



*Centro Regional Litoral  
Instituto Nacional del Agua*



**PROVINCIA DE SANTA FE**  
Secretaría de Estado de Ciencia, Tecnología e Innovación

## **PROGRAMA DE PROMOCION DE LAS ACTIVIDADES CIENTIFICO-TECNOLÓGICAS Y DE INNOVACIÓN DE LA PROV. DE SANTA FE CON ENTIDAD ADOPTANTE**

### **PROYECTO: REGULACIÓN DE EXCEDENTES PLUVIALES EN CUENCAS URBANAS**

#### **INFORME FINAL**

**DIRECTOR: Ing. Alejandro SECCHI**

Ing. María Rosana Mazzón  
Sr. Luis Dopazo  
Téc. Miguel Genesio

**Junio 2012**

## ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
1.1.	Introducción.....	3
1.2.	Objetivos.....	3
<b>2.</b>	<b>SUBCUENCA URBANA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>4</b>
2.1.	Subcuenca Regimiento 12 de Infantería.....	5
2.2.	Recopilación de antecedentes.....	5
2.3.	Instrumental hidrometeorológico .....	7
2.4.	Instalación instrumental hidrometeorológico.....	8
<b>3.</b>	<b>GENERACIÓN DE DATOS HIDROMETEOROLOGICOS E HIDROMETRICOS .....</b>	<b>11</b>
<b>4.</b>	<b>DISPOSITIVOS REGULADORES DE CRECIDAS .....</b>	<b>11</b>
4.1.	Introducción.....	11
4.2.	Regulador Tipo para Bocas de Tormenta y domiciliario .....	11
4.2.1.	Descripción y Diseño.....	12
4.2.2.	Algoritmos matemáticos.....	16
<b>5.</b>	<b>APLICACIÓN SWMM A LA SUB. REGIMIENTO 12 DE INFANTERIA.....</b>	<b>18</b>
5.1.	Objetivos.....	18
5.2.	Descripción General del Modelo .....	18
5.3.	Aplicación del modelo SWMM. Simulación funcionamiento dispositivo.....	19
5.4.	Aplicación del modelo SWMM con simulación funcionamiento dispositivo en la subcuenca .....	22
5.5.	Análisis de Resultados y Conclusiones.....	41
<b>6.</b>	<b>EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE DESAGÜES PLUVIALES URBANOS DE LA SUBCUENCA REGIMIENTO 12 DE INFANTERIA.....</b>	<b>43</b>
6.1.	Introducción.....	43
6.2.	Muestreo en la subcuenca de Estudio.....	45
6.3.	Análisis de la Información obtenida en los muestreos y Conclusiones.....	48
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES GENERALES DEL ESTUDIO .....</b>	<b>49</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>51</b>
	<b>ANEXO I : PROTOCOLOS DE LABORATORIO .....</b>	<b>53</b>

## **1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

### **1.1. Introducción**

La mayoría de las grandes ciudades argentinas vienen sufriendo recurrentes inundaciones como producto del incremento de sus áreas impermeabilizadas y la consiguiente incapacidad de la red de drenaje pluvial en evacuar las aguas excedentes. Dado el crecimiento de tipo centrífugo que presentan las ciudades, los caudales excedentes generados por las nuevas áreas impermeabilizadas aguas arriba deben atravesar la red de colectores de los sectores más antiguos de la ciudad. Cuando la capacidad de transporte de la red se ve superada, las aguas atraviesan las ciudades superficialmente generando inundaciones.

El enfoque tradicional para encarar el problema del escurrimiento de las aguas pluviales en cuencas urbanas consiste en evacuar todos los volúmenes generados en forma rápida a las redes existentes. Esta pauta de diseño ha ido cambiando poco a poco, admitiéndose que la disminución del escurrimiento posee numerosas ventajas. Las técnicas aplicadas durante las últimas décadas para el control de inundaciones se basan fundamentalmente en el retardamiento del escurrimiento mediante sistemas de almacenamiento o infiltración.

Con el fin de contribuir a las soluciones de tipo estructural (aquellas relacionadas con la ejecución de obras) y no-estructural (normativas) al problema de las inundaciones pluviales en áreas urbanas, el Instituto Nacional del Agua (INA) ha desarrollado un programa de trabajo específico en este tema. El mismo comprende fundamentalmente el diseño y experimentación de dispositivos reguladores de caudales y las propuestas de reglamentación de aplicación correspondientes.

### **1.2. Objetivos**

El presente proyecto tiene como objetivos principales analizar mediante la aplicación de un modelo matemático hidrológico – hidráulico la aplicación de los dispositivos de regulación de los caudales picos desarrollados por el INA en una subcuenca perteneciente a la cuenca Guadalupe Oeste de la ciudad de Santa Fe y además realizar un muestreo de la calidad del agua de origen pluvial en una boca de tormenta perteneciente a la misma subcuenca.

En el marco de estos objetivos generales, se tienen los siguientes objetivos particulares:

- Simular matemáticamente la implementación de dispositivos reguladores de caudales en bocas de tormenta y dispositivos domiciliarios en una subcuenca urbana de la ciudad de Santa Fe con el fin de cuantificar los volúmenes totales necesarios a almacenar para que el conducto existente trabaje sin producir anegamientos.
- Determinación del efecto total de laminación en la cuenca estimando el amortiguamiento de los caudales picos, a partir de modelación hidrológica – hidráulica considerando la implementación de dispositivos reguladores en boca de tormenta.

- Simular el funcionamiento interno del dispositivo en boca de tormenta utilizando el modelo SWMM (Storm Water Management Model ) de libre acceso, con la finalidad de realizar transferencia de resultados y aplicaciones.
- Medición de niveles en una sección de control del conducto principal de la subcuenca con el fin de evaluar la variabilidad de los parámetros de calibración del modelo SWMM para dicha escala.
- Muestreo y análisis de la calidad del agua de origen pluvial en una boca de tormenta con el propósito determinar su grado de contaminación.

## **2. SUBCUENCA URBANA EXPERIMENTAL**

### **2.1. Subcuenca Regimiento 12 de Infantería**

La subcuenca seleccionada, **Regimiento 12 de Infantería**, se ubica en la zona noreste de la cuenca Guadalupe Oeste, la superficie de la misma es de 25.54 ha.

La cuenca Guadalupe Oeste, a su vez, se ubica en la zona noreste de la ciudad de Santa Fe, abarcando el barrio Guadalupe Oeste y parte de Guadalupe Este, con una superficie aproximada de 200 ha.

El uso predominante del suelo es de tipo residencial unifamiliar con algún uso comercial, industrial y espacios abiertos.

Esta subcuenca viene sufriendo un proceso de urbanización que se evidencia por un incremento importante del área impermeable. En el proyecto de investigación realizado en forma conjunta con la FICH en el año 2005 se calculó que la superficie impermeable media estimada en ese momento representaba un 53 % de la superficie total de la cuenca. La impermeabilidad media directamente conectada al sistema de drenaje pluvial se estimó hidrológicamente en 40 % de la superficie total.

Para este proyecto se estimó un aumento de la impermeabilidad media de un 30 %, obteniéndose un valor de 69.5 % y se consideró que el área impermeable cubierta por techos sea un 50 % de la impermeabilidad total, esto da un 34.75 %.

La subcuenca se caracteriza por tener pendientes superficiales bajas, en promedio, del orden del 0.3%.

De acuerdo a las características topográficas, hidrológicas e hidráulicas, se distinguen 8 subcuencas, ver Figura N° 1, que aportan al conducto pluvial que se desarrolla sobre la calle Regimiento 12 de Infantería. Las características físicas se muestran en la Tabla N° 1. La sección de salida se ubica sobre el conducto pluvial mencionado en su intersección con calle

Alvear.

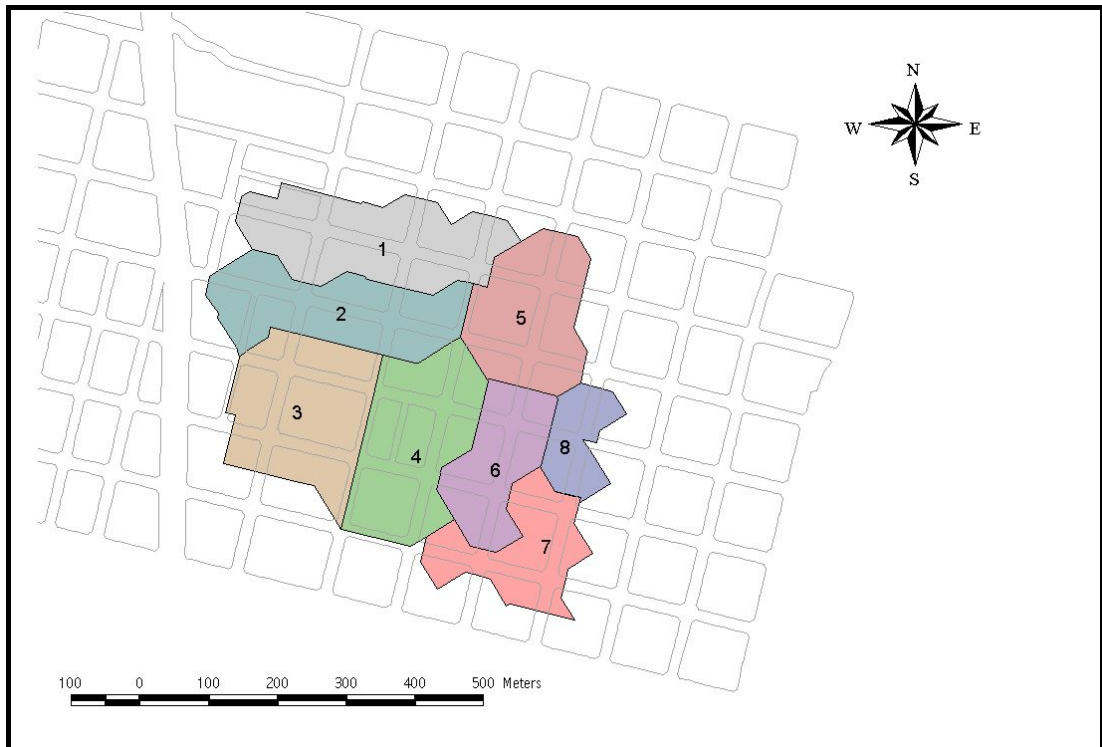


Figura N° 1: Discretización subcuenca experimental

SUB	AREA (Has)	I (%)	IMP(%)
SUB1	4.25	0.08	62
SUB2	3.7	0.19	65
SUB3	4.14	0.19	71
SUB4	3.97	0.29	71
SUB5	3.3	0.31	60
SUB6	2.4	0.16	75
SUB7	2.52	0.24	77
SUB8	1.26	0.14	74

