

WEBINAR

MEJORES PRÁCTICAS

EN EL EMPLEO DE SOBRECAPAS DE HORMIGÓN

Diseño Estructural de Whitetopping adherido

Ing. EDGARDO BECKER

DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN WHITETOPPING ADHERIDO

Ing. Edgardo BECKER


INDICE DE LA PRESENTACIÓN

- Conceptos básicos del WT (whitetopping)
- ¿Por qué usar macrofibra? → ¿cómo condiciona el diseño?
- ¿Cómo encaramos un diseño? → influencia de las variables
- Consideraciones finales



“MEJORES PRACTICAS EN EL EMPLEO DE SOBRECAPAS DE HORMIGÓN”

CT.03
Pavimentos

 Jueves 30 de Noviembre
de 16 a 18 h

Disertantes:

Ing. David Fontans
Ing. Diego Calo
Ing. Edgardo Becker

INSCRÍBASE
AQUÍ

Actividad sin cargo

Requiere inscripción previa

PROGRAMA

- Diseño estructural de whitetopping adherido (Ing. E. Becker)
- Desempeño de los primeros proyectos de WT en Uruguay y actualidad técnica (Ing. David Fontans)
- Rehabilitación de pavimento rígido con recubrimientos no adheridos de hormigón - Caso de estudio: rotonda de acceso a La Plata (Ing. Diego Calo)

WHITETOPPING – Conceptos Básicos

Opción de Capa de Refuerzo Adherida

(Mantenimiento preventivo/Rehabilitación menor)

En general, las capas adheridas se utilizan para eliminar deterioros superficiales cuando el pavimento existente presenta buenas condiciones estructurales.

La adherencia es esencial, de manera que es necesaria una cuidadosa preparación de la superficie antes de colocar la capa.

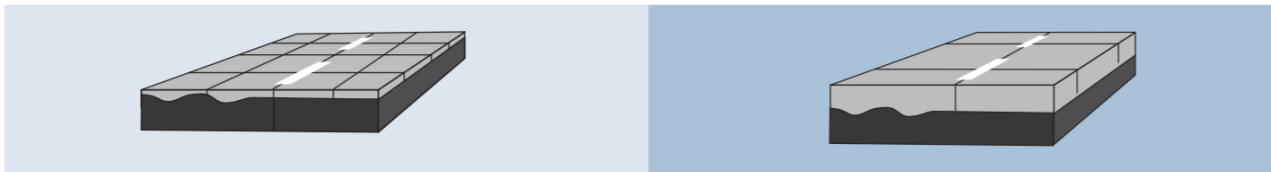
Opción de Capa de Refuerzo no Adherida

(Rehabilitación Mayor/Menor)

En general, las capas no adheridas son altamente confiables, proporcionando vidas de diseño mayores que una rehabilitación con asfalto.

Se necesita un mínimo de reparaciones previas a la colocación de la capa no adherida.

SOBRE ASFALTO



SOBRE PAVIMENTO COMPUESTO



SOBRE HORMIGÓN

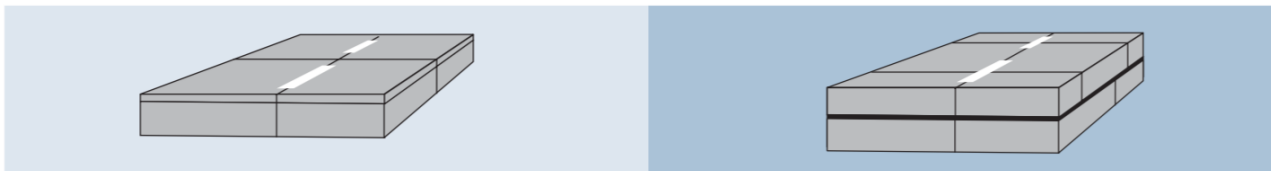
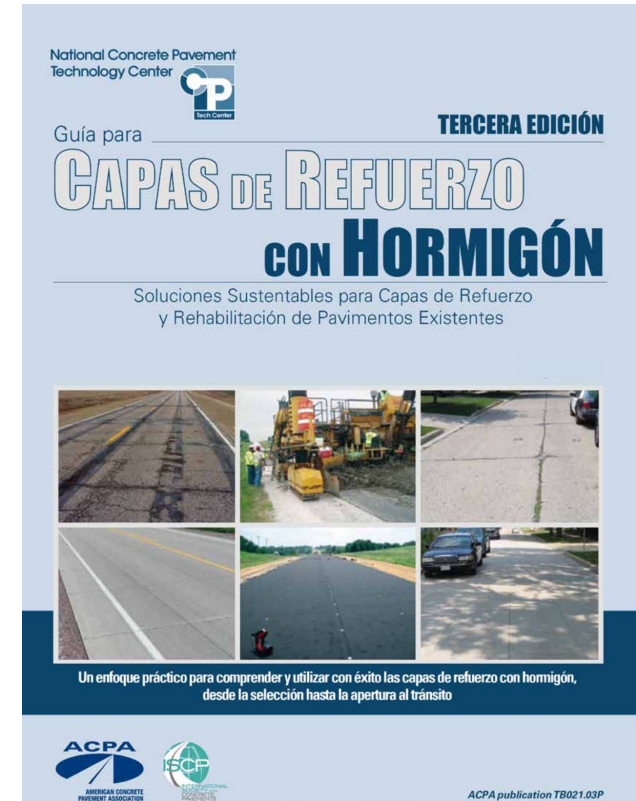


Figura 2. Tipos de capas de refuerzo con hormigón



Fuente: ACPA publication TB021.03P (2014).
Guía para CAPAS DE REFUERZO CON HORMIGÓN, 3^{era} edición. Soluciones Sustentables para Capas de Refuerzo y Rehabilitación de Pavimentos Existentes.

WHITETOPPING – Conceptos Básicos

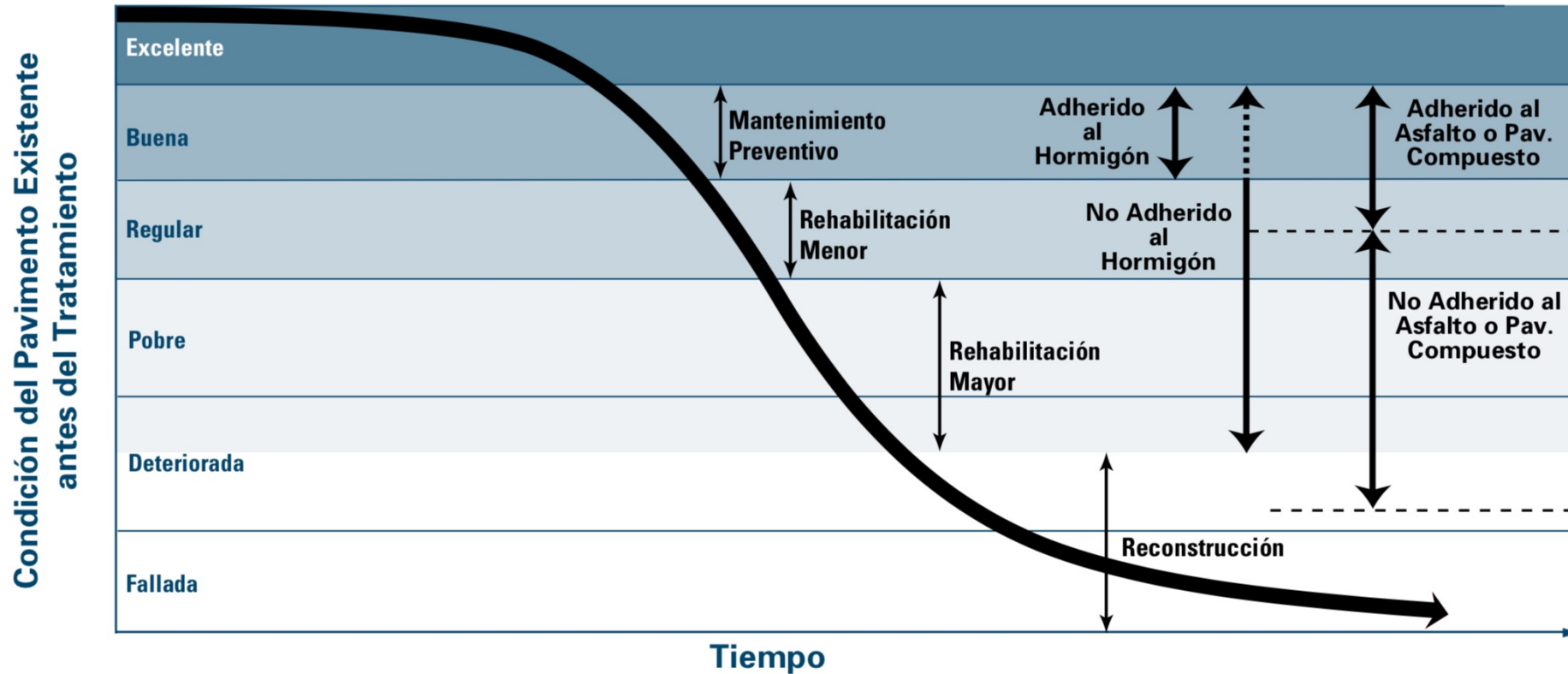
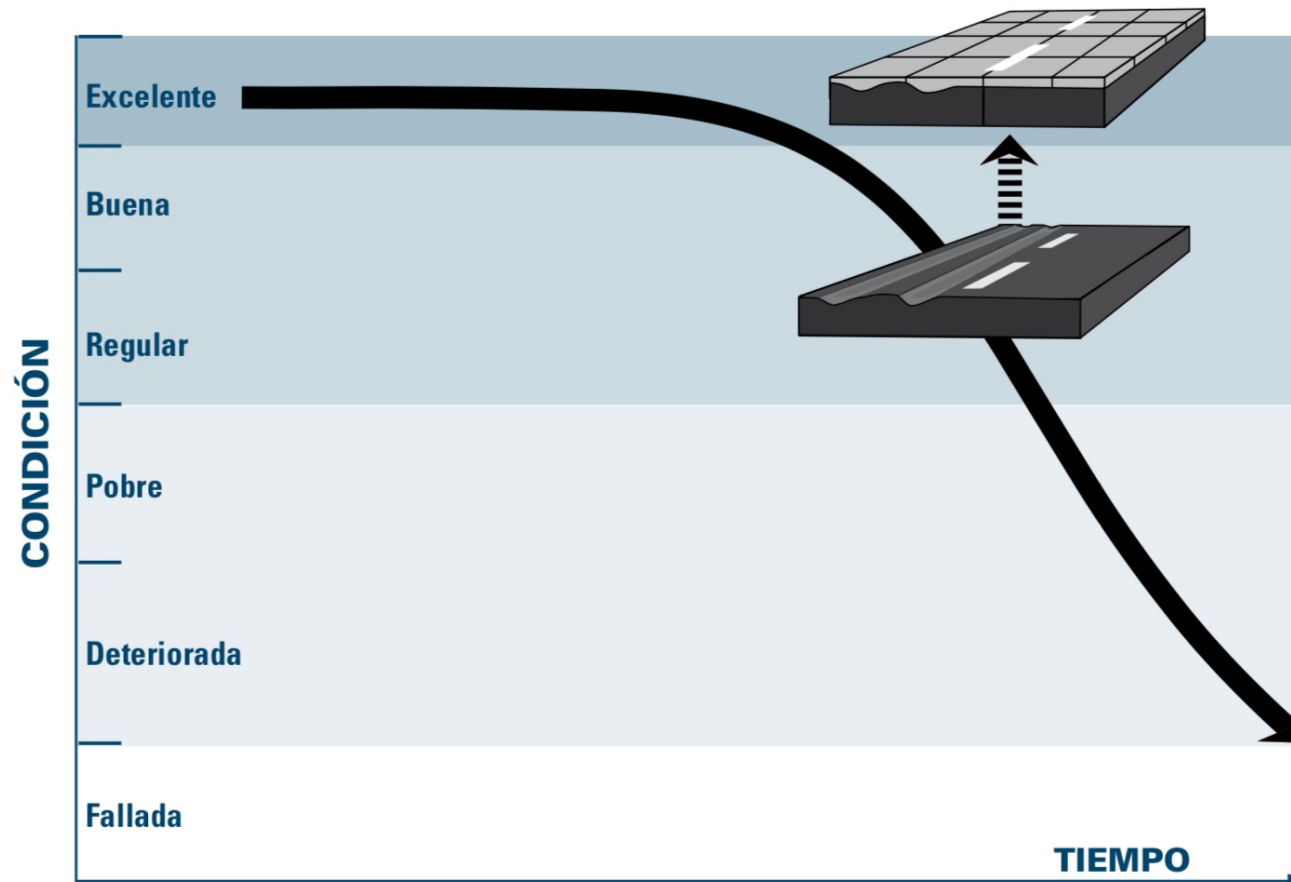


Figura 6 . Típicas soluciones con hormigón adherido y no adherido en diferentes etapas de la vida de servicio de un pavimento

Fuente: ACPA publication TB021.03P (2014). Guía para CAPAS DE REFUERZO CON HORMIGÓN, 3^{era} edición. Soluciones Sustentables para Capas de Refuerzo y Rehabilitación de Pavimentos Existentes.

WHITETOPPING – Conceptos Básicos

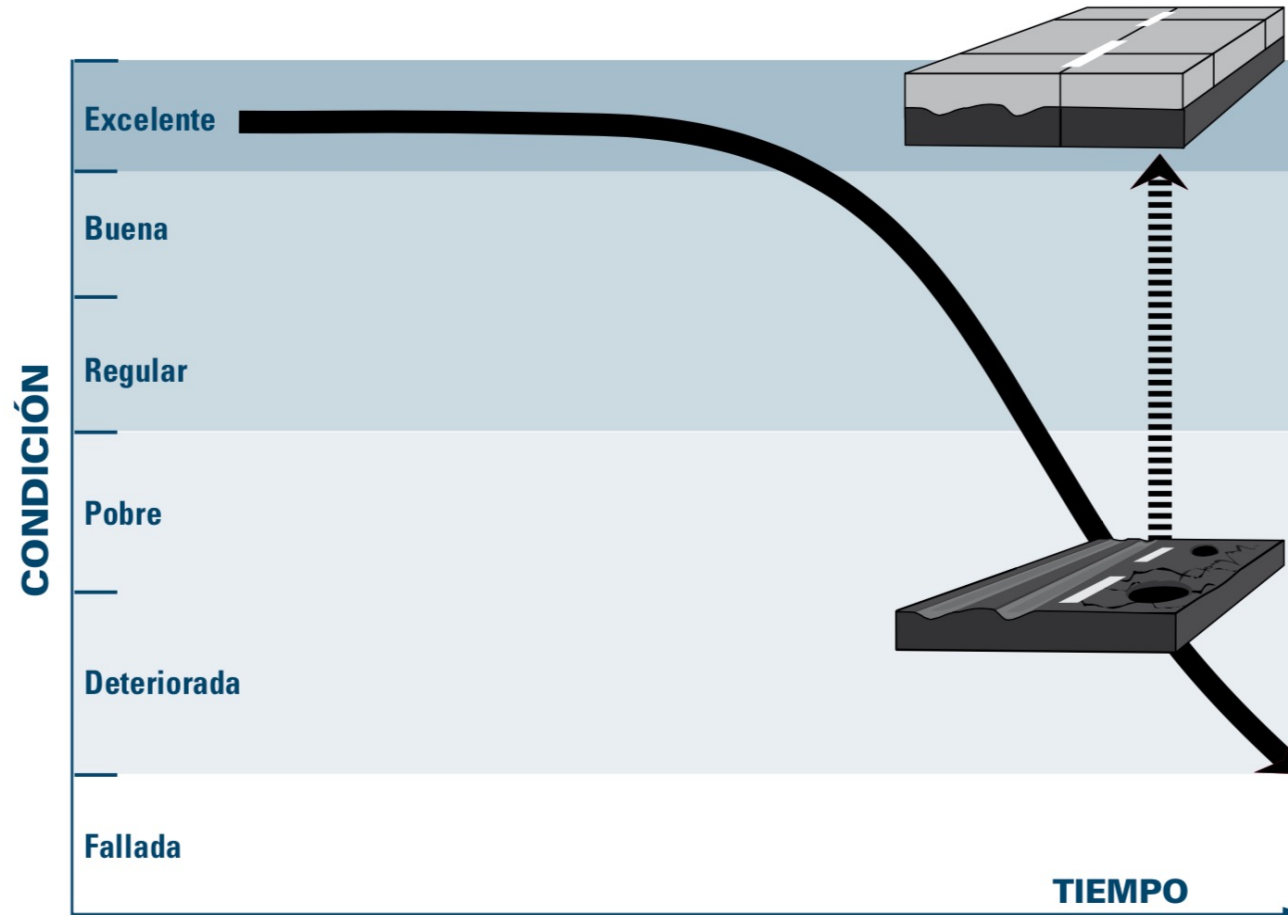
Refuerzo de hormigón sobre asfalto adherido (whitetopping adherido)



Fuente: ACPA publication TB021.03P (2014). *Guía para CAPAS DE REFUERZO CON HORMIGÓN*, 3^{era} edición. *Soluciones Sustentables para Capas de Refuerzo y Rehabilitación de Pavimentos Existentes.*

WHITETOPPING – Conceptos Básicos

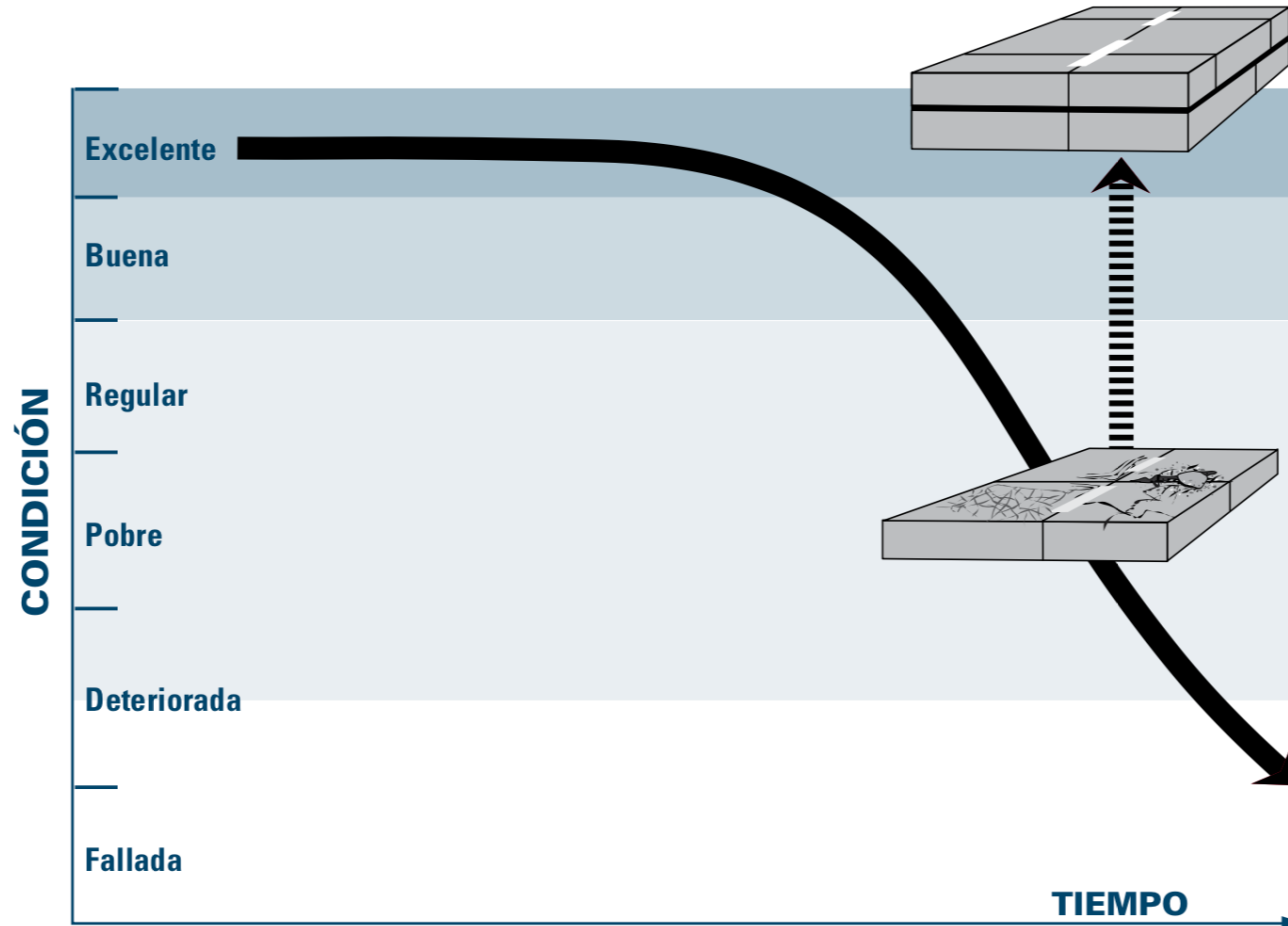
Refuerzo de hormigón sobre asfalto no adherido (whitetopping NO adherido)



Fuente: ACPA publication TB021.03P (2014). Guía para CAPAS DE REFUERZO CON HORMIGÓN, 3^{era} edición. Soluciones Sustentables para Capas de Refuerzo y Rehabilitación de Pavimentos Existentes.

WHITETOPPING – Conceptos Básicos

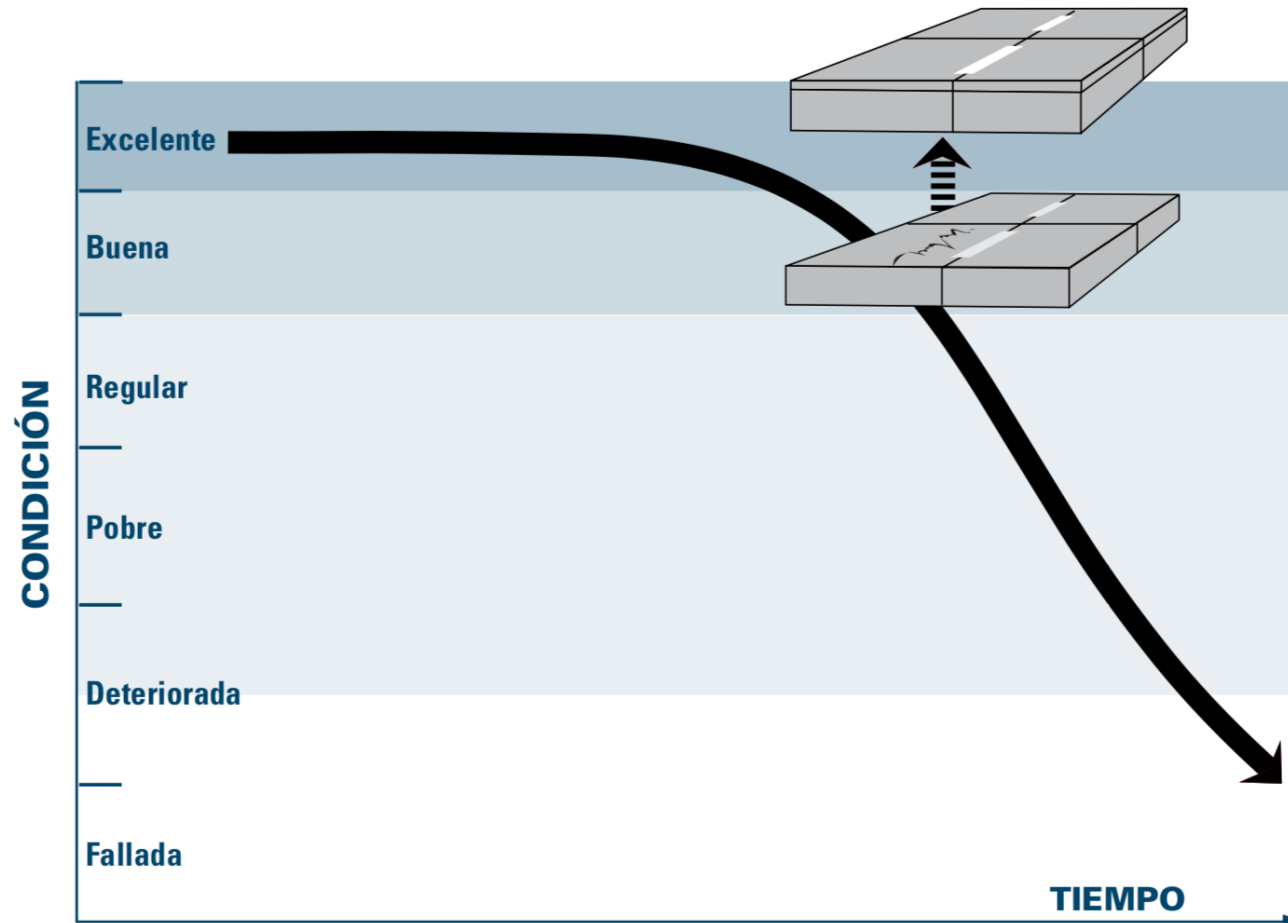
Refuerzo de hormigón sobre hormigón NO adherido



Fuente: ACPA publication TB021.03P (2014). Guía para CAPAS DE REFUERZO CON HORMIGÓN, 3^{era} edición. Soluciones Sustentables para Capas de Refuerzo y Rehabilitación de Pavimentos Existentes.

