



**XIX CONGRESO ARGENTINO
DE VIALIDAD Y TRÁNSITO**
11° EXPOVIAL ARGENTINA



15 AL 18 DE SEPTIEMBRE 2026
Centro de Congresos y Exposiciones Emilio Civit
Mendoza, Argentina

Resistencia a la erosión de bases para pavimentos de hormigón

Evaluación experimental y propuesta de especificación y control

Diego Calo
INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO

CO-ORGANIZA

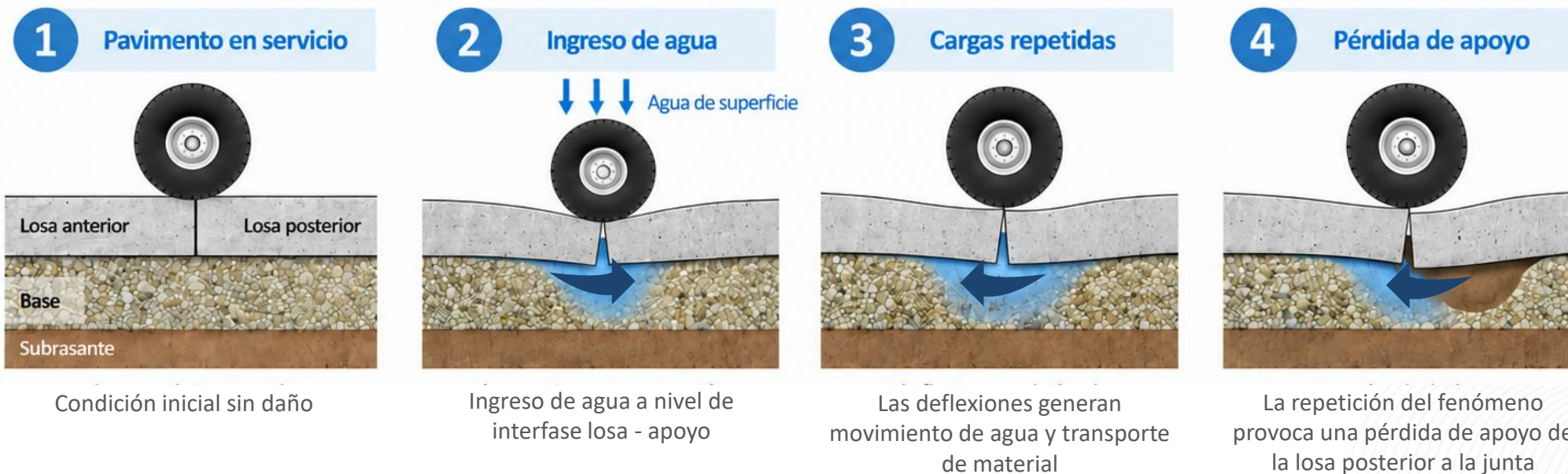


ORGANIZAN



Líderes en
Innovación y
Transferencia
Tecnológica

Por qué nos preocupa el riesgo potencial de erosión de bases?



- La presencia de agua en la interfaz losa–base, combinada con las deflexiones producidas por las cargas del tránsito, puede generar transporte de materiales y como consecuencia una progresiva erosión bajo la losa posterior a la junta.
- La pérdida progresiva de apoyo incrementa las solicitaciones sobre la losa y favorece la aparición de deterioros.

La resistencia a la erosión de la base juega un rol CLAVE en el desempeño del sistema.

Clasificación de materiales según su erosionabilidad (resistencia) (referencias tradicionales)

Clase	 Potencial de Erosión	 Tipo de material	 Nivel de Tránsito Pesado	 Tipo de Arteria
A	Muy resistente a la erosión	Hormigón pobre, mezclas asfálticas	Muy alto (> 4000 vehículos/día)	Autopistas, rutas principales
B	Resistente a la erosión	Material granular tratado con 5 % de cemento	Más de 2000 vehículos pesados por día	Travesías o arterias urbanas con flujo ininterrumpido de tránsito pesado
C	Moderadamente resistente	Material granular estabilizado (con cemento, cal u otros)	Entre 400 y 2000 vehículos pesados por día	Rutas secundarias, arterias principales urbanas
D	Bastante erosionables	Material granular elaborado in situ con 2,5 % de cemento; suelos finos tratados con cemento in situ; materiales granulares limpios, bien gradados y de buena calidad	Entre 100 y 400 vehículos pesados por día	Avenidas o arterias colectoras con tránsito pesado o calles residenciales con circulación de ómnibus
E	Muy erosionables	Suelos granulares no estabilizados y suelos finos	Menos de 100 vehículos pesados por día	Calles residenciales, locales y de bajo tránsito

Nota: La clasificación corresponde a la propuesta por PIARC en su publicación: “Combating Concrete Pavement Slab Pumping - State-of-the-art and Recommendations”

No todas las bases presentan la misma susceptibilidad a la erosión



Las clasificaciones tradicionales caracterizan la erosionabilidad principalmente a partir del tipo de material y su estabilización.

Pero... ¿Podemos medir en forma directa este comportamiento?

Como medir la resistencia a la erosión?

Existen diferentes procedimientos para intentar reproducir en laboratorio las acciones que generan erosión, pero no existe un ensayo único que reproduzca completamente el fenómeno.

1 Cepillo rotativo	2 Corte rotacional	3 Inyección de agua	4 Mesa vibratoria	5 Rueda cargada (tipo Hamburg)
Abrasión superficial	Esfuerzo de corte controlado	Acción hidráulica	Agua + sollicitación dinámica	Carga repetida + agua
+ Implementación simple + Permite comparar materiales - Ensayo prolongado - Sensible al agregado grueso	+ Buena definición de la sollicitación + Resultados reproducibles - Equipo complejo y de mayor costo - Menor representación de la condición de servicio	+ Implementación sencilla + Permite evaluar distintos materiales - Sollicitación poco uniforme - Resultados más variables	+ Buena aproximación a la condición de servicio + Permite evaluar capas granulares - Equipamiento específico - Mayor dispersión de resultados	+ Simula el mecanismo de erosión en servicio + Adaptable a equipos tipo Hamburg + Permite evaluar materiales y soluciones constructivas - Mayor complejidad de montaje y operación

El desafío no es solamente erosionar el material, sino reproducir una sollicitación representativa de la interfaz losa-base

Ensayo de cepillo rotativo

Implementación: Procedimiento y parámetros



CONDICIONES DE ENSAYO

950 rpm · 10 kg · 60 s



Resultado: Pérdida de masa (g/min)

✓ Aspectos favorables

Implementación sencilla y de bajo costo.

Permite comparar materiales con distinta resistencia superficial.

Buen ensayo exploratorio para evaluar desgaste superficial.

⚠ Limitaciones observadas

El agregado grueso puede limitar el contacto del cepillo.