Tabla N° 1: Características Físicas Subcuencas

## 2.2. Recopilación de antecedentes

Se recopilaron y analizaron una serie de proyectos, estudios de investigación y trabajos presentados a congresos, los cuales se detallan a continuación:

### **Proyectos de Investigación y Estudios Particulares:**

- Ensayo en Laboratorio del Dispositivo Laminador de Crecidas en Cuencas Urbanas. Proyecto de Investigación INA. Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, 1993
- Aplicación de Técnicas Modernas en el Control de Inundaciones en Cuencas Urbanas. Proyecto de Investigación INA . INCYTH (Centro Regional Litoral), 1995.
- Diseños Alternativos de Bocas de Tormenta ” Proyecto de investigación, Centro Regional Litoral (INA) y en el Laboratorio de Hidráulica de Ezeiza (INA). 1998
- Regulación de Caudales en Cuencas Urbanas - Implementación de Dispositivos, Ensayos de Campo y Modelación de Procesos en una Cuenca Experimental ” Proyecto de Investigación Conjunta INA -FICH. 2003
- Desarrollo de Nuevas Bocas de Tormentas - Etapa II. Proyecto de Investigación CRL-LHA (INA). 2003.
- Modelación y Experimentación de Sistemas Integrados a Redes de Desagües Pluviales Urbanos. Proyecto de Investigación CRL-LHA (INA). 2005.
- Regulación de Excedentes Pluviales, Obra Localidad de Adroque, Conducto Rosales. Convenio INA - Municipalidad de Alte Brown . 2005-2008
- Evaluación del Conducto Colón. Zona Centro Esteban Echeverría. Convenio Municipalidad de Esteban Echeverria. 2005
- Estudio de Medidas de Regulación de Excesos Pluviales en la Ciudad de Rosario. Convenio INA – Municipalidad de Rosario. 2006

### **Trabajos en Congresos y Seminarios:**

- Diseños Alternativos de Bocas de Tormenta. Secchi, Mazzón. Año 1998
- Estudio Hidrológico e Hidráulico del Emisario 9 de la Ciudad de Rosario y Alternativas de Solución. Congreso Nacional del Agua – Santa Fe. Secchi, Mazzón, Mottura.. 1998.
- Nuevas Tecnologías para contribuir a la Solución de las Inundaciones en Grandes Ciudades. XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica Córdoba 2000. Secchi, Mazzón.
- Nuevas Tecnologías para contribuir a la Solución de las Inundaciones en Grandes Ciudades. I Seminario de Drenagem Urbana do Mercosul – V Seminario Nacional de Drenagem Urbana. Porto Alegre, Brasil. Secchi, Mazzón, Bianchi, Giacosa.

- Estudios Hidrológicos e Hidráulicos Emisarios 9 y 10 – Ciudad de Rosario. III Jornadas de Saneamiento Pluvial Urbano. Rosario. Septiembre 2001. Secchi, Mazzón.
- Implementación de Medidas Estructurales y No Estructurales Para La Regulación de Excedentes Pluviales. Congreso Nacional del Agua – Córdoba 2002.
- Nuevas Tecnologías Para Contribuir a la Solución de las Inundaciones en Grandes Ciudades. Seminario - Gerenciamiento del Drenaje e Inundaciones en Áreas Urbanas. Secchi, Mazzón, Mottura, Porta.2002.
- Regulación de Caudales en Cuencas Urbanas. Implementación de Dispositivos, Ensayos de Campo y Modelación de Procesos en una Cuenca Experimental. Seminario Gestión del Drenaje Urbano. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Mazzón.
- Regulación de Excedentes Pluviales Obra Localidad de Adroque – Partido de Alte Brown. XX Congreso Nacional del Agua. III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur. Secchi, Mazzón. Año 2005.
- Estudio de la Capacidad de Captación de los Sumideros. XXI Congreso Nacional del Agua – Tucumán. Año 2007. Secchi, Bacchiega, Fattor, Barrionuevo, Mazzón. Tucuman. Año 2007.

Se utilizaron los datos recopilados a partir de los relevamientos planialtimétricos sobre la subcuenca Regimiento 12 de Infantería realizados en el proyecto de investigación conjunta "Regulación de Caudales en Cuencas Urbanas - Implementación de Dispositivos, Ensayos de Campo y Modelación de Procesos en una Cuenca Experimental" realizado entre el Instituto Nacional del Agua y la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas.

Los datos con los que se contó fueron:

- Planialtimetría de detalle de las intersecciones de calles, bocas de tormenta, cámaras de inspección de desagües pluviales y del sistema de cloacas.
- Relevamientos de detalle en todas las cámaras sobre el conducto principal, cuya traza se ubica debajo de calle República de Siria, entre Pavón y Regimiento 12 de Infantería y luego por ésta hasta Alvear. Datos obtenidos cotas de las tapas y los fondos de cámara, cotas de las acometidas de los desagües pluviales.
- La planimetría completa y el perfil longitudinal del conducto principal y conductos secundarios.

### **2.3. Instrumental hidrometeorológico**

Con el fin de medir los niveles alcanzados en los diferentes eventos meteorológicos se efectivizó la compra de un limnógrafo a flotador marca TECMES TS1300, ver Foto Nº 1. Este limnógrafo esta constituido por una terminal de adquisición de datos compuesta por:

- Un microcontrolador controla el flujo de operaciones que consiste en la toma de los datos del sensor y el almacenamiento de dicho valor en el cartucho de memoria.
- Una memoria del programa que se encuentra dentro del microcontrolador, siendo de una capacidad de 32 KB.
- Un reloj a tiempo real. Lleva la cuenta de la fecha, horas y minutos.
- Una interfase con el operador que consiste en un teclado numérico y display alfanumérico.
- Un cartucho de memoria no volátil con una capacidad de 32 Kb.

Además consta de un sensor de nivel, Modelo TS310F, a flotador que se usa para medir los niveles en la cámara aquietadora.



Foto N° 1

#### **2.4. Instalación instrumental hidrometeorológico**

El limnógrafo se instaló en proximidades de la intersección de las calles Regimiento 12 de Infantería y Alvear, en una casilla que sirve de protección contra intrusos y agentes atmosféricos, ver Figura N° 2.

El sensor (flotador) se ubico en una cámara aquietadora, construida con un caño de P.V.C. perforado de 0.40 m de diámetro, la cual esta vinculada al conducto principal de calle Regimiento 12 de Infantería. Ver Figura N° 3.



La función del sensor (flotador) es la de medir los cambios de nivel en el conducto principal, estos niveles asociados a las tormentas nos permitirán calibrar el modelo matemático. En la Figura N° 3 puede observarse que el flotador comenzará a registrar a partir de un nivel de agua en el conducto principal de 0.44 m debido a que el fondo de la cámara aquietadora está más elevado que el fondo del conducto.

En la s Foto N° 2 y 3 se observa el instrumental comprado e instalado.

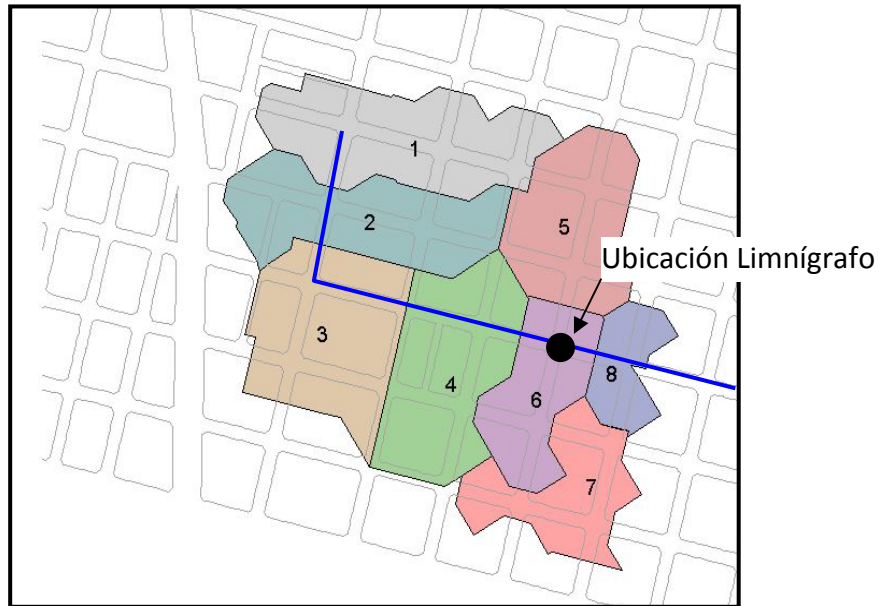


Figura N° 2: Ubicación limnógrafo en la subcuenca

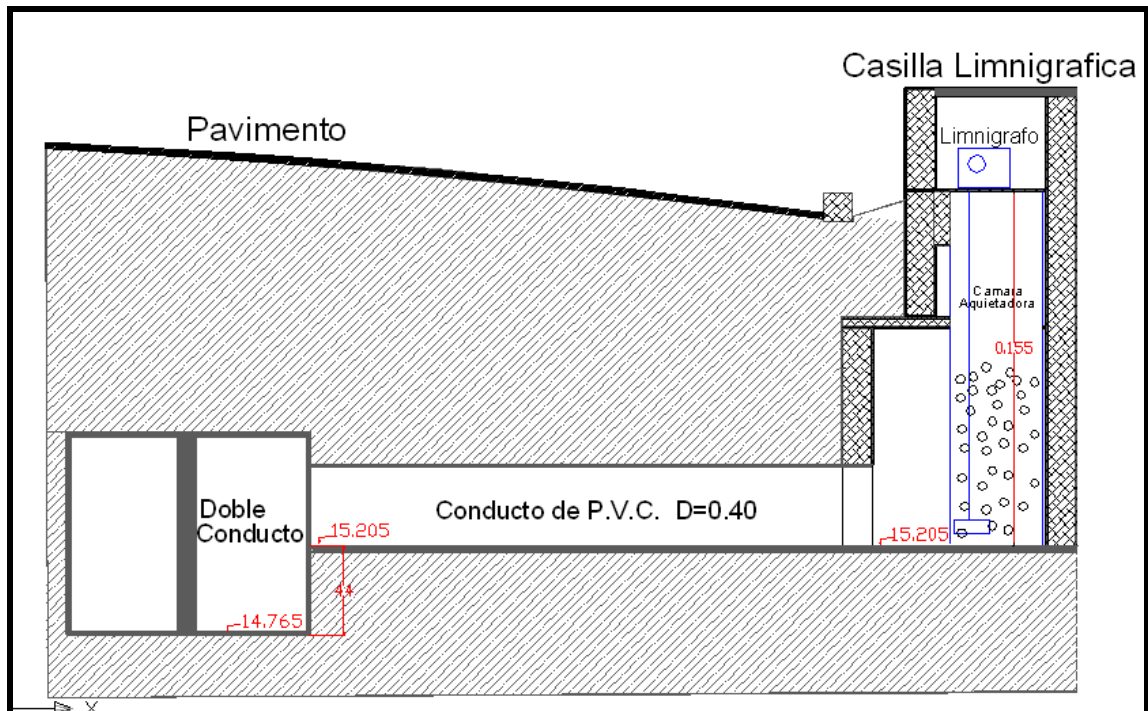


Figura N° 3: Corte casilla limnográfica y conducto pluvial



Foto Nº 2: Instalación Limnigrafo



Foto Nº 3: Limnigrafo instalado en casilla protectora

### **3. GENERACIÓN DE DATOS HIDROMETEOROLOGICOS, HIDROMETRICOS.**

Para la adquisición de datos se programó el limnógrafo con un paso de tiempo  $dt=5$  min. Con el fin de optimizar el uso de la memoria sólida solamente se graban los datos de niveles una vez que en el flotador se comienzan a producir cambios en el nivel.