WHITETOPPING – Conceptos Básicos

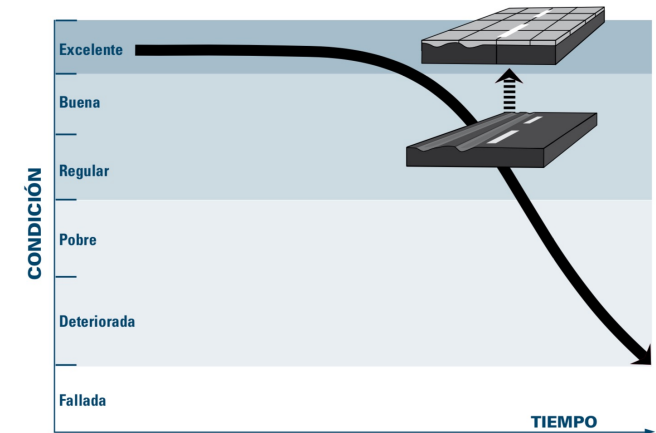
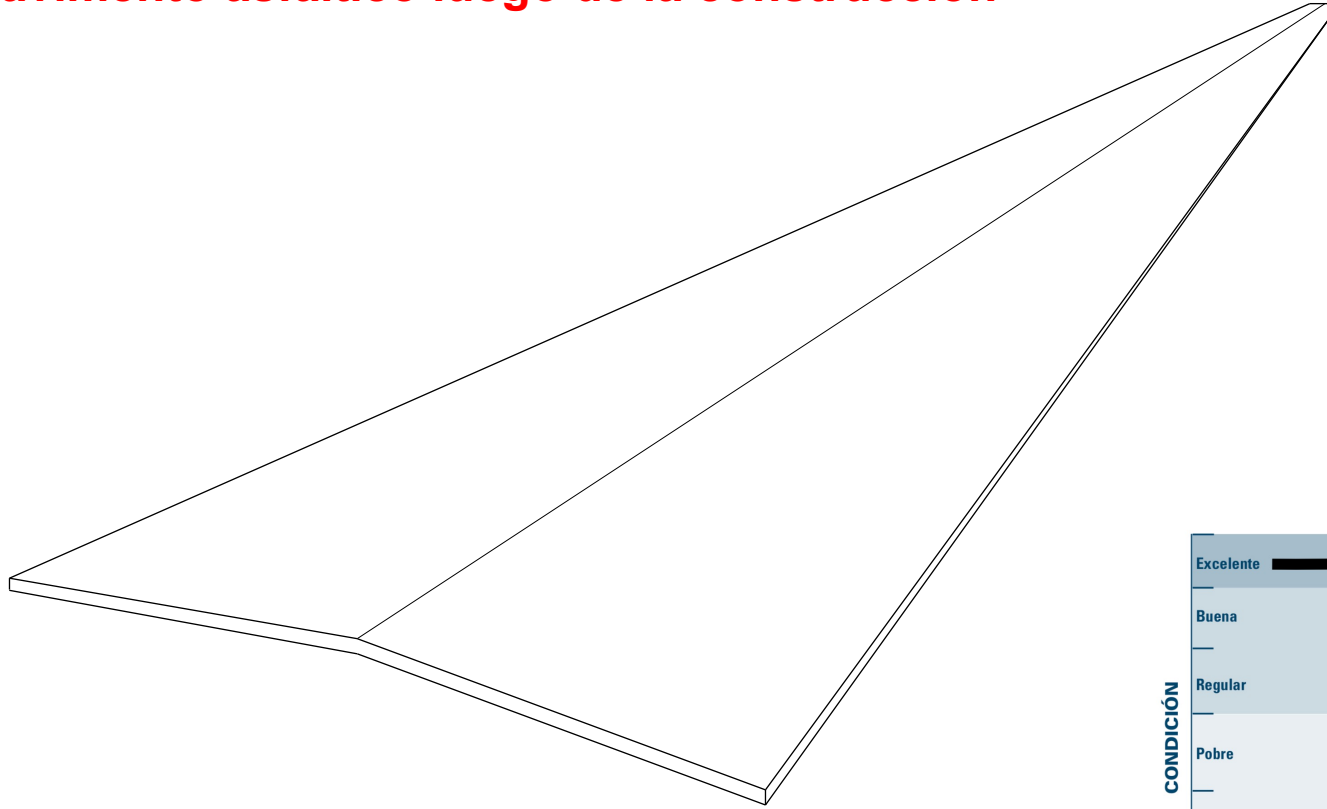
Refuerzo de hormigón sobre hormigón adherido



Fuente: ACPA publication TB021.03P (2014). Guía para CAPAS DE REFUERZO CON HORMIGÓN, 3^{era} edición. Soluciones Sustentables para Capas de Refuerzo y Rehabilitación de Pavimentos Existentes.

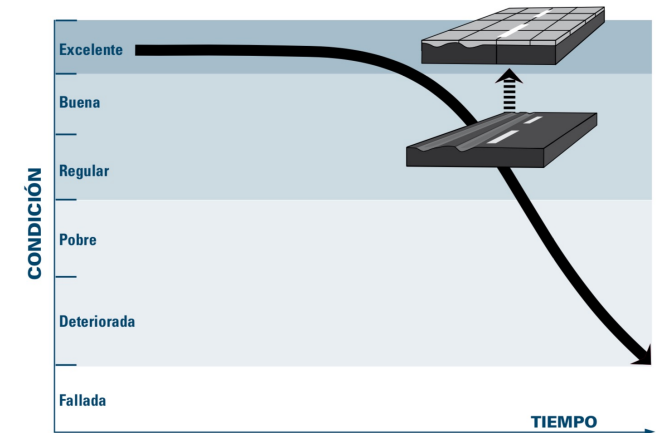
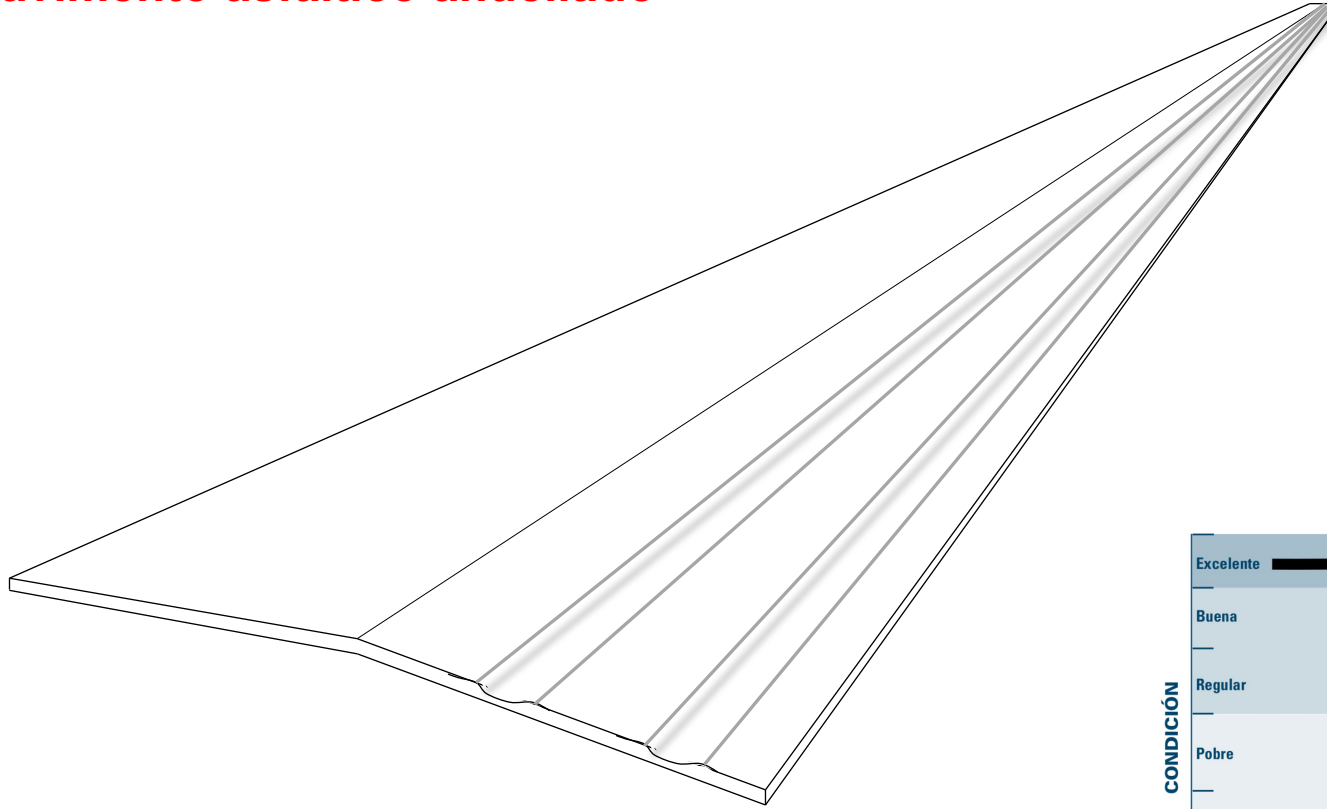
WHITETOPPING – Conceptos Básicos

Pavimento asfáltico luego de la construcción



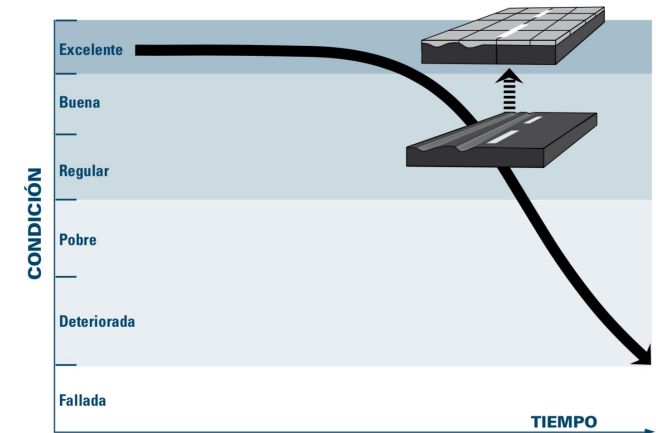
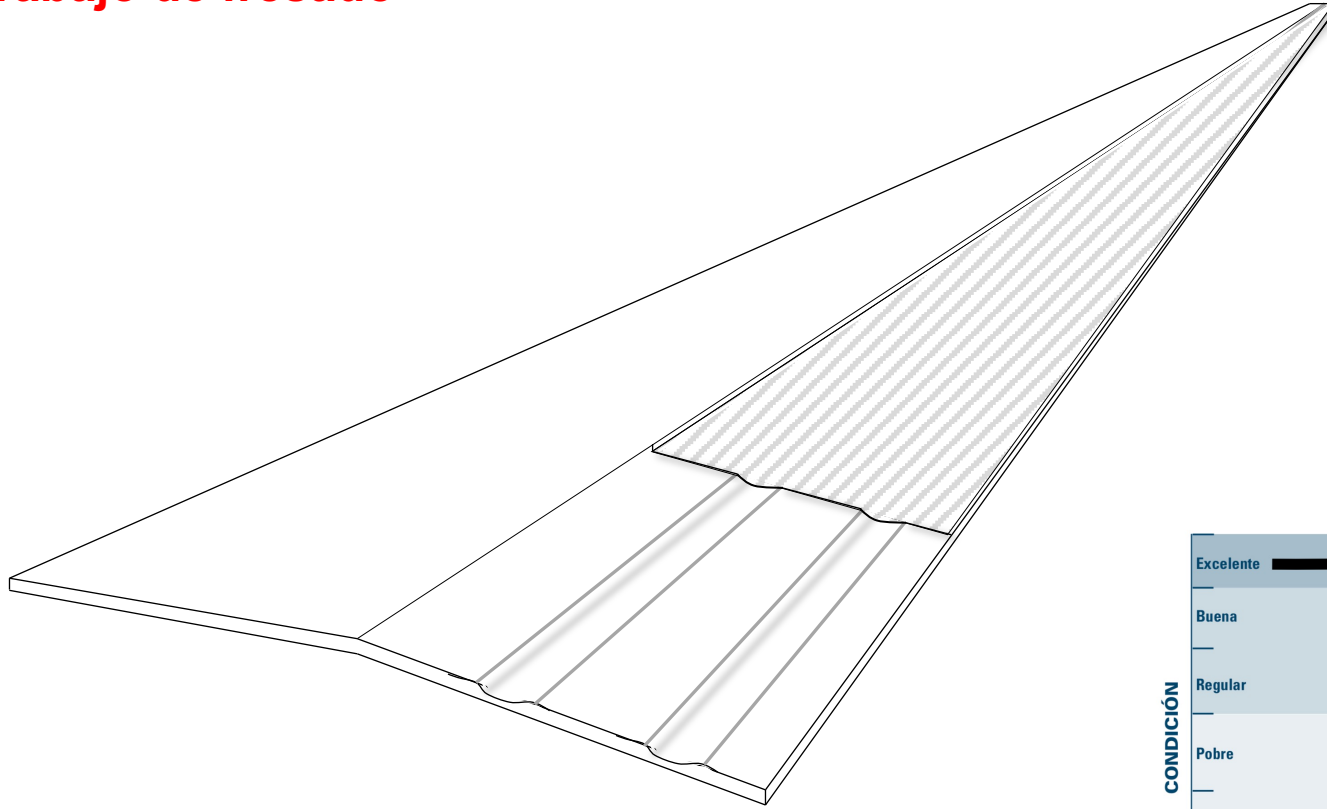
WHITETOPPING – Conceptos Básicos

Pavimento asfáltico ahuellado



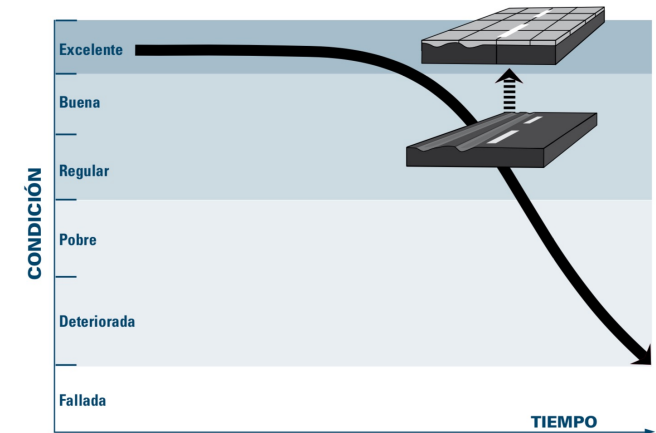
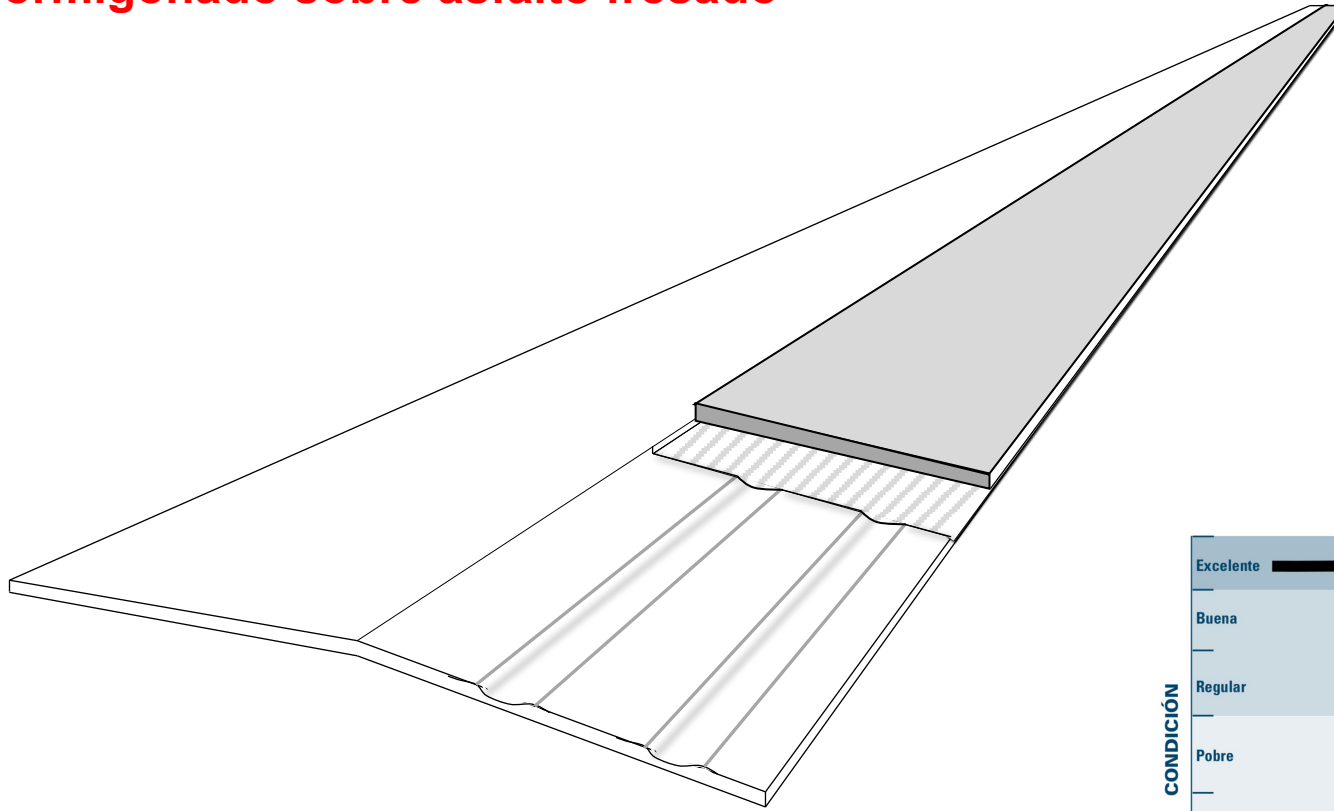
WHITETOPPING – Conceptos Básicos

Trabajo de fresado



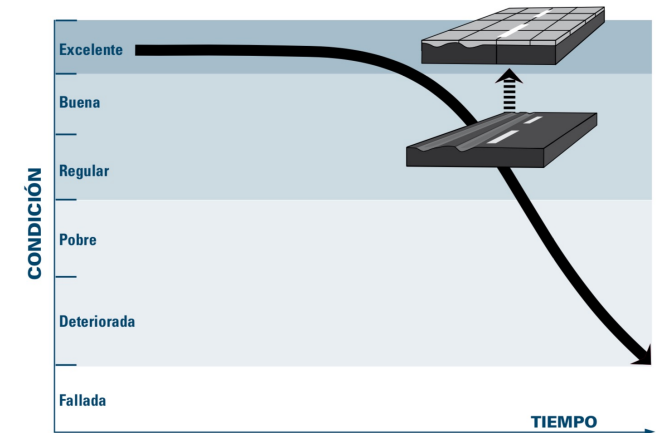
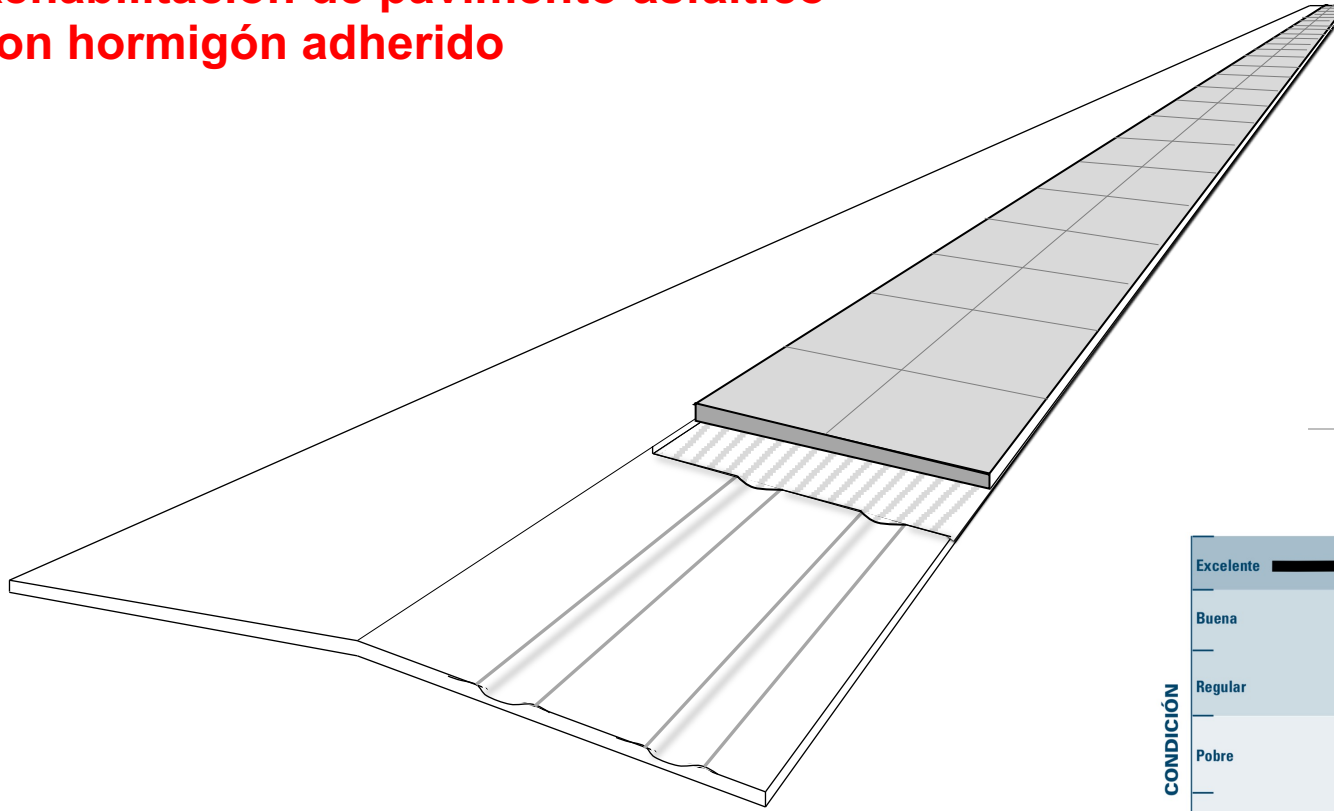
WHITETOPPING – Conceptos Básicos