Dificultad para garantizar cepillos equivalentes.

No reproduce adecuadamente la interfaz losa-base ni el efecto del agua bajo carga.

>> El ensayo resultó útil para caracterizar la resistencia superficial, aunque mostró algunas limitaciones para representar el mecanismo de erosión que ocurre bajo la losa.



Ensayo de cepillo rotativo

Primeros estudios



RDC



SUELO CEMENTO



HORMIGÓN POBRE

Ensayo de Rueda cargada de Hamburgo

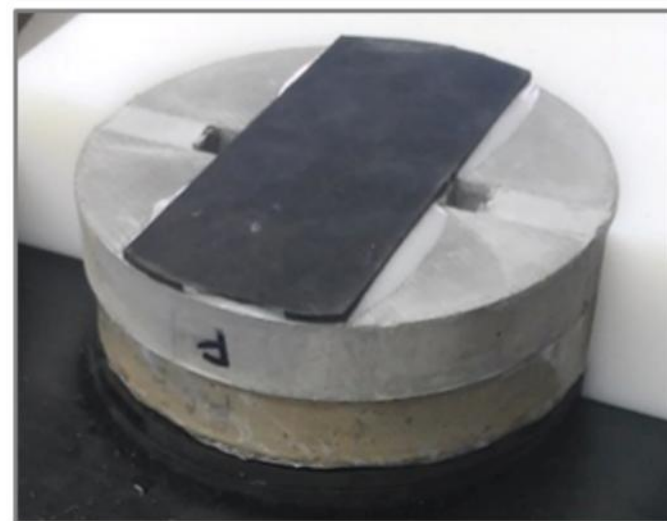
Implementación: Procedimiento y parámetros

El ensayo consiste la aplicación de una carga en forma repetitiva sobre una muestra de material de base, simulando el efecto de bombeo.

El equipo de ensayo es el mismo que se utiliza para la determinación del ahuellamiento en concreto asfáltico, con la diferencia que se emplea una probeta multicapa, compuesta por:

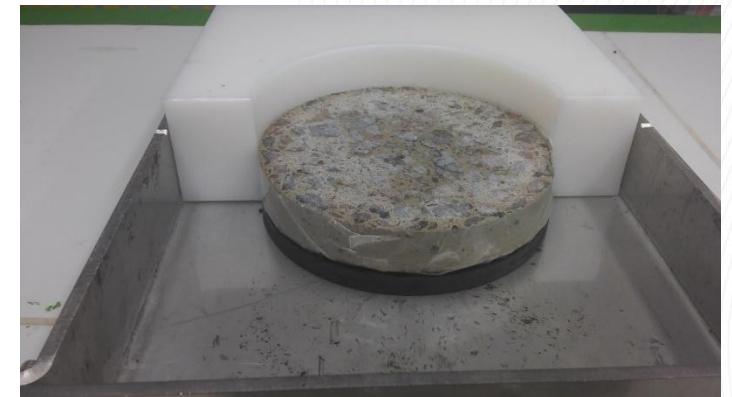
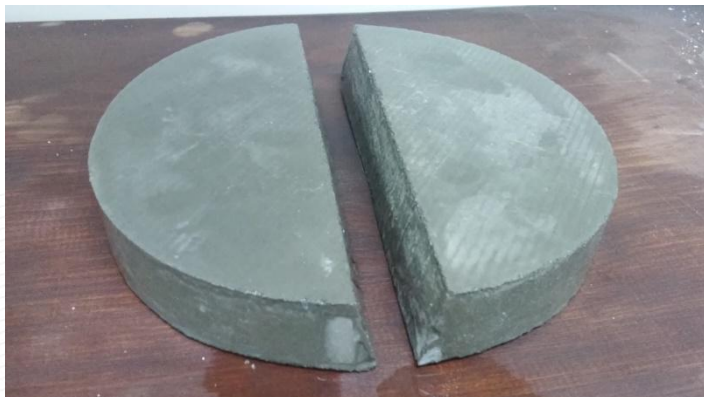
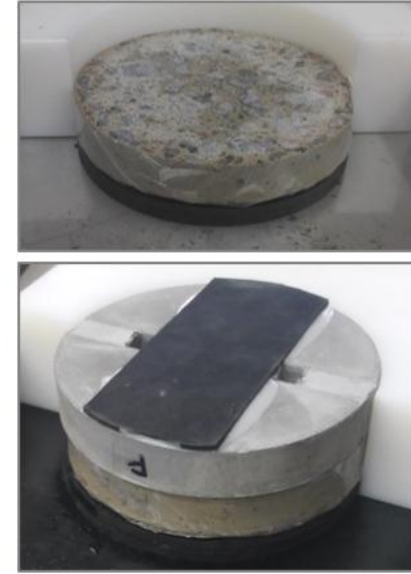
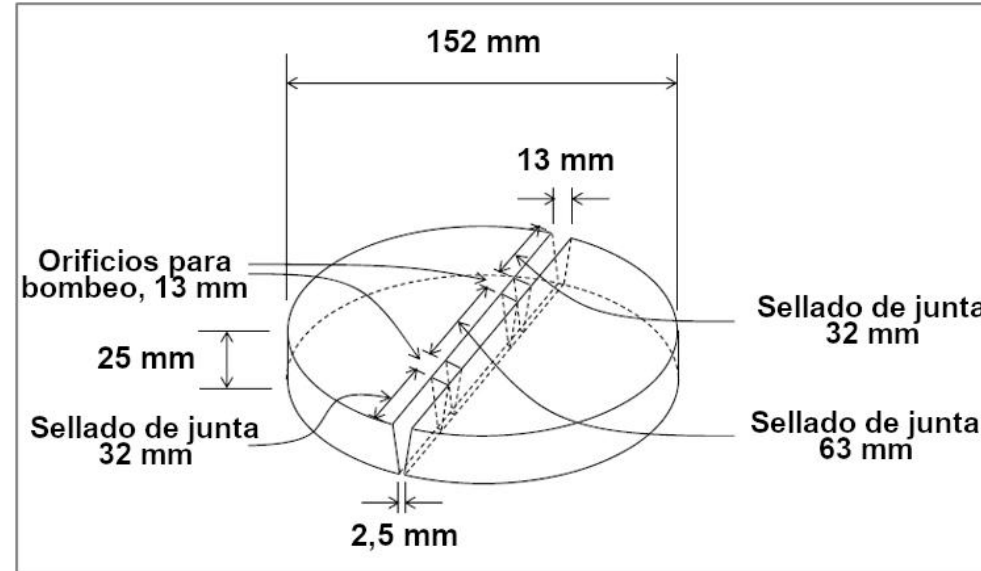
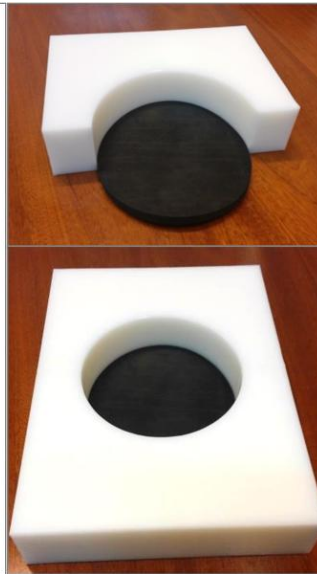
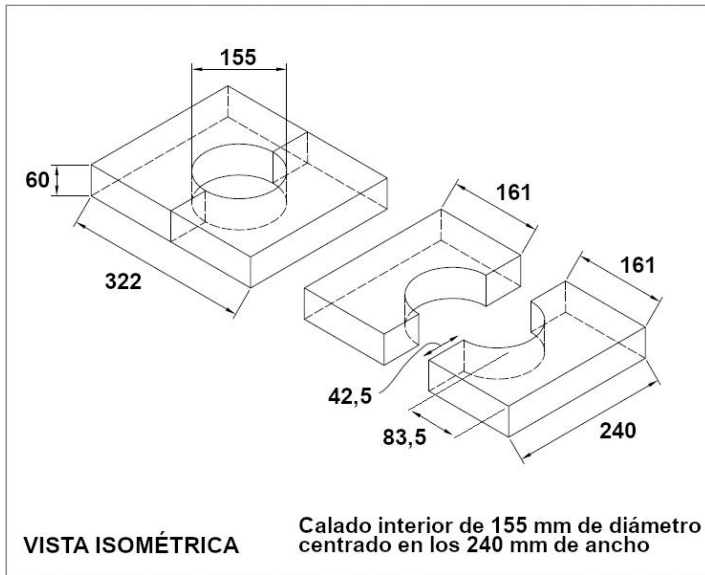
- dos semidiscos de 1" de mortero de cemento que se encuentran vinculados por una junta parcialmente sellada (que simula una junta transversal),
- una muestra de 1" de material de base,
- apoyada sobre un pad de neoprene, que simula la subrasante, sobre la cual se colocan

