

“REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN CON TECNOLOGÍA RUBBLIZING “: EXPERIENCIA ARGENTINA”

Autor 1

Ing. Civil Mario L. Noste, ITYAC S.A., Argentina, m.noste@ityac.com.ar

Autor 2

Msc. Ing. Civil Diana S. Cainelli, ITYAC S.A., Argentina, d.cainelli@ityac.com.ar



“REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN CON TECNOLOGÍA RUBBLIZING. : EXPERIENCIA ARGENTINA”

- Introducción
- Génesis de la adopción del método
- Ejecución de las obras
- Evaluación estructural del rubblizing en el tiempo
- Conclusiones

INTRODUCCIÓN

- La rehabilitación de pavimentos de hormigón con alto grado de deterioro es un muy difícil desafío.
- Por sus características, los pavimentos de hormigón absorben un altísimo porcentaje de las solicitudes del tránsito y restaurar esa condición básica implica la adopción de técnicas sofisticadas, de alto costo y relativa efectividad.
- Resulta muy común que al poco tiempo de reparados, los pavimentos de hormigón vuelvan a deteriorarse.

INTRODUCCIÓN

Cuando se prevé la repavimentación de pavimentos de hormigón con capas asfálticas es fundamental considerar aspectos como:

- la homogeneidad
- eliminación de movimientos verticales en las losas (efecto placa).

Condiciones de muy difícil cumplimiento.

GÉNESIS DE LA ADOPCIÓN DEL MÉTODO

La primera experiencia en Argentina de rehabilitación de pavimentos rígidos aplicando la técnica de rubblizing se llevó a cabo en la Avenida de Circunvalación de Rosario, entre los años 2010 a 2012.

La obra fue licitada por la DNV, adjudicada a la UTE B. ROGGIO E HIJOS S.A.- ROVELLA CARRANZA S.A.

La elaboración del Proyecto Ejecutivo estuvo a cargo de ITYAC S.A.

GÉNESIS DE LA ADOPCIÓN DEL MÉTODO

La traza de esta obra se extendió en toda su longitud, desde Puente s/FFCC Mitre (Pr 1.310) hasta Avda. Belgrano (Pr 29.395).

El total de superficie de pavimento de hormigón a rehabilitar fue del orden de 300.000m² (desde RN90, hasta Avda. Belgrano, casi 21,5 kilómetros de extensión)