Hormigonado sobre asfalto fresado



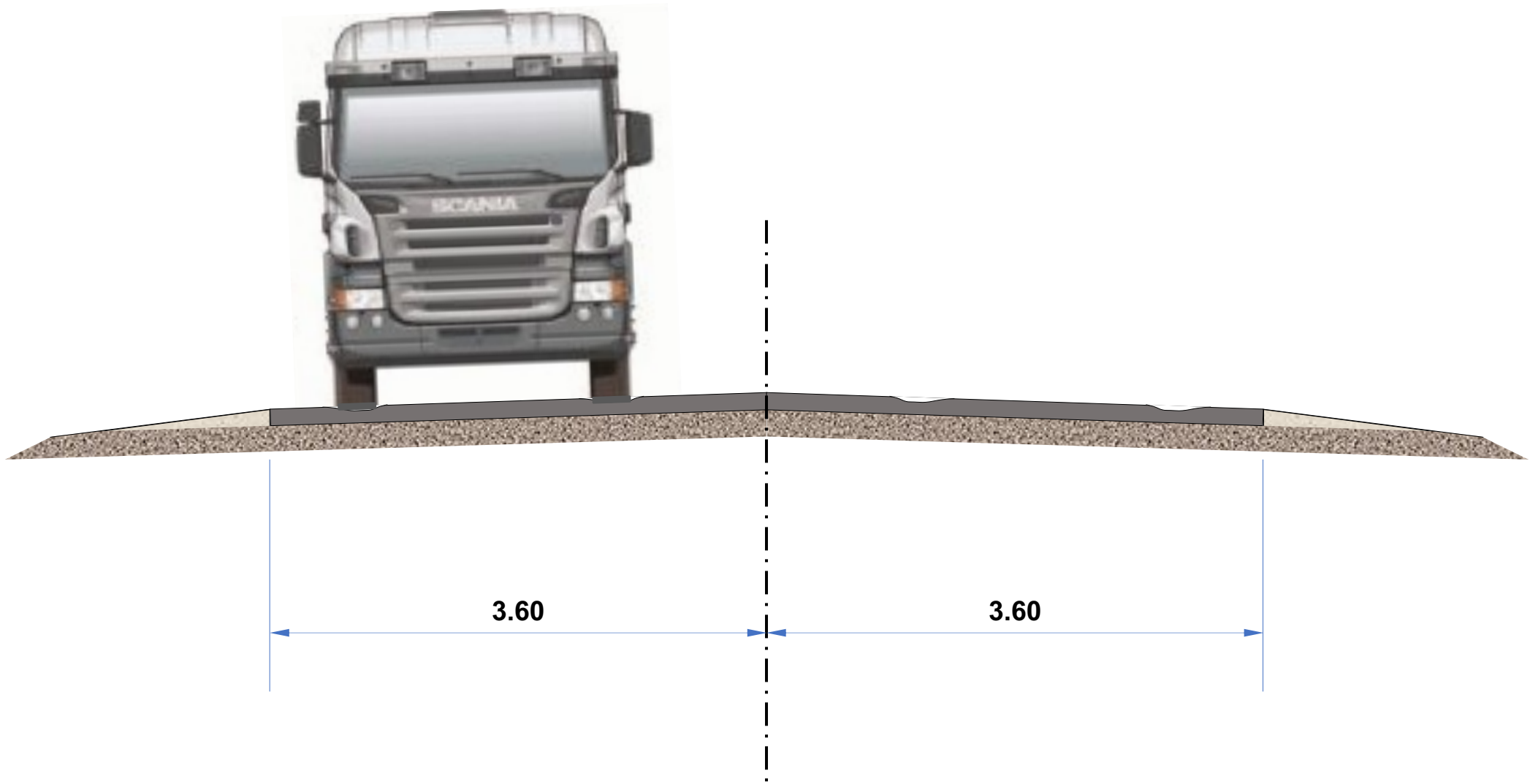
WHITETOPPING – Conceptos Básicos

Rehabilitación de pavimento asfáltico
con hormigón adherido



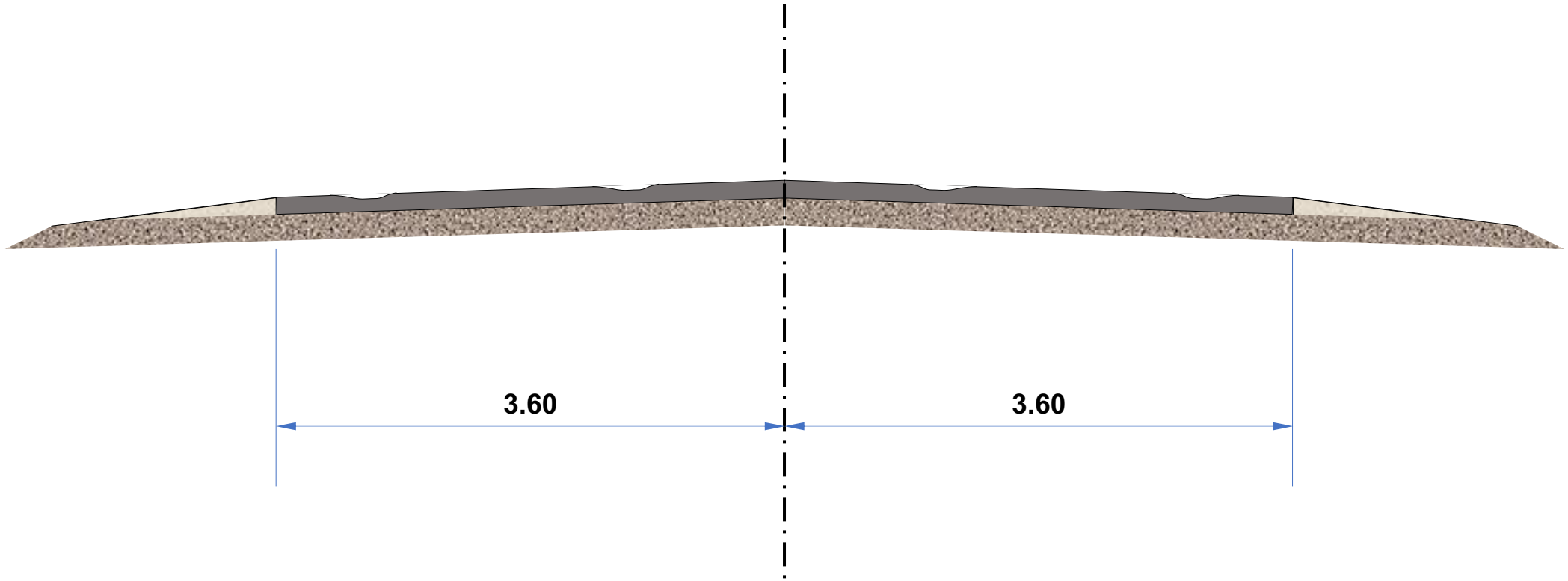
WHITETOPPING – Conceptos Básicos

Pavimento de asfalto ahuellado



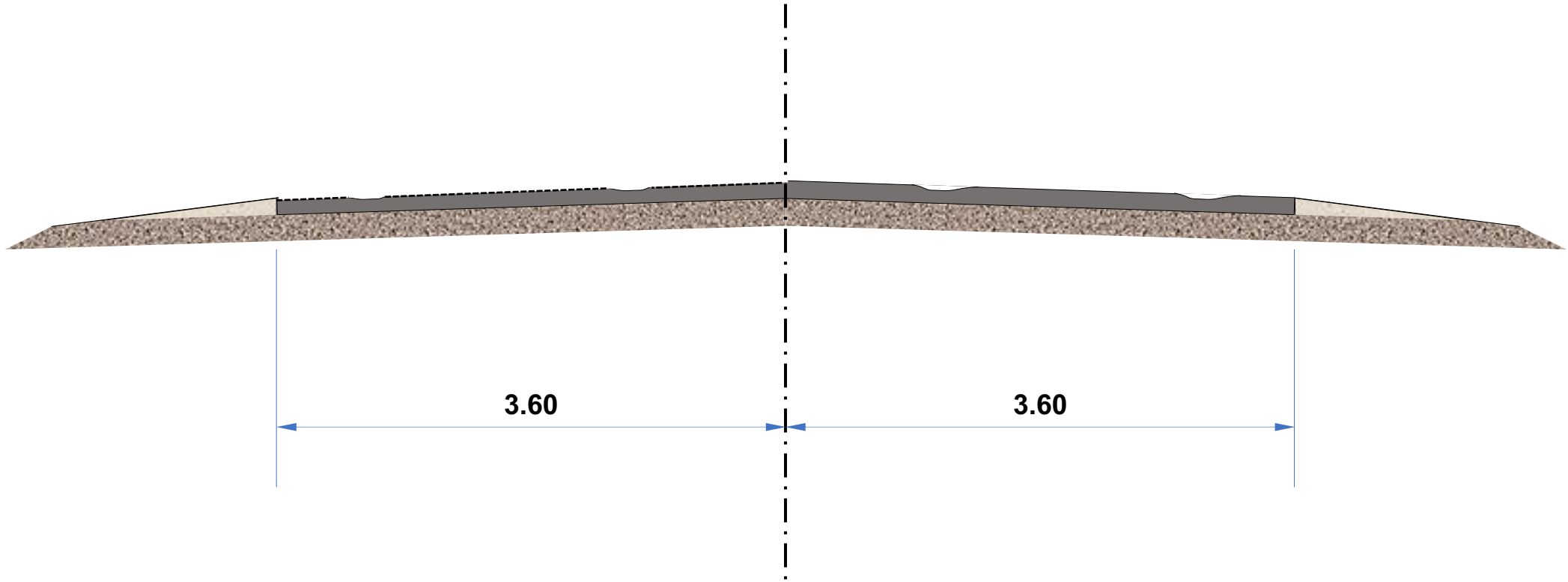
WHITETOPPING – Conceptos Básicos

Pavimento de asfalto ahuellado



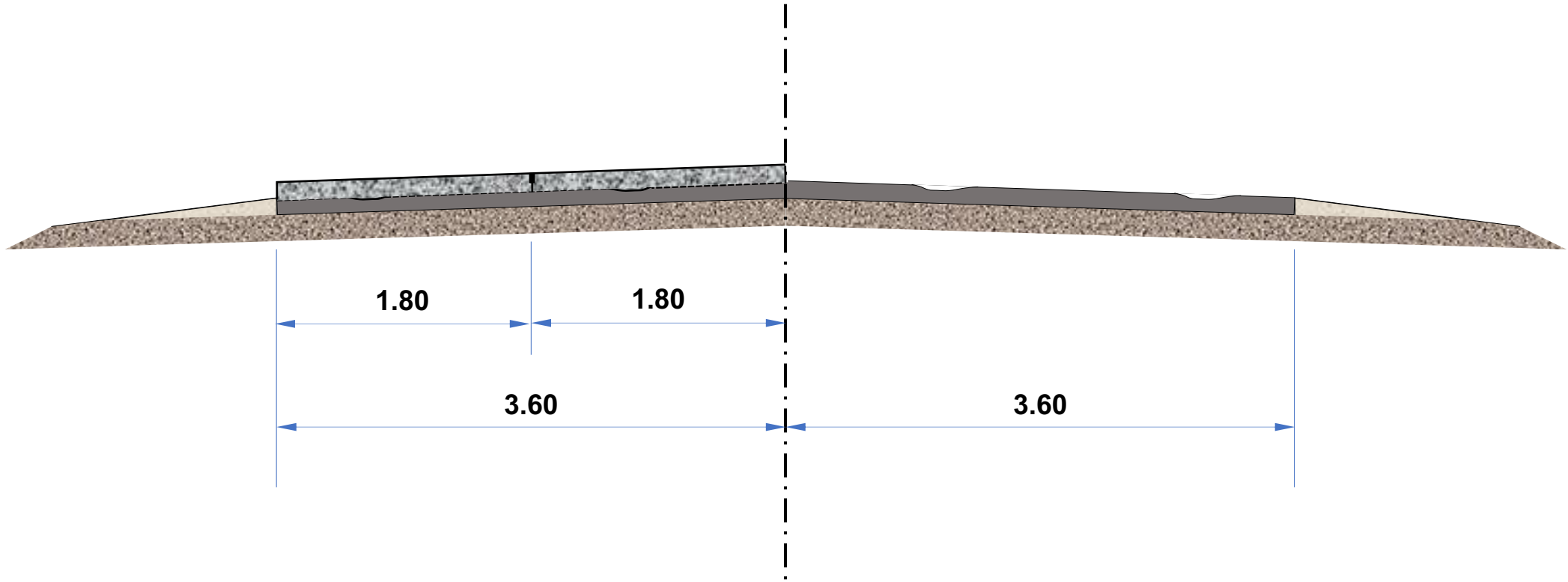
WHITETOPPING – Conceptos Básicos

Fresado de pavimento de asfalto ahuellado



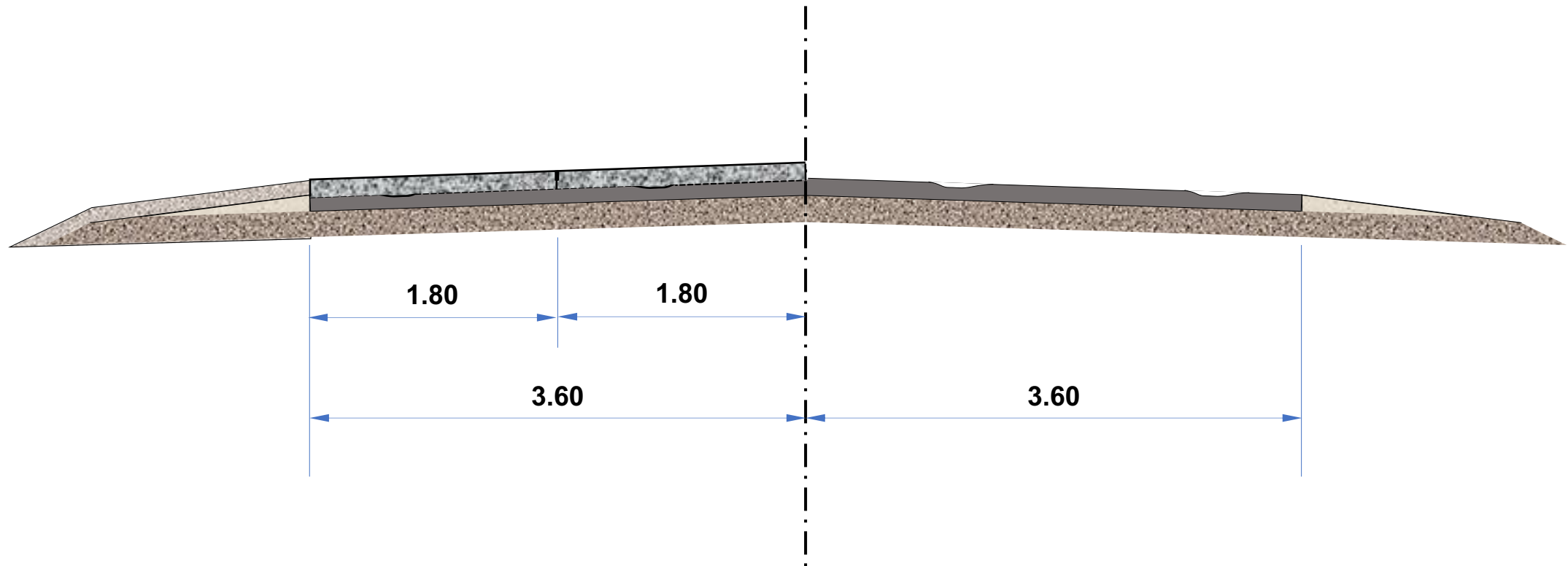
WHITETOPPING – Conceptos Básicos

Construcción de recubrimiento de hormigón adherido



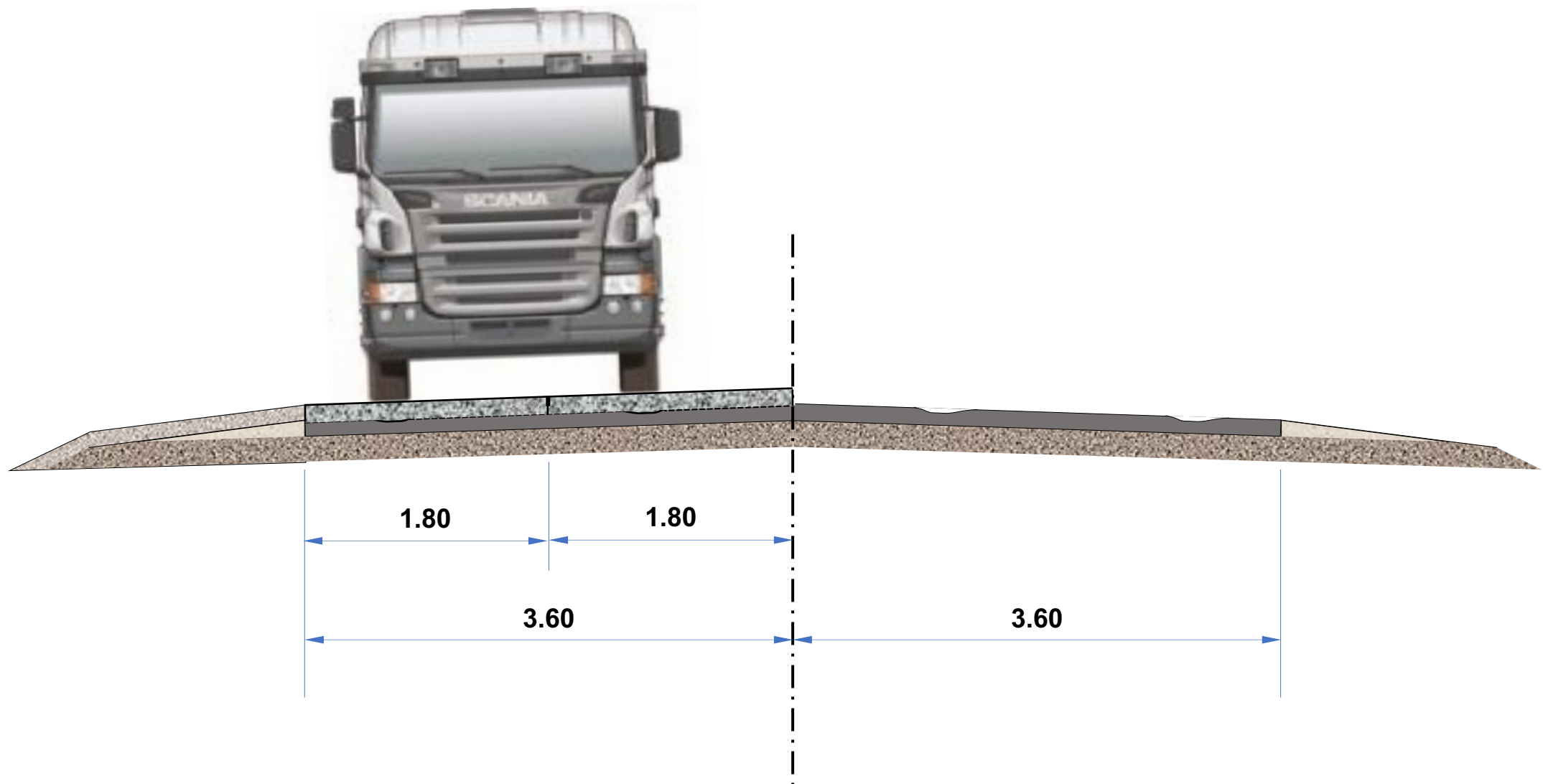
WHITETOPPING – Conceptos Básicos

Nivelación de la banquina



WHITETOPPING – Conceptos Básicos

Recubrimiento de hormigón adherido en servicio



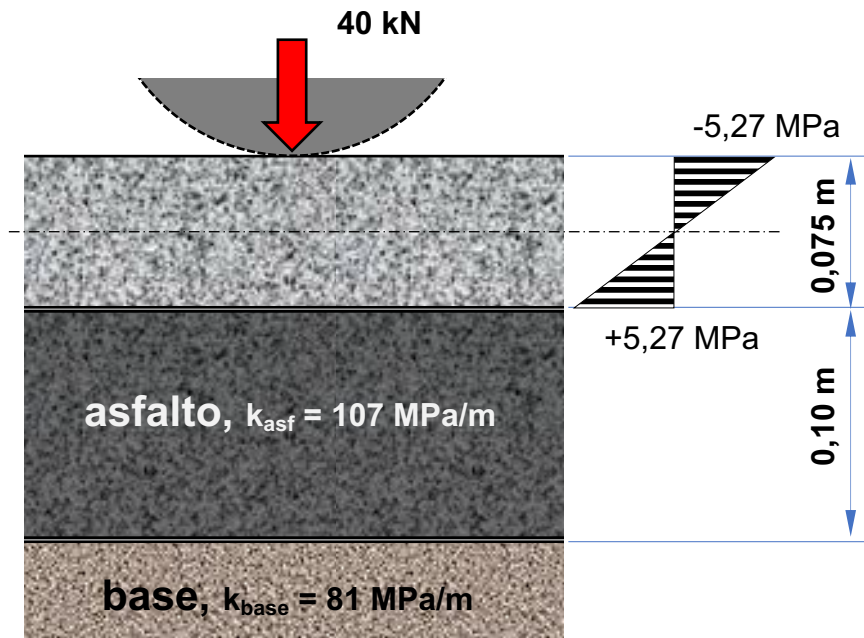
WHITETOPPING – Conceptos Básicos

Recubrimiento de hormigón adherido en servicio

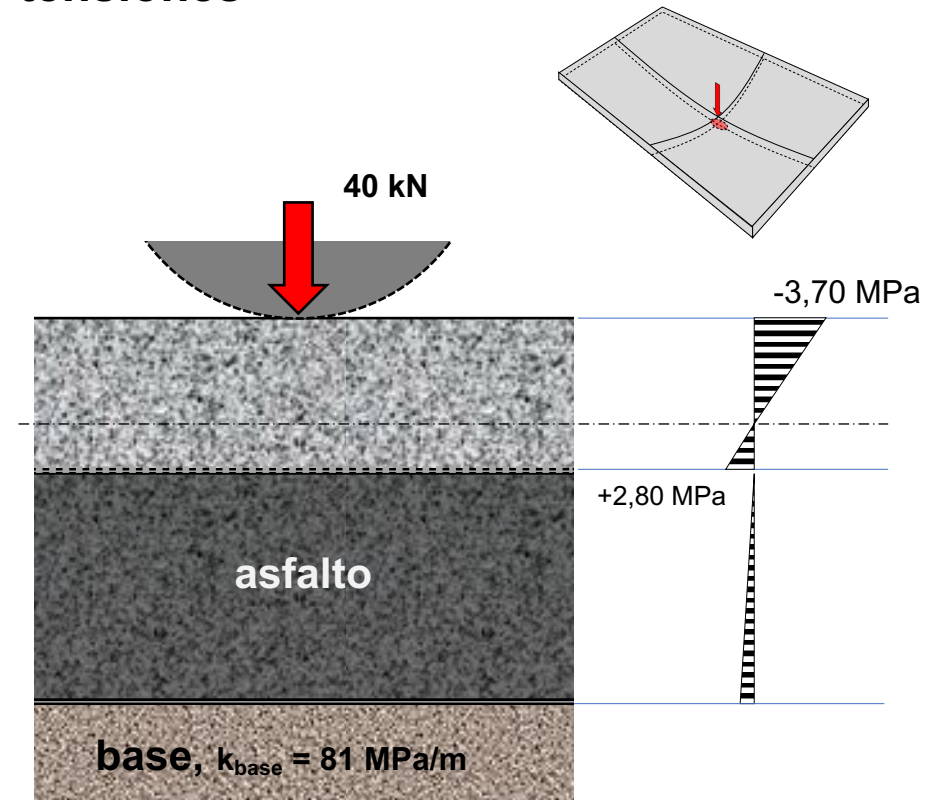


WHITETOPPING – Conceptos Básicos

Influencia de la adherencia sobre las tensiones
carga dentro de la losa



a) Capa de hormigón NO adherida

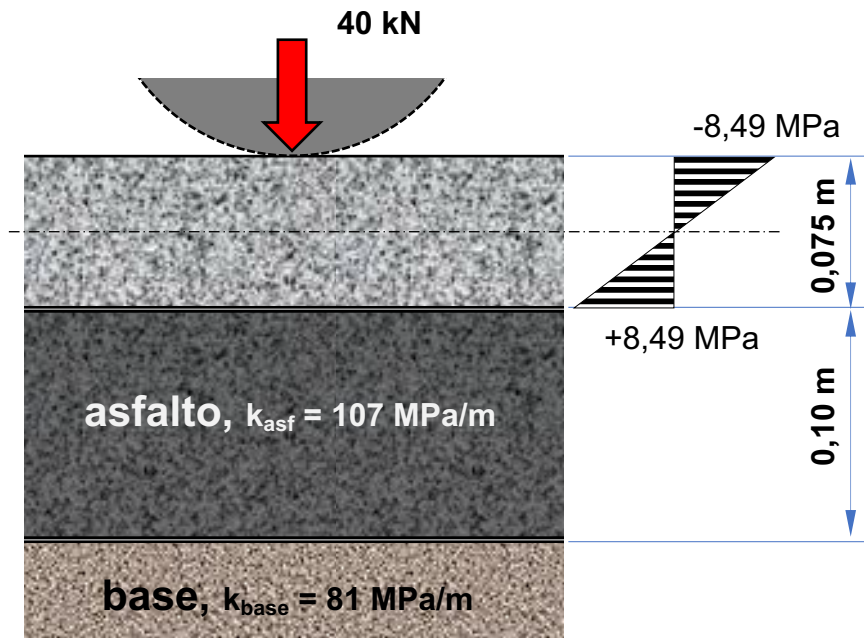


b) Capa de hormigón adherida

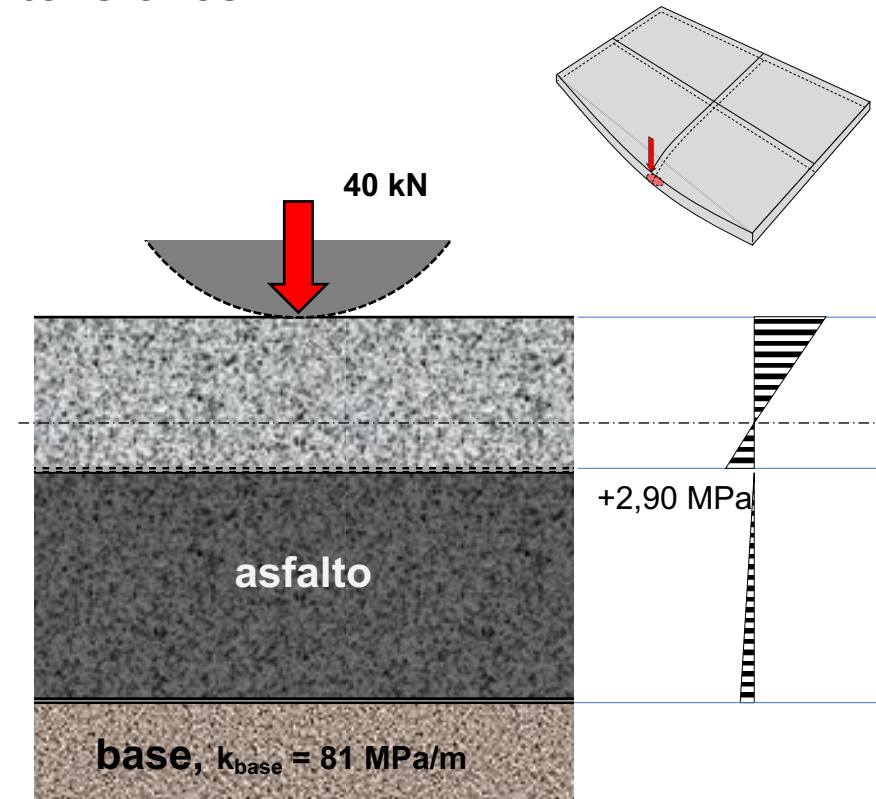
Fuente: adaptado de Mack, J.W, Hawbaker, L.D. & Cole, L.W. (1998). "Ultrathin Whitetopping – State-of-the-Practice for Thin Concrete Overlays of Asphalt". Transportation Research Record 1610, Aug., 1998. pp 39-43.

