

**XXI CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
SÃO PEDRO, ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL, OCTUBRE, 2004**

**PLATAFORMA DE PENDIENTES VARIABLES
PARA LA EXPERIMENTACIÓN DE SUMIDEROS DE AGUAS LLUVIAS**

Enrique Kaliski Kriguer, Ricardo Cortéz Contreras
Instituto Nacional de Hidráulica, Chile. ekaliski@inh.cl rcortez@inh.cl

RESUMEN

Se presenta una descripción y resultados preliminares de una instalación experimental, recientemente construida, cuyo objetivo es estudiar el funcionamiento hidráulico de las obras de captación de aguas lluvias (sumideros) en calles, orientado a establecer los mejores parámetros de funcionamiento, para diferentes condiciones de operación y características técnicas habituales.

Este proyecto ha sido financiado por tres instituciones del Ministerio de Obras Públicas de Chile, a saber: la Dirección de Obras Hidráulicas, El Centro de Innovación Tecnológica y el Instituto Nacional de Hidráulica, siendo este último ejecutor directo del proyecto.

La instalación comprende básicamente un circuito hidráulico y una plataforma que representa una calle, en escala real (1:1), longitud total de 14 metros, ancho de 3,5 metros y peso aproximado de 18 toneladas. En esta instalación es posible modificar su pendiente longitudinal (hasta 10%) y transversal (hasta 5%), el tipo y características del sumidero y los caudales que conduce la calle.

ABSTRACT

A description of a recently build experimental installation is presented. The objective is to study the hydraulic performance of rainfalls on street inlets, with the orientation to establish the best parameters of operation, for different conditions and common technical characteristics.

This project has been financed by three institutions of the Ministry of Publics Works of Chile as follows: *La Dirección de Obras Hidráulicas, El Centro de Innovación Tecnológica* and the *Instituto Nacional de Hidráulica*. The last institution is the directly executor of the project.

The installation has basically a hydraulic circuit and a platform that represents a street, en real scale (1:1), 14 meters length, and 3.5 meters wide and 18-ton weight approximated. In this installation, is possible to modify its longitudinal slope (until 10%) and transversal (until 5 %), the type and characteristics of the inlet, and the flow on the street.

PALABRAS CLAVES: Sumidero, aguas lluvias, experimental

1. INTRODUCCIÓN

En el diseño de un sistema de drenaje urbano, uno de los factores relevantes corresponde a las obras de captación superficial de caudal o *sumideros*. En estas obras, son de especial importancia las características físicas (longitud, ancho, área de huecos disponible), el tipo de reja (con barras paralelas, perpendiculares o inclinadas con respecto a la dirección de escurrimiento en la calle), características de la superficie de la calle donde se desarrolla la escorrentía, ancho máximo de inundación de la calle admisible, eficiencia de captación (relación entre el caudal captado por la obra y el caudal total que escurre por la calle).

En general, las metodologías de diseño hidráulico se basan en la aplicación de relaciones empíricas o curvas de calibración, las cuales dependen de las características del sistema de drenaje. Estas relaciones empíricas son siempre válidas para las condiciones específicas para las cuales fueron obtenidas, no recomendándose su extrapolación.

En 1970, el Instituto Nacional de Hidráulica de Chile (INH) realizó el estudio denominado "Sumideros de aguas lluvias, estudio en modelo reducido", cuyo propósito fue proponer las modificaciones necesarias para el mejor funcionamiento hidráulico de sumideros en uso, considerando las condiciones propias de estabilidad. Los resultados de los ensayos realizados, en escala 1:2, permitieron proponer recomendaciones sobre aspectos de diseño de estos sumideros.

Debido a los numerosos cambios que ha experimentado este tipo de obras y sus correspondientes características de diseño, se estimó aconsejable abordar un estudio actualizado en esta materia, que posibilite a los proyectistas lograr soluciones más seguras y optimizar los diseños. A lo anterior se agrega que en Chile, en los últimos años, se ha verificado que en muchos casos, uno de los problemas de aguas lluvias habituales resulta ser la falta de capacidad de captación o mal funcionamiento de los sumideros.

