

**XXIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA  
CARTAGENA DE INDIAS COLOMBIA, SEPTIEMBRE 2008**

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL FUNCIONAMIENTO  
DE SUMIDEROS DE AGUAS LLUVIAS.  
CASO: INCORPORACIÓN DE ZONAS DE INFLUENCIA**

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

**RESUMEN:**

Con el objeto de mejorar la eficiencia de captación de los sumideros de aguas lluvias ubicados comúnmente a nivel de la calle, este estudio experimental realizado en el Banco de Pruebas de Sumideros de Aguas Lluvias del Instituto Nacional de Hidráulica de Chile (INH), consideró la incorporación de zonas de influencia o de encauzamiento del flujo hacia el sumidero, consistente en una depresión de 7cm de la reja con respecto a la superficie de la calle con un área de influencia de 3m de longitud y 1m de ancho.

El análisis consideró combinaciones de pendientes de la calle longitudinal (0.1, 1 y 3%) y transversal (1, 2 y 3%), caudales entre 20 y 180 [lt/s] y seis variantes de la geometría de la zona de influencia.

Los resultados experimentales obtenidos muestran un aumento de la eficiencia de captación de sumideros que incorporan una zona de influencia, con referencia al sumidero ubicado en la calle normal o no intervenida.

**ABSTRACT:**

This experimental study was developed in the hydraulics laboratory of Instituto Nacional de Hidraulica of Chile (INH). The study included the use of a full-size road drainage plataform with a drain inlet on one side and different types of inlets approach geometries. These approach geometries considered a 3m long and 1m wide depression area around the drain.

The laboratory tests include combinations of longitudinal slopes (0.1, 1 and 3%), crossfall slopes(1, 2 and 3%), flows (20 to180 [lt/s]) and six different types of drain inlet approaches.

The results of the study indicated that the flow collected through the inlets with an approach geometry is, in all cases, higher than the flow collected through the same inlet without an approach geometry.

**PALABRAS CLAVES:**

Sumidero, aguas lluvias, experimental.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Nacional de Hidráulica de Chile dispone, en su laboratorio de Peñaflor, de una instalación experimental denominada “Banco de Pruebas de Sumideros de Aguas Lluvias” que permite analizar el comportamiento hidráulico de estas estructuras desde el punto de vista eficiencia de captación.

Esta facilidad se implementó dentro del contexto de solución y mejoramiento, impulsado por el gobierno, a los problemas de drenaje urbano de aguas lluvias que históricamente han afectado a las principales ciudades de Chile. Análisis preliminares indicaron que entre las causas importantes del mal funcionamiento del drenaje urbano se encuentran los sumideros de aguas lluvias encargados de captar y evacuar las aguas que escurren principalmente por las vías de circulación.

Esta línea de investigación tiene por objetivo final elaborar, sobre la base de la experimentación desarrollada y conocimiento adquirido, un manual de diseño que facilite al proyectista urbano la definición adecuada de estas obras y además permita uniformar los criterios de diseño y exigencias entre los distintos organismos involucrados en el tema drenaje urbano.

La estación experimental consiste básicamente en un circuito hidráulico y una plataforma de pendientes variables que representa una calle de hormigón a escala real, de 14m de longitud y 3.5 m de ancho. Esta instalación dispone de mecanismos que permiten modificar la pendiente longitudinal y transversal en un 10 y 5% respectivamente con referencia al plano horizontal y dispone de una capacidad de bombeo máxima 180[lit/s]. Tiene implementado dispositivos que permiten registrar el caudal total o de alimentación y el caudal pasante, siendo la diferencia el caudal captado por el sumidero (Kaliski E. y Cortez R., 2004). La Figura 1 presenta una vista general de este banco de pruebas experimental.

La definición de esta facilidad a escala prototipo o real presenta como ventajas eliminar los efectos originados por los fenómenos hidráulicos presentes al reducir la escala y permitir probar directamente sumideros comerciales disponibles de uso habitual.

Esta línea de investigación se inicio con la construcción en implementación de la facilidad descrita. La experimentación ya realizada ha considerado las siguientes fases, objetivos y principales resultados desde el punto de vista eficiencia de captación:

