

Seminario Caminería Rural

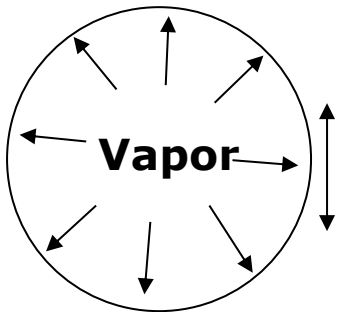
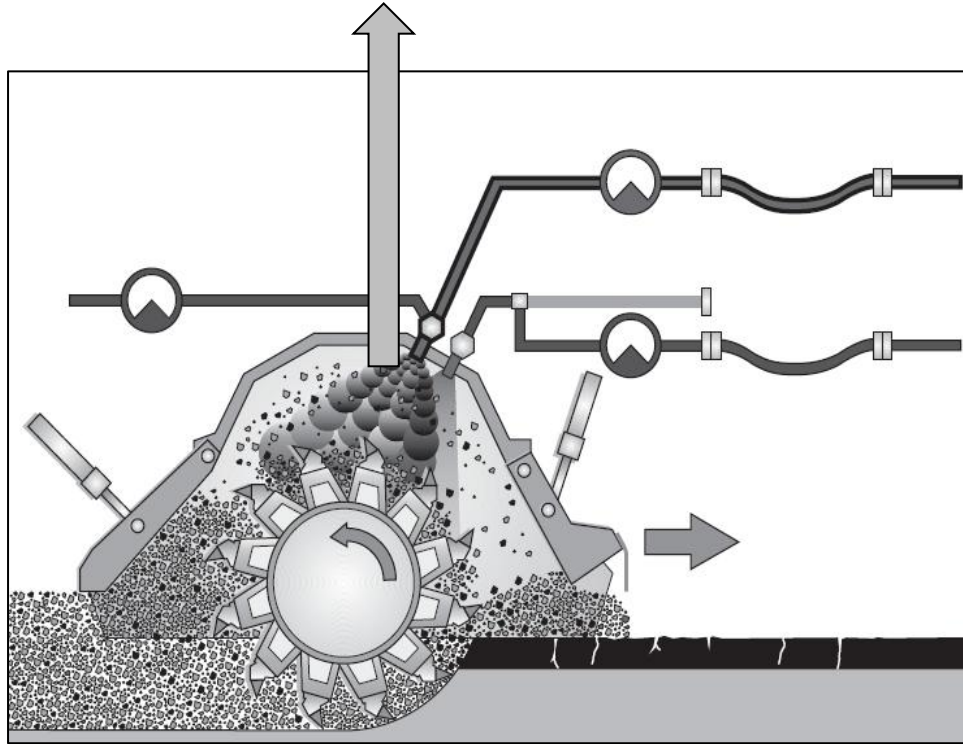
3. Métodos de Estabilización con foco en Asfalto espumado



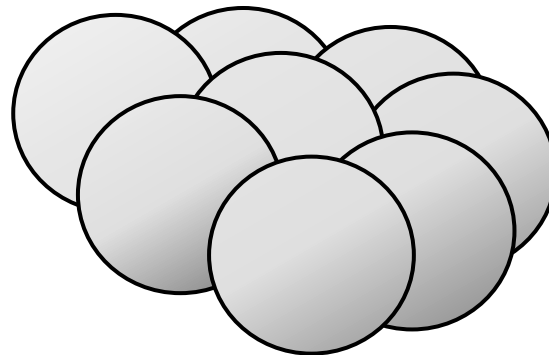
Álvaro González V.

Profesor Asociado - Escuela de Ingeniería
Director Técnico – Unidad de Ingeniería Vial Dictuc
Pontificia Universidad Católica de Chile

Tecnología del Asfalto Espumado



Tensión Superficial



Tecnología del Asfalto Espumado

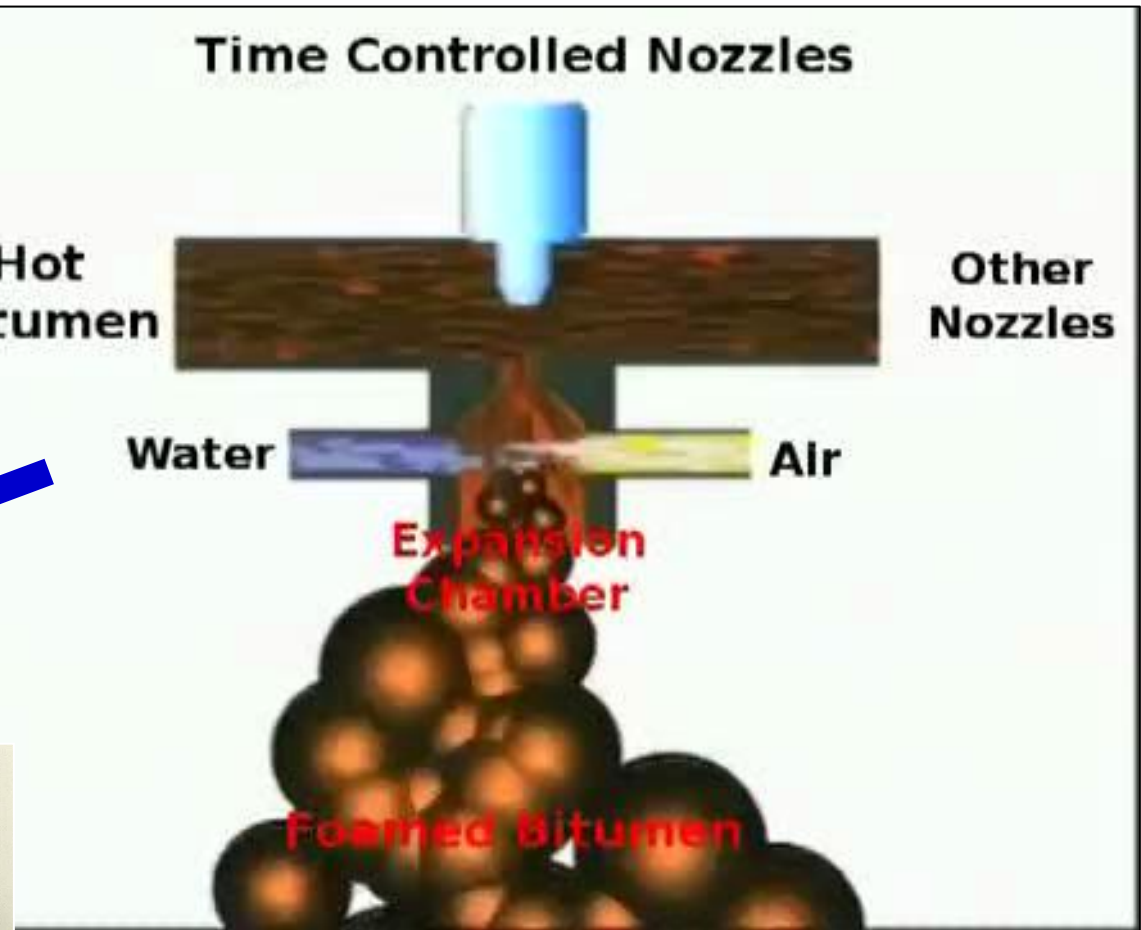
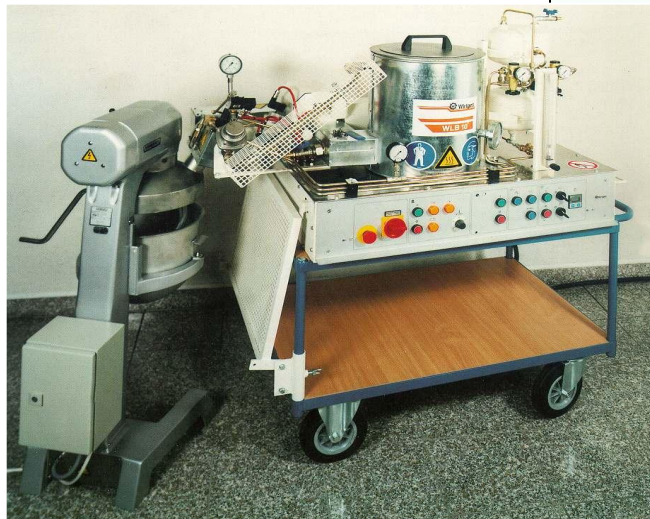
1,5 – 3,0%

Peso del Material Granular

150 – 180 °C

1,0 - 3,0%

Peso del Asfalto



Tecnología del Asfalto Espumado - Historia

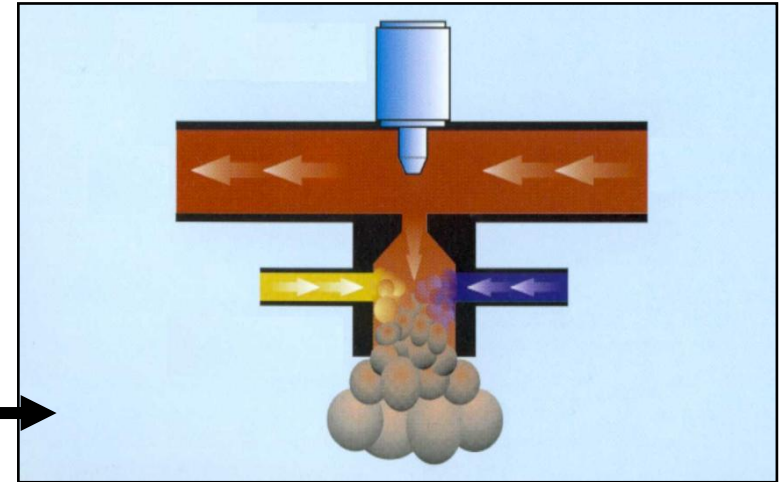
1956 **ORIGEN DEL ASFALTO ESPUMADO**

1957 **PRIMEROS REPORTES DEL USO DEL
ASFALTO ESPUMADO**

1968 **DESARROLLO CAMARA DE
EXPANSION**

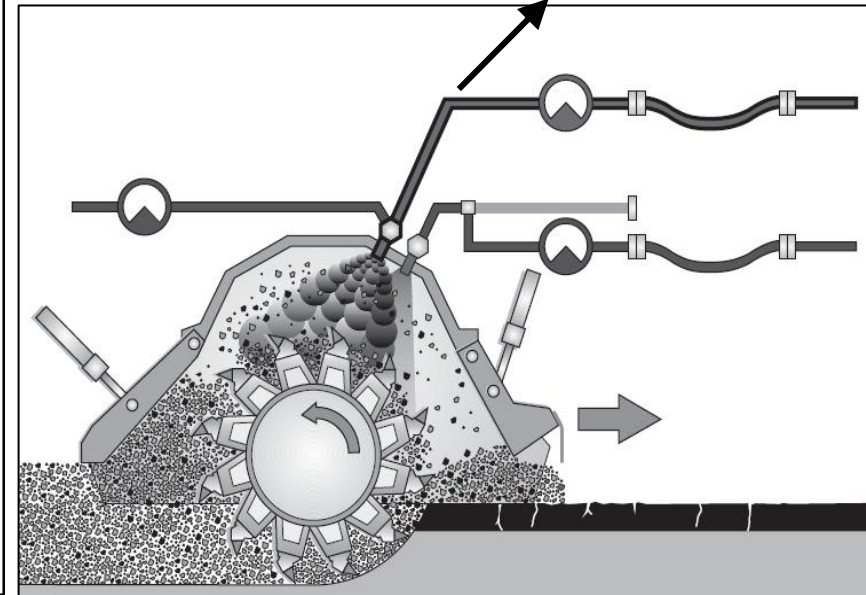
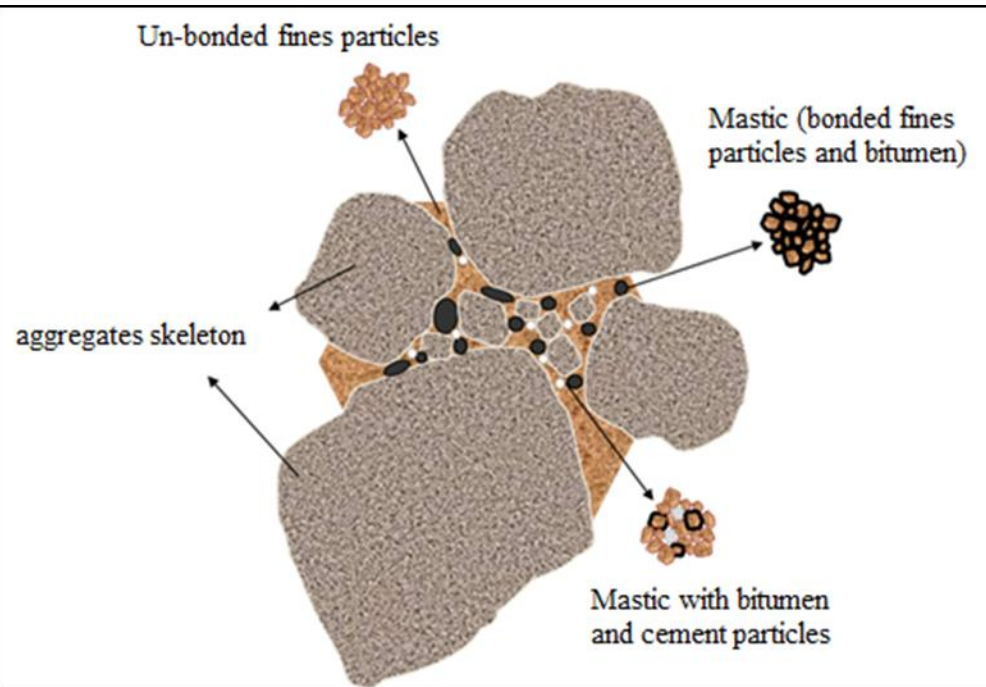
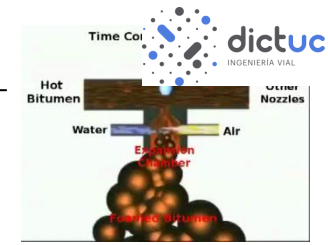
1970 **DESARROLLO DEL PRIMER
LABORATORIO DE ASFALTO ESPUMADO
(Derechos MOBIL)**

1991 **TRANSFERENCIA DE ESTA TECNOLOGIA
A LOS PAISES ESCANDINAVOS
(Cuando expiraron los derechos de MOBIL)**



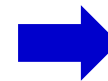
Fuente: G. Thenoux Z.

Mezcla con Asfalto Espumado



Mezcla con Asfalto Espumado está compuesta por

- Material granular virgen (o reciclado) con finos
- Bitumen (1,0 – 3,0%) → Diseño Mezcla
- Agua (Humedad Optima de Compactación)
- Filler Activo (0,0 – 2,0%)



Finos mejoran la dispersión de las partículas de asfalto



3 – 5% respecto a la masa del material granular ($4\% \times 2000 \text{ Kg} = 80 \text{ kg/m}^3$)



Usualmente cemento. También se usa Cal

Mezcla Reciclada con
Asfalto Espumado



Mezcla Asfáltica
Tradicional



29 8 2006

Mezcla con Asfalto Espumado – Propiedades Básicas

Propiedades básicas:

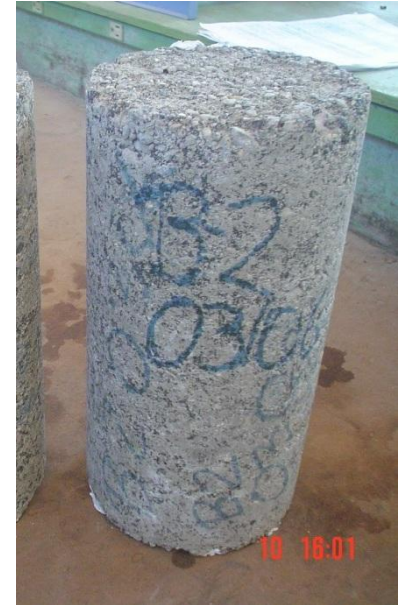
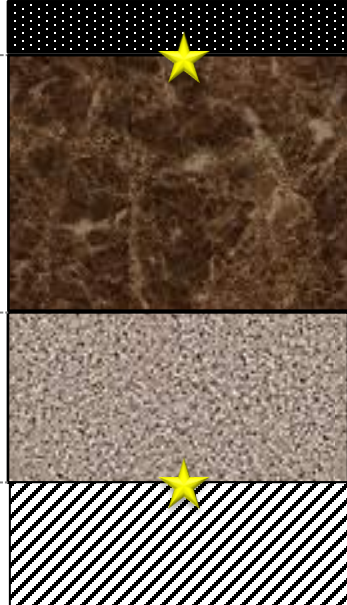
- Capa reciclada/estabilizada debe ser cubierta por una carpeta de rodado ya que no resisten erosión (HMA o sello)
- Módulo Resiliente: 600 – 2.000 MPa
 - ✓ Materiales granulares: 100 – 300 MPa
 - ✓ HMA Mezcla asfáltica en caliente: 3.000 – 5.000 MPa
 - ✓ Pavimento de concreto > 25.000 Mpa

Hot Mix Asphalt

Asfalto
Espumado /
Emulsión

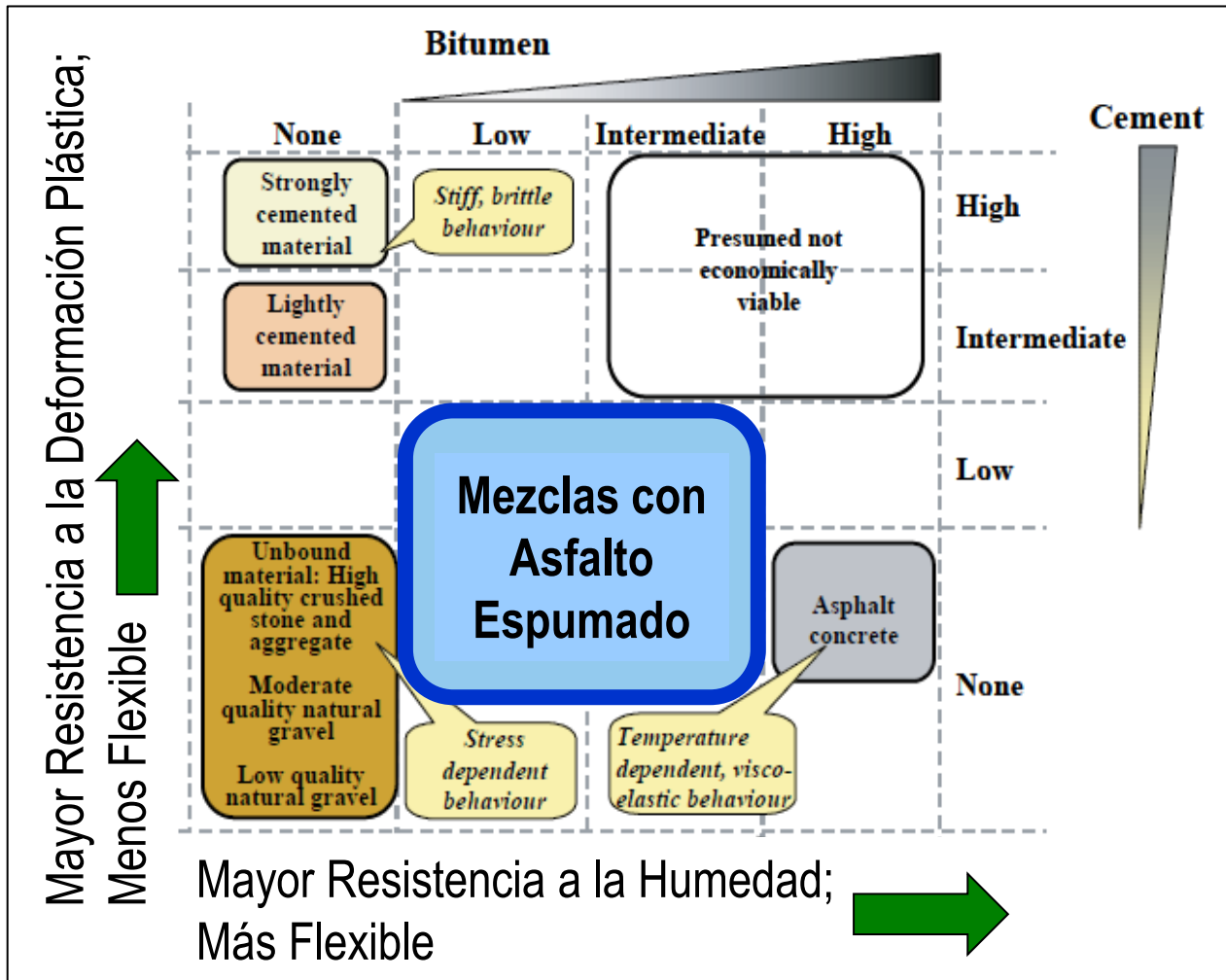
Granular
Subbase

Subrasante



Mezcla con Asfalto Espumado – Propiedades Básicas

¿Qué tipo de material es?



(Fuente: Asphalt Academy, 2002)

Mezcla con Asfalto Espumado – Diseño Mezcla

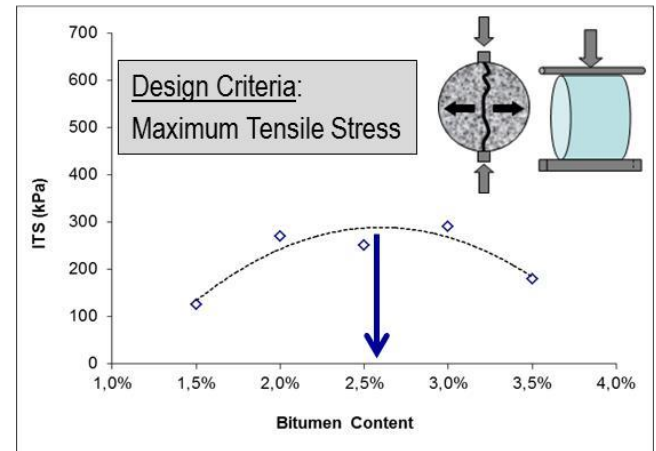
Caracterización
Material Granular

Caracterización
Espuma Asfáltica

Preparación Mezclas usando:
1 nivel de filler activo (fijo)
5 niveles contenido Bitumen

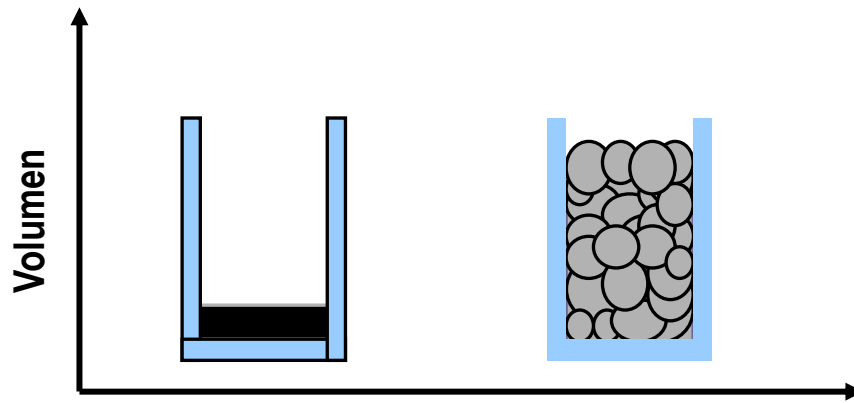
Curado acelerado de
probetas

Ensayo de probetas
usando ensayo ITS

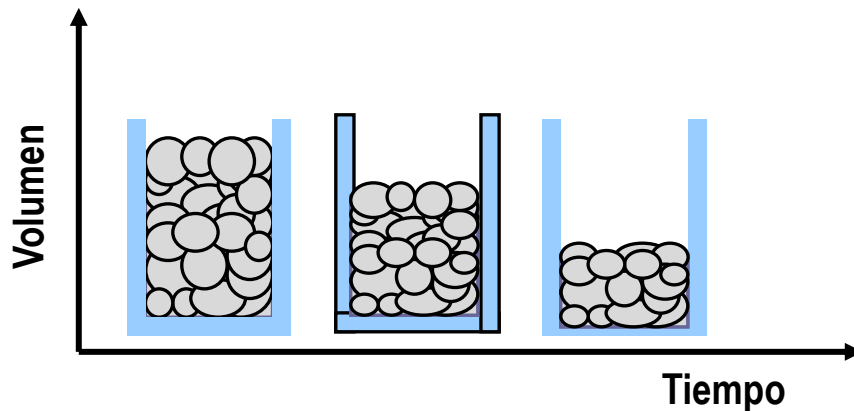


Propiedades Requeridas Espuma Asfáltica

- a. **Volumen de Expansión**: Capacidad de Expansión del Bitumen. A mayor volumen de expansión, mayor capacidad de cubrir los áridos



- b. **Estabilidad de la Espuma**: Esta propiedad se relaciona con el tiempo disponible para el mezclado antes del colapso y desintegración de la espuma. A mayor duración, mayor capacidad para cubrir los áridos



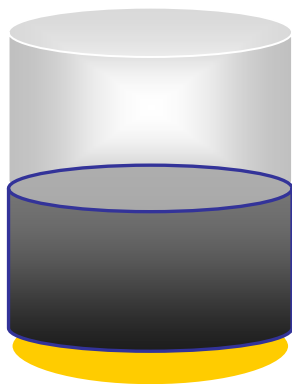
Parámetros Diseño Espuma Asfáltica

- Razón de Expansión $\leftrightarrow$ Volumen de Expansión

$$R_E = \frac{V_{\text{máx}}}{V_{\text{Residuo}}}$$

- Vida Media $\leftrightarrow$ Estabilidad de la Espuma

$$V_{\text{Media}} = t_s (\text{segundos})$$

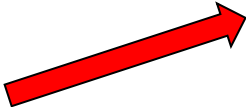
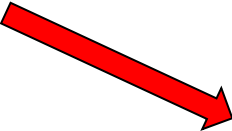
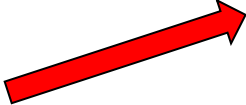
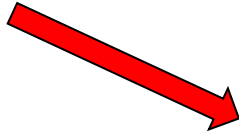


← Máximo Volumen

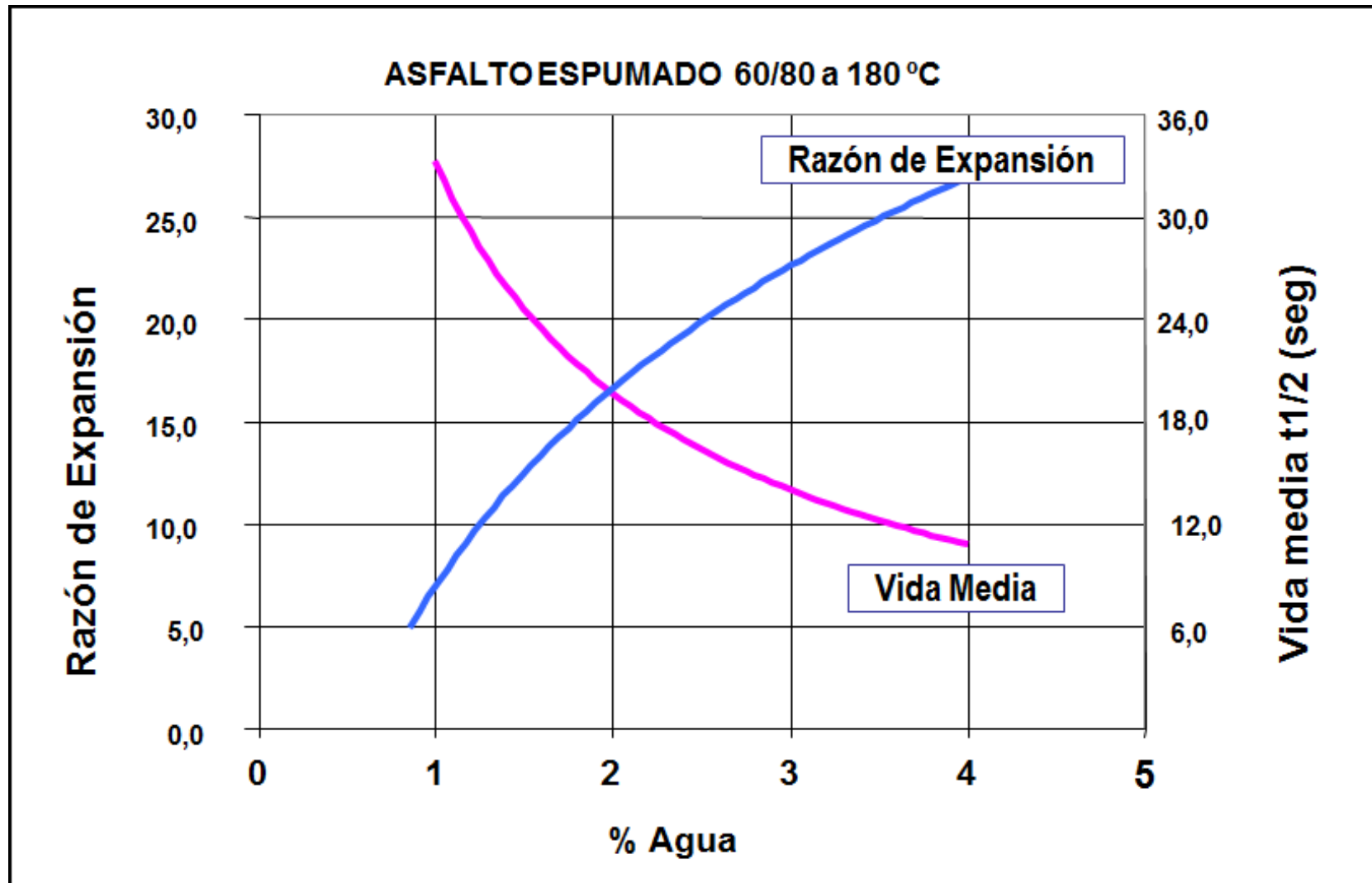
← 50% del Máximo Volumen

← Volumen del Residuo

Variables de Diseño Espuma Asfáltica

A MAYOR	RAZON DE EXPANSION	VIDA MEDIA
 TEMPERATURA ASFALTO		
CANTIDAD DE AGUA		

Variables de Diseño Espuma Asfáltica



Mezcla con Asfalto Espumado – Diseño Mezcla

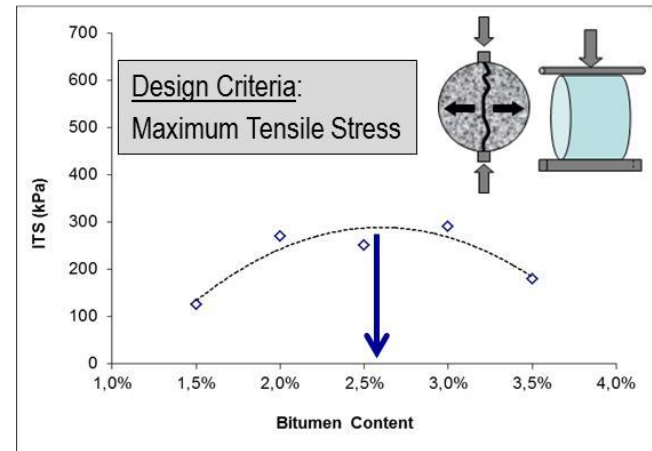
Caracterización
Material Granular

Caracterización
Espuma Asfáltica

Preparación Mezclas usando:
1 nivel de filler activo (fijo)
5 niveles contenido Bitumen

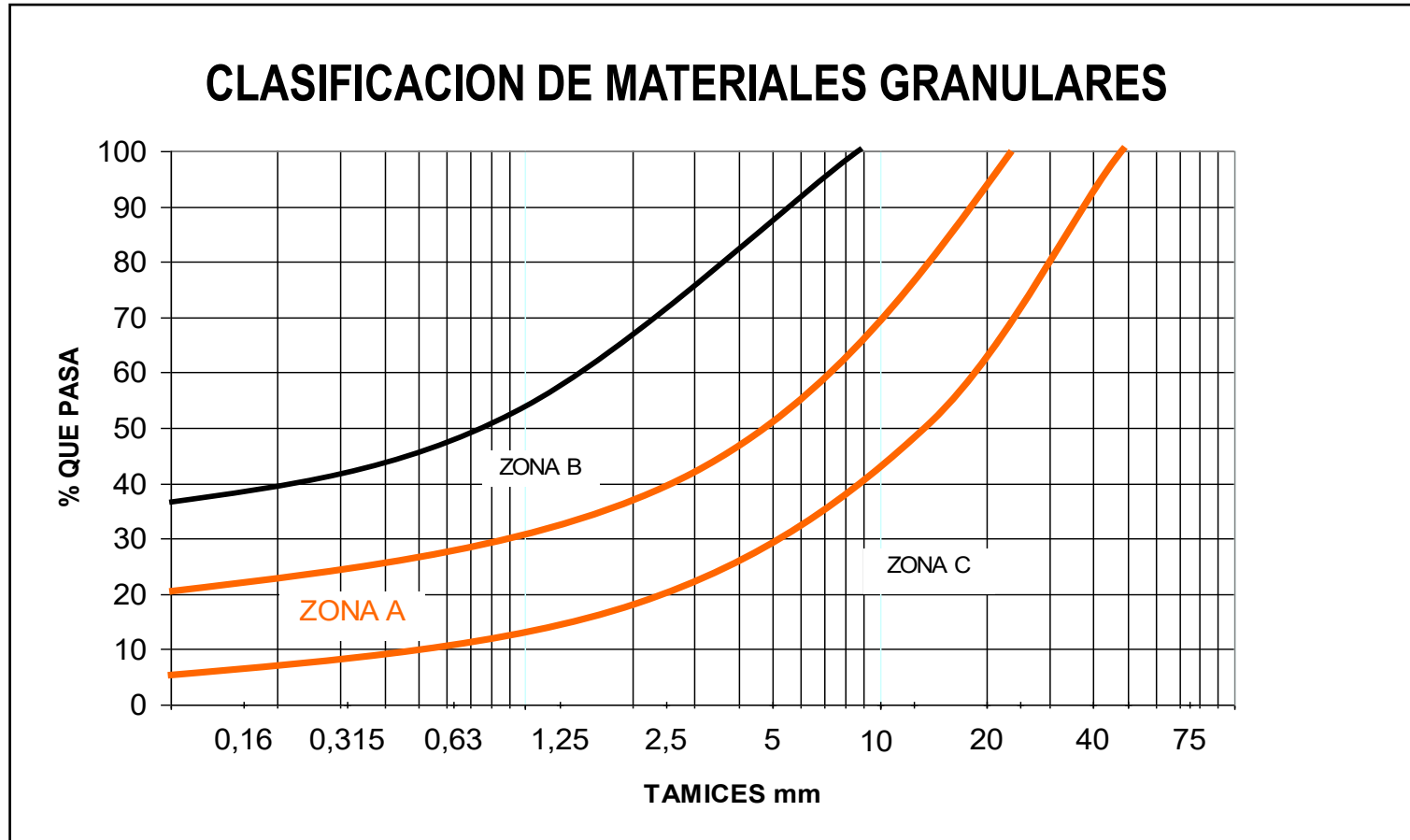
Curado acelerado de
probetas

Ensayo de probetas
usando ensayo ITS



Mezcla con Asfalto Espumado – Caract. Material Grar

Las bandas de trabajo son relativamente amplias lo que permite incluir varios tipos de suelo además de bases - subbases y RAP. Se recomienda un mínimo de 5-8% de finos de nula o poca plasticidad.