El dispositivo entrega como resultado el máximo descenso que se produce en la muestra, producto de la pérdida de material que se produce y permite ensayar tanto un material fabricado en laboratorio como en obra.



Ensayo de Rueda cargada de Hamburgo

Implementación: Procedimiento y parámetros



Ensayo de Rueda cargada de Hamburgo

Implementación: Procedimiento y parámetros



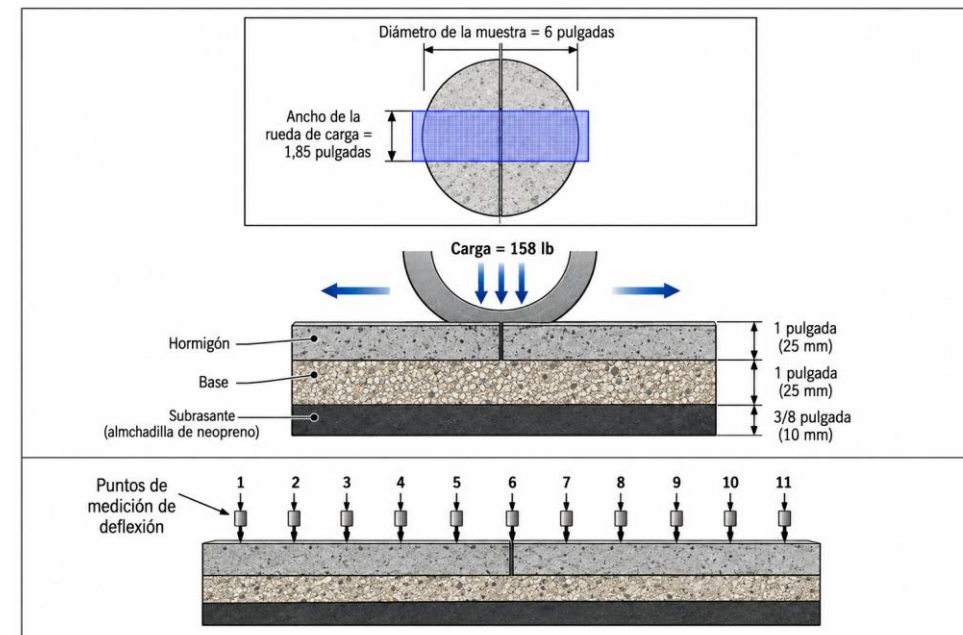
CONDICIONES DE ENSAYO

- Carga de rueda: 158 lbs
- Repeticiones de carga: 5000 /10000.
- Velocidad: 60 ciclos/minuto (se empleó 50 c/min)
- Temperatura del baño: $25 \pm 1^\circ\text{C}$
- Inmersión previa al ensayo: 30 minutos.

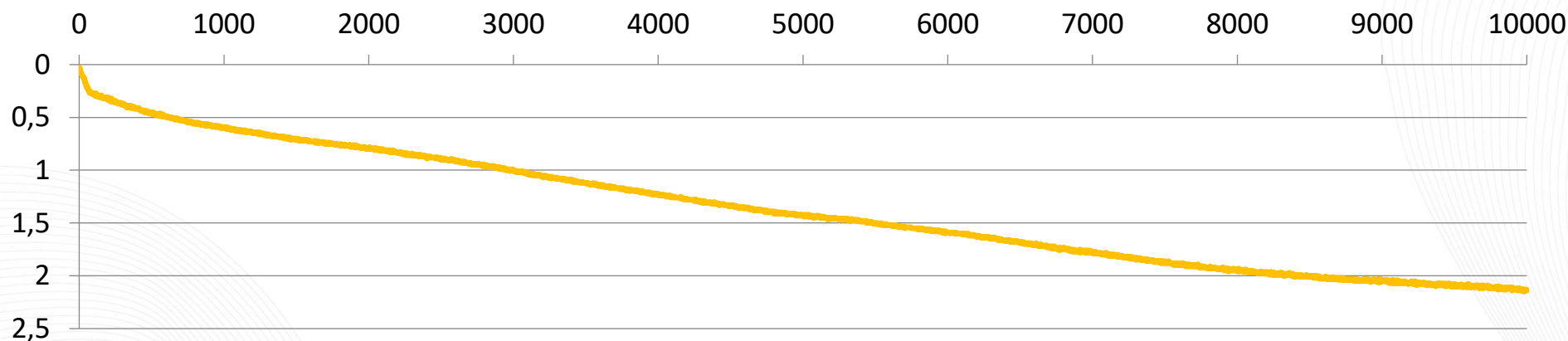


Resultado: Pérdida de masa (g/min)