Las mediciones dieron comienzo a fines del mes de Julio de 2007, registrándose hasta la fecha 2 eventos meteorológicos de importancia, los cuales se utilizaron en la calibración del modelo matemático SWMM. Los eventos mencionados anteriormente corresponden al 24 y 25/10/2011 y al 09/11/2011.

### **4. DISPOSITIVOS REGULADORES DE CRECIDAS**

#### **4.1. Introducción**

Las nuevas técnicas de control a nivel mundial, se basan en el principio de la desaceleración del escurrimiento en cuencas urbanizadas mediante sistemas de almacenamiento o infiltración. Es decir se ha cambiado el concepto sanitarista de "sacar rápidamente el agua de la cuenca", ya que esto obliga a construir conductos cada vez más grandes y con volúmenes de obra impracticables. Ante lo expuesto, se impone una urgente adaptación en las alternativas de solución para atacar el problema del drenaje urbano, no solo en el aspecto cuantitativo, sino también en la calidad de las descargas.

Con el fin de contribuir en las alternativas de soluciones estructurales para hacer frente al problema de las inundaciones en áreas urbanas, el INA ha desarrollado, experimentado y patentado dispositivos reguladores de crecidas.

#### **4.2. Regulador Tipo para Bocas de Tormenta y Domiciliarios**

La función de este tipo de dispositivos es disminuir los caudales máximos antes que ingresen a los conductos de desagüe pluvial. Es decir que estos dispositivos permiten, mediante una trampa hidráulica, "cortar" los picos de las crecidas, almacenarlos y retenerlos hasta que la red existente vuelva a tener capacidad de conducción y no produzca anegamientos.

Cabe destacar que estos dispositivos fueron ensayados en laboratorio, experimentados en cuenca y los resultados muy satisfactorios fueron presentados en distintos eventos científicos internacionales.

Las principales ventajas detectadas son:

- Estos sistemas permiten, mediante una planificación urbanística y ambiental, controlar los excesos pluviales, devolviendo a las cuencas su capacidad de retención, por ejemplo: una disminución del caudal pico del 25 %, representa que en cuatro

manzanas totalmente impermeables, equivale a tener una de ellas totalmente con césped.

- La implementación de los mismos puede realizarse alentando inversiones públicas o privadas, ya que estos dispositivos también han sido diseñados para ser instalados en los desagües domiciliarios con el mismo fin, dependiendo la instalación de estos últimos, del distado de nuevas normas de edificación.
- Plazos de ejecución de obras menores: la instalación de los dispositivos reduce drásticamente la duración de las obras con respecto a las alternativas tradicionales. Sólo se rompe parte de la calzada y solamente en determinadas esquinas de una intersección.
- Se eluden las interferencias: Mediante los planos de ubicación de otros servicios (Gas, Agua Potable, Teléfono, etc.), se pueden ubicar por proyecto los dispositivos de tal forma de no dañar infraestructura existente, ya que el dispositivo está diseñado en forma modular y puede conectarse variando la distancia y la disposición de los mismos.
- No exige la culminación del total de las obras del proyecto para obtener beneficios. Se pueden obtener mejoras inmediatas, llevando un adecuado plan de obras por etapas, comenzando por los ramales más críticos y sin que ello impida los trabajos progresivos hacia otras zonas. Esto permitiría un cronograma de inversiones escalonadas en función de las disponibilidades presupuestarias y financieras.
- Bajo impacto ambiental: por la forma de instalación los trabajos pueden realizarse con apertura parcial de calles y/o veredas, con el mínimo de inconvenientes para la población.

#### **4.2.1. Descripción y Diseño**

##### **Regulador Tipo para boca de tormenta**

El dispositivo regulador de crecidas en cuencas urbanas fue desarrollado, experimentado y patentado por el INA, y actualmente es fabricado por INDUPAG S.A., mediante un convenio enmarcado en la Ley de Innovación Tecnológica que vincula los organismos de investigación y las empresas privadas.

Los reguladores fueron creados con el fin de contribuir en las alternativas de soluciones estructurales para hacer frente a la serie de modificaciones que la urbanización provoca en el escurrimiento de una cuenca.

El dispositivo actúa sobre los caudales antes que ingresen a los conductos de desagüe, en el esquema de funcionamiento pueden apreciarse para distintos tiempos de ingreso del hidrograma y la función del dispositivo para esos pasos.

En función de la capacidad actual de la red existente o del conducto en estudio, se determina el grado de insuficiencia para conducir los excesos generados para una tormenta de diseño seleccionada. En base a este cálculo y a la densidad de bocas de tormenta necesarias en la red, se diseñan los dispositivos para que generen los porcentajes de laminación y desembalse buscados para cada boca de tormenta, con el fin de que combinados en el sistema pluvial se logren los efectos de atenuación acorde a la insuficiencia de la red existente. De esta forma, se buscan evitar total o parcialmente los anegamientos, de acuerdo a las necesidades del proyecto.

**Funcionamiento interno:** En forma sintética, el dispositivo consta de una entrada con sistema de retención de residuos, dos cámaras de almacenamiento interconectadas mediante orificio y vertedero, un orificio regulador de salida con conexión a la red. Ver Figura Nº 4.

Si bien el funcionamiento es por gravedad y sin mecanismos internos, es importante destacar que el efecto de amortiguamiento se logra con el mínimo óptimo de almacenamiento, ya que por las características de diseño interno, el hidrograma de entrada es evacuado totalmente en su rama ascendente hasta que alcance un caudal predeterminado y el volumen correspondiente denominado V1 – (Ver la primer figura del Funcionamiento del Regulador).

A partir de este punto del hidrograma, se comienza a almacenar la porción establecida del pico de crecida V2 en el segundo reservorio que se encuentra vacío y con la capacidad de retención proyectada para cada boca de tormenta (Ver segunda Figura).

En la rama descendente del hidrograma, y una vez que se ha alcanzado el nivel máximo de diseño en el segundo reservorio comienza el desembalse de todo el volumen V2, (Ver tercer Figura) por diferencia de alturas en estas cámaras, hacia la red. Es de gran importancia que la velocidad de circulación por los conductos de este desembalse sea regulada.

El factor fundamental en el dispositivo es, por lo antedicho, la combinación de funcionamientos hidrológicos e hidráulicos.

## ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO

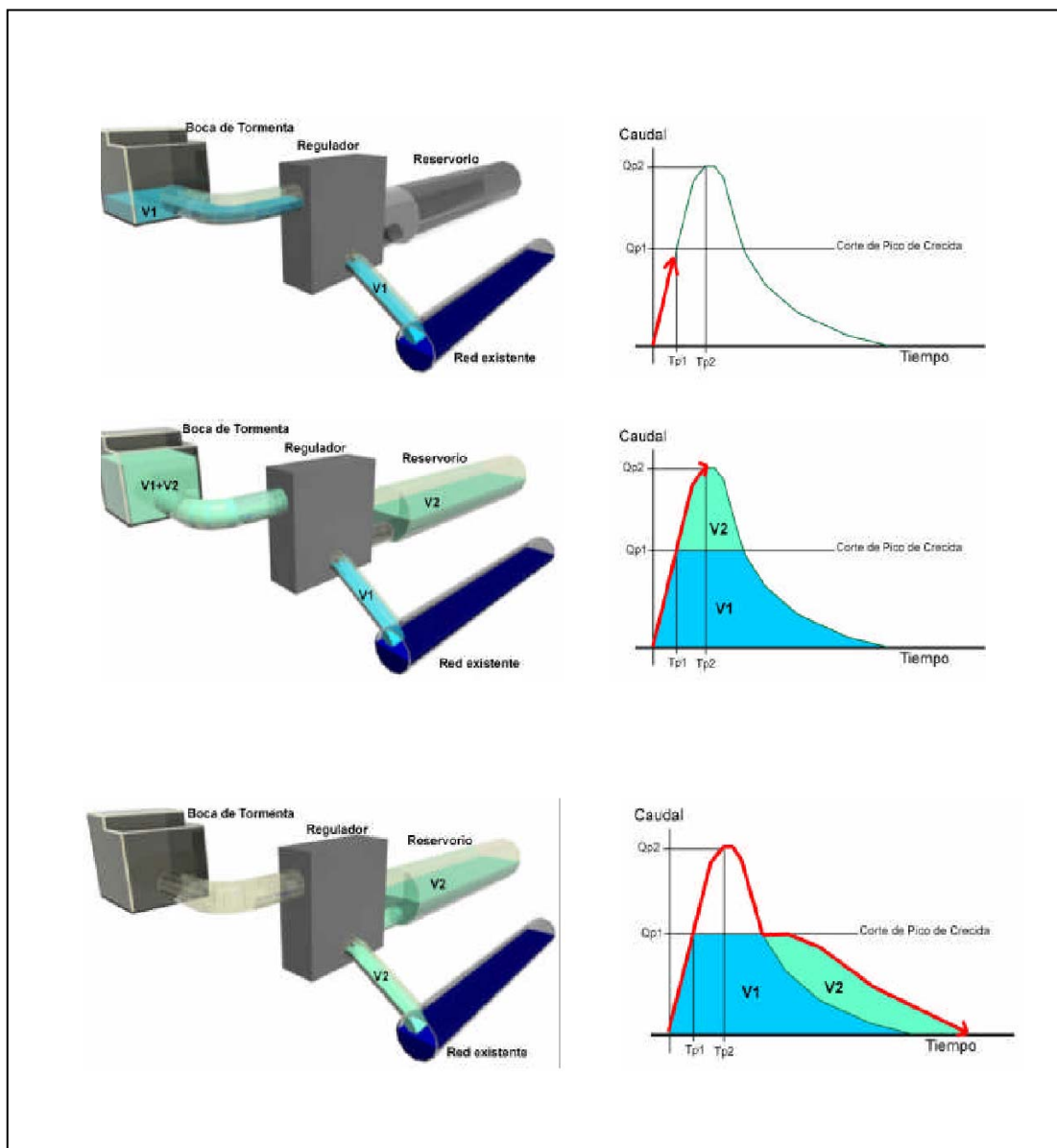


Figura N° 4: Funcionamiento Interno Dispositivo

Es muy importante destacar que este regulador, trabaja hidráulicamente en forma diferente a un almacenamiento común, ya que por su diseño interno, permite optimizar los volúmenes necesarios para producir el corte de los picos. A los efectos de la comparación con un almacenamiento convencional, para producir el mismo porcentaje de atenuación del pico de una crecida, se necesita aproximadamente la mitad de volumen que se necesitaría para un reservorio común. Ver Figura N° 5.