WHITETOPPING – Conceptos Básicos

Influencia de la adherencia sobre las tensiones
carga sobre borde libre



a) Capa de hormigón NO adherida

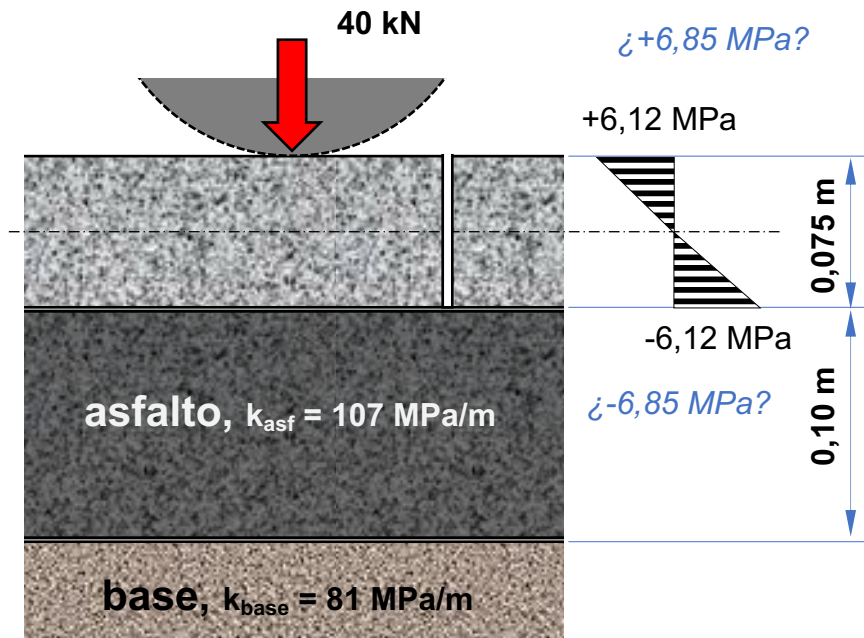


b) Capa de hormigón adherida

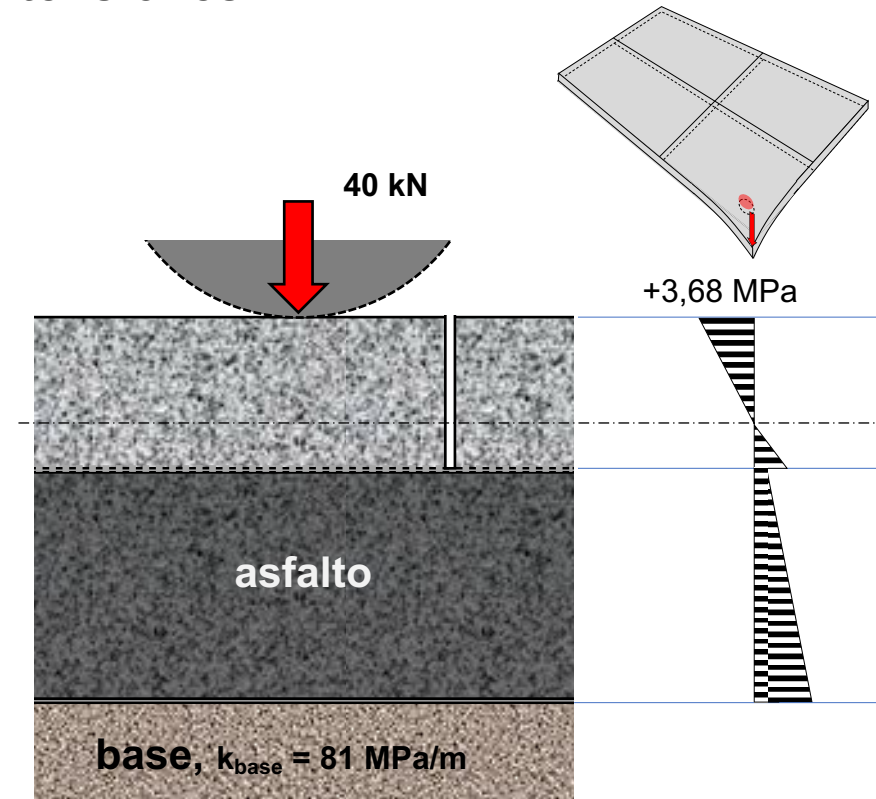
Fuente: adaptado de Mack, J.W, Hawbaker, L.D. & Cole, L.W. (1998). "Ultrathin Whitetopping – State-of-the-Practice for Thin Concrete Overlays of Asphalt". Transportation Research Record 1610, Aug., 1998. pp 39-43.

WHITETOPPING – Conceptos Básicos

Influencia de la adherencia sobre las tensiones
carga sobre esquina



a) Capa de hormigón NO adherida

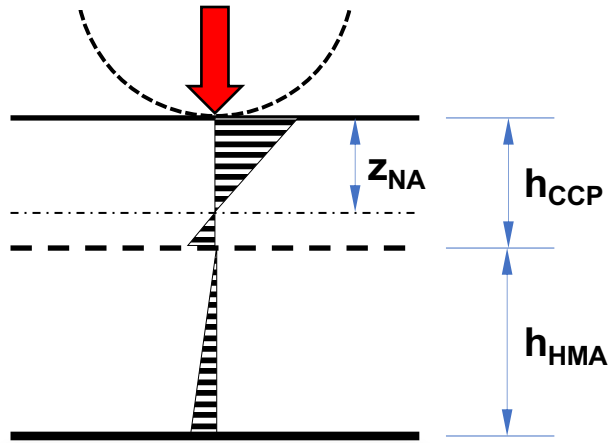


b) Capa de hormigón adherida

Fuente: adaptado de Mack, J.W, Hawbaker, L.D. & Cole, L.W. (1998). "Ultrathin Whitetopping – State-of-the-Practice for Thin Concrete Overlays of Asphalt". Transportation Research Record 1610, Aug., 1998. pp 39-43.

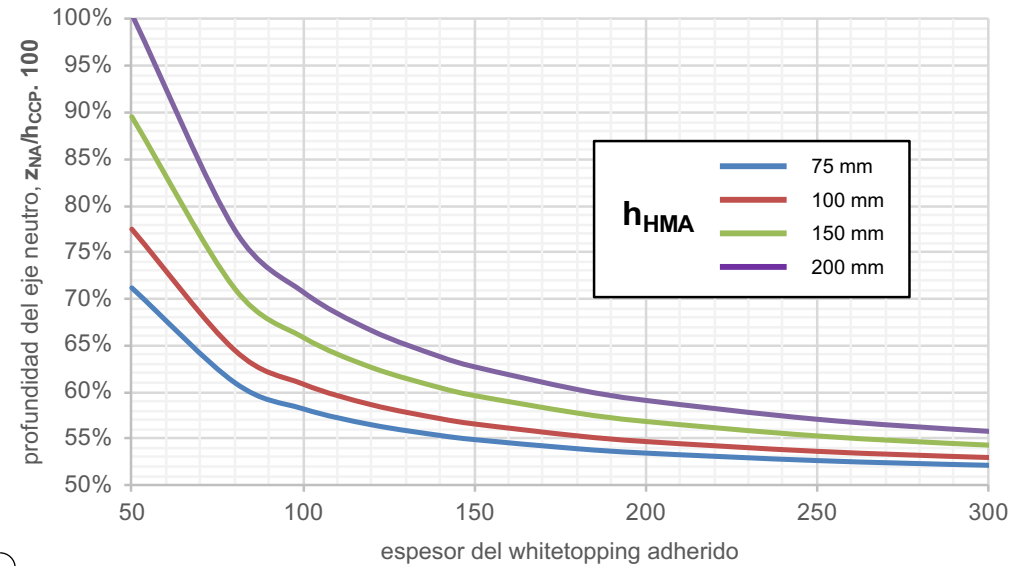
WHITETOPPING – Conceptos Básicos

Ubicación del Eje Neutro



Profundidad del eje neutro:

$$z_{NA} = \frac{\frac{E_{CCP} \cdot h_{CCP}^2}{2} + E_{HMA} \cdot h_{HMA} \cdot \left(h_{CCP} + \frac{h_{HMA}}{2} \right)}{E_{CCP} \cdot h_{CCP} + E_{HMA} \cdot h_{HMA}}$$



$E_{CCP} = 27.500 \text{ MPa}$

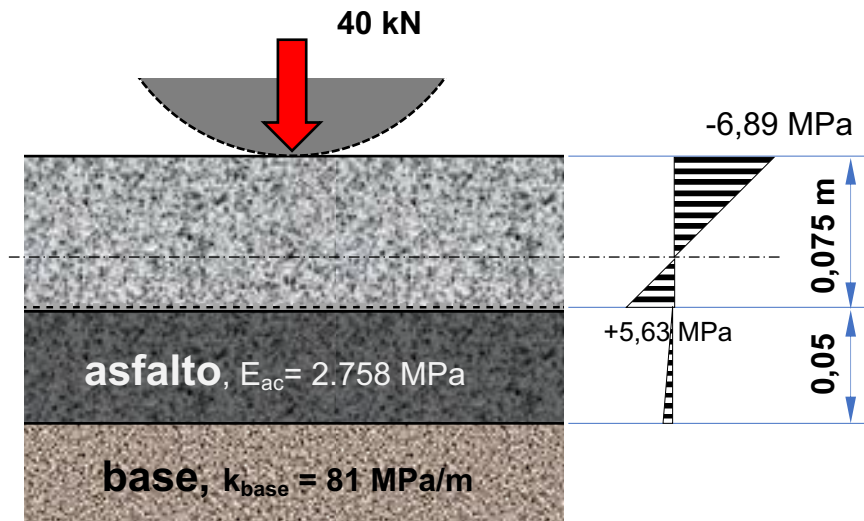
$E_{HMA} = 2.780 \text{ MPa}$

Figura 2: determinación de la profundidad del eje neutro en función de los espesores y módulo de elasticidad de las capas de hormigón y asfalto.

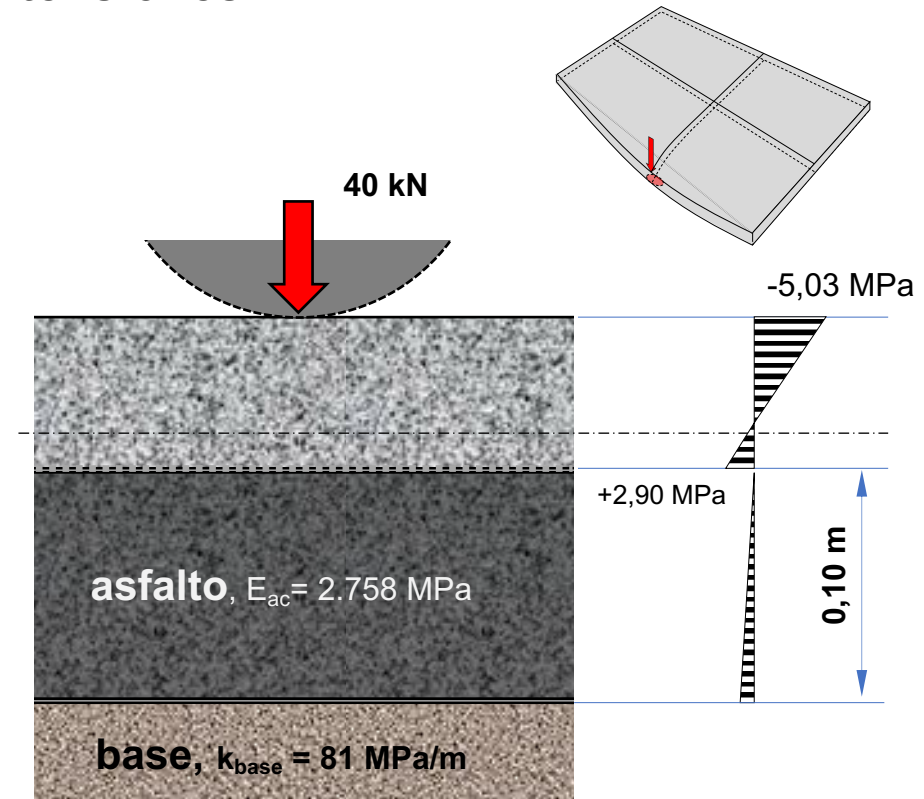
Fuente: cálculo realizado a partir de la ecuación tomada de Li, Z., Dufalla, N., Mu, F & Vandenbossche, J., 2013. "BCOA-ME. Bonded Concrete Overlay of Asphalt Pavements Mechanistic-Empirical Design Guide". FHWA Pooled Fund Project: TPF-5-165.

WHITETOPPING – Conceptos Básicos

Influencia de la adherencia sobre las tensiones
carga sobre borde libre

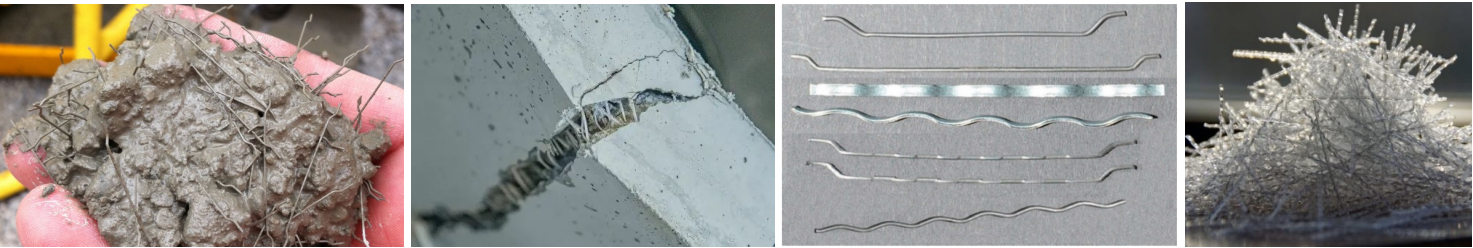


a) Capa de hormigón adherida
sobre asfalto de 5 cm



b) Capa de hormigón adherida
sobre asfalto de 10 cm

Fuente: adaptado de Mack, J.W, Hawbaker, L.D. & Cole, L.W. (1998). "Ultrathin Whitetopping – State-of-the-Practice for Thin Concrete Overlays of Asphalt". Transportation Research Record 1610, Aug., 1998. pp 39-43.



¿Qué es el HRF (hormigón reforzado con fibras)?

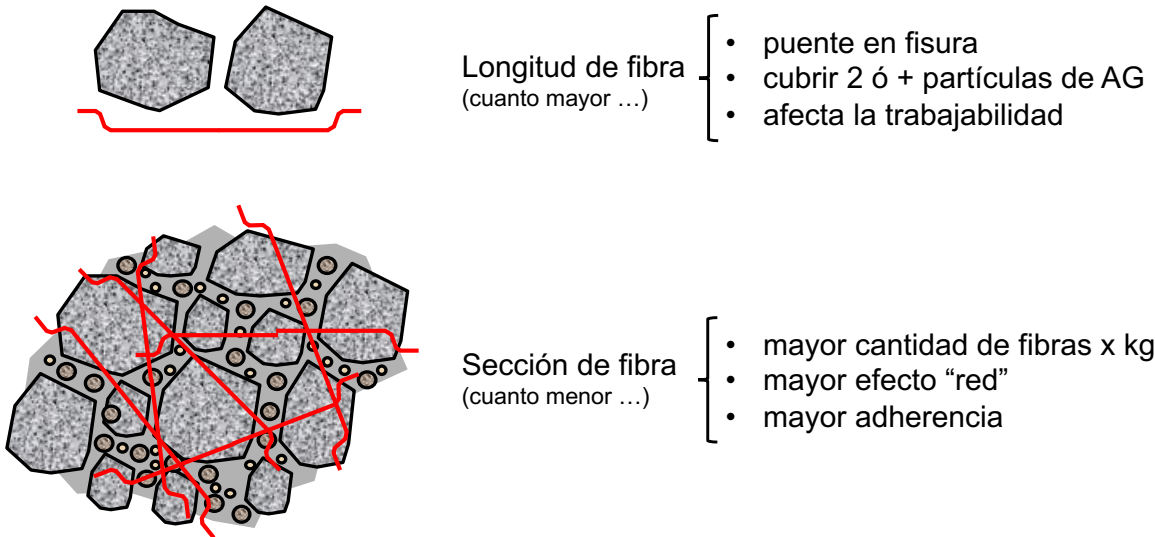


Figura 3.9: influencia de la longitud y sección de las fibras sobre la mezcla de hormigón.

Fibra	Diámetro [μm]	Densidad relativa	Módulo de Young [GPa]	Resistencia a tracción [MPa]	Elongación a la rotura [%]
Acero	5 - 500	7,84	200	500 – 2.000	0,5 – 3,5
Vidrio	9 – 15	2,60	70 - 80	2.000 – 4.000	2 – 3,5
Asbestos	0,02 – 0,04	3,00	180	3.300	2 – 3
Polipropileno	20 - 200	0,90	5 - 7	500 - 750	8
Nylon	-	1,10	4	900	13 - 15
Polietileno	-	0,95	0,30	0,7	10
Carbón	9	1,90	230	2.600	1
Kevlar®	10	1,45	65 - 133	3.600	2,1 - 4
Acrílico	18	1,18	14 – 19,5	400 – 1.000	3

Tabla 3.5: características típicas de las fibras que pueden utilizarse en la mezcla de hormigón.

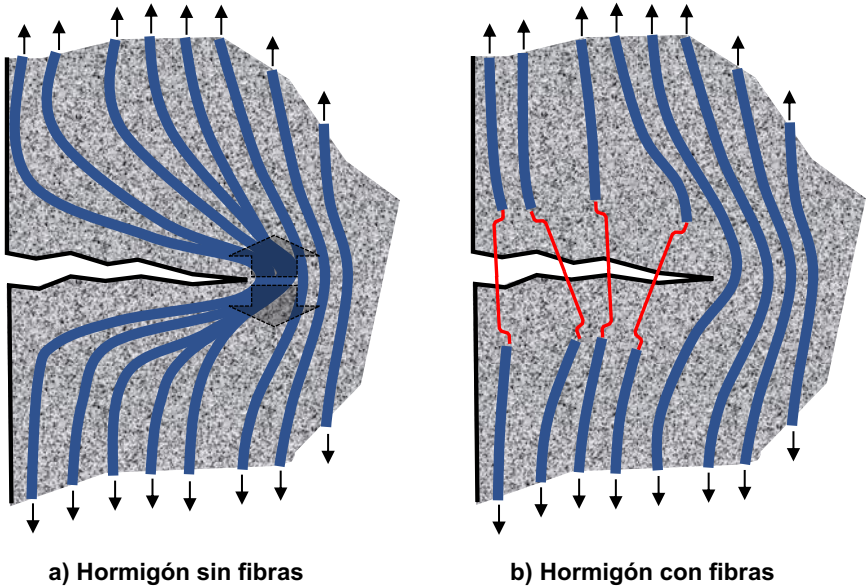
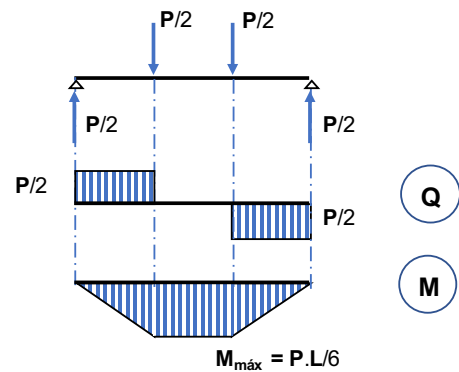
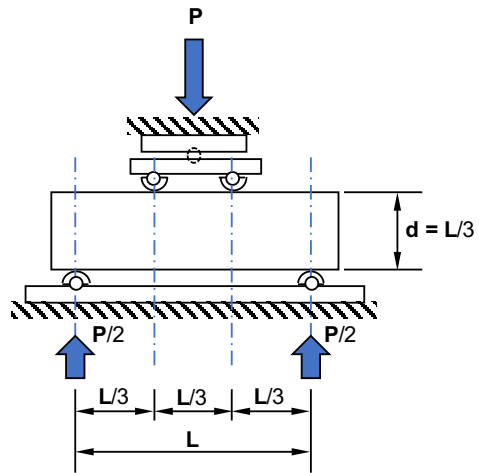
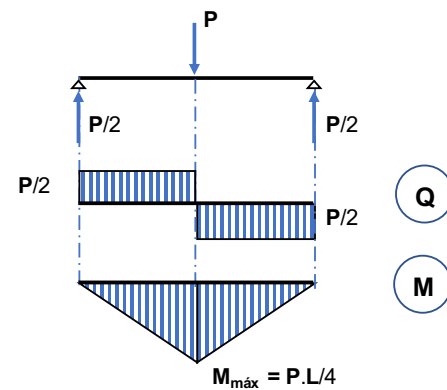
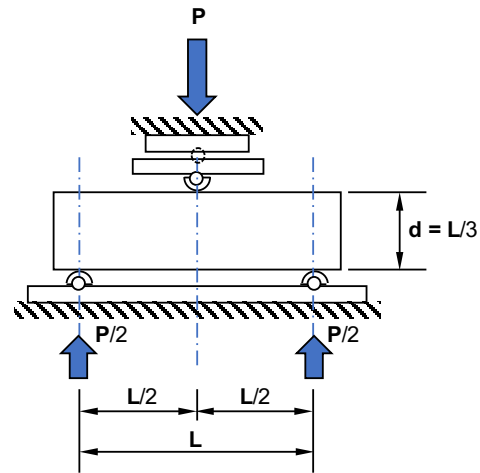


Figura 3.10: influencia de la presencia de fibras sobre las tensiones. En la figura b se observa claramente que la presencia de fibras favorece la transferencia de esfuerzos reduciendo considerablemente la concentración de tensiones.



$$\sigma_{\text{flexión}} = P.L/(b.d^2) \rightarrow MR = P_{\text{rotura}}.L/(b.d^2)$$

a) Ensayo con carga a los tercios de la luz



$$\sigma_{\text{flexión}} = 1,5 P.L/(b.d^2) \rightarrow MR = 1,5 P_{\text{rotura}}.L/(b.d^2)$$

b) Ensayo con carga central

ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN (hormigón simple) según IRAM1547

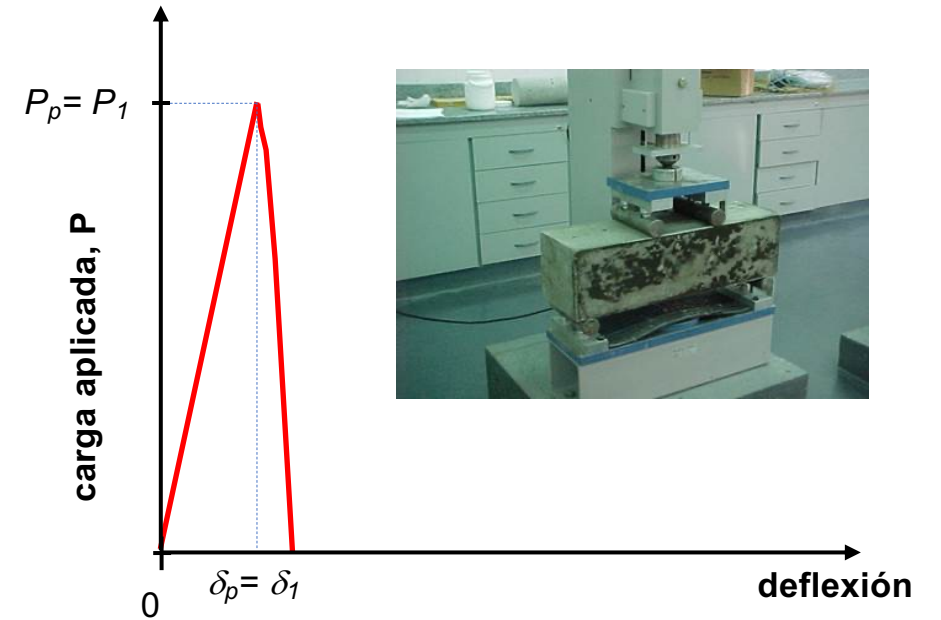


Figura 13.4: ensayo de flexión según IRAM 1547.