- Sumidero ubicados sobre la calle: Diagnóstico hidráulico de distintos tipos y configuraciones de reja de uso común ubicados en la calle, definidos principalmente bajo conceptos teóricos, estructurales y prácticos. Se obtuvo la eficiencia de captación que permitió identificar cuales presentaban un mejor funcionamiento y las principales variables involucradas en la capacidad de captación (Kaliski E. y Cortez R., 2005). Los resultados indicaron que la eficiencia de captación de los sumideros (Caudal captado / Caudal total de la calle) es baja y varía entre 25 y 50%, lo cual explica en gran medida los caudales excedentes hacia aguas abajo, presencia de agua en las calles y las inundaciones de avenidas principales o sectores bajos.
- Sumideros ubicados fuera de la calle: La ubicación del sumidero en la calle, sobre la vía de tránsito, requiere que este elemento sea estructuralmente robusto y afecta negativamente en algún grado el tránsito vehicular. Se planteó como objetivo evaluar el costo hidráulico de emplazar el sumidero fuera de la calle. Entonces, las ventajas comparativas de desplazar el sumidero fuera de la calle hacen atractivo su análisis para evaluar desde el punto de vista hidráulico cuanto es afectada su eficiencia de captación. Como resultados se obtuvo que se reduce en forma importante la eficiencia de captación para pendientes longitudinales altas y pendientes transversales bajas (Cortez R. y Kaliski E., 2006).

De esta forma, esta nueva alternativa propuesta, motivo de este trabajo, concentra su objetivo en buscar la forma de aumentar la eficiencia de captación y contrastarla con los resultados obtenidos para la reja similar ubicada en la calle.

A continuación se presenta los aspectos relevantes de la experimentación, del caso sumidero ubicado en la calle ya realizada, como condición de referencia y contraste. Luego se presenta la experimentación y resultados de la alternativa propuesta, contrastando los resultados con la situación de referencia y finalmente se emiten algunas conclusiones al respecto.



**Figura 1.-** Vista General del Banco Experimental de Sumideros de Aguas Lluvias

## **2. EXPERIMENTACION REFERENCIA CASO SUMIDERO EN LA CALLE**

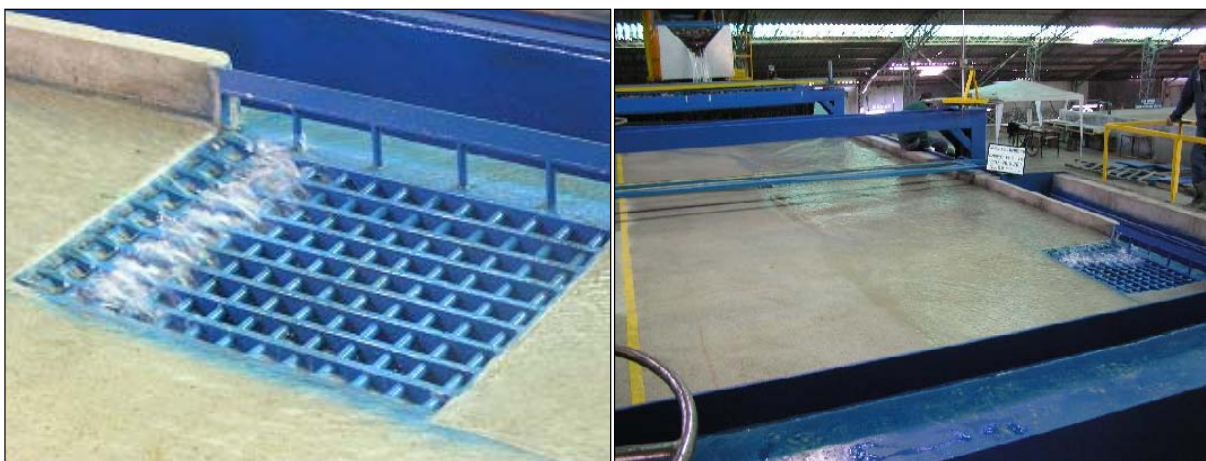
Este análisis experimental ya realizado, consideró el análisis de la eficiencia de captación de 5 tipos de sumideros, ubicados en la calle, de uso habitual en Chile. El sumidero denominado DOH fue la estructura que presentó un mejor comportamiento desde el punto de vista eficiencia de captación y, para este trabajo, es considerado como de referencia para contrastar nuevas configuraciones de sumideros.

Este sumidero consiste en una reja metálica de 0.7m de ancho y 1.0m de largo, en el sentido del escurrimiento, se ubica sobre la calle adyacente a la solera, sobre la cual se emplaza una ventana lateral de igual longitud al sumidero. La Figura 2 ilustra aspectos de esta reja, configuración y de la experimentación desarrollada.

Los resultados obtenidos en cuanto a eficiencia de captación, relación entre caudal captado por el sumidero con el caudal total que evacua la calle, se presentan en la siguiente Tabla 1. Los resultados presentados en esta tabla están en función de la pendiente de la calle longitudinal, pendiente transversal y el caudal total o de alimentación. En esta etapa del estudio sólo se analizó los dispositivos de captación hasta un caudal máximo de 120[lit/s].