- Medición de 11 puntos sobre la probeta



Ahuellamiento máximo - C2



Ensayo de Rueda cargada de Hamburgo

Implementación: Procedimiento y parámetros

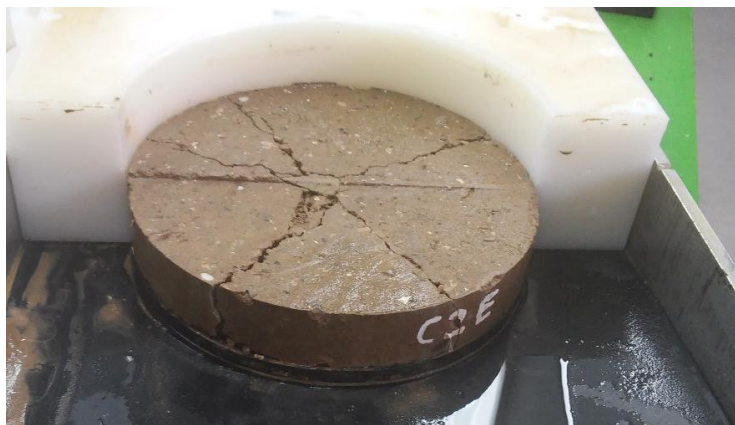


Ensayo de Rueda cargada de Hamburgo

Primeros estudios



HRDC (MF 2)



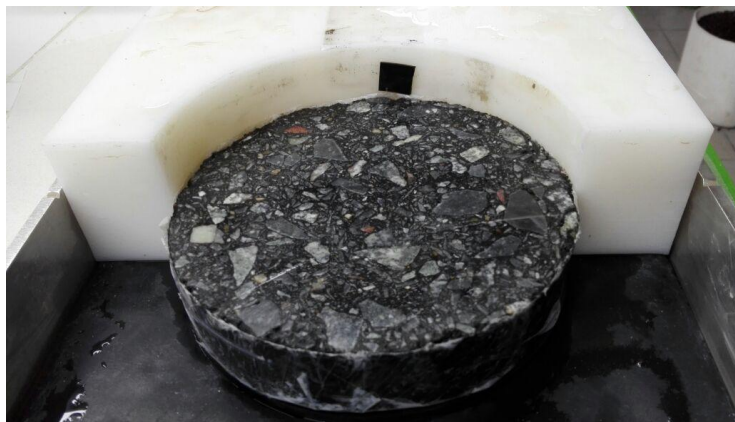
SUELO CEMENTO



HORMIGÓN POBRE



HRDC (MF 3,5)



GRANULAR ASFALTICA



GRANULAR CEMENTADA

Ensayo de Rueda cargada de Hamburgo

Primeros estudios

ASPECTOS OBSERVADOS

- ✓ **Solicitud más representativa**

La carga repetida y la presencia de agua permiten aproximarse mejor al mecanismo de erosión asociado al bombeo.

- ✓ **Permite evaluar diferentes materiales**

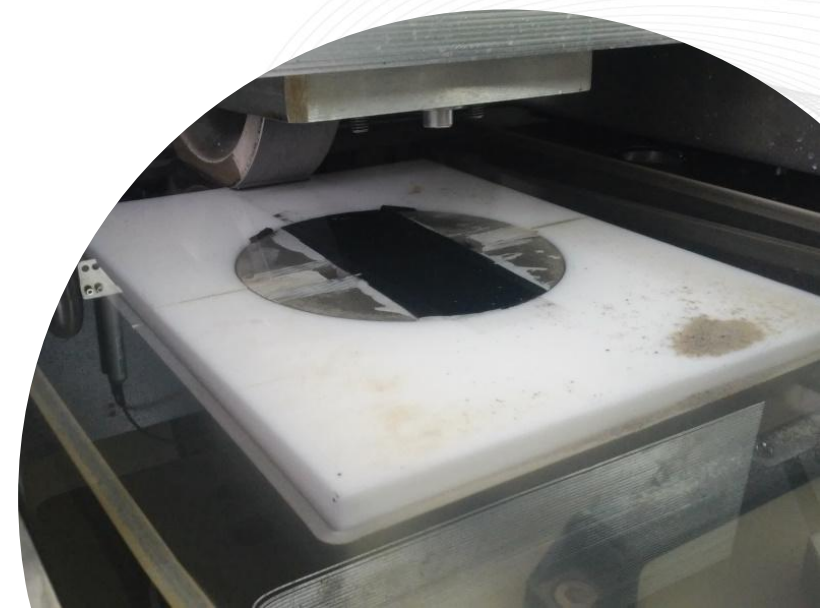
La configuración puede utilizarse con materiales elaborados en laboratorio y con muestras provenientes de obra.

- ✓ **Resultado cuantificable**

La evolución de la depresión permite seguir progresivamente el deterioro durante el ensayo.

- ✓ **Equipamiento disponible**

La metodología aprovecha un equipo Hamburg existente, mediante una adaptación del montaje.



Programa Experimental

Materiales evaluados



Hormigón Pobre

- H4/H8
- Agregado Natural
- Agregado reciclado.



Granular Asfáltica

- 5% de asfalto
- Mezcla densa



Suelo Cemento

- Suelo A4
- 5% / 8% / 11% cto
- Proctor standard.



HRDC

- CUC 125/200
- Variación del MF de 2 a 4
- Variación del All.



Granular Cementada

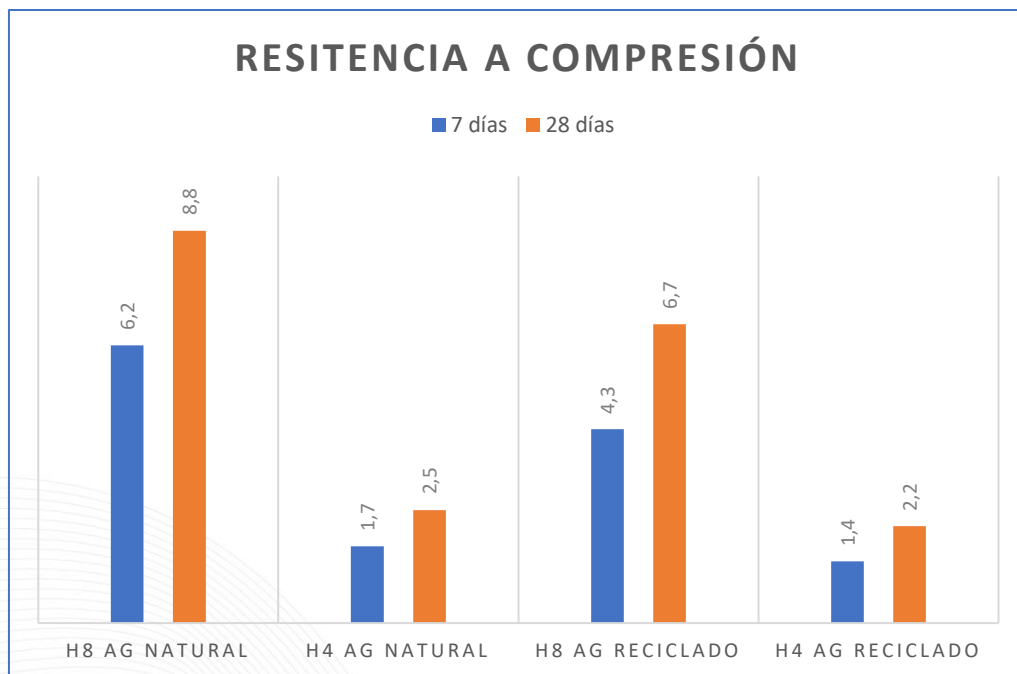
- 3% / 5% / 7% cto
- Proctor modificado.