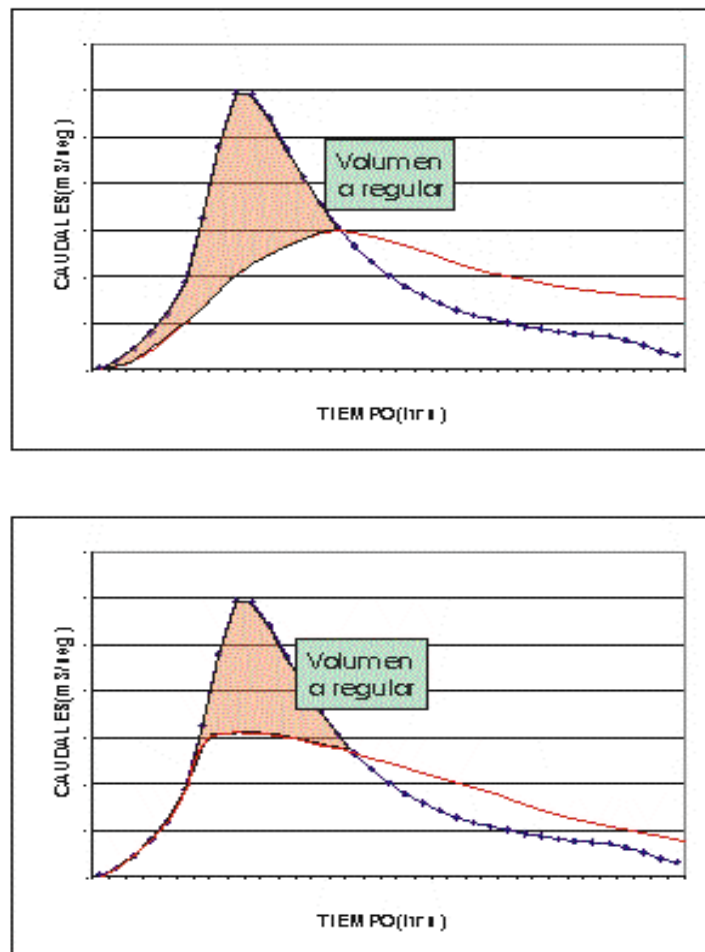


Figura N° 5: Comparación funcionamiento dispositivo regulador vs almacenamiento convencional.

### **Regulador Tipo Domiciliario**

La regulación se puede conseguir en diferentes escalas y con diferentes niveles de intervención, para la regulación **a nivel de predio** ha sido desarrollado el dispositivo domiciliario.

Este constituye una sola pieza de tamaño reducido y bajo costo, que puede ir empotrado en la pared o en el exterior dependiendo de las condiciones constructivas del edificio y debe ir acoplado a una conducción que derive los caudales calculados para amortiguamiento hacia el reservorio, ver Foto N° 4.

La descarga de los techos escurre por el tubo de bajada y en su extremo inferior ingresa al accesorio de regulación



Foto N° 4: Dispositivo regulador domiciliario para bajada de techos

#### 4.2.2. Algoritmos matemáticos

Se ha desarrollado una subrutina matemática que simula el funcionamiento interno de los dispositivos permitiendo determinar los parámetros de diseño de los mismos.

A su vez, esta subrutina fue incorporada a un modelo matemático hidrológico denominado Otthymo, lo cual posibilita simular en forma conjunta los procesos de transformación lluvia - caudal en áreas urbanas, determinando los hidrogramas de crecida por subcuencas, regularlos, desfazarlos y combinarlos en la cuenca de estudio, de forma tal que permita evaluar el comportamiento de todo el sistema de drenaje y diseñar las obras de proyecto incluyendo los dispositivos reguladores.

Esta subrutina que simula la amortiguación del hidrograma de entrada por boca de tormenta, que es generado por el Otthymo, calcula los caudales de salida ( $Q_s$ ) del dispositivo y sus respectivos parámetros de diseño:

- $d_1$ : Diámetros de orificios de salida
- $d_2$ : Diámetro de orificio de la placa
- $P_n$ : Altura de la placa
- $D$ : Distancia de la placa
- $V_2$ : Volúmen útil de almacenamiento del reservorio.

Estos resultan de la aplicación del modelo a partir del máximo caudal que esta en condiciones de recibir el conducto principal de la red para la tormenta de proyecto.

El cómputo del hidrograma de salida se puede dividir en dos etapas en donde los caudales laminados son calculados de distinta manera:



La primera se produce cuando el reservorio 1 se está llenando, en este caso los ( $Q_s$ ) son función de la altura en el primer reservorio ( $h_{alt1}$ ) y del diámetro de salida de salida ( $d_1$ ) y son iguales a los caudales de entrada ( $Q_e$ ), estos van aumentando hasta el momento en que  $t=t_i$  y  $h_{alt1}=H$  (altura del vertedero), a partir del cual el agua comienza a vertir sobre la placa iniciándose el llenado del reservorio 2 para el caso de que el dispositivo funcione con clapeta.

$$Q_s = Q_{o1} = u \cdot (3.14 \cdot d_1^2) / 4 \cdot ((h_{alt1} - 0.5 \cdot d_1) \cdot 2 \cdot 9.81)^{0.5}$$

$$Q_{o2} = 0$$

Siendo :

$Q_s$  : Caudal de salida del dispositivo.

$Q_{o1}$  : Caudal de salida de reservorio 1.

$Q_{o2}$  : Caudal que pasa por el orificio de la placa desde el reservorio 1 hacia el Reservorio 2.

$u$  : Coeficiente de descarga.

$d_1$  : Diámetro de salida del dispositivo.

$h_{alt1}$  : Altura en el primer reservorio.

Los volúmenes almacenados en el reservorio 2 resultan de los caudales aportados por el vertedero ( $Q_v$ ) en el caso de que el dispositivo funcione con clapeta, o los que resultan de la suma de estos mas los caudales que pasan por el orificio de la placa ( $Q_{o2}$ ) cuando no tiene clapeta.

$$Q_v = 1.84 \cdot L \cdot (h_{alt1} - P_n)^{1.5}$$

$$Q_{o2} = u \cdot (3.14 \cdot d_2^2) / 4 \cdot ((h_{alt1} - h_{alt2}) \cdot 2 \cdot 9.81 / (1 + 0.78))^{0.5}$$

siendo:

$Q_v$  : Caudal que pasa por vertedero.

$d_2$  : Diámetro orificio placa.

$h_{alt2}$  : Altura del nivel de agua en reservorio 2.

$L$  : Ancho vertedero

El dispositivo comienza a almacenar y a laminar el hidrograma de entrada a partir de  $t=t_i$ .

La segunda etapa se produce cuando comienza a decargarse el reservorio 2 hasta su vaciamiento completo, en este caso el caudal de salida ( $Q_s$ ) es igual a:

$$Q_s = Q_{o3} + Q_{o1}$$

$$Q_{o3} = u \cdot (3.14 \cdot d_2^2) / 4 \cdot ((A_h) \cdot 2 \cdot 9.81 / (1 + 0.5))^{0.5}$$

$$A_h = h_{alt1} - h_{alt2}$$

Siendo

$Q_{o3}$ : Caudal que sale del reservorio 2.

## 5. APLICACIÓN SWMM A LA SUB. REGIMIENTO 12 DE INFANTERIA

### 5.1. Objetivos

El objetivo específico en esta etapa es simular el funcionamiento interno del dispositivo regulador en boca de tormenta con el modelo SWMM de la EPA (Storm Water Management Model), considerando descarga libre y cotejar los resultados con los obtenidos en los ensayos de laboratorio realizados en proyectos anteriores.

Cumplido el objetivo anterior se simuló matemáticamente la implementación de dispositivos reguladores de caudales en bocas de tormenta y domiciliarios en la subcuenca con el fin de cuantificar los volúmenes totales necesarios a almacenar para que el conducto existente trabaje sin producir anegamientos.

### 5.2. Descripción General del Modelo

El SWMM de la EPA es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones en alcantarillados urbanos, se lo utiliza para eventos aislados o para simulación continua. Se desarrolló por primera vez en 1971, la versión utilizada para este proyecto corresponde a la 5ª versión del programa, es un código reescrito funcionando bajo entorno Windows.

Cuenta con dos módulos fundamentales, el *modulo hidrológico* que funciona como una serie de cuencas donde se produce la transformación lluvia - escorrentía a partir de la simulación de diferentes procesos.

Y un *modulo hidráulico*, que analiza el recorrido de estas aguas a través de un sistema de tuberías, canales, dispositivos de almacenamientos y tratamiento, bombas y elementos reguladores.

#### Descripción Modulo Hidráulico:

Este módulo tiene una serie de herramientas que permiten simular:

1. Redes de tamaño ilimitado
2. Utiliza diversas geometrías de las conducciones tanto abiertas como cerradas.
3. Modela unidades de almacenamiento, divisores, vertederos, bombas y orificios.
4. Utiliza diferentes métodos para el análisis hidráulico, flujo uniforme, onda cinemática y onda dinámica.
5. Modela remanso, entrada en carga, flujo inverso y acumulación en superficie.
6. Se pueden aplicar controles dinámicos en la modelación. Por ejemplo, funcionamiento de las bombas, abertura de los orificios, posición de la cresta de los vertederos.

### 5.3. Aplicación del modelo SWMM. Simulación funcionamiento dispositivo

Se conformaron los archivos de entrada y se realizó la simulación matemática del funcionamiento interno del dispositivo considerando descarga libre tomando como input el hidrograma de ingreso con que se realizaron los ensayos hidráulicos en laboratorio.

Se ajustaron los resultados de la modelación matemática con los obtenidos a partir de los ensayos hidráulicos.