**Tabla 1.-** Eficiencia de Captación Caso Sumidero en la Calle (Referencia)

PENDIENTE CALLE (%)		EFICIENCIA CAPTACIÓN (%)					
LONG.	TRANS.	CAUDAL TOTAL (lt/s)					
		20	40	60	80	100	120
0.1	1	68.8	55.5	49.3	45.1	41.1	39.7
	2	86.3	72.6	64.5	57.9	52.6	49.7
	3	95.2	83.3	74.8	68.8	63.5	59.3
1	1	59.7	50.3	45.8	42.3	38.9	37.0
	2	82.9	69.3	61.0	54.6	50.7	48.5
	3	94.4	82.1	74.4	68.2	62.3	57.8
	5	-	-	88.3	82.0	76.0	72.0
3	1	64.0	54.8	49.7	45.6	42.6	40.1
	2	91.8	73.0	69.2	65.7	61.5	57.2
	3	94.4	82.8	74.2	68.1	61.8	59.6



**Figura 2.-** Aspectos de la Experimentación con el Sumidero en la Calle (Caso Referencia)

### 3. EXPERIMENTACIÓN CASO SUMIDERO CON ZONA DE INFLUENCIA

#### 3.1 Introducción

Se habilitó la estación experimental con el objeto de permitir la implementación de áreas de influencia en la calle. Para reducir el impacto de la zona de influencia sobre la calle, se desplazó la reja del sumidero al interior de la vereda, coincidiendo el eje longitudinal de la reja con la línea que delimita la solera con la calle. Considera además una ventana lateral de 0.1m de altura, adyacente a la reja, ubicada en la vereda.

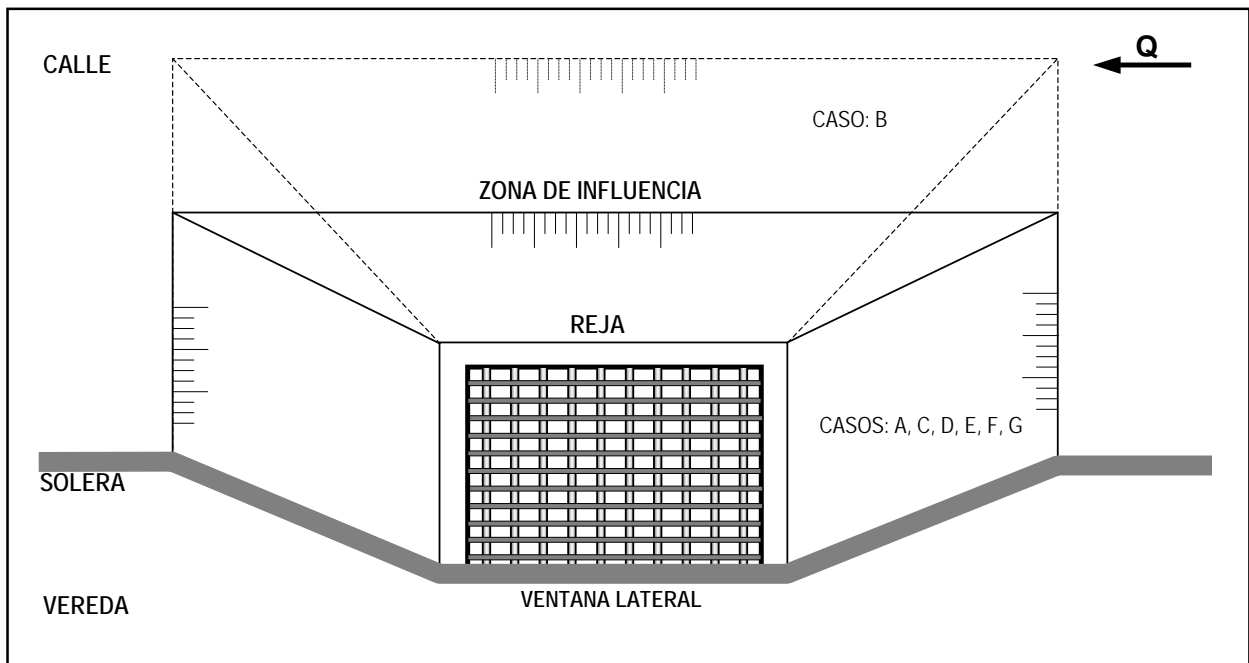
Se consideró para este análisis el sumidero denominado DOH, descrito en el punto anterior, para contrastar los resultados obtenidos para condiciones similares al sumidero ubicado en la calle (situación de referencia).

Las Figuras 3 y 4 ilustran un esquema en planta y vistas de la configuración utilizada.