Mezcla con Asfalto Espumado – Caract. Material Grar

El asfalto en forma de espuma interactúa con la fracción fina de los materiales granulares, por lo cual se requiere un mínimo.

Asimismo, el tipo de fino que contiene el agregado, debe poseer requerimientos mínimos en términos de plasticidad.

Tipo de Bitumen	% Finos	IP
Espumado	> 5%	< 10

(Fuente: Jenkins, 2009)



Otros Factores MUY IMPORTANTES → Afectan Trabajabilidad

➤ **Temperatura de los Áridos**

Temperatura óptima: 25 °C → **Mínimo 15 ° C**. Temperaturas muy bajas de los áridos reducen la efectividad de la espuma.

➤ **Contenido de Humedad de los Áridos (*)**

El contenido óptimo de humedad es necesario para una adecuada compactación posterior. Se recomienda una humedad comprendida entre 65 - 85% de la humedad óptima de compactación (Proctor Modificado)

Mezcla con Asfalto Espumado – Diseño Mezcla

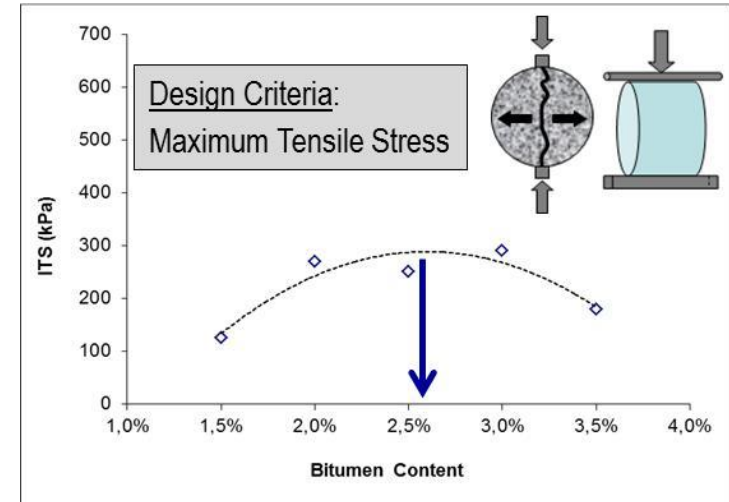
Caracterización
Material Granular

Caracterización
Espuma Asfáltica

Preparación Mezclas usando:
1 nivel de filler activo (fijo)
5 niveles contenido Bitumen

Curado acelerado de
probetas

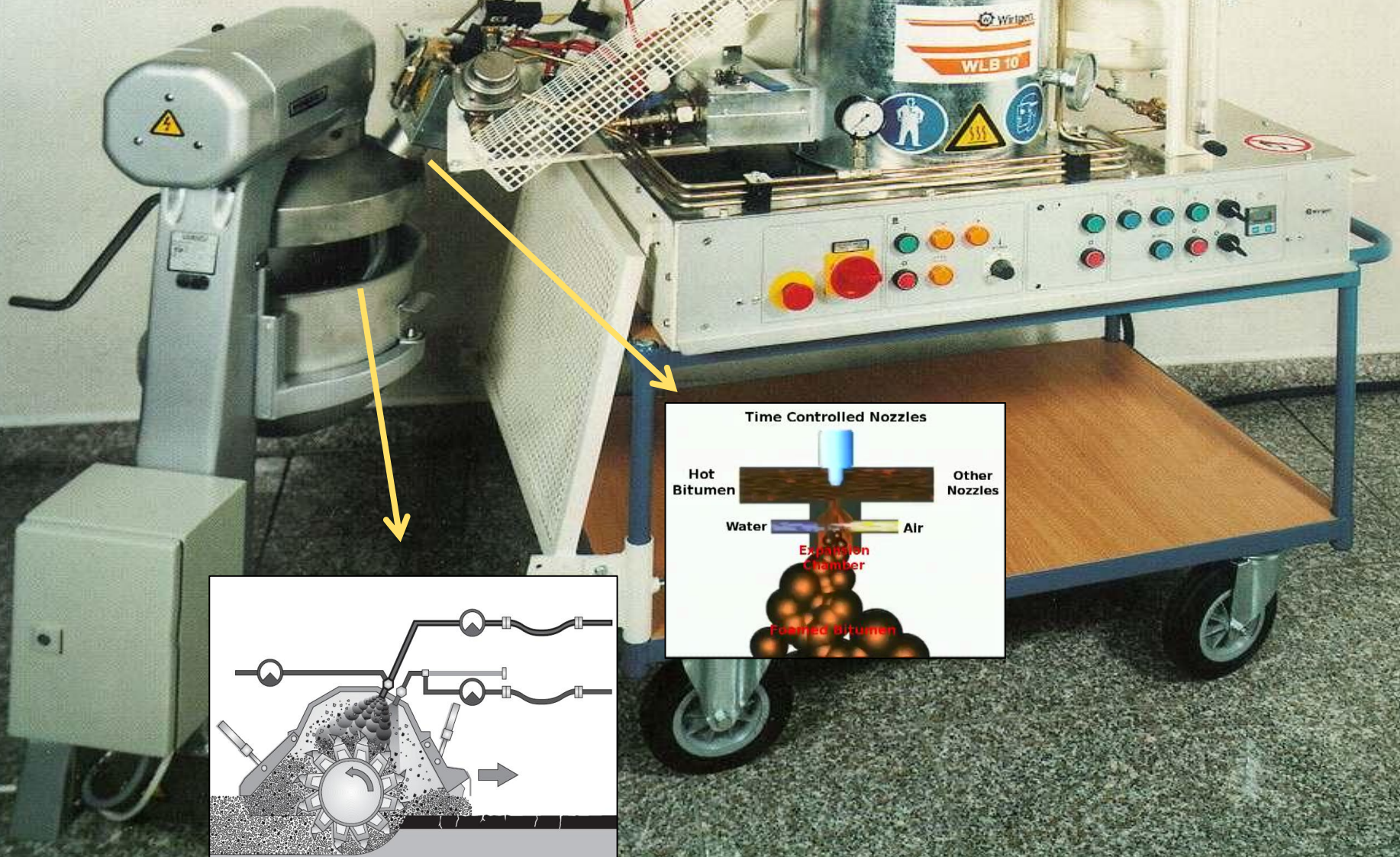
Ensayo de probetas
usando ensayo ITS



Definición Temp° Bitumen
y Cantidad Agua
Expansión

Mezcladora

Espumadora



1.5% Asfalto

2.0% Asfalto

2.5% Asfalto

3.0% Asfalto

3.5% Asfalto



Mezcla con Asfalto Espumado – Diseño Mezcla

Se deben chequear
Granulometría, IP, HOC,
Temperatura, entre otros.

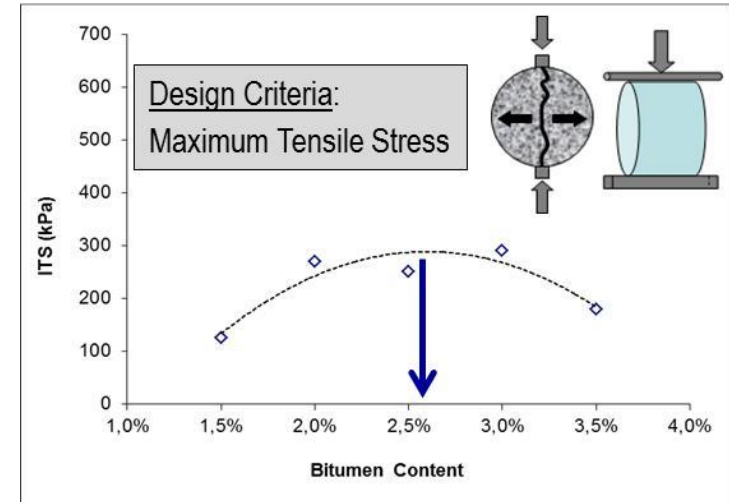
Caracterización
Material Granular

Caracterización
Espuma Asfáltica

Preparación Mezclas usando:
1 nivel de filler activo (fijo)
5 niveles contenido Bitumen

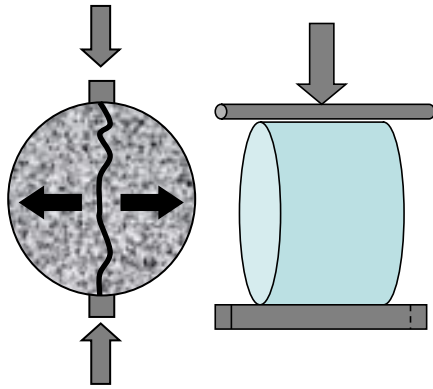
Curado acelerado de
probetas

Ensayo de probetas
usando ensayo ITS



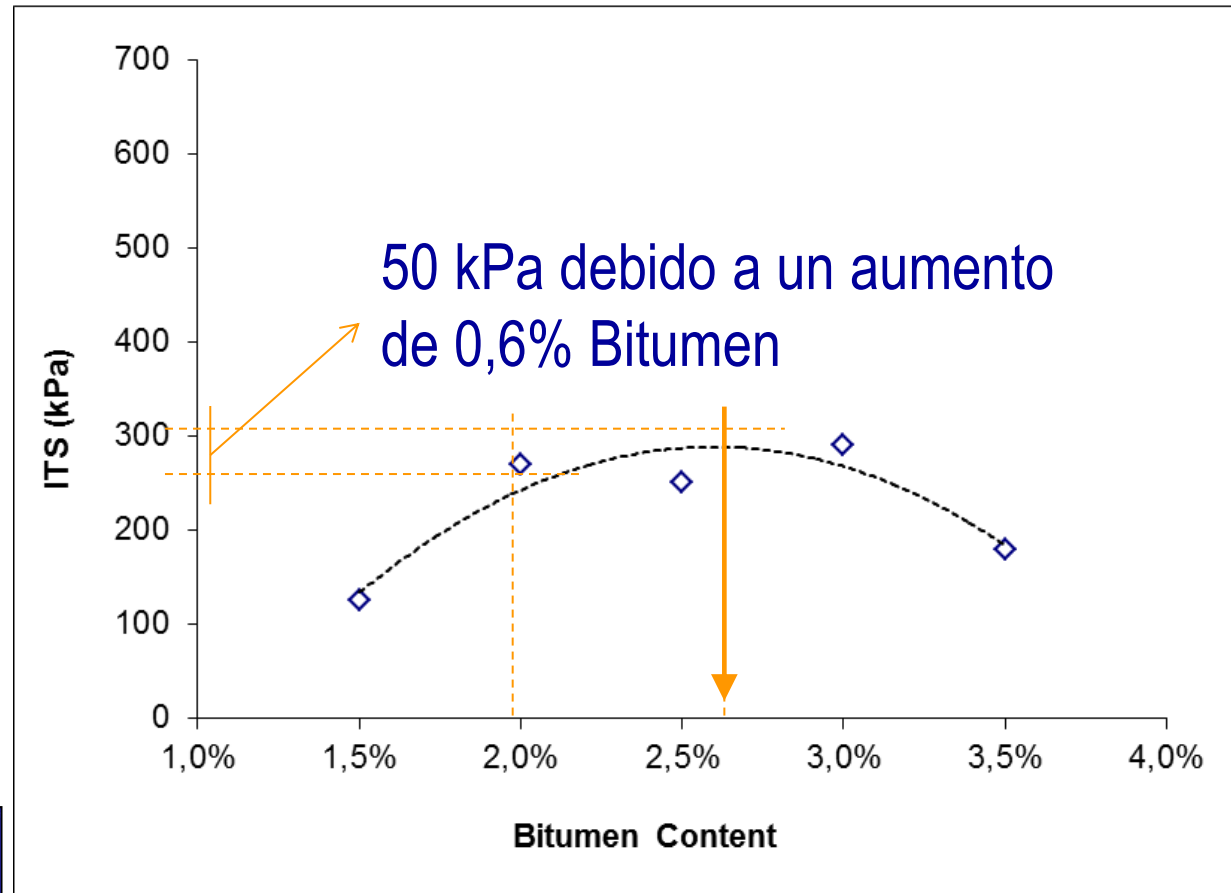
Definición Temp° Bitumen
y Cantidad Agua
Expansión

ITS: Indirect Tensile
Strength test



Criterio de Diseño:
Máxima Resistencia ITS
Probetas Curadas

$$ITS = \left(\frac{2 * P}{\pi * h * d} \right) [KPa]$$



Mezcla con Asfalto Espumado – Diseño Mezcla

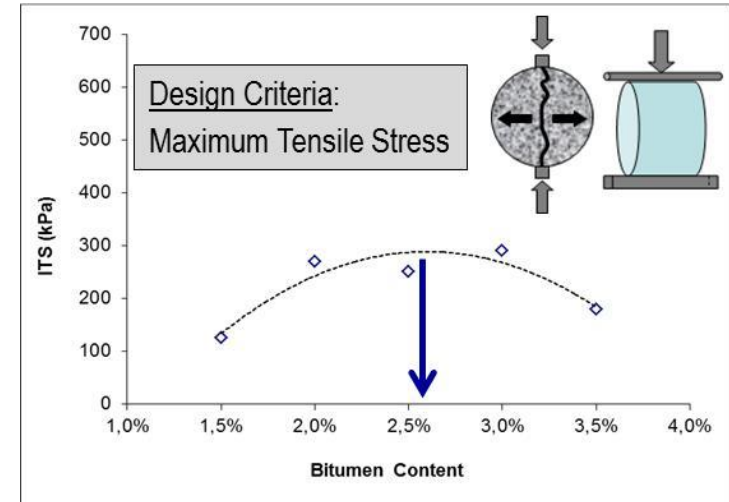
Caracterización
Material Granular

Caracterización
Espuma Asfáltica

Preparación Mezclas usando:
1 nivel de filler activo (fijo)
5 niveles contenido Bitumen

Curado acelerado de
probetas

Ensayo de probetas
usando ensayo ITS

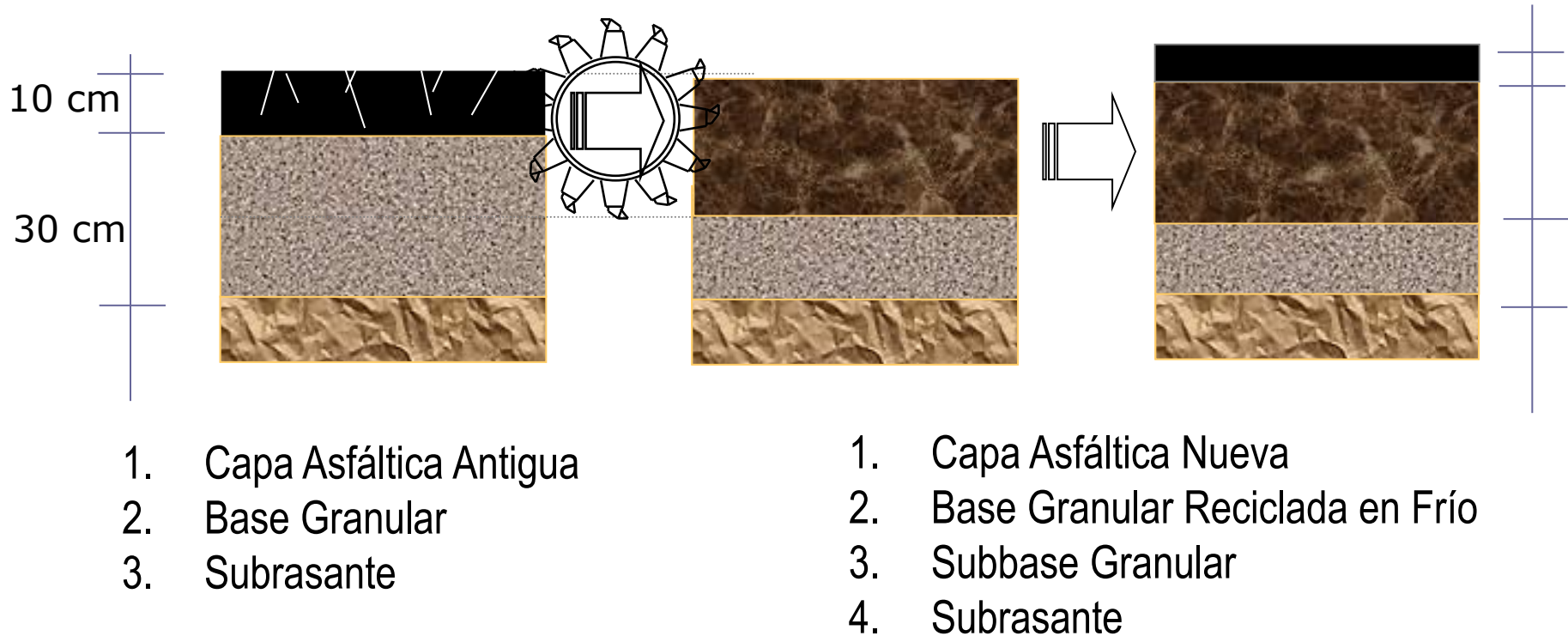


3. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO



Procedimiento Constructivo - Ejemplo

La profundidad de reciclado depende del diseño estructural y condiciones del proyecto.



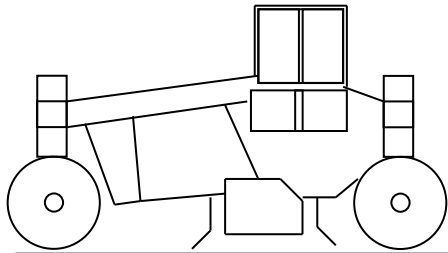
¡Es un proceso rápido!

**1.0 km/pista trabajando el 40% de la
jornada...**

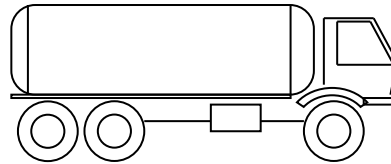
Procedimiento Constructivo – Logística e Insumos

Tren N°1

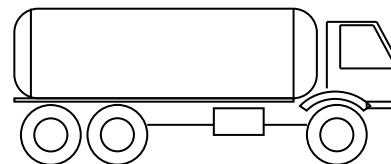
Recicladora



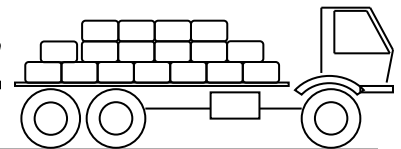
Asfalto



Agua

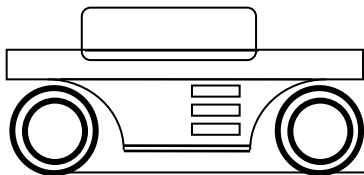


Cemento

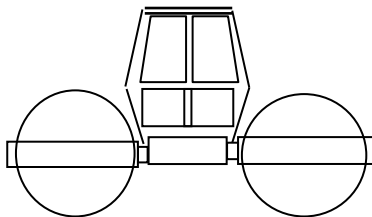


Tren N°2

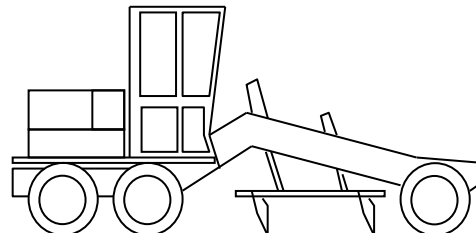
**Compactación
Final**



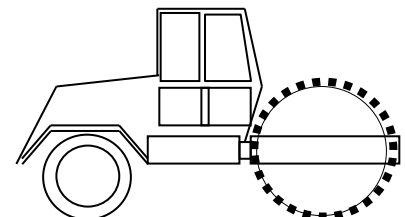
**Compactación
Secundaria**



Perfilado



**Compactación
Primaria**

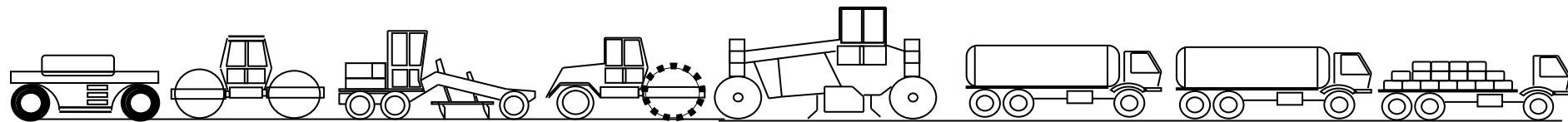


Procedimiento Constructivo – Logística e Insumos

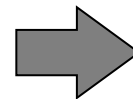
➤ Planificación Proceso de Reciclado

Para asegurar un proceso constructivo exitoso se requiere cumplir **7** pasos previos.

1. Organización
2. Capacitación
3. Planificación
4. Planificación
5. Planificación
6. Planificación
7. **Planificación**

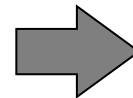


Velocidad de avance: 5 → 10 m/min



1000 m-corte en 2,5 hrs

Rendimiento real



1000 m-pista en 1 día.

Procedimiento Constructivo – Logística e Insumos

➤ Planificación Proceso de Reciclado: CORTES



Huequén – Los Sauces

Procedimiento Constructivo – Logística e Insumos



Temperatura del Asfalto

Procedimiento Constructivo – Logística e Insumos

➤ Verificación de Equipos



Procedimiento Constructivo – Logística e Insumos

➤ Verificación de Puntas



Punta

Procedimiento Constructivo – Logística e Insumos

➤ Movimiento y Ubicación de Tren de Reciclaje



Procedimiento Constructivo – Logística e Insumos

➤ Colocación de Equipos



Coordinación de Equipos

Procedimiento Constructivo – Logística e Insumos

➤ Control de Tránsito



Procedimiento Constructivo – Logística e Insumos

➤ Control de Tránsito



Procedimiento Constructivo – Logística e Insumos



Procedimiento Constructivo – Logística e Insumos



➤ Control de Tránsito: **SEGURIDAD**

Procedimiento Constructivo – Logística e Insumos

➤ Demarcación Cortes de Trabajo



Procedimiento Constructivo – Logística e Insumos

➤ Colocación del Cemento



Cemento: $2,1 \text{ ton/m}^3 \times 1,9 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 1,5 \% = 11,97 \text{ kg/m}$
 $42,5 \text{ kg} / 11,97 \text{ kg/m} = 3,57 \text{ m}$

Procedimiento Constructivo – Logística e Insumos

➤ Colocación del Cemento



X

Procedimiento Constructivo – Logística e Insumos

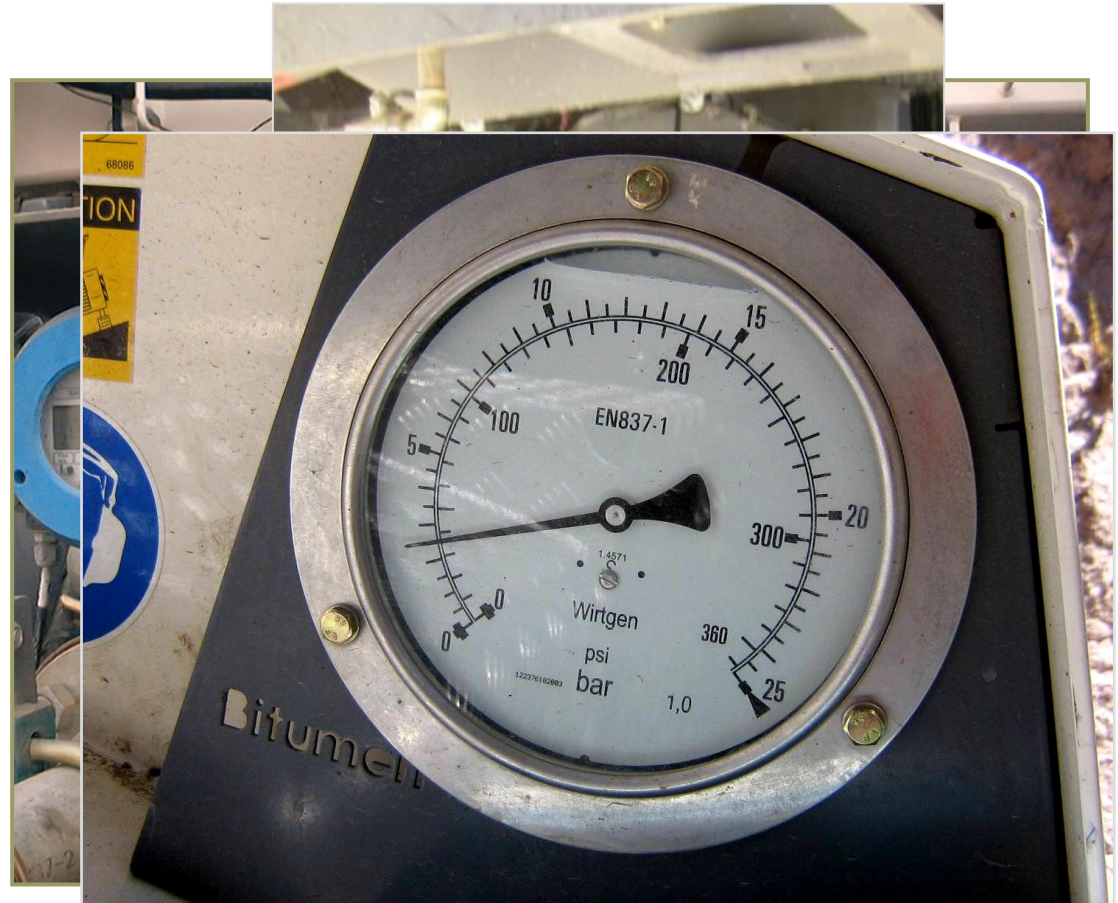
➤ Colocación del Cemento



Procedimiento Constructivo – Controles

➤ Chequear: Temperatura y Flujo de Asfalto

- ✓ Temperatura Asfalto
- ✓ Flujo de Asfalto
- ✓ Evaluación Visual
- ✓ Espuma Asfáltica
- ✓ Presión de Trabajo

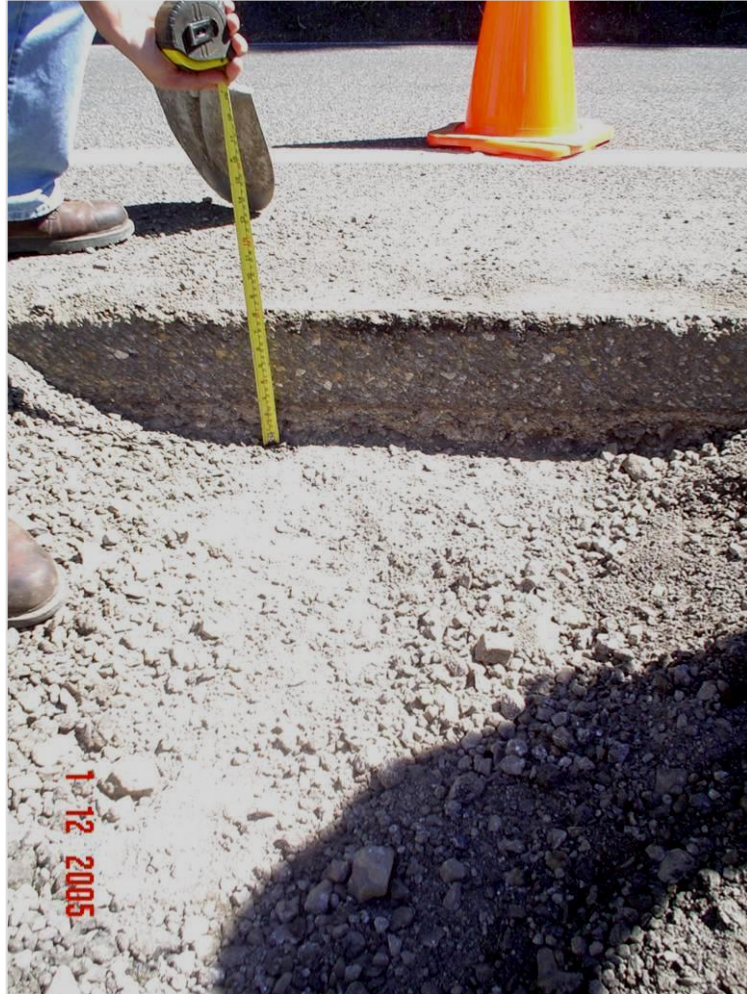


Procedimiento Constructivo – Controles



Procedimiento Constructivo – Controles

➤ Chequeo de Espesores en ambos costados del corte



Procedimiento Constructivo

!!! Inmediatamente realizado el
proceso de reciclado !!!

COMPACTACIÓN



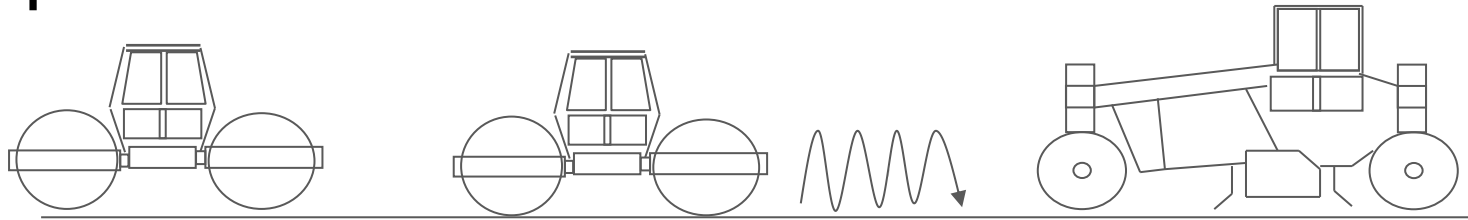
Procedimiento Constructivo

➤ Compactación Primaria



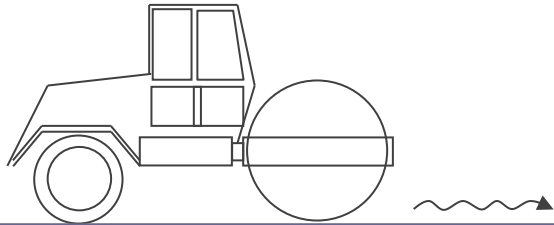
Procedimiento Constructivo

➤ Compactación Primaria



Procedimiento Constructivo

➤ Compactación Secundaria



Baja Amplitud



Fuente: G.Thenoux

Procedimiento Constructivo - Controles

➤ Chequeo de Densidad Durante Construcción (autocontrol)

Se requiere controlar la densidad (X% del Proctor)



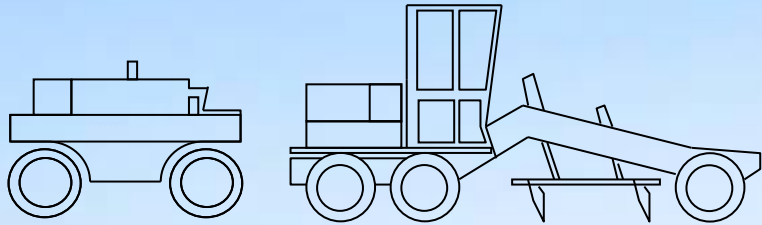
Densímetro Nuclear

Procedimiento Constructivo - Controles

➤ Perfilado, Nivelación y Compactación Final

**Compactación
Final**

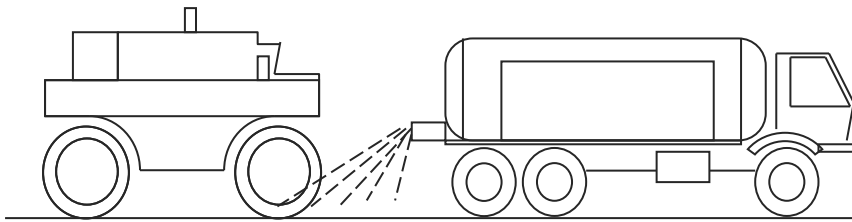
Perfilado



Procedimiento Constructivo

➤ Perfilado, Nivelación y Compactación Final

En caso de Tránsito, Calor y/o Viento, se requiere mantener la superficie húmeda



Procedimiento Constructivo - Controles

➤ Chequeo de Densidad Definitiva



Cono de Arena



Procedimiento Constructivo



BASE RECICLADA

**EVITAR TRÁNSITO EN
CASO DE LLUVIA**

Procedimiento Constructivo – Carpeta de Rodadura

➤ Limpieza previo a colocación Riego de Liga



Procedimiento Constructivo – Carpeta de Rodadura

➤ Riego de Liga



Procedimiento Constructivo – Carpeta de Rodadura

➤ Carpeta Asfáltica



Procedimiento Constructivo – Carpeta de Rodadura

➤ Compactación Carpeta Asfáltica





Seminario Caminería Rural

4. Tratamiento y gestión del material particulado



Álvaro González V.

