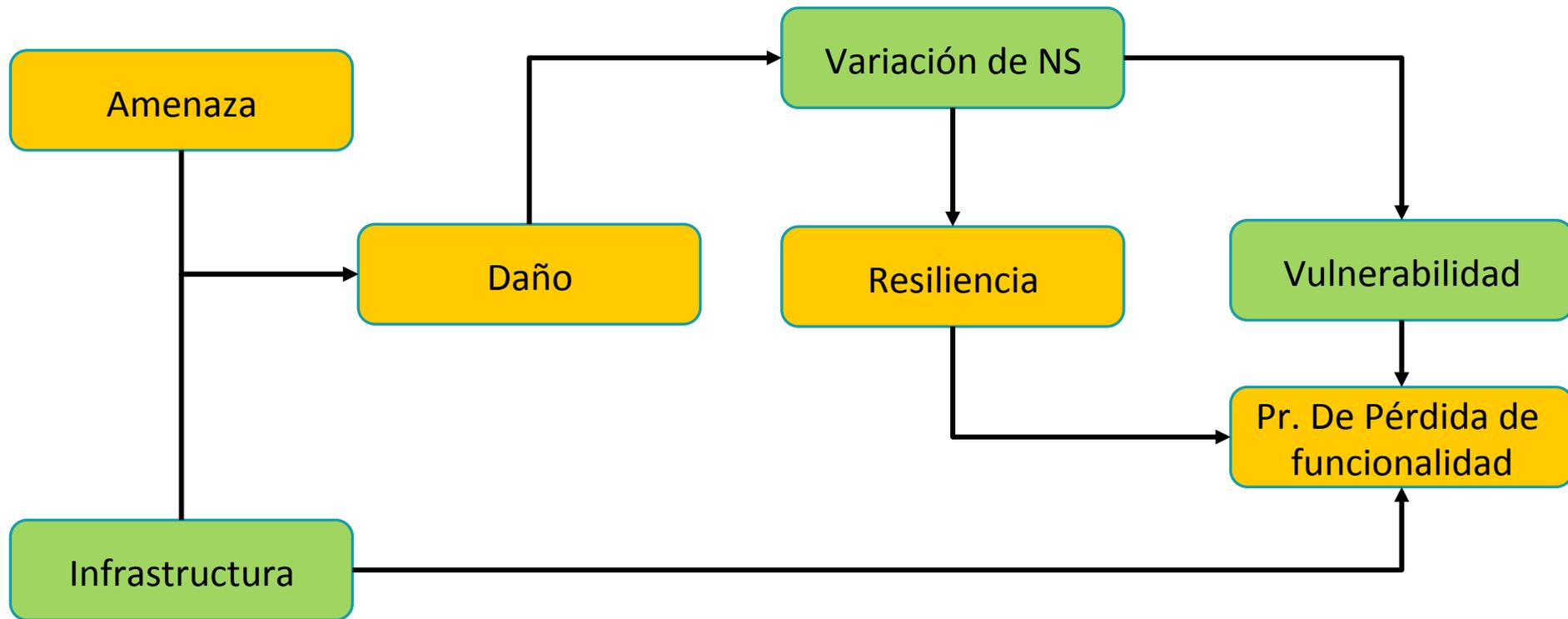


Cantidades de obra y Rendimientos estimados en base a datos proporcionados por la Dirección de Vialidad

EL MODELO DE RIESGO



Modelo general



Tipos de daños considerados



- Inundación de segmentos de camino
- Socavación de puentes (Estribos y cepas)

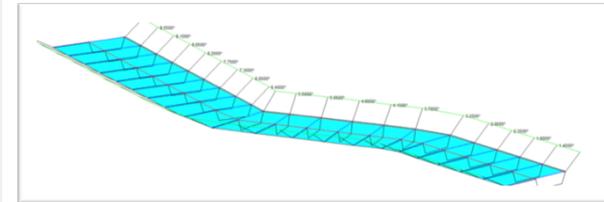
Secuencia de modelación



Modelación de
crecida



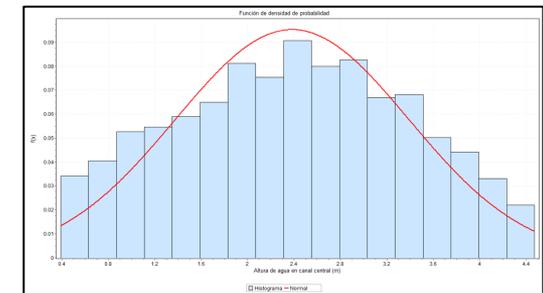
HEC-RAS
River Analysis System
HEC-RAS 5.0.3 September 2016
Developed by the
U.S. Army Corps of Engineers



Bondad de ajuste
Socavación e Inundación



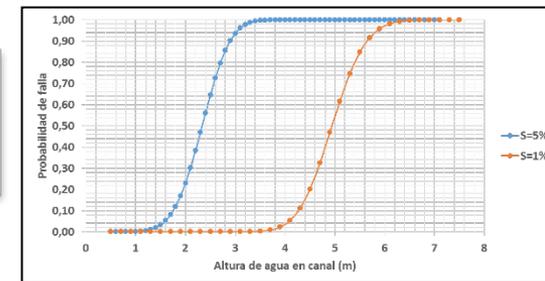
EasyFit Professional
Versión 5.5 (Lanzada: 2010-12-03)
© 2004-2010 MathWave Technologies.
Todos los derechos reservados.



Curvas de Fragilidad
para cada caso



VaP 1.5 for MS-WINDOWS



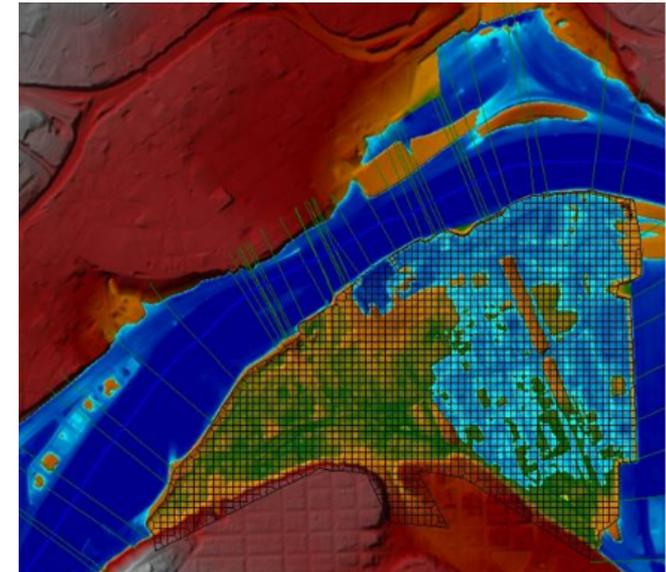
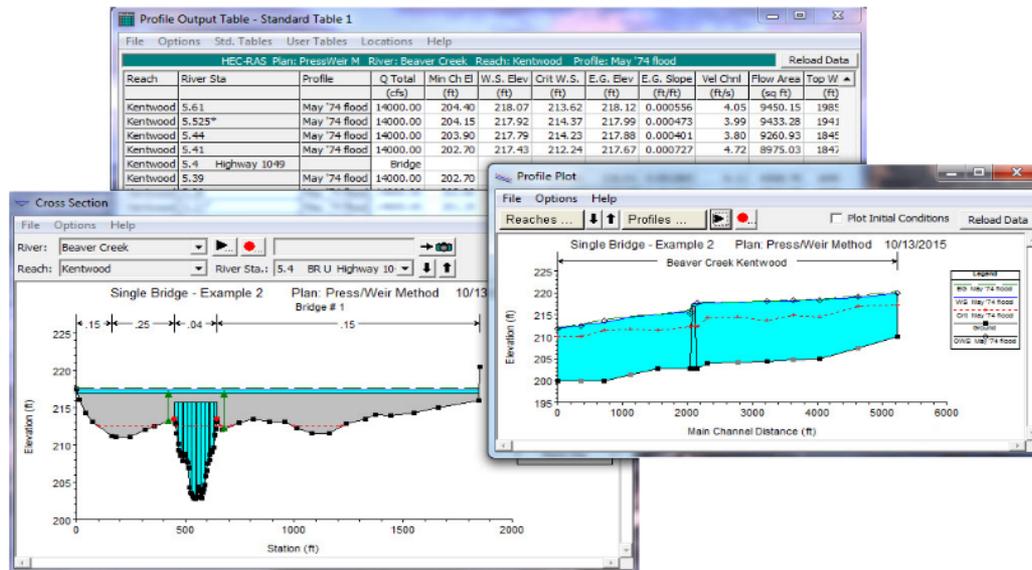
Modelación de la crecida



Geometría

Hidrología

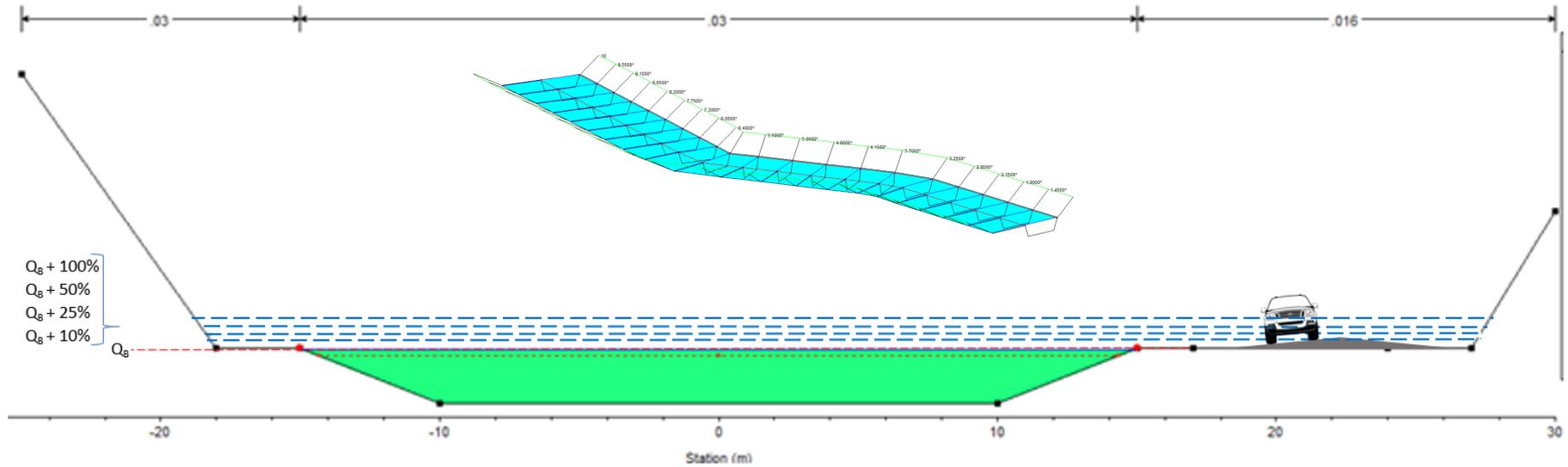
Rugosidad



1D

2D

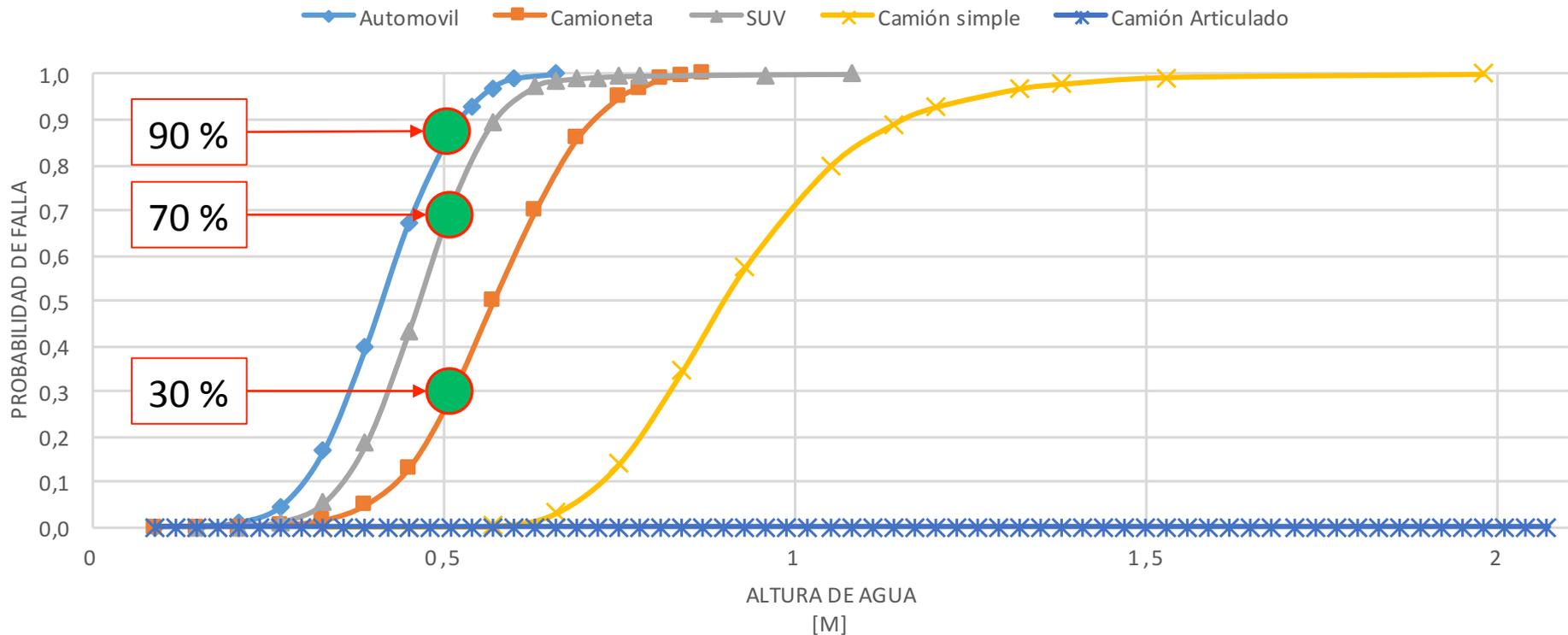
Modelo de inundación



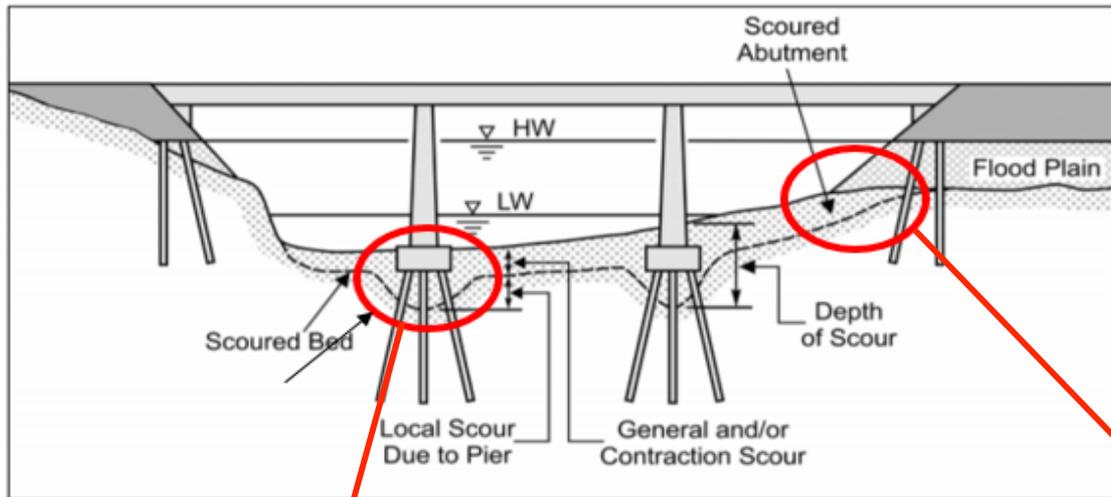
Curva de fragilidad: inundación



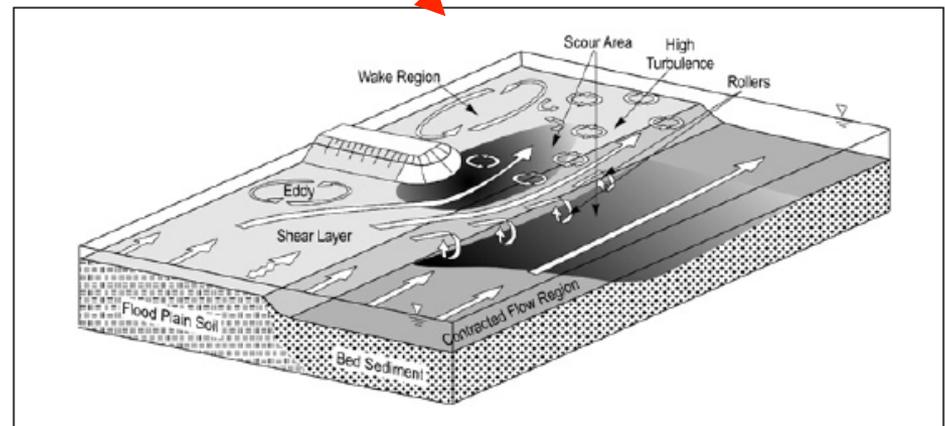
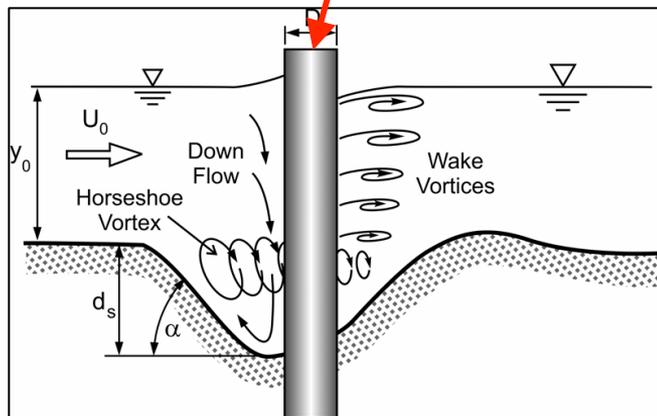
CURVA DE RIESGO
DP=2 S=[0.004-0.007]



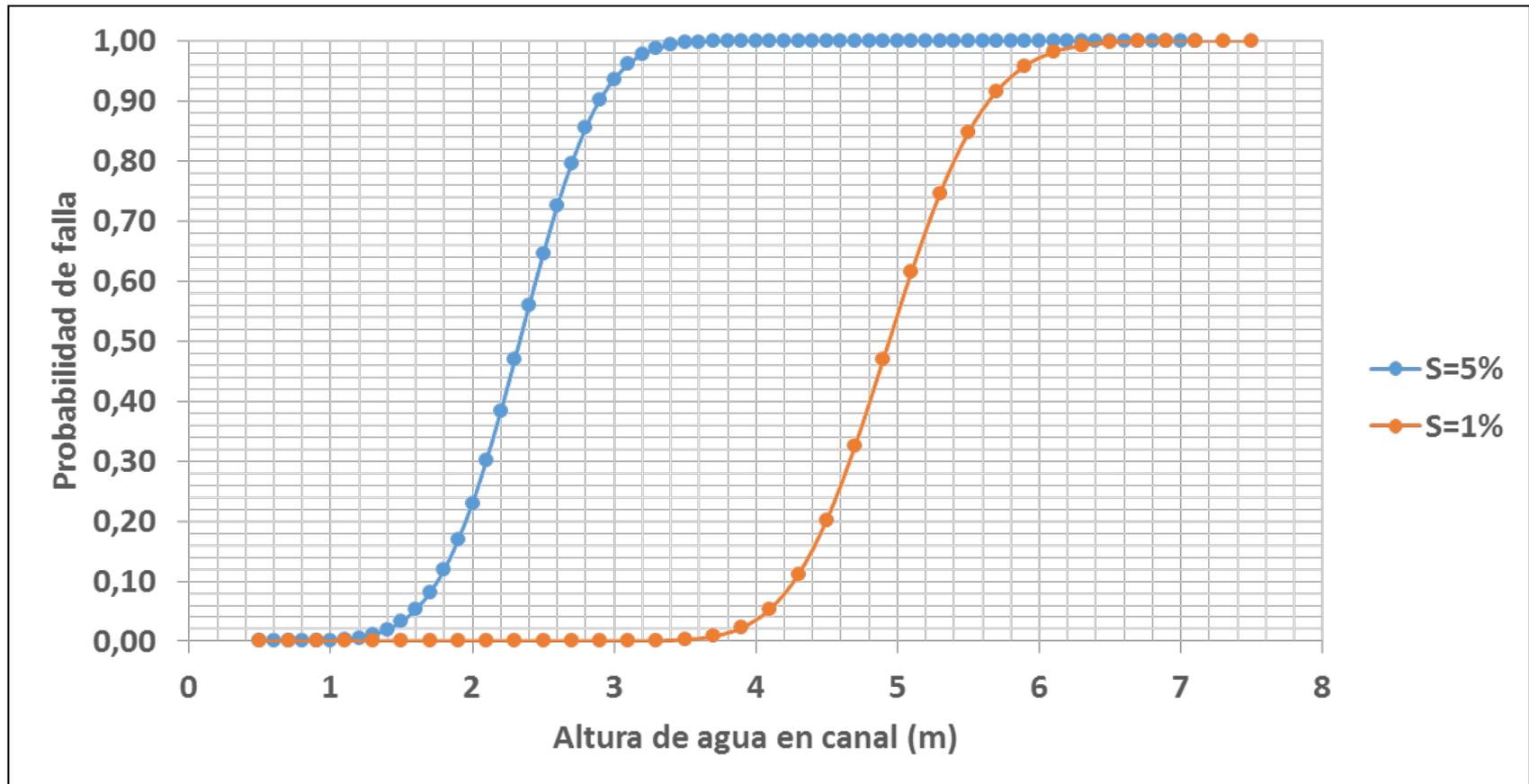
Modelación de la socavación



- Socavación real
- Socavación de diseño



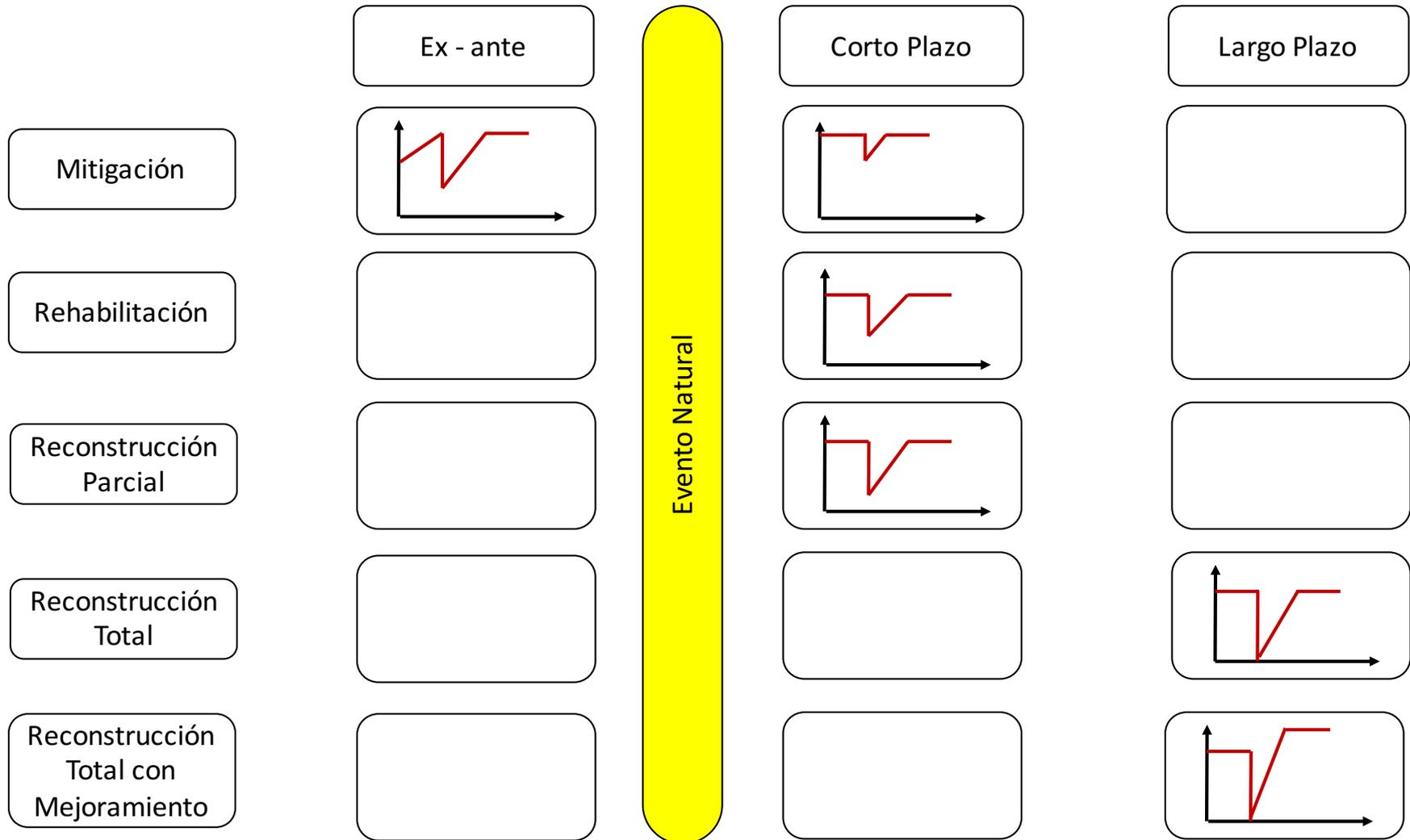
Curva de fragilidad: socavación



EL MODELO DE MITIGACION



Relación entre estándares, mitigaciones y ocurrencia de eventos naturales



EJEMPLOS PRACTICOS



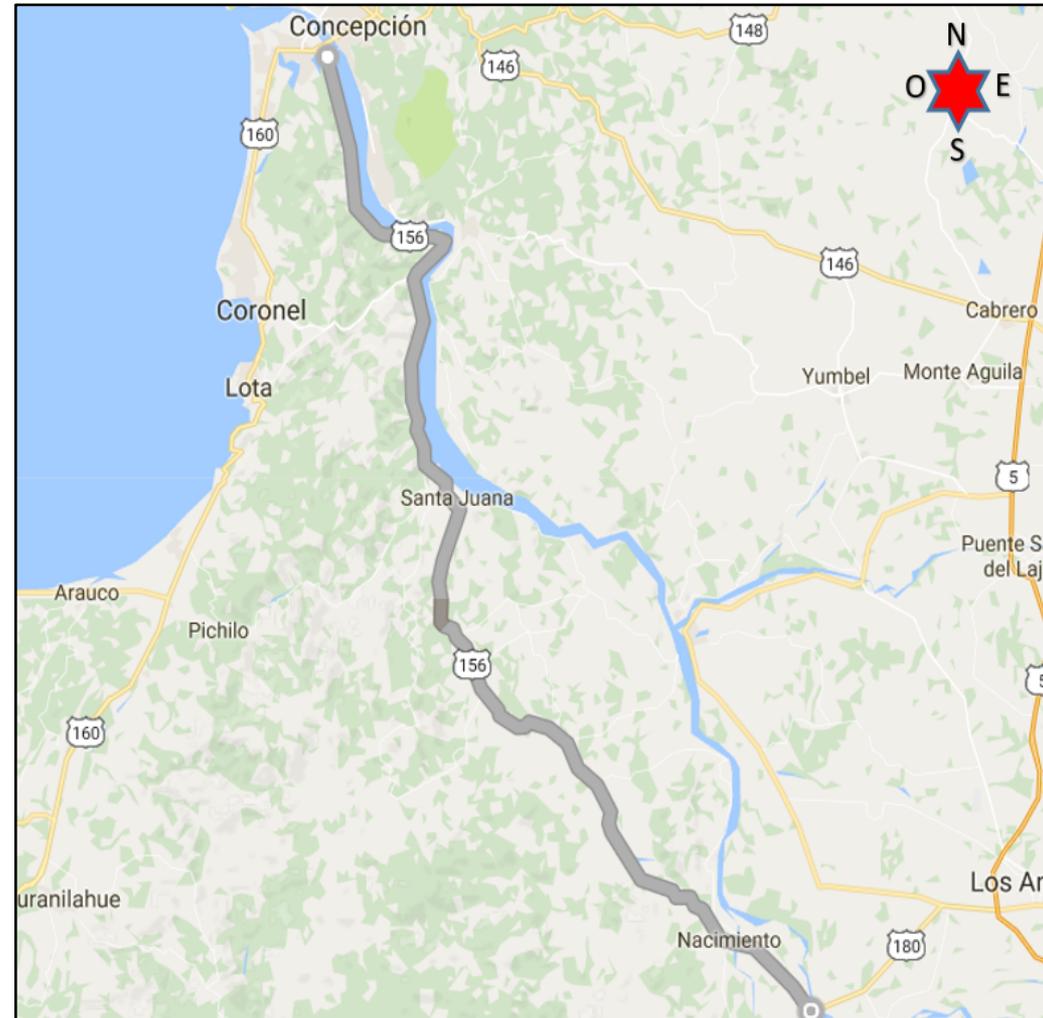


- Inundación y Deslizamiento de Taludes en Camino de La Madera, Región del Bio Bio

Características Generales del caso de Estudio

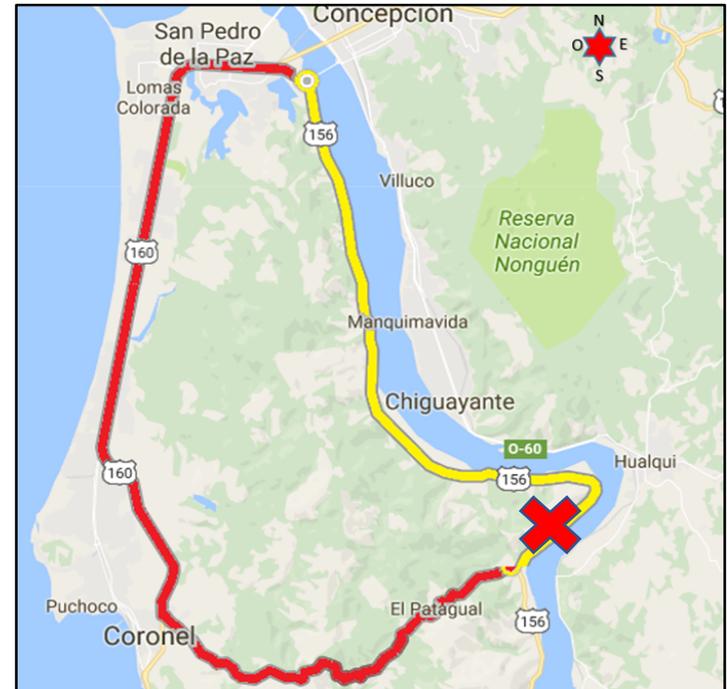


Características generales	
Longitud	108,5 km
Pavimento	Asfáltico
Tipo de Camino	Bidireccional
Ancho Pista	3,5 m
Ancho medio de berma	1 m
Sobre ancho medio	0,5 m
Velocidad de proyecto	70 km/h
Velocidad máxima legal	100 km/h



Evento HM que afecta la ruta

- Tramo afectado: a 24,5 km de San Pedro de la Paz
- Eventos hidrometeorológicos con recurrencia 1 vez cada 3 años.
- Longitud del tramo afectado: 500 m.



Tipo de Emergencia	Efectos sobre la infraestructura	Efectos sobre la operación	Tiempo de duración
Crecida	Inundaciones de 300 metros de toda la calzada por puntos bajos del trazado	Corte total del tránsito, necesidad de re ruteo	6 horas
Deslizamientos	Derrumbes de 1250 m ³ de material en 500 metros de longitud	Inhabilitación de una pista, regulación de paso con bandereros	Dependiente de la duración de remoción de derrumbes