>> El programa buscó abarcar un amplio rango de comportamientos, desde el estudio de materiales de alta resistencia a la erosión hasta materiales potencialmente erosionables.

Hormigón Pobre

Características

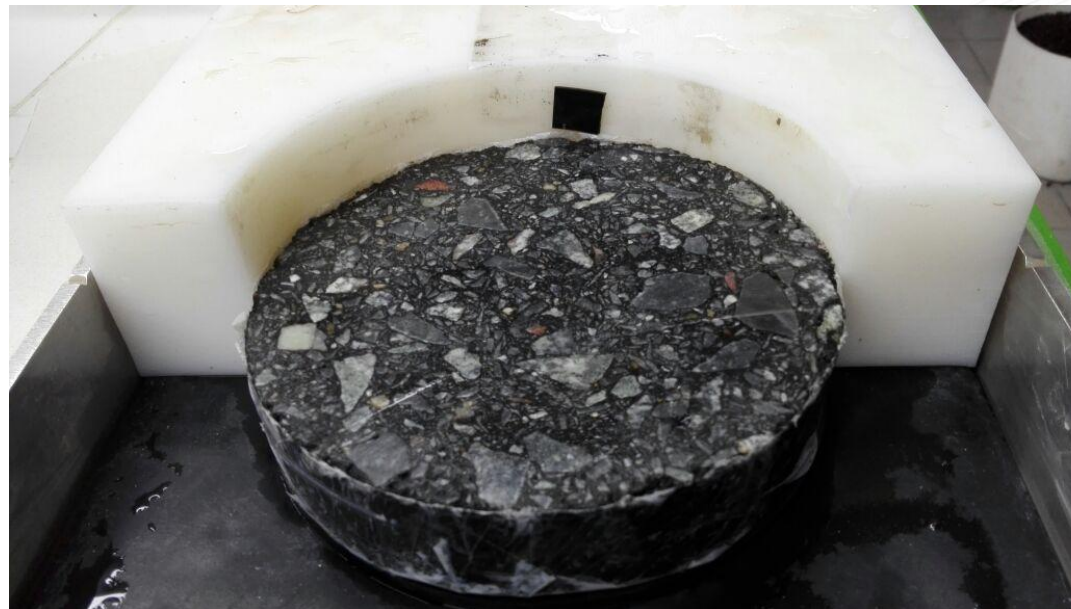
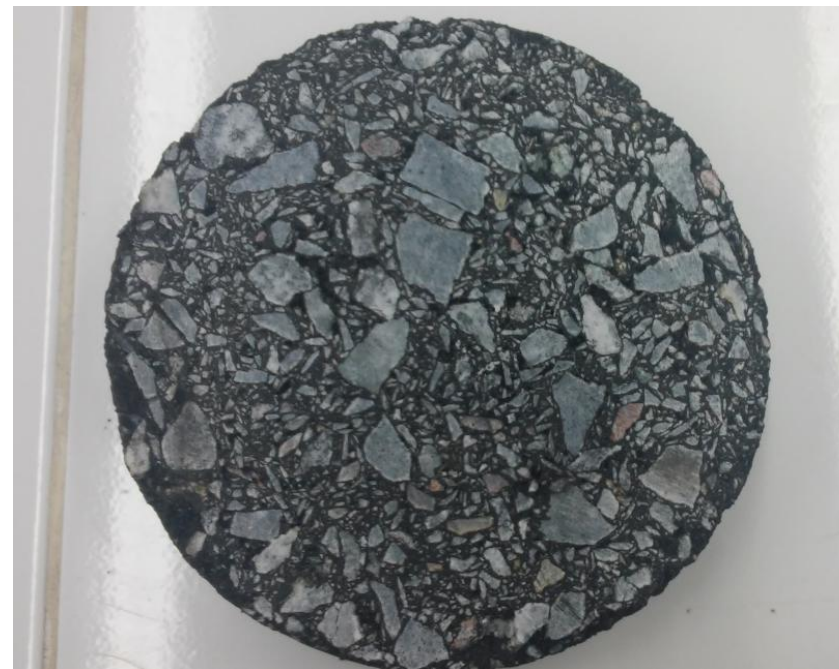
- Hormigón H4 y H8
- CUC: 110 /180 kg
- Agregado grueso Natural y Reciclado



Granular Asfáltica

Características

- Dosis: 5% asfalto
- Densidad: 2,374 g/cm³
- RICE: 2,486 g/cm³
- Aire: 4,5%
- Estabilidad: 10,5 kN
- Fluencia: 3,3 mm