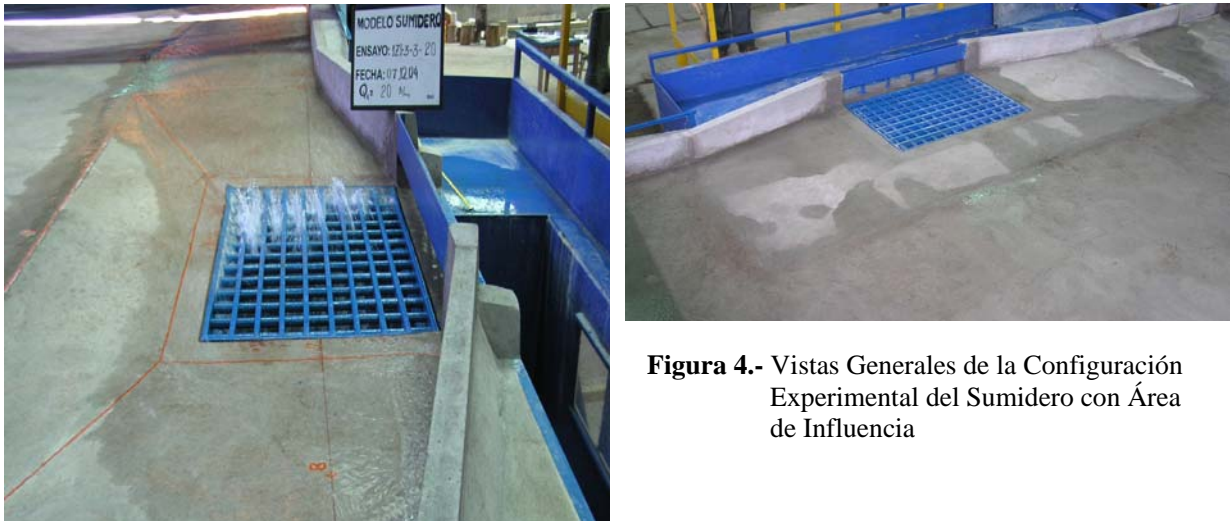
### 3.2 Objetivos

Evaluar experimentalmente la eficiencia de captación de distintas configuraciones de sumideros con áreas de influencia que encaucen el flujo de la calle a la reja. Específicamente se considero lo siguiente:

- Análisis de la eficiencia de captación del sumidero con desnivel, respecto a la calle, de 0.07, 0.05 y 0.03m, con áreas de influencia de 1.0m aguas arriba y abajo del sumidero y de 0.5m en el sentido transversal.
- Análisis de la eficiencia de captación considerando una intervención transversal adicional en la calle de 0.5m.
- Análisis del efecto de la ventana lateral en la eficiencia de captación
- Contrastar los resultados obtenidos con la situación de referencia (reja en la calle).



**Figura 3.-** Esquema en Planta de la Configuración de los Casos Considerados



**Figura 4.-** Vistas Generales de la Configuración Experimental del Sumidero con Área de Influencia

### 3.3 Experimentación Realizada

Para cumplir con los objetivos planteados, se desarrollaron series de experiencias variando el caudal total ( $Q_T$ ) para distintas combinaciones de pendientes de calle: longitudinal ( $P_L$ ) y transversal ( $P_T$ ). Se analizaron las siguientes casos:

- Caso A: Desnivel respecto a la calle de 0.07m, con áreas de influencia de 1.0m en el sentido longitudinal y de 0.5m en el sentido transversal (Instalación básica).
- Caso B: Desnivel respecto a la calle de 0.07m, con áreas de influencia de 1.0m en el sentido longitudinal y de 1.0m en el sentido transversal.
- Caso C: Desnivel respecto a la calle de 0.05m, con áreas de influencia de 1.0m en el sentido longitudinal y de 0.5m en el sentido transversal.
- Caso D: Desnivel respecto a la calle de 0.03m, con áreas de influencia de 1.0m en el sentido longitudinal y de 0.5m en el sentido transversal.
- Caso E: Caso A con ventana lateral sellada (captación sólo por la reja).
- Caso F: Caso A con reja sellada (captación sólo por la ventana).
- Caso G: Caso F con ventana lateral adicional.

Los dos primeros casos (A, B) permiten analizar la influencia del tamaño del área de influencia transversal. Los casos A, C y D permiten evaluar la influencia de la depresión o desnivel respecto al nivel de la calle. El caso E permite cuantificar el aporte de la ventana lateral a la captación. El caso F presenta los resultados para la situación en que la captación se efectúa sólo por la ventana lateral (caso que puede presentarse cuando la reja se obstruya por basuras transportadas por el agua). Finalmente los casos F y G permiten evaluar el efecto de la longitud de la ventana lateral con reja sellada.

