



Proyecto ANII (CF_1_2024_1_181460):
**Sistemas de Pavimentos de
hormigón permeable (SPHP) de
bajo mantenimiento para grandes
superficies**

*Diseño hidráulico de
Hormigón permeable*

Lunes 13 de octubre de 2025
Facultad de Ingeniería
Montevideo - Uruguay



Juan Pablo Martínez
(ing.juanmartínezpenades@gmail.com)
Montevideo, Uruguay

Impermeabilización y aumento de escorrentía

Jornada: Pavimentos de Hormigón Permeable Octubre de 2025 Facultad de Ingeniería

2



Impermeabilización y aumento de escorrentía

Jornada: Pavimentos de Hormigón Permeable Octubre de 2025 Facultad de Ingeniería

3



Imagen: Adaptada por Ad@pta Fadu

Problemas de drenaje pluvial - Inundaciones

Jornada: Pavimentos de Hormigón Permeable Octubre de 2025 Facultad de Ingeniería

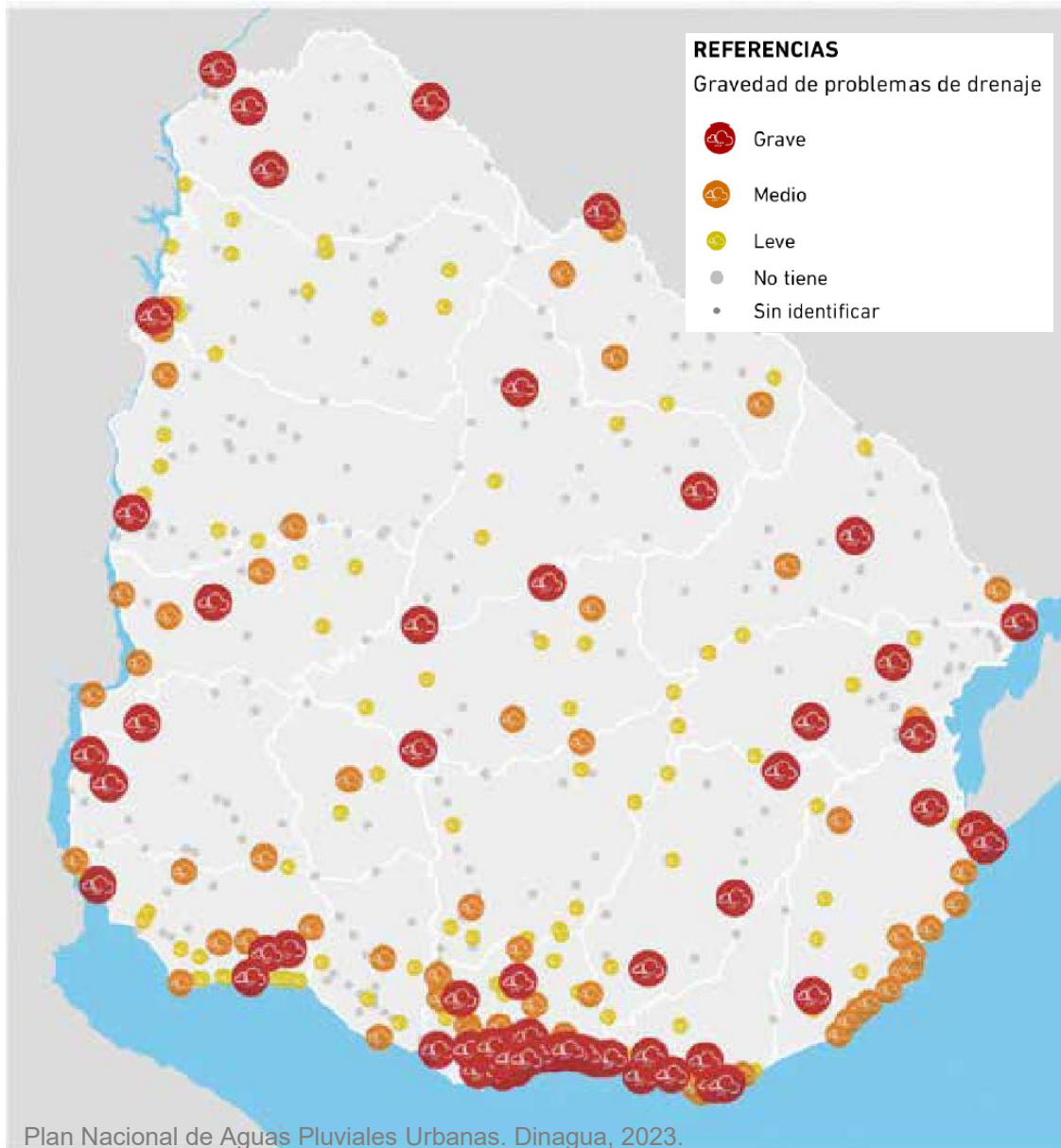
4



Problemas de drenaje pluvial - Inundaciones

Jornada: Pavimentos de Hormigón Permeable Octubre de 2025 Facultad de Ingeniería

5



Plan Nacional de Aguas Pluviales Urbanas. Dinagua, 2023.

Daño anual
esperado
211.000.000
USD.
0.3% PBI

Cambio
climático
si +10%P
20% inv.

Población
media anual
afectada
87.000
hab.

2-4 %
Población
c/depto.

Problemas de drenaje pluvial - Calidad

Jornada: Pavimentos de Hormigón Permeable Octubre de 2025 Facultad de Ingeniería

6

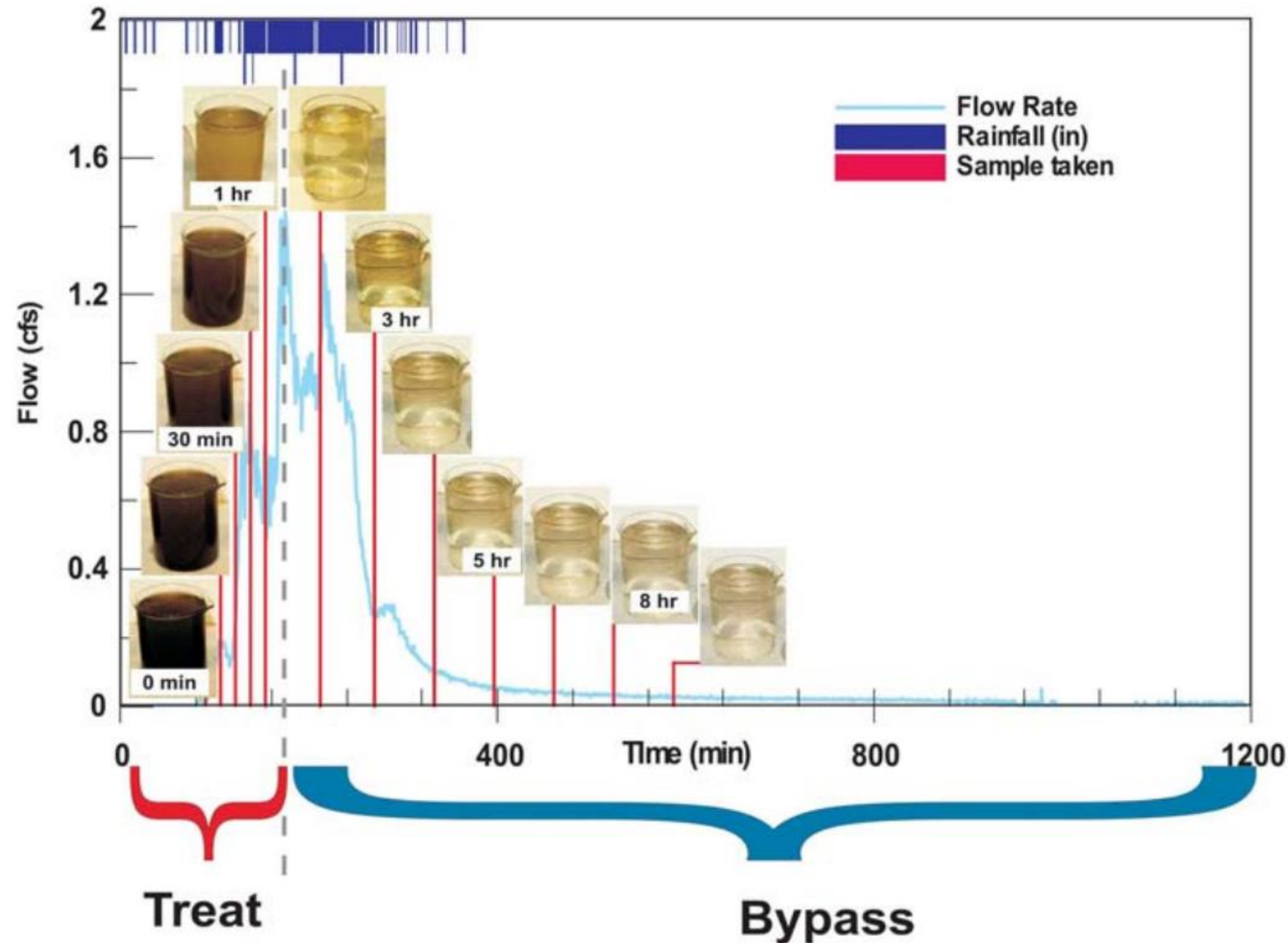
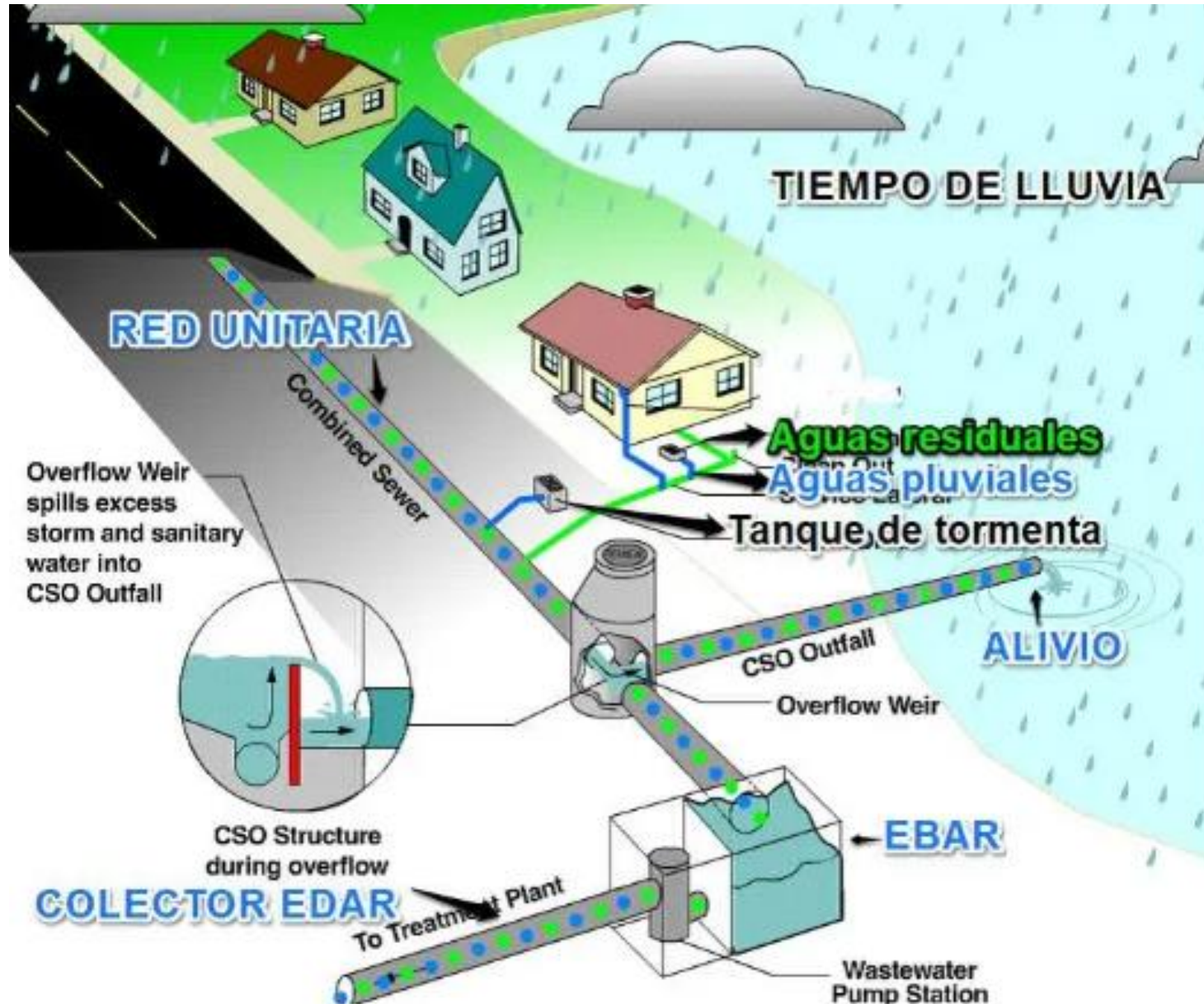


Imagen: First Flush Phenomenon Characterization (CTSW-RT-05-73-02.6), California Department of Transportation.

Problemas de drenaje pluvial - Calidad

Jornada: Pavimentos de Hormigón Permeable Octubre de 2025 Facultad de Ingeniería

7

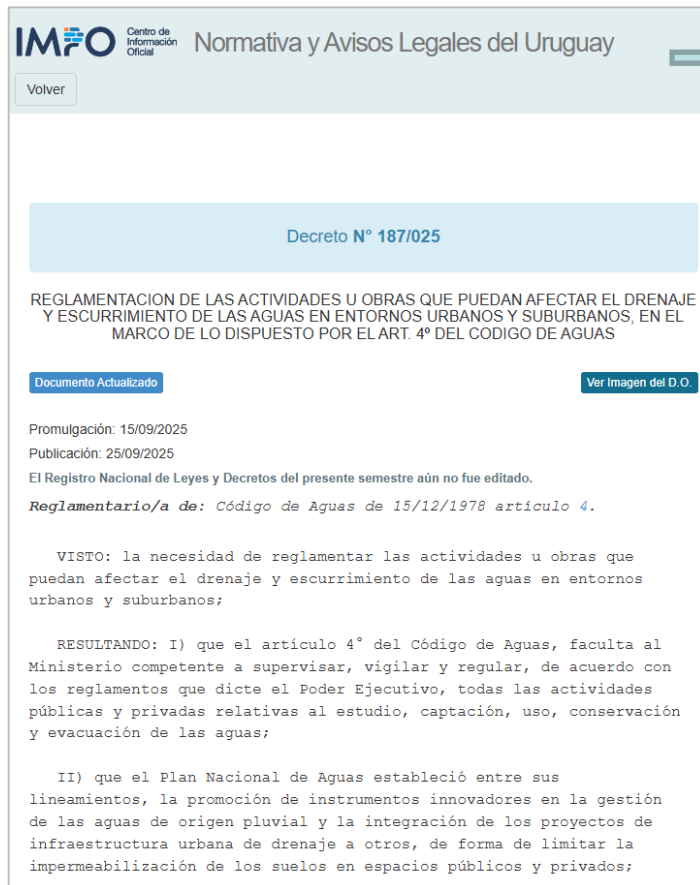


Alivios a costa en **redes unitarias** son imprescindibles, pero pueden ocasionar impacto sobre los ecosistemas y ser vector de enfermedades (coliformes fecales en playas, vertido de contaminantes).

Ej.: No bañabilidad de playas de Montevideo en días posteriores a lluvias.

Varias intendencias realizan dentro de la **obra pública SUDS** o cuentan con normativa que obliga a privados a hacerlo;

- **11 intendencias** tienen normativa que **limita impermeabilización**
- Montevideo, Canelones, Maldonado y San José obligan a medidas de control de escurrimiento cuando se supera cierto nivel de impermeabilización o para emprendimientos con **grandes áreas impermeables** (J.P. Martínez, 2025)



IMFO Centro de Información Oficial Normativa y Avisos Legales del Uruguay

Volver

Decreto N° 187/025

REGLAMENTACION DE LAS ACTIVIDADES U OBRAS QUE PUEDAN AFECTAR EL DRENAJE Y ESCURRIMIENTO DE LAS AGUAS EN ENTORNOS URBANOS Y SUBURBANOS, EN EL MARCO DE LO DISPUESTO POR EL ART. 4° DEL CODIGO DE AGUAS

Documento Actualizado Ver Imagen del D.O.

Promulgación: 15/09/2025
Publicación: 25/09/2025
El Registro Nacional de Leyes y Decretos del presente semestre aún no fue editado.

Reglamentario/a de: Código de Aguas de 15/12/1978 artículo 4.

VISTO: la necesidad de reglamentar las actividades u obras que puedan afectar el drenaje y escurrimiento de las aguas en entornos urbanos y suburbanos;

RESULTANDO: I) que el artículo 4° del Código de Aguas, faculta al Ministerio competente a supervisar, vigilar y regular, de acuerdo con los reglamentos que dicte el Poder Ejecutivo, todas las actividades públicas y privadas relativas al estudio, captación, uso, conservación y evacuación de las aguas;

II) que el Plan Nacional de Aguas estableció entre sus lineamientos, la promoción de instrumentos innovadores en la gestión de las aguas de origen pluvial y la integración de los proyectos de infraestructura urbana de drenaje a otros, de forma de limitar la impermeabilización de los suelos en espacios públicos y privados;

Decreto nacional sobre drenaje sostenible N°187/025

Art. 3 - Preservación de la infiltración de las aguas en zonas urbanas

Exhorta a los Gob. Departamentales a incorporar en instrumentos de ordenamiento territorial **parámetros urbanísticos** que limiten la impermeabilización de suelo (FIS, FOSV, FOSR)

Art. 4 - Drenaje sostenible en grandes superficies

Nuevas construcciones que superen los **4000m²** impermeables deberán incorporar **SUDS**

Art. 5 - Drenaje sostenible en espacio público (calles, veredas, caminos, puentes, plazas, parques, costas)

Las obras en **espacio público** urbano no podrán incrementar significativamente los escurrimientos ni deteriorar la calidad de las aguas y deberán considerar incorporar **SbNs o SUDS**.

Beneficios hormigón permeable

Jornada: Pavimentos de Hormigón Permeable Octubre de 2025 Facultad de Ingeniería

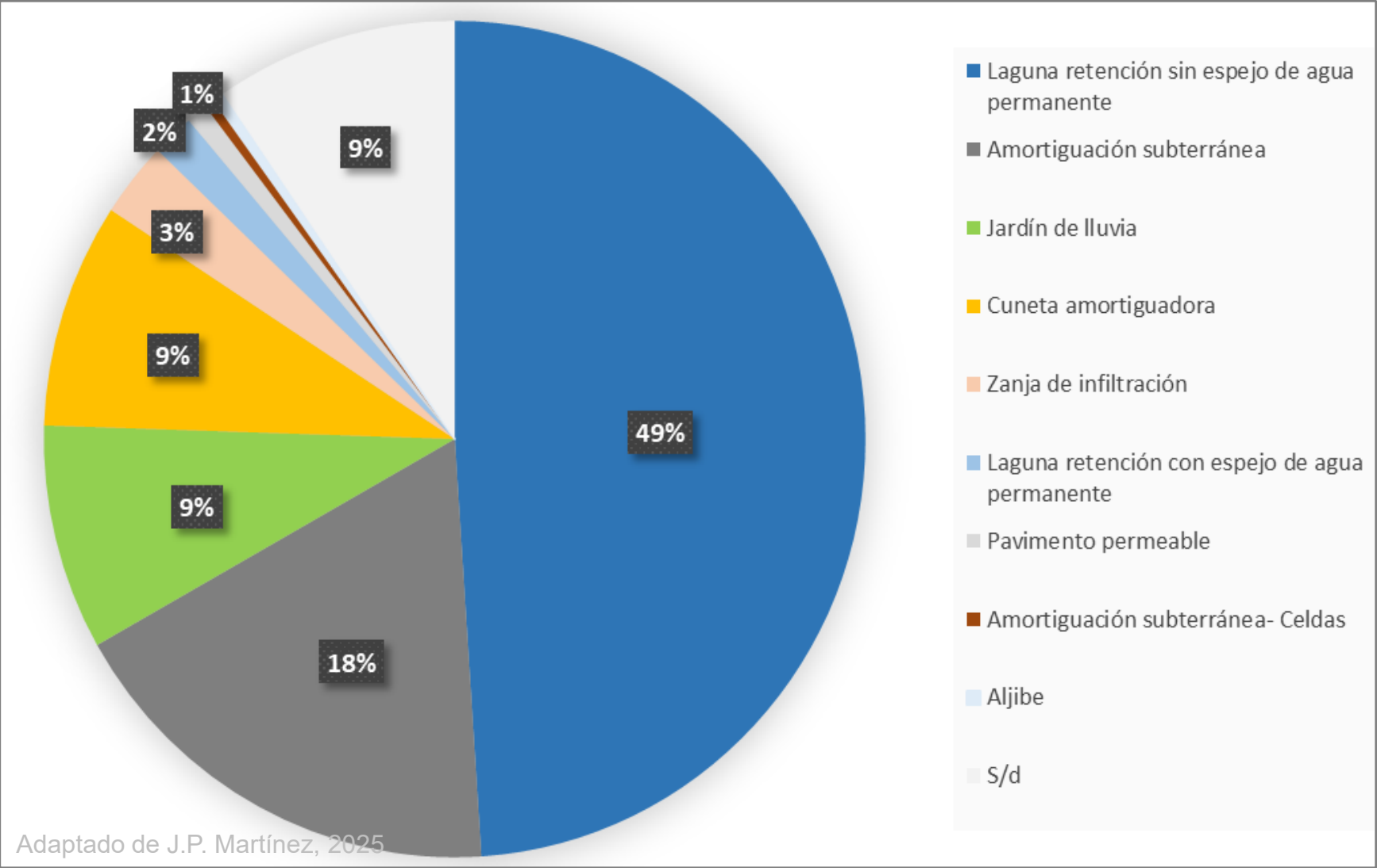
9



- Disminución de inundaciones
Puede reducir a cero el caudal descargado durante tormentas de 2-10 años de recurrencia (CIRIA, 2015)
- Mejora calidad cursos de agua y playa
Evitar vertidos de unitario de saneamiento (Alves, 2016)
- Mejora calidad cursos de agua y playa
Disminuye en 70% SST, 60% metales y 70% hidrocarburos (CIRIA, 2015)
- Recarga de acuíferos
- Otros: reduce isla calor, contaminación acústica (CNT, 2020)

	GREEN STORMWATER INFRASTRUCTURE									
	Linear Buffer Park / Trail	Stormwater Park	Stormwater Planter	Parkway Bioswale	Rain Garden	Street Trees	Green Roof	Permeable Pavement	Permeable Bike Lane	Detention Stormwater
HEALTH BENEFITS										
Improved Outdoor Air Quality	***	*	**	*	**	**	*			**
Improved Indoor Environmental Quality	*	***	**	*	*	***	*	**	**	*
Reduced Noise Pollution	***						**	**	**	**
Reduced Heat Stress	**	***	*	*	*	**	*			**
Improved Community Cohesion + Mental Health	*	***	**	*	*	**	*			**
ECONOMIC BENEFITS										
Improved Workforce Development / Job Creation	***	***		*		***	*	*	*	**
Increased Vacant Land Reactivation	***	***			***					**
Increased Property Values	**	***	*	**	*	**	**			**
Increased Sales Revenue			**	**	**	**			**	**
Increased Recreational Revenue	***	***							***	
CLIMATE ADAPTATION / RESILIENCE										
Reduced Flooding	***	***	**	**	**	***	*	***	**	**
Reduced Urban Heat Island Temperatures	**	***	*	*	*	***	**	*	*	**
Protected Water Quality (reduced runoff and combined sewer overflows)	***	***	**	**	**	***	*	***	**	**
CLIMATE MITIGATION / AVOIDANCE										
Reduced Greenhouse Gases	***	***	***	***	***	***	**	*	*	**
Reduced Energy / Fuel Use	**	**				***	**			**
TRANSPORTATION BENEFITS										
Reduced On-Street Flooding	**	**	**	**	**	***	*	***	***	**
Improved Safety	**		*	*					**	**
Increased Opportunities for Active Transportation	***	***	**	***	**				***	**
*** high benefit ** medium benefit * low benefit										

Dispositivos implementados en Montevideo 2008-2023



Tipología de dispositivo	Cantidad	Porcentaje
Laguna retención sin espejo de agua permanente	118	49%
Amortiguación subterránea	43	18%
Jardín de lluvia	21	9%
Cuneta amortiguadora	21	9%
Zanja de infiltración	7	3%
Laguna retención con espejo de agua permanente	4	2%
PAVIMENTO PERMEABLE	2	1%
Amortiguación subterránea- Celdas	1	0%
Aljibe	1	0%
S/d	23	10%
Total	241	

Beneficios de hormigón permeable

Jornada: Pavimentos de Hormigón Permeable Octubre de 2025 Facultad de Ingeniería

11

Por qué no se ha difundido su uso en Uruguay?

Pavimento y drenaje tradicional



Vs

Hormigón permeable



Vs

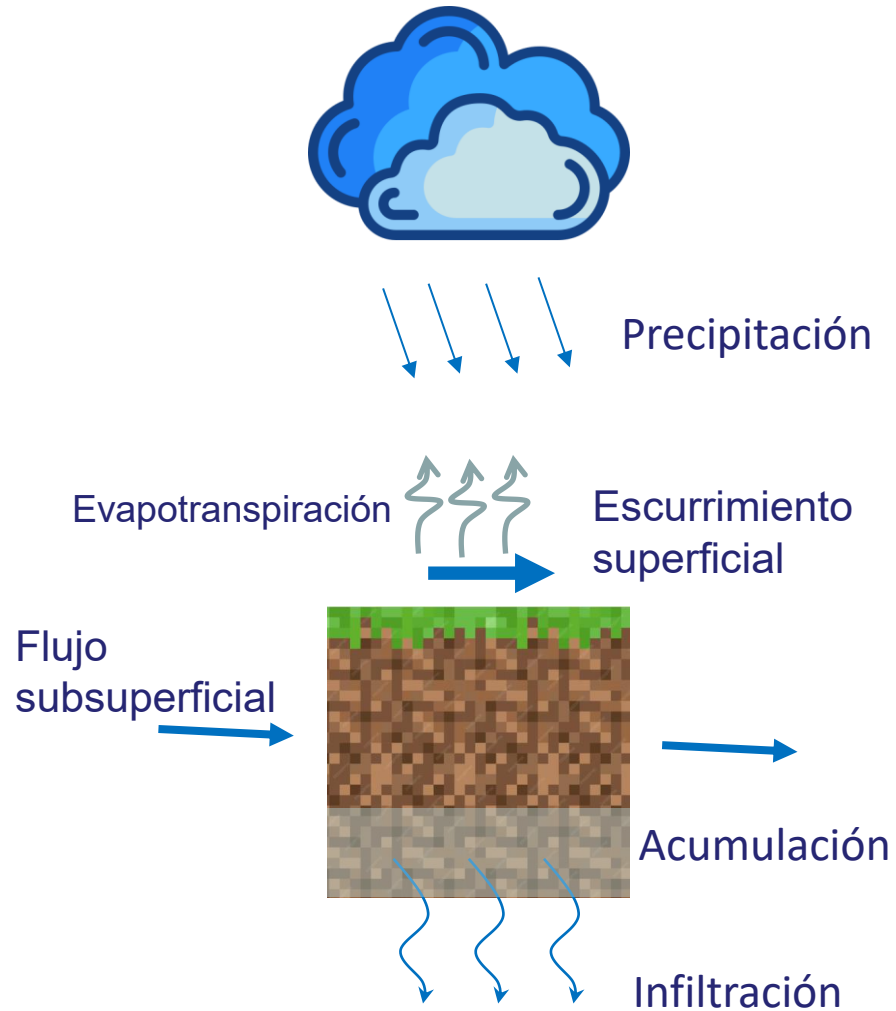
Lagunas de retención



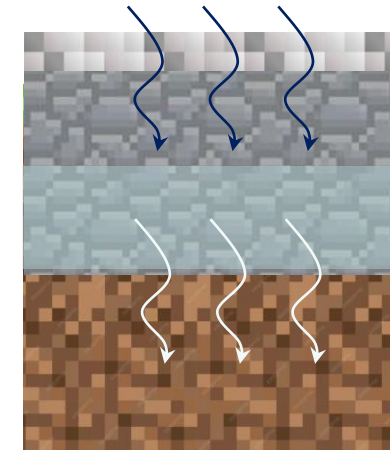
- + disminuye caudales
- + infiltración
- + mejora calidad agua
- + menor temperatura y ruido
- o costo similar de pavimento
- tecnología nueva en Uruguay

- o disminuye caudales
- + infiltración
- o mejora calidad agua
- + aprovechamiento de espacio
- +/- costo de inversión (precio tierra)
- tecnología nueva en Uruguay

BARRERA DE CONOCIMIENTO

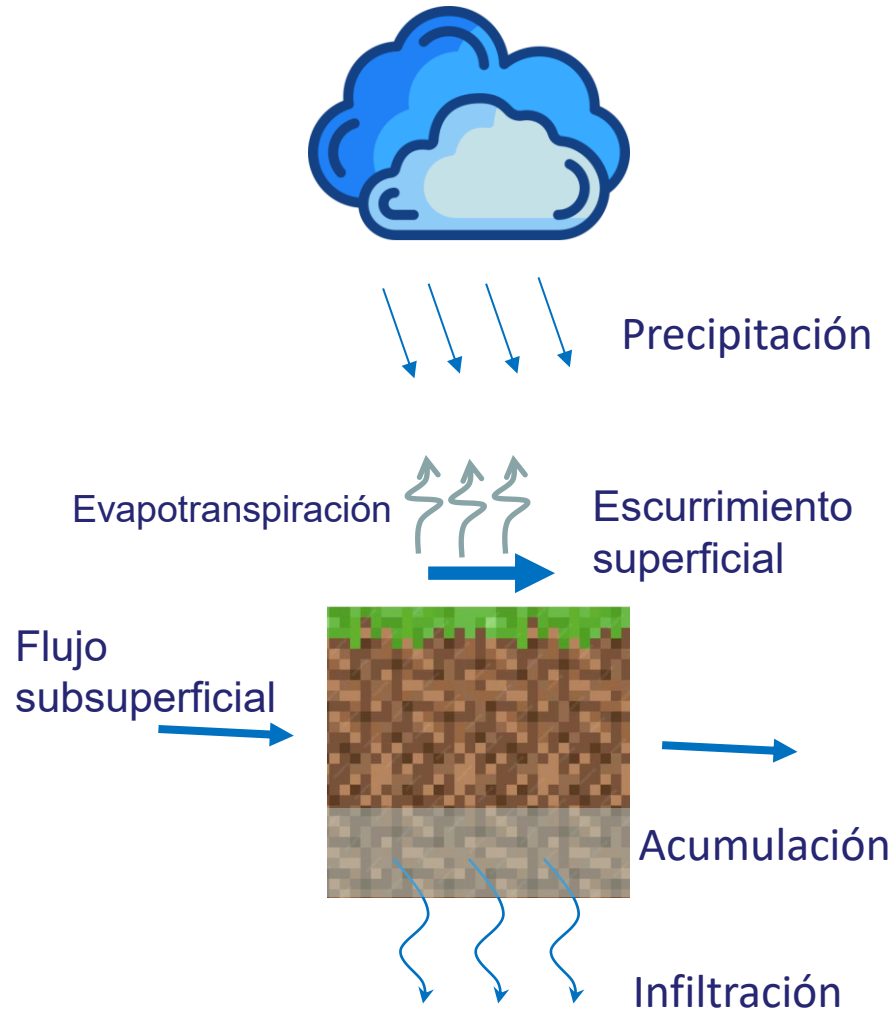


Hormigón permeable

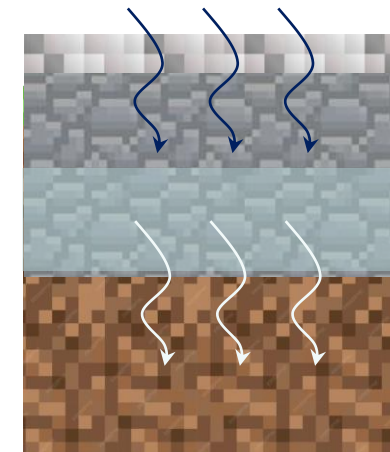


Enfoque simplificado:

- **Acumular durante lluvia**
- **Vaciado posterior a tormenta**



Hormigón permeable



Infiltración en capas de hormigón permeable y base granular

Acumulación en base de piedra partida

Infiltración

Algunos valores:

P instantánea Uruguay = 2-4mm/min

Infiltración pav. Permeable = 12 a 72 mm/min

Porosidad típica = 15 a 25 % pavimento y 40% base

Velocidad de infiltración: $15\% \times 15 \text{ mm} + 40\% \times 25 \text{ mm} = 16 \text{ mm}$

Diseño hidráulico: procedimiento

Jornada: Pavimentos de Hormigón Permeable Octubre de 2025 Facultad de Ingeniería

14



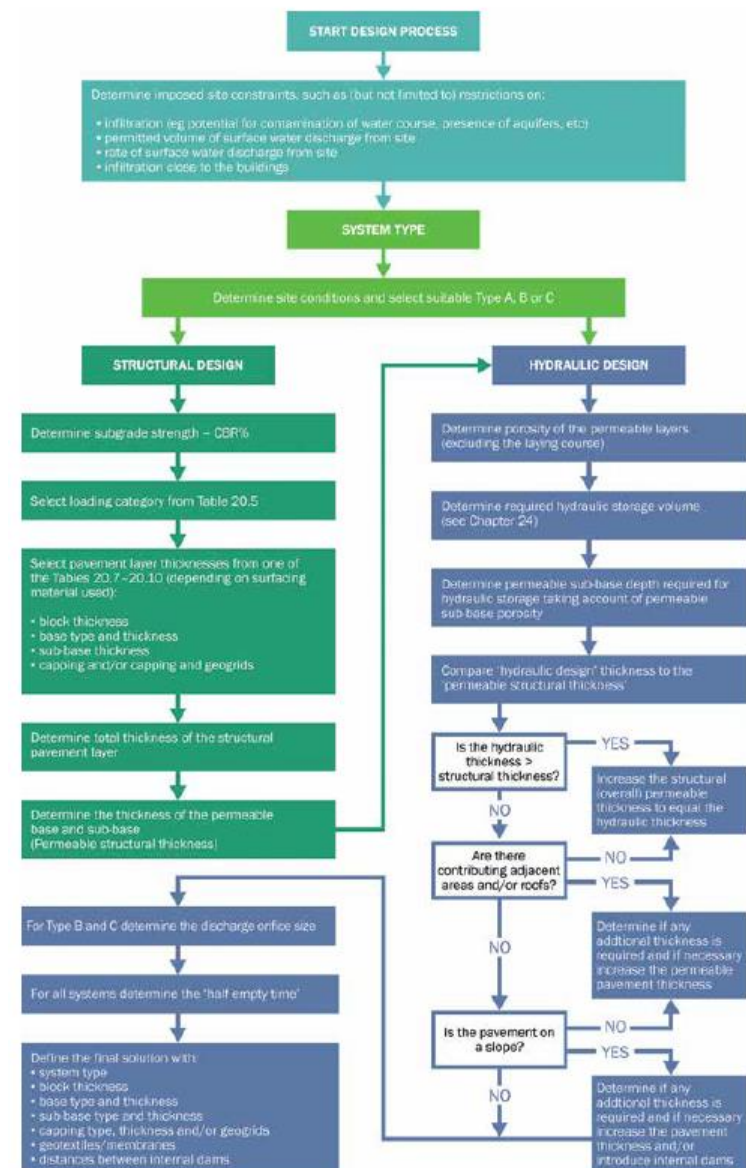
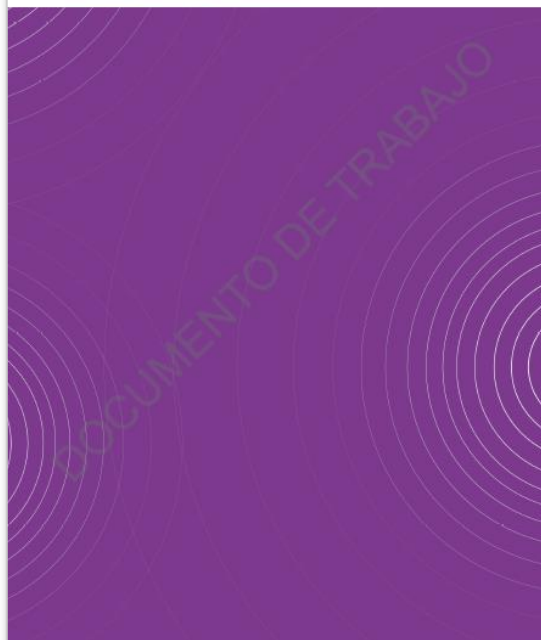
The SuDS Manual



Department
for Environment
Food & Rural Affairs



Fichas de Dispositivos de Drenaje
Actualización de la guía para "Diseño de
Sistemas de Aguas Pluviales"



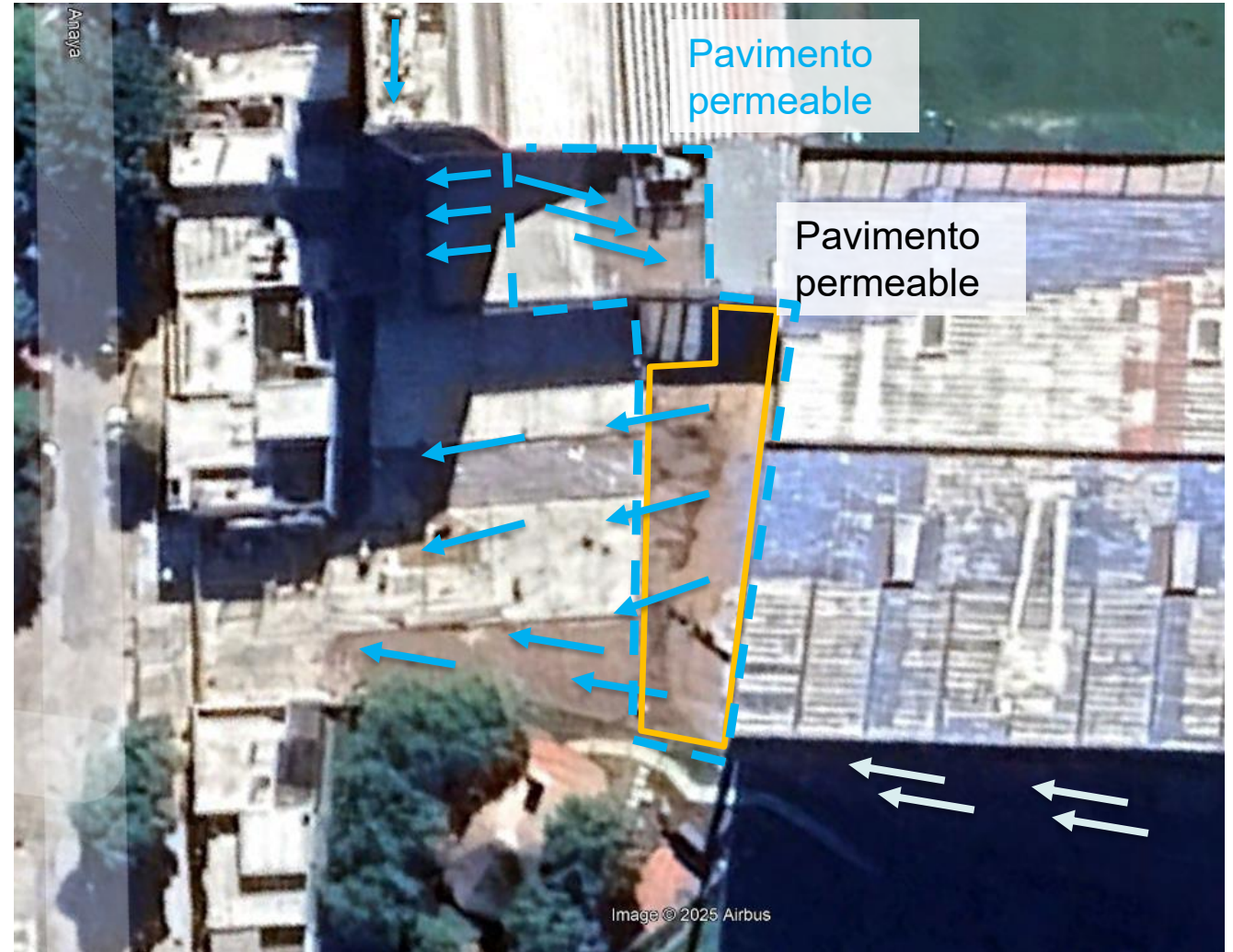
Diseño hidráulico: entorno

Jornada: Pavimentos de Hormigón Permeable Octubre de 2025 Facultad de Ingeniería

15



Área de aporte mayor a área permeable



Colmatación: aportes de arena, polvo y sólidos en suspensión pueden obstruir poros y acumularse disminuyendo la capacidad de infiltración y el volumen disponible para acumular agua. Para tener esto en cuenta se considera un factor de seguridad.

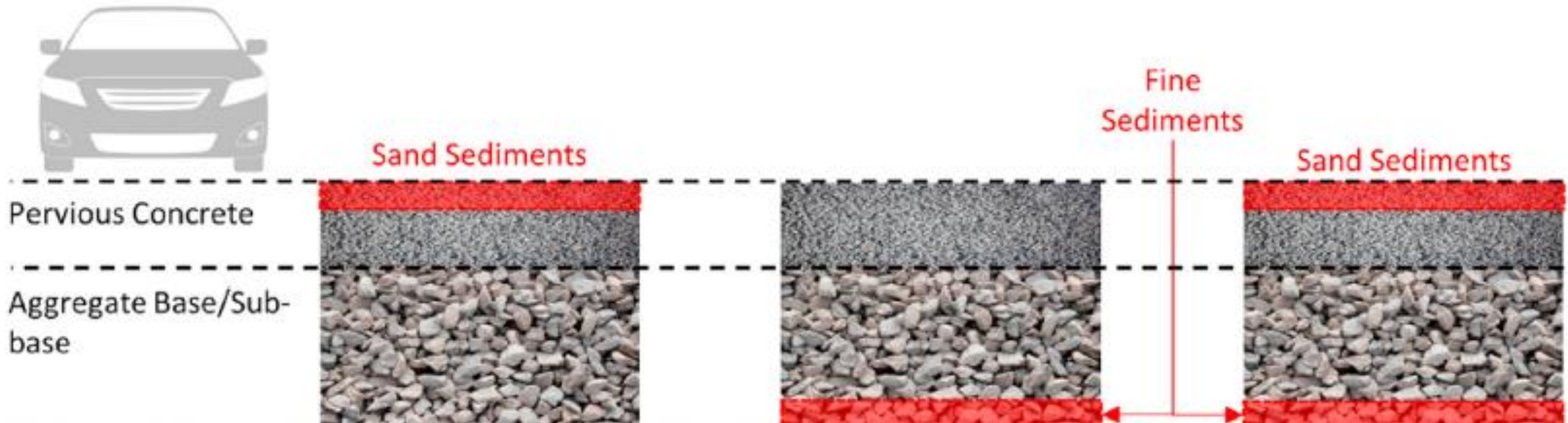


TABLE 25.2 Suggested factors of safety, F , for use in hydraulic design of infiltration systems (designed using Bettess (1996). Note: not relevant for BRE method)

Size of area to be drained	Consequences of failure		
	No damage or inconvenience	Minor damage to external areas or inconvenience (eg surface water on car parking)	Damage to buildings or structures, or major inconvenience (eg flooding of roads)
< 100 m ²	1.5	2	10
100–1000 m ²	1.5	3	10
> 1000 m ²	1.5	5	10

Factor de seguridad * 1,5 a 10

+ monitoreo y mantenimiento

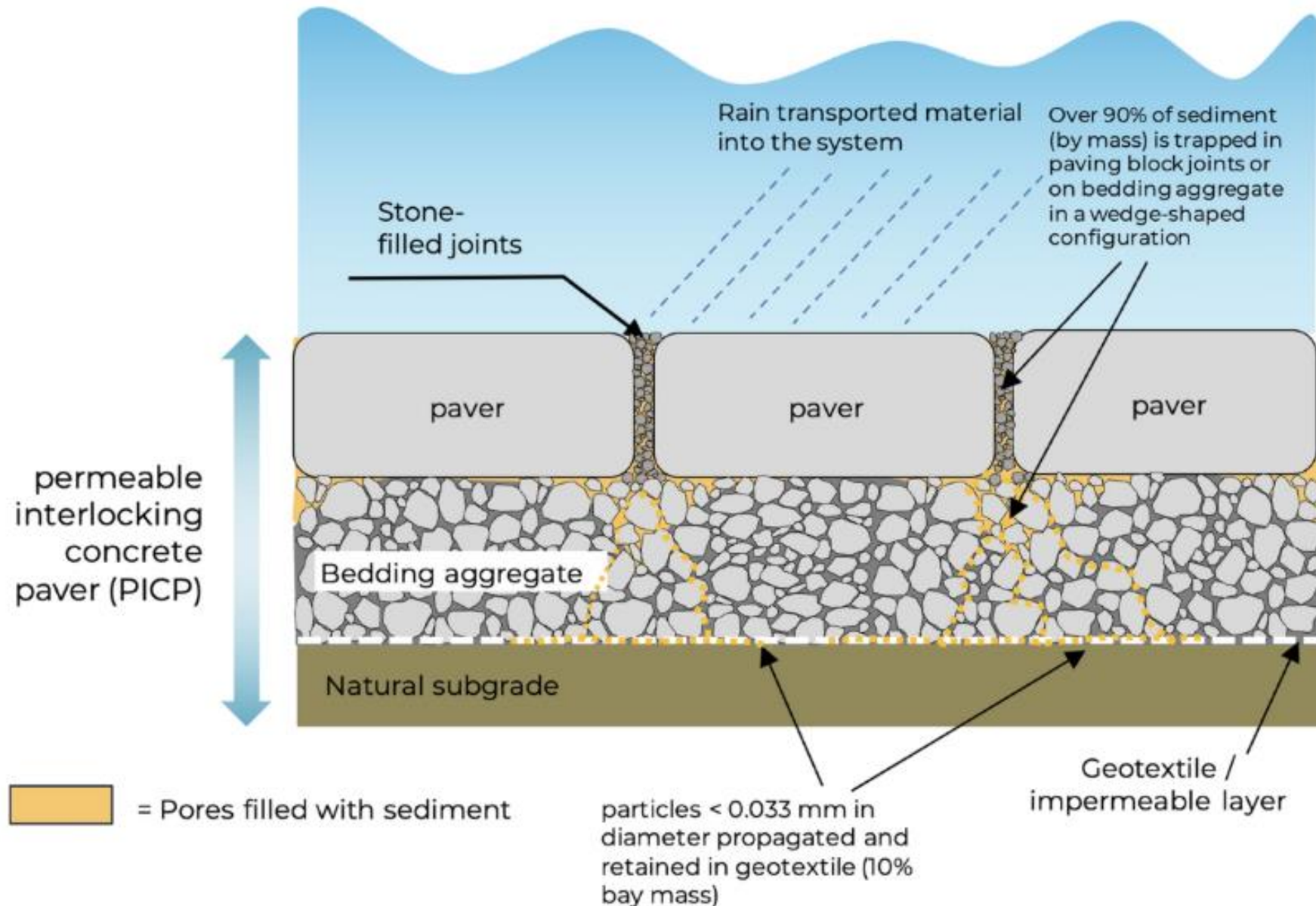
•Arriba: Clogging phenomenon in Pervious Concrete (PC): A systematic literature review. Sandoval et Al. 2022

•Abajo: The Suds Manual. Ciria, 2015.