Suelo Cemento

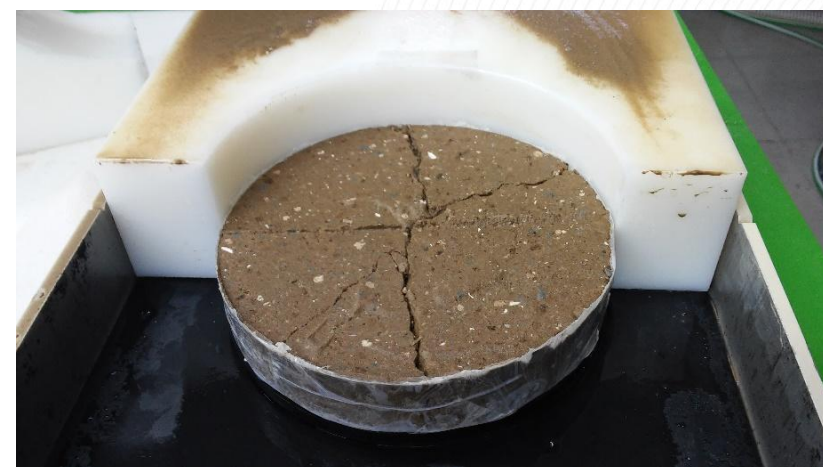
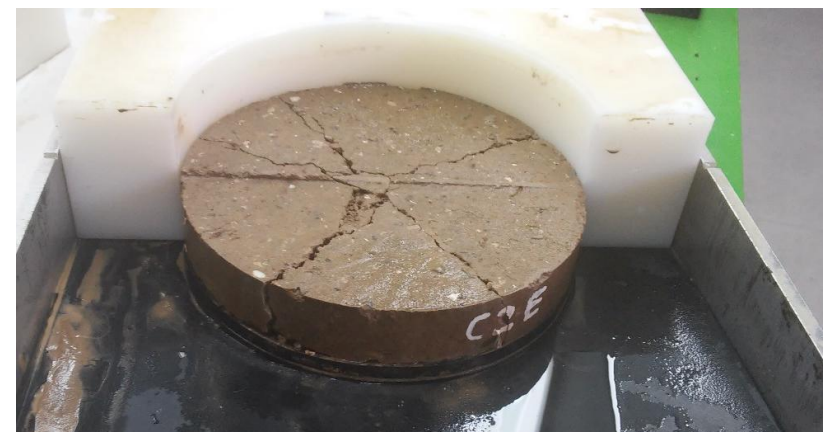
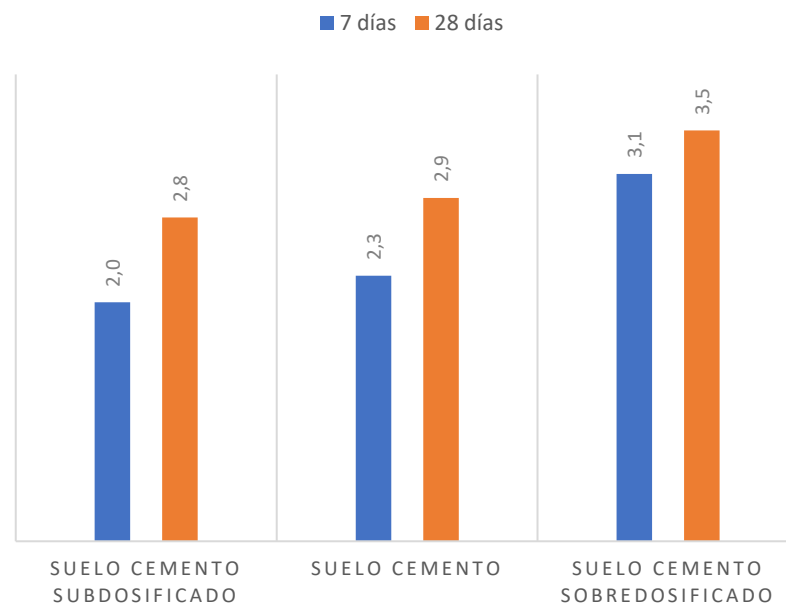
Características

- Suelo fino A4
- Dosis de Cemento Evaluadas:
 - 5% (Subdosif), 8% (dosis opt), 11% (sobredosif)

SUELO - CLASIFICACIÓN

LL	31,2
LP	26,0
IP	5,2
PT200	94,5
Clasificación	A-4(8)
VSR	24,8

RESITENCIA A COMPRESIÓN

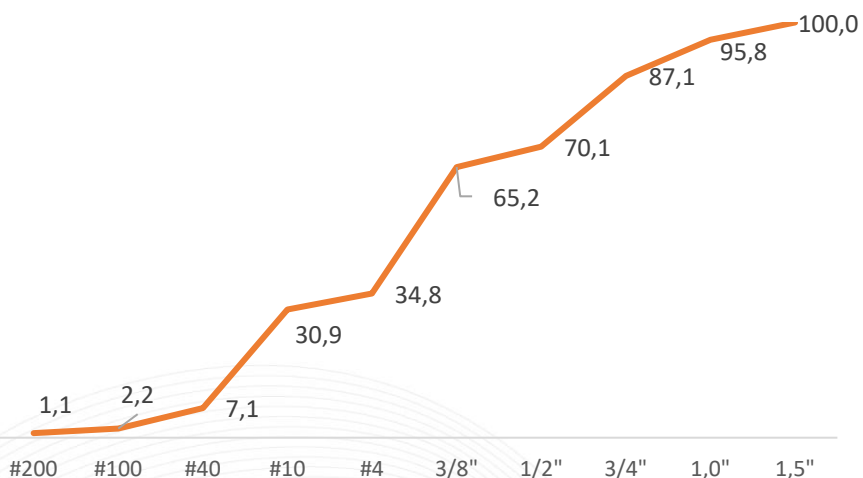


Granular con cemento

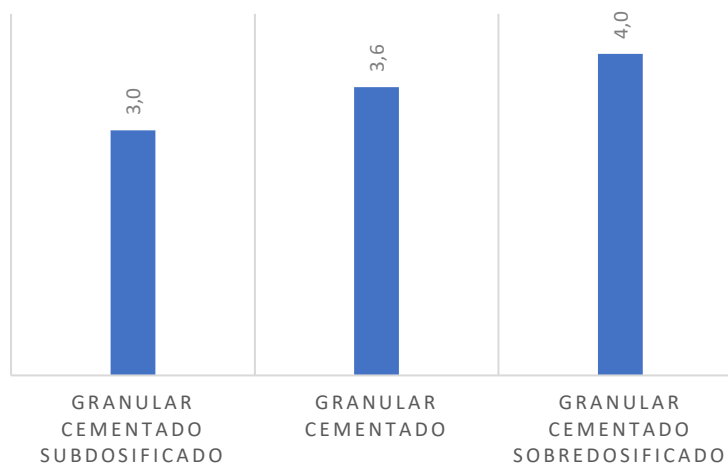
Características

- PUVs max: 2,38 kg/m³
- Hopt: 6,1%
- Dosis: 3% (Subdosif), 5% (dosis opt), 7% (sobredosif)

Distribución Granulométrica



RESITENCIA A COMPRESIÓN

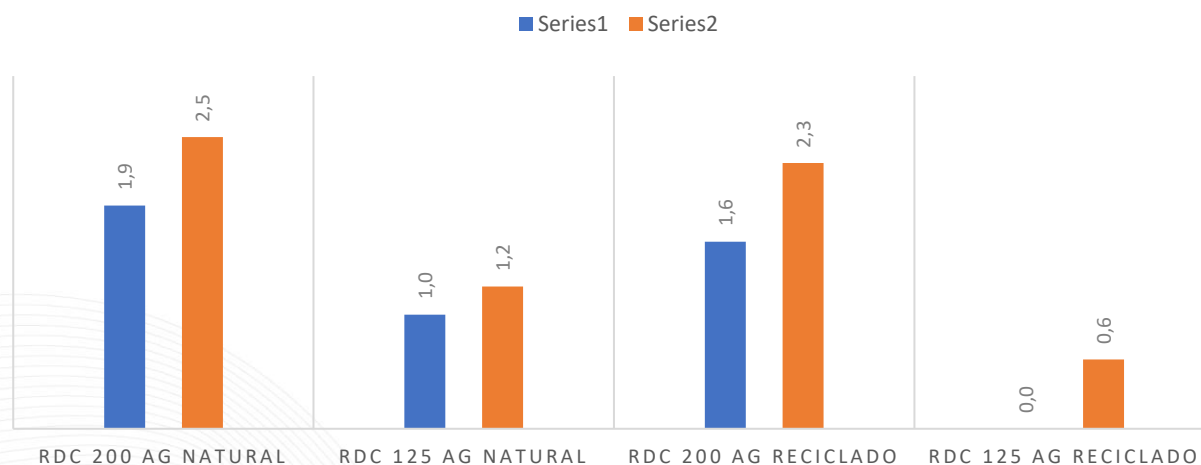


HRDC H° Resistencia y Densidad Controlada– Fase 1

Características

- RDC 200 y 125
- CUC: 200 /125 kg
- Agregado fino Natural y Reciclado
- Contenido de aire: Según recomendaciones del fabricante (0,25 kg/m³)