En este contexto, tres entidades relacionadas con el Ministerio de Obras Públicas de Chile, a saber: la Dirección de Obras Hidráulicas, El Centro de Innovación Tecnológica y el Instituto Nacional de Hidráulica - ejecutor directo del proyecto - han abordado en conjunto un proyecto de construcción e implementación de una instalación de experimentación permanente de sumideros de aguas lluvias.

El objetivo de esta instalación, que se describe en el presente trabajo, es estudiar experimentalmente el comportamiento hidráulico de las obras de captación de aguas lluvias (sumideros), orientado a establecer las mejores características de funcionamiento, para diferentes condiciones y características técnicas habituales.

2. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES DE LA BIBLIOGRAFIA

En el cuadro N° 1 se ha sintetizado los diferentes estudios experimentales sobre sumideros de aguas lluvias. Las principales conclusiones obtenidas con la revisión y análisis de la literatura especializada son las siguientes:

- a) De acuerdo con la experiencia española (Nanía, 1999), se debe considerar flujos con alturas de agua no menores a 2 centímetros, para minimizar la influencia relativa de la tensión superficial.
- b) Los modelos de calles en escala 1:1 o escala real, señalados en la bibliografía consultada, tienen las siguientes ventajas:
 - Se representa el fenómeno a estudiar sin efectos de interferencia por reducción de escala, en aspectos tales como la rugosidad, efectos de obstrucciones, tensión superficial, entre otros.
 - Se puede utilizar directamente los sumideros actuales, sin requerir la construcción de sumideros a escala.
 - La instalación del modelo puede ser utilizada posteriormente para verificación o experimentación de otros sumideros, como banco permanente de pruebas.

- c) Se debe cuidar y verificar que el flujo reproducido en el modelo sea unidimensional. Para esto, de acuerdo con la experiencia española, se consigue con una entrada del agua suave y con una longitud mínima de las calles.
- d) Se estima de interés determinar el *coeficiente de desague* (C_d) de cada sumidero que se ensaye, ya que representa la capacidad de captación de caudal, que dependería del diseño hidráulico del sumidero. De esta forma, sería posible comparar diferentes modelos o alternativas de sumidero a través de este coeficiente. Para esto, se requerirá medir en cada ensayo la altura de agua, inmediatamente antes de la entrada al sumidero.
- e) Para comparar el comportamiento hidráulico de diferentes alternativas de sumideros y sus características de ensayo, es conveniente introducir la variable *Eficiencia de Captación*, equivalente al cociente entre el caudal interceptado y el caudal total de la calle. La *Eficiencia de Captación* depende de las pendientes longitudinal y transversal y de las características del sumidero.
- f) De acuerdo con información proporcionada por Manuel Gómez de Universidad Politécnica de Catalunya, España, una gran mayoría de los sumideros norteamericanos tienen una depresión en la calzada / calle, que ayuda a concentrar el flujo sobre el sumidero.
- g) De acuerdo con experiencias en Chile (INH, 1970), los mejores resultados se obtuvieron con orificios en sentido longitudinal al escurrimiento. Además, se verificó que los sumideros con aristas redondeadas tienen mejor funcionamiento hidráulico.