21 kms. y 300.000 m²
de pavimento de
Hormigón a rehabilitar

TMDA (2011)
> 50,000 v/d



GÉNESIS DE LA ADOPCIÓN DEL MÉTODO

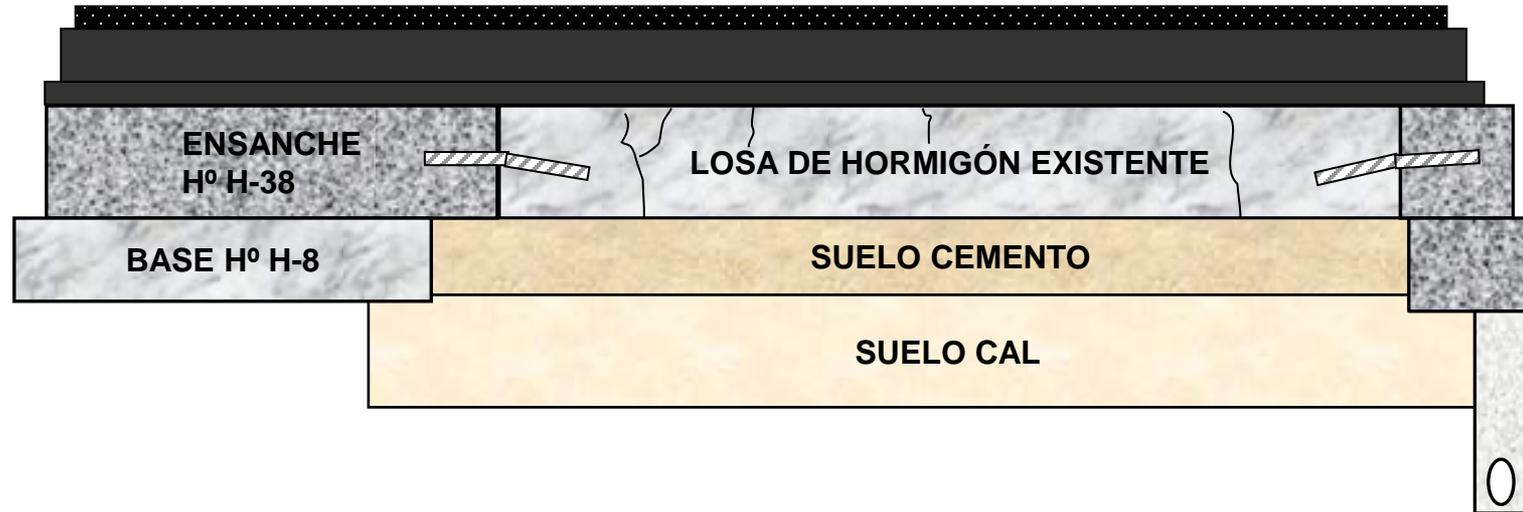
1. CONDICIÓN DEL PAVIMENTO EXISTENTE

- Grietas y Fisuras
- Bombeo
- Fragmentación en bloques
- Roturas y Hundimientos



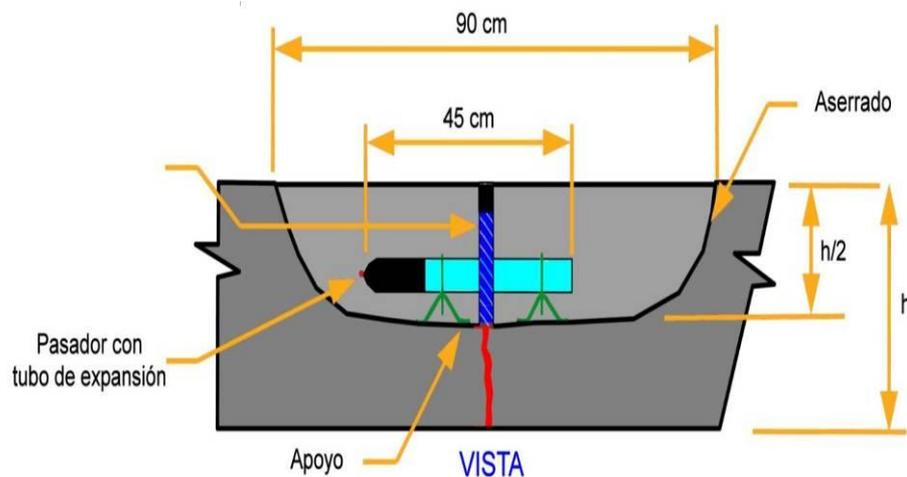
GÉNESIS DE LA ADOPCIÓN DEL MÉTODO

2. PROPUESTA DE ANTEPROYECTO



GÉNESIS

3. TÉCNICAS DE REPARACIÓN PREVISTAS



- Costura de grietas

Se debe inyectar sin pretender elevar las losas

Escalonamiento del plano vertical de demolición

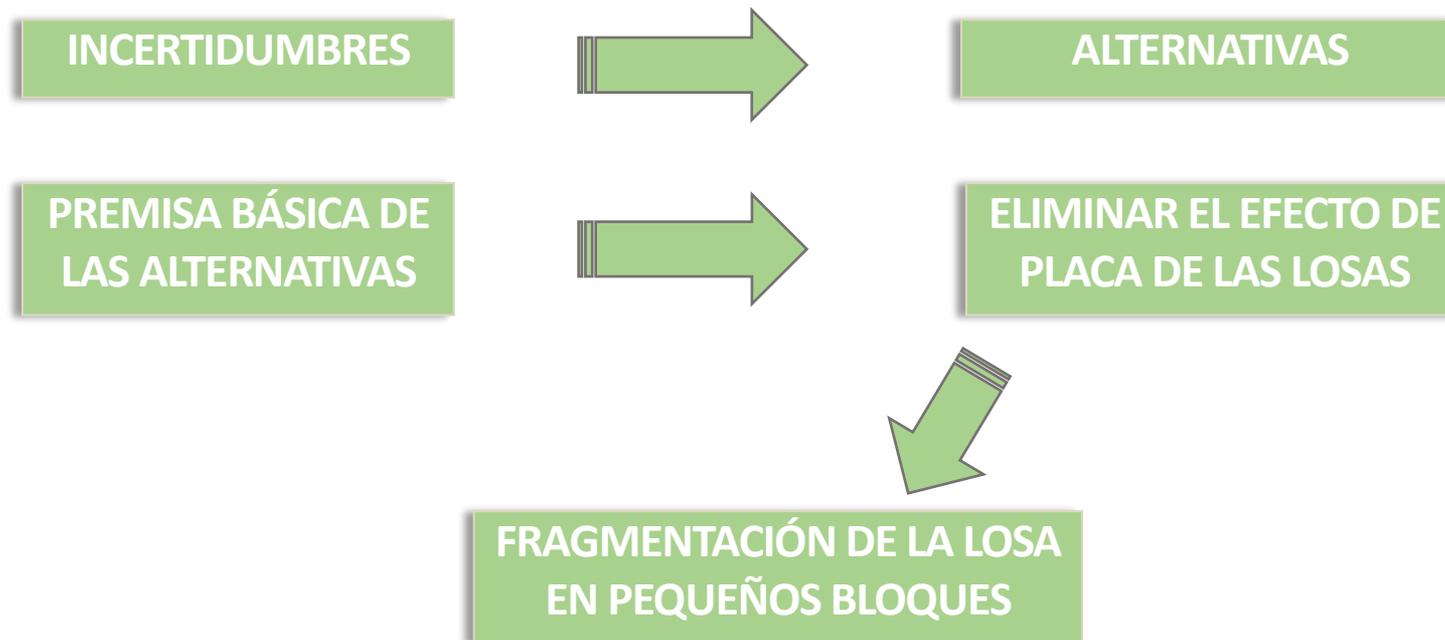
GÉNESIS DE LA ADOPCIÓN DEL MÉTODO

4. INCERTIDUMBRES

- ¿Lograremos una superficie de apoyo homogénea para las capas asfálticas?
- ¿Evitaremos el movimiento vertical de las losas?
- Podremos ejecutar la obra con el altísimo nivel de tránsito circulante (50.000 v/Día)?

GÉNESIS DE LA ADOPCIÓN DEL MÉTODO

5. ALTERNATIVAS PARA EL PROYECTO EJECUTIVO



GÉNESIS DE LA ADOPCIÓN DEL MÉTODO

Técnicas de Fracturación

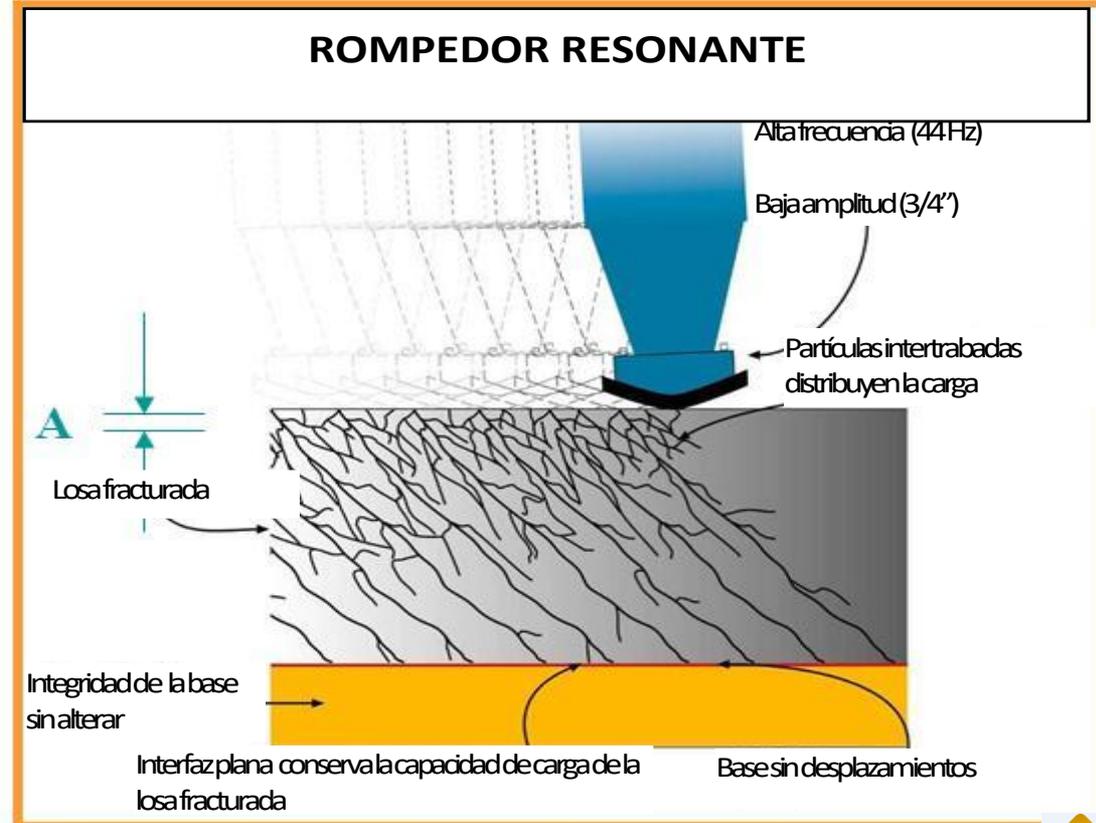
Por impacto y clavado (crack / break and seat)

- Martillos Múltiples Oscilantes
- Guillotina



GÉNESIS DE LA ADOPCIÓN DEL MÉTODO

Técnicas de Fracturación Vibración resonante (rubblizing)