ENSAYO DE EVALUACIÓN DE HRF (hormigón reforzado con fibras)

ASTM C1609, *Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)*.

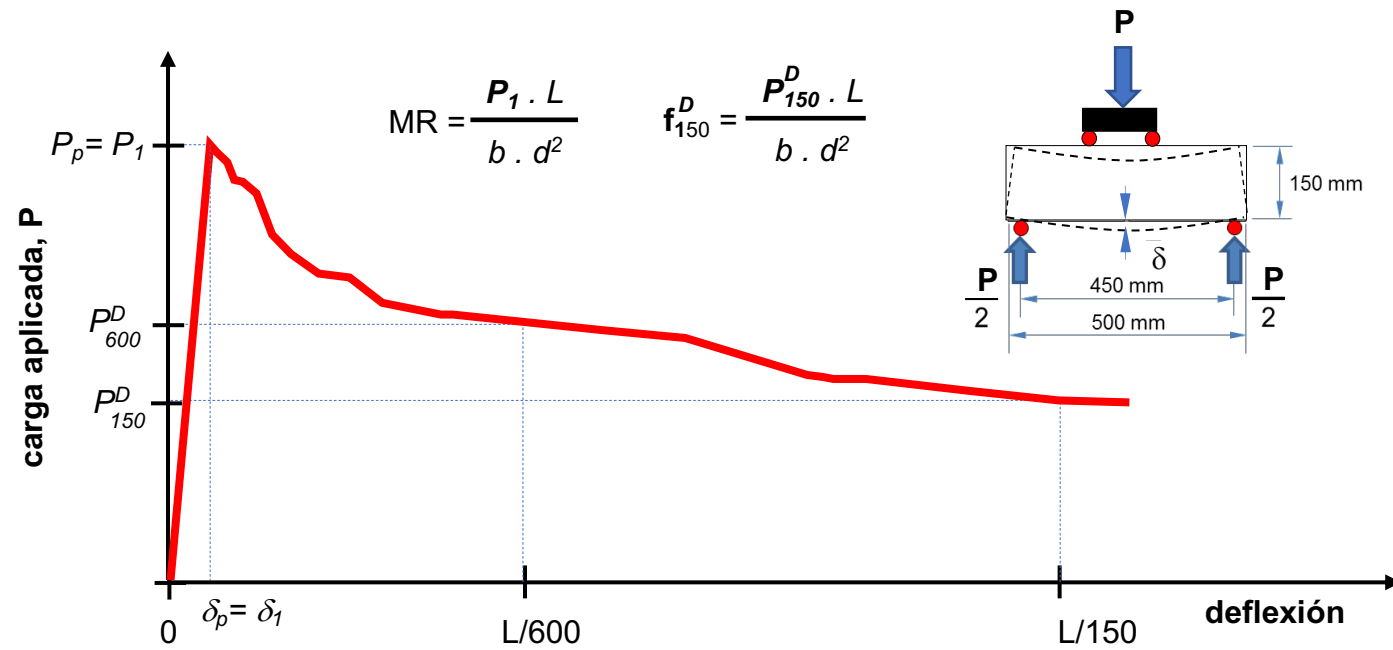


Figura 13.9: gráfico típico obtenido a partir del ASTM C1609 - *Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)*.



ENSAYO DE EVALUACIÓN DE HRF (hormigón reforzado con fibras)

EN 14.651, *Test method for metallic fibre concrete. Measuring the flexural tensile strength.*

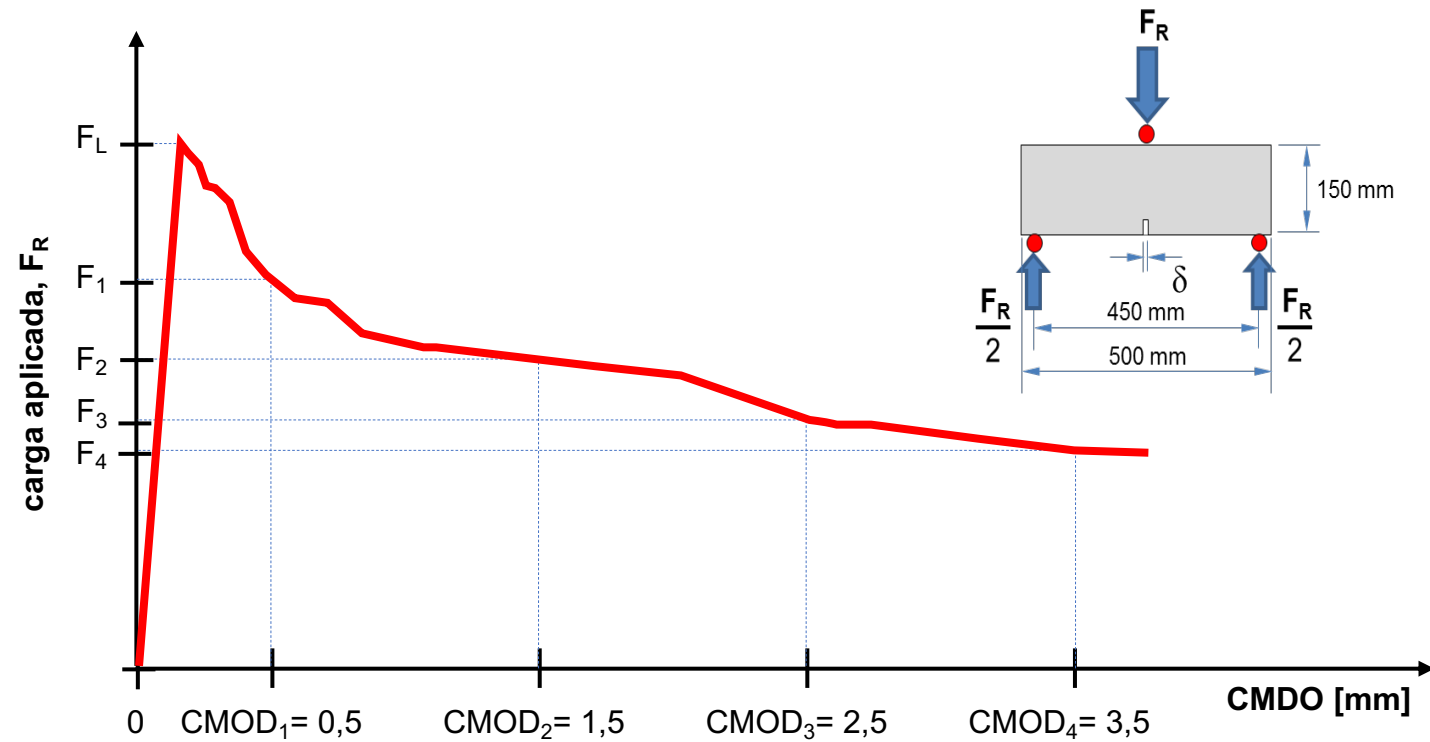


Figura 3.44: gráfico típico obtenido a partir del EN 14651 Test method for metallic fibre concrete. Measuring the flexural tensile strength.



ENSAYO DE EVALUACIÓN DE HRF (hormigón reforzado con fibras)

EN 14.651, *Test method for metallic fibre concrete. Measuring the flexural tensile strength.*

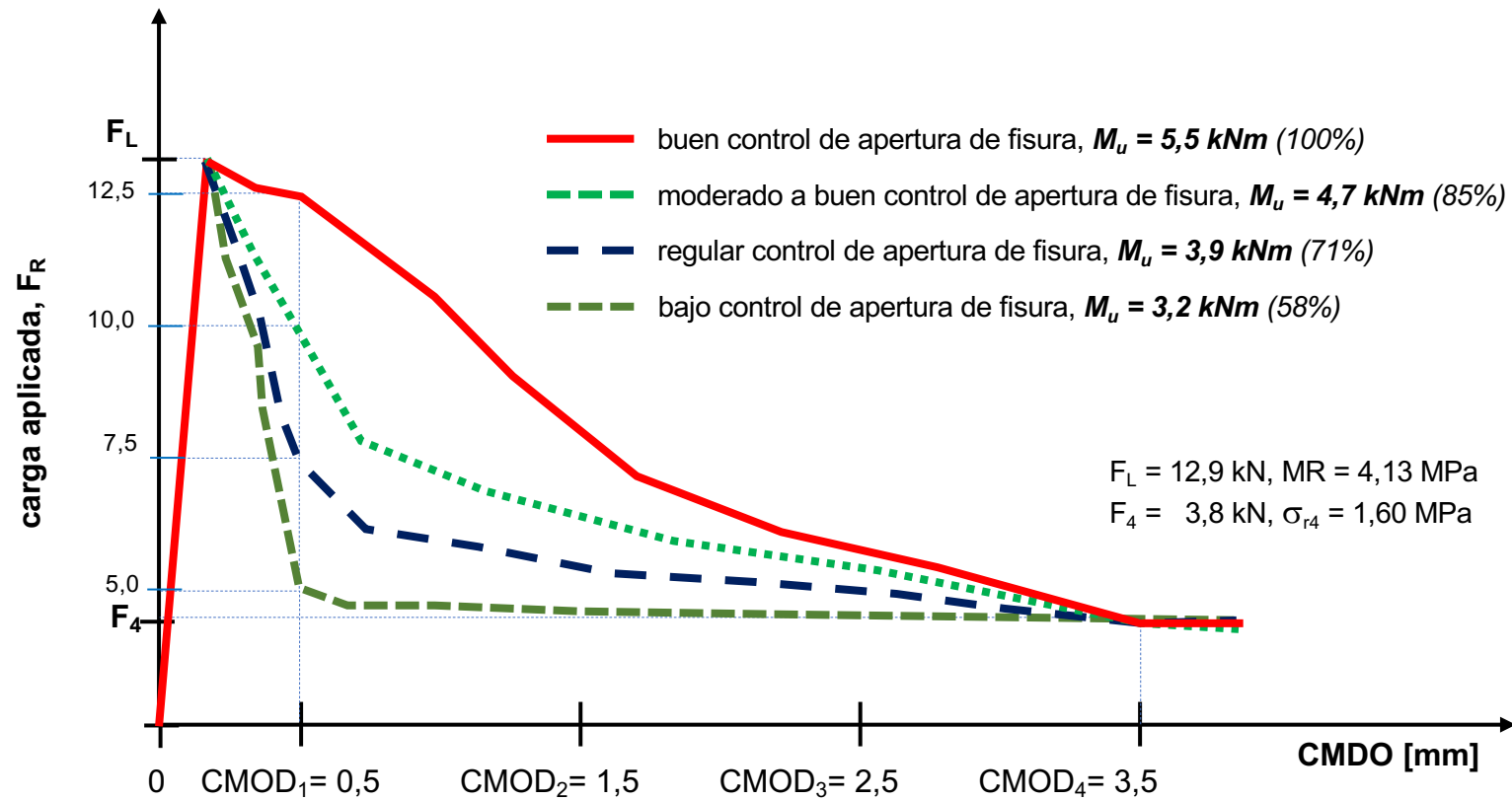


Figura 3.46: ejemplo teórico de determinación del momento último de equilibrio suponiendo un único valor de resistencia a flexión de un hormigón de clase H-30 con distintas dosis y tipos de macrofibras que poseen el mismo valor de resistencia residual utilizando las ecuaciones de equilibrio propuestas por el método indicado por RILEM en el documento TC 162-TDF (2002) .

¿Cómo encaramos un diseño?

Ubicación Geográfica del Proyecto

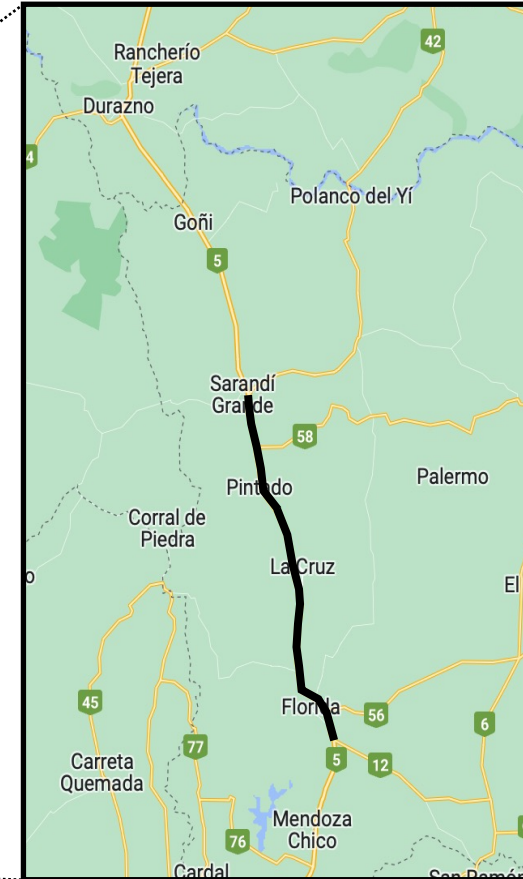


Figura 1: ubicación del proyecto de duplicación de calzada de ruta 5 que incluye el WT sobre la calzada asfáltica existente entre los km 100+500 a 133+300.

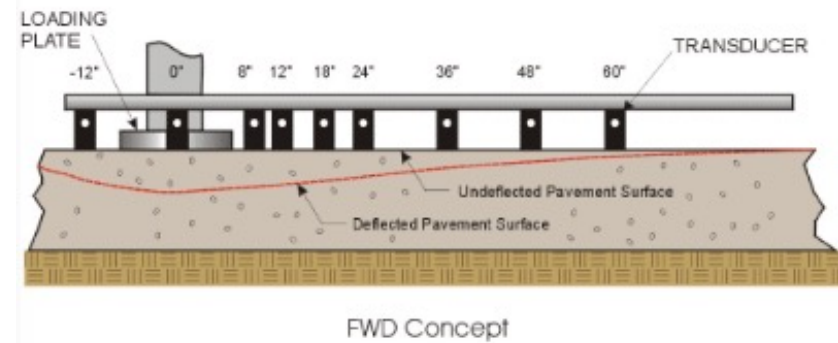
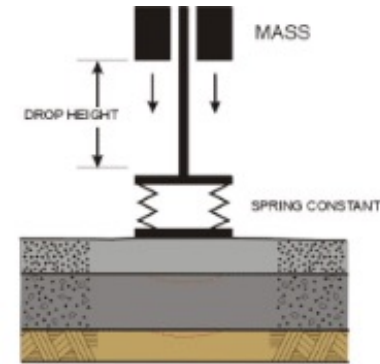
Contratista: INCOCI S.A. – Stiler S.A., UTE

Evaluación Estructural

Ensayo de módulo FWD (Falling Weight Deflectometer) o deflectómetro de impacto (ASTM D4694-96)



AASHTO T256
ASTM D4694-96)



Fuente: Ricardo Bardadano González (2014), artículo "El origen del deflectómetro de impacto".

Evaluación Estructural

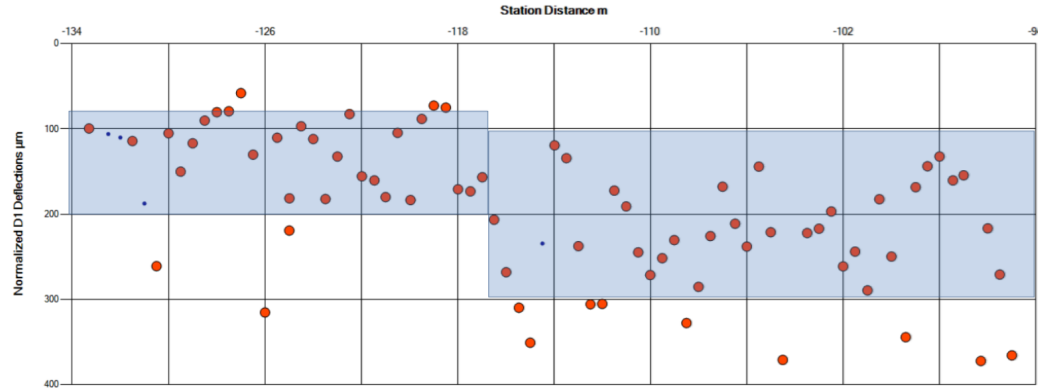


Figura 2: resultados de deflectometría informados por CDS ingenieros.
Fuente: CR5-D-FWD-01_RETROCALCULO RUTA 5_CREMAF T2. Ing. Álvaro López – AT José Cantero, 18/01/2023.

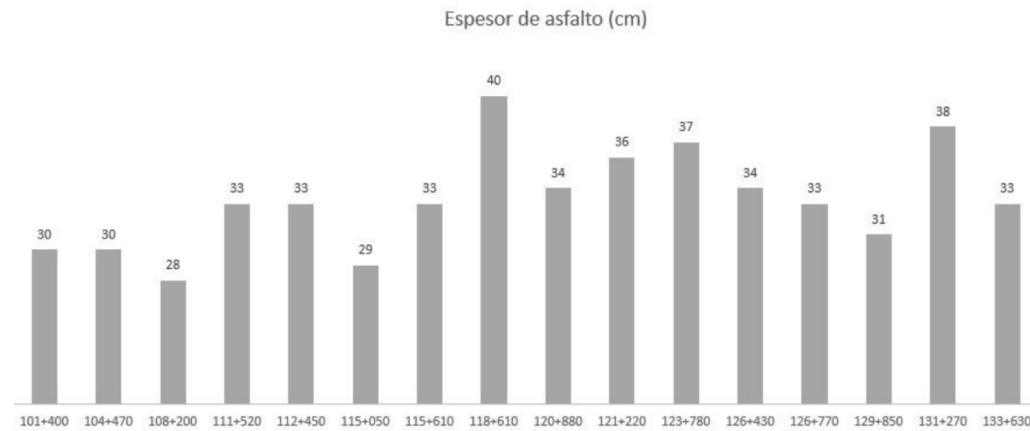


Figura 3: espesores de asfalto informados por CDS ingenieros.
Fuente: CR5-D-FWD-01_RETROCALCULO RUTA 5_CREMAF T2. Ing. Álvaro López – AT José Cantero, 18/01/2023.

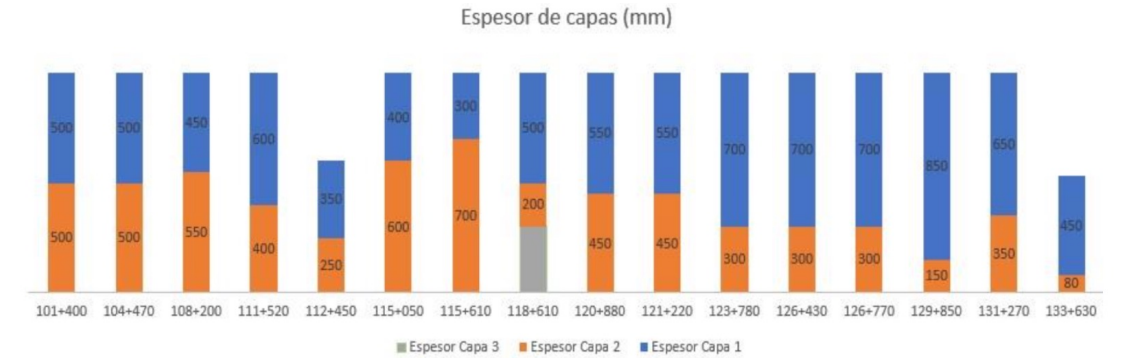


Figura 4: espesores de capa de suelo que forman parte del paquete estructural del pavimento existente informados por CDS ingenieros.

Fuente: CR5-D-FWD-01_RETROCALCULO RUTA 5_CREMAF T2. Ing. Álvaro López – AT José Cantero, 18/01/2023.

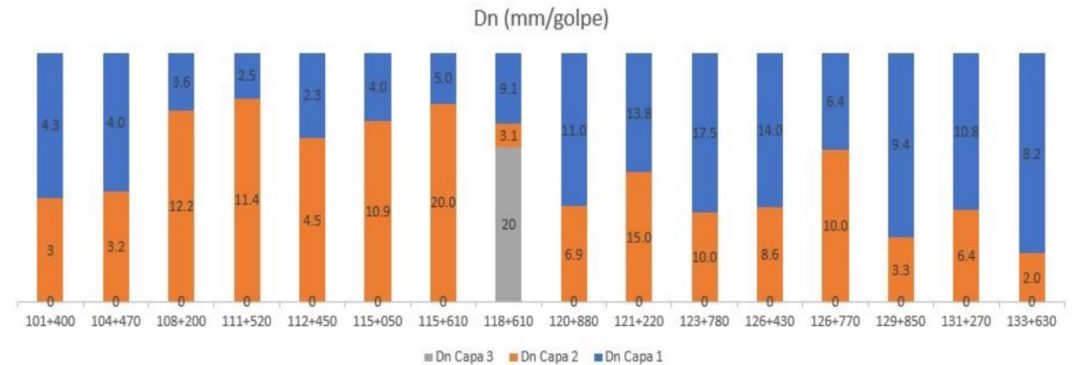


Figura 5: resultados de ensayos de DCP sobre las capas de suelo informados por CDS ingenieros.

Fuente: CR5-D-FWD-01_RETROCALCULO RUTA 5_CREMAF T2. Ing. Álvaro López – AT José Cantero, 18/01/2023.

Determinación de Secciones Homogéneas

Tabla 1: secciones homogéneas definidas a partir del análisis de espesores y ensayos de DCP.