Profesor Asociado - Escuela de Ingeniería
Director Técnico – Unidad de Ingeniería Vial Dictuc
Pontificia Universidad Católica de Chile



Planteamiento del Problema

Camino en Minería a Cielo Abierto



Problema: Polvo y Consumo de Agua



Polvo en Caminos

- 60% emisión de la mina.
- Seguridad
- Productividad y Costos
- Salud y Comunidades



Agua

- Hasta 10% del total mina
- Productividad y Costos

Soluciones: Supresores de Polvo



**Derivados del
Petróleo**



Polímeros



Resinas Vegetales



Cloruros o Sales

Cloruro de
Magnesio

Cloruro de
Sodio

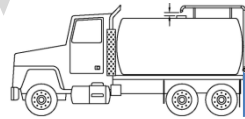
Cloruro de
Calcio

Impacto en Ahorro de Agua

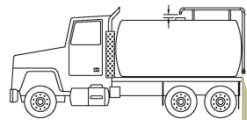
Objetivo del Trabajo

“X” L/m²/día

Agua

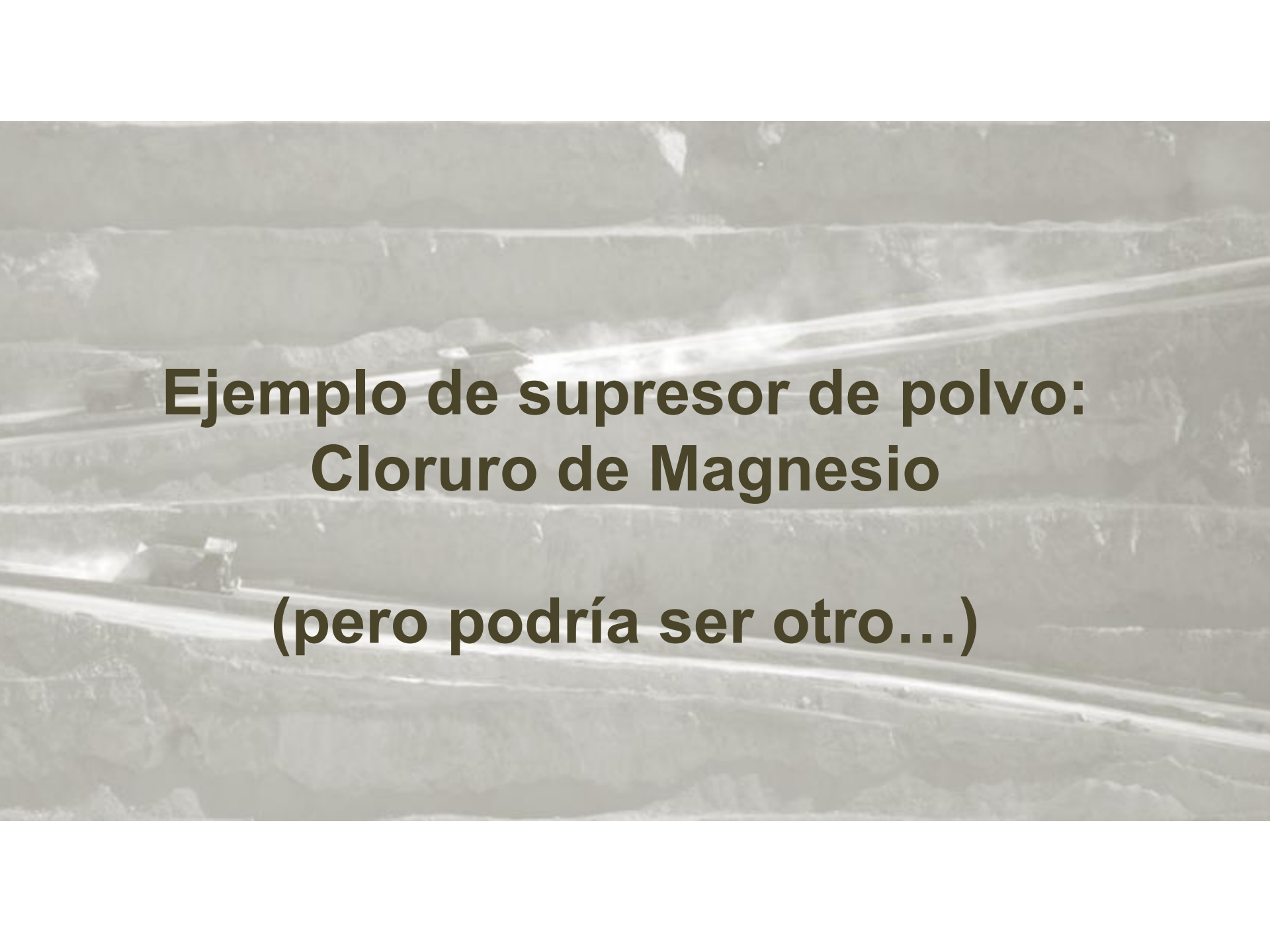


Cloruro de Magnesio



“Y” L/m²/día



A grayscale photograph of a large open-pit mine. The image shows multiple terraced levels of the mine, with heavy machinery like trucks and excavators visible on the different levels. The scene is dusty, with clouds of dust or mist rising from the ground, particularly around the machinery. The overall tone is industrial and somewhat somber due to the monochrome palette.

**Ejemplo de supresor de polvo:
Cloruro de Magnesio**

(pero podría ser otro...)

Producción de Cloruro de Magnesio

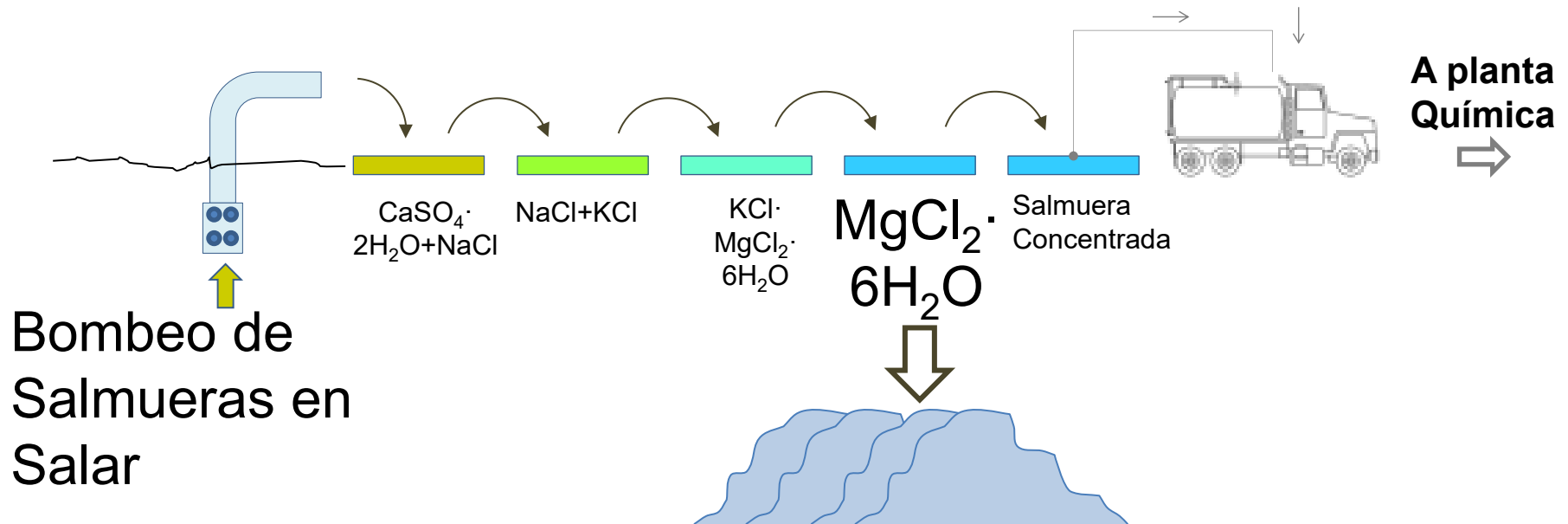


Producción de Cloruro de Magnesio

Radiación Solar



Piscinas de Evaporación en Salar de Atacama para producción de Litio



3 millones de toneladas de subproducto:
Cloruro Hexahidratado de Magnesio

Propiedades del Cloruro de Magnesio

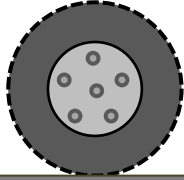
Propiedades

- Higroscópico
- Altamente Soluble y Delicuescente
- Reduce Presión de Vapor
- Aumenta Tensión Superficial



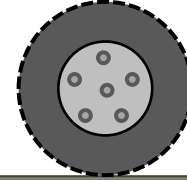
Aplicaciones en Caminos

Supresor de Polvo



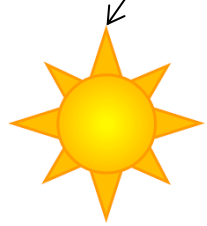
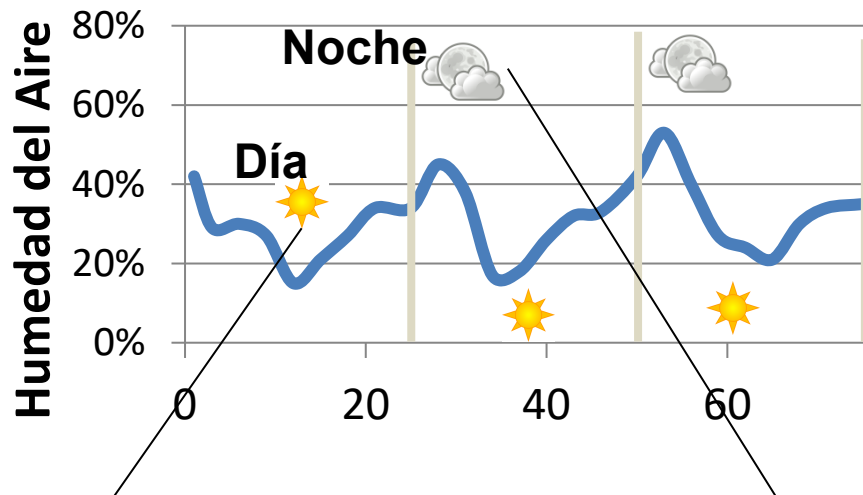
Contenido: 2 - 3 kg/m²

Estabilización



Contenido: 60 - 100 kg/m³

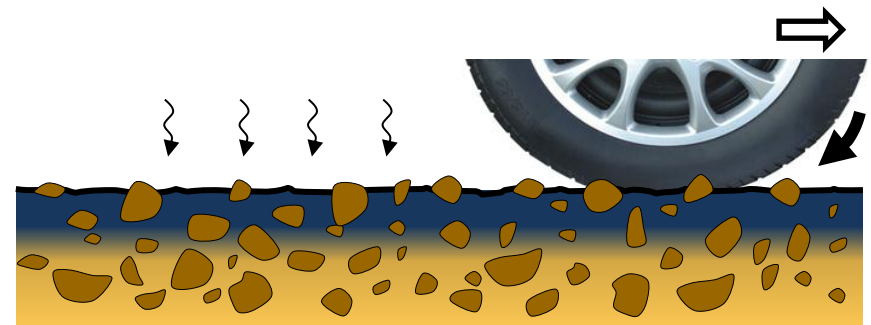
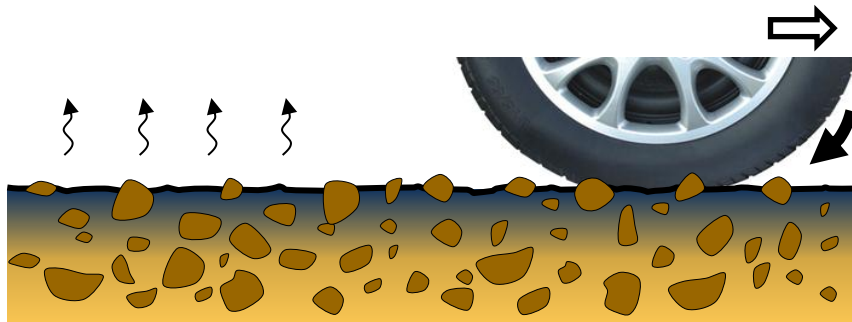
Principio de Funcionamiento



Humedad Relativa del Aire baja en el día



Humedad Relativa del Aire sube en la noche



A grayscale photograph of an open-pit mine. Several large trucks are visible on the winding roads of the mine, moving up and down the terraced levels. The terrain is rugged and rocky, with significant dust or mist rising from the roads. The text "Monitoreo en terreno" is overlaid in the center.

Monitoreo en terreno

Monitoreo de Caminos No Pavimentados

Industria Minera

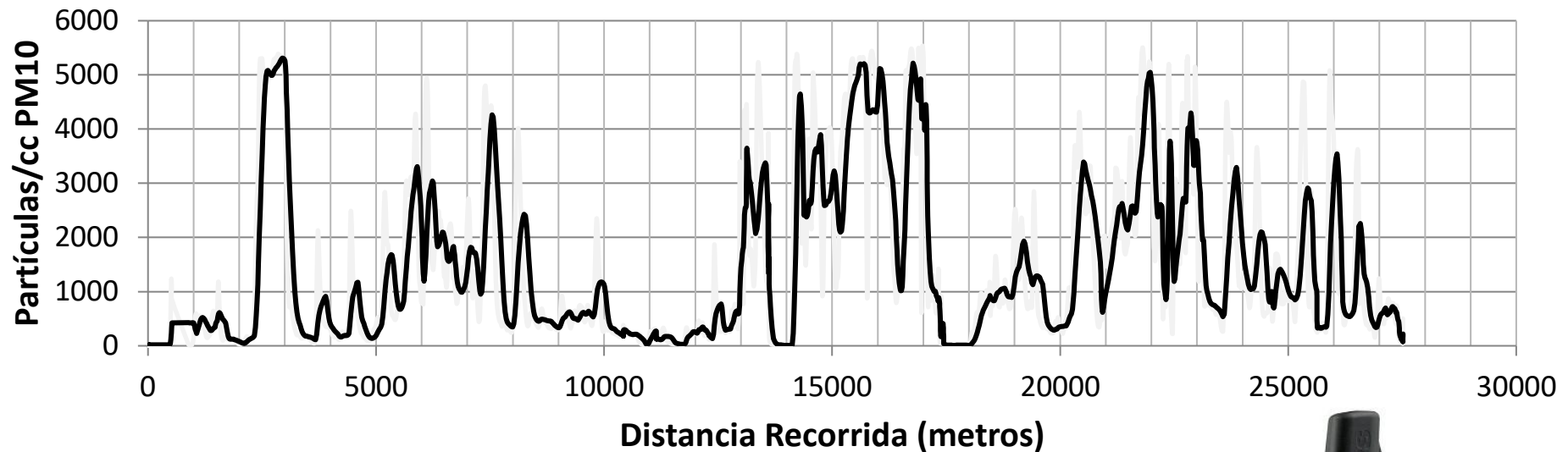


Fuente: Thenoux et al., 2007



Monitoreo de Caminos No Pavimentados

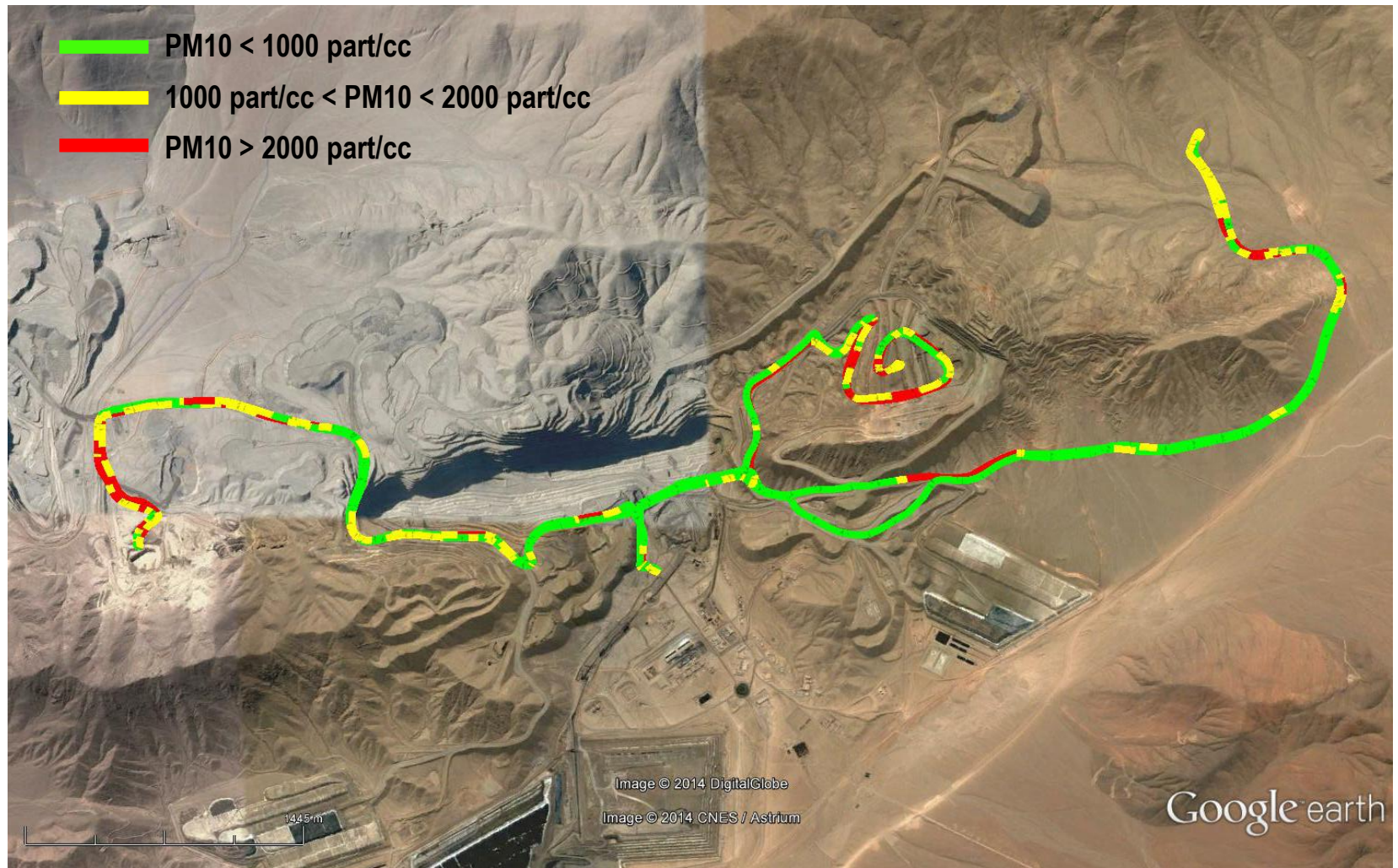
Industria Minera



+ GPS



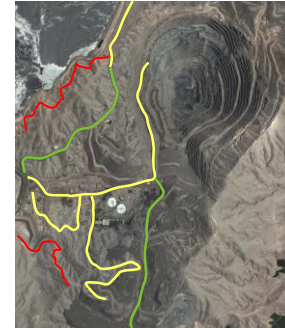
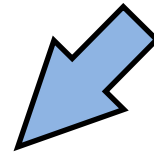
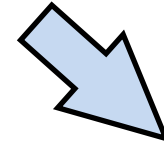
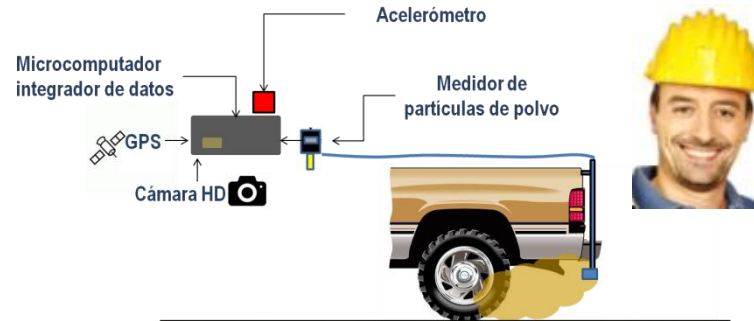
Monitoreo de Caminos No Pavimentados