CUADRO N°1
RESUMEN DE ESTUDIOS EXPERIMENTALES DE SUMIDEROS DE AGUAS LLUVIAS

N° Ref.	País y año	Escala	Q máx. (l/s)	Pendiente Long.	Pendiente transversal	Observaciones
1	Chile, (1970)	1:2	60	0,002 - 0,04	Constante	Se realizó 555 ensayos
2	U.S.A., (2001)	1:2	226	0,8 - 8%	2, 4 y 6%	
3 y 4	España, (2000 y 1998)	1:1	200	Hasta 10%	Hasta 4%	Plataforma de 5,5 metros de largo por 4 de ancho, con zona útil de 5,5 por 3,0 metros, para reproducir una vía urbana.
5	Australia, (1999)	1:1	330	0 - 16%	0 - 5%	La instalación experimental consiste en un canal principal de 20m de largo y 3,2m de ancho.
6	España, (1998)	1:1	100	0,3 - 5%	1%	Se experimentó con cruce de calles

3. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

3.1 Aspectos Generales

Es una instalación de tipo permanente, que comprende básicamente un circuito hidráulico y una plataforma que representa una calle, en escala real (1:1), en la cual es posible de modificar su pendiente longitudinal (hasta 10%) y transversal (hasta 5%), el tipo y características del sumidero y los caudales que conduce la calle. El caudal máximo de experimentación es de 240 l/s.

La plataforma tiene una longitud total de 14 metros y ancho de 3,5 metros. El peso aproximado total de la estructura es de 18 Toneladas. Se encuentra dividida en las zonas siguientes:

- Zona 1: Aquietadores de flujo y de ondas, producto de la entrega del estanque de cabecera de la plataforma, de 0,50 m de longitud desde el inicio.
- Zona 2: Zona de estabilización del flujo, para asegurar un escurrimiento de tipo unidimensional en la aproximación a los sumideros. Su longitud es de 6,00 metros.
- Zona 3: Zona de sumideros (en la calle) . En los 5 metros siguientes a la Zona de estabilización del flujo, se ubica una zona dividida en cinco módulos de 1 metro cada uno, donde se ubica el sumidero y su respectiva zona de influencia a ensayar. Esta zona de la plataforma es flexible, según los objetivos de la experimentación.
- Zona 4: Zona de sumideros (en la vereda). Similar a la anterior, que se ubica inmediatamente hacia el lado izquierdo de la calle (en el sentido del flujo), donde es posible colocar hasta 5 sumideros para ensayar en esta zona.
- Zona 5: Zona de fijación de las condiciones de aguas abajo, de 2 metros de longitud.

Para modificar la pendiente longitudinal, la plataforma tiene un pivote en su inicio (de aguas arriba), de modo que en el otro extremo la variación máxima puede ser hasta de 1,40 metros, con lo cual, dada la longitud de 14,0 m, se puede lograr una pendiente longitudinal de hasta un 10%.

En la foto N° 1 se ilustra la instalación experimental con la descripción de sus principales elementos.

3.2 Estructura del modelo hidráulico

La plataforma está montada sobre cuatro vigas reticuladas longitudinales de 40 (cm) de altura por 14 (m) de largo. Sobre éstas, se instaló una placa de acero de 4 mm que soporta la losa de 5 (cm) de hormigón, la cual le da la rugosidad representativa de la calle.

Para soportar la plataforma, se construyó tres marcos metálicos de 2.50 metros de altura, ubicados a 0.675 (m), 6.00 (m) y 12.00 (m), medidos desde el inicio de la plataforma.

Los cambios de pendiente, tanto longitudinal como transversalmente, se realizan mediante un sistema de hilos colgantes desde la parte superior de cada marco, unidas a volantes que permiten dar la regulación de la pendiente.

Los materiales utilizados son:

- Perfiles metálicos y Placa soporte de la losa de hormigón: ASTM A36
- Barras con hilo, volante (sistema variación de la pendiente): SAE 4340
- Losa de hormigón:H25, de 5 cm de espesor.



Foto N° 1: Vista General de la plataforma de experimentación de sumideros de aguas lluvias.