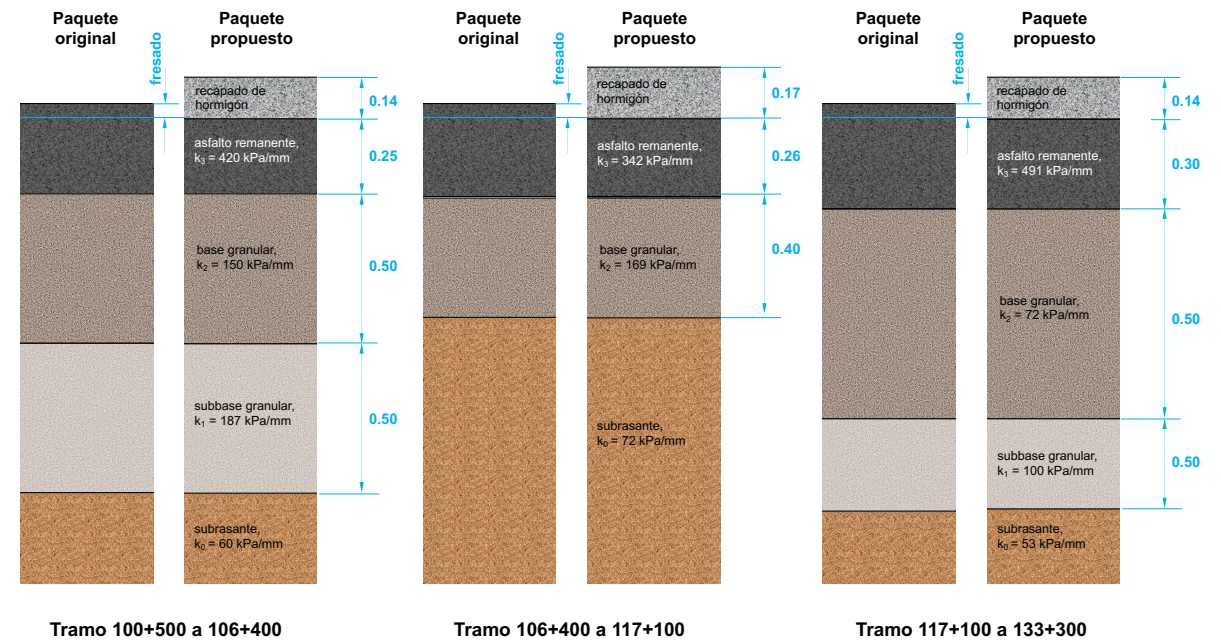
SECCIONES:	101+400 al 106+400		106+400 al 117+100		117+100 al 133.630	
CAPAS	Espesor (cm)	DN (mm/golpe)	Espesor (cm)	DN (mm/golpe)	Espesor (cm)	DN (mm/golpe)
Carpeta Asfáltica	30	-	31	-	35	-
Base Granular	50	4.2	40	3.5	70	11.1
Subbase Granular	50	3.2	-	-	30	7.3
Subrasante	∞	-	∞	11.8	∞	-

Fuente: CR5-D-FWD-01_RETROCALCULO RUTA 5_CREMAF T2. Ing. Álvaro López – AT José Cantero, 18/01/2023.

Tabla 2: valores de Mr (módulo resiliente) para las distintas capas obtenidos por retrocálculo.

SECCIONES:	95+000 al 106+400			106+400 al 117+100			117+100 al 133+500		
CAPAS	Espesor (cm)	Mr (MPa) Promedio	Mr (MPa) Percentil 15%	Espesor (cm)	Mr (MPa) Promedio	Mr (MPa) Percentil 15%	Espesor (cm)	Mr (MPa) Promedio	Mr (MPa) Percentil 15%
Carpeta Asfáltica	30	2500	1970	31	2450	1850	35	3400	2350
Base Granular	50	170	100	40	90	55	70	290	100
Subbase Granular	50	96	70	-	-	-	30	280	155
Subrasante	∞	320	230	∞	270	230	∞	300	210

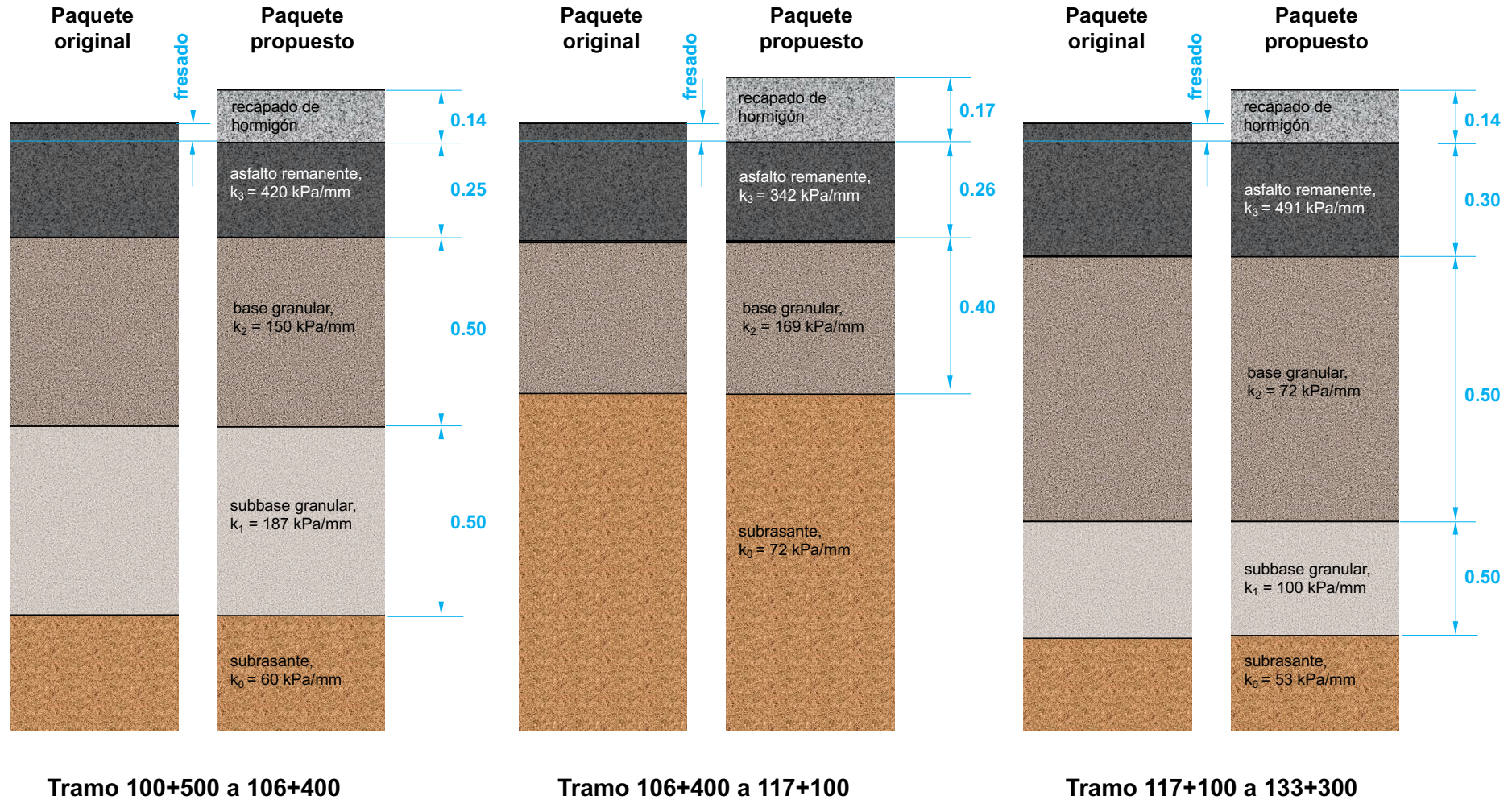
Fuente: CR5-D-FWD-01_RETROCALCULO RUTA 5_CREMAF T2. Ing. Álvaro López – AT José Cantero, 18/01/2023.



Métodos / softwares disponibles

- **AASHTOware**
- **BCOA-ME** (*Bonded Concrete Overlay of Asphalt Pavements Mechanistic- Empirical Design Guide*) → Universidad de Pittsburg
- **StreetPave** → PCA / ACPA
- **DESIGN AND CONCRETE MATERIAL REQUIREMENTS FOR ULTRA-THIN WHITETOPPING** → Jeffery Roesler/Amanda Bordelon (University of Illinois at Urbana-Champaign)
- **Otros**

Paquetes Estructurales



Tensiones y Deformaciones

CARGA DE RUEDA SOBRE BORDE LIBRE

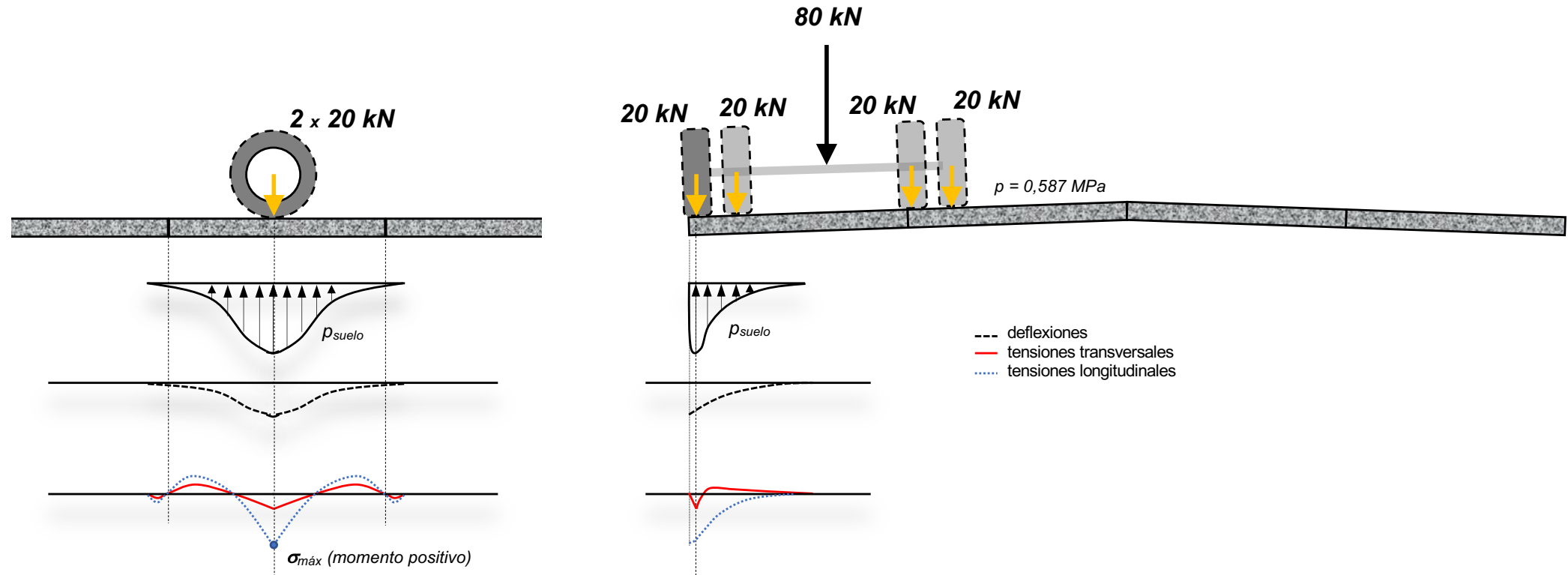


Figura 3.a: influencia de la ubicación de la carga sobre las tensiones y deformaciones de una losa de pavimento de hormigón convencional..

Tensiones y Deformaciones

CARGA DE RUEDA SOBRE ESQUINA DE BORDE

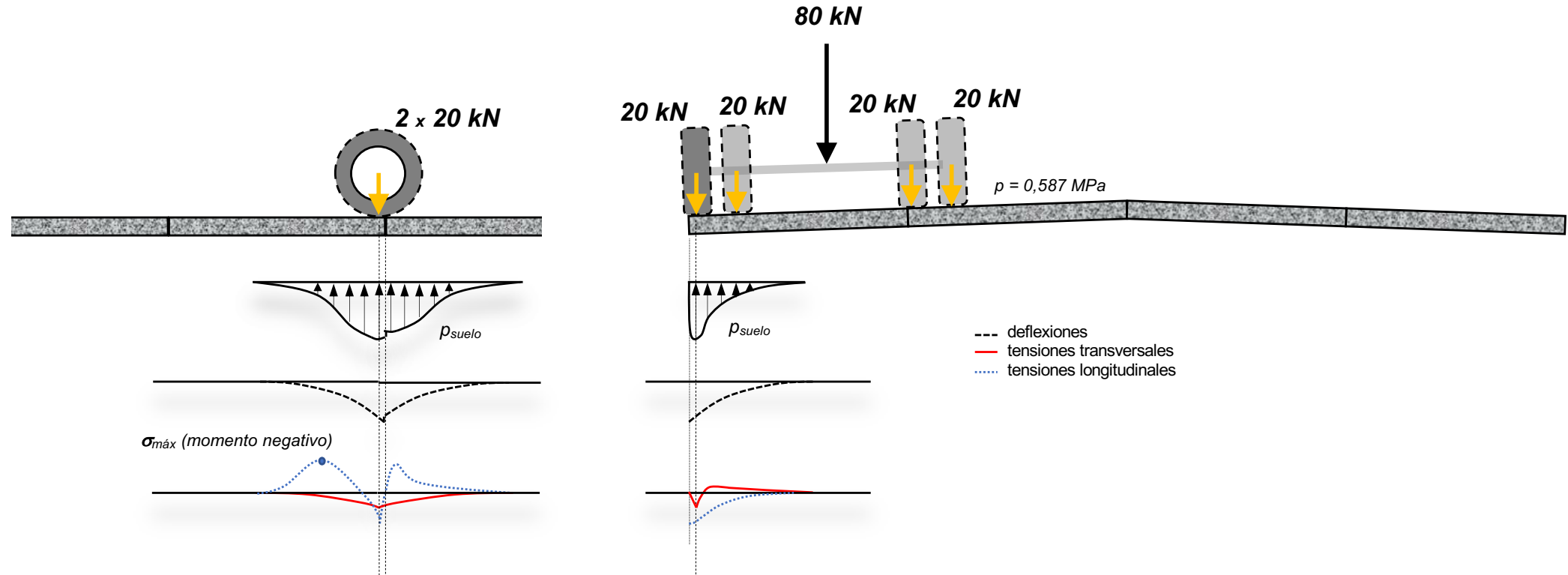
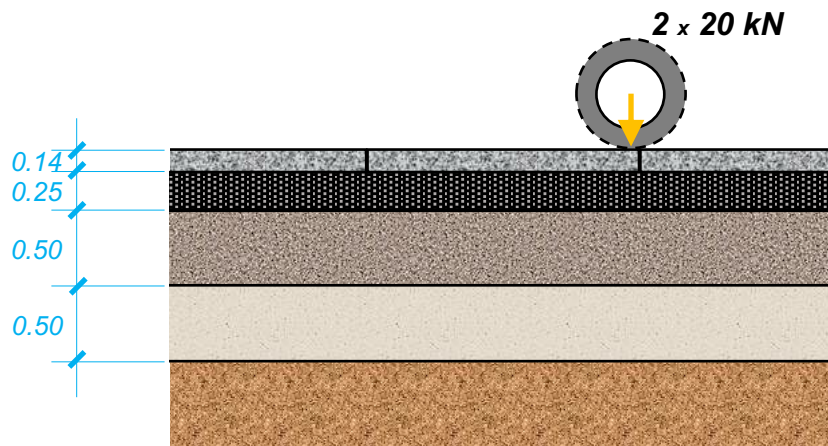


Figura 3.b: influencia de la ubicación de la carga sobre las tensiones y deformaciones de una losa de pavimento de hormigón convencional. En este caso, habitualmente las mayores tensiones se producen a partir del momento flector positivo que produce la carga de borde.

Tensiones y Deformaciones

CORTE LONGITUDINAL



CORTE TRANSVERSAL

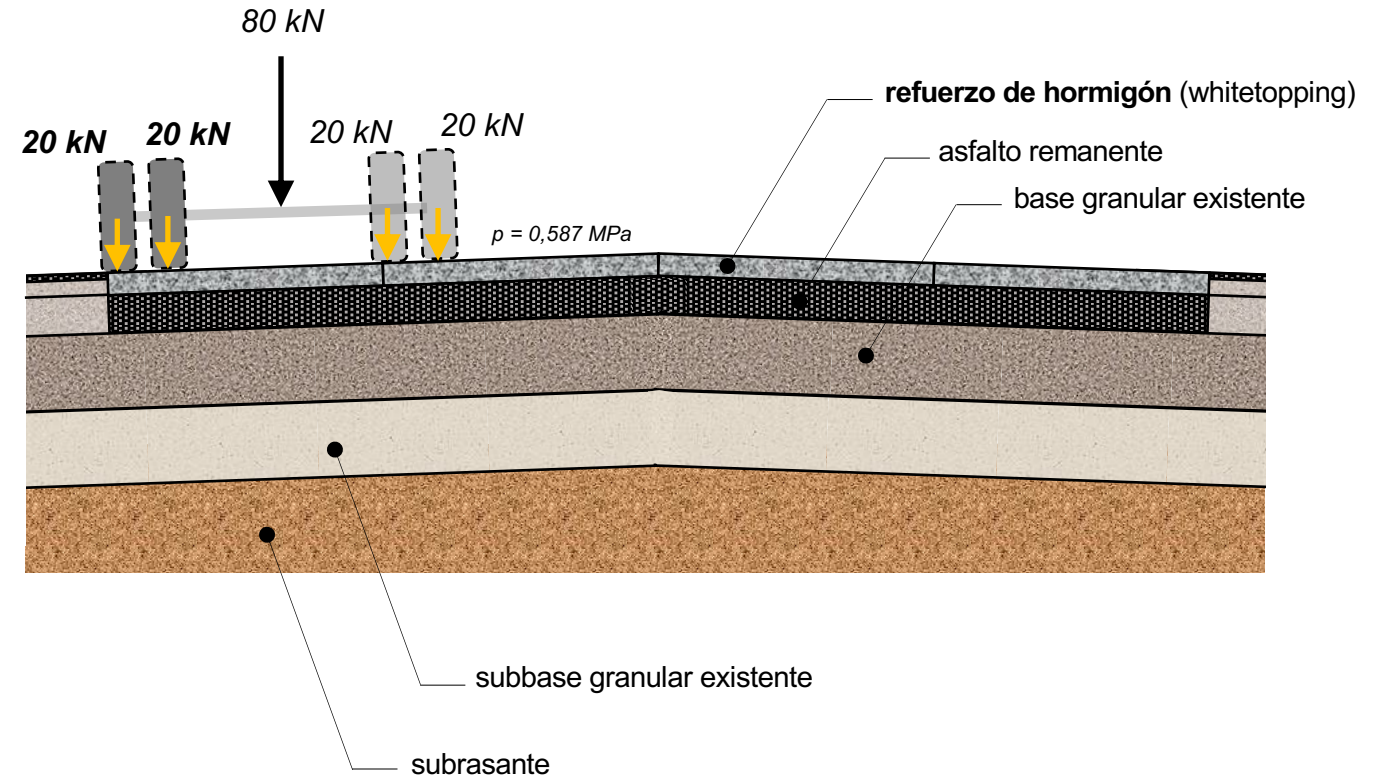
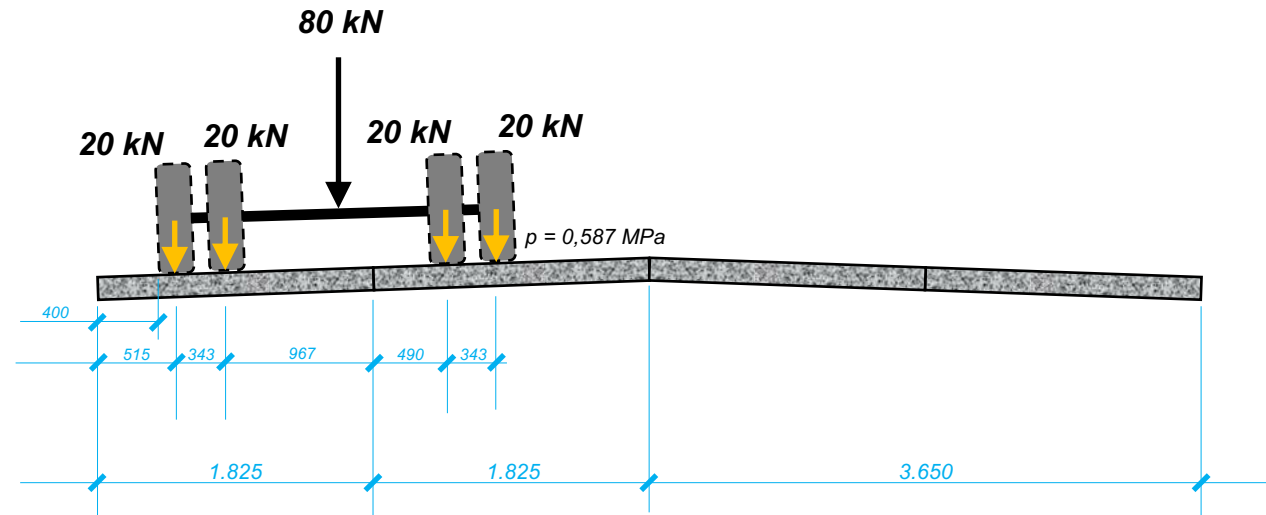
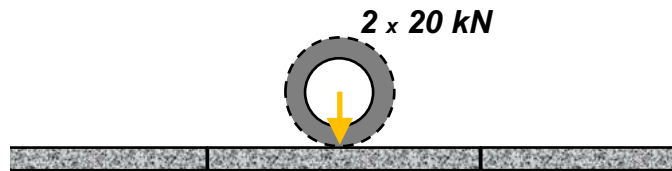
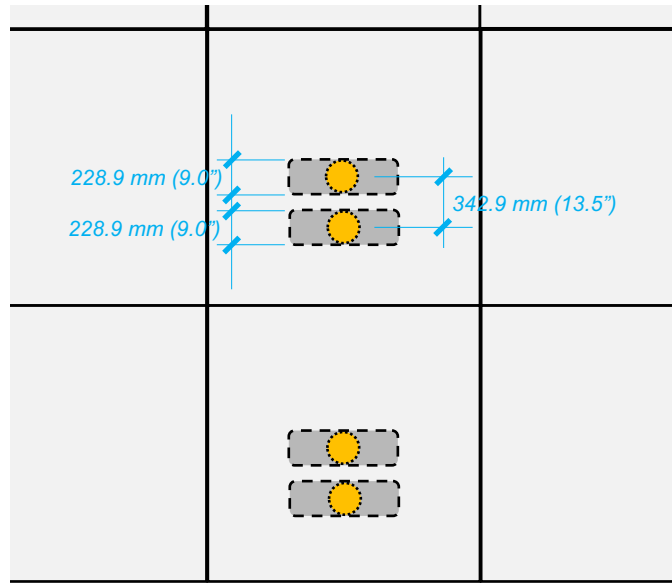


Figura 4: en el caso del WT adherido, habitualmente las mayores tensiones de tracción se producen por efecto del momento negativo cuando la carga de rueda está aplicada sobre una esquina de borde.