Monitoreo de Caminos No Pavimentados

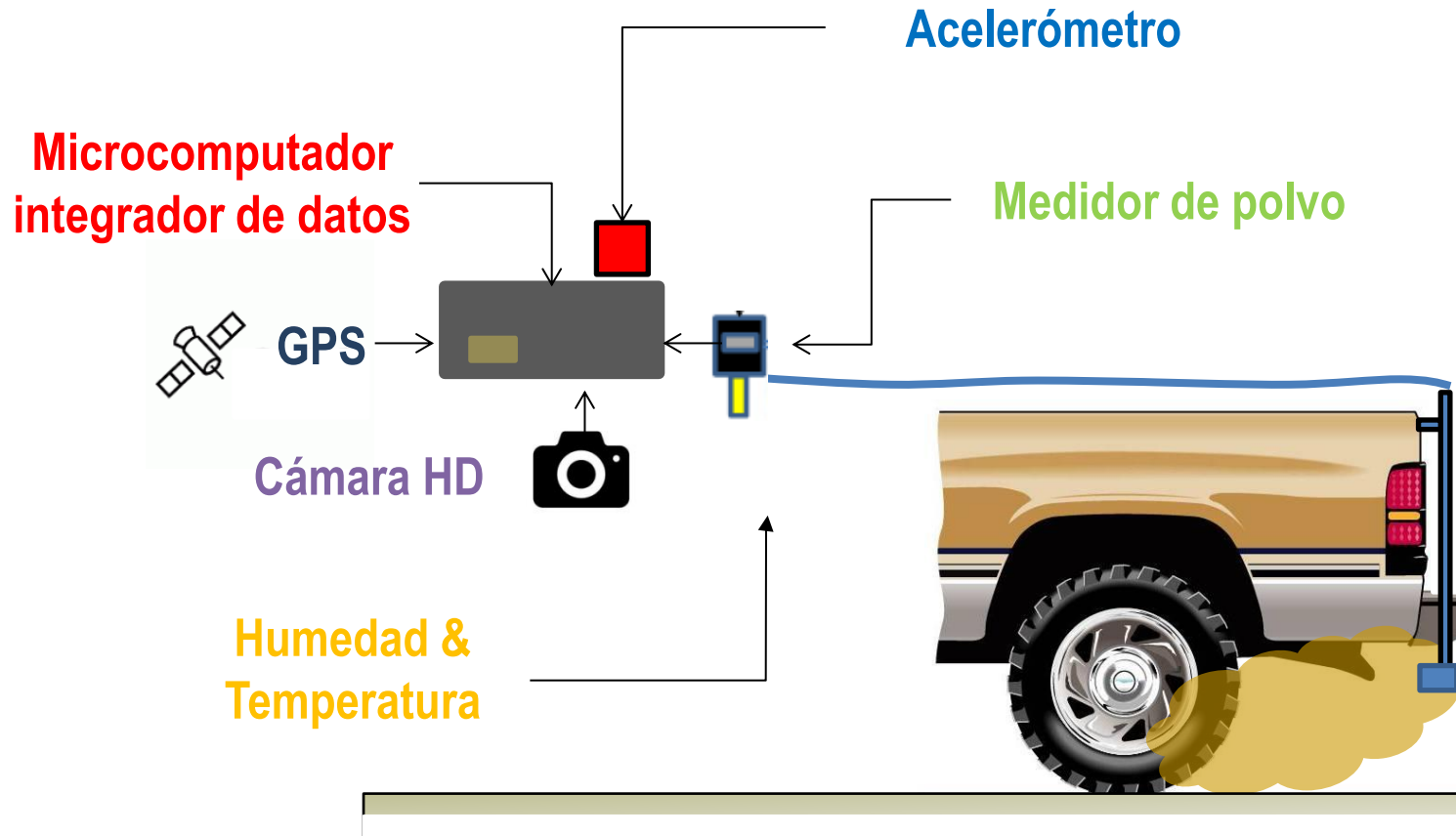


SISTEMA MORSE



SISTEMA MORSE

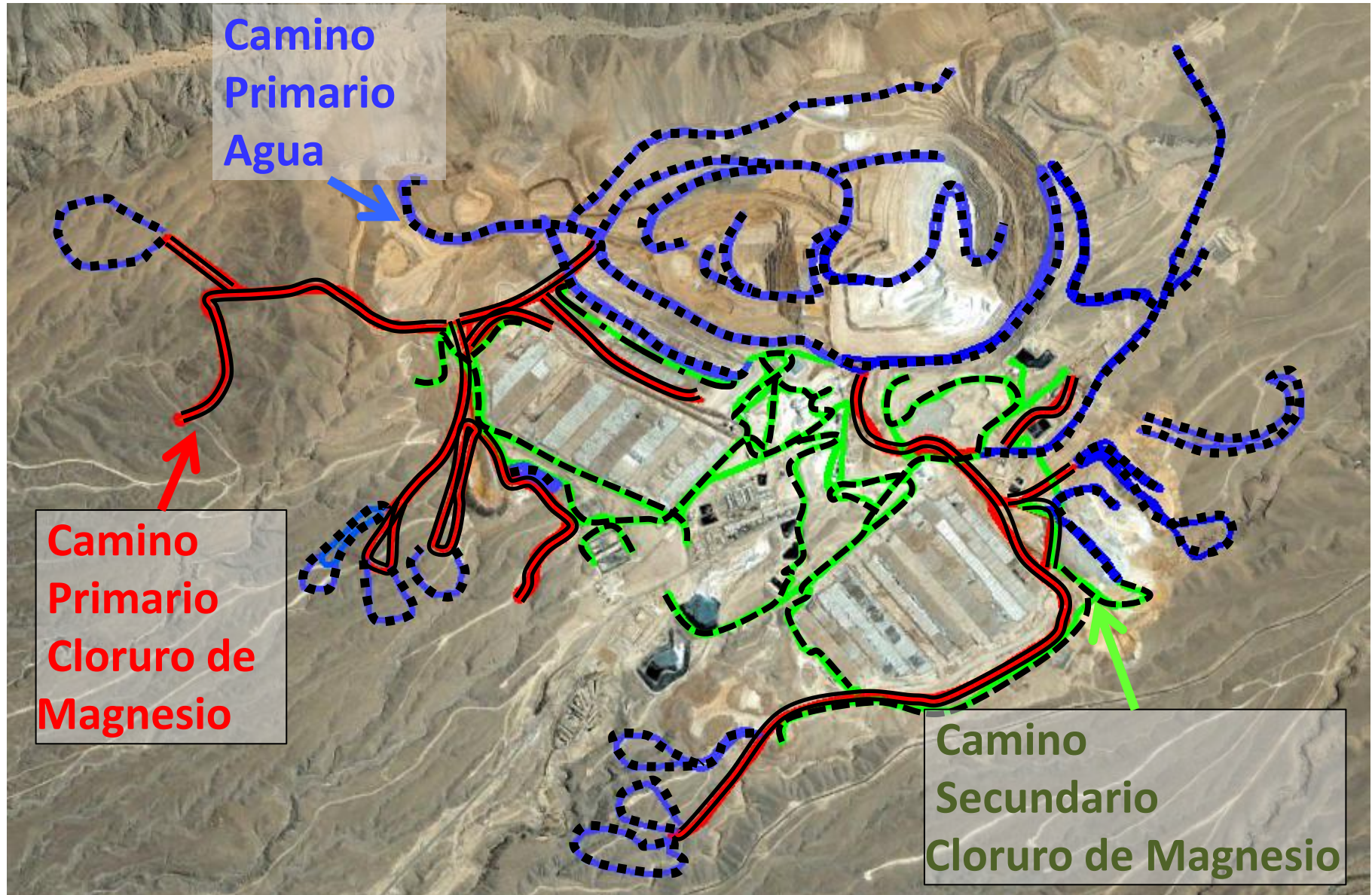
Parte 1: Integración de Sensores





Caso Estudio

Caso Estudio en Minera

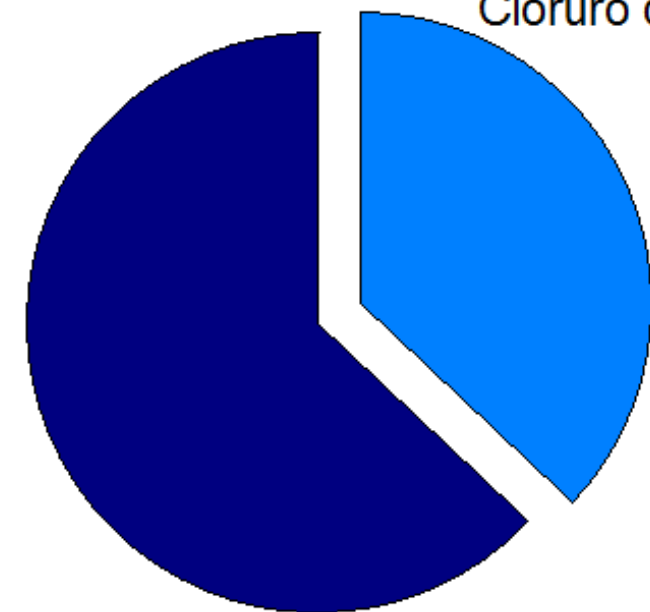


Caso Estudio en Minera

Caminos Primarios

1.278.000 m²

37% Tratados con
Cloruro de Magnesio

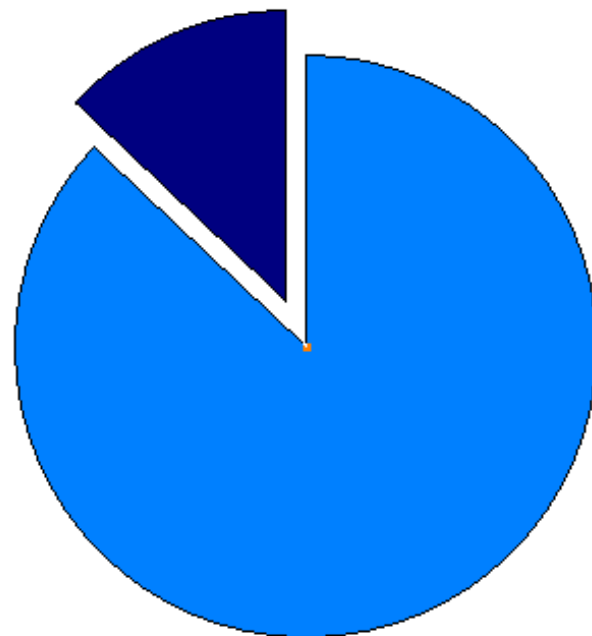


63% Regados con Agua

Caminos Secundarios

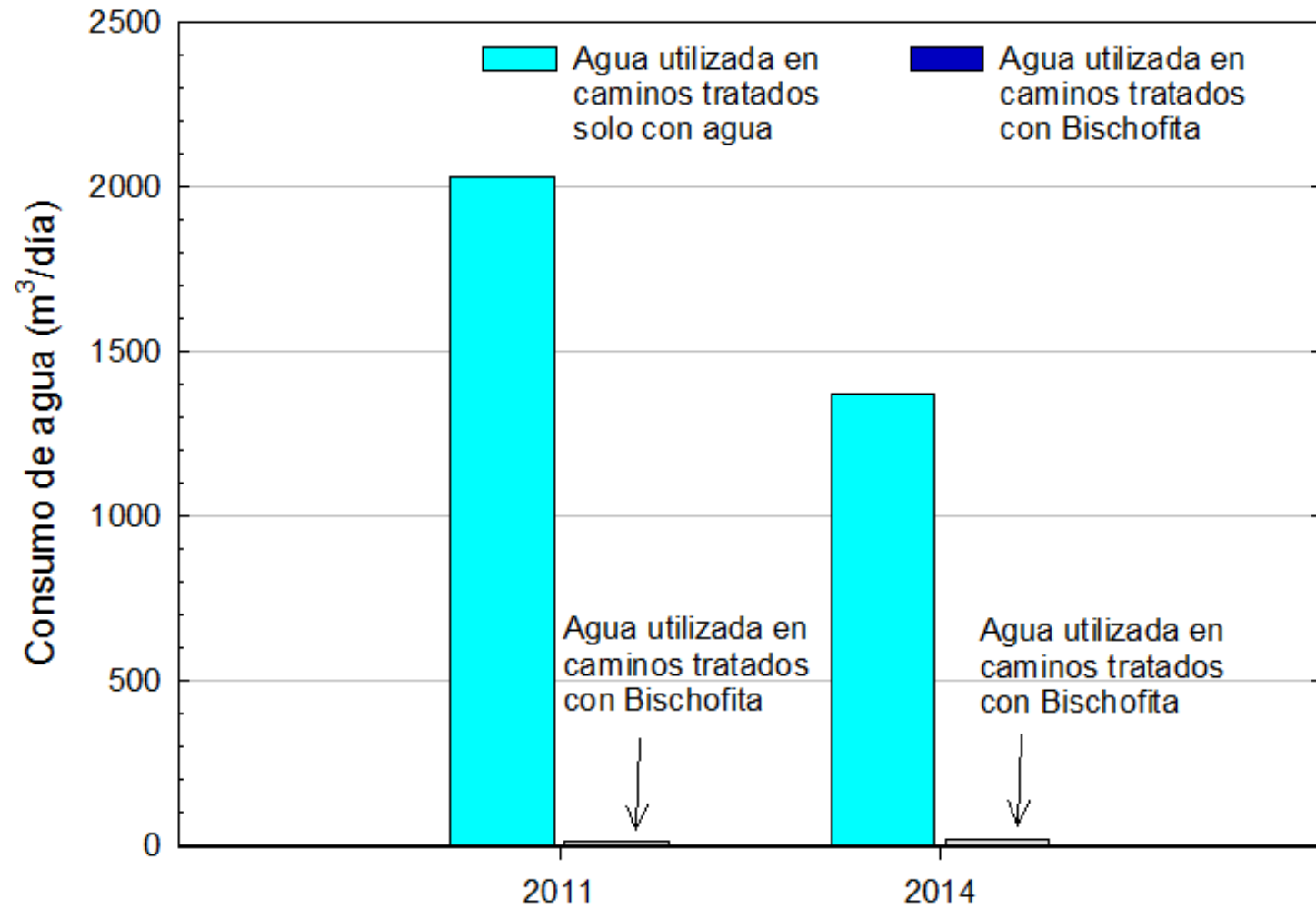
238.000 m²

13% Regados con Agua



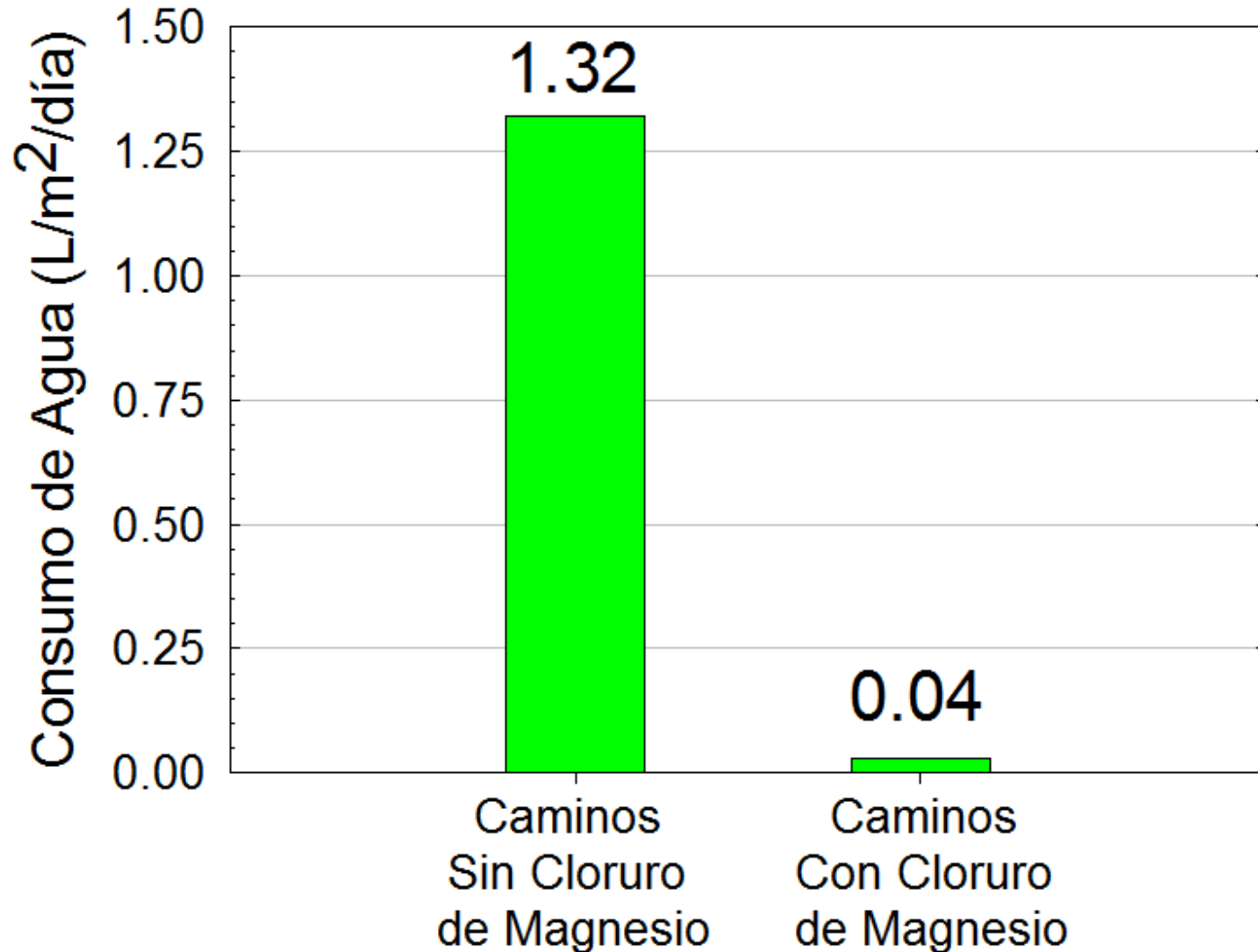
87% Tratados con
Cloruro de Magnesio

Consumo Antes y Después



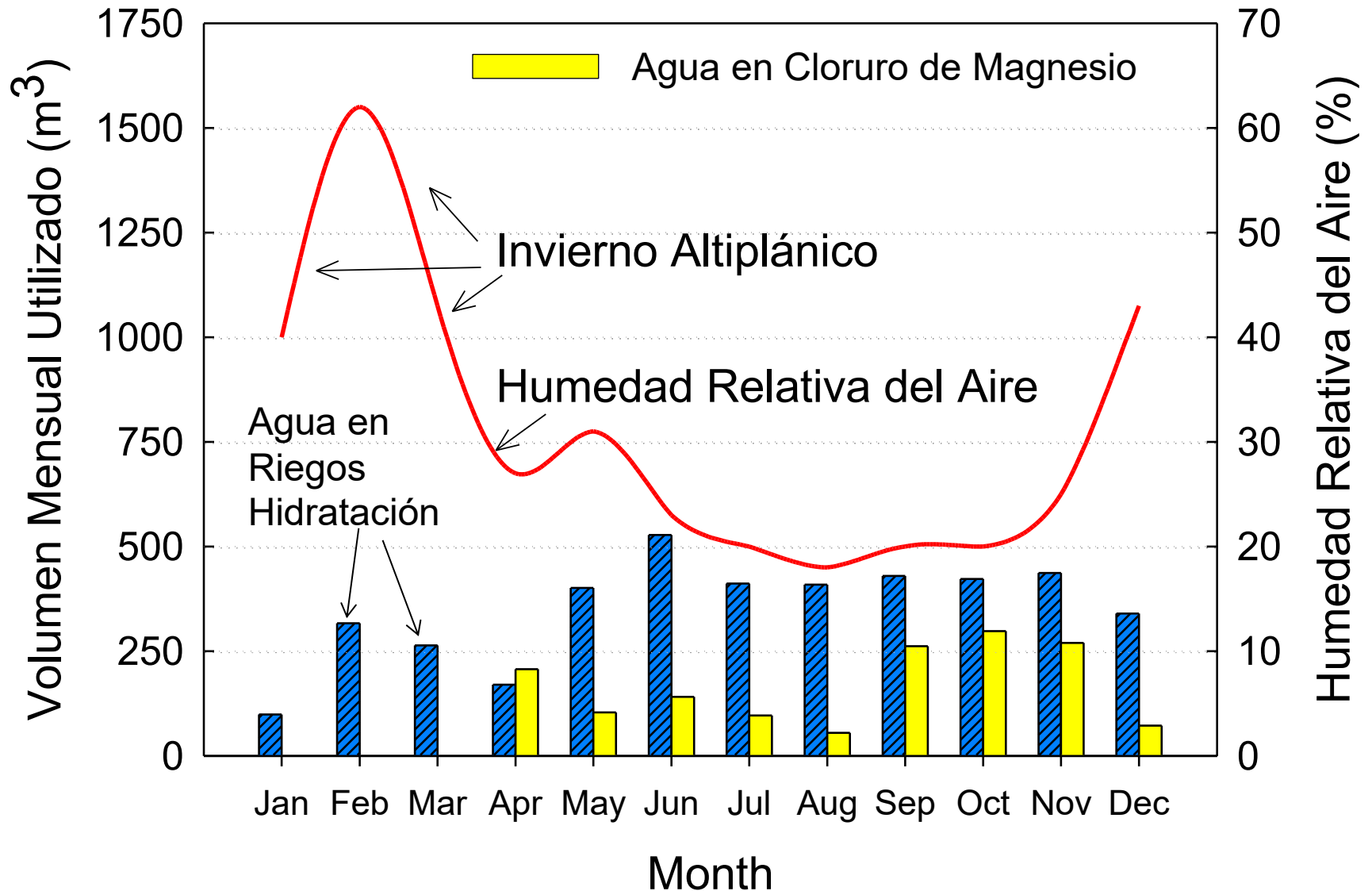
Caso Estudio en Minera

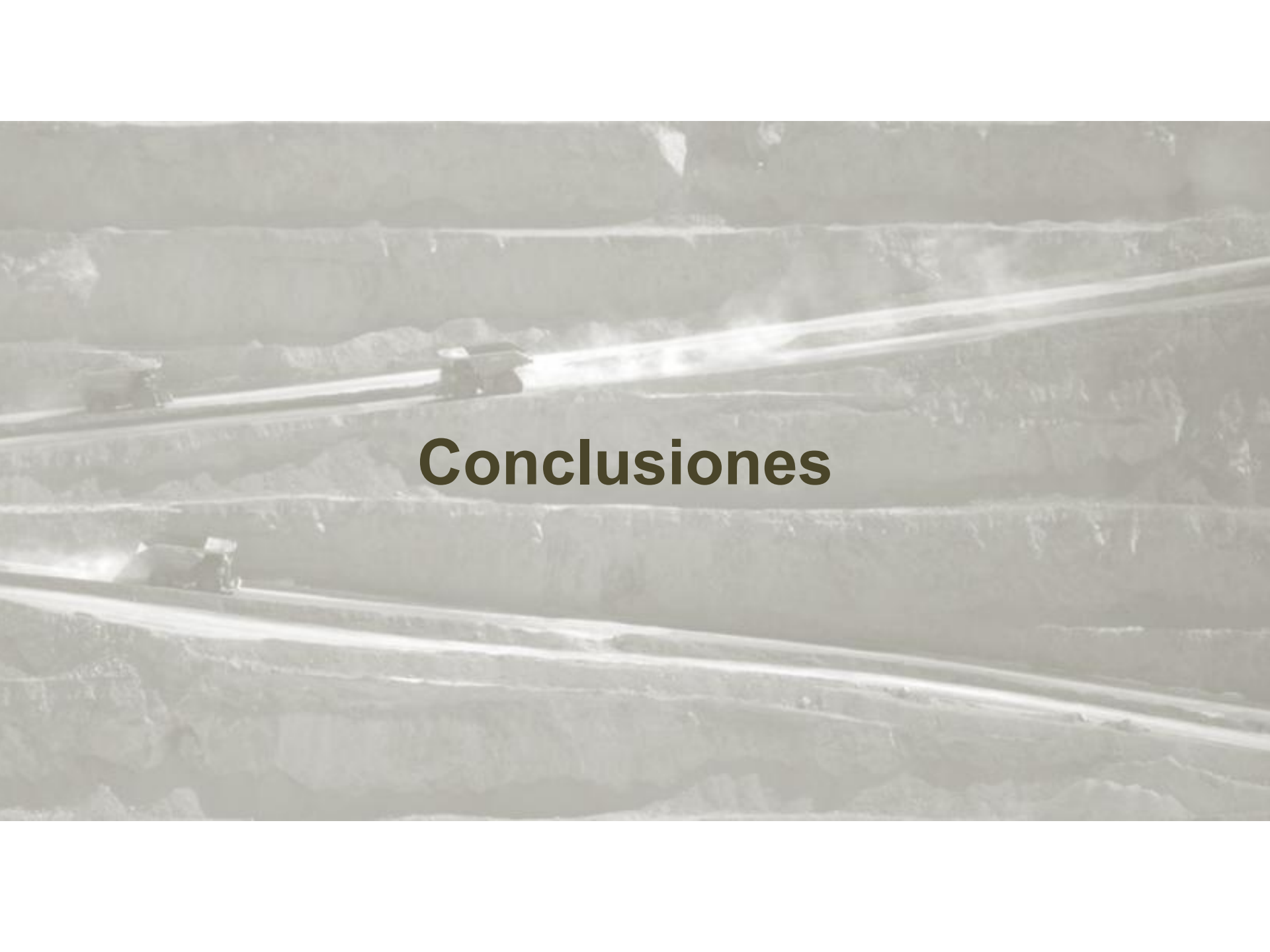
Consumo de Agua por Metro Cuadrado



Historial de Riegos

Caminos Tratados con Cloruro de Magnesio





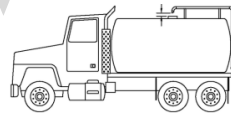
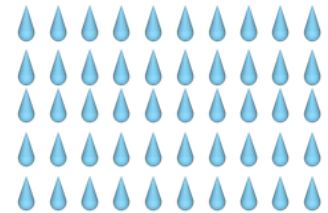
Conclusiones

Conclusiones

- El agua utilizada en caminos mineros representa hasta el 10% del consumo total de una mina.
- El principal mecanismo de absorción y retención de agua del Cloruro de Magnesio es la higroscopía.
- Para el suelo estudiado, el Cloruro de Magnesio retarda la evaporación 5 veces aproximadamente.
- El uso de Cloruro de Magnesio en una mina redujo el consumo de agua de 1.32 L/m²/día a 0.04 L/m²/día.

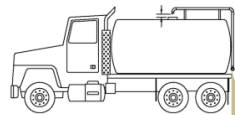
Agua

1.32 L/m²/día

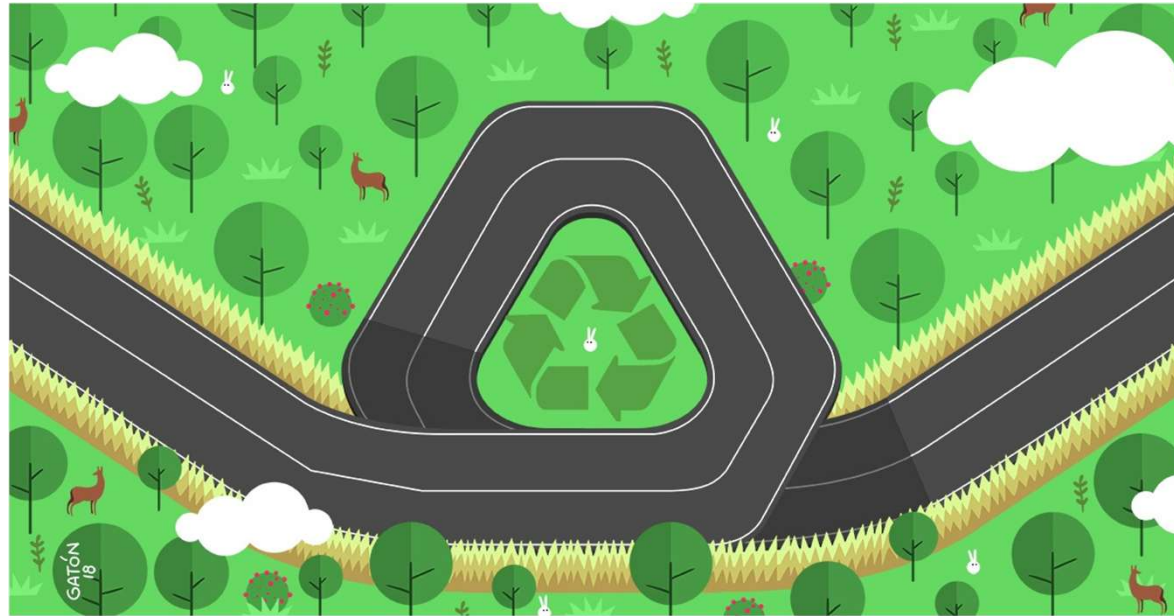


Cloruro de Magnesio

0.04 L/m²/día



Sostenibilidad en la ingeniería vial



Kevork Micael Nalbandian/kmnalbandian@uc.cl

- 1- ¿Qué es la infraestructura vial?
- 2- Contexto sostenibilidad
- 3- Sostenibilidad en pavimentos
- 4- Técnicas sostenibles
- 5- Ejemplo análisis de sostenibilidad
- 6- Calificación ambiental infraestructura
- 7-Ejercicio

Infraestructura

¿Qué es infraestructura?

La infraestructura es el **conjunto de servicios, medios técnicos e instalaciones que permiten el desarrollo de una actividad**. La palabra infraestructura proviene del latín *infra* ("debajo") y *structus* ("construido"), y por ello se utiliza este término para referir a una estructura que sustenta a otra, actuando como su base.

En su uso más frecuente, la infraestructura comprende el conjunto de obras públicas, instalaciones, instituciones, sistemas y redes que sostienen el funcionamiento de ciudades, países y otras formas de organización social.

<https://concepto.de/infraestructura/>

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Infraestructura - transporte

5



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Infraestructura - otras

6



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Infraestructura vial

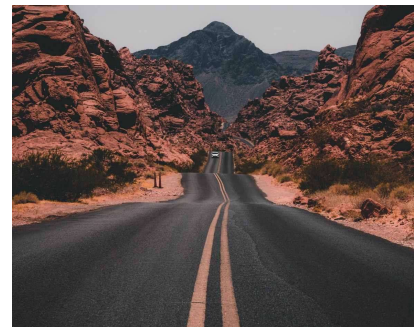
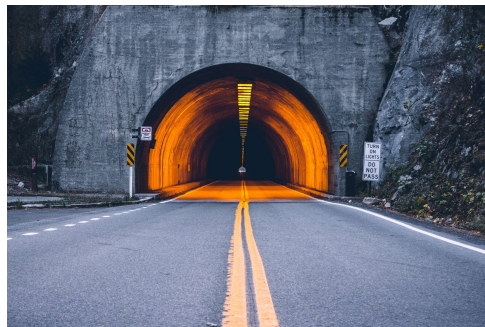
Infraestructura vial

8

Definición:

Todo el conjunto de elementos que permiten el desplazamiento de vehículos en forma confortable y segura desde un punto a otro, minimizando externalidades. Esto incluye pavimentos, los puentes, túneles, dispositivos de seguridad, señalización, sistemas de drenaje, taludes, terraplenes y elementos paisajísticos.

(Solminihac et al. 2018)



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

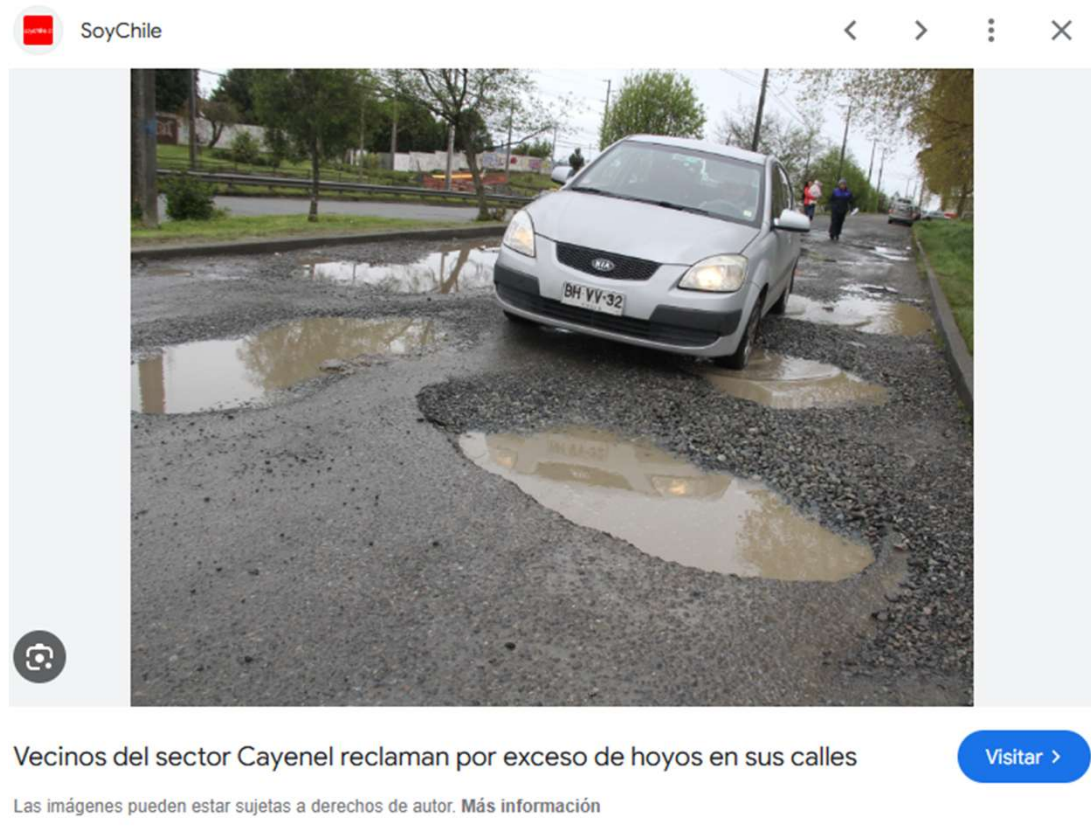
Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Infraestructura vial

9



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Infraestructura vial

10



Noticias Chile | Se mantiene suspensión del tránsito en Cuesta Chinchorro tras nuevo corte de la Ruta 5 Norte – Noticias Chile | Informadorchile |...

Visitar >

Las imágenes pueden estar sujetas a derechos de autor. [Más información](#)

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Infraestructura vial

11

Diario Constitucional -



Medida disciplinaria en contra de Directora de Obras Municipales de Osorno por el colapso del puente Cancura en 2018, se confirma por la Corte Suprem...

Autor: Hector Andrade/AgenciaUno | Crédito: Hector Andrade/AgenciaUno
Derechos de autor: AgenciaUno

¿Quieres saber de dónde proviene esta información? [Más información](#)

Visitar >

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

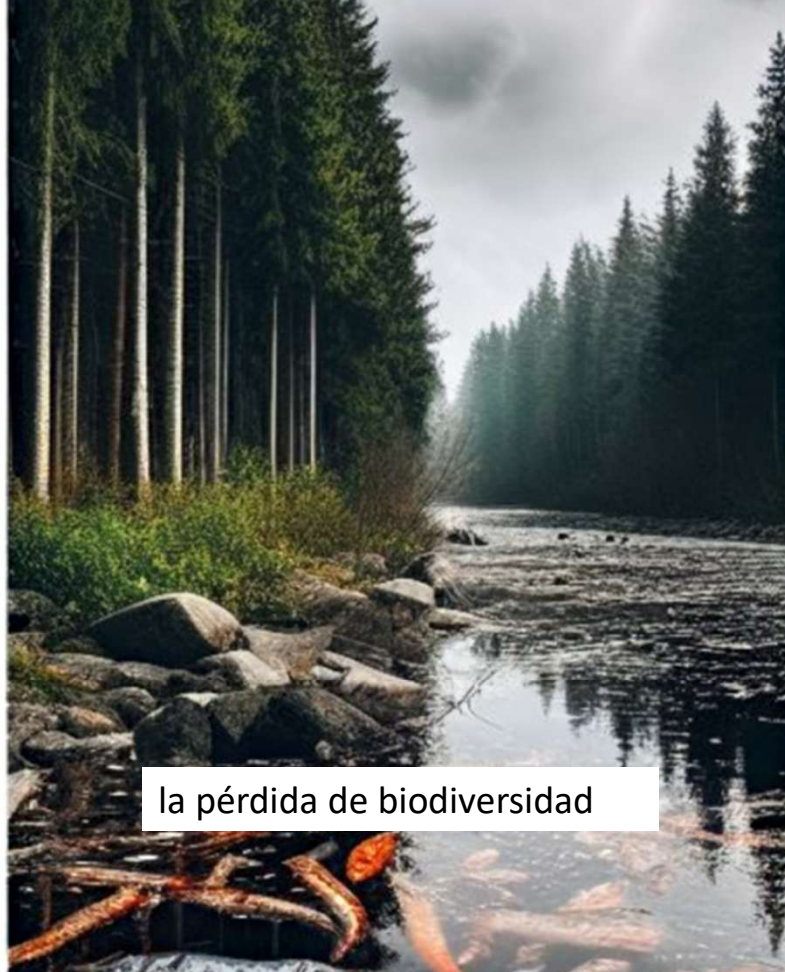
Ejercicio

CONTEXTO

Triple crisis ambiental – ¿qué es?



el cambio climático



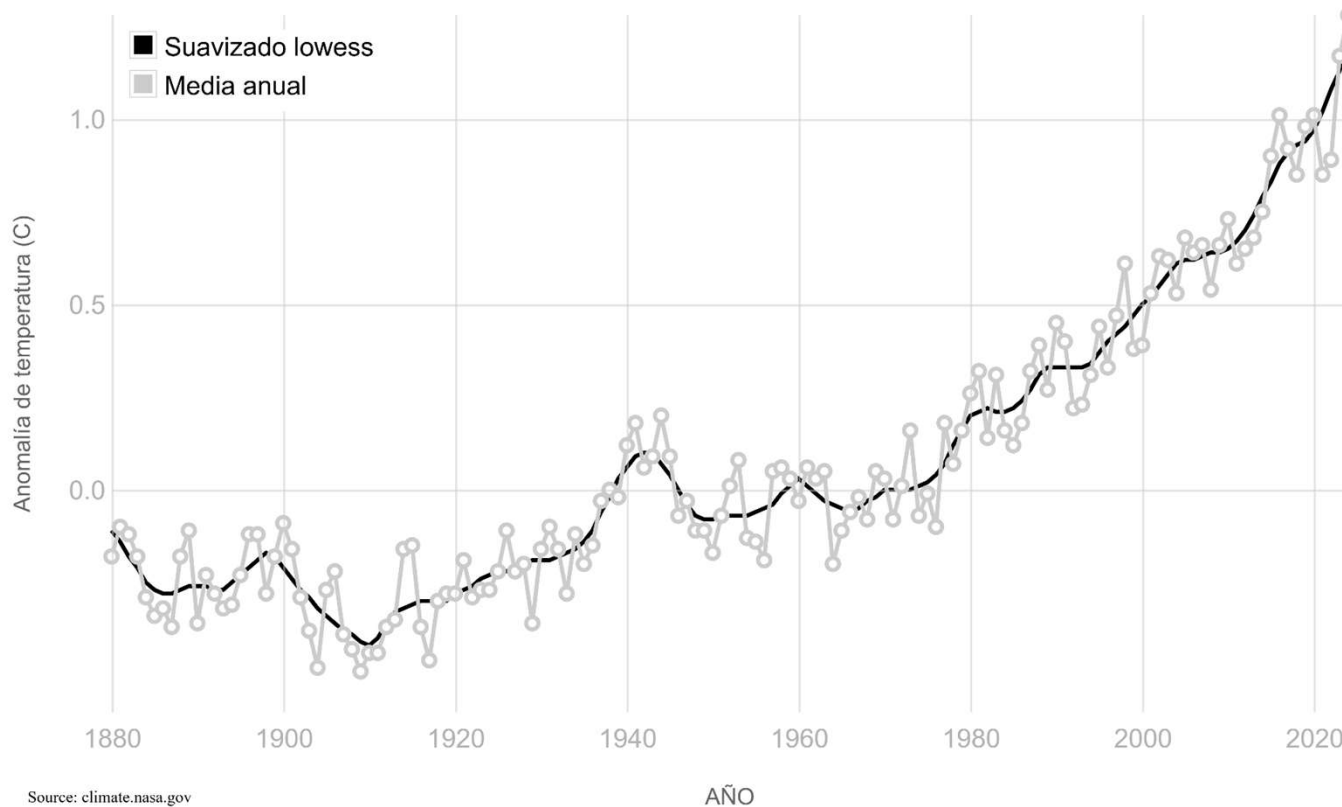
la pérdida de biodiversidad



la contaminación

Contexto – ¿CC qué es?

14



Se refiere al aumento de las temperaturas globales y los fenómenos meteorológicos extremos.

[Temperatura global | Signos vitales – Climate Change: Vital Signs of the Planet](#)

Infraestructura

**Contexto
sostenibilidad**

Sostenibilidad en
pavimentos

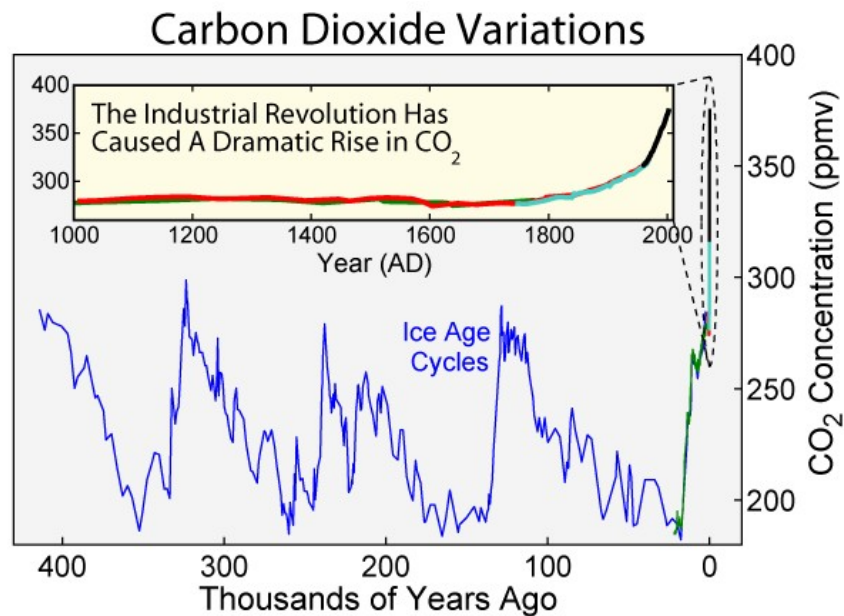
Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

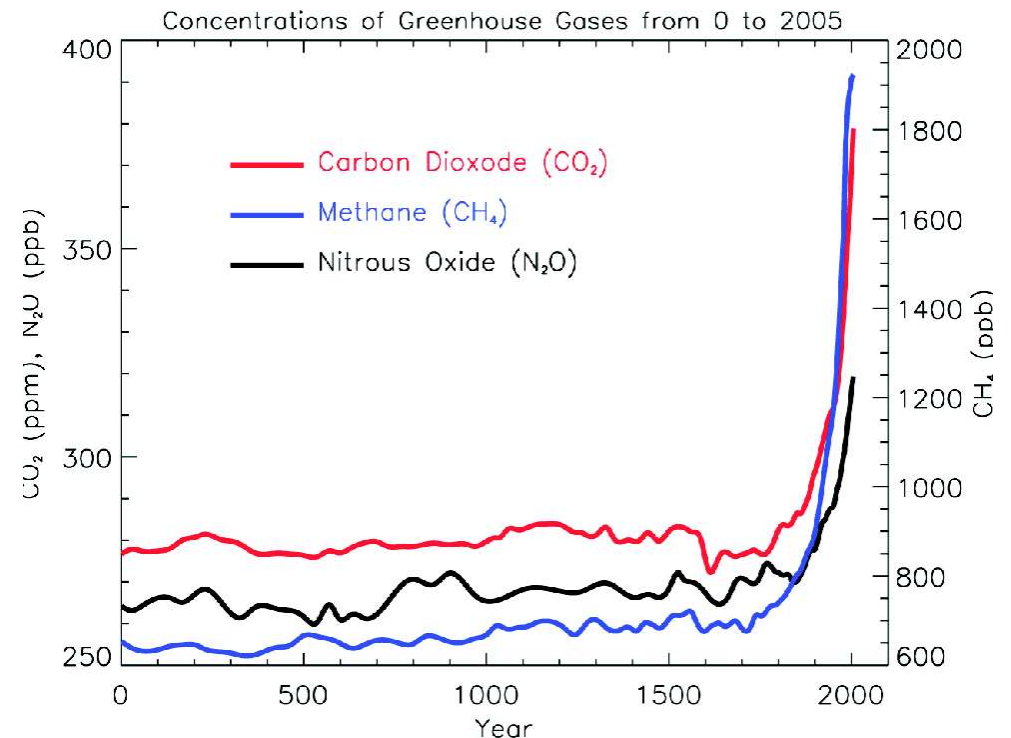
Ejercicio

Contexto – CC Causa

15



Source: R. Rohde, adaptado de Ch. Keeling



La **tasa de incremento de CO₂** (Curva Keeling, Charles David Keeling):

- 0,7 ppm por año hacia 1958
- 2,1 ppm por año desde 2004

Source: U.S. Global Climate Research Program

Infraestructura

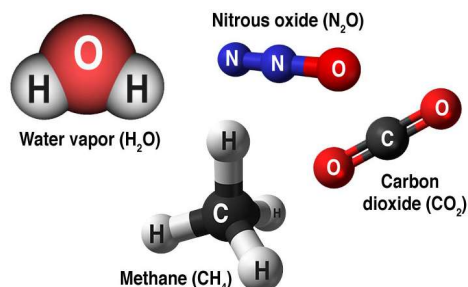
Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Ejercicio

Los Gases Efecto Invernadero (GEI) son aquellos gases con potencial de Calentamiento Global.