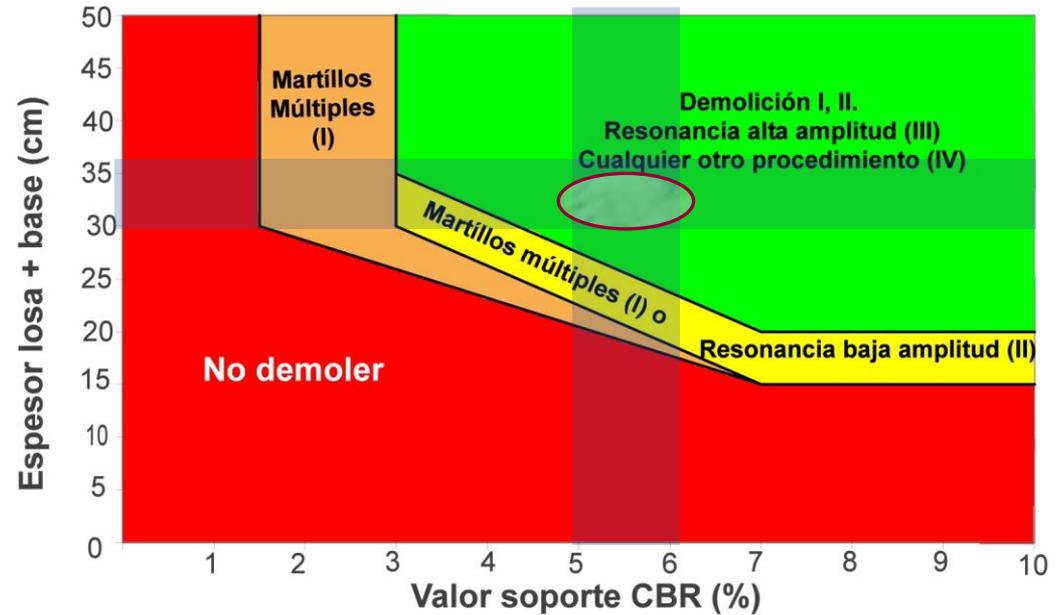


GÉNESIS DE LA ADOPCIÓN DEL MÉTODO

Análisis de las alternativas

- Carta de selección de HECKEL

Demolición de losas pavimento de hormigón (Rubblizing)

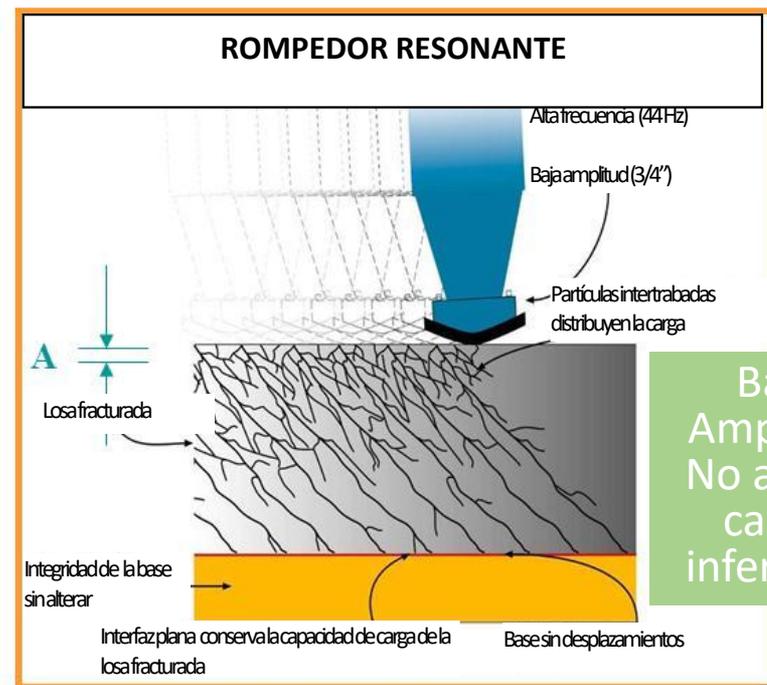
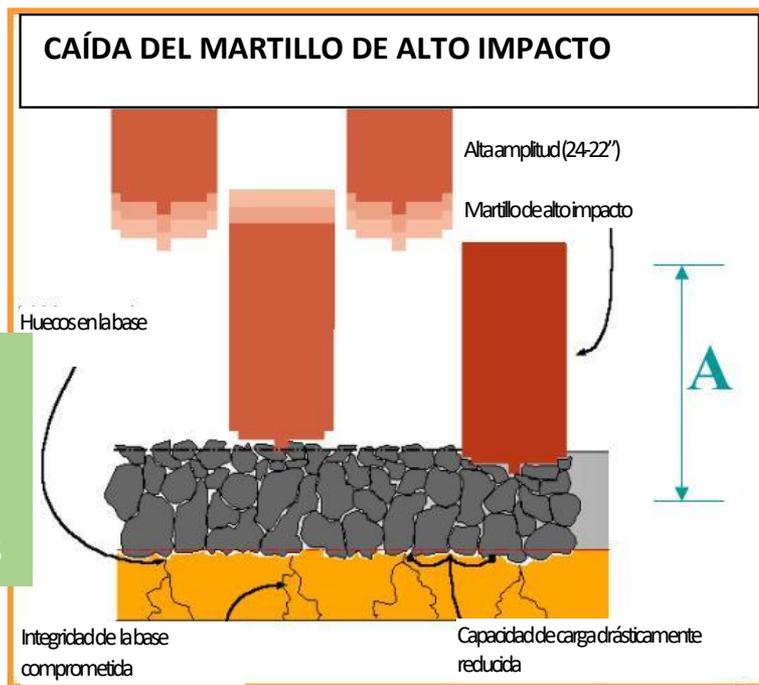


Carta de Selección Procedimiento de Demolición de Losas
Illinois Department of Transportation - Heckel 2002

GÉNESIS DE LA ADOPCIÓN DEL MÉTODO

Análisis de las alternativas

- Efectos sobre las capas subyacentes



GÉNESIS DE LA ADOPCIÓN DEL MÉTODO

Análisis de las alternativas

TÉCNICA CON ROMPEDOR RESONANTE

- Antecedentes en el mundo:
Mas de 41 millones de m² ejecutados con la técnica resonante. (2009)
- Disponibilidad de equipos resonantes:
De los 21 equipos disponibles había:
 - 9 en EEUU
 - 6 en China
 - 4 en Rusia
 - 1 en Panamá
 - 1 en Chile**

TECNICA CON MARTILLOS Y GUILLOTINA

- Pocos antecedentes, solo en los EEUU.

GÉNESIS DE LA ADOPCIÓN DEL MÉTODO

Análisis de las alternativas

- Visita de contacto a Chile para ver su funcionamiento y las experiencias y estudios desarrollados a través del DICTUC de la Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Asesoramiento del Ingeniero Civil Guillermo Thenoux Z. y su equipo de trabajo

GÉNESIS DE LA ADOPCIÓN DEL MÉTODO

Elección de la vibración resonante

- Cumple el Criterio Básico (eliminar el efecto de placa)
- Técnica aceptada y probada en el mundo
- Preserva las capas de base
- Experiencia muy positiva en Chile en la Autopista Santiago - San Antonio