Las Figuras 5 a 10 ilustran aspectos de cada configuración y experimentación de los casos descritos respectivamente. Para cada caso se presentan dos fotografías y se indica la situación experimental a la que corresponde cada una: caudal total por la calle ( $Q_T$ ), pendientes de la calle longitudinal ( $P_L$ ) y transversal ( $P_T$ ).



**Figura 5.-** Caso A: Izq. ( $P_L=1\%$ ;  $P_T=2\%$ ;  $Q_T=40[\text{lt/s}]$ ) – Der. ( $P_L=3\%$ ;  $P_T=3\%$ ;  $Q_T=180[\text{lt/s}]$ )



**Figura 6.-** Caso B: Izq. ( $P_L=1\%$ ;  $P_T=3\%$ ;  $Q_T=180[\text{lt/s}]$ ) – Der. ( $P_L=3\%$ ;  $P_T=2\%$ ;  $Q_T=180[\text{lt/s}]$ )



**Figura 7.-** Izq. Caso C: ( $P_L=1\%$ ;  $P_T=2\%$ ;  $Q_T=80[\text{lt/s}]$ ) – Der. Caso D ( $P_L=0.1\%$ ;  $P_T=3\%$ ;  $Q_T=180[\text{lt/s}]$ )



**Figura 8.-** Caso E: Izq. ( $P_L=0.1\%$ ;  $P_T=1\%$ ;  $Q_T=180[\text{lt/s}]$ ) – Der. ( $P_L=0.1\%$ ;  $P_T=3\%$ ;  $Q_T=120[\text{lt/s}]$ )



**Figura 9.-** Caso F: Izq. ( $P_L=0.1\%$ ;  $P_T=3\%$ ;  $Q_T=120[\text{lt/s}]$ ) – Der. ( $P_L=3\%$ ;  $P_T=2\%$ ;  $Q_T=180[\text{lt/s}]$ )



**Figura 10.-** Caso G: Izq. ( $P_L=0.1\%$ ;  $P_T=3\%$ ;  $Q_T=180[\text{lt/s}]$ ) – Der. ( $P_L=1\%$ ;  $P_T=1\%$ ;  $Q_T=120[\text{lt/s}]$ )



### 3.4 Resultados

La siguiente Tabla 2 resume los resultados experimentales de eficiencia de captación determinada para cada caso de sumidero analizado.

**Tabla 2.-** Eficiencia de Captación Obtenidas (Reja con áreas de influencia)

PENDIENTE CALLE (%)		Q <sub>T</sub> (lt/s)	EFICIENCIA CAPTACIÓN (%)							
LONG.	TRANS.		REF.	CASO A	CASO B	CASO C	CASO D	CASO E	CASO F	CASO G
0.1	1	60	49.3		93.1	80.9	70.7			
		80	45.1	76.5		72.2	61.5			
		120	39.7	65.7	71.0	61.4	50.5	65.6	52.1	
		180		56.7	52.7	48.0	38.2	57.5	39.5	
	2	60	64.5		100	96.2	86.2		88.9	96.6
		80	57.9	92.2		87.6	76.0			
		120	49.7	79.4	83.4	74.5	64.1	80.6	62.0	81.0
		180		68	65.1	57.7	48.3	68.4	46.2	68.2
	3	60	74.8		100	100	93.1			
		80	68.8	99.5		95.8	84.3			
		120	59.3	89.1	89.0	82.9	72.0	89.1	66.6	
		180		77.5	72.5	66.5	58.3	77.8	53.9	
1	1	60	45.8		79.9	68.4	54.5		53.7	73.8
		80	42.3	68.9		58.5	46.6			
		120	37.0	55.3	52.3	47.0	38.4	54.6	30.5	56.6
		180		43.8	36.0	33.5	28.2	44.5	24.2	45.9
	2	60	61.0		86.8	78.9	63.4			
		80	54.6	82.2	75.6	68.8	55.9			
		120	48.5	68.1	63.0	58.4	49.2	66.1	36.9	
		180		54.5	45.9	44.4	38.7	54.7	29.7	
	3	60	74.4		93.2	93.0	78.0			
		80	68.2	92.1		78.1	64.9			
		120	57.8	73.1	66.6	60.9	52.8			
		180		61.1	50.9	48.6	44.1			
3	1	60	49.7		54.1	54.5	45.7			
		80	45.6	56.3	44.1	43.7	39.3			
		120	40.1	41.4	33.5	35.3	32.3			
		180		32.2	22.1	25.3	23.5			
	2	60	69.2		67.6	72.0	62.1			
		80	65.7	76.3	61.7	62.7	56.5			
		120	57.2	58.6	49.6	52.0	47.6	59.0	17.3	
		180		44.4	33.3	38.1	34.1	45.2	13.8	
	3	60	74.2		67.9	71.3	63.4			
		80	68.1	76.8	59.4	63.2	58.5			
		120	59.6	64.7	53.4	56.7	54.7			
		180		55.6	43.4	50.2	47.4			