1. Sector de bombas centrífugas y tableros de control. El agua es bombeada a un estanque receptor del flujo y aquietador. En su salida tiene un aforado de tipo triangular, en el cual se controla el caudal total de entrada. El caudal máximo de bombeo es de 240 l/s.
2. Estanque de albañilería estucado, para aquietar el flujo y traspasarlo a la plataforma de ensayo.
3. Plataforma de ensayo (calle a escala real) de 14,0 metros de largo por 3,5 metros de ancho. El rango de pendientes siguiente: Longitudinal: 0 – 10% y transversal: 0 – 5%.
4. Zona de sumideros en la calle y vereda, dividida en cinco módulos de 1 metro cada uno.
5. Obra de recepción y registro del caudal no captado por los sumideros y retorno del agua.

4. EXPERIMENTACION CON SUMIDERO TIPO 1

Se presentan los resultados preliminares de la experimentación del sumidero aislado denominado tipo 1, con las siguientes características:

- Dimensiones: 1m de longitud y 0,7m de ancho
- Reja metálica compuesta por pletinas longitudinales de 10x100 mm separadas a 5 cm y barras circulares transversales de 20mm de diámetro separadas a 5cm.
- Esta reja de uso en Chile presenta ventajas estructurales, viales e hidráulicas.
- Se ubica a nivel de la calle en la intersección con la solera.
- Considera sobre la solera una ventana lateral de 10 cm de alto.

La foto N° 2 presenta la forma y disposición de este sumidero.



FOTO N° 2: Sumidero tipo 1

Se analiza el comportamiento de este sumidero para las siguientes condiciones típicas de las calles de las principales ciudades de Chile:

- Caudal total o de alimentación (QT): 20, 40, 60, 80, 100 y 120 lt/s
- Pendiente longitudinal (PL): 0.1, 0.5 y 1%
- Pendiente transversal (PT): 1, 2 y 3%

Se registra lo siguiente para cada combinación de estas variables:

- nivel de aguas inmediatamente aguas arriba del sumidero
- fracción de caudal total captado (QC) por el sumidero

Las fotos N° 3 y 4 muestran aspectos del funcionamiento general del modelo.

4.1 Resultados preliminares

Se define altura de agua media frontal, como el promedio de las alturas de aguas extremas que enfrentan el ancho de la reja de captación. Esto para caracterizar la carga sobre la reja, debido la altura de agua varía transversalmente por la inclinación de la calle.

Se define la eficiencia de captación del sumidero como el cociente entre el caudal captado (QC) y el caudal total que escurre por la calle (QT).

Se presenta a continuación los resultados preliminares obtenidos de esta experimentación. El Cuadro N° 2 resume la altura de agua media frontal para cada caso y de igual forma el Cuadro N° 3 incluye la eficiencia de captación.

El gráfico N° 1 presenta estos últimos resultados. En éste se diferencia por colores los resultados asociados a la pendiente longitudinal (PL) y por tipo de línea los de pendiente transversal (PT).

CUADRO N° 2: ALTURA DE AGUA MEDIA FRONTAL (cm) - SUMIDERO TIPO 1

QT (lt/s)	PT= 1%			PT=2%			PT=3%		
	PL=0.1%	PL=0.5%	PL=1%	PL=0.1%	PL=0.5%	PL=1%	PL=0.1%	PL=0.5%	PL=1%
20	3.0	2.7	2.1	3.7	3.6	2.4	4.0	3.9	2.8
40	4.1	3.9	2.9	5.4	4.6	3.4	5.7	4.9	4.2
60	4.8	4.1	3.3	6.0	5.2	4.0	6.7	5.9	5.0
80	5.8	4.9	3.9	6.7	5.7	4.5	7.7	6.7	5.7
100	6.4	5.1	4.5	7.2	6.5	5.5	8.4	7.3	6.2
120	6.6	5.4	4.9	8.0	7.0	6.1	8.7	8.3	6.7