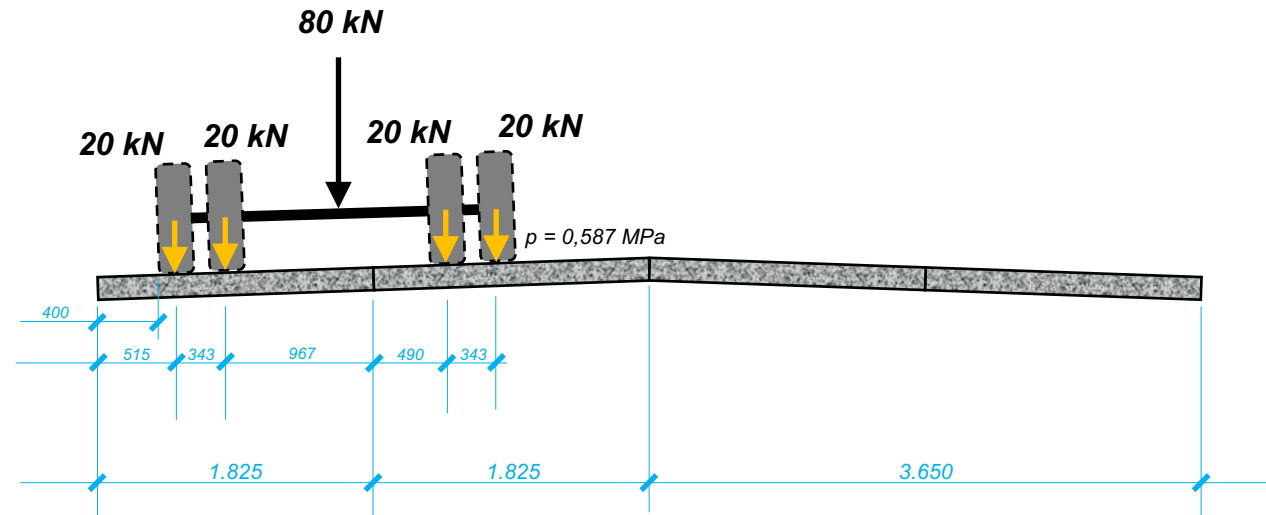
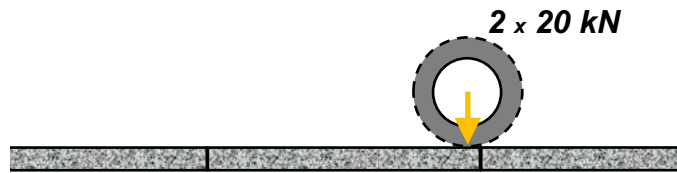
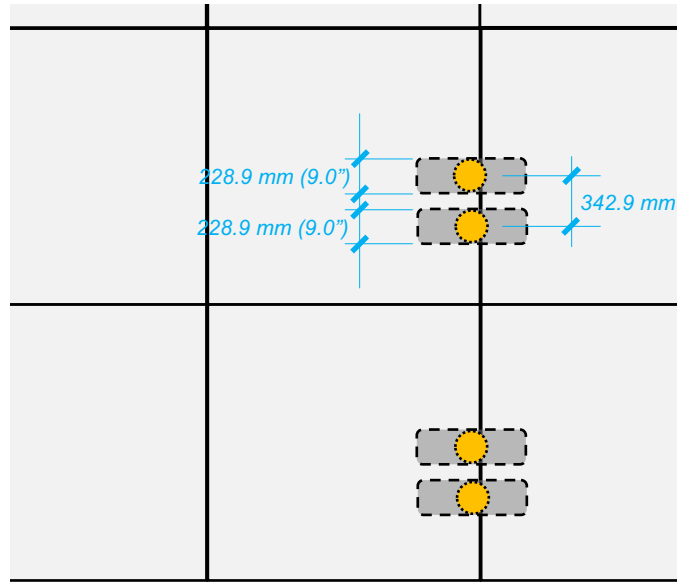
Ubicación de las Cargas

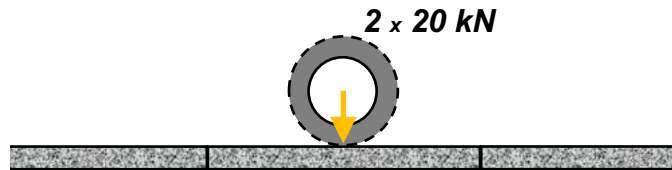
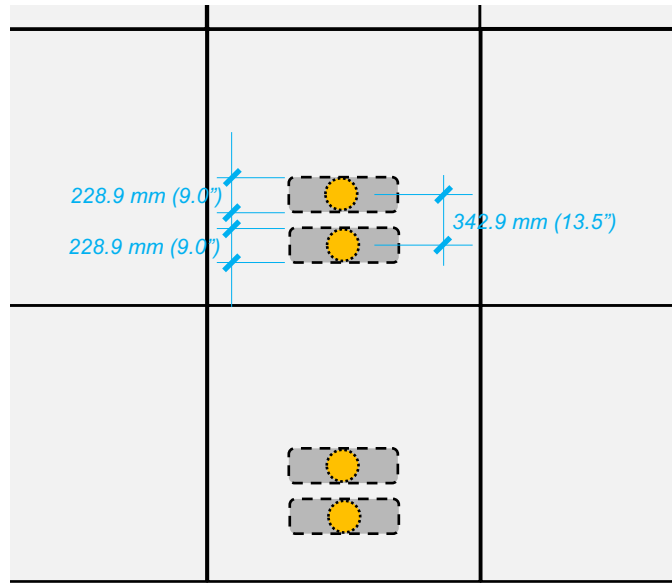
Influencia de la trayectoria



Ubicación de las Cargas

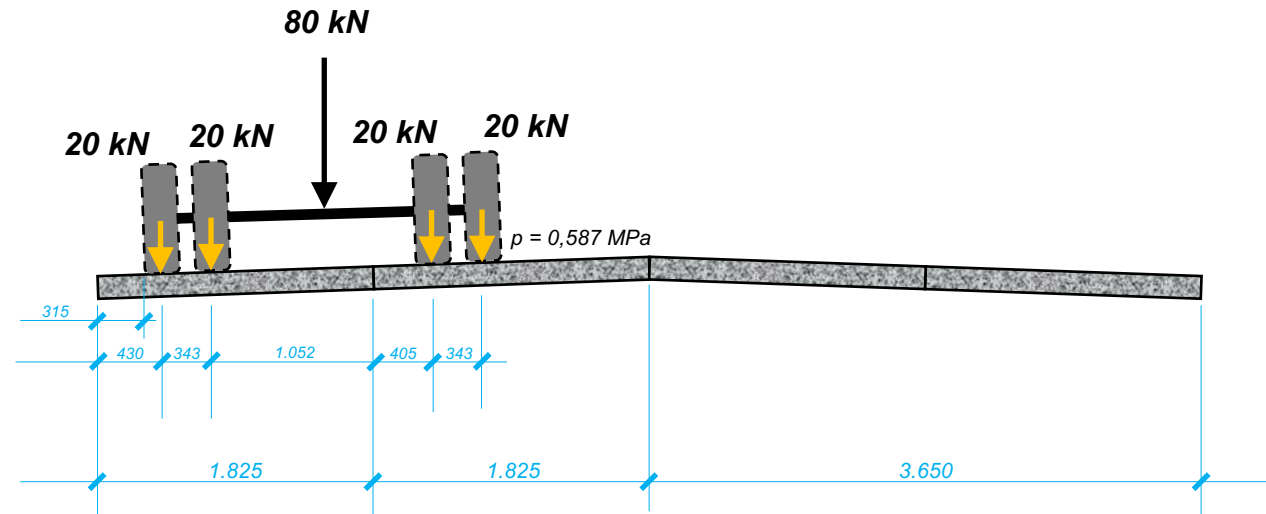
Influencia de la trayectoria





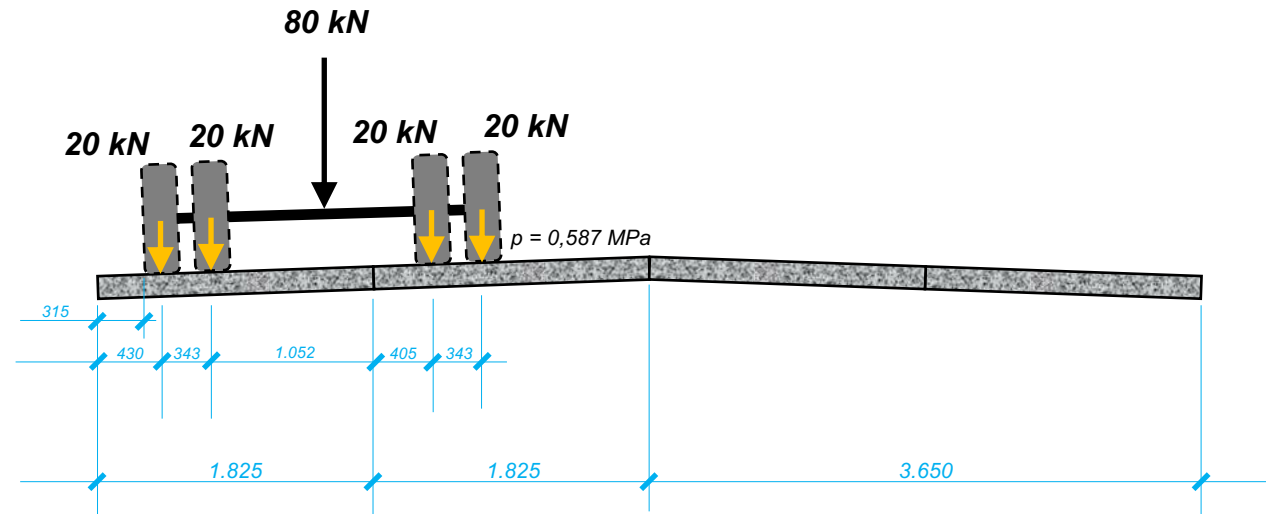
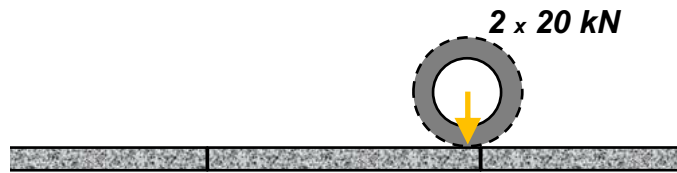
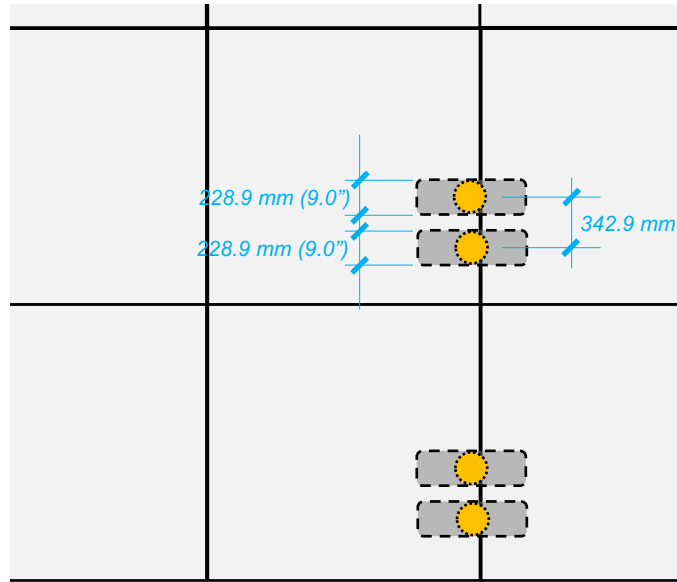
Ubicación de las Cargas

Influencia de la trayectoria



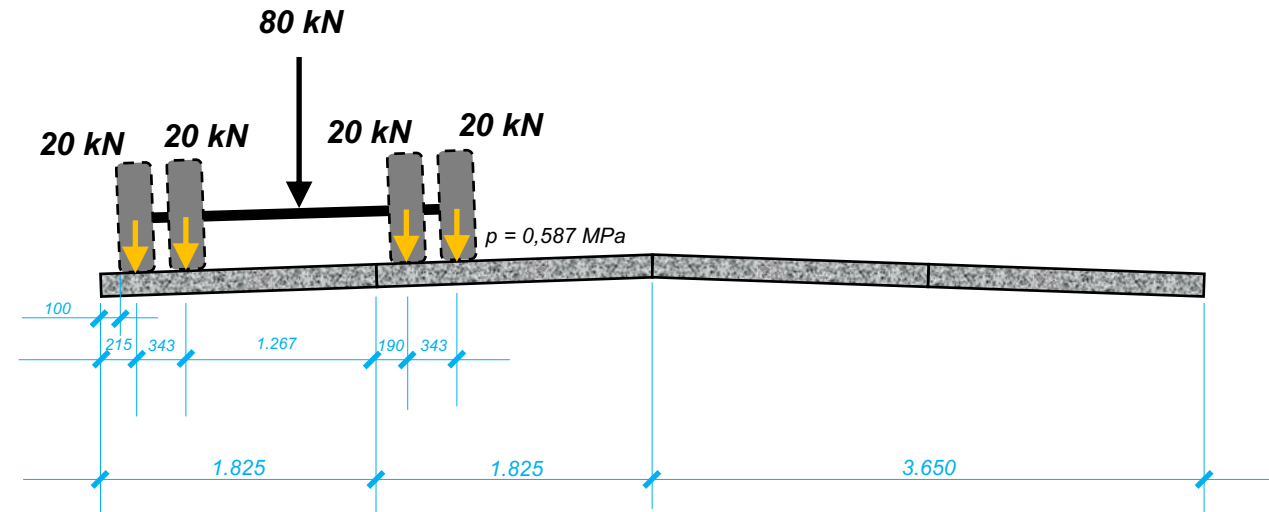
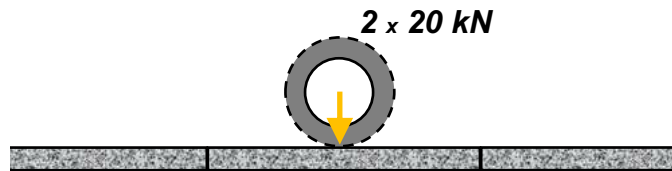
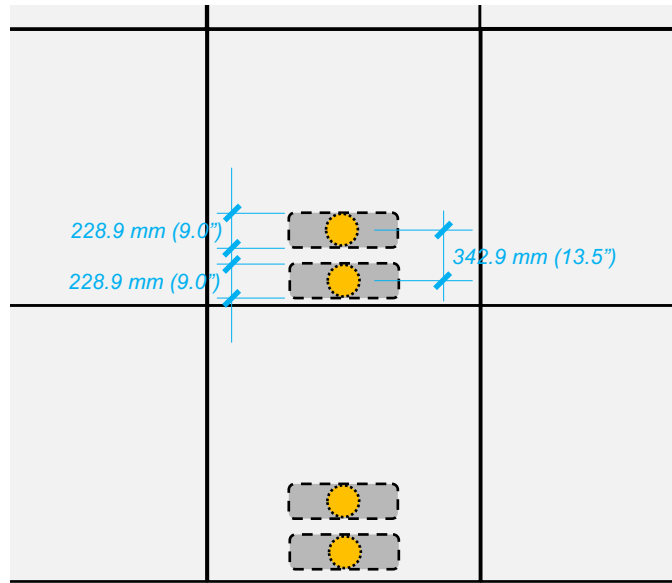
Ubicación de las Cargas

Influencia de la trayectoria



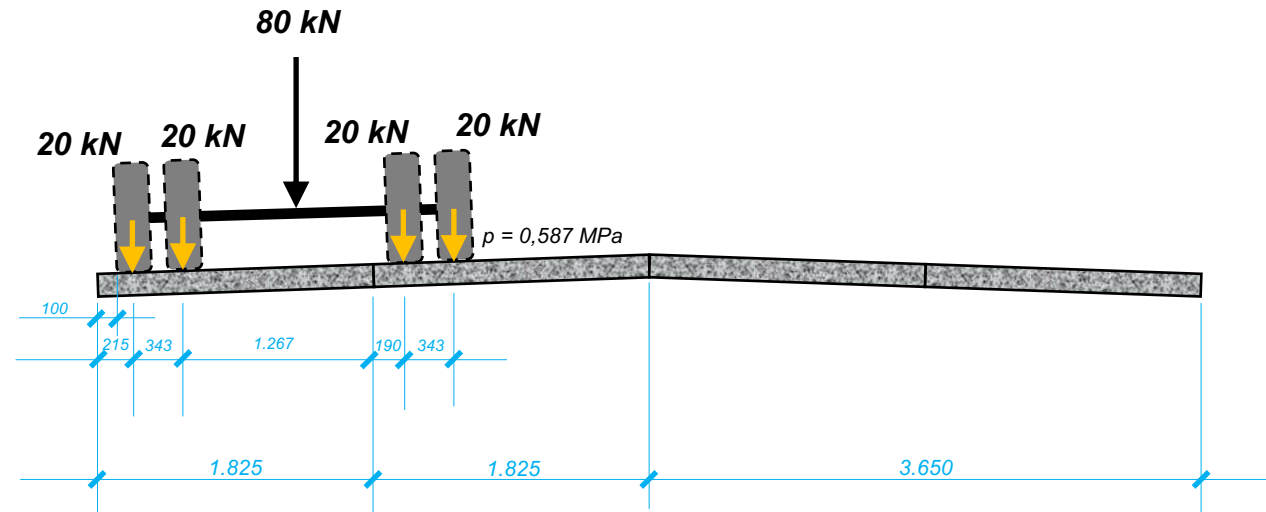
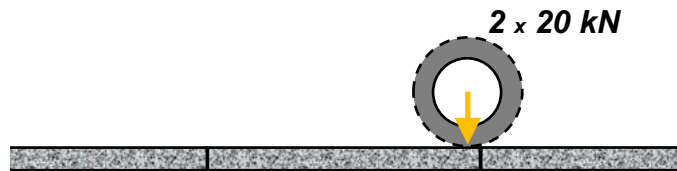
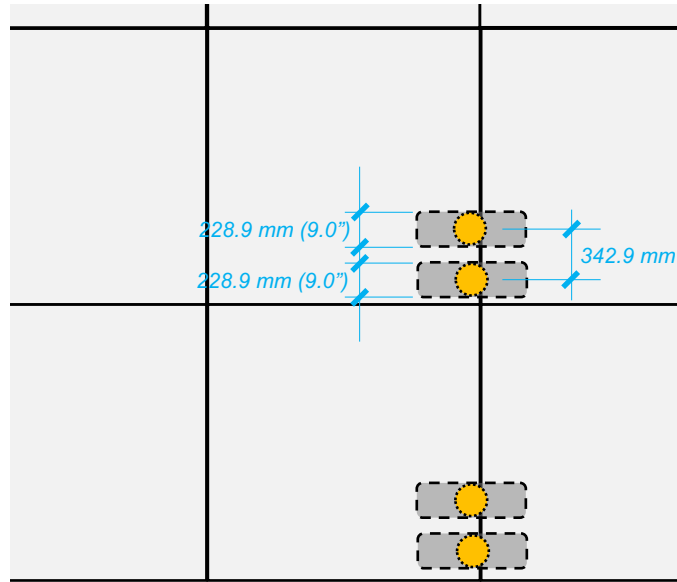
Ubicación de las Cargas

Influencia de la trayectoria



Ubicación de las Cargas

Influencia de la trayectoria



Temperatura y Asoleamiento

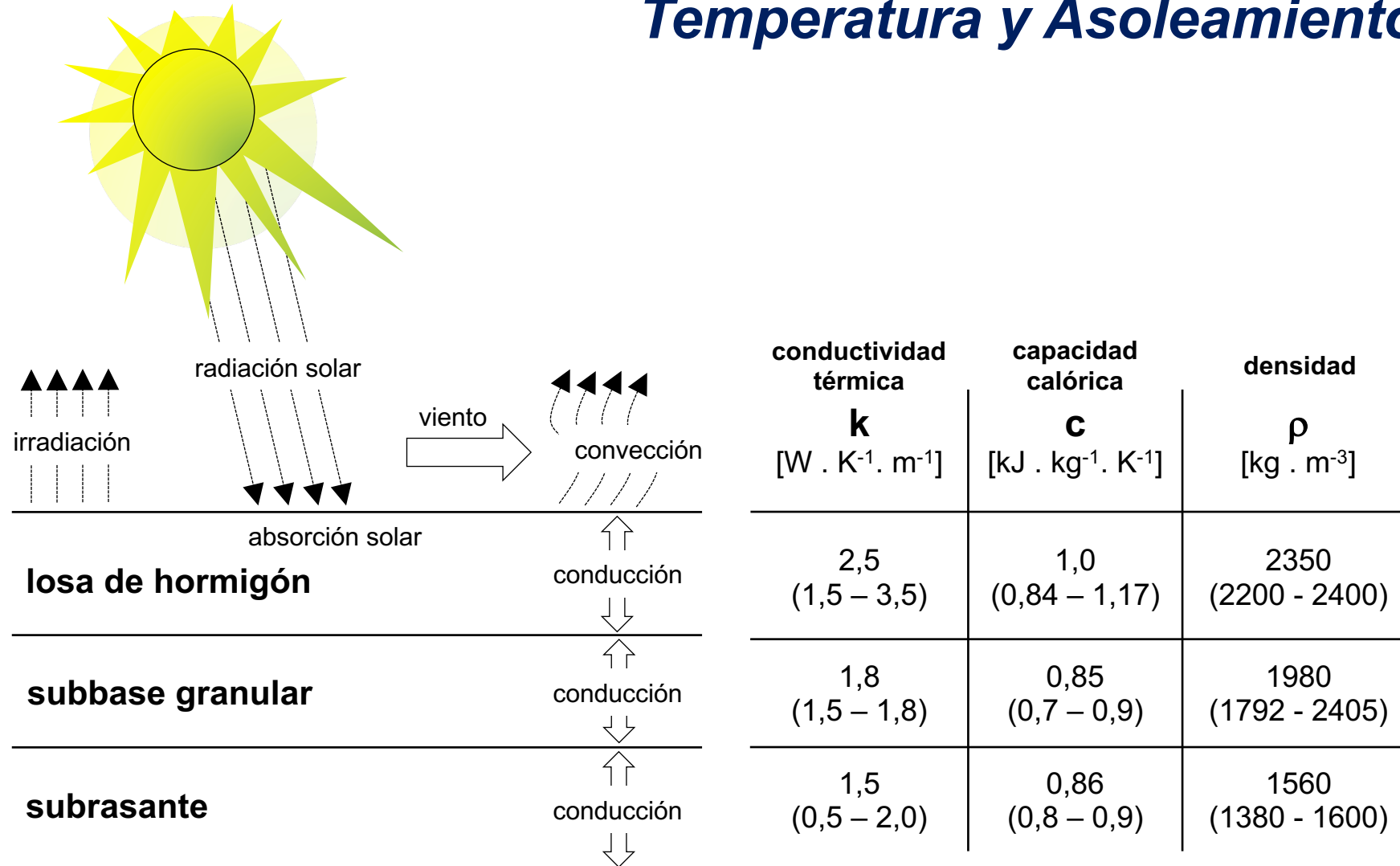


Figura 7.5: esquema del modelo de transferencia de calor y tabla con los valores típicos y rango de valores habitual de las propiedades térmicas de los materiales que componen cada una de las capas de un pavimento de hormigón.

Fuente: Yinghong Qin y Jacob Hiller, 2011. "Modelling the Temperature and Stress Distribution in Rigid Pavements: Impact of Solar Radiation Absorption and Heat History Development".

Temperatura y Asoleamiento

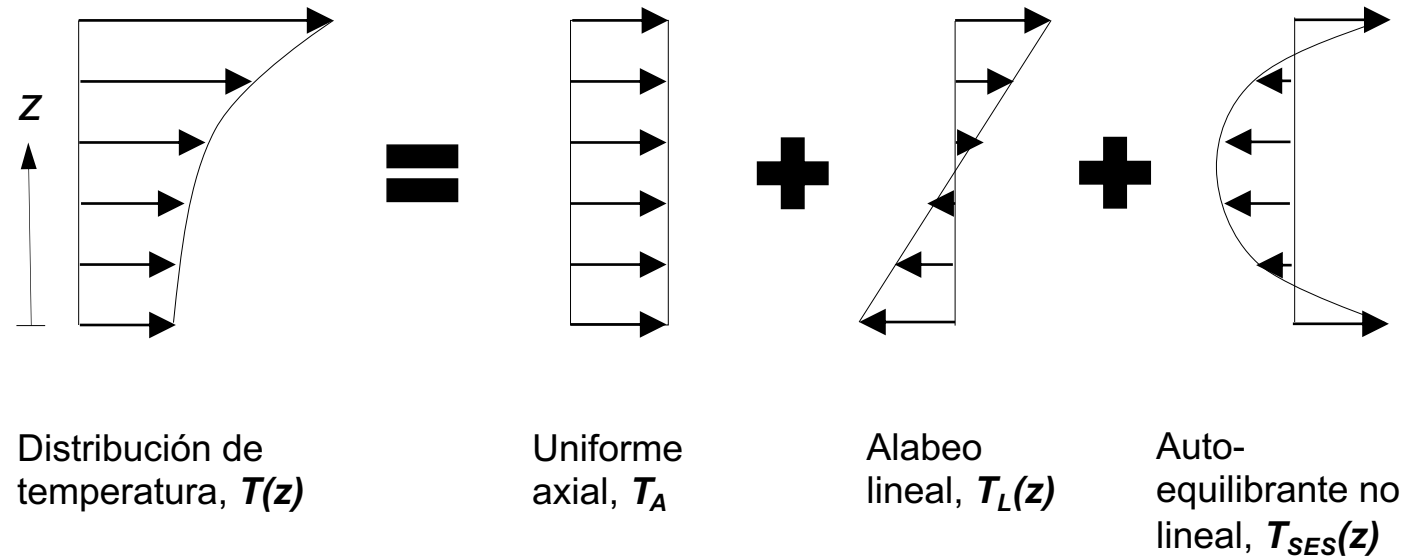


Figura 7.6: distribución total de temperatura en el espesor de una losa y detalle de cada uno de los efectos que la componen.

Fuente: Yinghong Qin 2011. "Numerical Study on the Curling and Warping of Hardened Rigid Pavement Slabs".

Temperatura y Asoleamiento

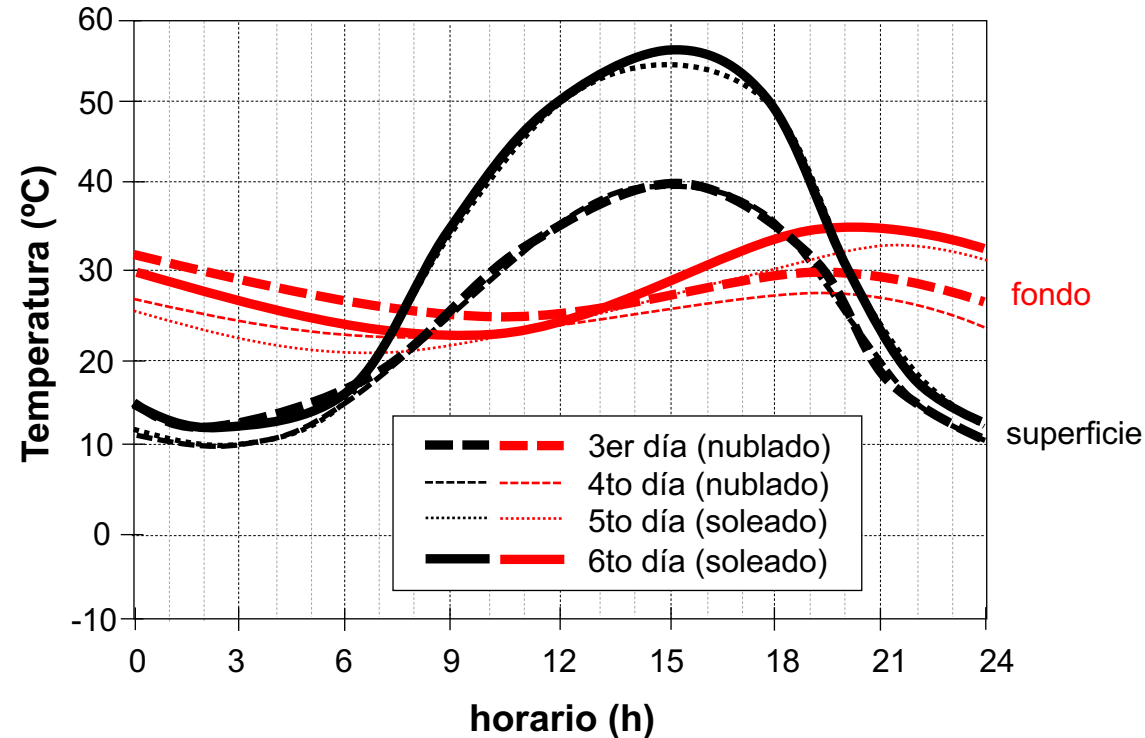
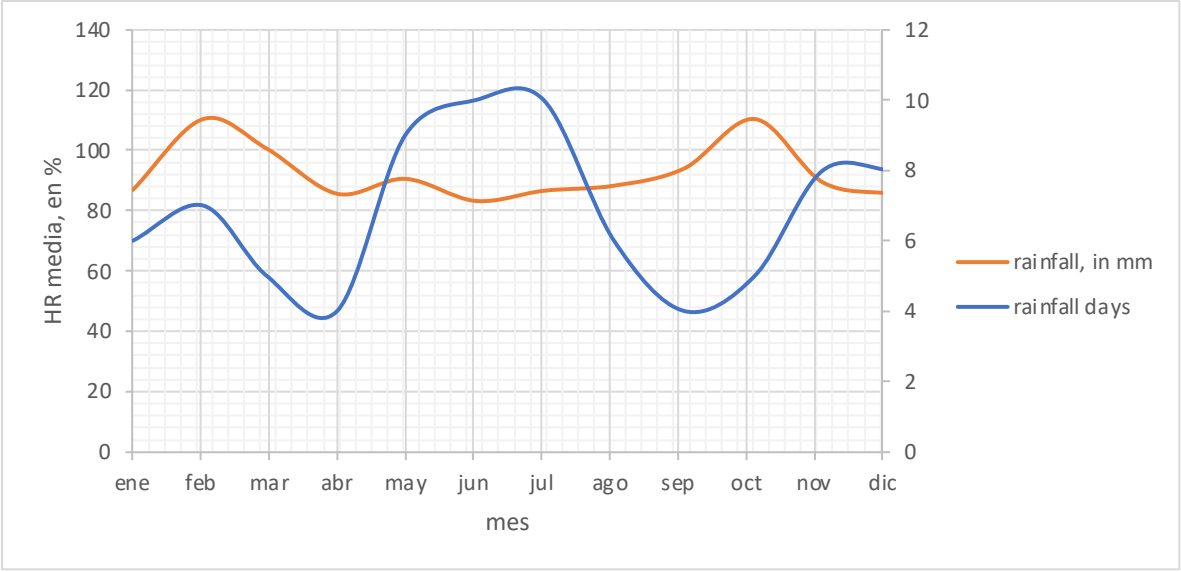
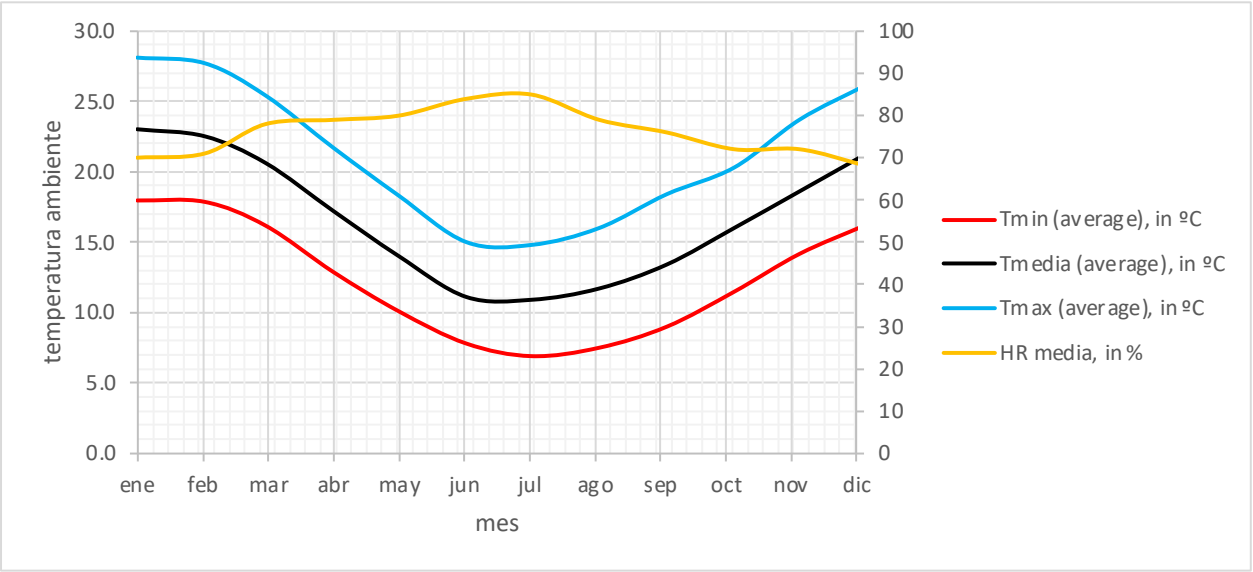


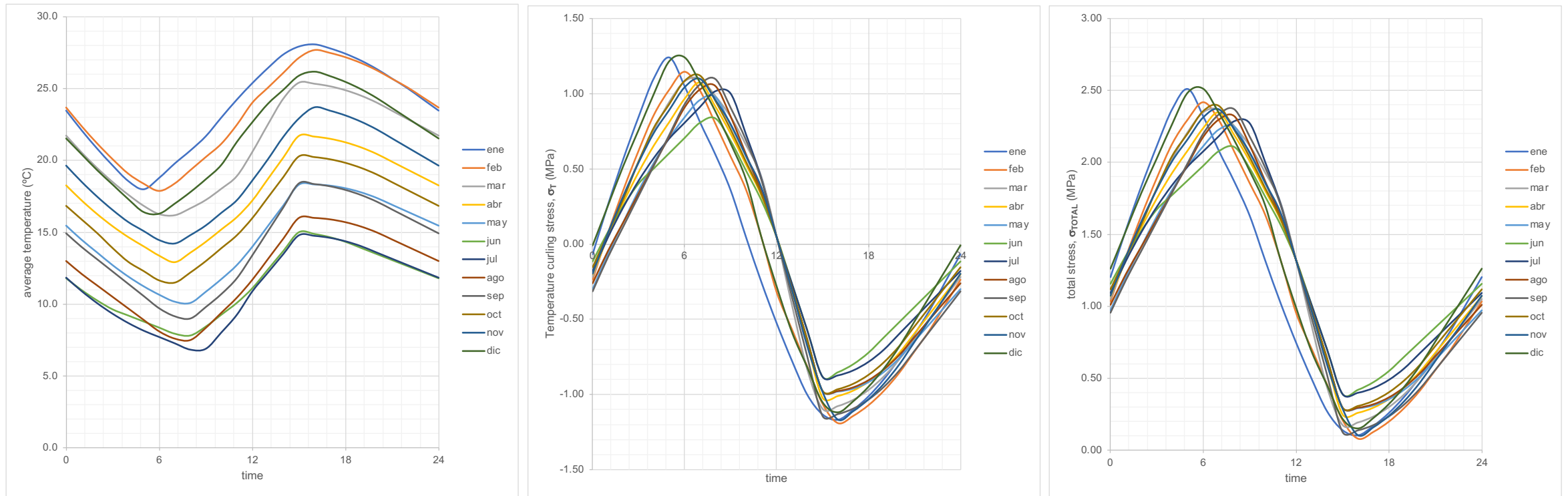
Figura 7.7: influencia de la historia térmica sobre el desarrollo de temperatura sobre un pavimento de hormigón simulando cambios de tiempo durante 6 días. Mientras que los primeros 2 días son soleados, el 3ero y 4to día son nublados y los días 5to y 6to son nuevamente soleados. Las mayores temperaturas se dan durante los días soleados.

Fuente: Yinghong Qin y Jacob Hiller, 2011. "Modelling the Temperature and Stress Distribution in Rigid Pavements: Impact of Solar Radiation Absorption and Heat History Development".

Influencia del Clima



Efecto de Temperatura y Relación con Alabeo



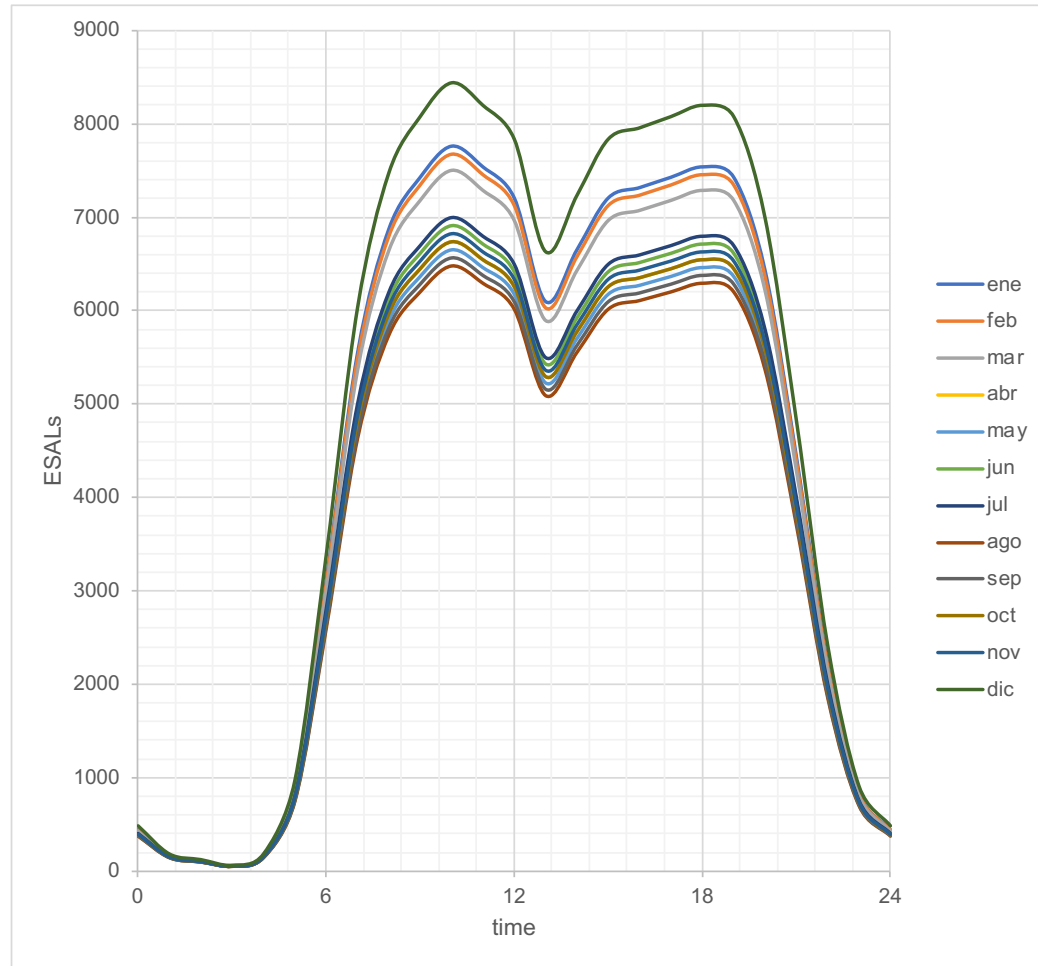
a) Evolución diaria de temperatura promedio mensual

b) Evolución diaria de tensiones de alabeo

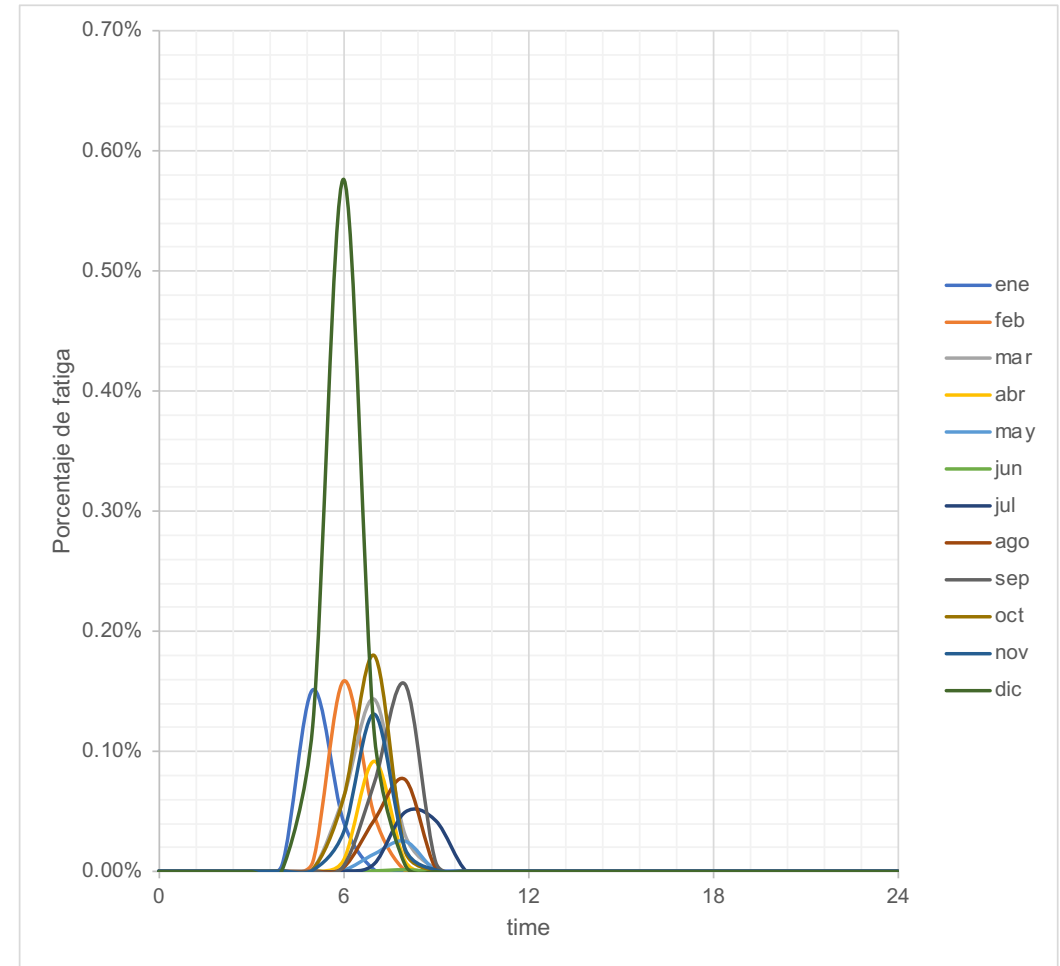
c) Evolución diaria de tensiones totales (carga de rueda + alabeo)

Figura 5: influencia de la variación diaria de temperatura sobre la evolución de las tensiones de alabeo. Nótese que las máximas tensiones de tracción se producen al amanecer cuando la temperatura diaria es mínima.

Efecto del Tránsito y su Relación con el Alabeo



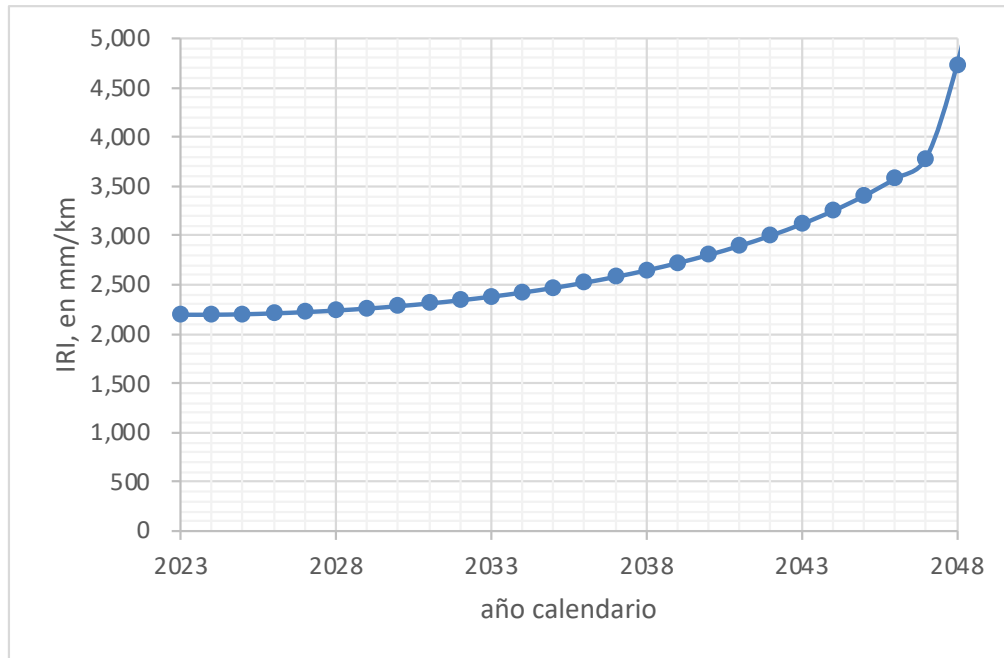
a) Evolución diaria del tránsito como promedio mensual



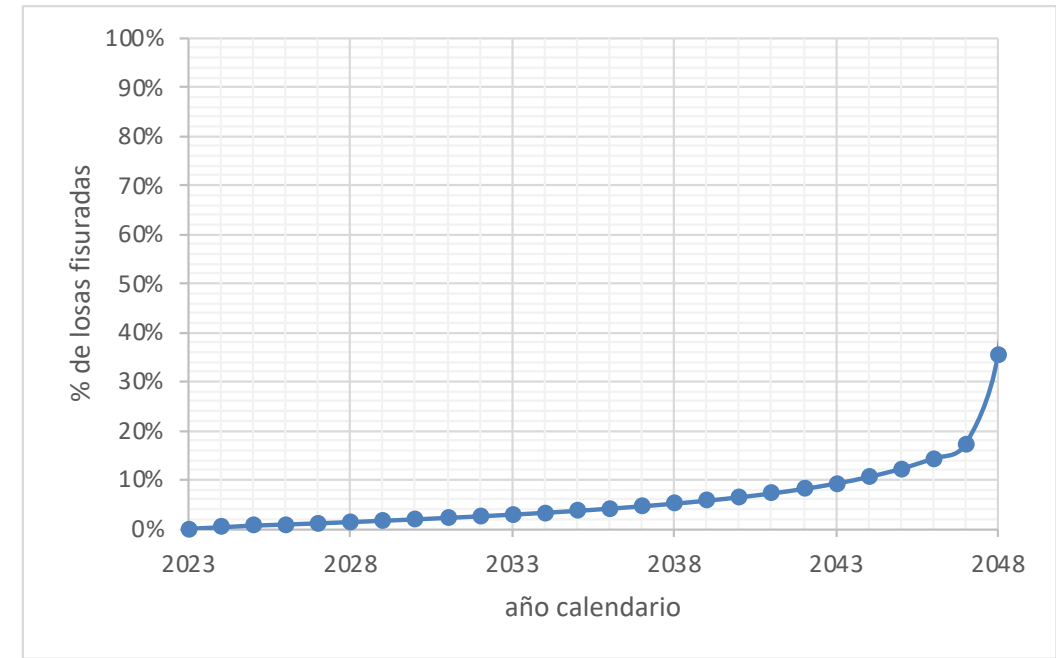
b) Evolución diaria del consumo de fatiga como promedio mensual

Figura 6: ejemplo de evolución diaria de tránsito mensual. La misma resulta especialmente influyente sobre el deterioro del pavimento ya que los mayores consumos de fatiga se producen por la mañana mientras la losa se mantiene con un cierto alabeo cóncavo.

Efecto del Tránsito sobre el Deterioro



a) Evolución en el tiempo del IRI prevista para un tramo de ruta 5



b) Evolución en el tiempo del % de losas fisuradas para un tramo de ruta 5

Figura 7: evolución en el tiempo del IRI (International Roughness Index) que brinda información respecto del nivel de servicio del pavimento y del porcentaje de losas fisuradas que permite evaluar el grado de deterioro del pavimento. En este caso, el modelo prevé que el pavimento se mantendrá en excelente estado durante los primeros 15 años y, luego, tenderá a disminuir progresivamente su nivel de servicio hasta los 24 años desde la puesta en servicio. Por otro lado, el aumento exponencial del deterioro previsto luego de los 24 años, sugiere la necesidad de realizar una intervención mayor antes de ese momento a fin de restituir el nivel de servicio del pavimento a los niveles originales.

Algunas Fotografías de Ruta 3 (2018)



Proyecto:
Contratista: INCOCI S.A. – Cujó S.A., UTE

Fotos: Ing. Jean Pierre Bidegain (Director de Obra de INCOCI S.A.)

Consideraciones Finales

- La técnica de WT (whitetopping) es una alternativa de refuerzo de pavimentos existentes utilizada en USA desde hace varias décadas.
- Si bien hasta hace unos años se consideraba una técnica confiable para tránsitos bajos y moderados, la experiencia nos muestra que es posible diseñar para tránsitos mayores de 50 millones de ESALs que, dependiendo del caso, permiten buenos niveles de servicio durante 15 a 25 años sin mayores intervenciones de mantenimiento.
- Actualmente, en Latinoamérica tenemos ingenieros (diseño y construcción) y empresas (construcción) con experiencia en la construcción de recapados en hormigón (concreto).
- La experiencia en las rutas nacionales N° 24 y N° 3 en Uruguay donde el comportamiento en servicio de los WTs se mantiene dentro de lo esperado por lo que se los considera casos exitosos, nos muestran que es una técnica disponible para las condiciones tecnológicas y, además, de contexto social, económico y político de Latinoamérica.
- Invito al resto de Latinoamérica a sumar esta alternativa en el análisis de soluciones para disponer de pavimentos que mantengan buenos niveles de servicio durante mayor tiempo y a menor costo.

Consideraciones Finales

!!!!!!Sólo hace falta animarnos, VAMOS LATINOAMÉRICA!!!!!!



*Fotografías del proyecto de refuerzo en WT
(whitetopping de ruta nacional N°3 en Uruguay.*

Foto: E. Becker, 2018.



Edgardo BECKER

Ingeniero en Construcciones UNCPBA

Gerente de Desarrollo y Servicios Técnicos de LOMA NEGRA CIASA

¡GRACIAS!!!!

edgardo.becker@hotmail.com

EBecker@lomanegra.com