### 3.5 Análisis de Resultados

Las Figuras 11 a 13 resumen gráficamente, para los casos: Referencia, A, B, C y D, los resultados de la eficiencia de captación obtenida en función del caudal total de la calle, para pendientes de la calle longitudinales bajas (0,1%), medias (1,0%) y altas (3,0%), y pendientes transversales (bombeo) de 1 y 3%.

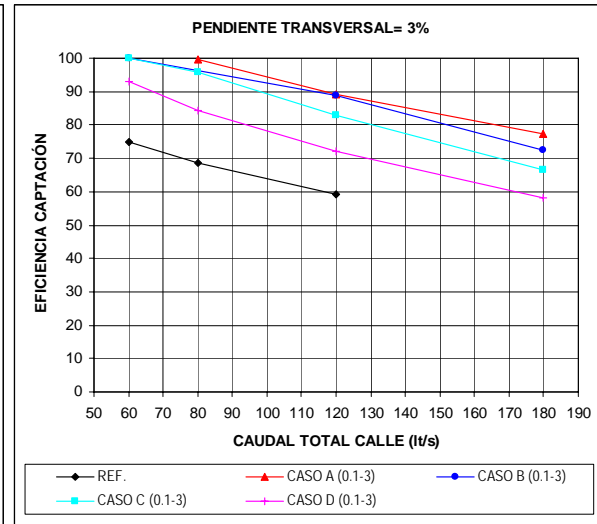
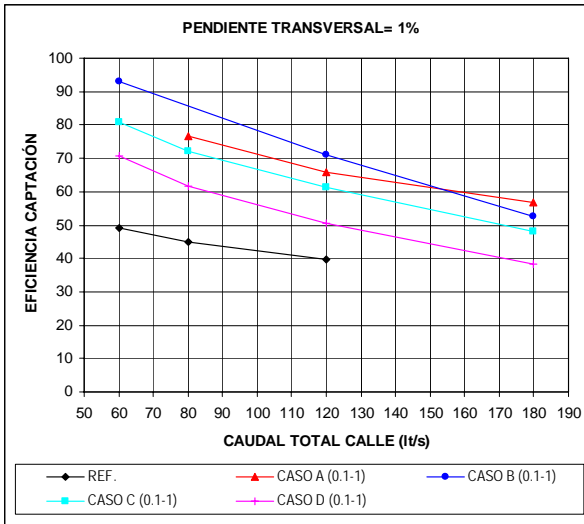
De la misma forma, la Tabla 3 contrasta los valores de eficiencia obtenidos para cada caso, para una situación representativa de las calles en la ciudad de Santiago de Chile, para a un caudal total que escurre por la calle de 120[lit/s] y pendiente transversal de 2%.

**Tabla 3.-Eficiencias de Captación ( $Q_T=120$  [lit/s] y  $P_T=2\%$ )**

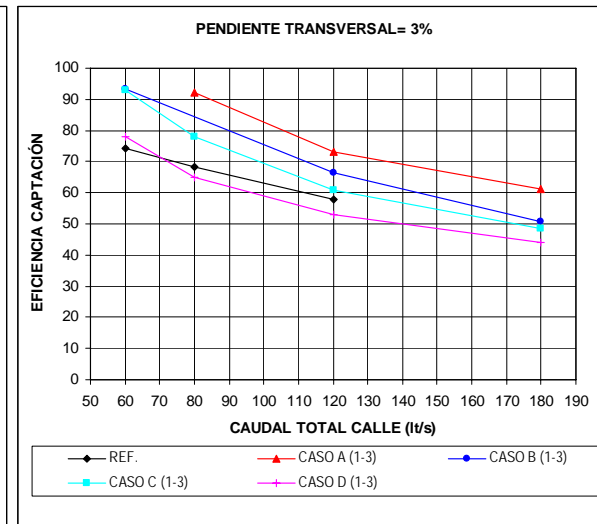
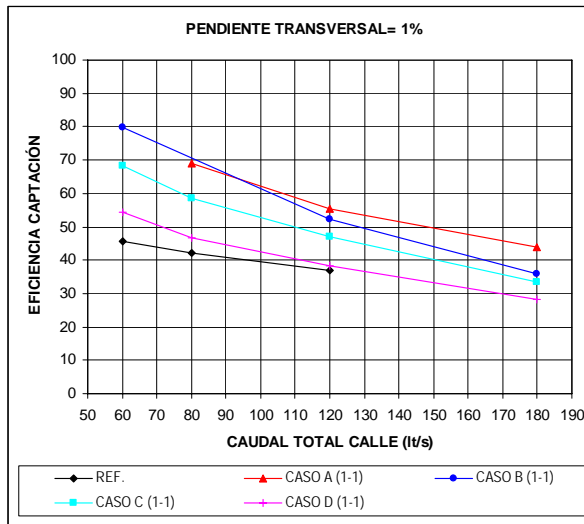
CASO	PENDIENTE LONGITUDINAL		
	BAJA (0.1 %)	MEDIA (1.0 %)	ALTA (3.0%)
REFERENCIA	49.7	48.5	57.2
A	79.4	68.1	58.6
B	83.4	63.0	49.6
C	74.5	58.4	52.0
D	64.1	49.2	47.6
E	80.6	66.1	59.0
F	62.0	36.9	17.3
G	81.0	-	-