Gases de Efecto Invernadero	Participación (%)	Equivalencia en CO_2 de una medida de gas (CO_{2e})
Dióxido de Carbono (CO_2)	60	1
Metano (CH_4)	20	25.4
Óxido Nitroso (N_2O)	6	240
HidrofluoroCarbonos (HFC)		1642
Perfluorocarbonos (PFC)		6015
Hexafluoruro de azufre (SF_6)		23900

Contexto- ¿cómo nos enfrentamos al CC?

17

- Mitigación



Reducir las emisiones de
gases de efecto
invernadero

- Adaptación



nos prepara para sus
impactos inevitables

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

¿Por qué es importante la infraestructura vial en la mitigación?



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

**Sostenibilidad en
pavimentos**

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio





60%

Materiales

(Spence & Mulligan, 1995)





25%

Agua

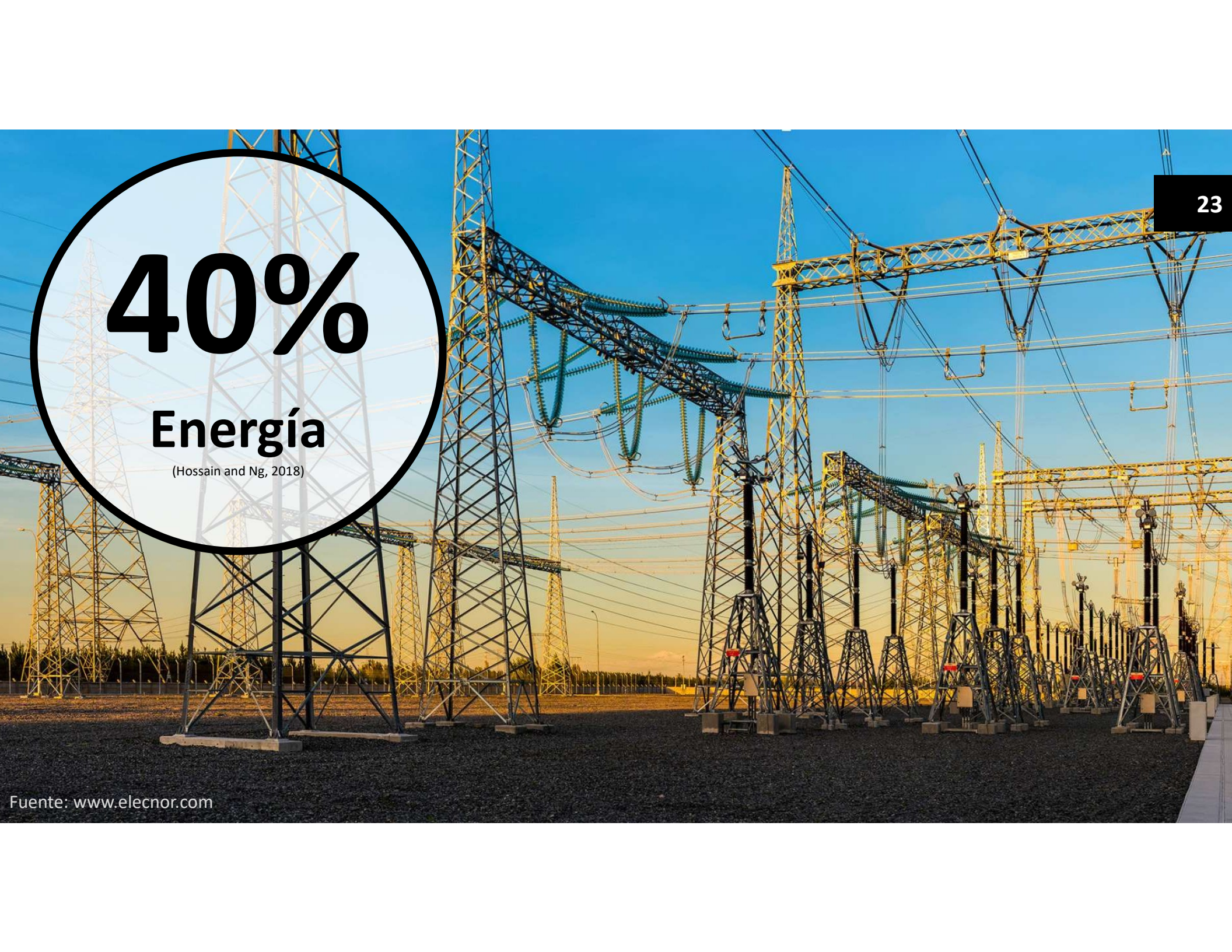
(Kucukvar & Tatari, 2013)



33%

GEI

(Xu et al., 2019)



40%

Energía

(Hossain and Ng, 2018)



25%

GEI

(International Energy Agency, 2017)



70%

GEI del transporte

(European Commission, 2014)



Infraestructura

**Contexto
sostenibilidad**

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio



Fuente: Google





83%



61%



61%



72%



92%



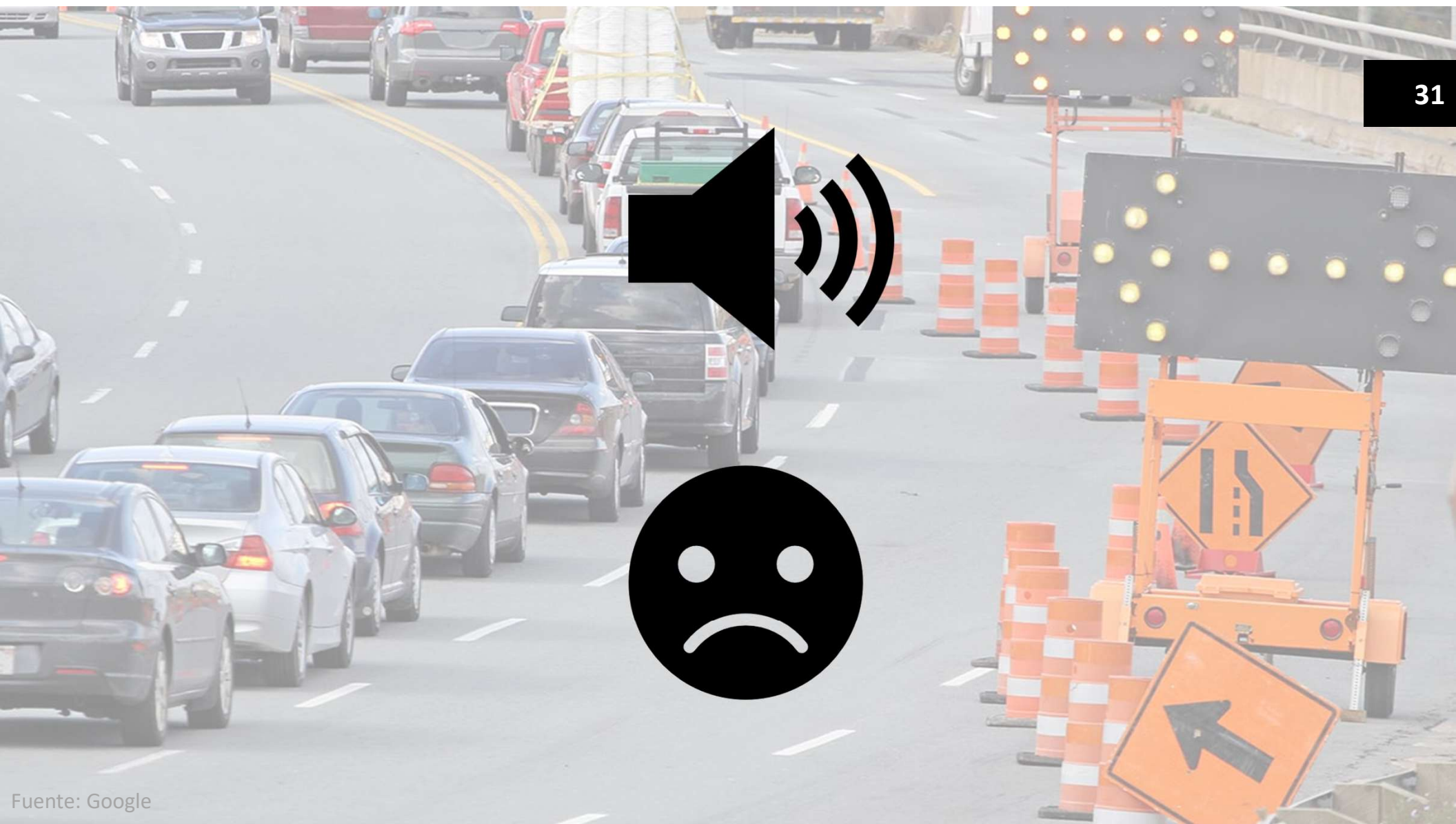
Four large white dollar signs (\$\$\$\$) inside a gray circle.

(FHWA, 2002)



(FHWA, 2002)





A photograph of a road construction site. In the background, a large white concrete mixer truck is discharging into a green and yellow paver machine. Several workers in orange safety vests are visible near the paver. The road surface is being laid with dark asphalt. To the right, a steep, rocky embankment with some green vegetation is visible. In the foreground, a man in a red shirt and a bright yellow safety vest is looking towards the construction site. A large green oval with a white border is superimposed over the center of the image, containing white text.

**Técnicas que mejoren
su desempeño
ambiental, sociales y
económico**

SOSTENIBILIDAD EN LOS PAVIMENTOS

Sostenibilidad en pavimentos

34

- Elemento más importante de la infraestructura vial
- Gran consumo de materias primas
- Gran consumo energético
- Elevadas emisiones de CO₂eq
- Importante impacto social y económico (transporte de personas y bienes)



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Sostenibilidad en pavimentos

35

“El desarrollo sostenible es aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”

Sostenibilidad en el contexto de pavimentos, refiere a la habilidad del pavimento para:

- Alcanzar los fines ingenieriles para los que fue construido
- Preservar e idealmente restaurar el ecosistema circundante
- Usar de forma económica los recursos financieros, humanos y ambientales
- Alcanzar necesidades básicas humanas como salud, seguridad, equidad, trabajo, confort y felicidad.

(Van Dam et al., 2015)

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

**Sostenibilidad en
pavimentos**

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Sostenibilidad en pavimentos – técnicas sostenibles

36

- Uso de materiales sostenibles
- Reciclado en sitio de pavimentos
- Mezcla asfáltica con altos contenidos de RAP
- Mezclas asfálticas conteniendo desperdicios industriales
- Estabilización de materiales granulares
- Autoreparación de pavimentos asfálticos
- Construcción acelerada de pavimentos de hormigón con losas prefabricadas
- Mezclas asfálticas tibias



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Sostenibilidad en pavimentos – técnicas sostenibles

37



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

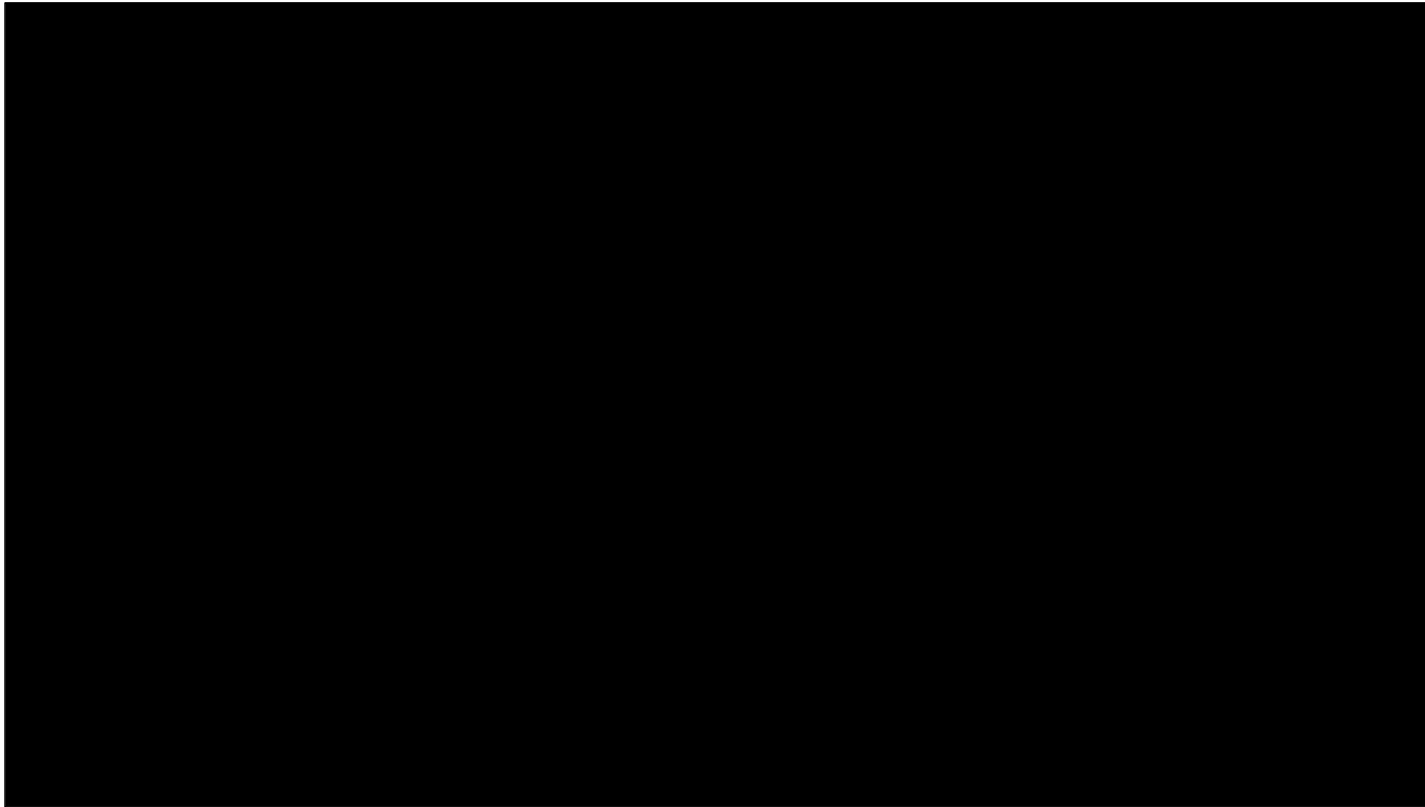
Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Sostenibilidad en pavimentos – técnicas sostenibles

38



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

**Sostenibilidad en
pavimentos**

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Sostenibilidad en pavimentos – técnicas sostenibles

39



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

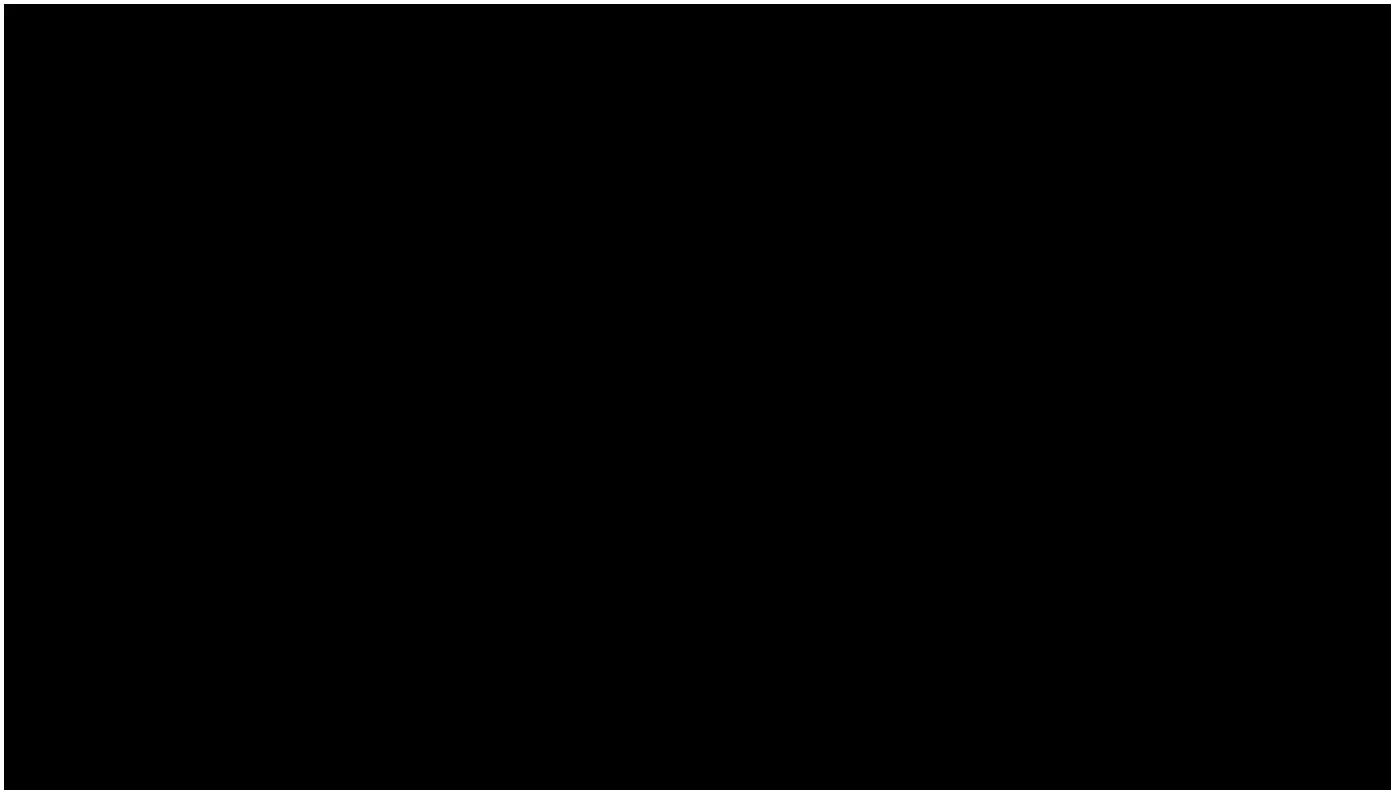
Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Sostenibilidad en pavimentos – técnicas sostenibles

40



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

**Sostenibilidad en
pavimentos**

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Sostenibilidad en pavimentos – técnicas sostenibles

41

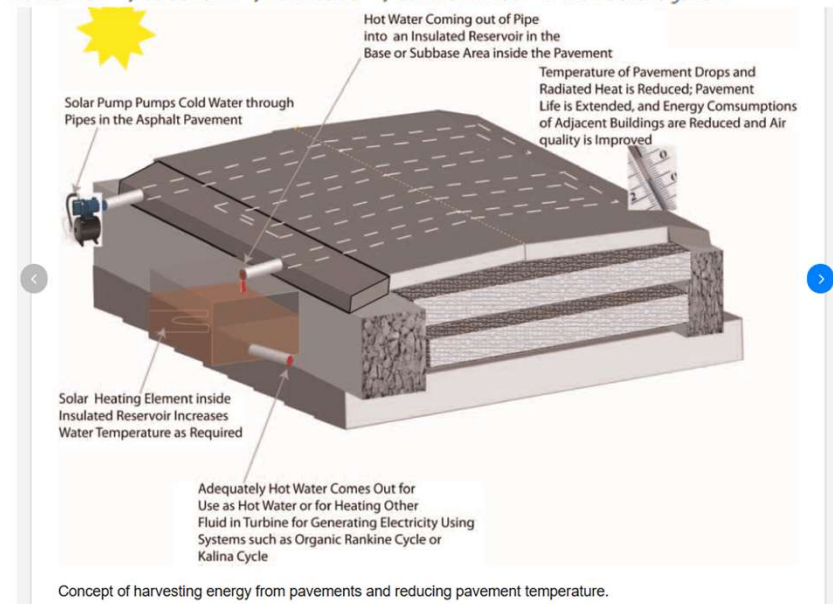
International Journal of Sustainable Engineering

Publication details, including instructions for authors and subscription information:

<http://www.tandfonline.com/loi/tsue20>

Evaluation of the potential of harvesting heat energy from asphalt pavements

R. Mallick^a, J. Carelli^a, L. Abano^a, S. Bhowmick^b & A. Veerazhagan^c



Carreteras que generan energía eléctrica solar

4. Carreteras fotovoltaicas

En Francia, por ejemplo, la firma de ingeniería Colas fue pionera en construir carreteras fotovoltaicas. Instaló varias en todo el país así como en algunas zonas de Japón y de Estados Unidos.

La primera construcción fue en una ruta de 1 kilómetro de un solo carril en Normandía, en el noreste del país.



Hay dudas sobre la eficacia de absorber energía de las carreteras fotovoltaicas en situaciones de tráfico intenso o cuando la carretera esta llena de barro o nieve.

Existen dudas sobre si, en el caso de las carreteras fotovoltaicas, los paneles solares son realmente útiles porque al estar en posición horizontal en lugar de inclinados hacia el sol, pueden **no recibir tantos rayos solares**. Además, el tráfico intenso, la nieve o el barro puede **bloquearlos**.

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

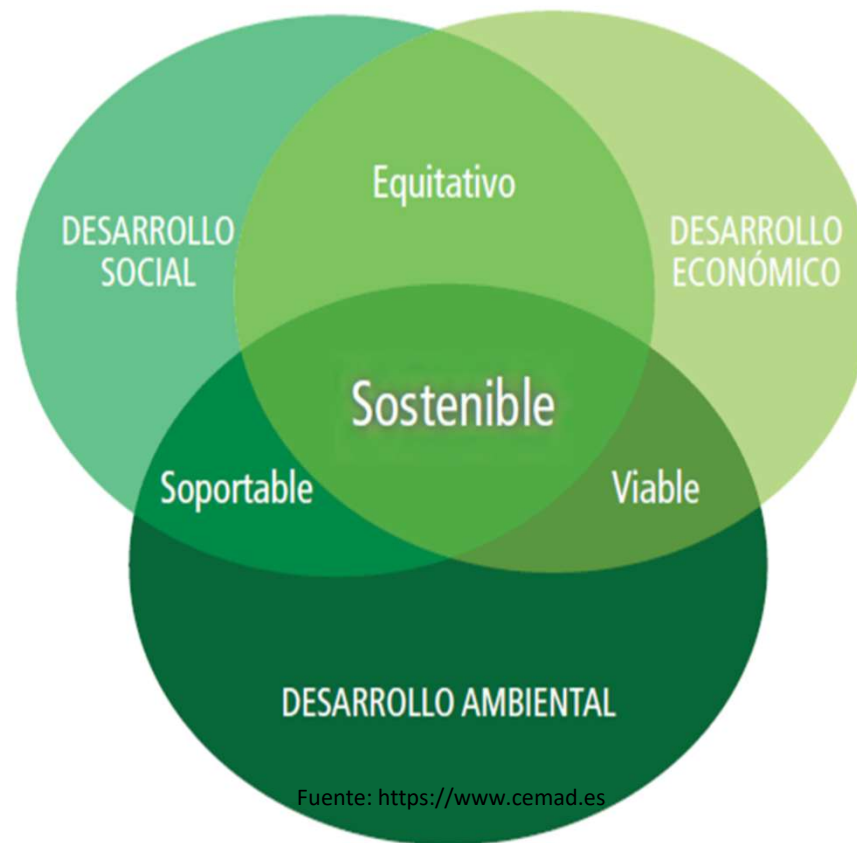
Calificación ambiental

Ejercicio

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN LOS PAVIMENTOS

Evaluación de sostenibilidad de infraestructura vial

43



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

**Sostenibilidad en
pavimentos**

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

- **Componente ambiental:** consumo de energía, emisiones de GEI, ruido, calidad del aire, tratamiento de aguas de lluvia, etc..
- **Componente social:** seguridad (muertes, lesiones, daño de propiedad), costo de operación de los vehículos, emisiones de GEI, accesibilidad, movilidad, estética, etc..
- **Componente económico:** costo de construcción, de mantenimiento, de rehabilitación, costo de operación de vehículos, costo de accidentes, etc.

¿Qué metodología utilizar?



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

**Sostenibilidad en
pavimentos**

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

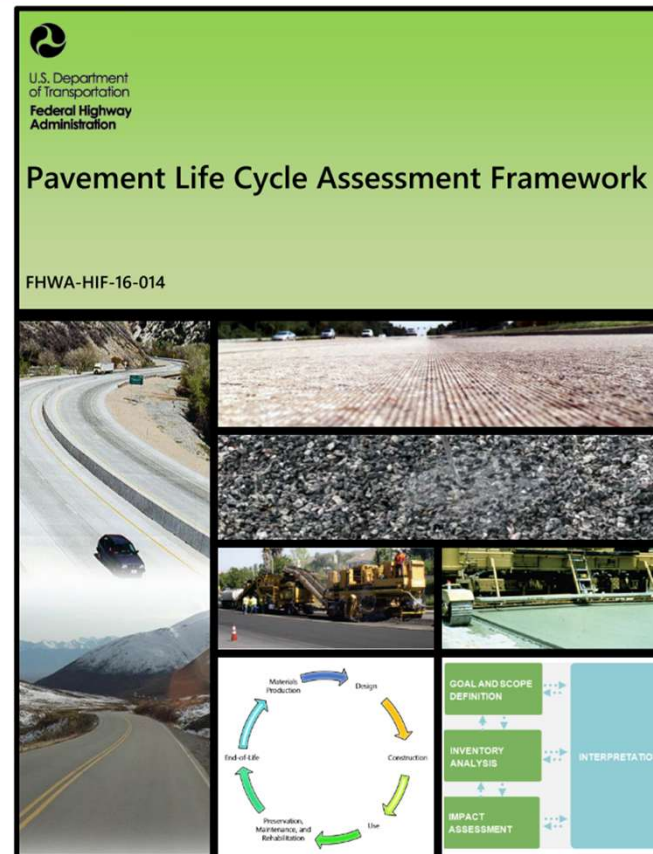
Calificación ambiental

Ejercicio

Evaluación de sostenibilidad de infraestructura vial

Sostenibilidad ambiental:

ISO 14040
14041-14044



(Harvey et al., 2016)

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

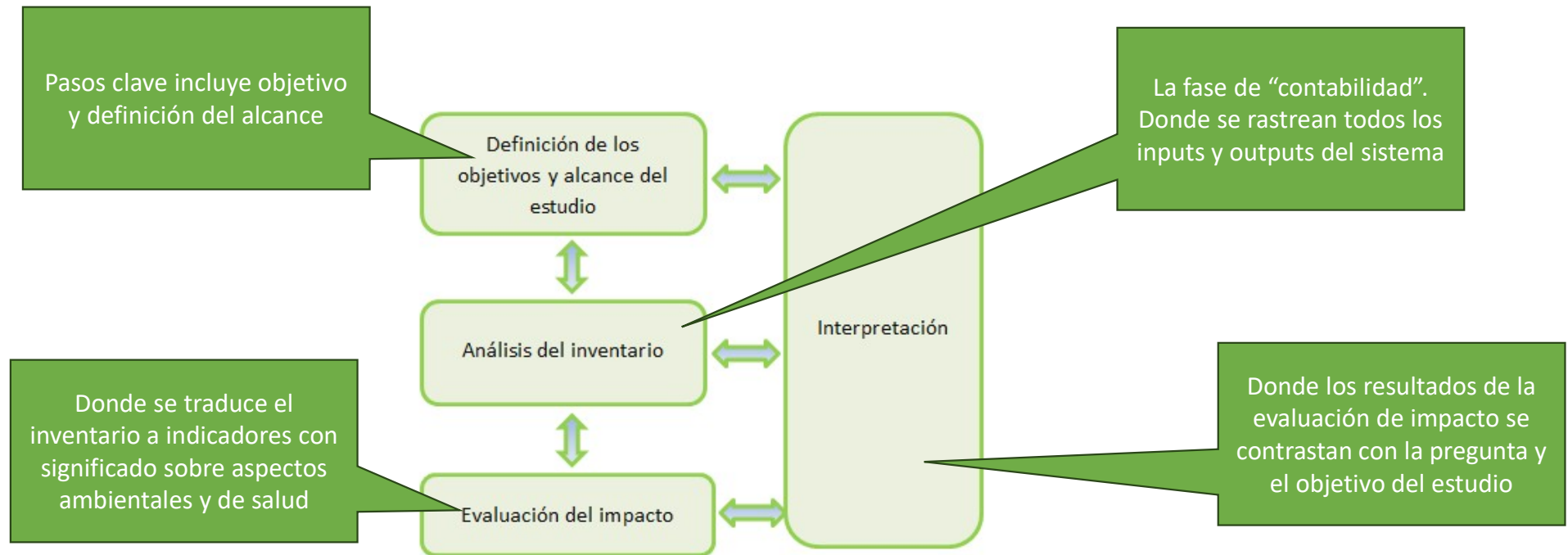
Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Evaluación de sostenibilidad de infraestructura vial



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad**Sostenibilidad en
pavimentos**Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

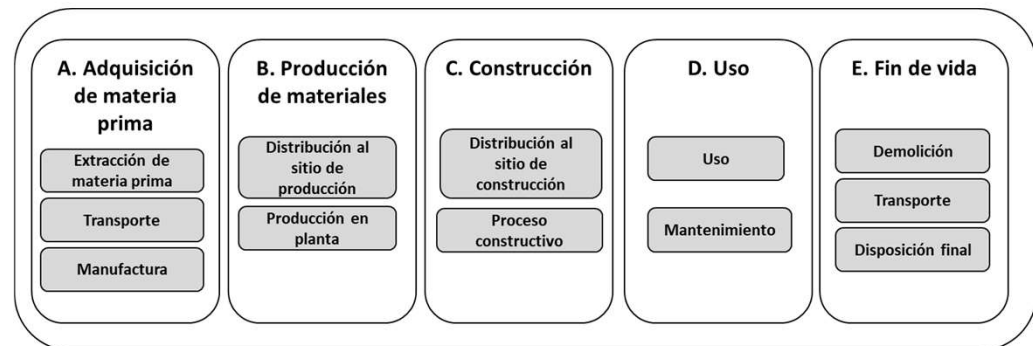
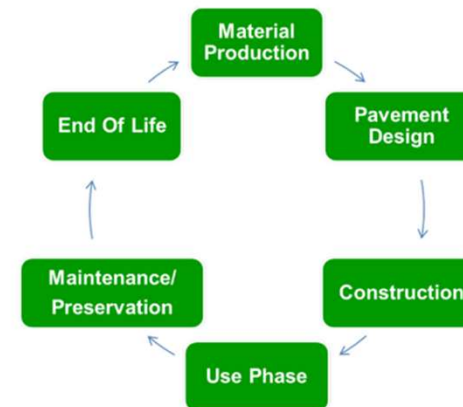
Evaluación de sostenibilidad de infraestructura vial

Pasos clave incluye objetivo y definición del alcance

Definición de los objetivos y alcance del estudio

- **Objetivo**
- **Alcance**
 - Etapas del ciclo de vida
 - Unidad funcional
 - Período de estudio

re 1-1.