GÉNESIS DE LA ADOPCIÓN DEL MÉTODO

6. ELABORACIÓN DE PROYECTO EJECUTIVO PREVIO

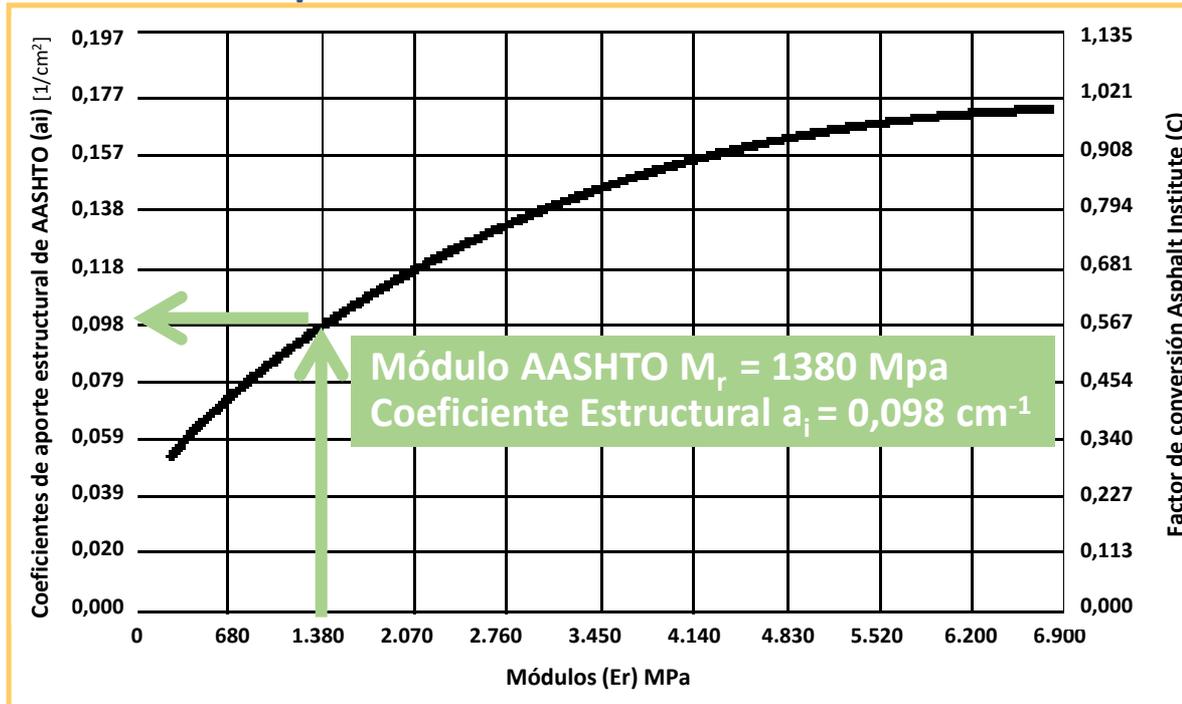
6.1. Valoración estructural de la capa resultante



GÉNESIS DE LA ADOPCIÓN DEL MÉTODO

6. ELABORACIÓN DE PROYECTO EJECUTIVO PREVIO

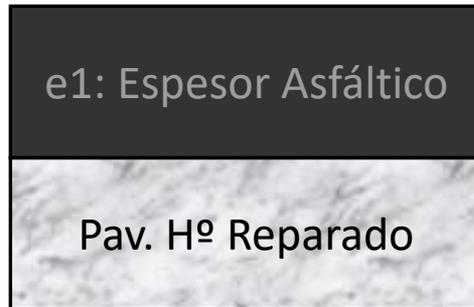
6.1. Valoración estructural de la capa resultante



GÉNESIS DE LA ADOPCIÓN DEL MÉTODO

6. ELABORACIÓN DE PROYECTO EJECUTIVO PREVIO

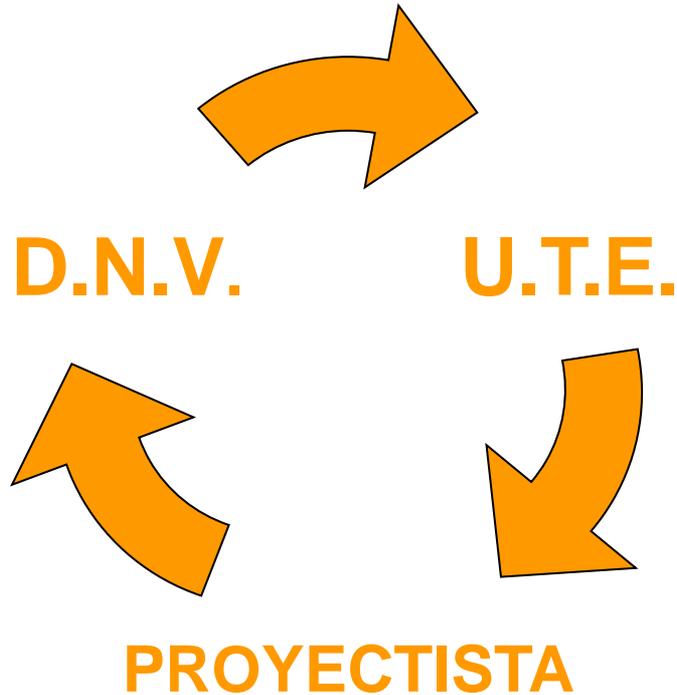
6.2. Diseño de los espesores de refuerzo de mezcla asfáltica necesarios para esta obra en particular