RESITENCIA A COMPRESIÓN



HRDC H° Resistencia y Densidad Controlada– Fase 2

Características

- RDC 200 (CUC: 200 kg/m³)
- 3 mezclas Agregado (MF2, MF3, MF4)
- Contenido de aire: Normal (0,25 kg/m³) y Reducida (0,1 kg/m³)

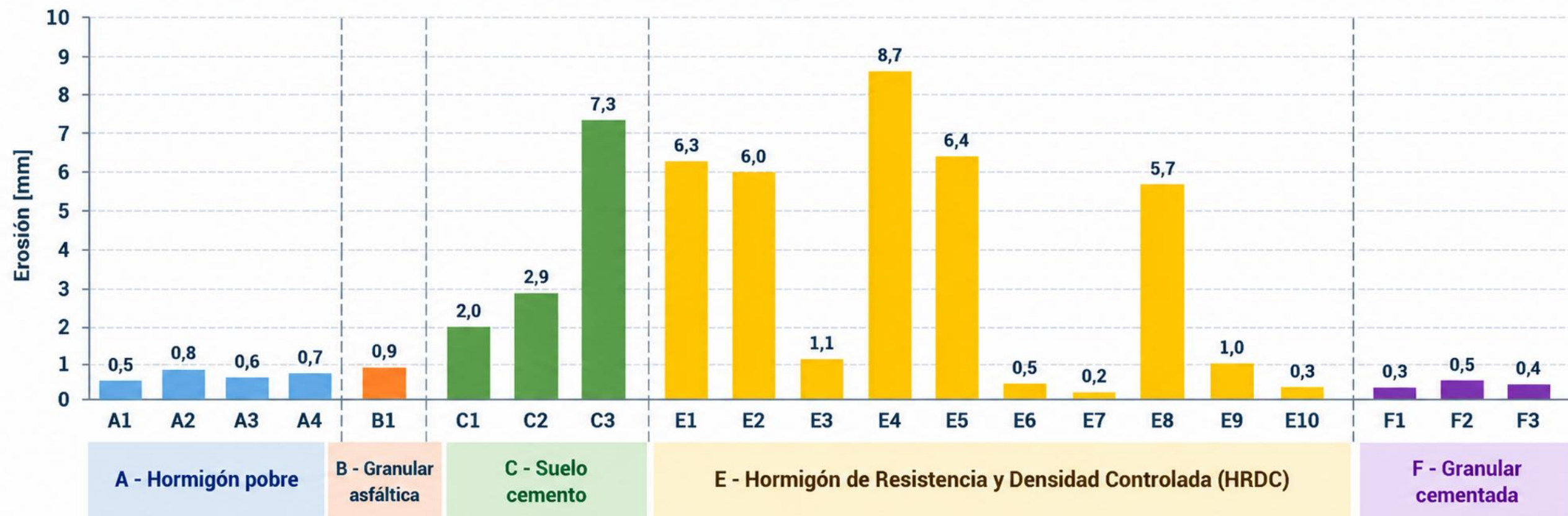


Resultados del ensayo de rueda cargada de Hamburgo

Depresión al finalizar el ensayo

Erosión Hamburgo [mm]

Resultados por material



¿Qué nos muestran los resultados?

HORMIGÓN POBRE – GRANULAR ASFALTICA – GRANULAR CEMENTADA

- ✓ Muy baja erosionabilidad en general.
- ✓ Se observaron en todos los casos bajas depresiones finales (< 1mm)
- ✓ Baja influencia en las variaciones del contenido de cemento



BAJA EROSIONABILIDAD

SUELO CEMENTO

- ✓ Pobre comportamiento frente a la erosión.
- ✓ Incluso con mayores contenidos de cemento (sobredosificación) no alcanzó el comportamiento de los materiales que mostraron mejor desempeño
- ✓ Se alcanzaron depresiones medias a Altas (de 3 a 6 mm)



MEDIA / ALTA EROSIONABILIDAD

¿Qué nos muestran los resultados?

HORMIGONES DE RESISTENCIA Y DENSIDAD CONTROLADA



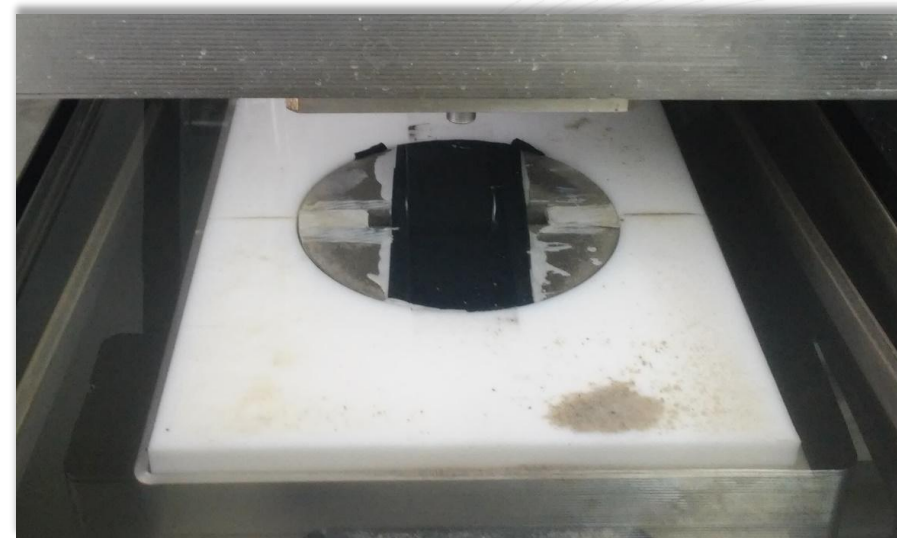
AMPLIO RANGO DE RESPUESTAS

- ✓ Amplio rango de respuestas
- ✓ El comportamiento depende muy fuertemente de la formulación
- ✓ Se han observado resultados muy buenos hasta altamente erosionables (Clase A hasta E).
- ✓ Se observa claramente que la estructura granulométrica del material a tratar y la resistencia de la matriz cementicia, representan los elementos claves para alcanzar una buena respuesta frente a este fenómeno.
- ✓ La amplia variabilidad de comportamiento de este material, requiere que la validación de empleo de un material de estas características requiera, previo a su utilización en cualquier proyecto, que sea analizado en laboratorio en equipo Hamburgo y se valide su aplicabilidad de acuerdo a la clase requerida.