Sobre la base de estos resultados experimentales obtenidos, se puede expresar lo siguiente:

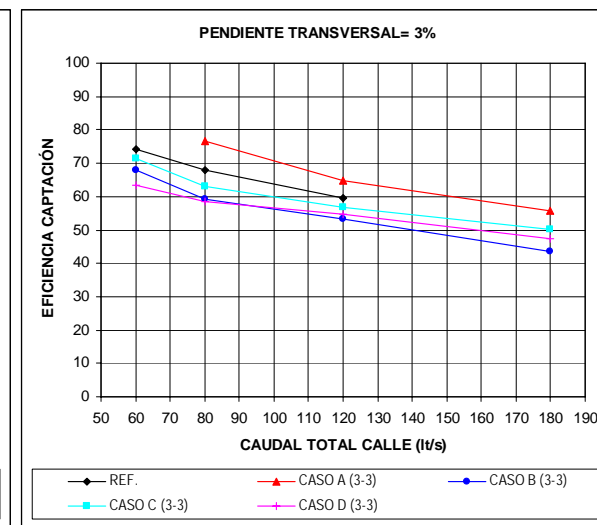
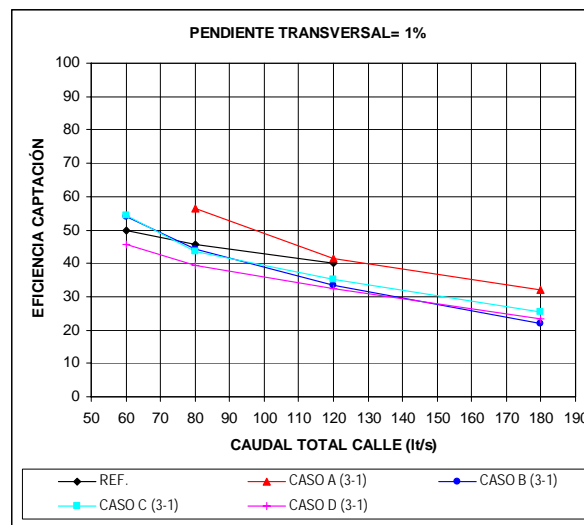
- El funcionamiento hidráulico general del sumidero con zona de influencia o depresión, sigue un comportamiento general similar al sumidero normal, en cuanto a la importancia de las variables involucradas, tales como la pendiente longitudinal, la pendiente transversal, el caudal en la calle, ancho frontal al flujo, entre otras. Esto se verifica en las mismas formas de las curvas de eficiencia de captación del sumidero, en función del caudal de la calle y en la observación de las mediciones de las experiencias realizadas.
- En la depresión, se produce un aceleramiento del flujo en el talud de aguas arriba que escurre sobre la reja, formándose un resalto sobre el talud de aguas abajo de la zona de depresión, variando su posición según pendientes y caudal.
- Producto de lo anterior, una parte del remanso del resalto retorna al sumidero y es captada, lo que explica porque para pendientes longitudinales más bajas es más eficiente este sumidero, debido a que el resalto queda más confinado en la zona de influencia. Para pendientes mayores, parte del resalto es rechazado hacia aguas abajo, fuera del área de influencia.