$$e2 = 1,19 \times e1$$

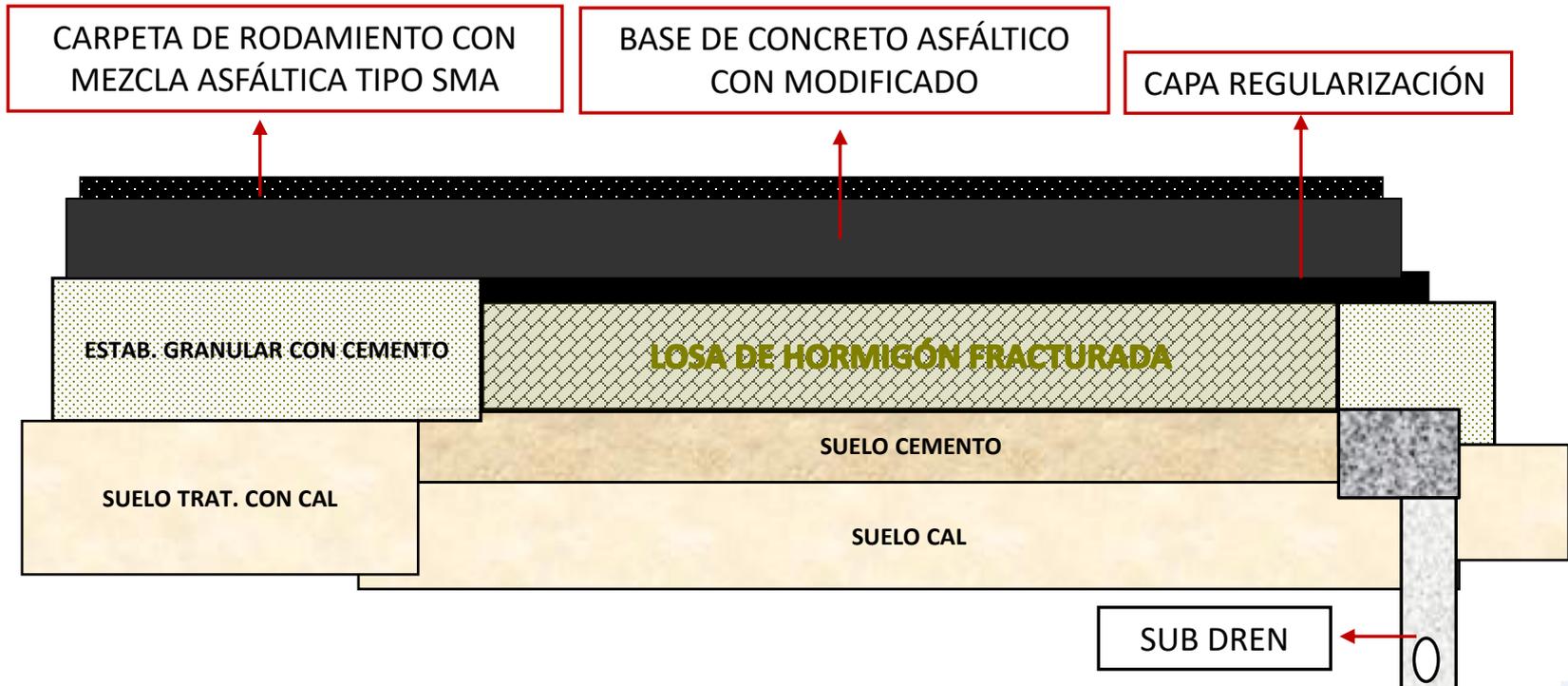
GÉNESIS DE LA ADOPCIÓN DEL MÉTODO

7. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO



GÉNESIS DE LA ADOPCIÓN DEL MÉTODO

8. ESTRUCTURA ADOPTADA



GÉNESIS DE LA ADOPCIÓN DEL MÉTODO

9. CONCLUSIONES Y POTENCIALES VENTAJAS

- Se elimina la posibilidad del remonte de fisuras por eliminar totalmente el efecto de placa.
- Al fracturar las losas, desaparece la posibilidad del movimiento vertical de las mismas.
- Se logra una estructura homogénea incorporando como ensanche asociado a capas de estabilizado granular con cemento.
- Se eliminan las vinculaciones de ensanche y carril adicional con pasadores insertados y tiempos prolongados hasta la habilitación al tránsito.
- Se evita la ejecución de reparaciones complejas con la incertidumbre de obtener resultados efectivos
- Desde el punto de vista de la transitabilidad de la vía de comunicación durante el período de construcción, la mejora es sustancial ya que posibilita habilitar al tránsito a las pocas horas de efectuada la intervención.

EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

1. EQUIPO VIBRADOR RESONANTE



EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

1. EQUIPO VIBRADOR RESONANTE

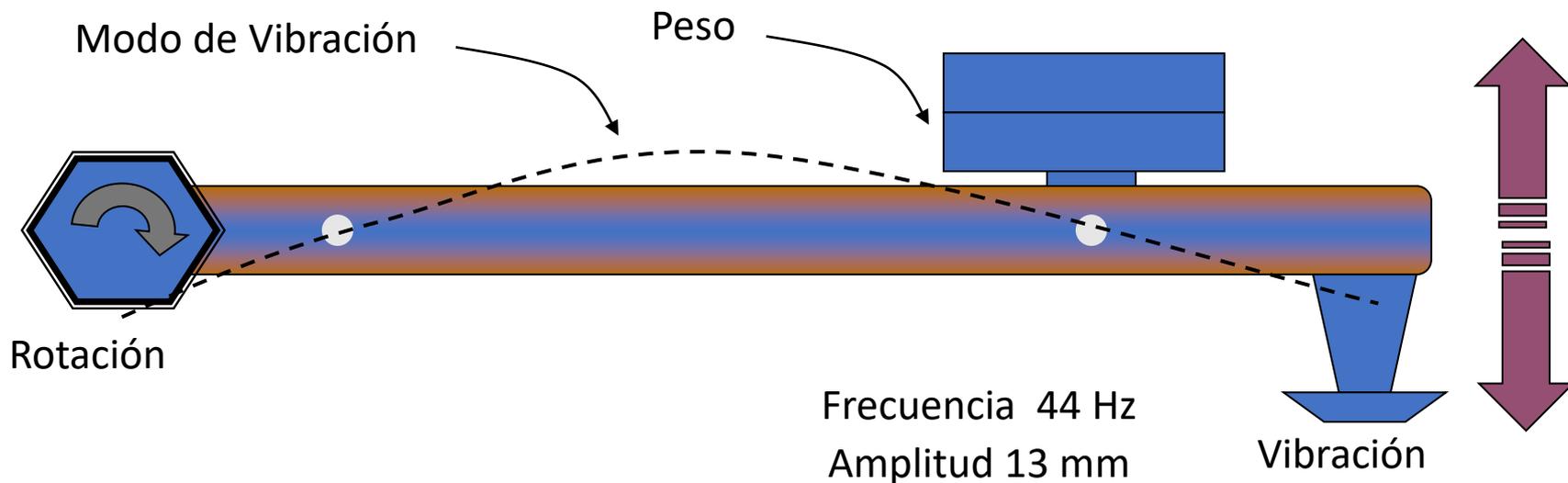
Potencia del motor	550 HP
Martillo rompedor.....	25 cm ancho
Contrapeso.....	6.000 kg
Peso total	32.000 kg
Rendimiento aproximado:	
700 m ² /h > 200 ml/h de media calzada	
Amplitud	de 1,25 cm a 2,5 cm
Frecuencia	de 42 A 44 hz



EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

1. EQUIPO VIBRADOR RESONANTE

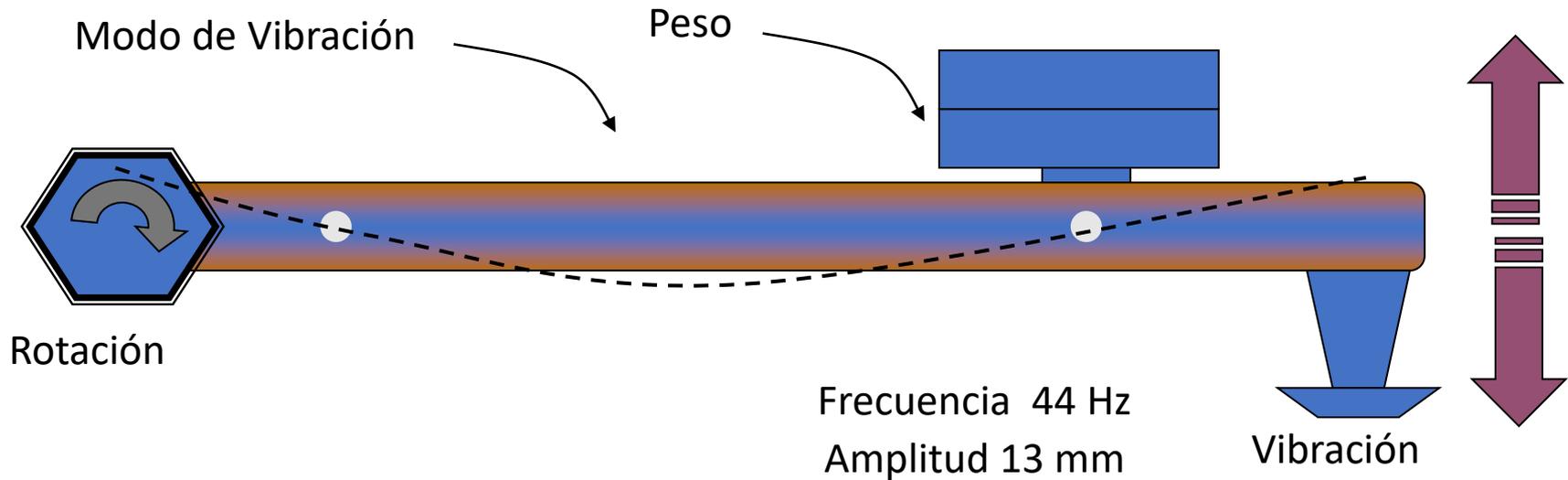
Principio de funcionamiento



EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

1. EQUIPO VIBRADOR RESONANTE

Principio de funcionamiento



EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

1. EQUIPO VIBRADOR RESONANTE

Principio de funcionamiento



Frecuencia 44 Hz
Amplitud 13 mm

EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

2. METODOLOGÍA CONSTRUCTIVA

2.1. Colocación de drenes



EJECUCIÓN DE LAS OBRAS. 2.2. Fractura resonante del pavimento



EJECUCIÓN DE LAS OBRAS. Aspecto en superficie



EJECUCIÓN DE LAS OBRAS. Aspecto en superficie



EJECUCIÓN DE LAS OBRAS. Patrón de fractura



≈ 35° a 40°



EJECUCIÓN DE LAS OBRAS. 2.3. Aplanadora con rodillo vibratorio AF / BA



EJECUCIÓN DE LAS OBRAS. 2.5. Compactación de la capa de recubrimiento



DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DE LA CAPA DE RUBBLIZING - CARACTERIZACIÓN

1. FASE EXPERIMENTAL



2. MODELIZACIÓN POR RETROCÁLCULO

3. CARACTERIZACIÓN PARA AASHTO 93

1.1. Determinación de tramos experimentales y georreferenciación de ensayos de campo

1.2. Ejecución de calados y ensayos DCP (previos a la fracturación)

1.3. Ensayos de deflexiones FWD (en cada etapa de obra y en servicio)

1.4. Calados de mezcla asfáltica ejecutada (en cada medición FWD)

1.5. Ensayos de módulos dinámicos de mezcla asfáltica

ESPACIO

6 TRAMOS: 2.500 m
seleccionados de
las obras de
rehabilitación de
Av. Circunvalación
Rosario

TIEMPO

6 años
Desde el
inicio de las
obras

DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DE LA CAPA DE RUBBLIZING - CARACTERIZACIÓN

1. FASE EXPERIMENTAL

1.1. Determinación de tramos experimentales y georreferenciación de ensayos de campo

II.1DC2:
Pr 10,550 - Pr 10,300

II.2DE:
Pr 14,650 - Pr 14,400

III.3AE:
Pr 14,650 - Pr 14,400

III.4DE:
Pr 27,600 - Pr 26,850

III.5DE:
Pr 27,850 - Pr 27,625

III.6DE:
Pr 28,750 - Pr 28,000



106 puntos georreferenciados para DEFLEXIONES FWD

56 puntos georreferenciados para CALADOS Y DCP

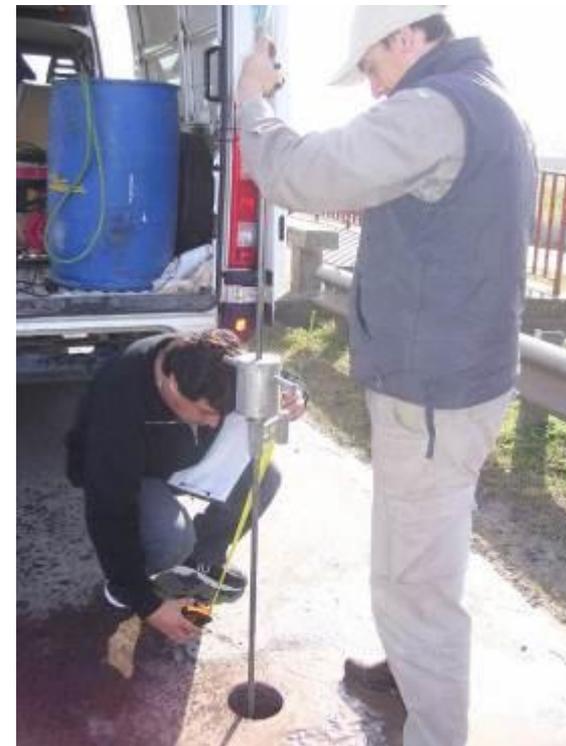
Georreferenciación para ensayos de campos (FWD, CALADOS Y DCP)



DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DE LA CAPA DE RUBBLIZING - CARACTERIZACIÓN

1. FASE EXPERIMENTAL

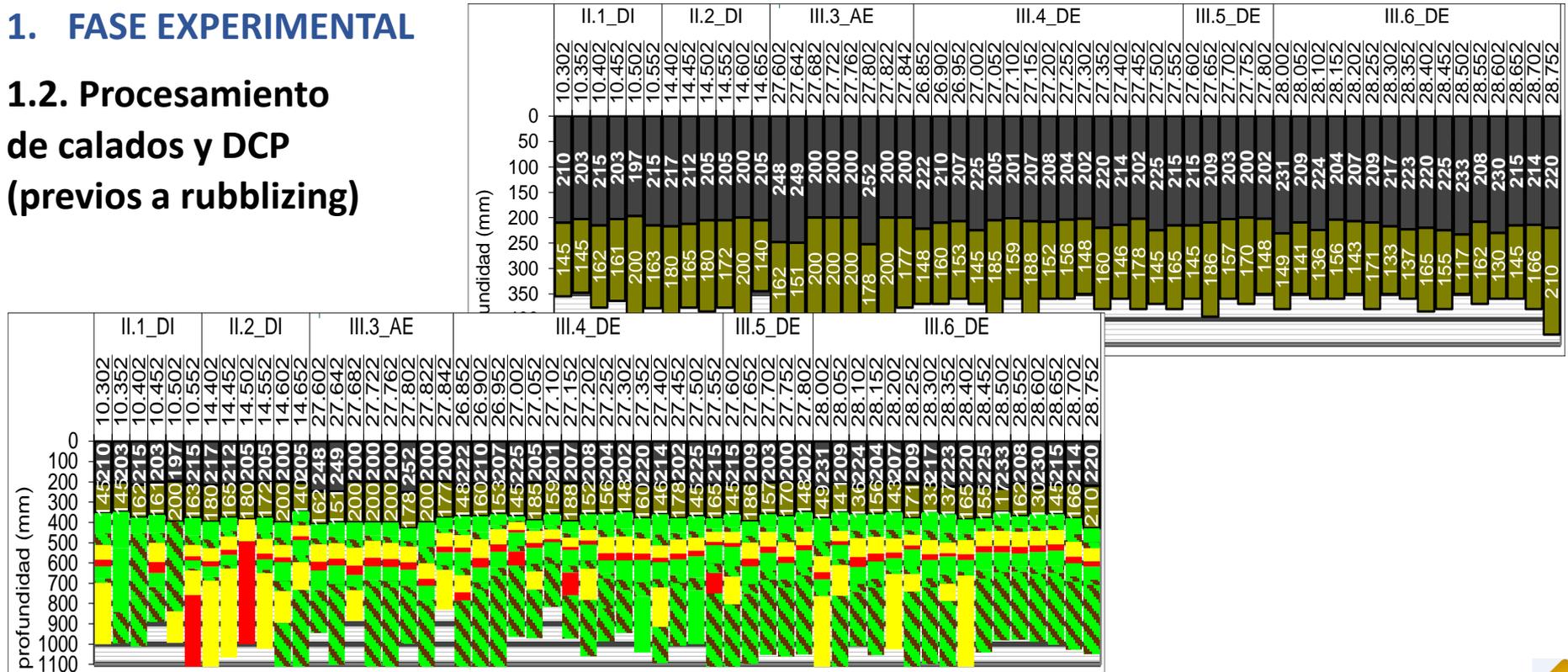
1.2. Ejecución de calados y DCP (previos al rubblizing)



DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DE LA CAPA DE RUBBLIZING - CARACTERIZACIÓN

1. FASE EXPERIMENTAL

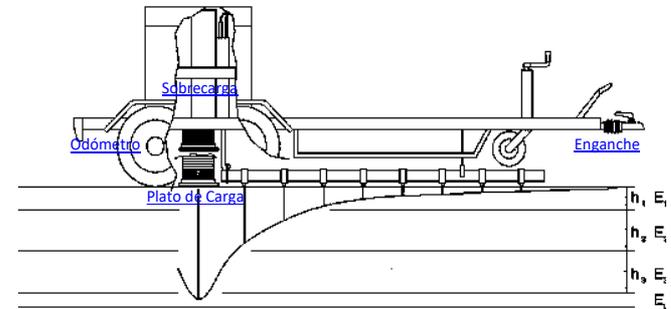
1.2. Procesamiento de calados y DCP (previos a rubblizing)



DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DE LA CAPA DE RUBBLIZING - CARACTERIZACIÓN

1. FASE EXPERIMENTAL

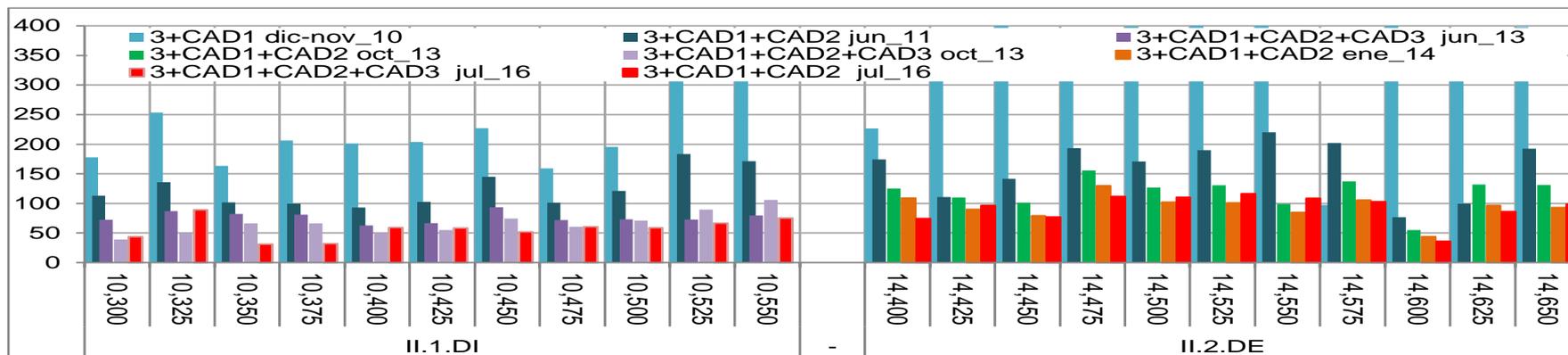
1.3. Ensayos de deflexiones FWD (en cada etapa de construcción y en 6 años en servicio)



DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DE LA CAPA DE RUBBLIZING - CARACTERIZACIÓN

1. FASE EXPERIMENTAL

1.3. Procesamiento ensayos FWD (en cada etapa de construcción y en 6 años en servicio)



10	II.1.DC2_3+7,5. 06.dic.2010	10	II.2.DE_3+7,5. 23.nov.2010
11	II.1.DC2_3+7,5+6. 06.jun.2011	11	II.2.DE_3+7,5+8. 06.jun.2011
13	II.1.DC2_3+7,5+6+5. 26.jun.2013	13	II.2.DE_3+7,5+8. 01.oct.2013
13	II.1.DC2_3+7,5+6+5. 01.oct.2013	14	II.2.DE_3+7,5+8. 14.ene.2014
16	II.1.DC2_3+7,5+6+5. 07.jul.2016	16	II.2.DE_3+7,5+8. 07.jul.2016

DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DE LA CAPA DE RUBBLIZING - CARACTERIZACIÓN

2. MODELIZACIÓN POR RETROCÁLCULO (EN FUNCIÓN DE ENSAYOS FWD)

CARACTERIZACIÓN IN SITU

METODOLOGÍAS DE RETROCÁLCULO CON BASE A ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS, FWD

Nivel 1, para Mr de material no ligado (MEPDG Design of New and Rehabilitated Pavement Structures”)

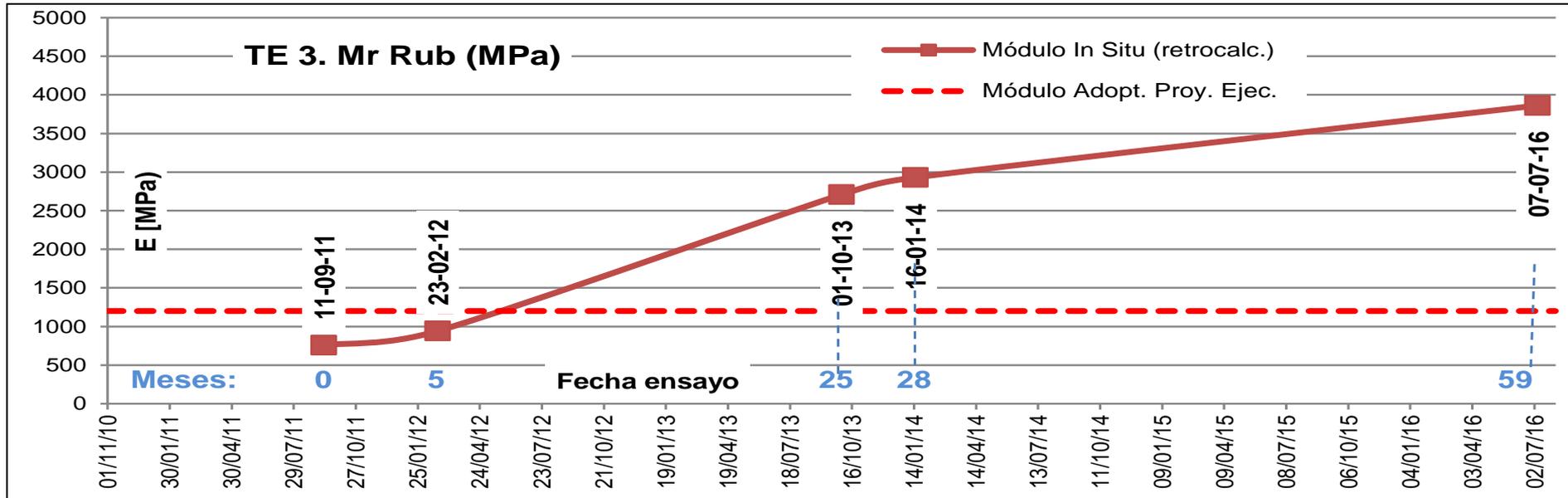
PROGRAMA BackVid (Dr. Giovanon UNR)

Aplicable a estructuras multicapas elásticas. Realiza un proceso iterativo en el cual, establecidos los espesores y propiedades elásticas de cada capa, se determinan las deflexiones hipotéticas que sufriría el modelo comparándolas con la medición de deflexiones en el campo (F.W.D., en este caso), ajustando los módulos de las capas hasta igualar los cuencos.

DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DE LA CAPA DE RUBBLIZING - CARACTERIZACIÓN

2. MODELIZACIÓN POR RETROCÁLCULO (EN FUNCIÓN DE ENSAYOS FWD)

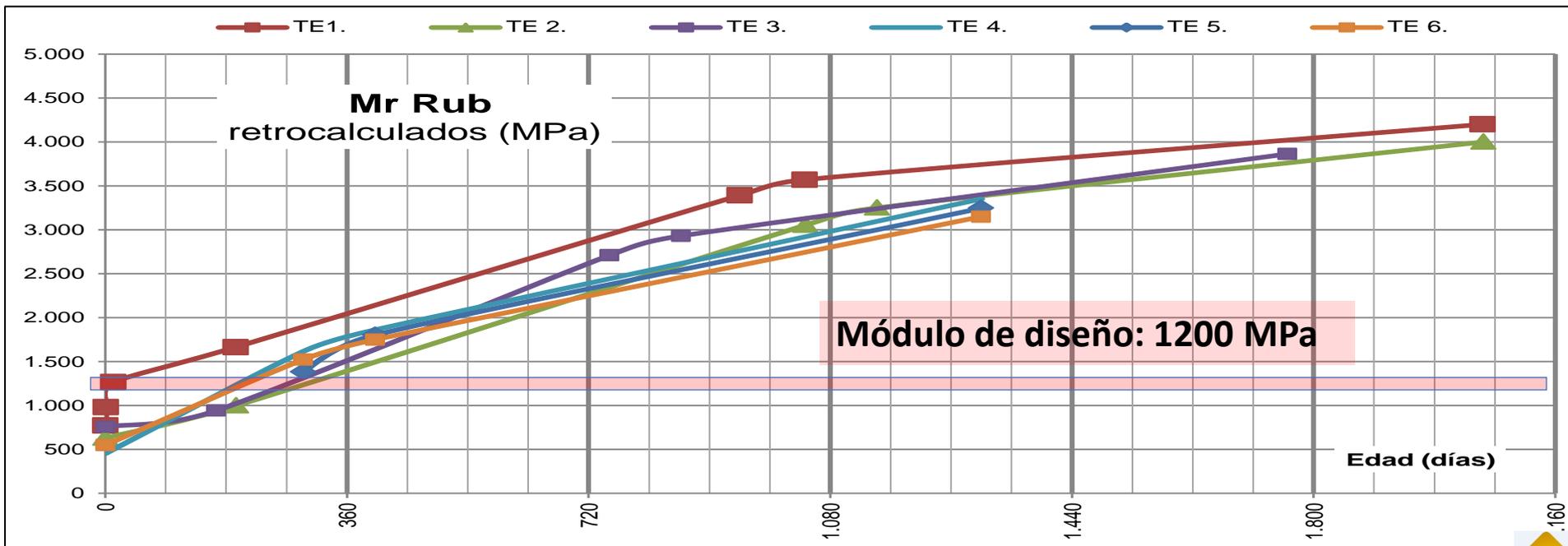
Maduración en el tiempo de los Módulos retrocalculados de la capa de RUBBLIZING (Ejemplo Tramo Experimental III.3. AE)



DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DE LA CAPA DE RUBBLIZING - CARACTERIZACIÓN

2. MODELIZACIÓN POR RETROCÁLCULO (EN FUNCIÓN DE ENSAYOS FWD)

Maduración en el tiempo de los Módulos retrocalculados de la capa de RUBBLIZING



DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DE LA CAPA DE RUBBLIZING - CARACTERIZACIÓN

3. CARACTERIZACIÓN PARA AASHTO 93

ecuación de Witczak



$$a_{\text{Rubb}} = a_s * (E_{\text{Rubb}} / E_s)^{1/3}$$

a_{Rubb} [1/pulg] = coef. estruc. rubblizing (incógnita) / a_s [1/pulg] = coef. estruc. material estándar (0,14)

E_{Rubb} [psi] = módulo de elasticidad del rubblizing obtenido por retrocálculo

E_s [psi] = módulo de elasticidad del material estándar (30.000)

Perc. 50, $E_{\text{Rubb}} = 2.500 \text{ Mpa}$



$$a_{\text{Rubb}} = 0,126 \text{ cm}^{-1}$$

Perc. 80, $E_{\text{Rubb}} = 1.490 \text{ Mpa}$

$$a_{\text{Rubb}} = 0,106 \text{ cm}^{-1}$$

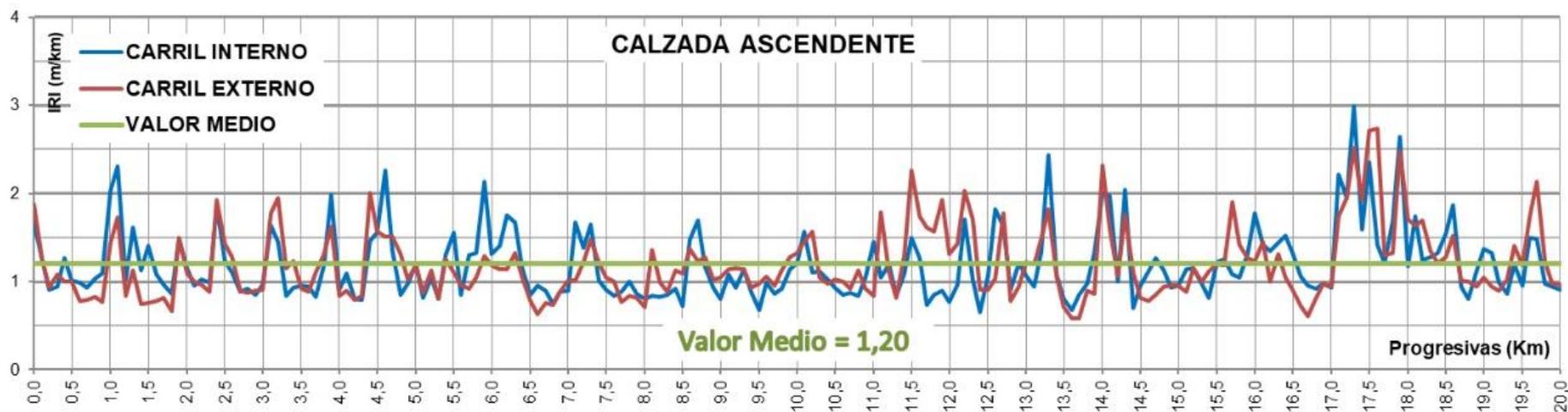
Diseño

$$a_{\text{Rubb Dis}} = 0,098 \text{ cm}^{-1}$$

DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DE LA CAPA DE RUBBLIZING - CARACTERIZACIÓN

MEDICIÓN DE RUGOSIDAD 2022 – Laserprof

Carril Externo (tránsito pesado)



CONCLUSIONES

Se trata de una técnica sencilla y efectiva para la fragmentación de pavimentos de hormigón, preservando la sub-base de apoyo.

Requiere de un exhaustivo análisis, previo a su implementación.

Resulta imprescindible la incorporación de drenes laterales.

Se contrata “llave en mano”. Los ajustes para adaptarse al pavimento a fragmentar son la clave, siendo los operadores del equipo los responsables de los mismos. La experiencia en esta obra fue muy buena en ese aspecto.

CONCLUSIONES

La capa de recubrimiento debe tener un espesor mínimo de 5 a 10 cm de concreto asfáltico.

No requiere riego de imprimación, ni de liga, previo a la colocación de la mezcla asfáltica de recubrimiento.

La obra consistió en 250.000 m² de fragmentación (Rubblizing) equivalente a 34 km de calzada de 7,30 m de ancho, sin observarse problemas ni durante la ejecución, ni en servicio de la estructura.

CONCLUSIONES

La evaluación de su desempeño en el tiempo concuerda con la bibliografía y las hipótesis adoptadas en oportunidad del Proyecto Ejecutivo:

La respuesta estructural puede asimilarse a la de un granular cementado,

- con módulos de elasticidad que superan los 1.350 MPa (alcanzando valores de más de 5.000 MPa)
- y coeficientes de aportes estructurales asociados (Witczak) superiores a $0,12 \text{ cm}^{-1}$.

Se pudo observar el incremento de su capacidad estructural en cada etapa de ejecución de las capas asfálticas, así como una “maduración” con el tiempo en servicio.

MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN



POR EL BUEN CAMINO