Estrategias de Intervención



Estrategia	Estándar	Procedimientos, Operaciones y Partidas	Recurrencia	Efectos sobre la operación
Base	Rehabilitación	1. Esperar la inundación	1 vez cada 3 años	Interrupción total
		2. Remoción de derrumbes	1 vez cada 3 años	Inhabilitación de una pista
		3. Limpieza de sistemas de drenaje	1 vez cada 3 años	Sin efectos
1	Aumento de robustez	1. Construcción de 300 metros de gaviones	1 vez el primer año	Inhabilitación de una pista y reducción de velocidad
	Rehabilitación	1. Remoción de derrumbes	1 vez cada 3 años	Inhabilitación de una pista
		2. Limpieza de sistemas de drenaje	1 vez cada 3 años	Sin efectos
2	Aumento de robustez	1. Construcción de 500 metros de rejas de contención	1 vez el primer año	Inhabilitación de una pista y reducción de velocidad
	Rehabilitación	1. Esperar la inundación	1 vez cada 3 años	Interrupción total
		2. Limpieza de sistemas de drenaje	1 vez cada 3 años	Sin efectos
3	Mitigación	1. Construcción de 300 metros de gaviones	1 vez el primer año	Inhabilitación de una pista y reducción de velocidad
		2. Construcción de 500 metros de rejas de contención	1 vez el primer año	Inhabilitación de una pista y reducción de velocidad
	Rehabilitación	3. Limpieza de sistemas de drenaje	1 vez cada 3 años	Sin efectos

Demoras por circulación en condiciones normal y restringida

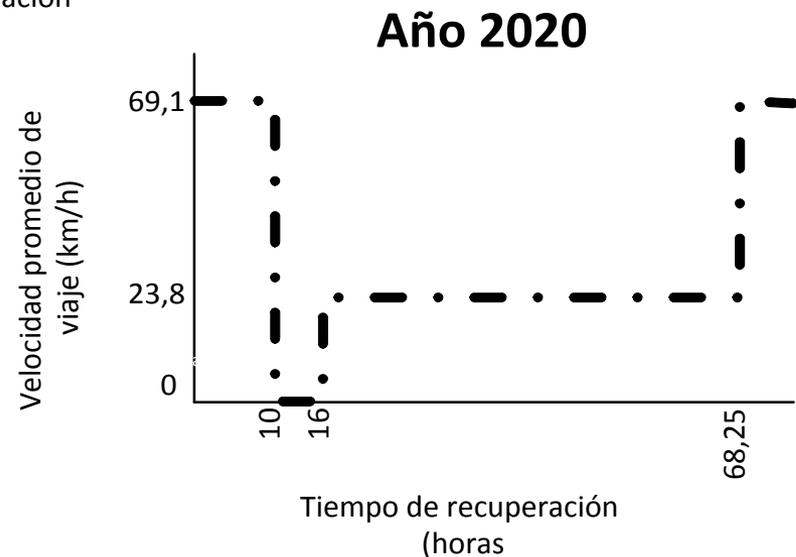
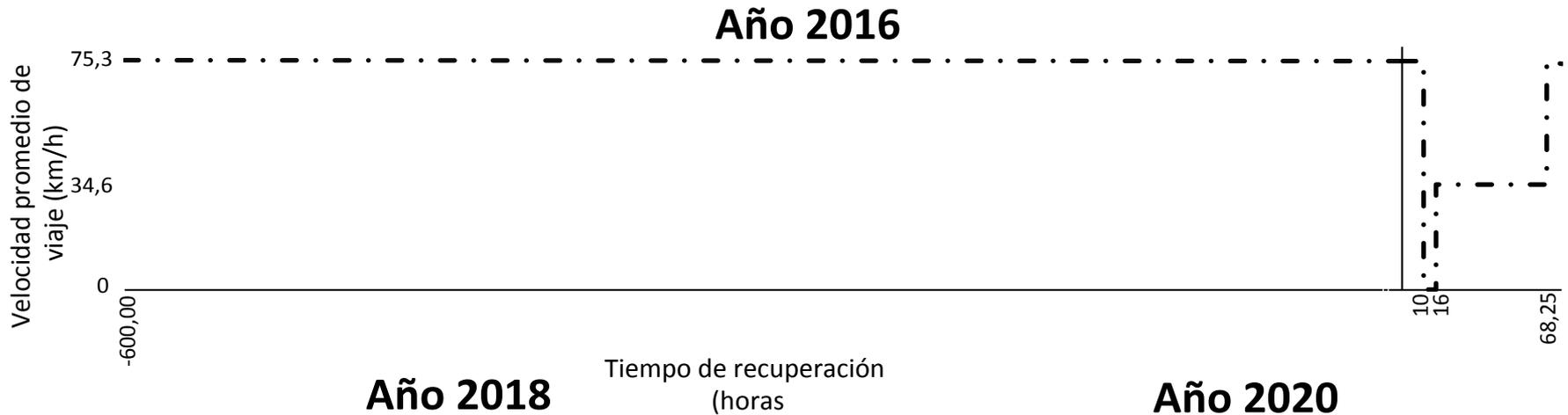


Ruta	Condición operacional	Velocidad promedio de viaje (km/h)		
		2016	2018	2020
156	Normal	75,3	72,5	69,1
O-852	Normal	60,3	57,1	53,3
160	Normal	94,1	92,7	91,0
156	Regulación de paso	34,6	33,7	23,8

Condición operacional	Demoras totales (veh-h)											
	Estrategia base			Estrategia alternativa 1			Estrategia alternativa 2			Estrategia alternativa 3		
	2016	2018	2020	2016	2018	2020	2016	2018	2020	2016	2018	2020
Regulación de paso	2773	4658	12191	3472	4658	12191	1843			2541		
Reducción de velocidad				1107			1414			1107		
Re Ruteo	1674	2020	2461				1674	2020	2461			

- Modelación con HCS-2000 para operación normal
- Modelación con SIDRA V5.1 para operación con regulación de paso (banderero o semaforo)

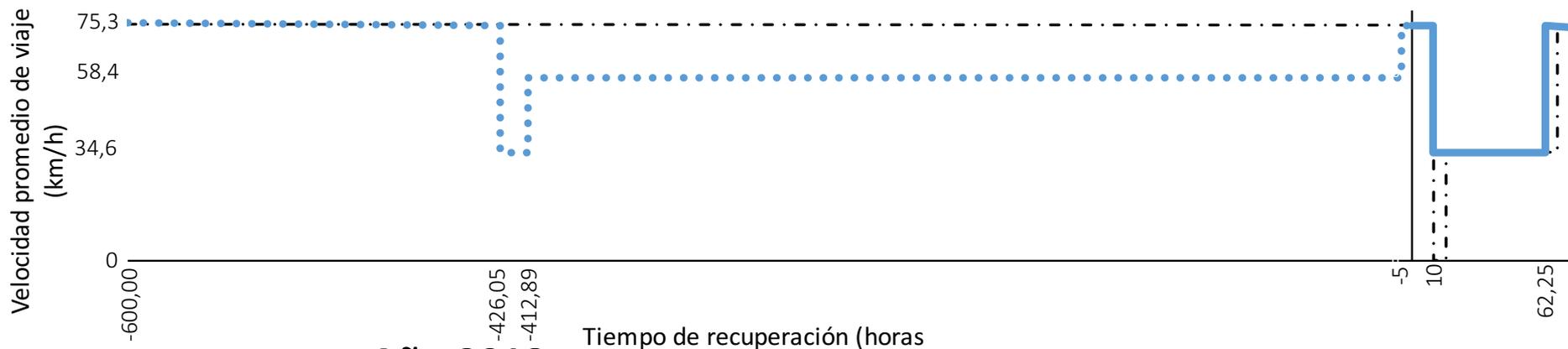
Curva de Restauración: Estrategia Base



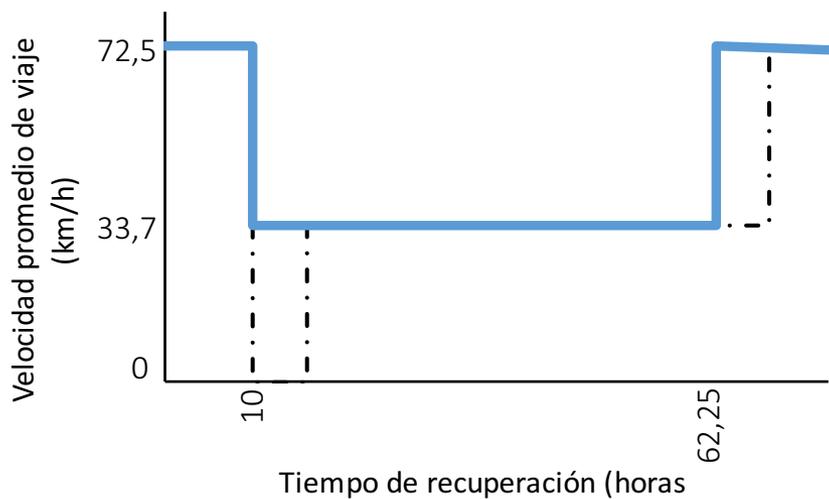
Curva de Restauración: Estrategia 1



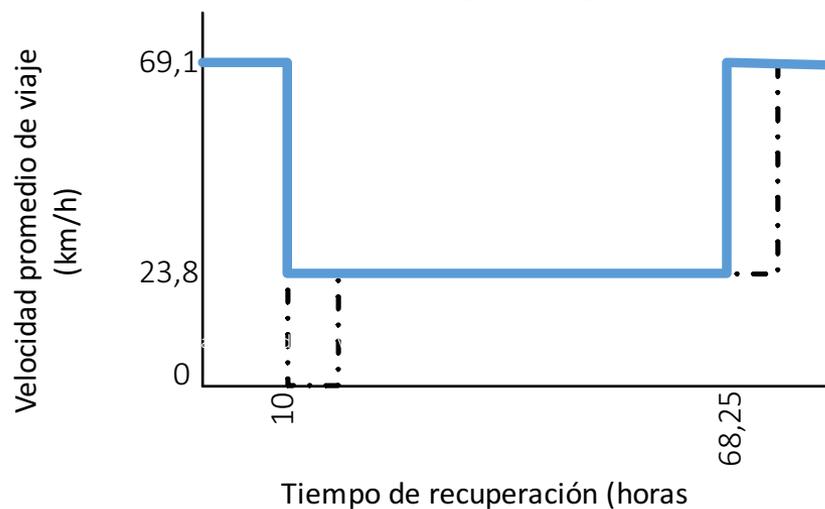
Año 2016



Año 2018



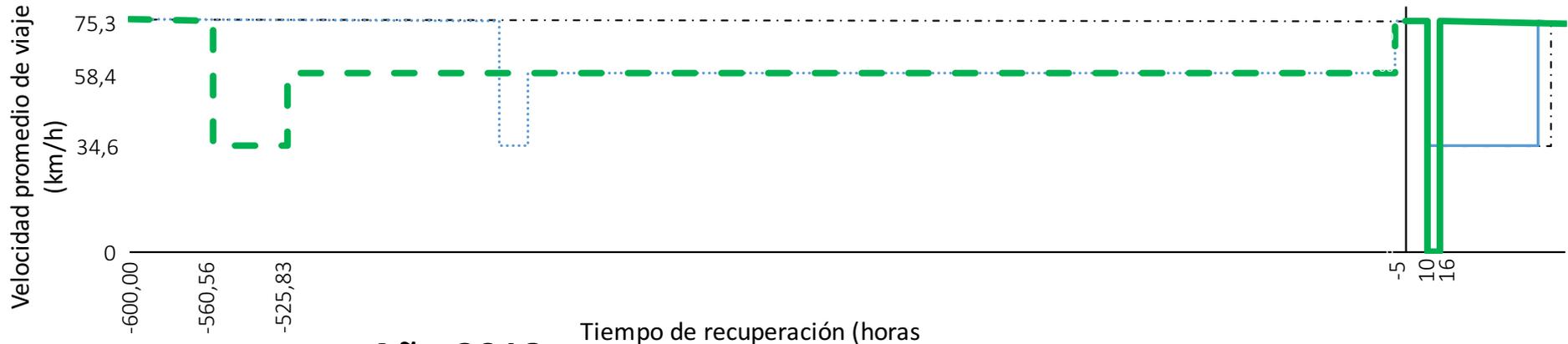
Año 2020



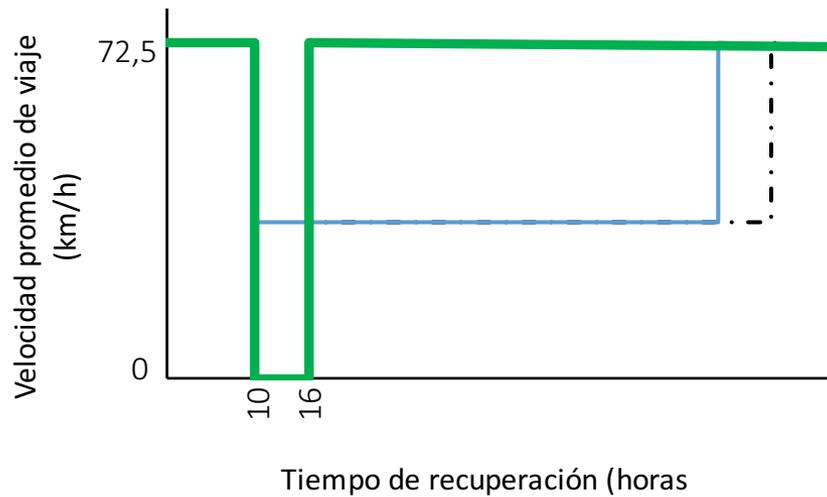
Curva de Restauración: Estrategia 2



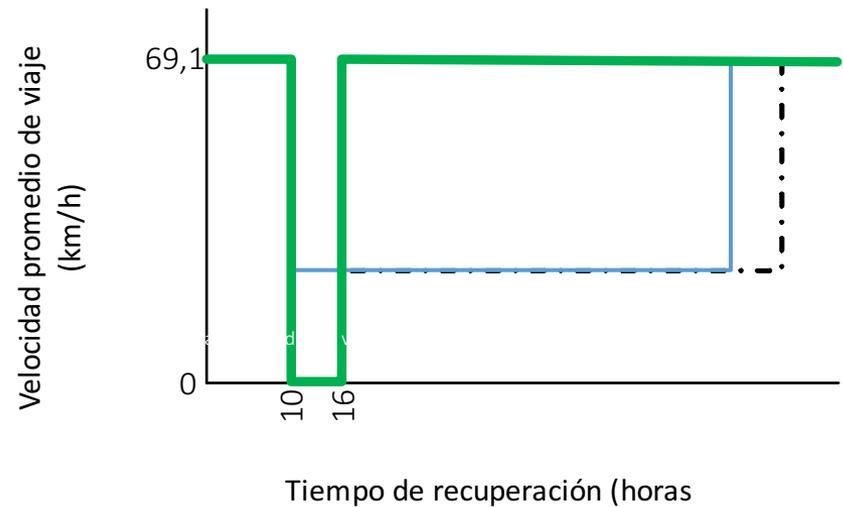
Año 2016



Año 2018



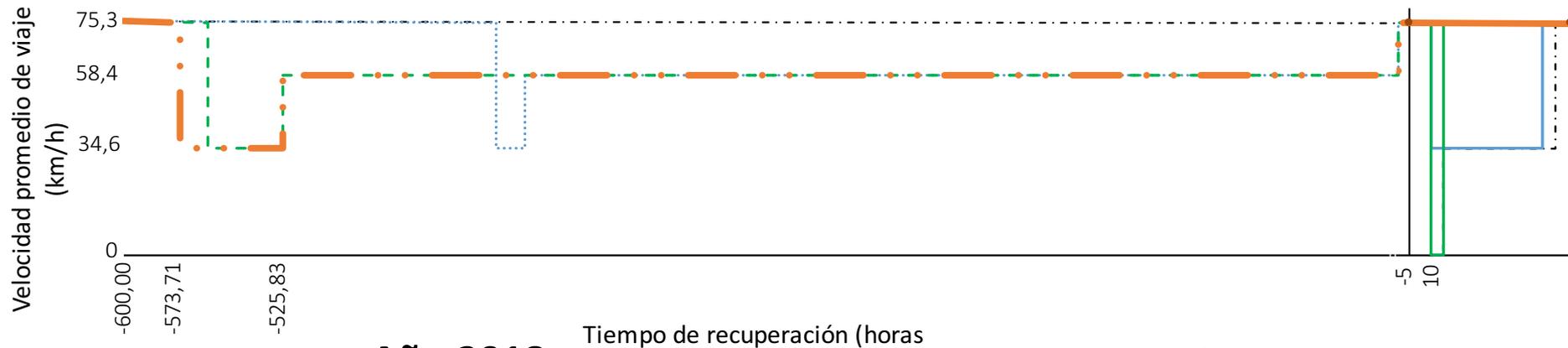
Año 2020



Curva de Restauración: Estrategia 3

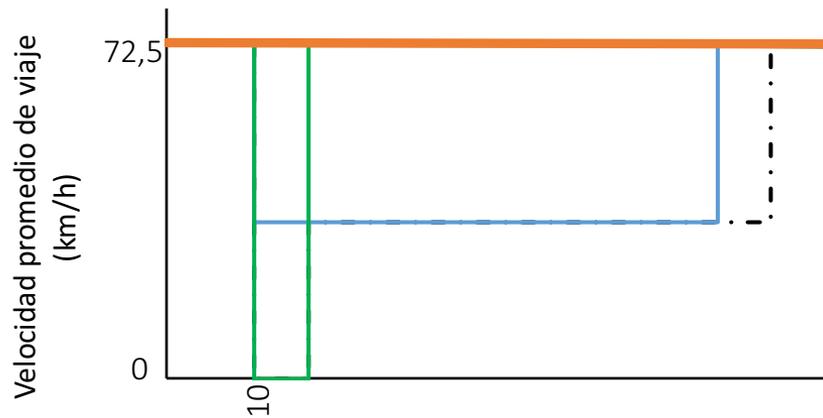


Año 2016



Año 2018

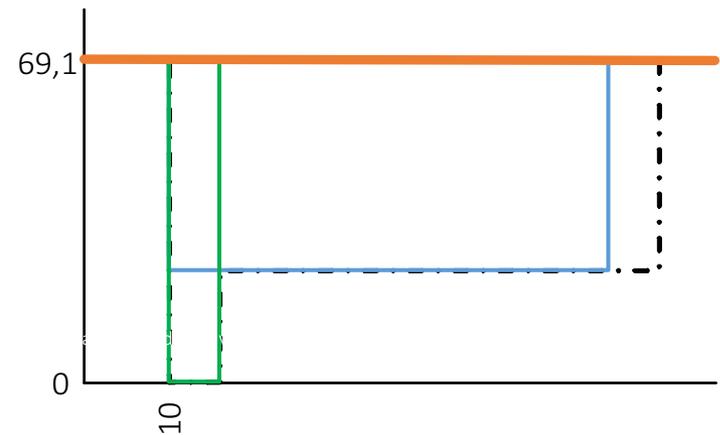
Tiempo de recuperación (horas)



Tiempo de recuperación (horas)

Año 2020

Velocidad promedio de viaje (km/h)



Tiempo de recuperación (horas)

Cálculo de Beneficios Económicos: Relativos a Estrategia Base



CAE - Rehabilitación (Base) (\$)	2016	2017	2018	2019	2020	
CAV	\$ -13.241.500	\$ -	\$ -13.241.500	\$ -	\$ -13.241.500	
COP	\$ -84.757.831	\$ -	\$ -124.806.863	\$ -	\$ -264.999.296	
CAE	\$ -92.452.199	\$ -	\$ -115.908.068	\$ -	\$ -207.917.709	\$ -416.277.975

CAE - Alternativa 1 (\$)	2016	2017	2018	2019	2020	
CAV	\$ -60.103.600	\$ -	\$ -13.241.500	\$ -	\$ -13.241.500	
COP	\$ -79.706.206	\$ -	\$ -81.075.107	\$ -	\$ -212.204.886	
CAE	\$ -131.896.044	\$ -	\$ -79.190.042	\$ -	\$ -168.466.654	\$ -379.552.741

VSAN \$ 36.725.235

CAE - Alternativa 2 (\$)	2016	2017	2018	2019	2020	
CAV	\$ -108.866.500	\$ -	\$ -8.436.500	\$ -	\$ -8.436.500	
COP	\$ -93.181.021	\$ -	\$ -43.731.756	\$ -	\$ -52.794.410	
CAE	\$ -190.610.869	\$ -	\$ -43.801.473	\$ -	\$ -45.755.298	\$ -280.167.640

VSAN \$ 136.110.335

CAE - Alternativa 3 (mitigación total) (\$)	2016	2017	2018	2019	2020	
CAV	\$ -147.292.100	\$ -	\$ -8.436.500	\$ -	\$ -8.436.500	
COP	\$ -68.230.524	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
CAE	\$ -203.323.230	\$ -	\$ -7.083.448	\$ -	\$ -6.304.244	\$ -216.710.922

VSAN \$ 199.567.054

Análisis de Eficiencia: Relación Beneficio / Resiliencia



- Variación de Resiliencia de cada alternativa respecto de la alternativa base

dR Superposición	Factibilidad	Ranking
120,16%	Factible	3
499,55%	Factible	2
Máxima	Factible	1

- Relación Beneficio / Resiliencia

Estrategia de intervención	VSAN	CAE	$V_i \times dR_j$
Alternativa 1	\$ 36.725.235	\$ 379.552.741	0,12
Alternativa 2	\$ 136.110.335	\$ 280.167.640	2,43
Alternativa 3 (Mitigación total)	\$ 199.567.054	\$ 216.710.922	Máxima