Conclusiones y límites del Estudio

1. El ensayo mostró aptitud para evaluar el comportamiento de materiales frente a la erosión.

- ✓ Se observaron respuestas claramente diferentes entre materiales y formulaciones.
- ✓ Los comportamientos observados, coinciden con los rangos de comportamiento esperable para materiales conocidos y permiten definir el comportamiento de variantes con poca información de campo.
- ✓ El rango de resultados abarcó desde valores prácticamente nulos hasta valores superiores a 8-9 mm (Clase A hasta E).



Conclusiones y límites del Estudio

2. El procedimiento resulta promisorio para una futura especificación por desempeño.

- ✓ La configuración de rueda carga en húmedo simula de manera adecuada las condiciones de erosión presentes en servicio.
- ✓ La calificación de la respuesta se determina a partir de la depresión final obtenida al final del ciclo de repeticiones.
- ✓ Es posible identificar comportamientos diferentes según el tipo de material y su formulación.
- ✓ Mas allá de la posibilidad de comparar respuestas frente al fenómeno se lo observa apto para avanzar en una clasificación por desempeño
- ✓ **Los resultados obtenidos permiten establecer tendencias y una clasificación preliminar.**

Clasificación preliminar por desempeño propuesta

Clase	A	B	C	D	E
Caracterización general	Extremadamente resistente	Resistente	Resistente bajo ciertas condiciones	Bastante erosionable	Muy erosionable
Tránsito pesado (veh. pesados/día)	> 2.000	> 2.000	400 – 2.000	100 – 400	< 100
Tipo de arteria (ejemplo)	Autopistas y vías de muy alta demanda	Autopistas, rutas principales y accesos importantes	Rutas y arterias principales	Rutas secundarias y colectoras	Calles locales y bajo tránsito
Rango de depresión en Hamburgo [mm]	< 1	< 1	1 – 2	2 – 4	> 4

>> La clasificación propuesta conserva la lógica de la clasificación existente, incorporando parámetros para identificar el comportamiento frente a la erosión.



CLASIFICACIÓN PRELIMINAR

Valores guía determinados a partir del programa experimental, y propuestos para su aplicación en las fase de diseño y control

De la investigación a la especificación

Una herramienta aplicable al Proyecto y Control en obra

DETERMINACIÓN COMPLEMENTARIA DE LA RESISTENCIA FRENTE A LA EROSIÓN.

(El ensayo de desempeño complementa los requisitos convencionales del material. NO los reemplaza)

NIVEL 1 | Requisitos convencionales del material

Aseguran que el material esté correctamente definido y ejecutado.



Granulometría



Contenido
de ligante



Humedad



Densidad /
compactación



Resistencia



Espesor

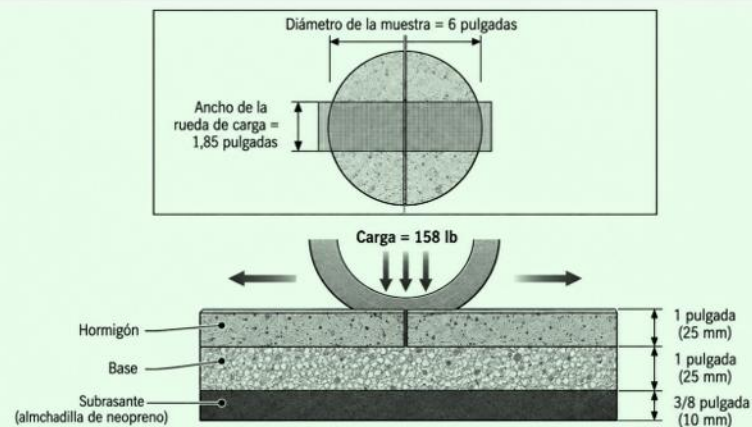


Curado



NIVEL 2 | Requisito de desempeño frente a la erosión

Verifica cómo se comporta realmente el **material frente**
al mecanismo que queremos controlar.



>>> Objetivo Central: Materiales que cumplan los mismos requisitos convencionales pueden evidenciar distinto comportamiento frente a la erosión.

Controles previo al inicio de obra.

De la fórmula en laboratorio al pavimento



Control durante la ejecución.

Dos niveles de control para asegurar el desempeño



CONTROL DE PRODUCCIÓN

(Alta Frecuencia)

Objetivo: Verificar la uniformidad y el cumplimiento de la fórmula aprobada.

- Granulometría
- Humedad
- Contenido de ligante
- Densidad /Compactación
- Espesor
- Resistencia



CONTROL DE DESEMPEÑO

(Baja Frecuencia)

Objetivo: Verificar que se mantiene el desempeño frente a la erosión de la clase requerida.

- Frecuencia sugerida: trimestral.
- Ante cambios en los materiales o procedencias.
- Ante modificaciones significativas en la dosificación o fórmula de obra.
- Cuando los controles de rutina evidencien que se están produciendo cambios significativos.

RESULTADO DEL ENSAYO DE EROSIÓN



CUMPLE LA CLASE REQUERIDA

ACEPTACIÓN

Continuidad de la producción.



RESULTADO PRÓXIMO AL LÍMITE
O DISPERSIÓN ELEVADA

INVESTIGACIÓN

Repetición del ensayo y revisión
de materiales, dosificación y proceso.



NO CUMPLE LA CLASE REQUERIDA

REFORMULACIÓN

Ajuste de mezcla y/o proceso.
Nueva validación mediante ensayo de erosión.

Conclusiones

Hoy podemos....

- ✓ Implementar una metodología de ensayo que nos permita evaluar el desempeño frente a la erosión de los materiales de base.
- ✓ Utilizar el ensayo como herramienta comparativa para evaluar combinaciones de materiales, dosificaciones y optimizaciones en general.
- ✓ Adoptar una clasificación preliminar A-E con valores guía de desempeño para su aplicación en el diseño y control.
- ✓ Incorporar el ensayo de desempeño como complemento de los requisitos convencionales (prescriptivos)
- ✓ Incorporar el ensayo al proceso de control, para el diseño de la fórmula de obra, y verificaciones en el tramo de prueba y de manera periódica durante la ejecución.



**Ya contamos con una metodología que permite medir, comparar
y clasificar el comportamiento de los materiales frente a la erosión.**

El desafío ahora es consolidar la evidencia necesaria para transformar esta propuesta en una especificación robusta.

Muchas gracias por su atención

Diego Calo
INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO