

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA  
XVI CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

## **INSTALACIÓN PILOTO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA GESTIÓN DE AGUAS LLUVIAS: DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS EXPERIMENTALES**

PEDRO RIVERA I., JOSÉ PEDRO MONTT M. Y BONIFACIO FERNÁNDEZ L.

Centro de Aguas Urbanas  
Depto. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, P. Universidad Católica de Chile.  
Av. Vicuña Mackenna 4860. Santiago, Chile.  
Teléfono: 354227; Fax: 3545876  
www.centroaguasurbanas.cl  
e-mail: [privera@ing.puc.cl](mailto:privera@ing.puc.cl)

### **RESUMEN**

Se diseñó y construyó una instalación piloto de pavimentos permeables para evaluar su comportamiento como solución de aguas lluvias. La instalación está ubicada en el Campus San Joaquín de la Universidad Católica de Chile, y corresponde a 4 sitios de estacionamientos, dotados de un sistema de monitoreo de lluvias y caudales.

Se presentan los primeros resultados obtenidos en tres lluvias ocurridas durante Julio del 2003. Las lluvias fueron de magnitud entre 9 y 25 mm, y de intensidad máxima en 5 minutos entre 7 y 19 mm/hr. No se observó escurrimiento superficial en el pavimento permeable para ninguna de estas lluvias. Además, se verificó una importante capacidad de almacenamiento de la subbase, amortiguando la lluvia desde un 72% a un 40% del máximo registrado.

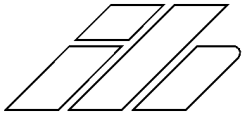
Los resultados verifican el buen funcionamiento de los pavimentos permeables para controlar el impacto de la urbanización. Estos revelan que el uso de pavimentos permeables no modifica la impermeabilidad de la cuenca, manteniendo, e incluso mejorando, la capacidad de infiltración del suelo en la condición pre-urbana

### **ABSTRACT**

The first pilot installation of permeable pavement in Chile was designed and constructed. It is in the Campus San Joaquín at Universidad Católica de Chile. It consists in 4 parking stalls, and it has a monitoring system for survey rainfall runoff data.

The collected data in three rainfall events are presented. The rainfall total amount of these storms were from 9 mm to 25 mm, and its maximum intensities were from 7 to 19 mm/hr. Superficial runoff was not observed in the monitoring storms. Also, a great retention capacity was experimentally verified in the permeable pavement structure.

The results show a great behavior of the permeable pavements, for controlling the impact of the urbanization. The use of these type of pavement do not modify the catchment impermeability as well as can maintain the capacity of infiltration of the pre-urban condition.



# INSTALACIÓN PILOTO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA GESTIÓN DE AGUAS LLUVIAS: DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

## 1 Introducción

Los pavimentos permeables han sido usados para reducir el área efectivamente impermeable en una zona urbana. La capacidad de infiltración y de almacenamiento que pueden presentar contribuye al control hidrológico y ambiental de las aguas lluvias urbanas (Kipkie y James, 2000).

Ya que gran parte de la superficie urbana corresponde a pavimentos, el utilizar pavimentos permeables en reemplazo de los convencionales ha sido la técnica sugerida en muchos lugares del mundo para disminuir el impacto de la urbanización (Schueler, 1987). Esta política reconoce el hecho de que no siempre es necesario impermeabilizar cuando se requiere pavimentar una zona.

Los objetivos de los pavimentos permeables es recargar los acuíferos, reducir el volumen de escorrentía y el caudal máximo debido a las precipitaciones, y disminuir la contaminación del escurrimiento superficial debido al lavado de contaminantes de las superficies urbanas. En Chile, su uso en los nuevos desarrollos inmobiliarios podría contribuir considerablemente a:

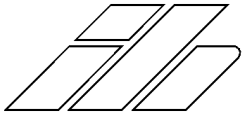
- Disminuir el impacto de la urbanización y mantener de condiciones pre-urbanas
- No aumentar los caudales máximos hacia aguas abajo y evitar el colapso de la red de drenaje de la urbanización establecida.
- Disminuir los costos de la red secundaria de drenaje de la nueva urbanización, debido a la reducción del coeficiente de escorrentía y los parámetros de diseño de las redes, tales como caudal máximo, tiempo de concentración, y volumen total.

En este trabajo se describe una instalación piloto de pavimentos permeables realizada por el Centro de Aguas Urbanas de la Pontificia Universidad Católica de Chile, con la idea de aportar con soluciones tecnológicas para evitar el impacto de la urbanización que tantos problemas de inundaciones produce en Chile. Se entregan los primeros resultados experimentales obtenidos a partir del monitoreo de 3 lluvias ocurridas en Julio del 2003.

## 2 Antecedentes

Diversos autores han investigado sobre el desempeño de pavimentos permeables en condiciones reales y en laboratorio. Muth, 1988, experimentó en laboratorio con un tipo de pavimento permeable basado en adoquines Eco-Stone (Rollings y Rollings, 1999), no obteniendo escurrimiento superficial en superficies planas para lluvias del orden de 80 mm/hr, y en superficies con pendiente de 2.5% para lluvias menores a 36 mm/hr.

Por su parte, Nawang y Saad, 1993, realizaron una experiencia piloto con asfalto permeable, obteniendo una reducción del caudal máximo del 62% en relación al asfalto tradicional. También observaron que el caudal máximo en el asfalto permeable ocurrió



61 minutos después del máximo de la lluvia, mientras que en el pavimento tradicional ocurrió sólo 21 minutos después.

Booth et al., 1997, realizaron una instalación piloto consistente en un estacionamiento para 10 vehículos en la Universidad de Washington. Usaron 4 diferentes tipos de pavimentos permeables, además de asfalto convencional para la comparación. Las lluvias observadas fueron de entre 5 y 10 mm/hr para duraciones mayores a 1 hora. La máxima intensidad fue de 14 mm/hr para una duración de 15 minutos. Para este rango prácticamente no observaron escurrimiento superficial para ningún tipo de pavimento permeable, mientras que obtuvieron una respuesta prácticamente igual a la precipitación en el estacionamiento de asfalto impermeable. A diferencia de otros estudios, en este caso se observó también la amortiguación de la precipitación debido al flujo del agua a través de la superficie y de la subbase. Este escurrimiento sub superficial llegó a ser el 60% en volumen de la precipitación total.

### 3 Características de la Instalación Piloto

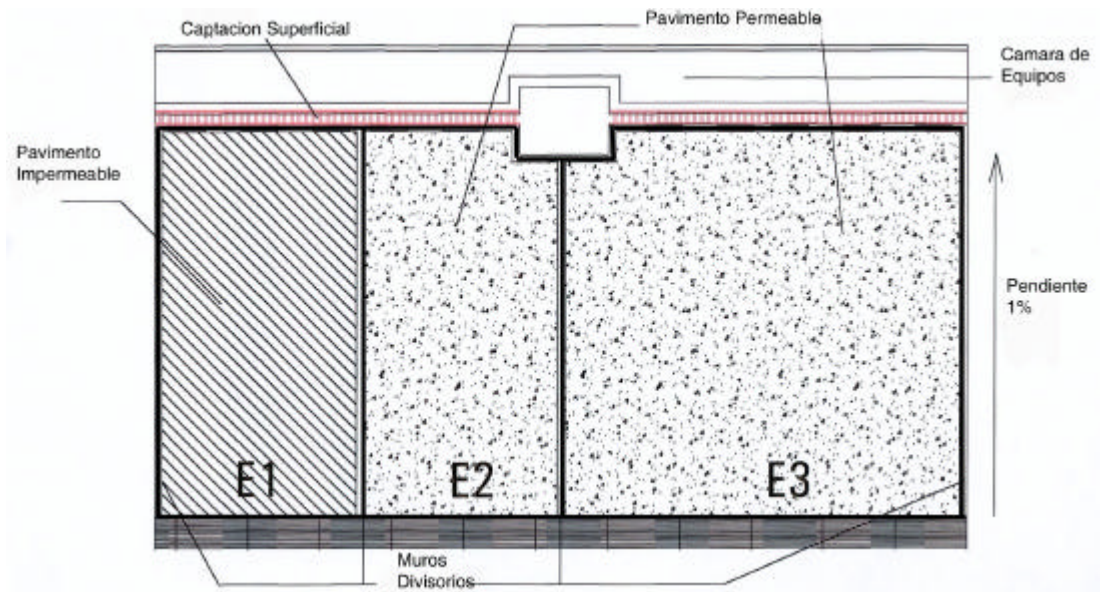
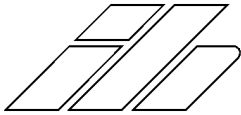
Se diseñó una instalación piloto para el estudio de pavimentos permeables, ubicada en uno de los parques de estacionamiento del Campus San Joaquín de la Pontificia Universidad Católica de Chile, en Santiago. Los objetivos principales fueron:

- i) Evaluar la capacidad de infiltración de los pavimentos permeables.
- ii) Comparar el caudal generado por el pavimento permeable con el que genera el pavimento impermeable, y la lluvia precipitada.
- iii) Evaluar la capacidad de almacenamiento de la estructura del pavimento permeables (carpeta, subbase) considerando un suelo impermeable y uno permeable.
- iv) Estimar el deterioro de la capacidad de infiltración en el largo plazo del pavimento permeable.
- v) Realizar ensayos controlados con simuladores de lluvia.
- vi) Disponer de un prototipo para difusión.

Para evaluar la capacidad de infiltración en terreno, se realizaron ensayos de infiltración, a la altura en que la obra opera. Ensayos con el tensio infiltrómetro (Ankeny et al., 1988, Reynolds y Elrick, 1991) estimaron una permeabilidad saturada del orden de 1 m/día, mientras que el ensayo del doble anillo (Gupta et al., 1993) arrojó un valor de 1,76 m/día. En general se ha observado que el método del doble anillo sobreestima la permeabilidad, mientras que con el tensio infiltrómetro se estima un buen valor. Se considera entonces un valor de 1m/día. La permeabilidad pudo disminuir debido a la compactación de la subrasante al momento de construir los estacionamientos.

#### 3.1 Descripción de la instalación

El Centro de Aguas Urbanas de la Universidad Católica de Chile, dispuso de 4 estacionamientos para realizar la instalación piloto. En el futuro se contempla continuar con otro tipo de pavimento permeable. El área total es de aproximadamente 65 m<sup>2</sup>. El diseño consideró la utilización de un tipo de pavimento permeable de hormigón, además de pavimento impermeable de hormigón tradicional. En la Figura 1 se muestra esquema de la planta de la instalación piloto.



**Figura 1. Esquema de planta de la instalación piloto.**

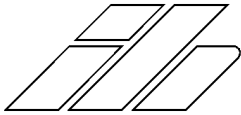
La instalación se encuentra hidráulicamente aislada del entorno, por lo que no recibe escurrimientos por ninguno de sus costados. Cada uno de los estacionamientos descarga el caudal generado en su superficie de manera independiente a una zanja en la que se instalaron los equipos y accesorios para la medición. En la Figura 2 se muestran algunas fotos de la construcción.

El estacionamiento E1, de una losa, está pavimentado con hormigón impermeable. Consiste en una carpeta de hormigón H30 de 30 cm de espesor, con una subbase permeable igual a la que se usó en los estacionamientos permeables. No tiene pendiente transversal y su pendiente longitudinal es del 1%. Se encuentra restringido en sus cuatro extremos para evitar el flujo subsuperficial por la subbase de los otros estacionamientos, y superficial a través de las carpetas.



**Figura 2. Fotos de la construcción.**

Los estacionamientos E2 y E3 se encuentran pavimentados con hormigón permeable. La carpeta es de 30 cm de espesor, y es de una mezcla de hormigón que está en desarrollo.



La subbase de los estacionamientos E2, de una losa, y E3, de dos losas, también es permeable. Existen algunas recomendaciones en la literatura, principalmente contenida en manuales de diseño de diferentes lugares en Estados Unidos. En la Figura 3a se muestran las granulometrías recomendadas para las subbases permeables (MINVU-PUC, 1996).

En Chile existen algunas granulometrías disponibles en el mercado industrial de áridos, pero ninguna de ellas se ajusta a las recomendaciones señaladas. La subbase utilizada en la instalación piloto se fabricó en base a la subbase comercial, removiendo de ella parte del fino menor a 2 mm, y a la gravilla 3/8". En la Figura 3b se muestran las granulometrías disponibles y la que finalmente se utilizó, que se ajusta bastante bien a los valores recomendados.

La pendiente transversal de los estacionamientos E2 y E3 es nula, mientras que la longitudinal es de un 1%. Ambos se encuentran separados superficial y subterráneamente, para evitar el flujo de agua de uno al otro.

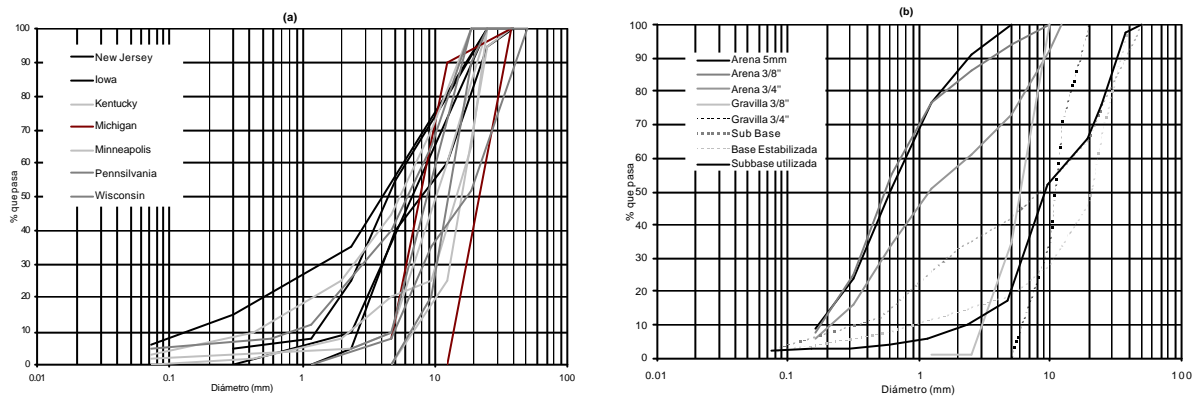


Figura 3. Granulometrías recomendadas en algunos lugares para subbase para pavimentos permeables.

### 3.2 Sistema de captación y medición

Se diseñó un sistema de captación del caudal que se puede producir para lluvias o bien para ensayos controlados, tanto superficial como sub superficialmente. En la Figura 4 se muestra un esquema del sistema.

El caudal superficial se capta de manera independiente en cada estacionamiento, con canaletas ubicada aguas abajo de éstos. Las soleras discontinuas permiten que no ingresen los automóviles a la cámara de los equipos, y que el agua pueda entrar a la canaleta. Las canaletas descargan a estanques independientes, ubicados en la cámara.

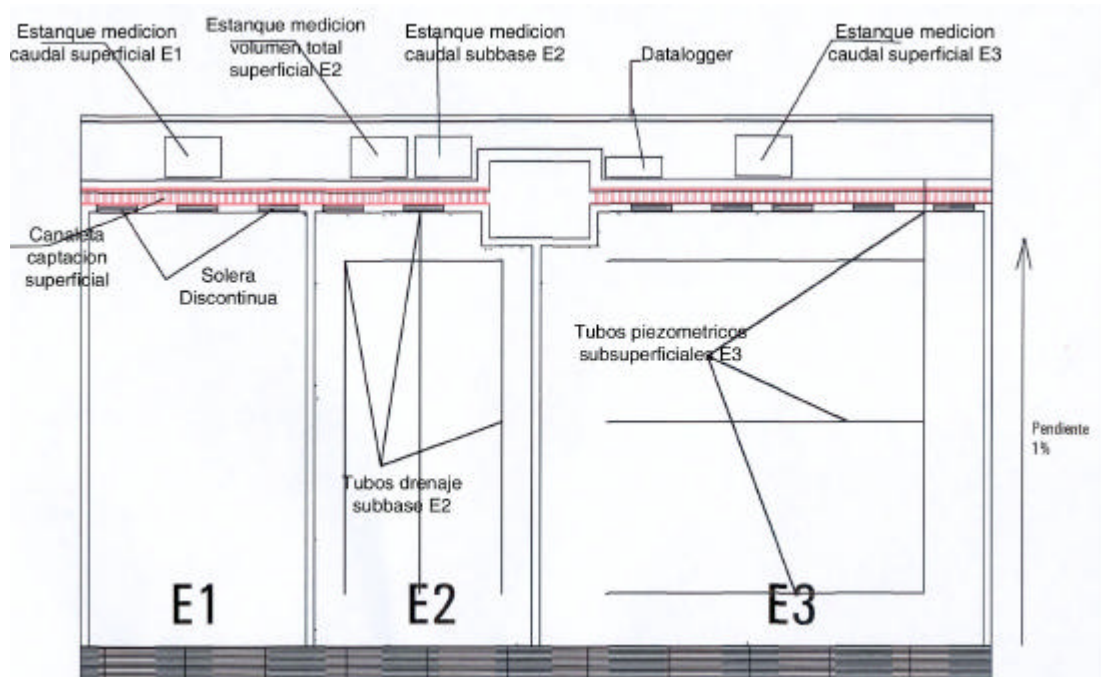
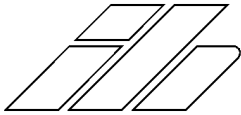


Figura 4. Sistema de captación y medición en la instalación piloto.

Los estanques que reciben el caudal superficial desde E1 y E3 cuentan con transductores de presión para medir el nivel de agua cada 5 minutos. Estos disponen de un vertedero triangular de rebase de  $10^\circ$ . En la Figura 5 se muestran algunas fotos del sistema de captación y medición superficial.

En la Figura 6 se muestran los cortes transversales de E2 y E3. En E2 se utilizó una membrana impermeable que impide la infiltración del agua en el suelo natural, la que se almacena en la subbase. Este posee un sistema de drenaje compuesto por tuberías de PVC ranuradas, instaladas sin pendientes en el sentido longitudinal, que descarga al estanque respectivo. La descarga se controla con una válvula, de esta manera se puede representar el almacenamiento de la subbase para suelos de distinta capacidad de infiltración.

En E3, en vez de la membrana impermeable se instaló geotextil para evitar el lavado de la subbase. La infiltración desde la subbase al suelo no se ve alterada por el geotextil. En este interesa medir altura de agua en el caso que el suelo no tenga la capacidad para infiltrar toda la lluvia. Se instalan tubos piezométricos que transmiten el nivel hasta la cámara, donde se instaló un sensor de nivel. Según la experiencia de Booth et al., 1997, esta variable es muy complicada de medir. En la Figura 7 se muestran algunas fotos.

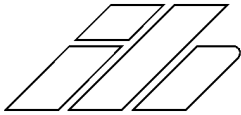


Figura 5. Fotos del sistema de captación superficial.

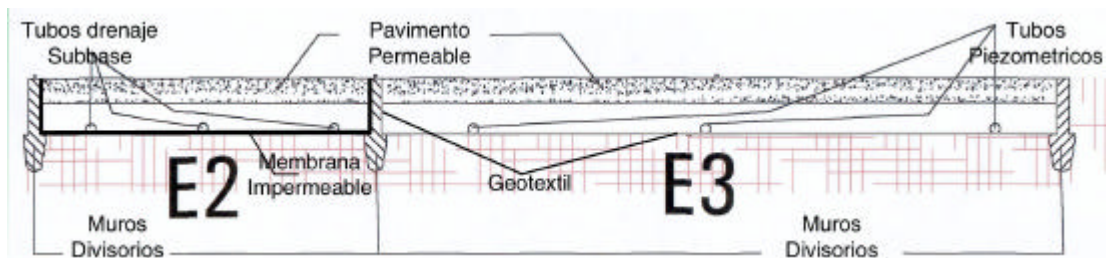


Figura 6. Cortes transversales de E2 y E3.



Figura 7. Fotos del sistema de captación y medición de la subbase de E2.

#### 4 Resultados experimentales

Se presentan las mediciones obtenidas durante 3 tormentas ocurridas en Julio del 2003. En la Tabla 1 se indican los parámetros medidos en cada estacionamiento de la instalación piloto.

Por su parte, la precipitación acumulada en las lluvias es registrada cada 5 minutos, en un pluviógrafo digital ubicado a 100 m de la instalación piloto. Las características de las 3 lluvias precipitadas sobre la instalación, se presentan en la Tabla 2.



**Tabla 1. Variables medidas en cada estacionamiento**

Variable	E1	E2	E3
Volumen total superficial	✓	✓	✓
Caudal superficial cada 5 minutos	✓	x	✓
Caudal de la subbase cada 5 minutos	x	✓	x
Altura de agua en la subbase	x	x	✓

**Tabla 2. Características de las lluvias.**

Nombre	Inicio	Duración (hr)	Magnitud (mm)	Int.Máx. (mm/hr)	5min	Int. Media (mm/hr)
Tor1	05/07/03 03:55	4,4	8,8		19,2	2,0
Tor2	07/07/03 05:45	13,2	25,3		7,2	1,9
Tor3	08/07/03 01:35	10,3	16,3		7,2	1,6

#### 4.1 Precipitación versus escurrimiento superficial

En la Figura 8 se presenta el hietograma de las tormentas Tor1 y Tor2, además del hidrograma superficial medido en E1 y E3.

Se observan errores en la medición del caudal de E2 en Tor2, después de que se registró el máximo de la lluvia. Esto se puede deber al sedimento que se deposita en el estanque y que puede haber tapado el sensor.

Estos resultados ratifican lo observado en laboratorio, en cuanto a la capacidad de infiltración del pavimento. El pavimento se comporta prácticamente como un estanque que descarga al agua subterránea, que recibe la lluvia un poco retardada debido a su paso por la carpeta de pavimento y la subbase, e infiltra según la capacidad del suelo considerando una altura de agua que varía en el tiempo. En la Tabla 3 se presenta la comparación entre la reducción de la intensidad máxima de la lluvia y el volumen total medida en E1 y E3.

**Tabla 3. Volumen total y caudal máximo en E1 y E3 en relación a la lluvia**

	Tor1		Tor2	
Magnitud (mm)	8,8		25,3	
Int. Max (mm/hr)	19,2		7,2	
	Total (% de la lluvia)	Máx. (% de la lluvia)	Total (% de la lluvia)	Máx. (% de la lluvia)
Esc.Sup. E1 (mm)	76	81	60(*)	94
Esc. Sup. E3 (mm)	0	0	0	0
(*) Error en las mediciones. Se estima que este valor es mayor que el medido				



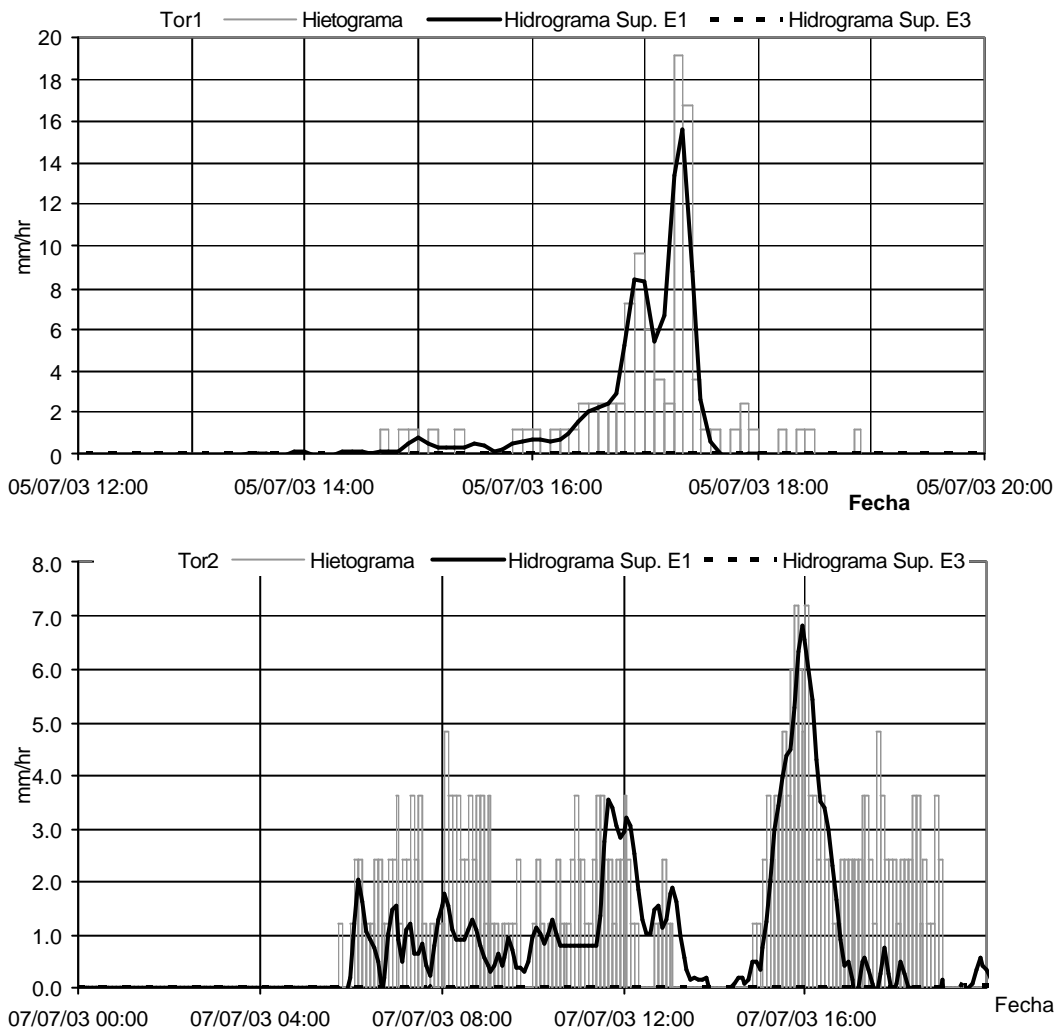
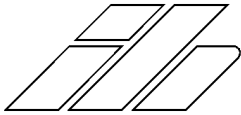


Figura 8. Comparación hietograma e hidrograma superficial de E3 .

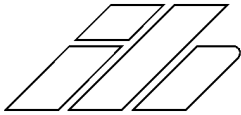
#### 4.2 Precipitación versus caudal de la subbase.

En la Figura 9 se compara la lluvia con el escurrimiento obtenido del drenaje de la subbase de E2, que no puede infiltrar al suelo debido a la membrana impermeable que se instaló para aislar la estructura del pavimento.

Se observa una notable amortiguación de la lluvia, debido a su paso y retención en la estructura del pavimento hasta ser recuperada en el estanque de medición. La amortiguación del máximo de la lluvia observada fue entre 72% y 40%.

Además, una parte del volumen de la lluvia, entre el 20% y el 40%, queda retenido en la estructura, contribuyendo además a la reducción del volumen total.

En el caso de no contar con suelos de buena permeabilidad, los pavimentos permeables de todas formas pueden emplearse. La capacidad de almacenamiento de la subbase y la carpeta pueden retener temporalmente un volumen de agua importante (en el caso de la instalación piloto, 180 mm de lluvia), la que se puede infiltrar a menor



tasa que la precipitación, en un tiempo prolongado, o bien entregar mediante drenaje subterráneo hacia la red de drenaje de aguas abajo.

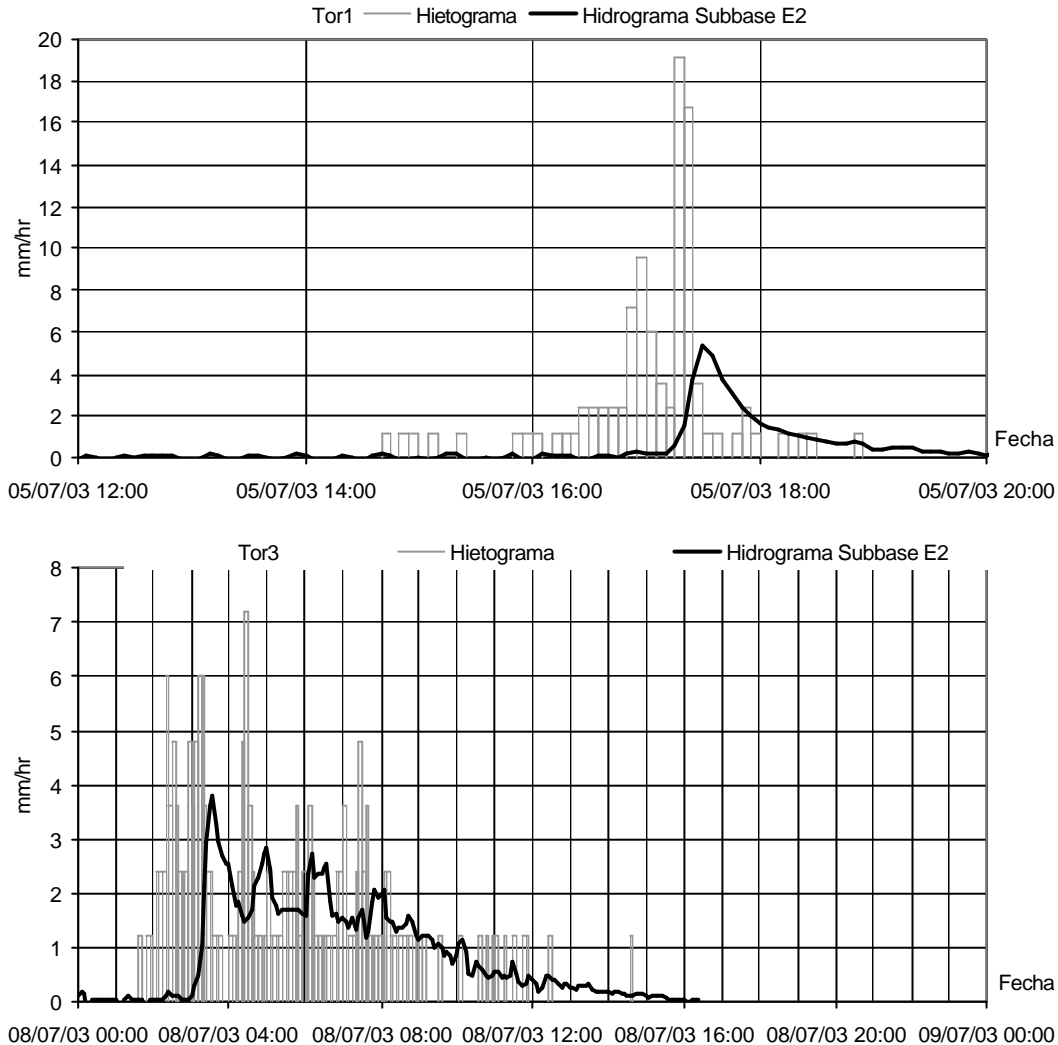
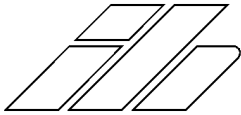


Figura 9. Lluvia v/s caudal de la subbase para Tor1 y Tor3

## 5 Conclusiones

Se diseñó y construyó la primera instalación piloto de pavimentos permeables en Chile. Está ubicada en el Campus San Joaquín de la Universidad Católica de Chile, y corresponde a 4 sitios de estacionamientos. Unos de ellos de pavimentos tradicional y los otros de pavimentos permeable. Esta dotada de un sistema de monitoreo de lluvias y caudales, que mide la precipitación, el caudal superficial generado por los diferentes estacionamientos y el caudal almacenado en la subbase de la estructura, también permeable.

Se presentan los primeros resultados obtenidos en tres lluvias ocurridas durante Julio del 2003. Las lluvias fueron de magnitud entre 9 y 25 mm, y de intensidad



máxima en 5 minutos de entre 7 y 19 mm/hr. No se observó escurrimiento superficial en el pavimento permeable para ninguna de estas lluvias. Además, se verificó una importante capacidad de almacenamiento de la subbase, amortiguando la lluvia entre un 72% y un 40% del máximo registrado.

Los resultados verifican el buen funcionamiento de los pavimentos permeables para controlar el impacto de la urbanización. Los valores obtenidos revelan que el uso de pavimentos permeables no modifica la impermeabilidad de la cuenca, manteniendo, e incluso mejorando, la capacidad de infiltración del suelo en la condición pre-urbana.

## 6 Agradecimientos

Esta investigación fue financiada con aportes del FONDEF de CONICYT, como parte del proyecto FONDEF D0011011 "Sistemas Estandarizados de Drenaje de Aguas Lluvias en Urbanizaciones y Viviendas". Se agradece también el apoyo de Empresas Melón S.A., quien contribuyó con el hormigón permeable para la instalación piloto.

## 7 Referencias

ANKENY, M., KASPAR, C., y R. HORTON, R. Design for an automated tension infiltrometer. *Soil Science Society of America Journal*. 1988.

BOOTH, D., LEAVITT J., PETERSON, K. The University of Washington Permeable pavement demonstration project. Background and first year field results. *Preparado por Center for Urban Water Resources Management, The University of Washington*, 1997.

GUPTA, R., RUDRA, R, DICKINSON, W., PATNI, N. y WALL., G. Comparison of saturated hydraulic conductivity measured by various field methods. *Transactions of the ASCE*, 1993.

KIPKIE, C., JAMES, W.. Feasibility of a Permeable Pavement Option in SWMM for Long-Term Continuous Modeling. *Applied Modeling of Urban Water Systems. Monograph 8*, 2000.

MINVU, PUC. Técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos. Guía de Diseño. 1996

MUTH, W. Drainage with interlocking pavers. *Reserch Inst. For Water Resources. Karlsruhe University of Engninerig*. 1988.

NAWANG, W., SAAD, S. Stormwater infiltration investigation using porous pavement. *VI International Conference on Urban Storm Drainage, Vol2*. 1993.

REYNOLDS, W., ELRICK. D.E. Determination of hydraulic conductivity using a tension infiltrometer *Soil Science Society of America Journal*. 1991.

ROLLINGS, R., ROLLINGS, M. Design and considerations for the Uni Eco-Stone concrete paver. *Manual preparado por Uni-Group U.S.A*. 1999.

SCHUELER, T. Controlling Urban Runoff. A practical Manual for planning and designing urban BMPs. *Preparado por Washington Metropolitan Water Resource Planning Board*. 1987.