CUADRO N° 3: EFICIENCIAS DE CAPTACION (QC/QT %) - SUMIDERO TIPO 1

QT (lt/s)	PT= 1%			PT=2%			PT=3%		
	PL=0.1%	PL=0.5%	PL=1%	PL=0.1%	PL=0.5%	PL=1%	PL=0.1%	PL=0.5%	PL=1%
20	68.8	61.4	59.7	86.3	83.8	82.9	95.2	94.7	94.4
40	55.5	50.1	50.3	72.6	69.9	69.3	83.3	82.9	82.1
60	49.3	44.6	45.8	64.5	62.6	61.0	74.8	73.8	74.4
80	45.1	41.7	42.3	57.9	56.7	54.6	68.8	67.7	68.2
100	41.1	37.5	38.9	52.6	51.3	50.7	63.5	62.7	62.3
120	39.7	36.2	37.0	49.7	48.0	48.5	59.3	58.1	57.8

4.2 Análisis de resultados

Sobre la base de los resultados obtenidos para el caso presentado, se puede destacar y ratificar los siguientes aspectos de carácter general:

- Para un caudal constante, la altura de aguas media frontal sobre los sumideros aumenta al disminuir la pendiente longitudinal y al aumentar la pendiente transversal.
- Al aumentar el caudal total, disminuye la eficiencia de captación del sumidero.
- Al aumentar la pendiente transversal aumenta la eficiencia de captación.
- La eficiencia de captación es similar para PL=0.5 y 1%.
- La eficiencia de captación para PT=3% es independiente de la PL.
- Aspectos relevantes en la captación del sumidero son la sección frontal de la reja (ancho) y el caudal unitario que la enfrenta.
- Según el régimen de escurrimiento, en la captación del sumidero, colabora en menor grado el resto del perímetro de la reja (lateral y posterior).
- Bajo las condiciones de reja limpia, la ventana lateral no contribuye a mejorar la captación del sumidero.