En la Figura N° 6 se muestran los hidrogramas de ingreso y regulados obtenidos en laboratorio a partir del proyecto de investigación "Ensayo en Laboratorio del Dispositivo Laminador de Crecidas en Cuencas Urbanas"

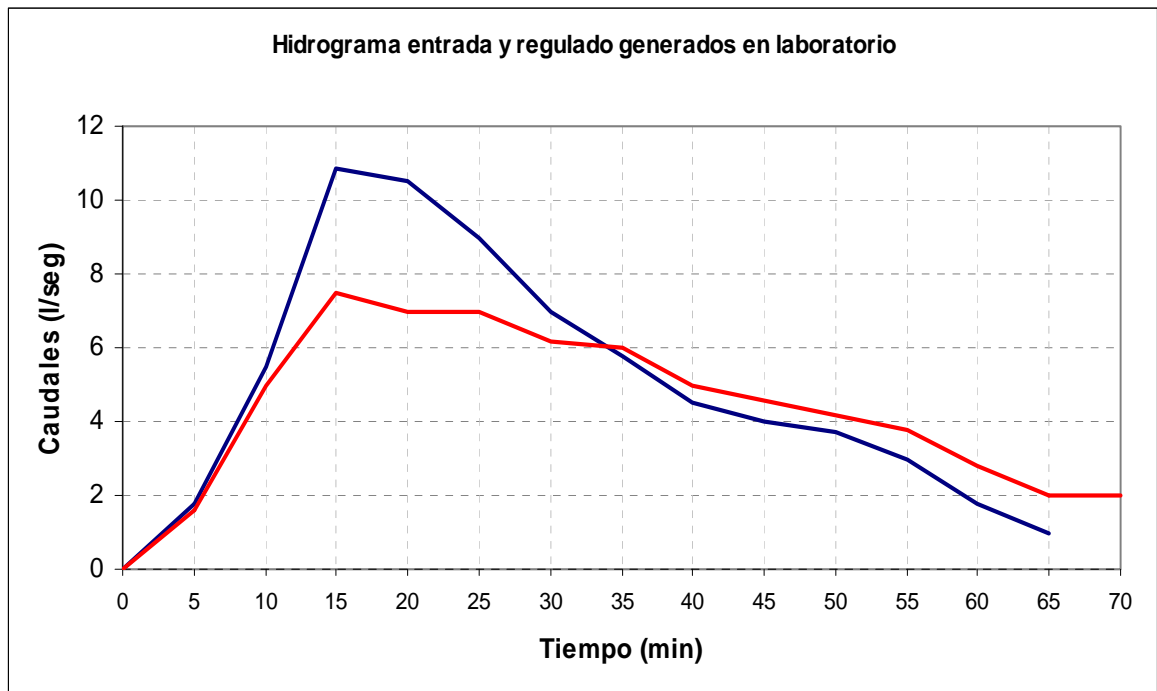


Figura N° 6

Para lograr la simulación del funcionamiento interno fueron utilizados tres nodos interconectados entre sí, siguiendo el esquema detallado en la Figura N° 7.

El nodo **100** representa el 1<sup>er</sup> reservorio, el mismo está conectado al nodo **200** que representa el 2<sup>do</sup> reservorio a través de un vertedero que tiene una altura de 0.85 m y el orificio de desembalse de 0.0028 m, a este último se lo simuló con válvula antirretorno (clapeta), esto evita que pase agua al 2do. reservorio mientras no sea superada la altura de vertedero.

El orificio regulador de 6 cm desembalsa hacia el nodo **300**.

El nodo **300** se lo utiliza como un nodo auxiliar que recibe el caudal del orificio regulador y donde se fijan las condiciones de borde.

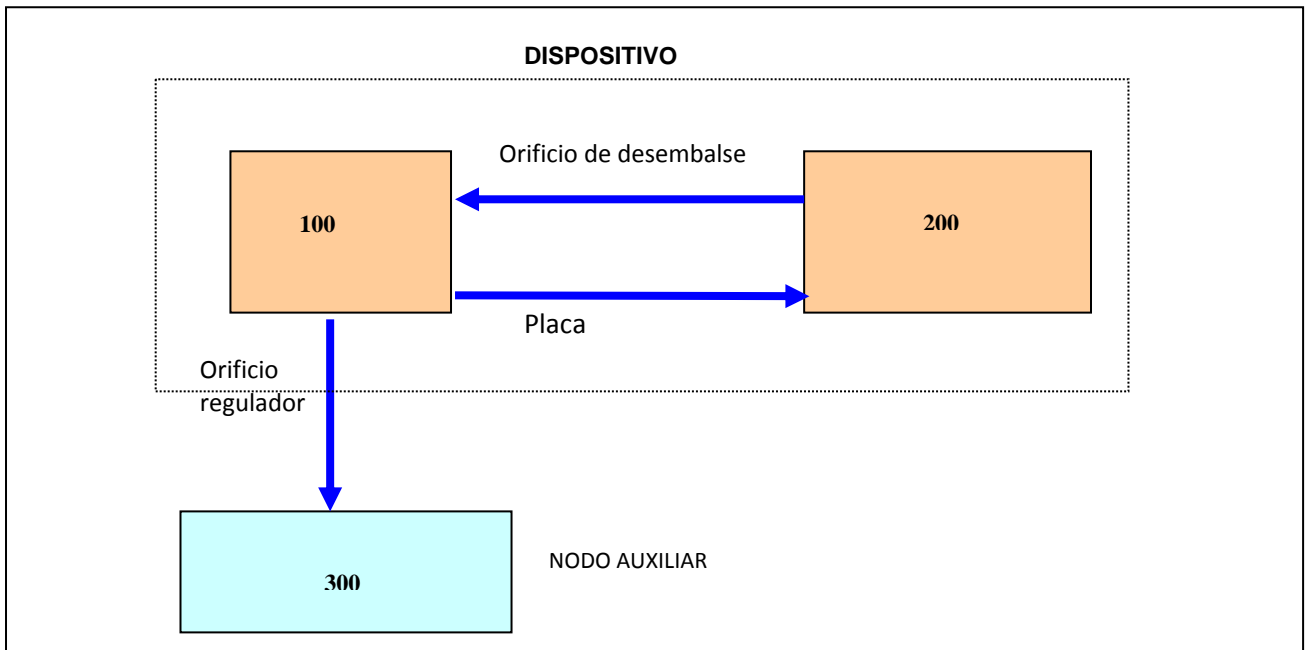


Figura N° 7

En la Figura N° 8 se muestra el esquema armado en el modelo matemático SWMM

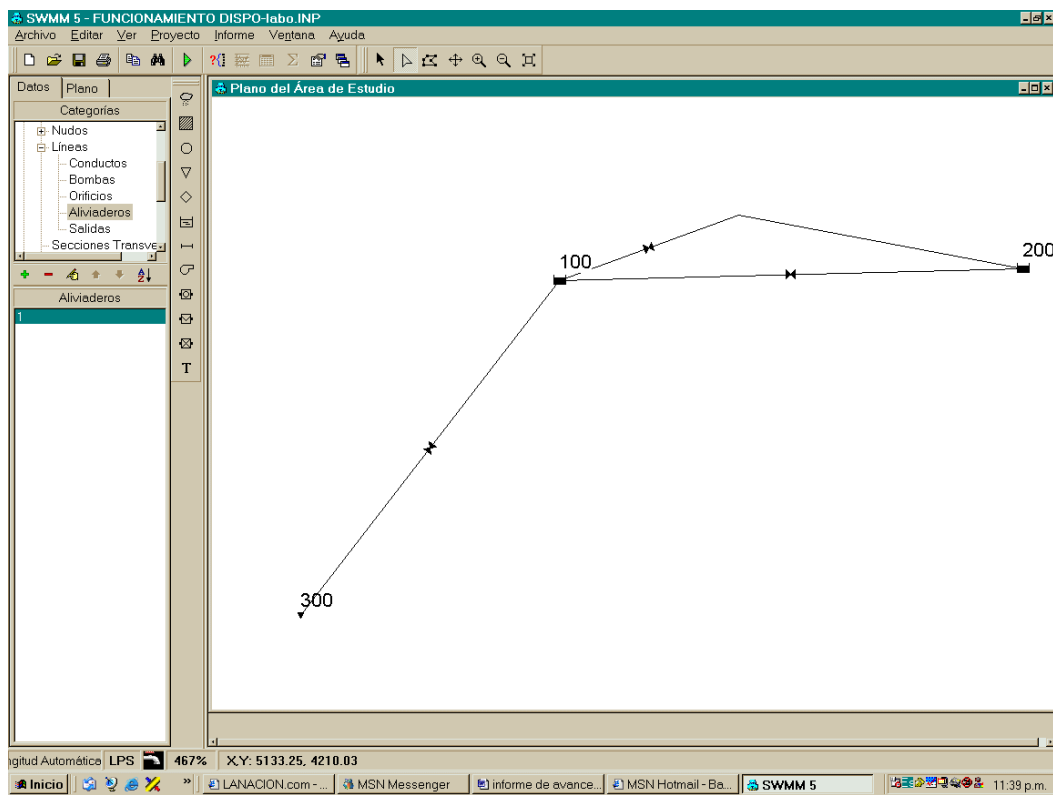


Figura N° 8

### Resultados:

Se realizaron varias corridas hasta lograr el ajuste del hidrograma de salida del dispositivo obtenido a partir de la modelación con el hidrograma obtenido en los ensayos hidráulicos en el Laboratorio de la FICH para diferentes coeficientes de descarga de orificio. (Figura N° 9)