**Figura 11.-** Eficiencias de Captación en función del Caudal para Pendiente Longitudinal de 0.1%



**Figura 12.-** Eficiencias de Captación en función del Caudal para Pendiente Longitudinal de 1%



**Figura 13.-** Eficiencias de Captación en función del Caudal para Pendiente Longitudinal de 3%.

- Para el Caso A (instalación básica), la eficiencia de captación del sumidero, con la zona de influencia experimentada, demuestra ser mayor en todos los casos, a su similar normal o en la calle, para las mismas condiciones de pendientes y caudales de la calle. En efecto, para las pendientes longitudinales de 0,1%, 1,0% y 3,0%, el aumento de la eficiencia de captación es del orden de un 30%, 25% y 10%, respectivamente. Lo anterior demuestra que el mejoramiento de la captación del sumidero es posible de lograr mediante una zona de influencia como la experimentada.
- En el Caso B (área influencia transversal 0,50 m más ancha), para pendientes longitudinales bajas (0,1%), se obtiene una eficiencia de captación similar a la instalación básica. Sin embargo, para pendientes longitudinales medias (1%) y altas (3%), la eficiencia de captación disminuye, siendo en algunos casos menores a la calle normal. Por lo tanto, se concluye que no resulta atractiva este tipo de instalación como complemento de la instalación básica, ya que disminuye la eficiencia de captación.
- En la variación del desnivel de la zona de influencia, Casos C y D los resultados obtenidos indicaron que, en prácticamente todos los casos, la eficiencia de captación es menor que en la Instalación Básica (Caso A) y disminuye cuando es menor el desnivel de la zona de influencia.
- En el Caso E (sin ventana lateral), se verificó que, al estar sólo la reja del sumidero abierta, prácticamente no hay diferencia en la eficiencia de captación, con respecto a la instalación Básica (Caso A), lo cual indica que la ventana lateral no contribuye sensiblemente en la captación.
- Para el caso F (reja sellada), para pendientes longitudinales bajas, el sumidero con zona de influencia es más eficiente utilizando sólo la ventana lateral, siendo en este caso mayor que en la calle normal. Para la pendiente longitudinal de 1,0%, la eficiencia de captación es del mismo orden, en tanto que para pendientes longitudinales mayores, ésta se reduce sustantivamente.
- Finalmente, con el Caso G (ventana lateral adicional y reja sellada) se concluyó que al estar la reja del sumidero cerrada, aumenta sensiblemente la captación por la presencia de la ventana adicional, siendo incluso siempre mayor que la captación del sumidero en calle normal (sin depresión o zona de influencia). De esto, se concluye que la segunda ventana lateral, en general, permite mejorar la eficiencia de captación del sumidero.

#### 4. CONCLUSIONES

Como principales conclusiones derivadas de este análisis experimental, destacan:

- La eficiencia de captación disminuye al aumentar el caudal y la pendiente longitudinal de la calle, aumenta al incrementar la pendiente transversal.
- Es posible aumentar la eficiencia de captación de sumideros en la calle incorporando áreas de influencia que encaucen el flujo hacia la reja, particularmente para pendiente longitudinal baja.
- La eficiencia de captación aumenta con el desnivel del área de influencia.
- La eficiencia de captación de la ventana lateral en una adecuada disposición puede superar la eficiencia de captación por la reja.
- No obstante los resultados positivos obtenidos al incorporar un área de influencia al sumidero normal, desde el punto de vista eficiencia hidráulica, deberá evaluarse oportunamente en cada caso particular, el impacto que esta intervención en la calle tendrá sobre la actividad o tránsito vehicular que se desarrolle sobre la vía.

#### AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo y financiamiento otorgado para este proyecto, a la Dirección de Obras Hidráulicas y al Centro de Innovación Tecnológica, ambas instituciones vinculadas al Ministerio de Obras Públicas de Chile.

#### REFERENCIAS

**Gómez M., Martínez P. y González J., (2000).** "Análisis del comportamiento hidráulico de rejillas sumideros". *XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica*.

**Instituto Nacional de Hidráulica, INH, (2004).** "Análisis de zonas de influencia para sumideros de aguas lluvias – Primera parte".

**Instituto Nacional de Hidráulica, INH, (2005).** "Estudio experimental para mejorar la captación de sumideros de aguas lluvias - Etapa I", Dirección de Obras Hidráulicas e Innovación Tecnológica – MOP.

**Kaliski E. y Cortez R., (2004).** "Plataforma de pendientes variables para la experimentación de sumideros de aguas lluvias" *XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, São Pedro, Estado de São Paulo, Brasil*.

**Kaliski E. y Cortez R., (2005).** "Estudio Experimental del Funcionamiento de Sumideros de Aguas Lluvias". *XVII Congreso Chileno de Hidráulica, Valparaíso, Chile*.

**Cortez R. y Kaliski E., (2006).** "Estudio Experimental del Funcionamiento de Sumideros de Aguas Lluvias. Caso: Sumidero ubicado fuera de la calle". *XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Ciudad Guayana, Venezuela*.