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Evaluación de sostenibilidad de infraestructura vial

La fase de “contabilidad”.
Donde se rastrean todos los
inputs y outputs (flujos) del
sistema

Análisis del inventario

- Entrada de energía
- Entrada de materias primas
- Entradas auxiliares (Necesarios para la producción pero no forman parte del producto. Ej. Explosivos en producción de piedra)
- Salida de productos
- Salida de co-productos (salida de productos del proceso pero que no son parte del obj. de análisis. Ej: Escoria en la producción de acero)
- Salida de desechos
- Emisiones al aire (ej. GEI)
- Emisiones al agua
- Emisiones al suelo
- Otros (ruido, radiación, uso de terreno)

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

**Sostenibilidad en
pavimentos**

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Evaluación de sostenibilidad de infraestructura vial



Infraestructura

Contexto
sostenibilidadSostenibilidad en
pavimentosEjemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Evaluación de sostenibilidad de infraestructura vial

Categorías de impacto ambiental:

Evaluación del impacto

Donde se traduce el inventario a indicadores con significado sobre aspectos ambientales y de salud

Entradas

Agotamiento recursos abióticos

Energía

Uso del suelo Competitividad

Pérdida soporte vida

Pérdida Biodiversidad

Salidas

Cambio climático

Agotamiento Ozono

Acidificación

Eutrofización

Formación Foto-oxidantes

Toxicitat humana

Ecotoxicitat Terrestre

Acuática marina

Acuática agua dulce

Sedimento agua dulce

Sedimento marino

Otros

Desecación

Radiaciones

Olor

Ruido

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Evaluación de sostenibilidad de infraestructura vial

Categorías de impacto ambiental:

Evaluación del impacto

Donde se traduce el inventario a indicadores con significado sobre aspectos ambientales y de salud

Entradas

Agotamiento recursos abióticos

Energía

Uso del suelo Competitividad

Pérdida soporte vida

Pérdida Biodiversidad

Salidas

Cambio climático

Agotamiento Ozono

Acidificación

Eutrofización

Formación Foto-oxidantes

Toxicitat humana

Ecotoxicitat Terrestre

Acuática marina

Acuática agua dulce

Sedimento agua dulce

Sedimento marino

Otros

Desecación

Radiaciones

Olor

Ruido

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Impacto en el cambio climático

Indicador de impacto = Indicador de cambio climático (CCI)

Factor de caracterización GWP₁₀₀

$$CCI = \sum_i GWP_i * m_i$$

Donde, GWP potencial de calentamiento global para 100 años (g/gCO₂ eq), m masa (g)

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

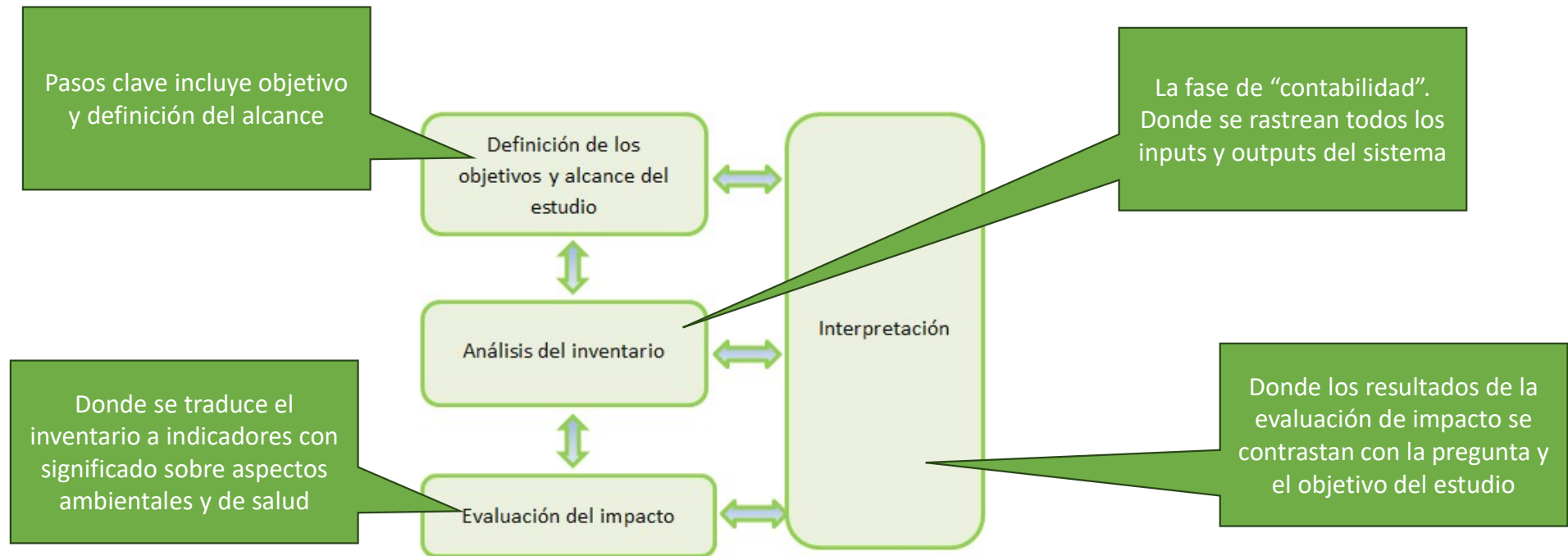
Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Evaluación de sostenibilidad de infraestructura vial



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad**Sostenibilidad en
pavimentos**Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

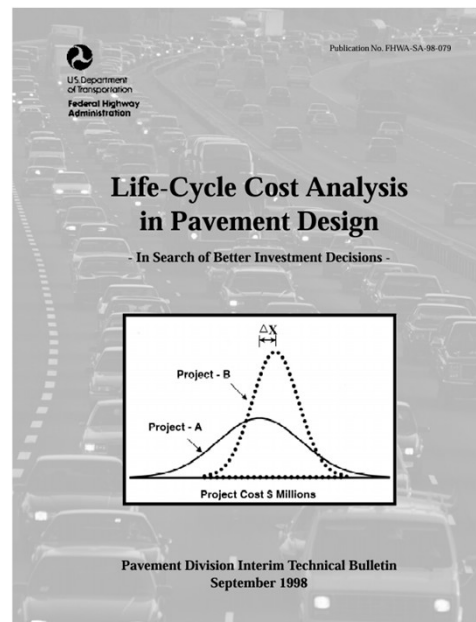
Ejercicio

Evaluación de sostenibilidad de infraestructura vial

Sostenibilidad económica



(FHWA, 2003)



(FHWA, 1998)

Análisis de ciclo de vida económico (LCCA)

- **Componente económico:** costo de construcción, de mantenimiento, de rehabilitación, costo de operación de vehículos, costo de accidentes, etc.

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

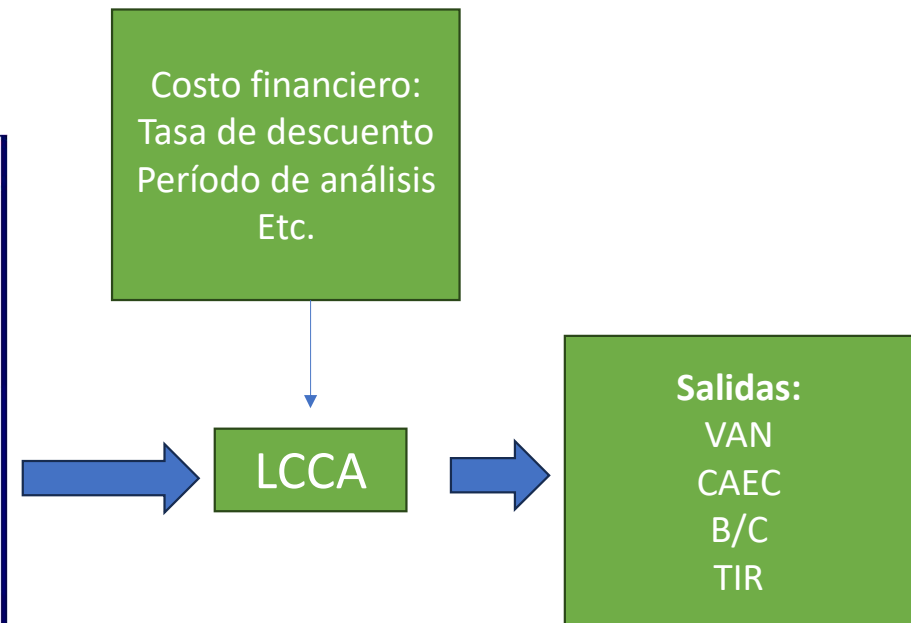
Calificación ambiental

Ejercicio

Evaluación de sostenibilidad de infraestructura vial

Sostenibilidad económica

	Análisis de Costos	Análisis Costos y Beneficios
Agencia	Costos diseño e ingeniería Costos adquisición tierras Costos construcción Costos rehabilitación Costos preservación	Costos diseño e ingeniería Costos adquisición tierras Costos construcción Costos rehabilitación Costos preservación Costos mitigación (ej. barreras acústicas)
Usuario	Costos asociados a zonas de trabajo (retrasos, accidentes, COV)	Costos y beneficios asociados a zonas de trabajo (retrasos, accidentes, COV) Costos y beneficios asociados a operación de la infraestructura (tiempo de viaje y retrasos, accidentes, COV)
No Usuarios (Externalidades)		Emisiones (ej. CO, NOx, O ₃) Ruido Impacto medio natural Impacto medio Físico Segregación Espacial



Infraestructura

Contexto
sostenibilidadSostenibilidad en
pavimentosEjemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Evaluación de sostenibilidad de infraestructura vial

Sostenibilidad económica

$$VAN C = CI + \sum_{j=1}^k \left(M \times \left[\frac{1}{1+i} \right]^{nj} \right) - SV \times \left[\frac{1}{1+i} \right]^{AP}$$

Donde:

CI = Costos Inicial

k= N° futuras actividades de mantenimiento

Mj= Costo de actividad de mantenimiento j

i= Tasa de descuento

nj = Años de actual mantenimiento

SV= Valor residual

AP = Período de Análisis

$$B/C = \frac{\sum_{n=1}^{AP} \left(B_n \times \left[\frac{1}{1+i} \right]^n \right)}{CI + \sum_{j=1}^k \left(M_j \times \left[\frac{1}{1+i} \right]^{nj} \right) - SV \times \left[\frac{1}{1+i} \right]^{AP}}$$

Donde:

CI = Costos Inicial

k= N° futuras actividades de mantenimiento

Mj= Costo de actividad de mantenimiento j

Bn= Beneficios año n

n= año dentro período de análisis

i= Tasa de descuento

nj =Año en que se aplica mantenimiento j

SV= Valor residual

AP = Período de Análisis

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

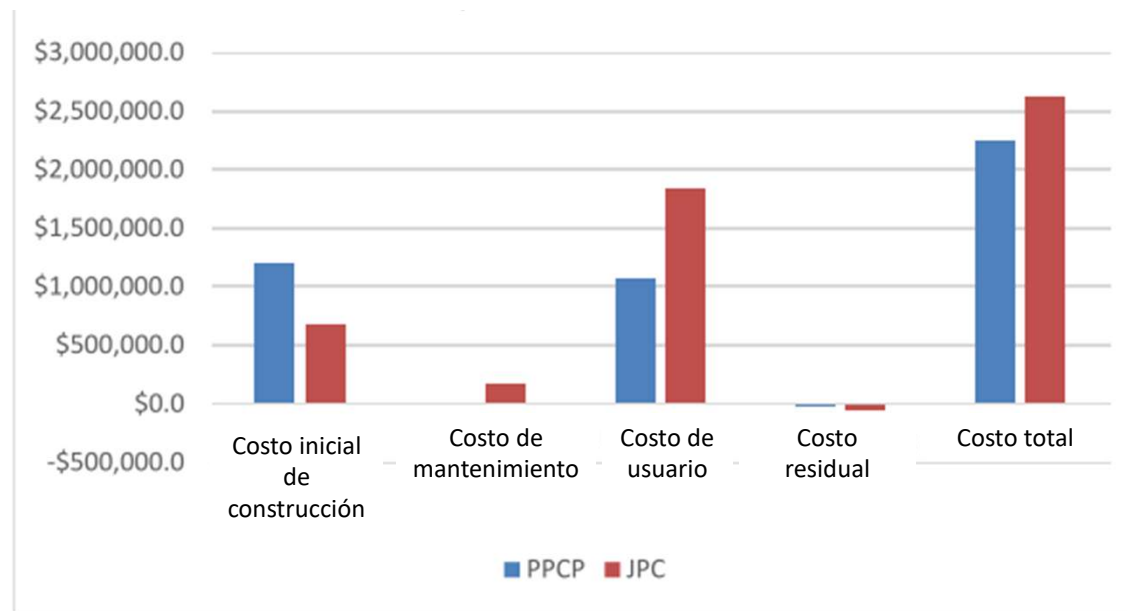
Calificación ambiental

Ejercicio

Evaluación de sostenibilidad de infraestructura vial

Sostenibilidad económica

Comparación de costos Pavimento hormigón prefabricado pretensado (PPCP) vs Pavimento de hormigón convencional (JPC)



(Sompura, 2017)

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

**Sostenibilidad en
pavimentos**

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Evaluación de sostenibilidad de infraestructura vial

59

Sostenibilidad social



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

**Sostenibilidad en
pavimentos**

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Evaluación de sostenibilidad de infraestructura vial

Sostenibilidad social



Framework for Life Cycle Assessment of Complete Streets Projects

December 2018

A Research Report from the National Center for Sustainable Transportation

John T. Harvey, University of California, Davis
Alissa Kendall, University of California, Davis
Arash Saboori, University of California, Davis
Maryam Ostovar, University of California, Davis
Ali A. Butt, University of California, Davis
Jesus Hernandez, JCH Research, Sacramento
Bruce Haynes, University of California, Davis



Life Cycle Initiative



Hosted by
UNEP
environment
programme

SOCIAL
LCA
ALLIANCE



Guidelines for
SOCIAL LIFE CYCLE ASSESSMENT OF
PRODUCTS AND ORGANIZATIONS 2020

(UNEP,2020)

- **Componente social:** seguridad (muertes, lesiones, daño de propiedad), costo de operación de los vehículos, tiempos de viaje, emisiones de GEI, accesibilidad, movilidad, estética, equidad, generación de trabajo etc..

The International Journal of Life Cycle Assessment (2020) 25:1106–1118
<https://doi.org/10.1007/s11367-020-01743-7>

SOCIETAL LCA

Modeling life-cycle social assessment in sustainable pavement management at project level

Xiaoyan Zheng^{1,2} · Said M. Easa³ · Tao Ji² · Zhenliang Jiang³

Received: 20 July 2018 / Accepted: 2 March 2020 / Published online: 28 April 2020
© Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2020



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

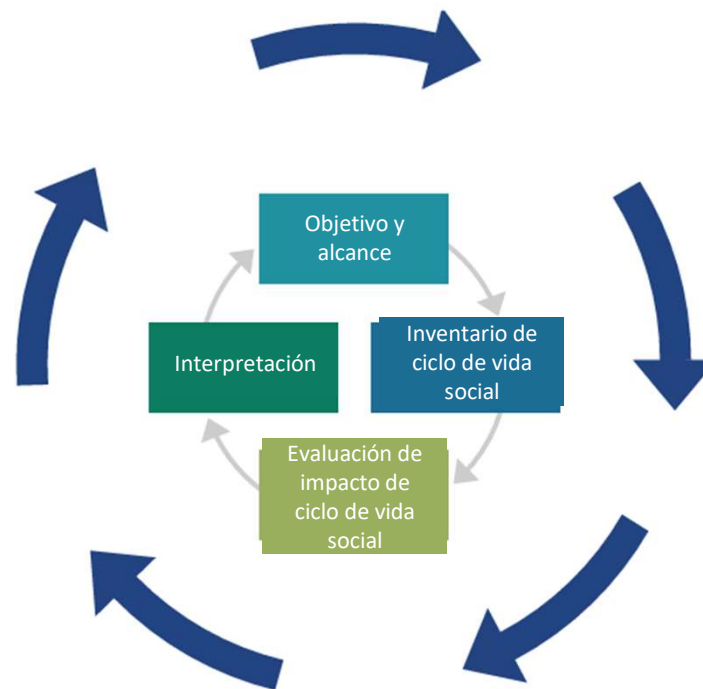
Calificación ambiental

Ejercicio

Evaluación de sostenibilidad de infraestructura vial

61

Sostenibilidad social



(UNEP,2020)

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

**Sostenibilidad en
pavimentos**

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Evaluación de sostenibilidad de infraestructura vial

Sostenibilidad social

Stakeholder categories	Categoría de impacto	Subcategories	Inventory indicators	Inventory data
Trabajadores	Human rights	◆	▸	▸
Comunidad local	Working conditions	◆	▸	▸
Sociedad	Health and safety	◆	▸	▸
Consumidores	Cultural heritage	◆	▸	▸
Value chain actors	Governance	◆	▸	▸
	Socio-economic repercussions	◆	▸	▸

(UNEP,2020)

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

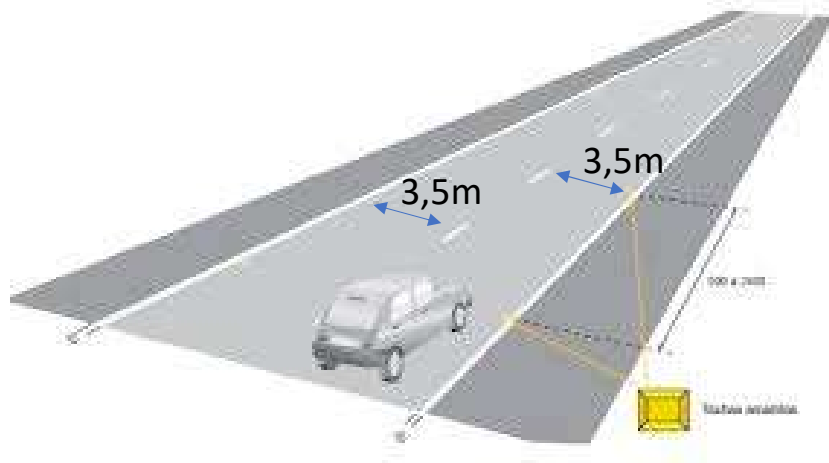
Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Evaluación de sostenibilidad de infraestructura vial

Sostenibilidad social



(Zheng et al., 2020))

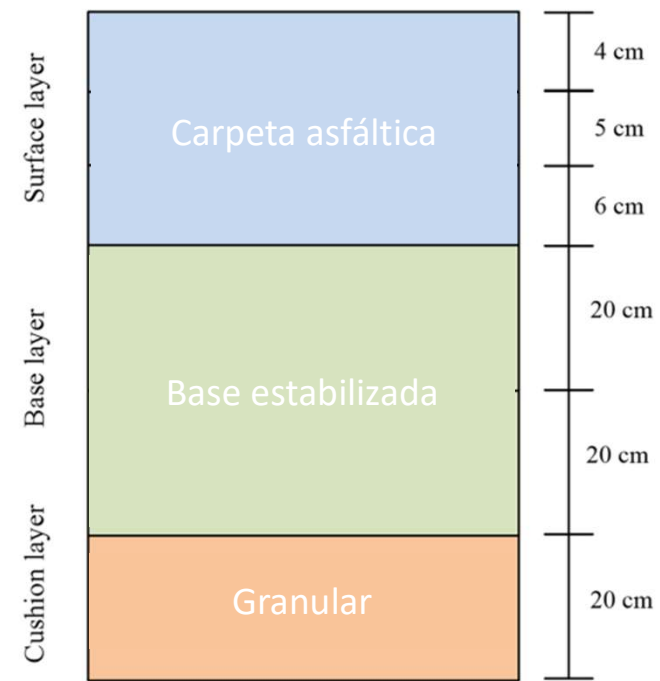


Fig. 1 Materials and structure of HMA pavement in China

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Evaluación de sostenibilidad de infraestructura vial

Table 1 Classification of stakeholders, subcategories and indicators for pavement during the life-cycle stages

Sostenibilidad social

Grupos de interés	Subcategories	Social indicators	Etapas del ciclo de vida			
			Materias primas/producción	Construcción	Uso	Mantenimiento
Trabajadores	Freedom of association and collective bargaining	Management efforts to deal with labor dispute	√	√	×	√
		^a Rate of labor union organization (Wang et al. 2016)	√	√	×	√
	Working hours	^a Average working hours per month (UNEP/SETAC 2013)	√	√	×	√
		Compensation strategies on overtime work	√	√	×	√
	Health and safety	Management measures of daily work-related injuries (Zheng et al. 2019)	√	√	×	√
		Preventive measures on occupational diseases (Zheng et al. 2019)	√	√	×	√
		Conduct of training courses	√	√	×	√
Comunidad local	Equal opportunities	^a Rate of women employed (UNEP/SETAC 2013)	√	√	×	√
	Access to material resource	Management measures for the sustainable use of local materials	√	×	×	×
	Safe/healthy living conditions	Management behaviors to reduce pollution emissions	√	√	√	√
		Management behaviors to relieve local traffic congestion and accident incidences	√	√	√	√
Sociedad	Local employment	^a Rate of local workforce hired (UNEP/SETAC 2013)	√	√	×	√
	Public commitments to sustainability issues	Obligation on public sustainability reporting (UNEP/SETAC 2013)	√	√	×	√
	Corruption	Execution of anti-corruption program	√	√	×	√
	Technology development	Strategies to promote the application of new materials and construction technology	√	√	×	√
Usuario	Health and safety	Solutions to keep satisfactory pavement PQI	×	×	√	×

(Zheng et al., 2020))

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Evaluación de sostenibilidad de infraestructura vial

Sostenibilidad social

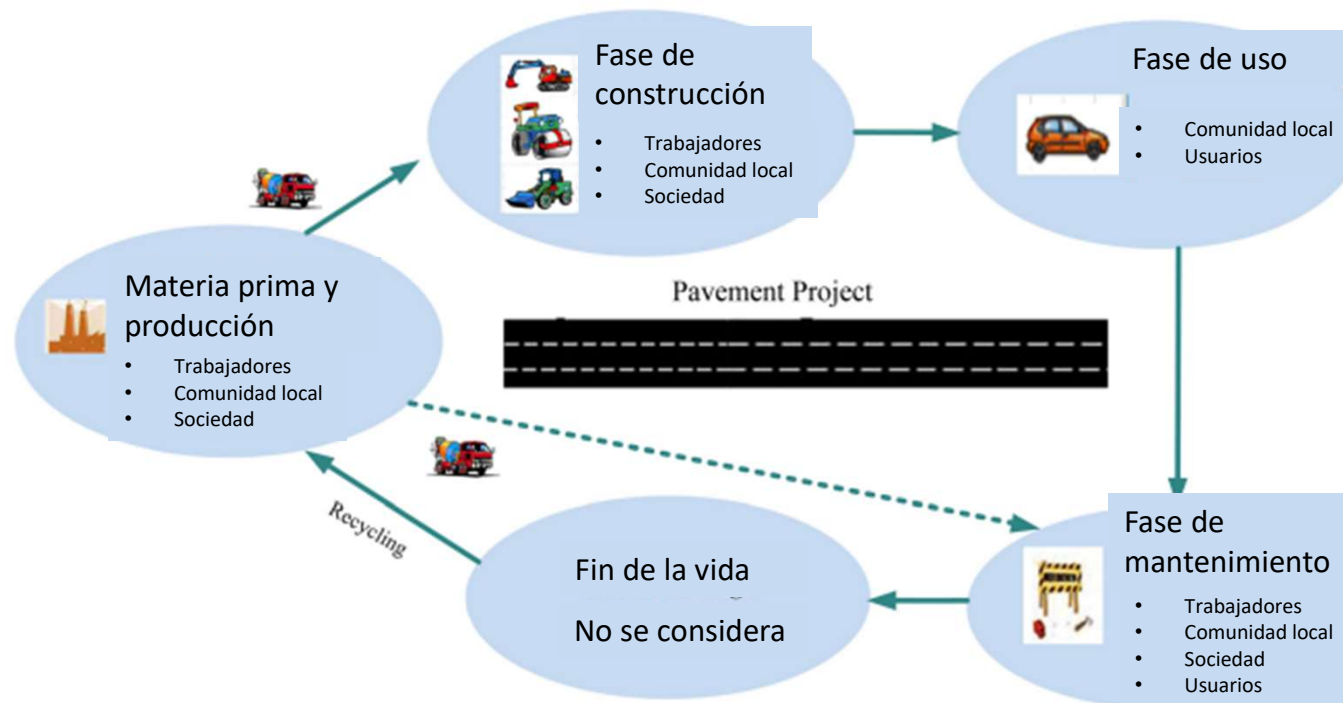


Fig. 2 Stakeholders involved in the life-cycle stages of pavement

(Zheng et al., 2020))

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

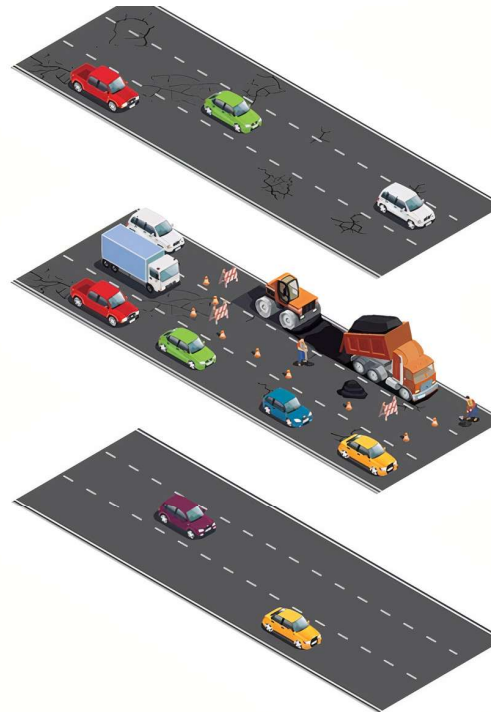
Ejercicio

EJEMPLO SOSTENIBILIDAD EN PAVIMENTOS

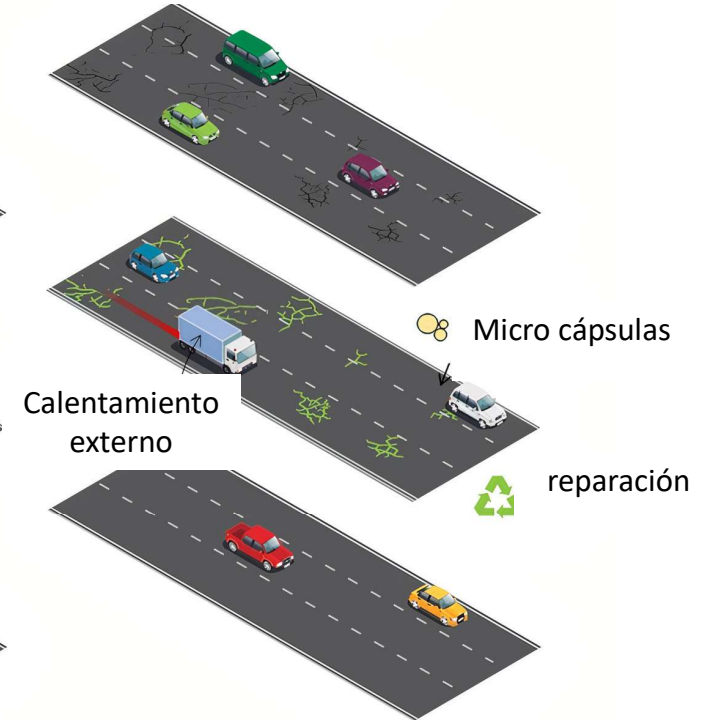
Auto reparación de pavimentos asfálticos

-  Disrupción del tránsito y las emisiones de CO₂ durante el mantenimiento ⁽¹⁾
-  Consumo de materias primas. ⁽¹⁾
-  Seguridad vial ⁽¹⁾
-  Costos en el ciclo de vida ⁽²⁾

Mantenimiento tradicional



Auto reparación



(1) (Tabaković & Schlangen, 2016) (2) (Rodríguez-Alloza et al., 2019)

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Auto reparación por microondas

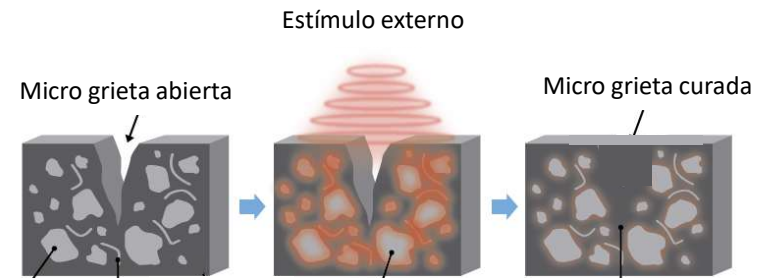
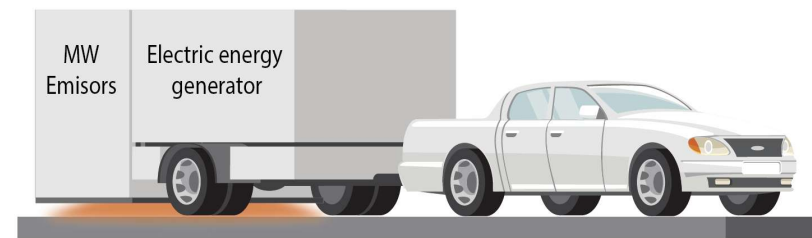
68

Técnica que repara grietas en los pavimentos

Estímulo externo

Calentamiento por microondas

- Extiende la vida del pavimento
- Reduce tiempos de intervención
- Reduce consumo de materias primas
- Aumenta la seguridad



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

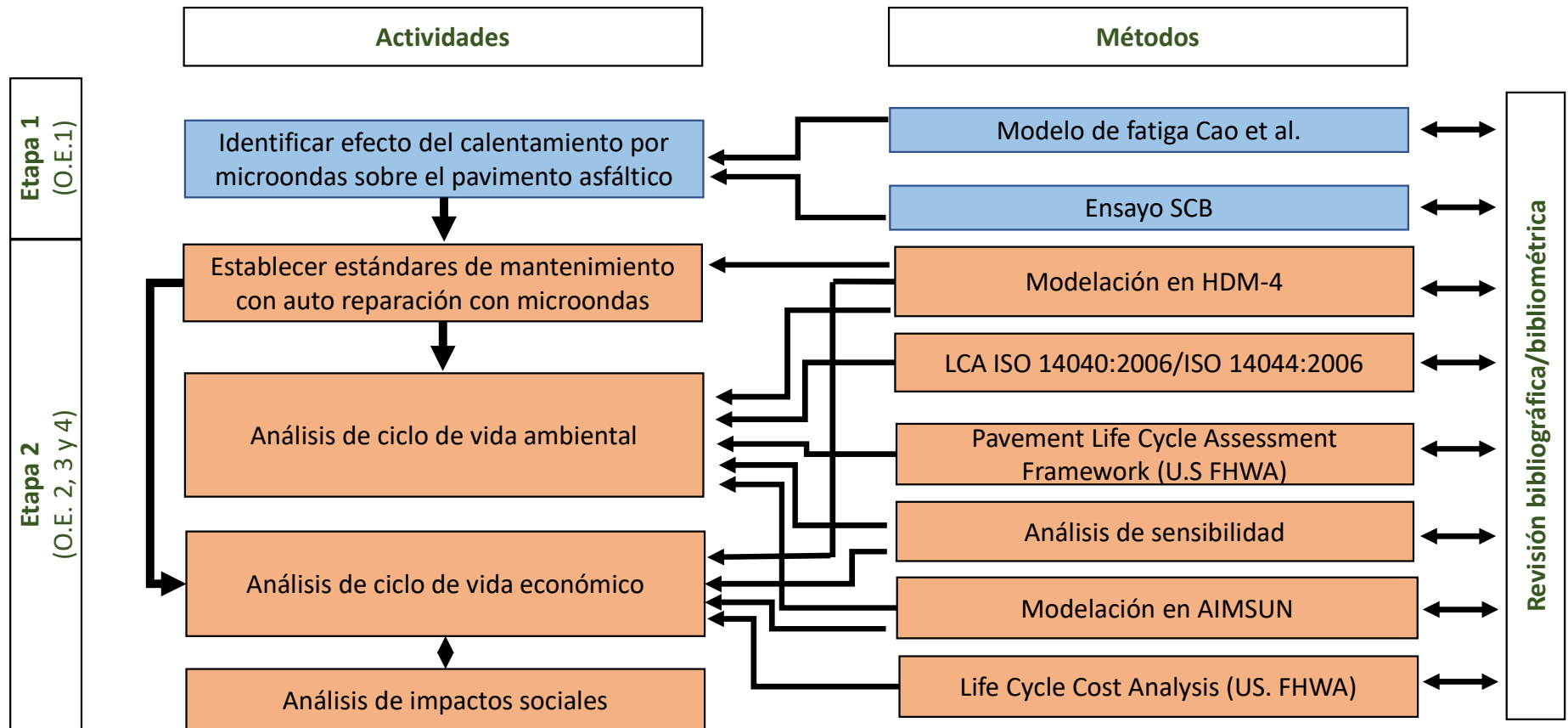
Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

METODOLOGÍA

Metodología



Infraestructura

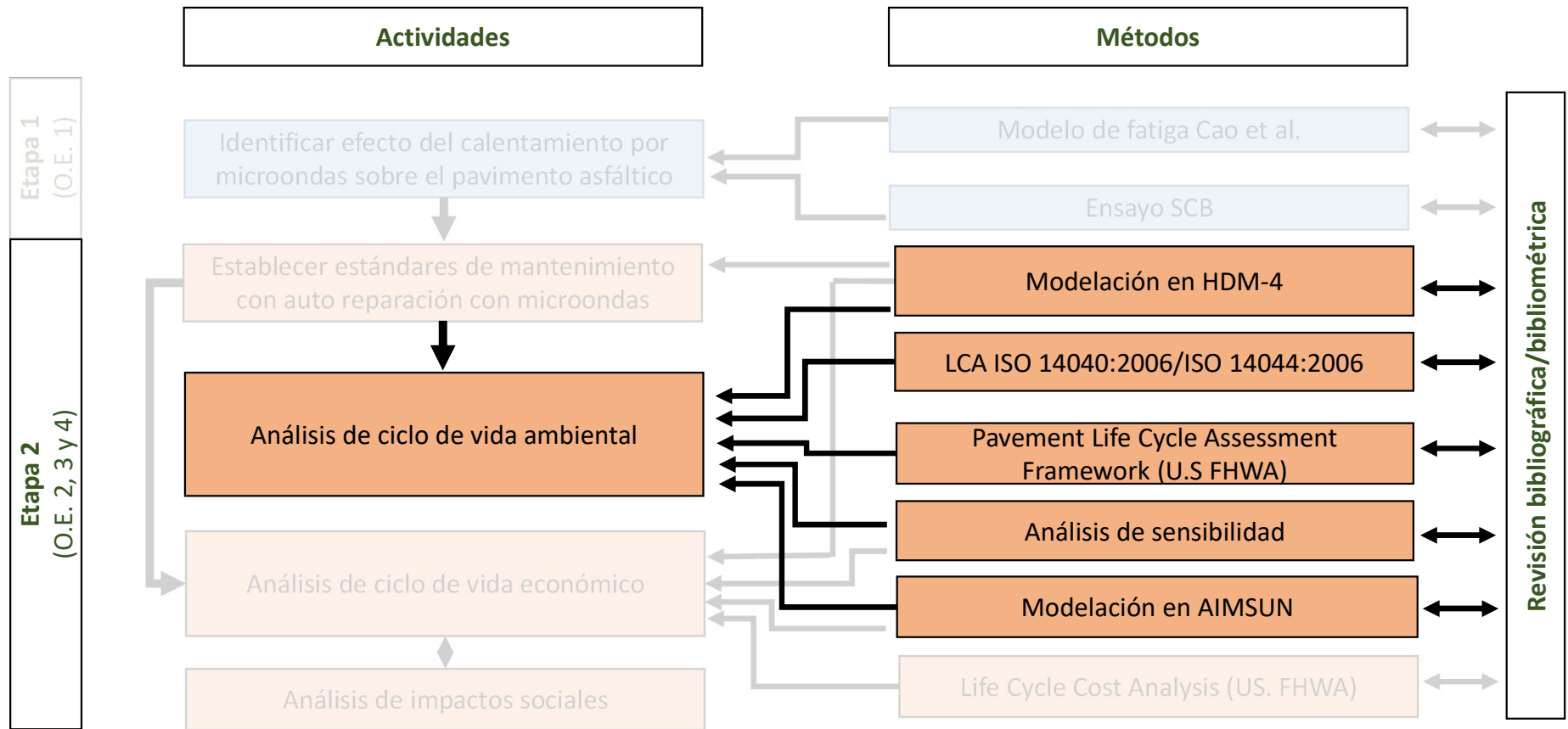
Contexto
sostenibilidadSostenibilidad en
pavimentosEjemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Metodología

71



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

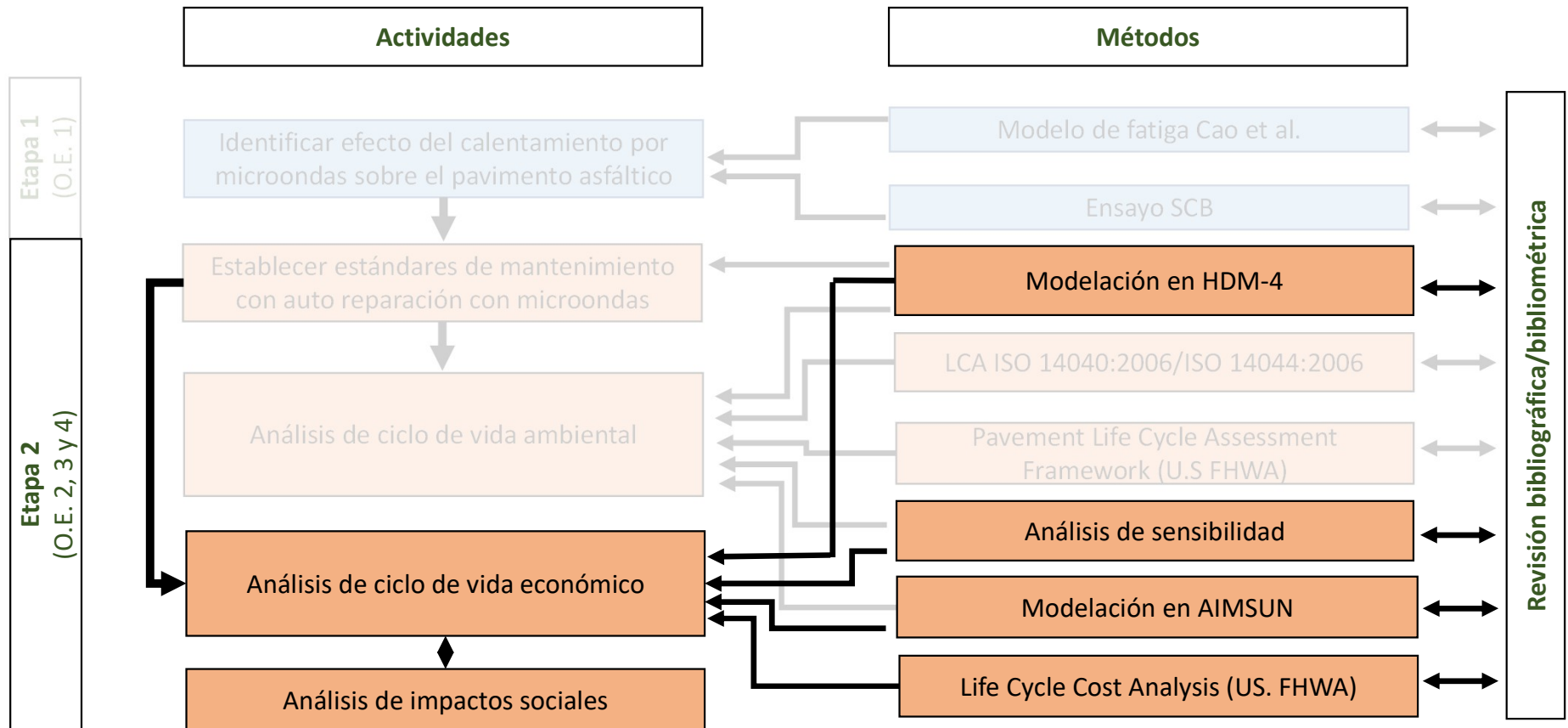
Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Metodología

72



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

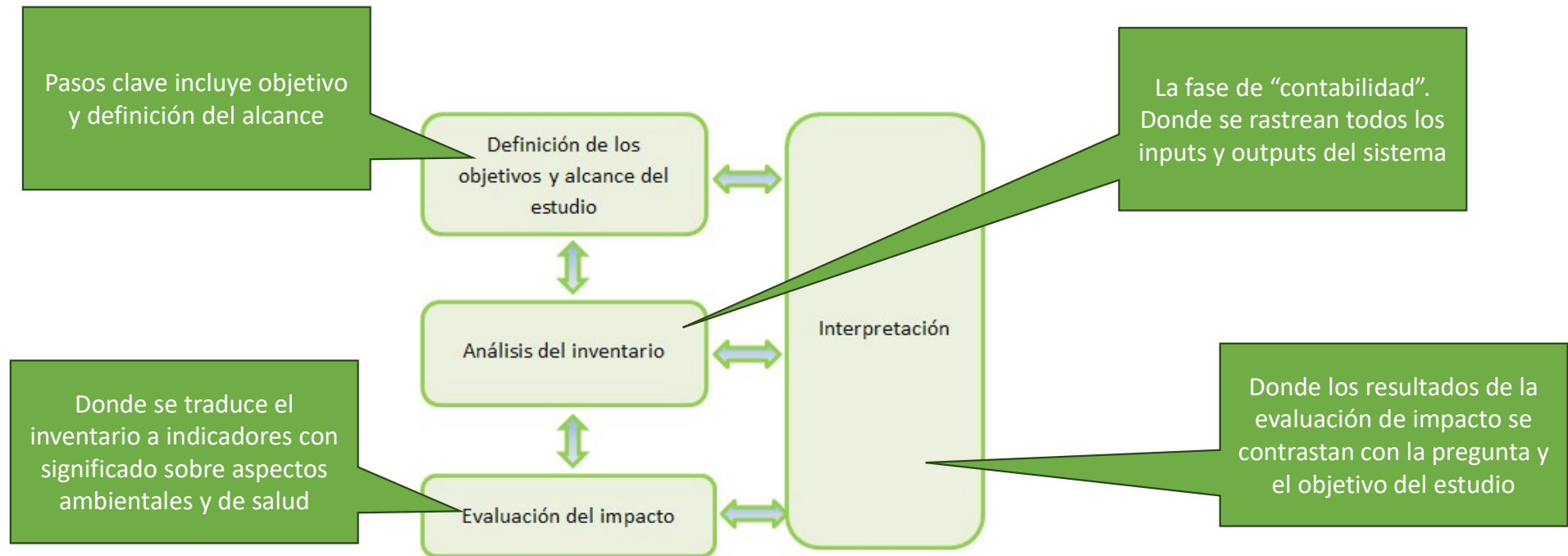
Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Evaluación de sostenibilidad de infraestructura vial



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad**Sostenibilidad en
pavimentos**Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio



Objetivo general:

Evaluar la sostenibilidad ambiental, social y económica de la técnica de **auto reparación por microondas** en comparación a las técnicas de mantenimiento tradicionales

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

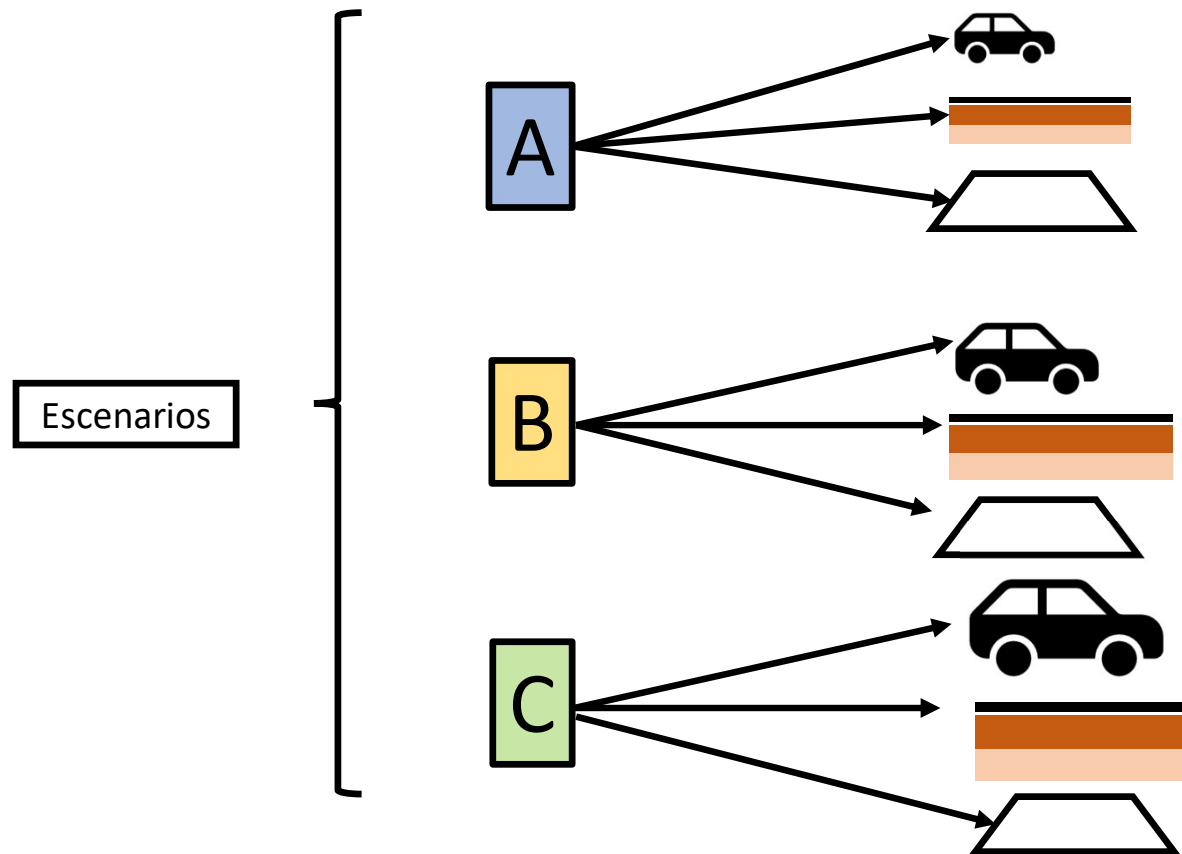
Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Alcance- Caso de estudio

75



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

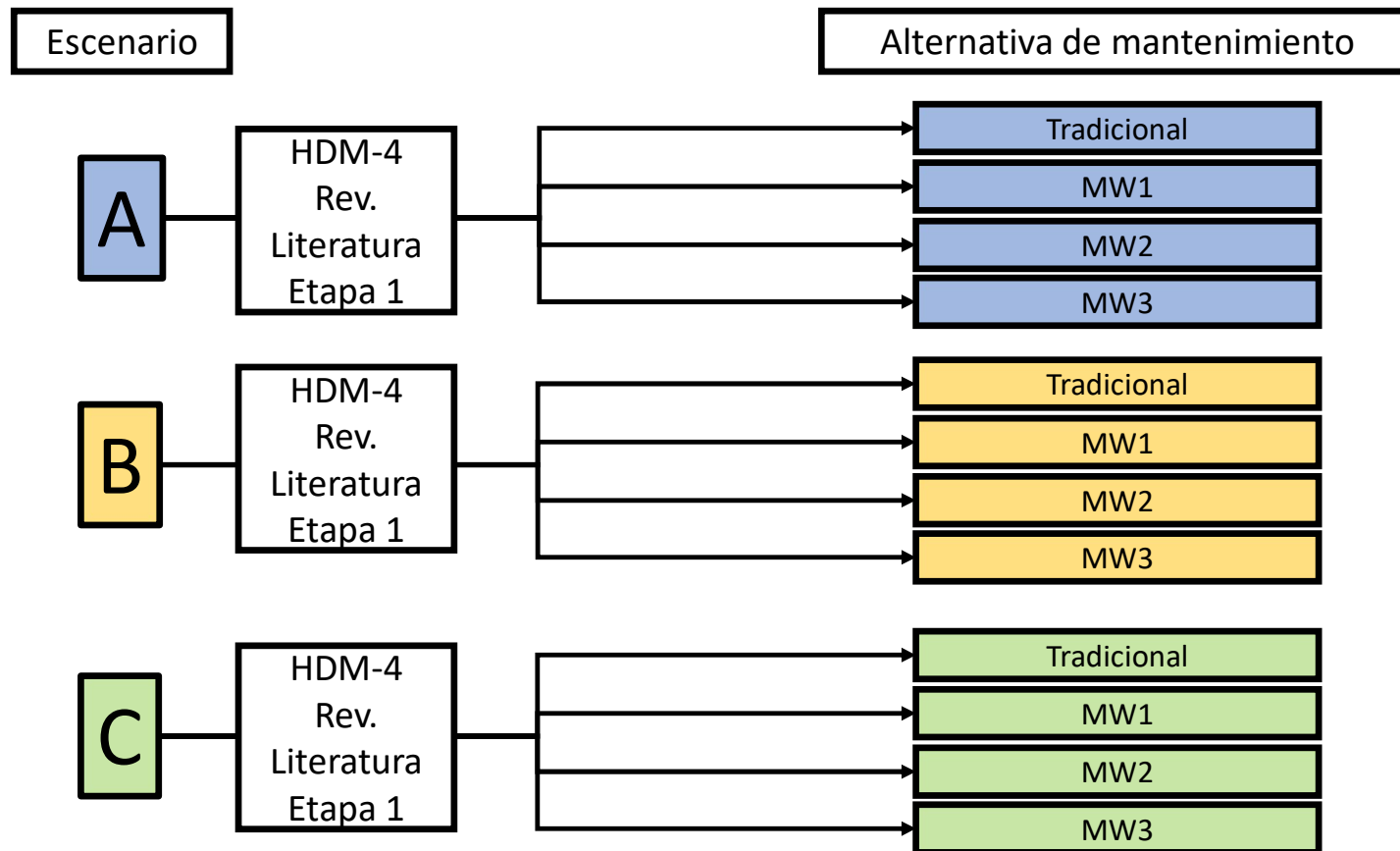
Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Alcance- Caso de estudio

76



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

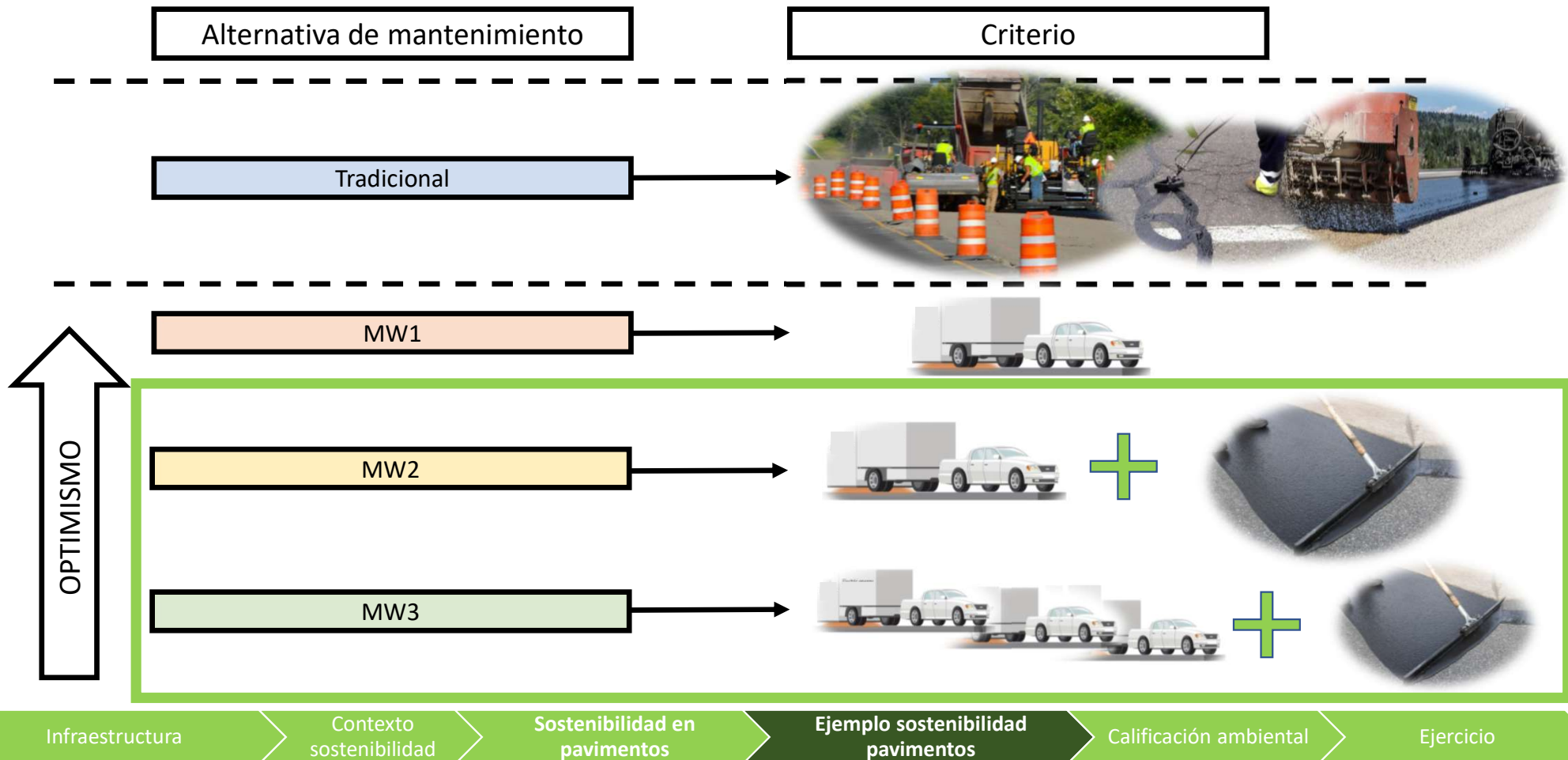
Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

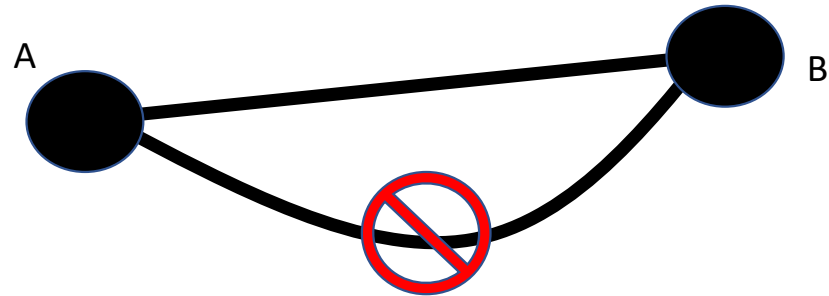
Alcance– Alternativas de mantenimiento



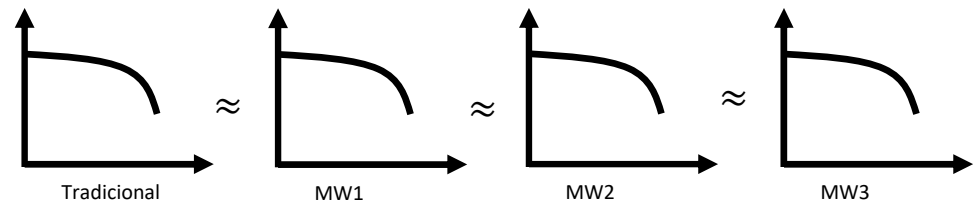
Alcance- Supuestos

78

1. No hay rutas alternativas



2. La condición del pavimento es equivalente para toda alternativa considerada desde la perspectiva del usuario



3. Pavimento asfáltico delgado



4. Mezcla asfáltica tradicional **sin adiciones metálicas!**

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

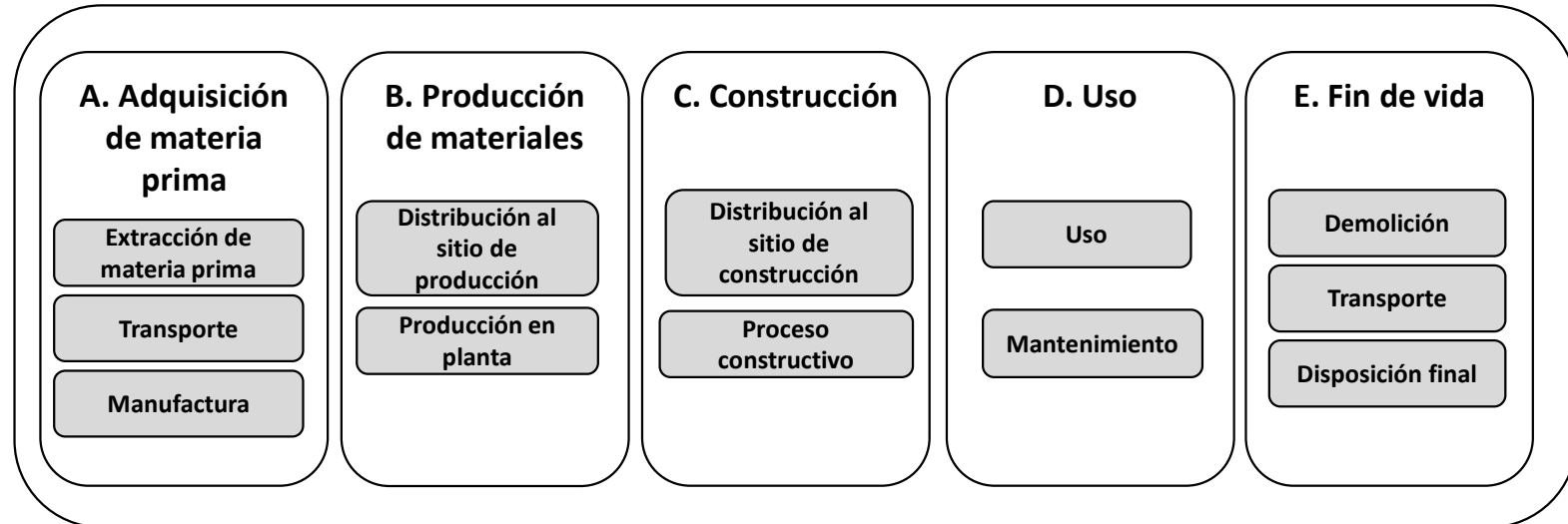
Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

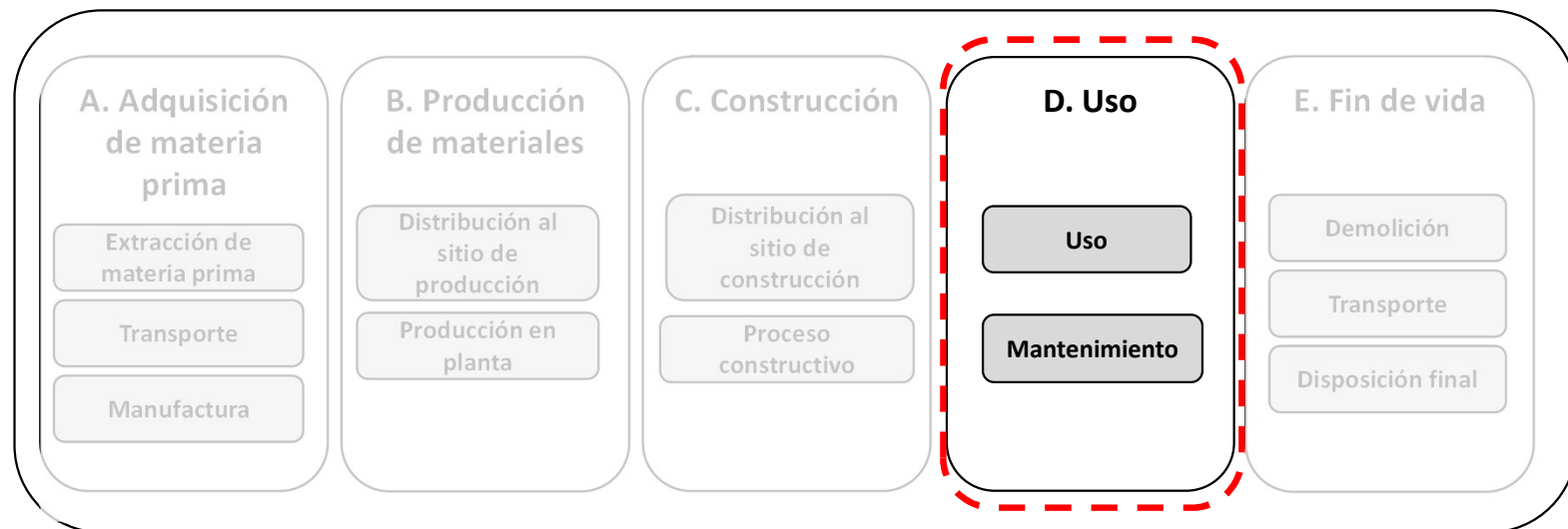
Alcance- Fase del ciclo de vida

Fases del ciclo de vida de un pavimento:



Alcance- Fase del ciclo de vida

Fases del ciclo de vida de un pavimento:



----- Seleccionado para el análisis

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Período de diseño de pavimento = 20 años

Horizonte de análisis = 40 años

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

- **Componente ambiental:** consumo de energía, emisiones de GEI, ruido, calidad del aire, tratamiento de aguas de lluvia, etc..
- **Componente social:** seguridad (muertes, lesiones, daño de propiedad), costo de operación de los vehículos, emisiones de GEI, accesibilidad, movilidad, estética, etc..
- **Componente económico:** costo de construcción, de mantenimiento, de rehabilitación, costo de operación de vehículos, costo de accidentes, etc.

(Van Dam et al., 2015)

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Categorías de impacto ambiental:

Agregados



Toneladas de agregados consumidos

Materiales asfálticos



Toneladas de materiales asfálticos consumidos

Energía



GJ de energía consumida

GJ de energía feedstock

Cambio climático



Toneladas de CO2 equivalente

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

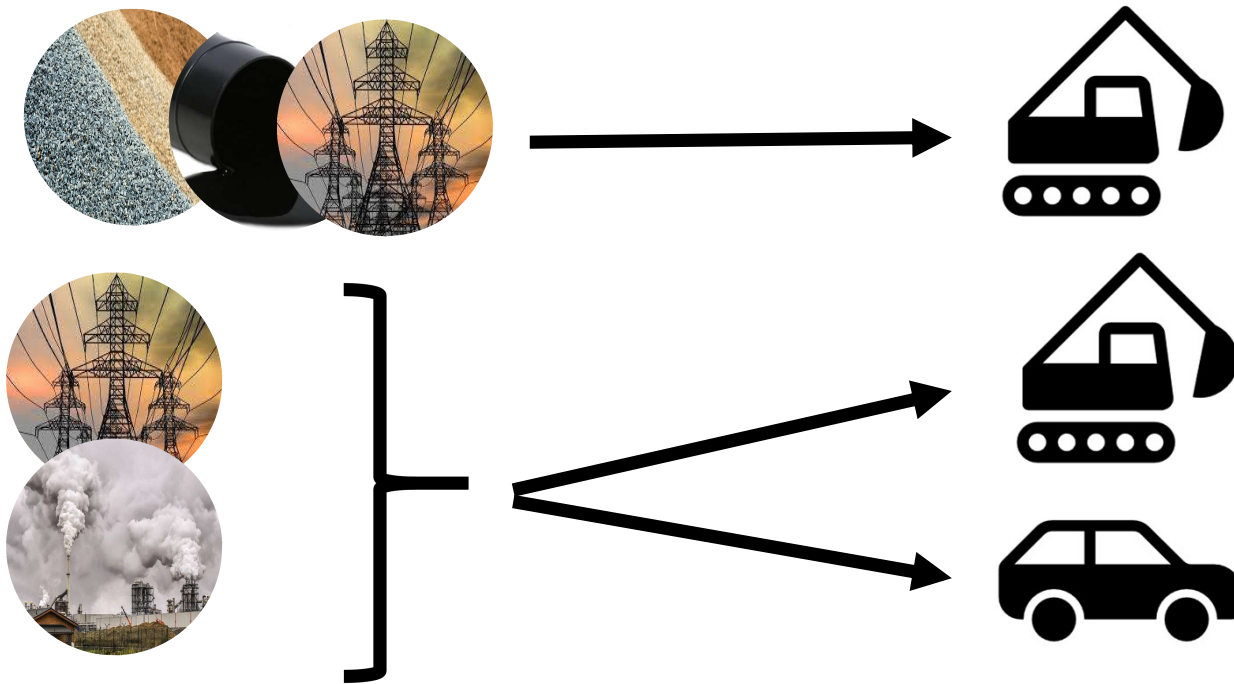
Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Impactos:



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

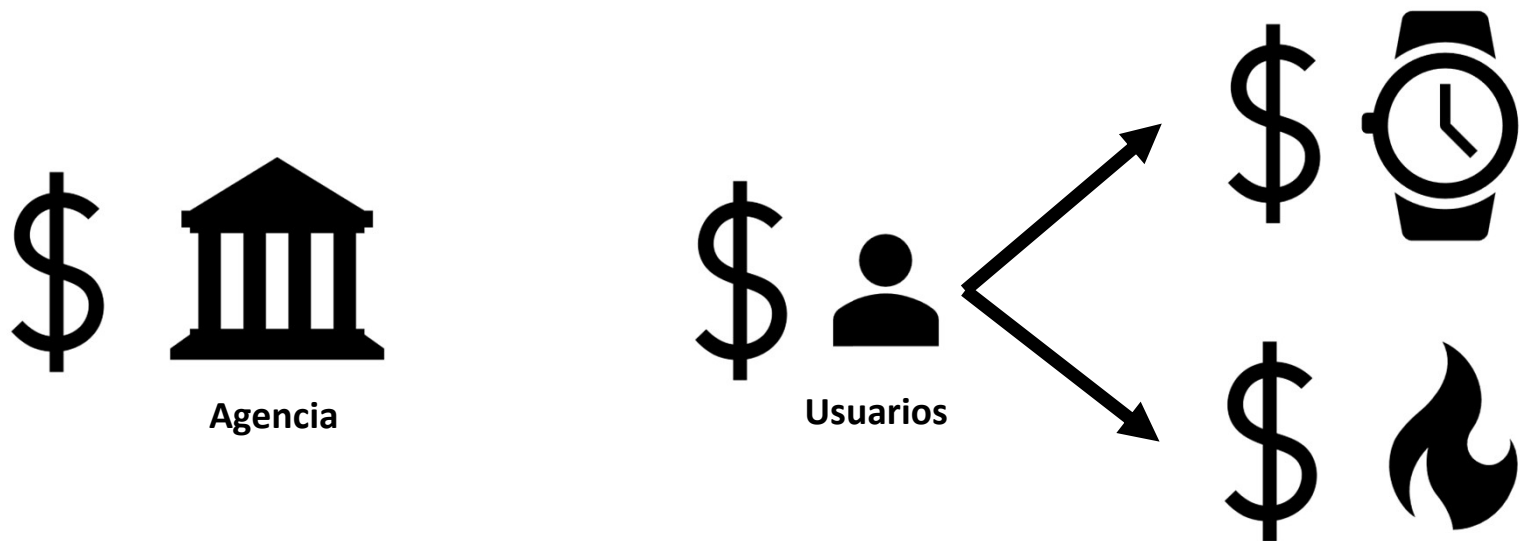
Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Costos (VAN en el ciclo de vida):



RESULTADOS – EJEMPLO

Etapa 2 - Alcance - LCA

87

Categorías de impacto ambiental:

Energía



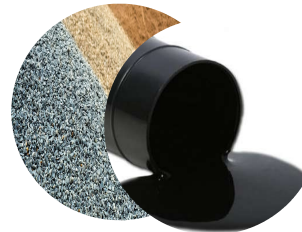
GJ de energía consumida y feedstock

Cambio climático



Toneladas de CO2 equivalente

Consumo de Materiales



Toneladas consumidas

Infraestructura

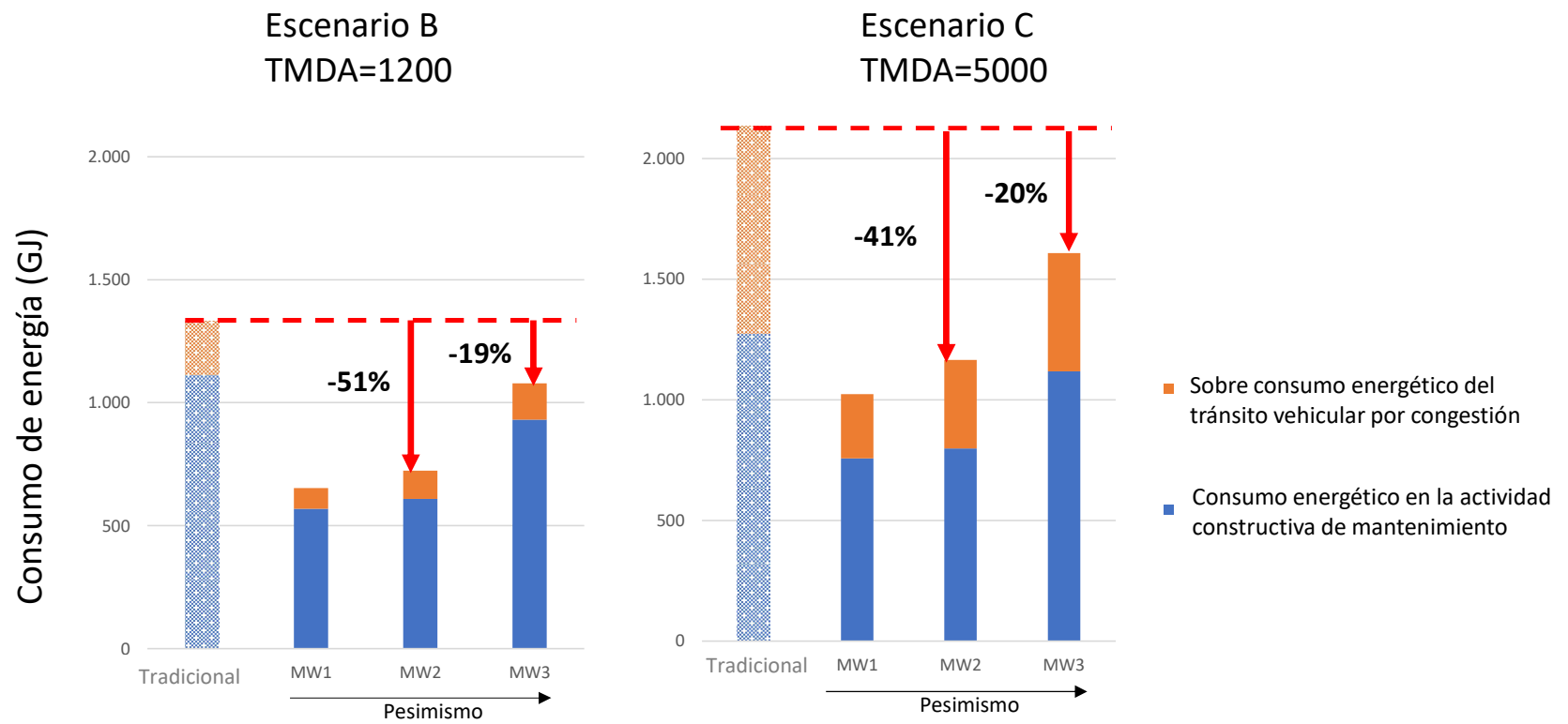
Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio



MW reduce impacto ambiental desde el punto de vista del consumo energético

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

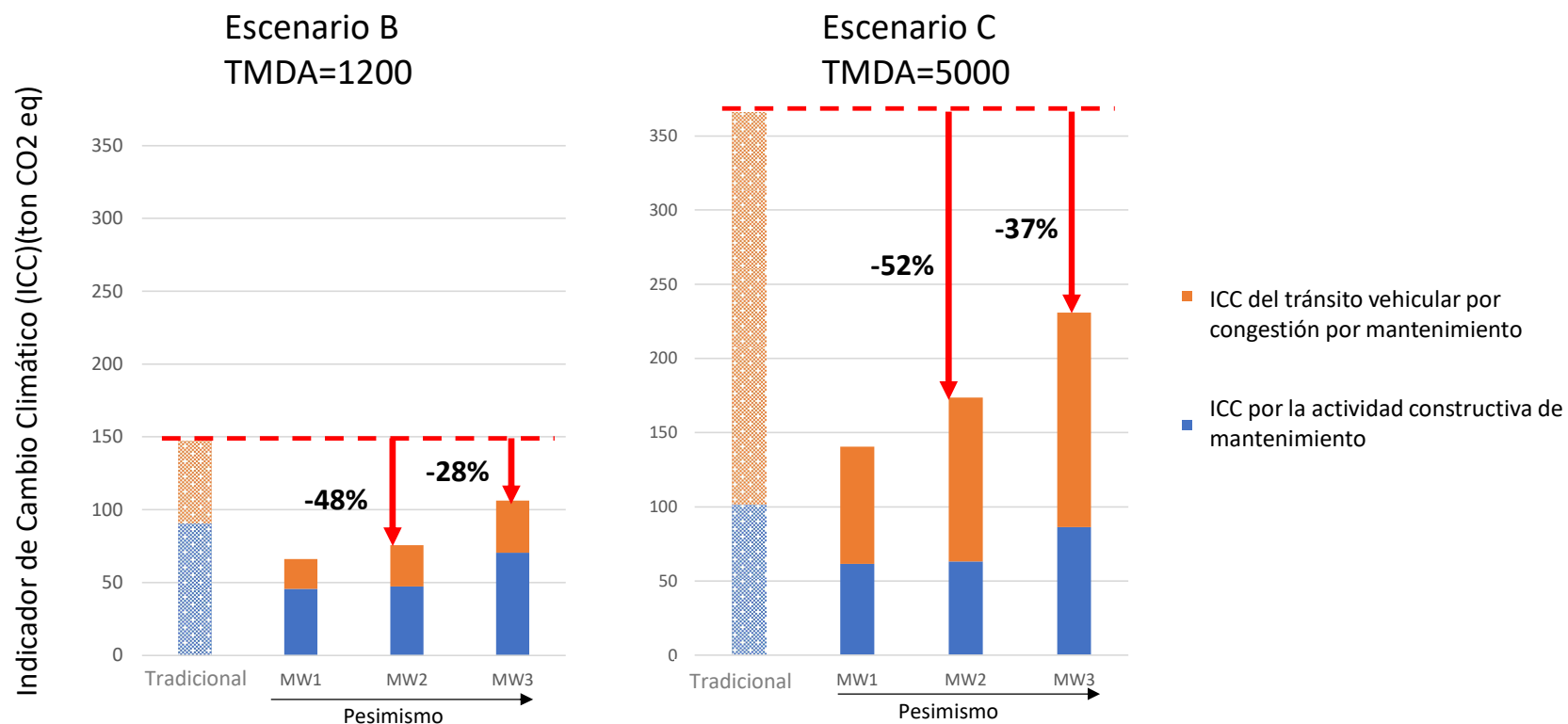
Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Sust. Ambiental/Cambio Climático

89



MW reduce impacto ambiental desde el punto de vista del cambio climático

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

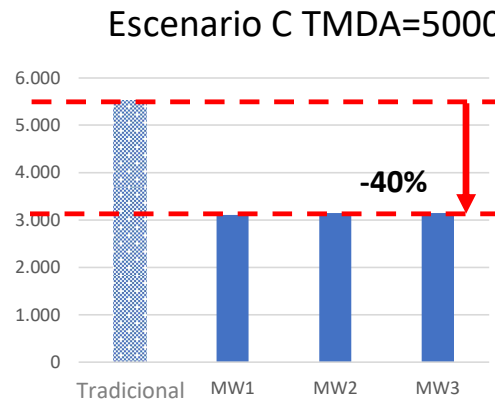
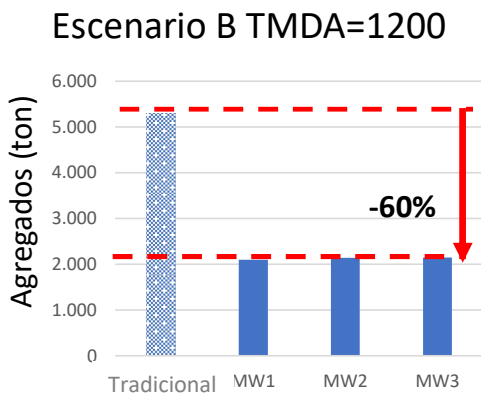
Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Sust. Ambiental/Materiales

90



MW reduce impacto ambiental desde el punto de vista del consumo de materiales

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Etapa 2 – Sust. Ambiental

91

Inclusión de la auto reparación con microondas en el mantenimiento reduce:

- ✓ Consumo energético
- ✓ Impacto en el cambio climático
- ✓ Consumo de materiales

Mejora en la sustentabilidad ambiental

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

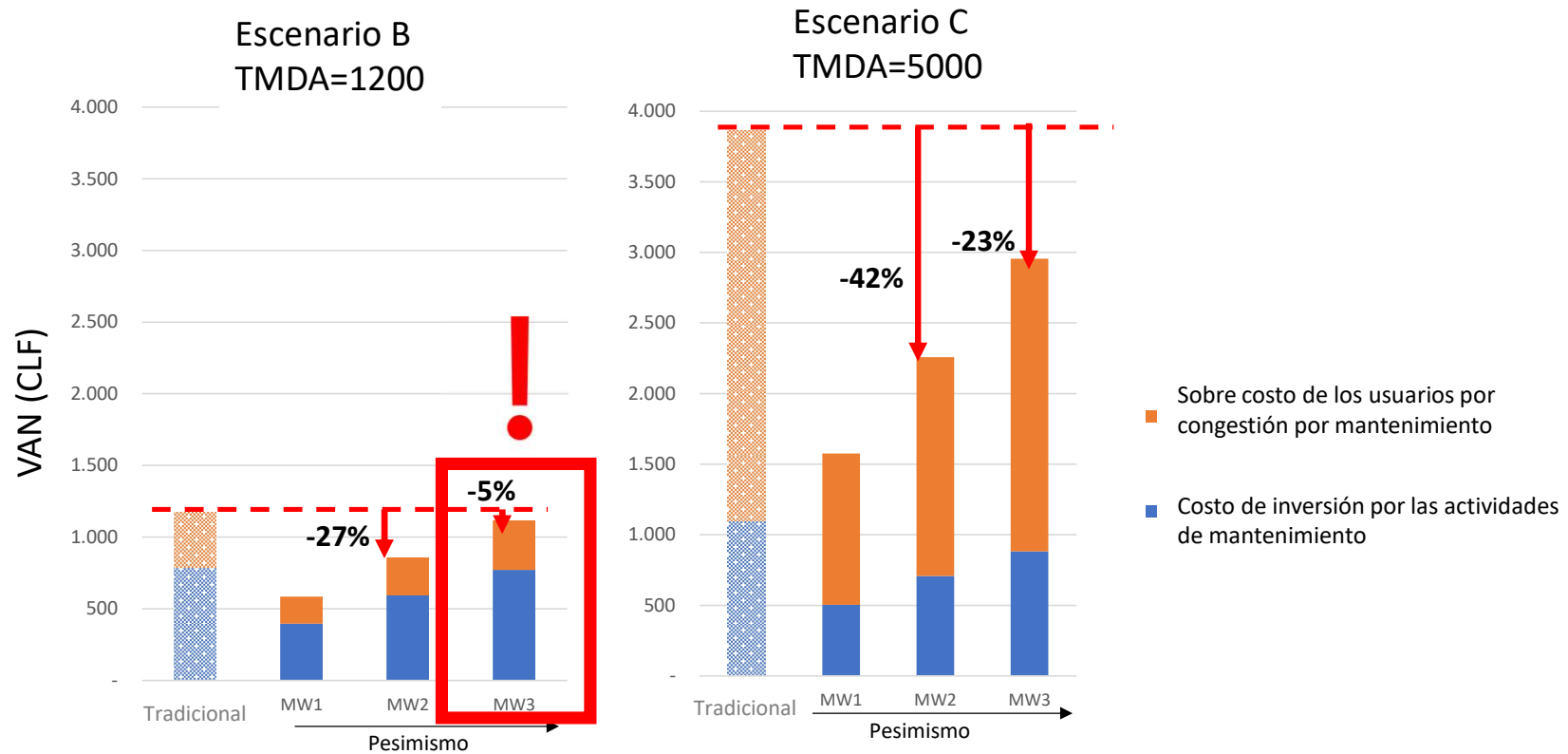
Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Etapa 2 – Sust. Económica



MW reduce impacto económico desde el punto de vista del VAN

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

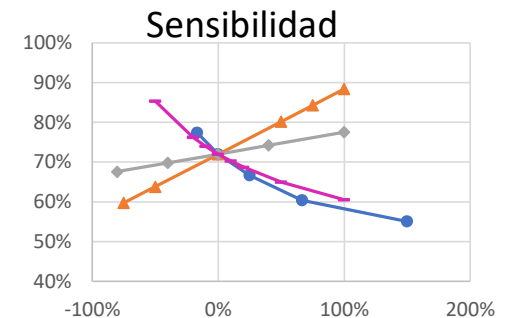
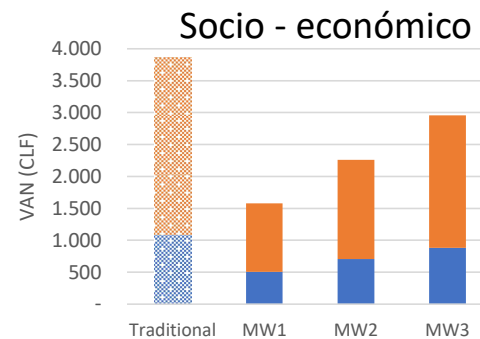
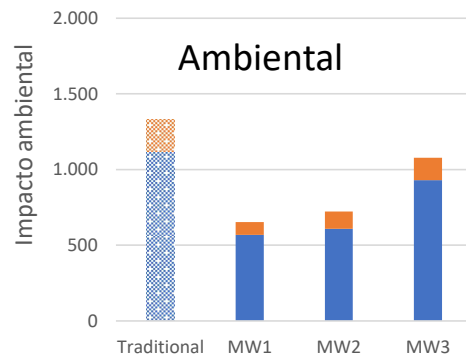
Ejercicio

Cumplimiento del objetivo general



Objetivo general:

Evaluar la sustentabilidad ambiental, social y económica de la técnica de **auto reparación por microondas** en comparación a las técnicas de **mantenimiento tradicionales**



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

CALIFICACIÓN AMBIENTAL PARA INFRAESTRUCTURA

Calificación ambiental de infraestructura

Los sistemas de calificación ambiental cuantifican la sostenibilidad en el entorno construido. Estos sistemas de calificación, o marcos, nos ayudan a definir qué es un proyecto sostenible en el entorno construido, desde cómo se conceptualiza hasta cómo se diseña y, en última instancia, cómo se construye y opera.



Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Calificación ambiental de infraestructura

Tool	Countries	Applicable sectors					Award types				
		General civil infrastructure	Transport or hydro only	Buildings	Public Realm/	Community precinct	Design	As built	Operation*	Planning	Other
BCA Green Mark	Singapore	Y		Y	Y	Y		Y	Y		
BEAM	Hong Kong			Y			P	Y	Y		
BERDE	Philippines			Y			P	Y	Y		
BREEAM**	UK developed. Used throughout Europe + other international applications.			Y		Y	Y	Y	Y	Y	
CalGreen	California state only, USA			Y			Y				
CASBEE	Japan			Y		Y	Y	Y	Y	D	Y
CEEQUAL	UK & Ireland version, Hong Kong version, internationally applicable	Y			Y		Y	Y	Y		Y
China Ministry of Construction Green Building System**	China			Y				Y	Y		
DGNB - the German Sustainable Building Certificate	Germany & International			Y		Y	P	Y	Y		
Envision	United States	Y			Y		Y	D	D		
Estidama & the Pearl Rating System	Abu Dhabi			Y		Y	P	Y	D	Y	
Green Building Index	Malaysia			Y		Y	P	Y	Y	Y	
Green Globes	Canada and USA			Y			D	Y	Y		
Green Star (Au)	Australia			Y		Y	Y	Y		D	

Infraestructura

Contexto
sostenibilidadSostenibilidad en
pavimentosEjemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Calificación ambiental de infraestructura

Tool	Countries	Applicable sectors					Award types				
		General civil infrastructure	Transport or hydro only	Buildings	Public Realm/	Community precinct	Design	As built	Operation*	Planning	Other
Green Star (NZ)	New Zealand			Y			Y	Y	Y		
Green Star (SA)	South Africa			Y			Y	Y	Y		
GreenLITES	New York State, US		Y				Y		Y	Y	
Greenroads	USA - piloting internationally		Y					Y			
Greenship	Indonesia			Y			P	Y	Y		
GRIHA	India			Y		Y		P	Y		
HQE Amenagement***	France			Y		Y		P	Y	Y	
Hydropower Sustainability Assessment Protocol	Globally applicable		Y				not applicable				
Infrastructure Sustainability	Australia	Y					Y	Y	Y		
INVEST	USA		Y				P	P	Y	Y	
LEED	Developed in the US, now international			Y		Y		Y	Y		Y*
NABERS	Australia, expanding to New Zealand			Y					Y		
NatHERS	Australia			Y			not applicable				
SBTool	Europe			Y			not applicable				
STAR Community Rating System	USA (primary base) and Canada					Y					Y
STARS	USA		Y				Y			Y	

Infraestructura

Contexto
sostenibilidadSostenibilidad en
pavimentosEjemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

Calificación ambiental de infraestructura



GREENROADS RATING SYSTEM

LIST OF CREDITS (v1.5)

No.	Title	Pts.	Description
Project Requirements (PR) – Mandatory for all projects			
PR-1	Environmental Review Process	Req	Complete a comprehensive environmental review
PR-2	Lifecycle Cost Analysis (LCCA)	Req	Perform LCCA for pavement section
PR-3	Lifecycle Inventory (LCI)	Req	Perform LCI of pavement section
PR-4	Quality Control Plan	Req	Have a formal contractor quality control plan
PR-5	Noise Mitigation Plan	Req	Have a construction noise mitigation plan
PR-6	Waste Management Plan	Req	Have a plan to divert C&D waste from landfill
PR-7	Pollution Prevention Plan	Req	Have a TESC/SWPPP
PR-8	Low Impact Development (LID)	Req	Complete a LID feasibility study
PR-9	Pavement Management System	Req	Have a pavement management system
PR-10	Site Maintenance Plan	Req	Have a roadside maintenance plan
PR-11	Educational Outreach	Req	Publicize sustainability information for project
Environment & Water (EW) – Up to 21 Points			
EW-1	Environmental Management System	2	ISO 14001 certification for general contractor
EW-2	Runoff Flow Control	1-3	Reduce runoff quantity
EW-3	Runoff Quality	1-3	Treat stormwater to a higher level of quality
EW-4	Stormwater Cost Analysis	1	Conduct an LCCA for stormwater elements
EW-5	Site Vegetation	1-3	Use native low/no water vegetation
EW-6	Habitat Restoration	3	Restore habitat beyond what is required
EW-7	Ecological Connectivity	1-3	Connect habitat across roadways
EW-8	Light Pollution	3	Discourage light pollution
Access & Equity (AE) – Up to 30 Points			
AE-1	Safety Audit	1-2	Perform roadway safety audit
AE-2	Intelligent Transportation Systems (ITS)	2-5	Implement ITS solutions
AE-3	Context Sensitive Solutions	5	Plan for context sensitive solutions
AE-4	Traffic Emissions Reduction	5	Reduce emissions with quantifiable methods
AE-5	Pedestrian Access	1-2	Provide/improve pedestrian accessibility
AE-6	Bicycle Access	1-2	Provide/improve bicycle accessibility
AE-7	Transit Access	1-5	Provide/improve transit accessibility
AE-8	Scenic Views	1-2	Provide views of scenery or vistas
AE-9	Cultural Outreach	1-2	Promote art/culture/community values
Construction Activities (CA) – Up to 14 Points			
CA-1	Quality Management System	2	ISO 9001 certification for general contractor
CA-2	Environmental Training	1	Provide environmental training
CA-3	Site Recycling Plan	1	Have a plan to divert waste from landfill
CA-4	Fossil Fuel Reduction	1-2	Use alternative fuels in construction equipment
CA-5	Equipment Emissions Reduction	1-2	Meet EPA Tier 4 standards for non-road equip.
CA-6	Paving Emissions Reduction	1	Use pavers that meet NIOSH requirements
CA-7	Water Tracking	2	Develop data on water use in construction
CA-8	Contractor Warranty	3	Warranty on the constructed pavement

Materials & Resources (MR) – Up to 23 Points

MR-1	Life Cycle Assessment (LCA)	2	Conduct a detailed LCA of the entire project
MR-2	Pavement Reuse	1-5	Reuse existing pavement sections
MR-3	Earthwork Balance	1	Use native soil rather than import fill
MR-4	Recycled Materials	1-5	Use recycled materials for new pavement
MR-5	Regional Materials	1-5	Use regional materials to reduce transportation
MR-6	Energy Efficiency	1-5	Improve energy efficiency of operational systems

Pavement Technologies (PT) – Up to 20 Points

PT-1	Long-Life Pavement	5	Design pavements for long-life
PT-2	Permeable Pavement	3	Use permeable pavement as a LID technique
PT-3	Warm Mix Asphalt (WMA)	3	Use WMA in place of HMA
PT-4	Cool Pavement	5	Contribute less to urban heat island effect (UHI)
PT-5	Quiet Pavement	2-3	Use a quiet pavement to reduce noise
PT-6	Pavement Performance Tracking	1	Relate construction to performance data

Custom Credits (CC) – Available for all projects based on context and innovation, subject to approval

CC-1	Custom Credit 1	1-5	Design a new voluntary credit
CC-2	Custom Credit 2	1-5	Design a new voluntary credit

Greenroads Total Points: 118

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

EJERCICIO APLICACIÓN

Ejercicio

100

1. Reparación de pavimento asfáltico con inducción vs reparación convencional
 - No consume materiales, No emite polvo, Consume energía eléctrica, Se aplica de forma rápida, Requiere de incorporar fibras metálicas en la mezcla asfáltica, El pavimento extiende su vida.
2. Reparación de pavimento de hormigón con losas prefabricadas vs reparación convencional
 - Se aplica de forma rápida, Se pueden usar mezclas de hormigón de baja huella de carbono, Se necesita personal especializado para el montaje, Incrementa el transporte por m3 de material, Es más caro por m2 de pavimento que el tradicional, La vida del pavimento podría ser mayor.

Preguntas

Alcance- ¿Qué etapas del ciclo de vida? ¿Duración?

Inventario- ¿ categorías de impacto ambiental, social, económico?

Impacto- ¿qué indicadores usarían?

3. Mezclas asfálticas con lignina (residuo de la industria forestal) vs mezcla convencional

- La lignina es un residuo de la industria papelera, Extiende la vida útil del pavimento, Reduce la cantidad de asfalto que se necesita en la mezcla al sustituirlo, La lignina es más cara que el asfalto, La exposición sustancia no es tóxica . Se hacen mezclas asfálticas tibias.

4. Estabilizar material granular local vs traer material granular de buena calidad desde lejos

5. Tratamiento bituminoso con áridos de escoria de industria siderúrgica (residuo de la industria de producción de acero) vs TB con áridos pétreos.

Infraestructura

Contexto
sostenibilidad

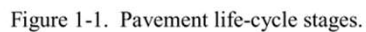
Sostenibilidad en
pavimentos

Ejemplo sostenibilidad
pavimentos

Calificación ambiental

Ejercicio

- re 1-1.



Ejercicio

Table 4: CSD Theme Indicator Framework

SOCIAL		
Theme	Sub-theme	Indicator
Equity	Poverty (3)	Percent of Population Living below Poverty Line
		Gini Index of Income Inequality
		Unemployment Rate
Health (6)	Gender Equality (24)	Ratio of Average Female Wage to Male Wage
	Nutritional Status	Nutritional Status of Children
	Mortality	Mortality Rate Under 5 Years Old
		Life Expectancy at Birth
	Sanitation	Percent of Population with Adequate Sewage Disposal Facilities
	Drinking Water	Population with Access to Safe Drinking Water
	Healthcare Delivery	Percent of Population with Access to Primary Health Care Facilities
		Immunization Against Infectious Childhood Diseases
Contraceptive Prevalence Rate		
Education (36)	Education Level	Secondary or Primary School Completion Ratio
	Literacy	Adult Literacy Rate
Housing (7)	Living Conditions	Floor Area per Person
Security	Crime (36, 24)	Number of Recorded Crimes per 100,000 Population
Population (5)	Population Change	Population Growth Rate
		Population of Urban Formal and Informal Settlements
ENVIRONMENTAL		
Theme	Sub-theme	Indicator
Atmosphere (9)	Climate Change	Emissions of Greenhouse Gases
	Ozone Layer Depletion	Consumption of Ozone Depleting Substances
	Air Quality	Ambient Concentration of Air Pollutants in Urban Areas

Land (10)	Agriculture (14)	Arable and Permanent Crop Land Area
		Use of Fertilizers
		Use of Agricultural Pesticides
	Forests (11)	Forest Area as a Percent of Land Area
	Desertification (12)	Land Affected by Desertification
Oceans, Seas and Coasts (17)	Urbanization (7)	Area of Urban Formal and Informal Settlements
	Coastal Zone	Algae Concentration in Coastal Waters
		Percent of Total Population Living in Coastal Areas
	Fisheries	Annual Catch by Major Species
Fresh Water (18)	Water Quantity	Annual Withdrawal of Ground and Surface Water as a Percent of Total Available Water
	Water Quality	BOD in Water Bodies
		Concentration of Faecal Coliform in Freshwater
Biodiversity (15)	Ecosystem	Area of Selected Key Ecosystems
	Species	Protected Area as a % of Total Area
		Abundance of Selected Key Species

ECONOMIC		
Theme	Sub-theme	Indicator
Economic Structure (2)	Economic Performance	GDP per Capita
		Investment Share in GDP
	Trade	Balance of Trade in Goods and Services
	Financial Status (33)	Debt to GNP Ratio
Consumption and Production Patterns (4)	Material Consumption	Total ODA Given or Received as a Percent of GNP
		Intensity of Material Use
	Energy Use	Annual Energy Consumption per Capita
		Share of Consumption of Renewable Energy Resources
		Intensity of Energy Use
	Waste Generation and Management (19-22)	Generation of Industrial and Municipal Solid Waste
		Generation of Hazardous Waste
		Generation of Radioactive Waste
	Transportation	Waste Recycling and Reuse
		Distance Traveled per Capita by Mode of Transport

Table 10-1. Typical LCA impact categories.

Group	Impact Category	Geographical scale	Comment on Available Impact factors
Energy use	Fuel, non-renewable ¹ Resources, non-renewable Resources, non-renewable, secondary Fuel, renewable Resource, renewable Resource, renewable, secondary	Global	Small uncertainty, both energy use and feedstock energy should be quantified
Resource use	Resource, renewable Resources, non-renewable ²	Global	Small uncertainty
Emissions	Climate Change ^{1,2}	Global	Small uncertainty, typical 100 year time horizon, biogenic CO ₂ requires special attention
	Ozone layer depletion ^{1,2}	Global	Small uncertainty
	Acidification ^{1,2}	Regional	Small uncertainty
	Tropospheric ozone ^{1,2}	Local	Medium uncertainty
Toxicity	Eutrophication ^{1,2}	Local	Small uncertainty, local
	Human toxicity ² , respiratory ¹	All scales	High uncertainty, incomplete
	Human toxicity, carcinogenic ¹		
	Human toxicity, non-carcinogenic ¹		
	Ecotoxicity ¹ , fresh water ²		
Water	Ecotoxicity, marine water ²	Local	Small uncertainty
	Ecotoxicity, soil ²		
Water	Fresh water use	Local	Small uncertainty
Waste	Hazardous	Local	Small uncertainty
	Non-hazardous		



Gracias por su atención

Kevork Micael Nalbandian – kmnalbandian@uc.cl

REFERENCIAS

Referencias

- ✓ Cao, W., Mohammad, L.N., Elseifi, M., Cooper, S.B., Saadeh, S., 2018. Fatigue performance prediction of asphalt pavement based on semicircular bending test at intermediate temperature. J. Mater. Civ. Eng. 30, 1–8. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002448](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002448)
- ✓ Conicyt, 2010. Investigación En Transporte En Chile: Areas De Investigación Y Capacidades. Informe De Estado Del Arte.
- ✓ European Commission. (2014). *Transport emissions / Climate Action*. European Commission. https://ec.europa.eu/clima/policies/transport_en
- ✓ FHWA, 2002. Life-Cycle Cost Analysis Primer. Washington, DC.
- ✓ FHWA. 1998. Life-cycle Cost Analysis in Pavement Design. HNG-42/9-98(5M)QE. Washington, DC: FHWA.
- ✓ Harvey, J. T., Meijer, J., Ozer, H., Al-Qadi, I., Saboori, A., & Kendall, A. (2016). Pavement Life Cycle Assessment Framework. In Fhwa-Hif-16-014 (Issue FHWA-HIF-16-014). <https://doi.org/10.1136/jme.2004.011270>
- ✓ Hossain, M.U., Ng, S.T., 2018. Critical consideration of buildings' environmental impact assessment towards adoption of circular economy: An analytical review. J. Clean. Prod. 205, 763–780. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.120>
- ✓ International Energy Agency. (2017, October 31). CO₂ Emissions from fuel combustion 2017 - Highlights. *International Energy Agency*, 1–162. https://doi.org/10.1787/co2_fuel-2017-en
- ✓ Mohammad, L.N., Kim, M., Elseifi, M., 2012. Characterization of asphalt mixture's fracture resistance using the semi-circular bending (SCB) test. RILEM Bookseries 4, 1–10. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4566-7_1
- ✓ Mull, M.A., Stuart, K., Yehia, A., 2002. Fracture resistance characterization of chemically modified crumb rubber asphalt pavement. J. Mater. Sci. 37, 557–566.

Referencias

- ✓ Nalbandian, K.M., Carpio, M., González, Á., 2021. Analysis of the scientific evolution of self-healing asphalt pavements: toward sustainable road materials. *J. Clean. Prod.* 126107. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126107>
- ✓ Rodríguez-Alloza, A.M., Heihsel, M., Fry, J., Gallego, J., Geschke, A., Wood, R., Lenzen, M., 2019. Consequences of long-term infrastructure decisions—the case of self-healing roads and their CO₂ emissions. *Environ. Res. Lett.* 14, 114040. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab424a>
- ✓ Sompura, S. J. (2017). Life cycle cost analysis of precast concrete pavement (Issue December). California State University.
- ✓ Spence, R., Mulligan, H., 1995. Sustainable development and the construction industry. *Habitat Int.* 19, 279–292. [https://doi.org/10.1016/0197-3975\(94\)00071-9](https://doi.org/10.1016/0197-3975(94)00071-9)
- ✓ Tabaković, A., Schlangen, E., 2016. Self-healing technology for asphalt pavements, *Advances in Polymer Science*. https://doi.org/10.1007/12_2015_335
- ✓ UNEP, 2020. Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products and Organizations 2020. Benoît Norris, C., Traverso, M., Neugebauer, S., Ekener, E., Schaubroeck, T., Russo Garrido, S., Berger, M., Valdivia, S., Lehmann, A., Finkbeiner, M., Arcese, G. (eds.). United Nations Environment Programme (UNEP).
- ✓ Van Dam, T.J., Harvey, J.T., Muench, S.T., Smith, K.D., Snyder, M.B., Al-Qadi, I.L., Ozer, H., Meijer, J., Ram, P. V., Roesler, J.R., Kendall, A., 2015. Towards Sustainable Pavement Systems : A Reference Document. Washington, DC.
- ✓ Wu, Z., Mohammad, L.N., Wang, L.B., Mull, M.A., 2005. Fracture Resistance Characterization of Superpave Mixtures Using the Semi-Circular Bending Test. *J. ASTM Int.* 2, 1–15.
- ✓ Xu, J., Deng, Y., Shi, Y., Huang, Y., 2019. A bi-level optimization approach for sustainable development and carbon emissions reduction towards construction materials industry: a case study from China. *Sustain. Cities Soc.* 53, 101828. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101828>