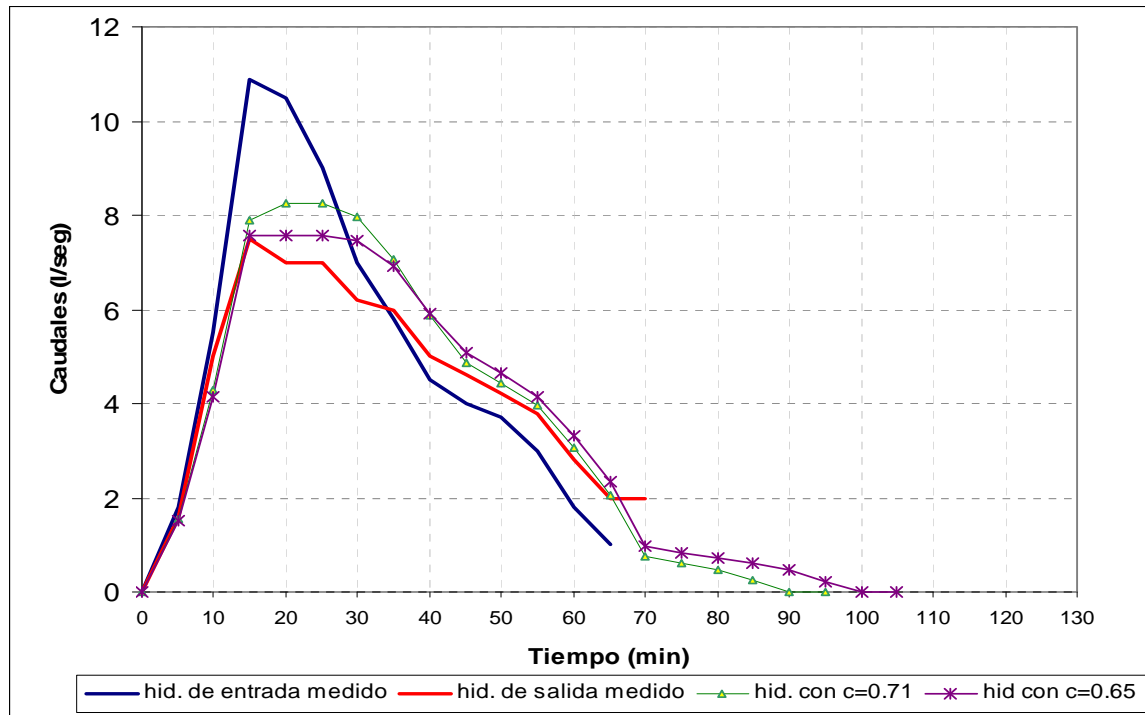


Figura N° 9

### Regulación modulo techos

Una vez obtenido un ajuste del modelo SWMM en la simulación del funcionamiento interno del dispositivo, se procedió a calcular matemáticamente un hidrograma modulo de techos, por cada cuarto de manzana (por cuadra). Este hidrograma es producto del escurrimiento generado por 10 techos de 86 m<sup>2</sup> que es luego el hidrograma de ingreso al dispositivo.

***Para la obtención del área de este modulo se siguió el razonamiento que se explica a continuación:***

El área impermeable total promedio de toda la subcuenca es de 69.5 %, y se considera que el 50 % de este área corresponde a techos, o sea un 34.75 %. Considerando el área de una manzana en 10000 m<sup>2</sup>, esto quiere decir que 3475 m<sup>2</sup> corresponde a techos. Se considero como hipótesis de trabajo que cada manzana esta ocupada por 40 techos (10 por cuadra), resultando un área media de 86 m<sup>2</sup> por techo.

Luego se calculó el hidrograma de ingreso al dispositivo domiciliario, correspondiente a 10 techos simulados en conjunto, con una pendiente media del 3.5 %.

Mediante la simulación interna detallada anteriormente se obtuvo hidrograma regulado que puede observarse en la Figura N° 10.

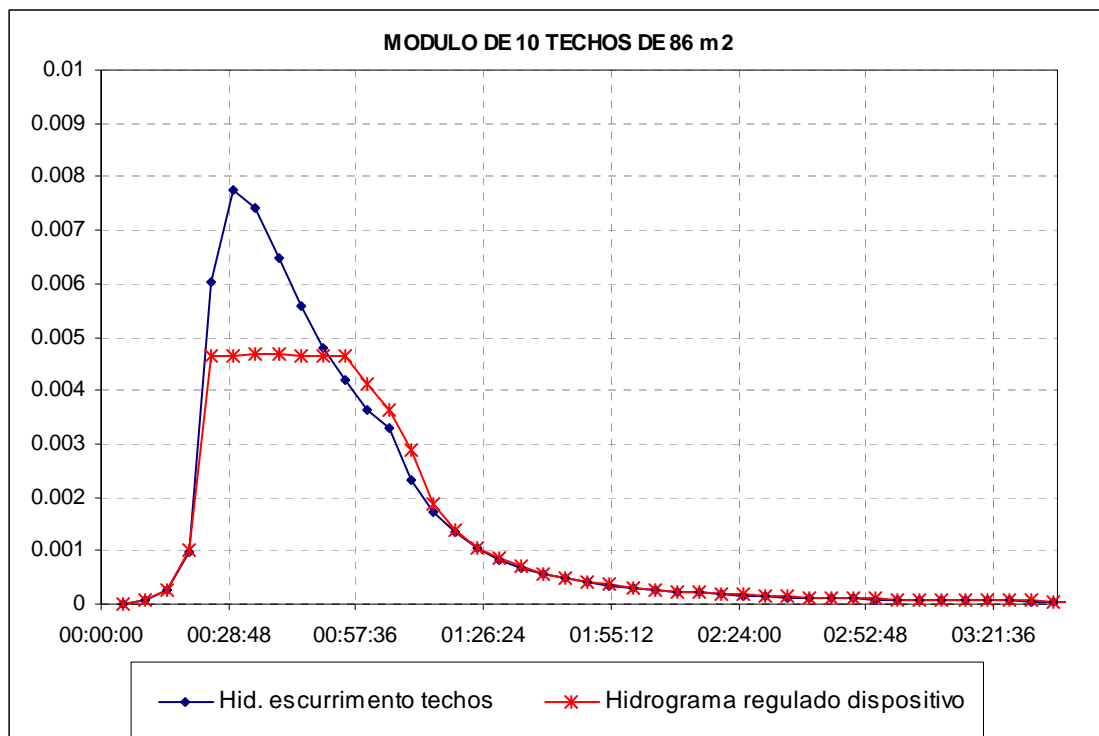


Figura N° 10

#### 5.4. Aplicación del modelo SWMM a la subcuenca con simulación funcionamiento dispositivos

##### Calibración modelo

Se implementó el modelo SWMM a toda la subcuenca Regimiento 12 y una vez generados y relacionados los archivos de datos con la información física necesaria se procedió a la calibración del mismo. En la figura N° 11 se muestra el esquema topológico del modelo SWMM.

En los Gráficos N° 1, 2 y 3 se muestran los eventos lluviosos medidos y utilizados como inputs en la simulación hidrológica-hidráulica de la subcuenca.

En los Gráficos 4 y 5 se muestran los limnigramas medidos en el conducto principal durante los eventos lluviosos mencionados en el punto 3 (Generación de datos hidrometeorológicos e hidrométricos y los limnigramas simulados. En los gráficos mencionados se observa que el ajuste logrado es aceptable para los objetivos del estudio.

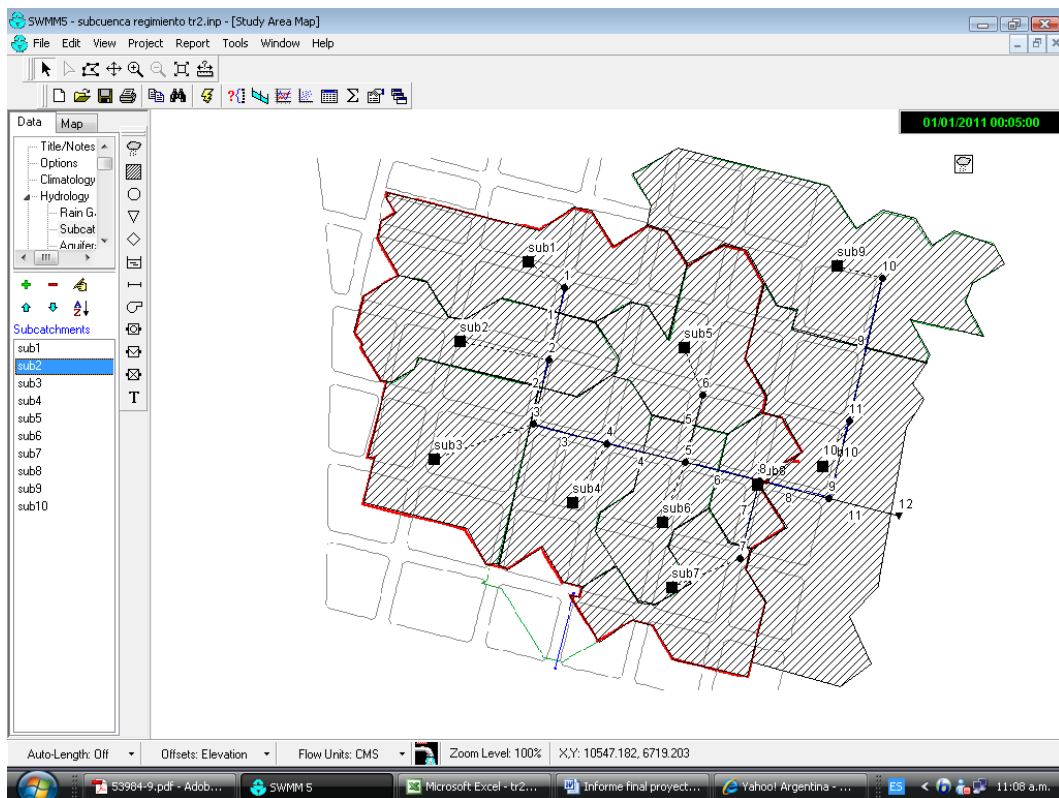


Figura Nº 11: Archivo de entrada SWMM

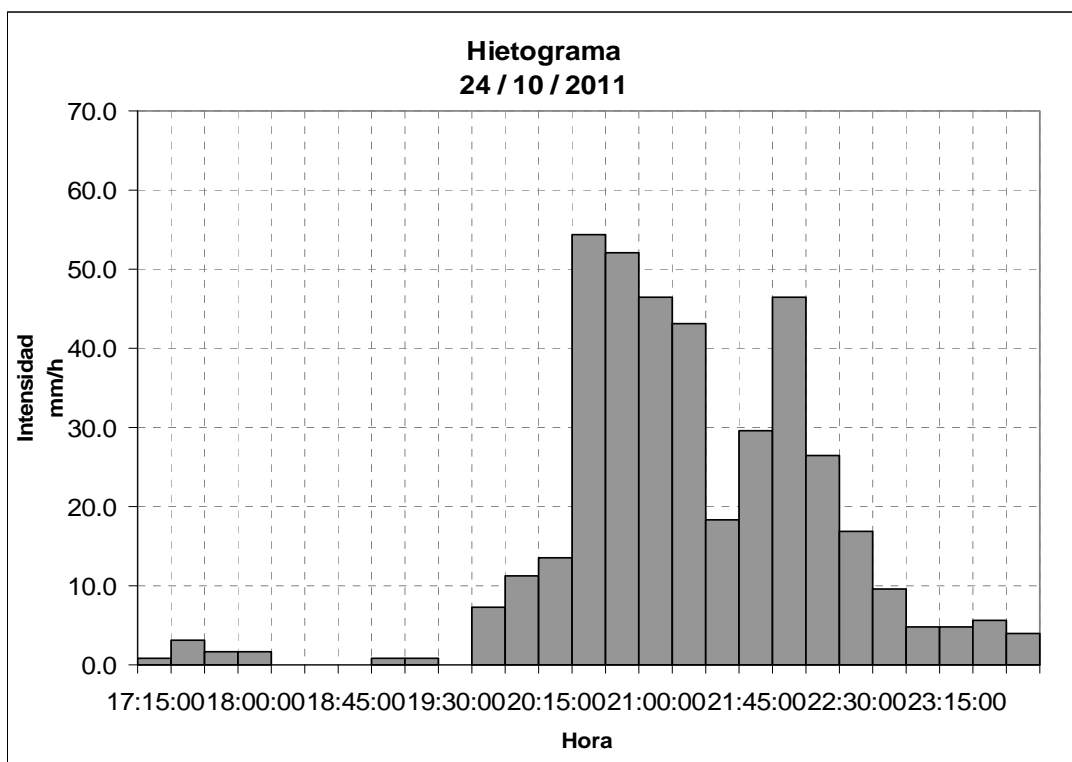


Gráfico Nº 1: Evento pluviométrico medido

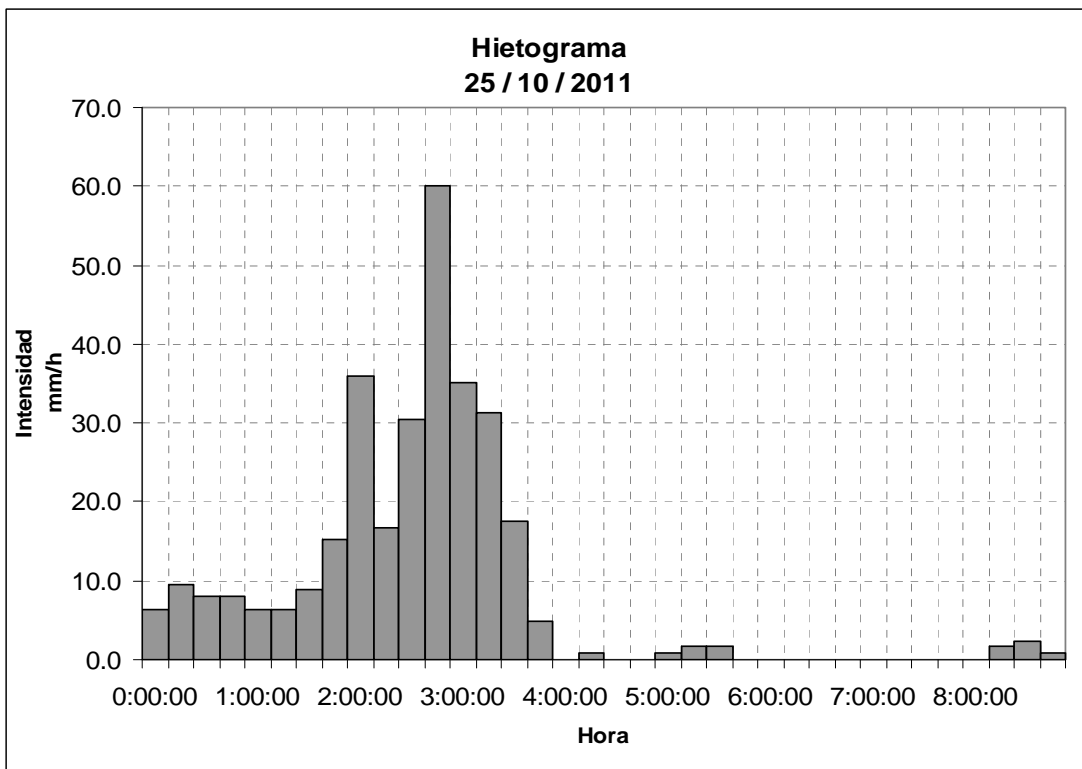


Gráfico Nº 2: Evento pluviométrico medido

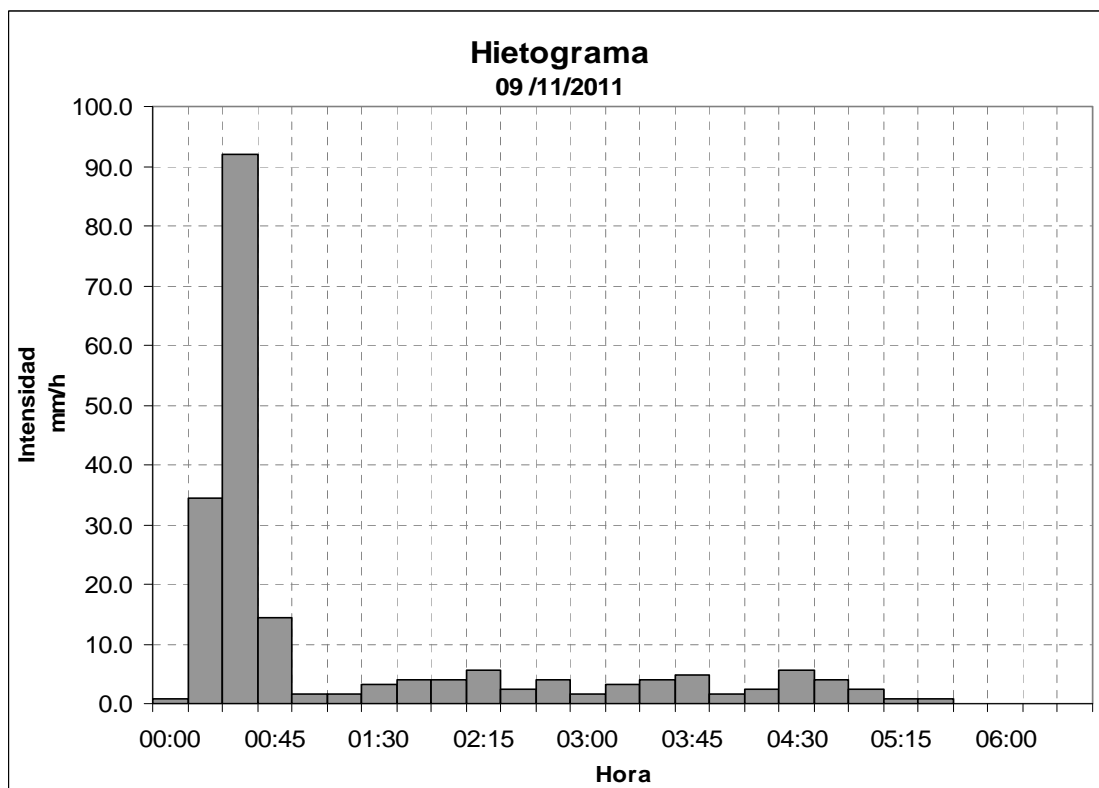


Gráfico Nº 3: Evento pluviométrico medido



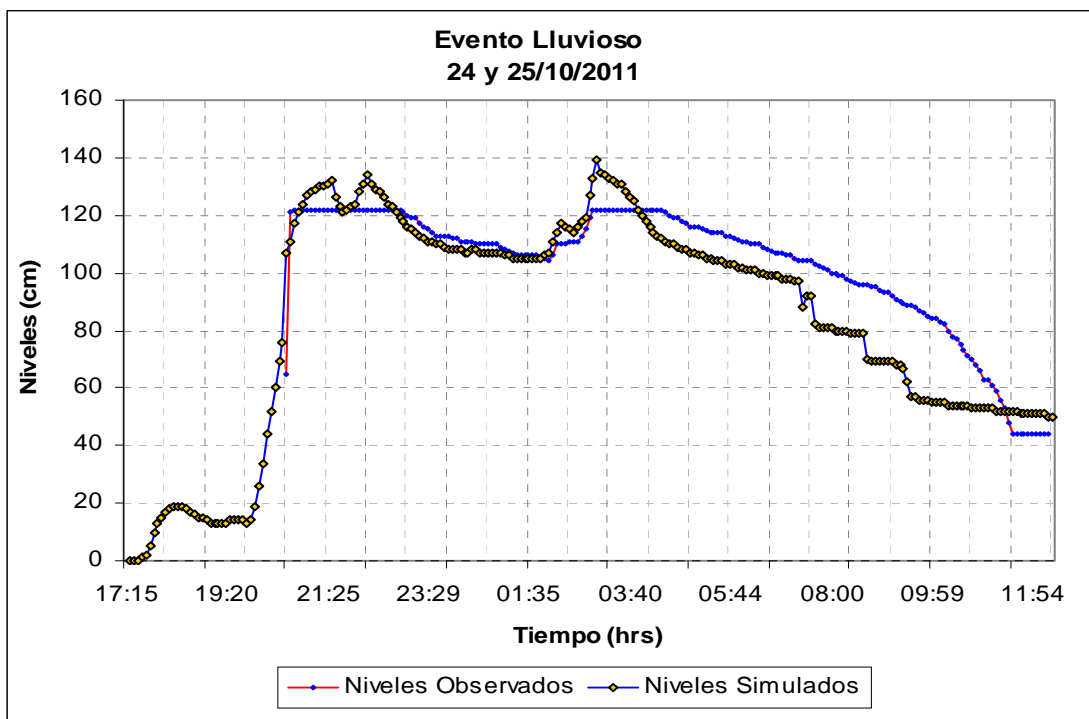


Gráfico Nº 4: Limnígramas observados vs simulados

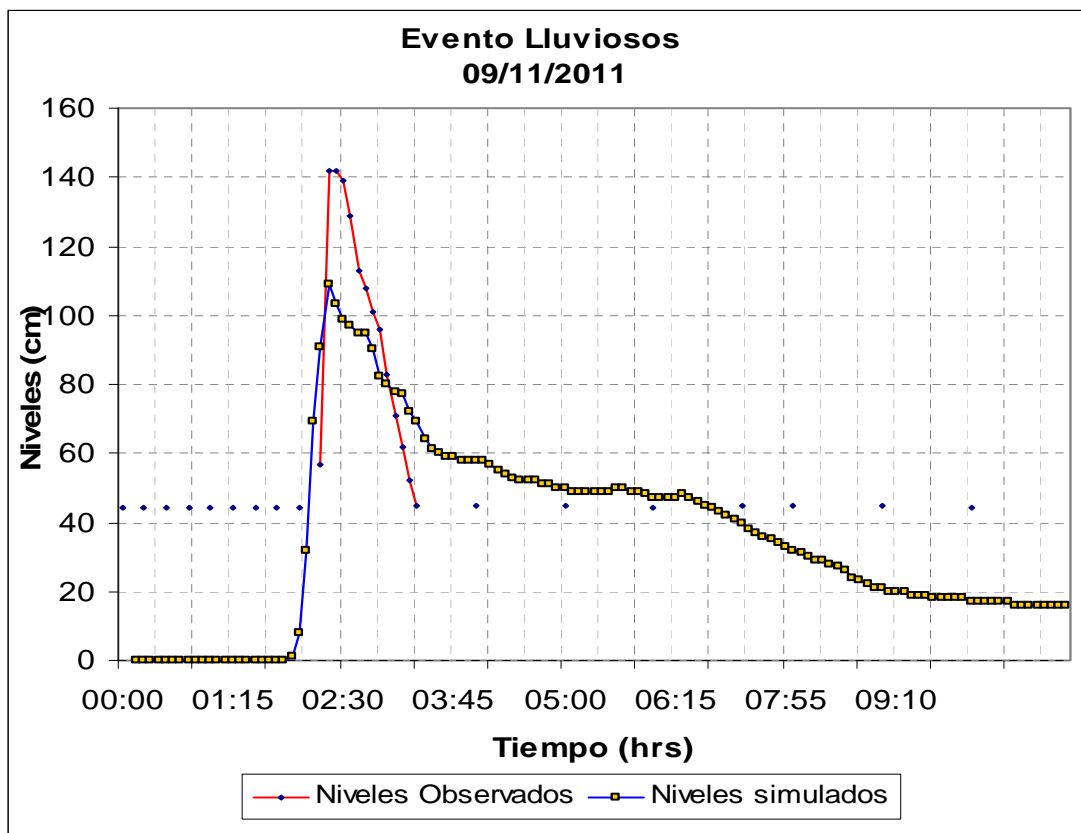


Gráfico Nº 5 Limnígramas observados vs simulados

### Evaluación de alternativas de regulación mediante simulación matemática

- Una vez realizado el ajuste del modelo para situación actual de la subcuenca experimental, se procedió a simular matemáticamente para una misma tormenta de proyecto ( $tr=2$  años-estación Paraná, una hora de duración y  $dt=5$  min, ver Gráfico N° 6) las siguientes alternativas de regulación:
  - *Modelación de la subcuenca sin regulación*
  - *Modelación de la subcuenca con regulación distribuida domiciliaria*
  - *Modelación de la subcuenca con regulación distribuida en boca de tormenta*
  - *Modelación de la subcuenca con regulación distribuida en boca de tormenta y domiciliaria*

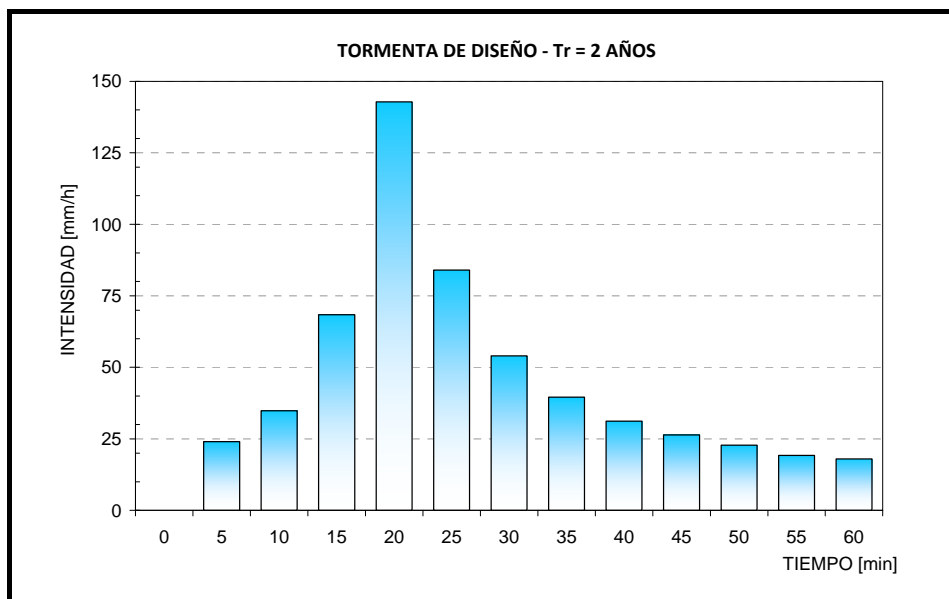


Gráfico N° 6: Tormenta de proyecto.

Se generaron los archivos del modelo SWMM para todas las alternativas planteadas.

- **Modelación de la subcuenca sin regulación:** El esquema topológico utilizado es el mismo que se uso en los ajustes del modelo.

Como resultado se cálculo el hidrograma total generado por la tormenta de proyecto en el nodo final sin regulación.

- **Modelación de la subcuenca con regulación distribuida domiciliaria (en techo):** Se modeló para la misma tormenta de diseño, considerando los hidrogramas generados por los techos (los cuales fueron regulados con los dispositivos domiciliarios), más los generados por las calles, más los aportes de la porción permeable de cada subcuenca.