Diseño hidráulico: colmatación

Jornada: Pavimentos de Hormigón Permeable Octubre de 2025 Facultad de Ingeniería

17

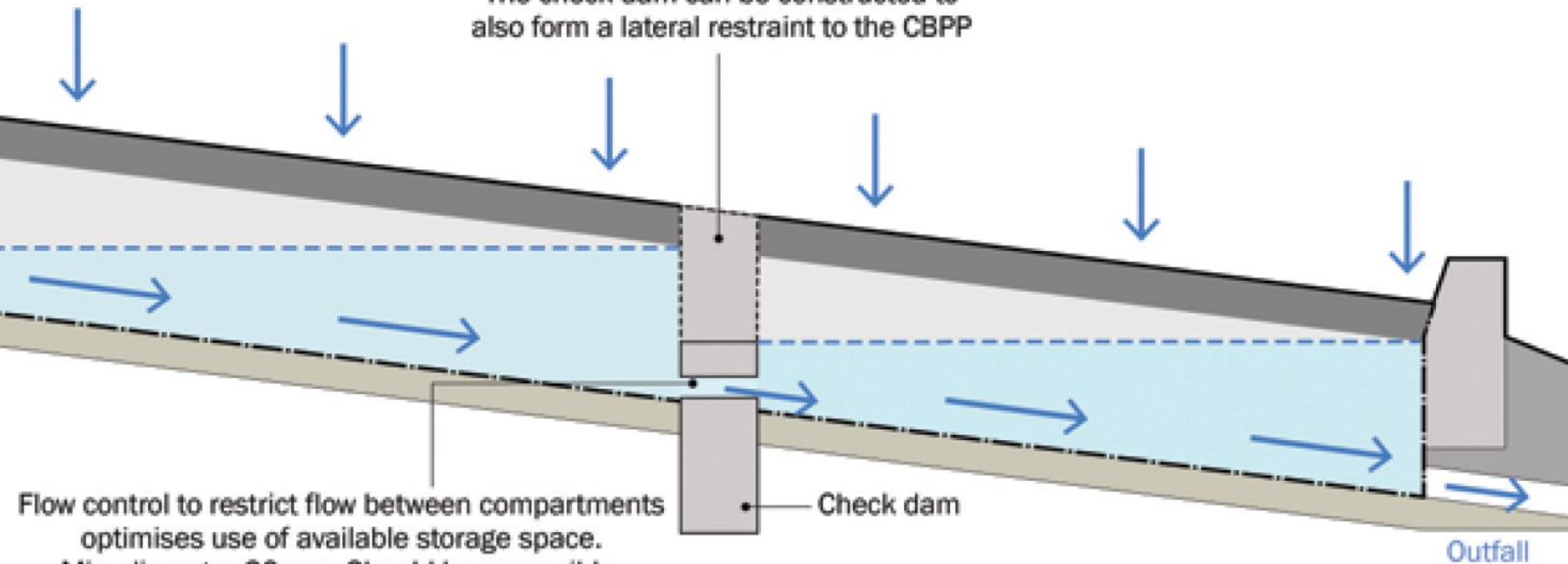


Diseño hidráulico: pendientes altas

Jornada: Pavimentos de Hormigón Permeable Octubre de 2025 Facultad de Ingeniería

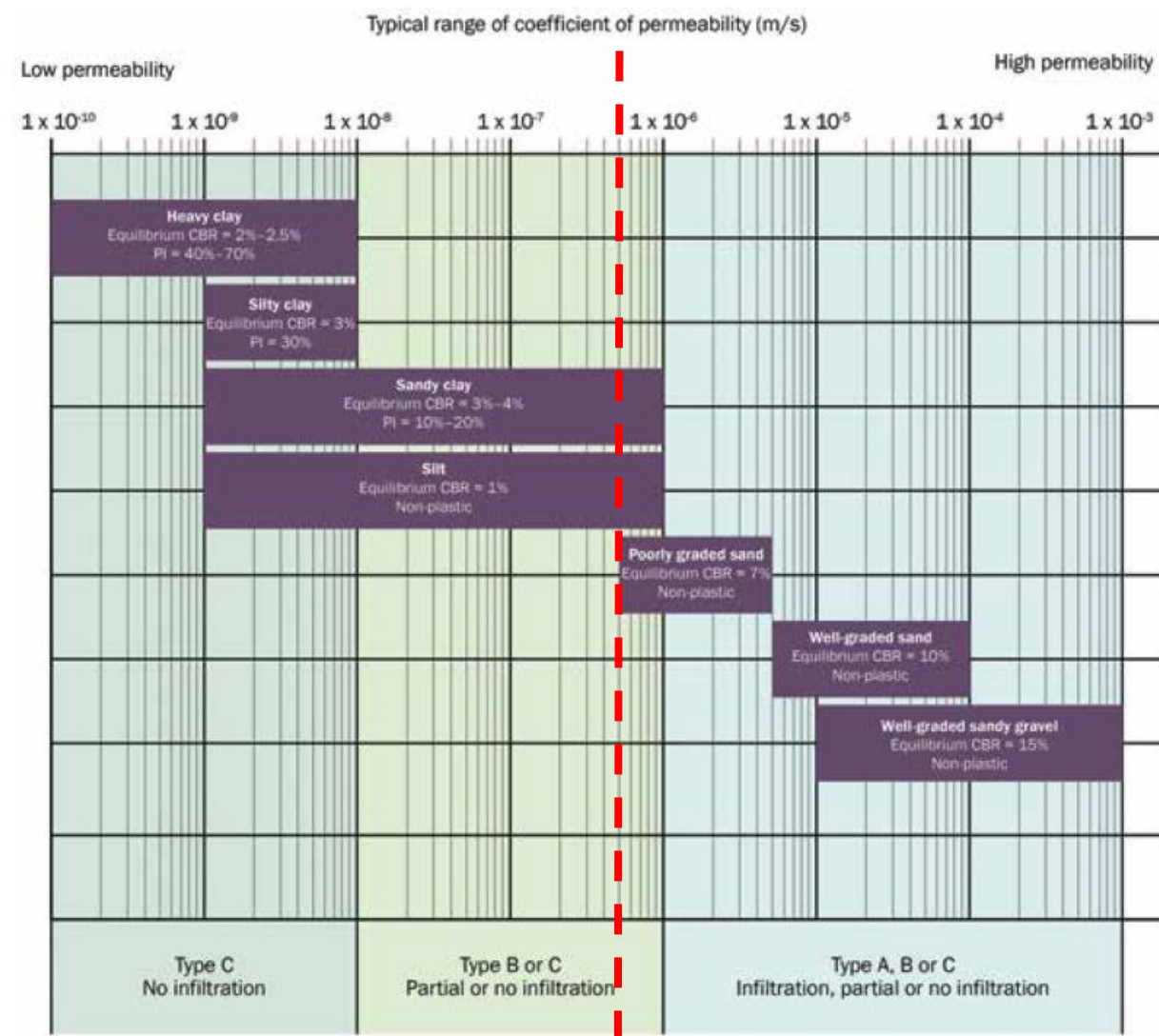
18

The check dam can be constructed to also form a lateral restraint to the CBPP



Flow control to restrict flow between compartments optimises use of available storage space.
Min. diameter 20mm. Should be accessible.
Note: flow control pipe only required for Type B and C

Diseño hidráulico: infiltración y vaciado



Ground characteristics		Type A: total infiltration	Type B: partial infiltration	Type C: no infiltration
Permeability of subgrade defined by coefficient of permeability k (m/s)	1×10^{-6} to 1×10^{-3}	✓	✓	✓
	1×10^{-8} to 1×10^{-6}	×	✓	✓
	1×10^{-10} to 1×10^{-8}	×	× (1)	✓
Highest expected water level within 1000 mm of formation level		×	×	✓
Pollutants present in subgrade		×	×	✓
Ground conditions such that infiltration of water is not recommended (solution features, old mine working etc, Chapter 8)		×	×	✓

Espesor pavimento(m)	0,2
Porosidad pavimento(%)	15%
Vol1(mm)	30

Espesor piedra partida(m)	0,1
Porosidad piedra partida(%)	40%
Vol2(mm)	40

Voltotal(mm o L/m2)	70
---------------------	----

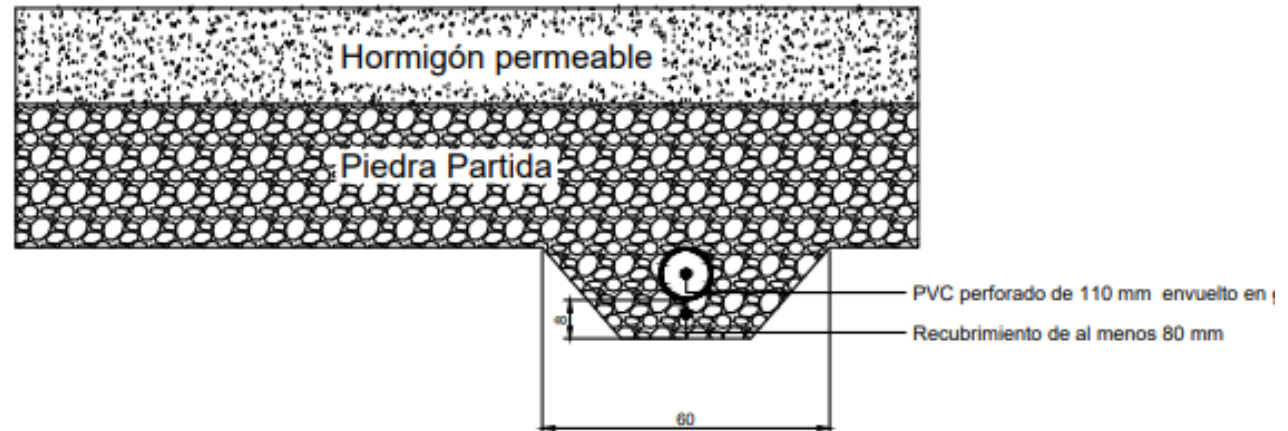
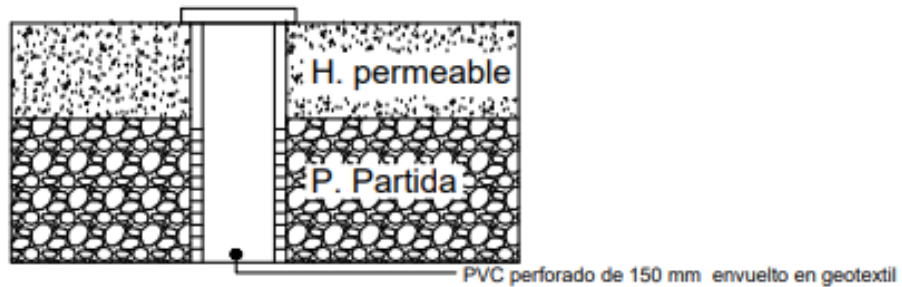
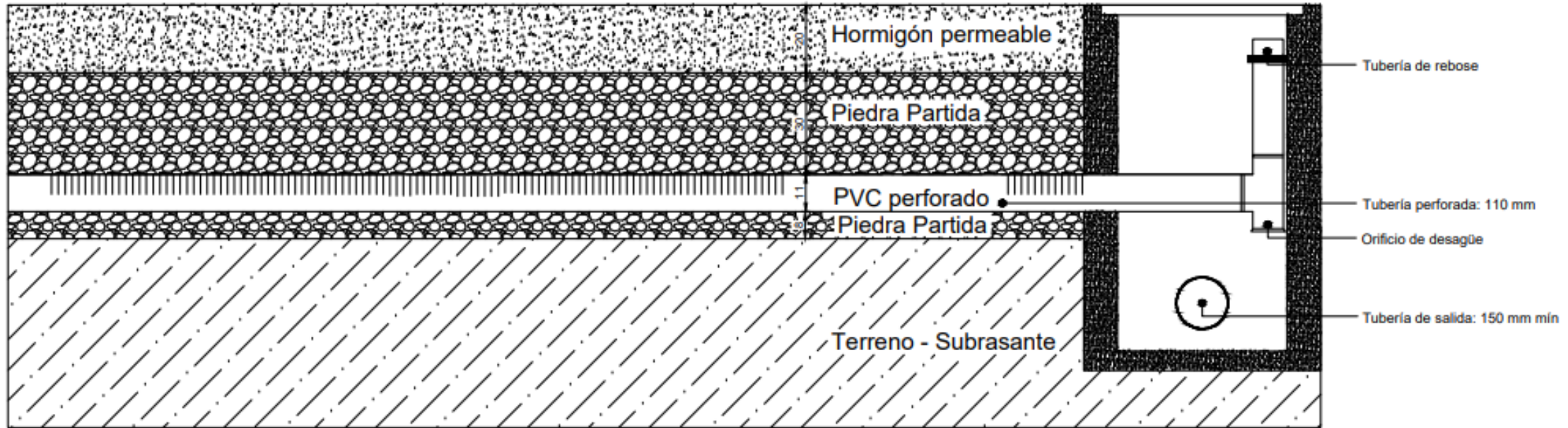
k(m/seg)	3E-06
Tiempo vaciado(h)	6,15

Note: A significant proportion of clay and silt (> 15% of particles less than 63 µm) will reduce the permeability and CBR values of sand and of gravels

Diseño hidráulico: vaciado

Jornada: Pavimentos de Hormigón Permeable Octubre de 2025 Facultad de Ingeniería

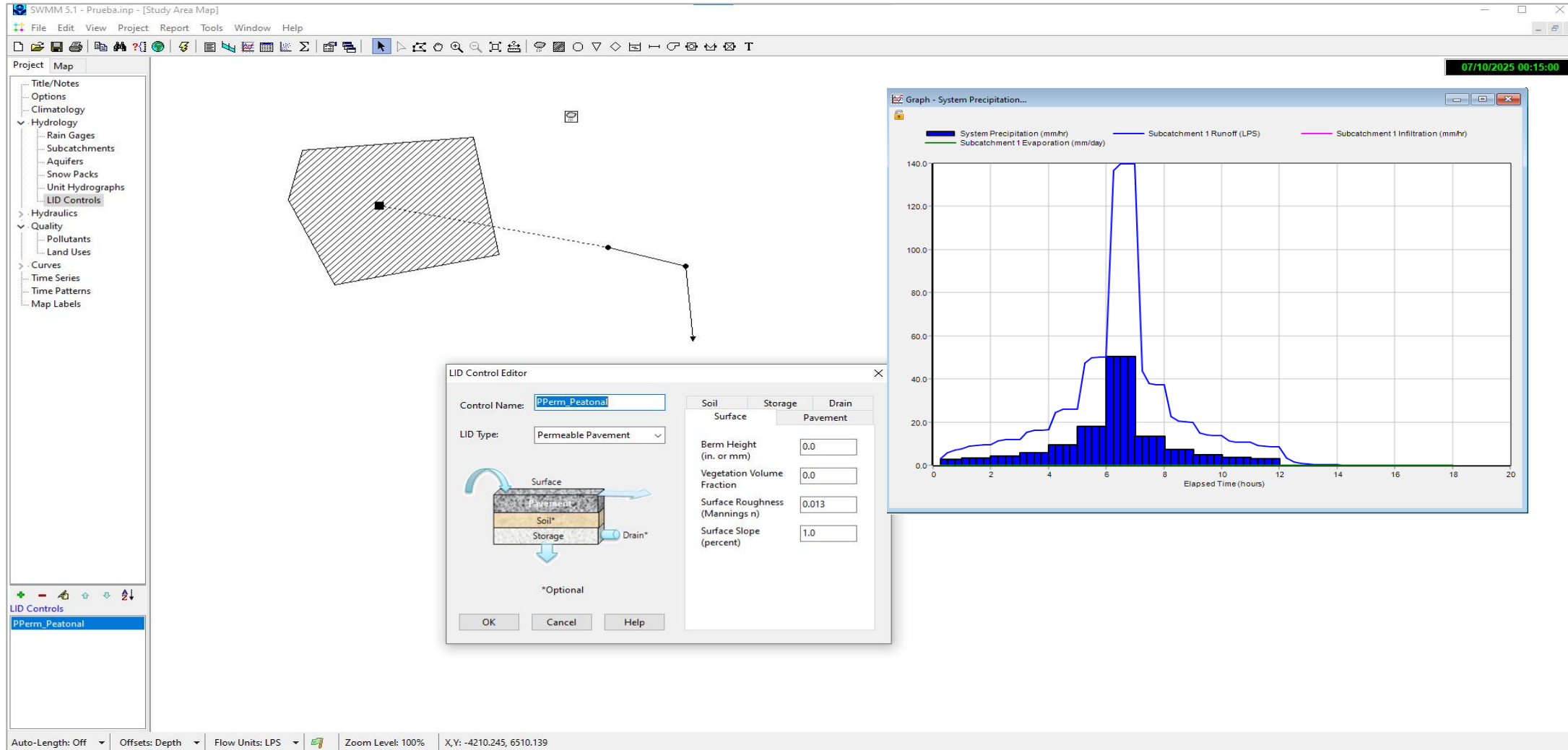
20



Diseño hidráulico: diseño detallado

Jornada: Pavimentos de Hormigón Permeable Octubre de 2025 Facultad de Ingeniería

21



Software de modelación (SWMM): considera instante a instante por continuidad, la precipitación, el tirante, el escurrimiento superficial, la infiltración entre capas, la evapotranspiración (despreciable), el porcentaje de obstrucción, el vaciado por infiltración (Green Ampt o horton) y la salida por dren (calculado como orificio)

A modo de síntesis...

- Uruguay presenta importantes problemas vinculados al drenaje pluvial, principalmente por problemas de **inundaciones y contaminación de cursos de agua y playas**.
- El uso de **Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)** se ha vuelto cada vez más frecuente para **mitigar estos impactos**.
- **Cambios normativos recientes** han impulsado la **implementación de SUDS por parte del sector privado**.
- El hormigón permeable surge como una **solución eficiente y sustentable**, que optimiza el uso del espacio urbano.
- Aún se requiere **mayor experiencia y monitoreo en condiciones locales** para consolidar su uso.
- En el **proyecto ANII**, trabajamos en la **adaptación de metodologías internacionales** para facilitar su aplicación local.

- Alves, A., Sanchez, A., Vojinovic, Z., Seyoum, S., Babel, M., & Brdjanovic, D. (2016). Evolutionary and Holistic Assessment of Green-Grey Infrastructure for CSO Reduction. Water, 8(9), 402. <https://doi.org/10.3390/w8090402>
- Center for Neighborhood Technology. (2020). Green Values Strategy Guide Linking Green Infrastructure Benefits to Community Priorities. <https://cnt.org/publications/green-values-strategy-guide-linking-green-infrastructure-benefits-to-community>
- Martínez, J. P. (2025). Incorporación de drenaje sustentable en planes y proyectos urbanos de Uruguay. <https://hdl.handle.net/20.500.12381/4000>
- Ministerio de Ambiente. (2023). Plan Nacional de Aguas Pluviales Urbanas para Uruguay. <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/comunicacion/publicaciones/plan-nacional-aguas-pluviales-urbanas>
- Woods Ballard, Wilson, B., Udale-Clarke, B., Illmans, H., Scott, S., Ashley, T., & Kellagher, R. (2015). The SuDS Manual (C753). CIRIA. https://www.ciria.org/CIRIA/CIRIA/Item_Detail.aspx?iProductCode=C753