GRAFICO N° 1: EFICIENCIA CAPTACION SUMIDERO TIPO 1

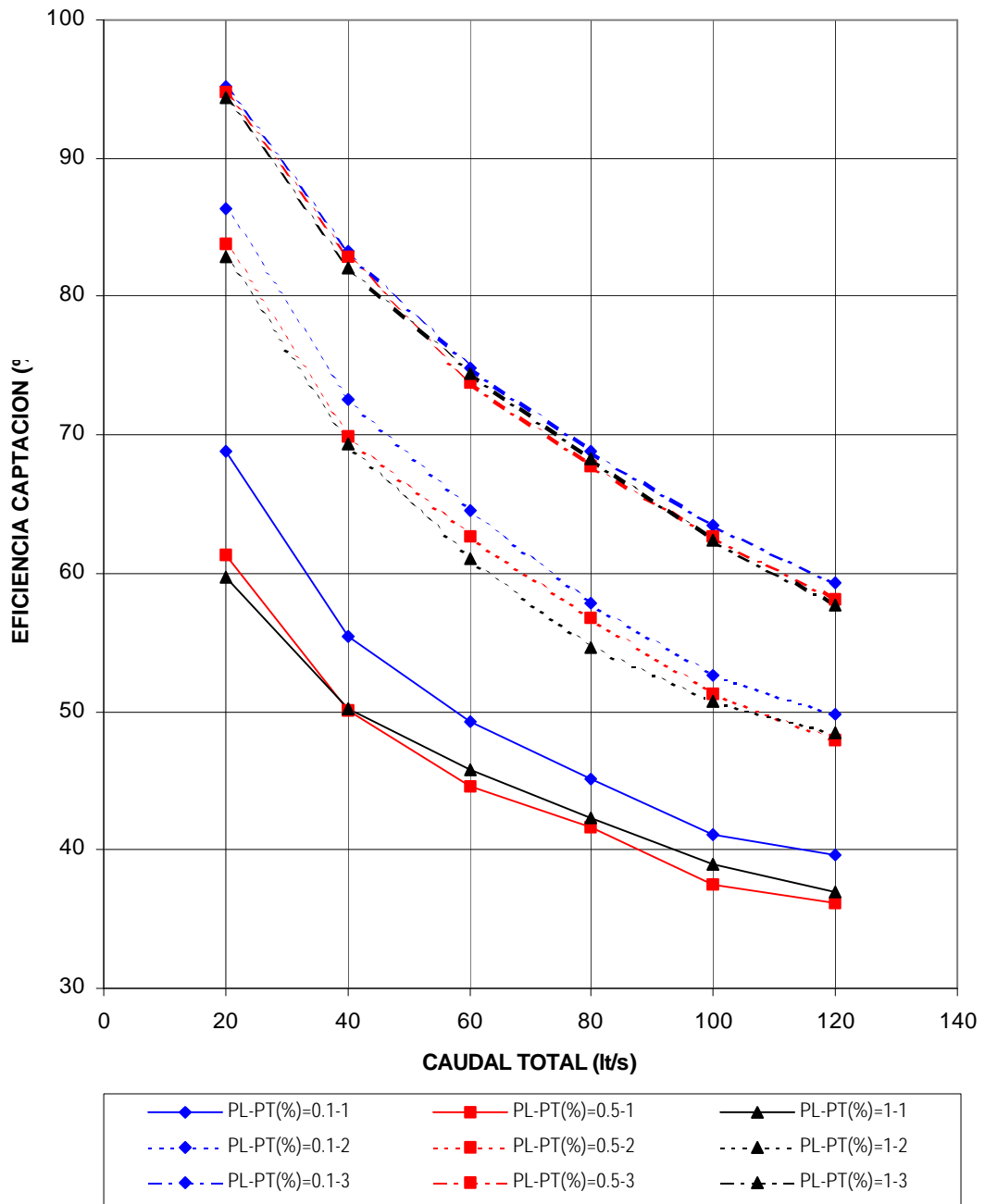




FOTO N° 3: Vista del funcionamiento del sumidero (PL=0.5%, PT=2% y Q=120 lt/s)



FOTO N° 4: Vista Funcionamiento general del modelo (PL=0.5%, PT=2% y Q=80 lt/s)

5. CONCLUSIONES

Se ha construido una instalación experimental para estudiar el comportamiento hidráulico de las obras de captación de aguas lluvias urbanas, cuya principal característica es la posibilidad de modificar tanto la pendiente longitudinal como transversal de la calle que se representa en escala real.

Los resultados de las experiencias preliminares muestran la potencialidad de la instalación, cuya operación permitirá recomendar los tipos de sumideros y obras asociadas a éstos, para casos generales y particulares.

Con la experimentación en desarrollo, se espera ratificar las conclusiones expuestas y proponer relaciones empíricas que sirvan de apoyo a los ingenieros proyectistas de drenaje urbano.

6. REFERENCIAS

1. I.N.H., 1970. "Sumideros de aguas lluvias, estudio en modelo reducido", Dirección de Obras Sanitarias.
2. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, may 2001. S. C. Kranc and others. Hydraulic Performance of several curb and gutter inlets.
3. Manuel Gómez, Pablo Martínez, Javier González, 2000. "Análisis del comportamiento hidráulico de rejas y sumideros". XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica.
4. Gómez Manuel, González Javier y otros, 1998, "Una metodología de sumideros y de cálculo del caudal captado en viales urbanos". XVIII Congreso latinoamericano de Hidráulica Oaxaca, México.
5. David Pezzaniti, Linton Johnston and John R. Argue, 1999. Road Surface Stormwater drainage hydraulics new design information. Sydney, Australia.
6. Leonardo Nanía Escobar, , Gómez Manuel, Dolz José, 1998, "Modelación de la escorrentía pluvial en cruces de calles", XVIII Congreso latinoamericano de Hidráulica Oaxaca, México.
7. Leonardo Nanía Escobar, 1999. Metodología numérico experimental para el análisis del riesgo asociado a la escorrentía pluvial en una red de calles. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya.
8. U.S. Department of Transportation, 2001. Hydraulic Engineering Circular N° 22, Second Edition (HEC-22). Urban Drainage Design Manual.