Estos fueron los inputs en los nodos correspondientes a la red de desagües existentes, los cuales fueron trasladados y agregados hacia aguas abajo considerando descarga libre en el nodo final. Ver figura N° 12.

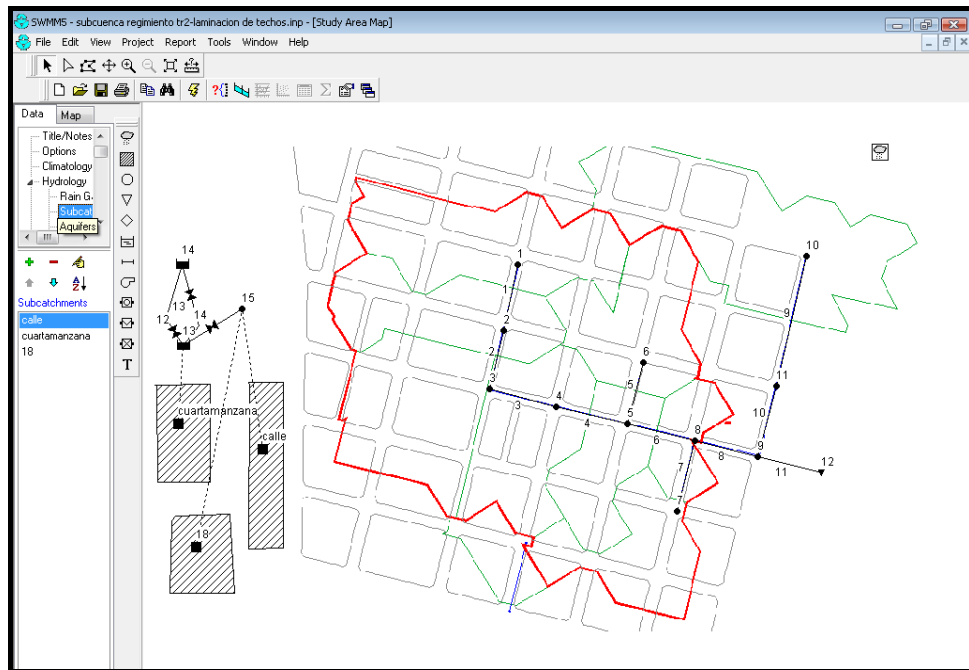


Figura N° 12: Archivo de entrada SWMM con regulación en techos

- **Modelación de la subcuenca con regulación distribuida en boca de tormenta:** Se modeló para la misma tormenta de diseño, calculándose los hidrogramas generados por cada subcuenca. Estos se consideraron como inputs en la simulación interna de los dispositivos reguladores en boca de tormenta obteniéndose los hidrogramas regulados. Los mismos fueron trasladados e integrados hacia aguas abajo, considerando descarga libre en el nodo final, obteniéndose el hidrograma total con regulación en bocas de tormenta.

En la figura N° 13 se muestra el esquema topológico del modelo.

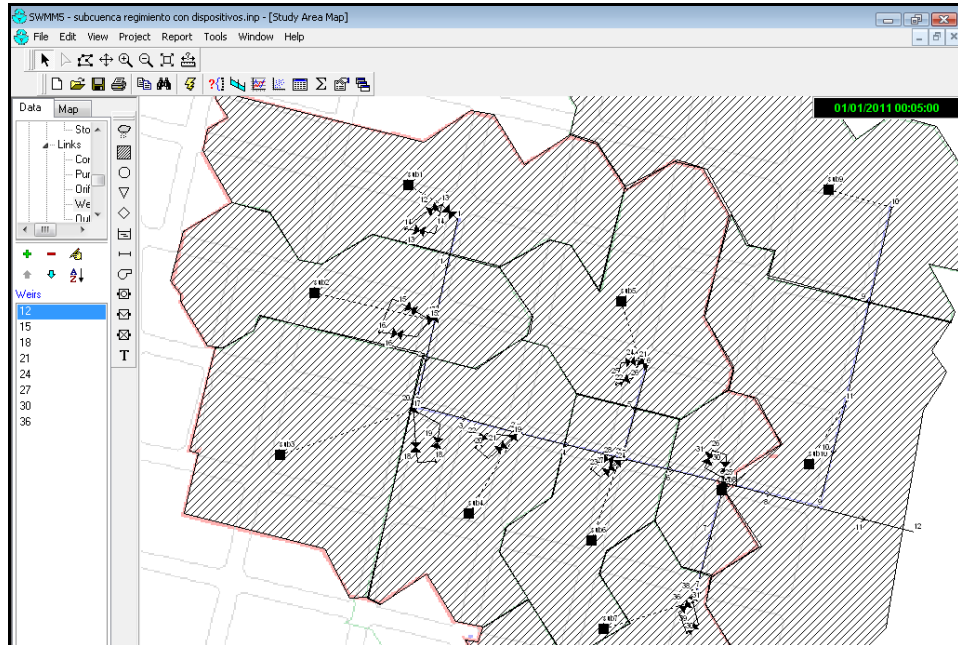


Figura N° 13: Archivo de entrada SWMM con regulación en boca de tormenta

- Modelación de la subcuenca con regulación distribuida en boca de tormenta y domiciliaria.** Se modela para la misma tormenta de diseño, considerando los hidrogramas generados por los techos ya regulados, más los generados por las calles, más los aportes por la porción permeable de cada subcuenca.

Los hidrogramas totales regulados en los techos fueron los inputs a los dispositivos reguladores en boca de tormenta.

Por último los hidrogramas regulados en boca de tormenta se consideraron como ingreso a la red de drenaje existente, los mismos se trasladaron e integraron hacia aguas abajo, considerando descarga libre en el nodo final, obteniéndose el hidrograma total resultante de las dos alternativas de regulación combinadas en techos y bocas de tormenta.

## **RESULTADOS**

En el Gráfico N° 7 se muestran los hidrogramas totales resultantes de la modelación de las alternativas de regulación descritas anteriormente.

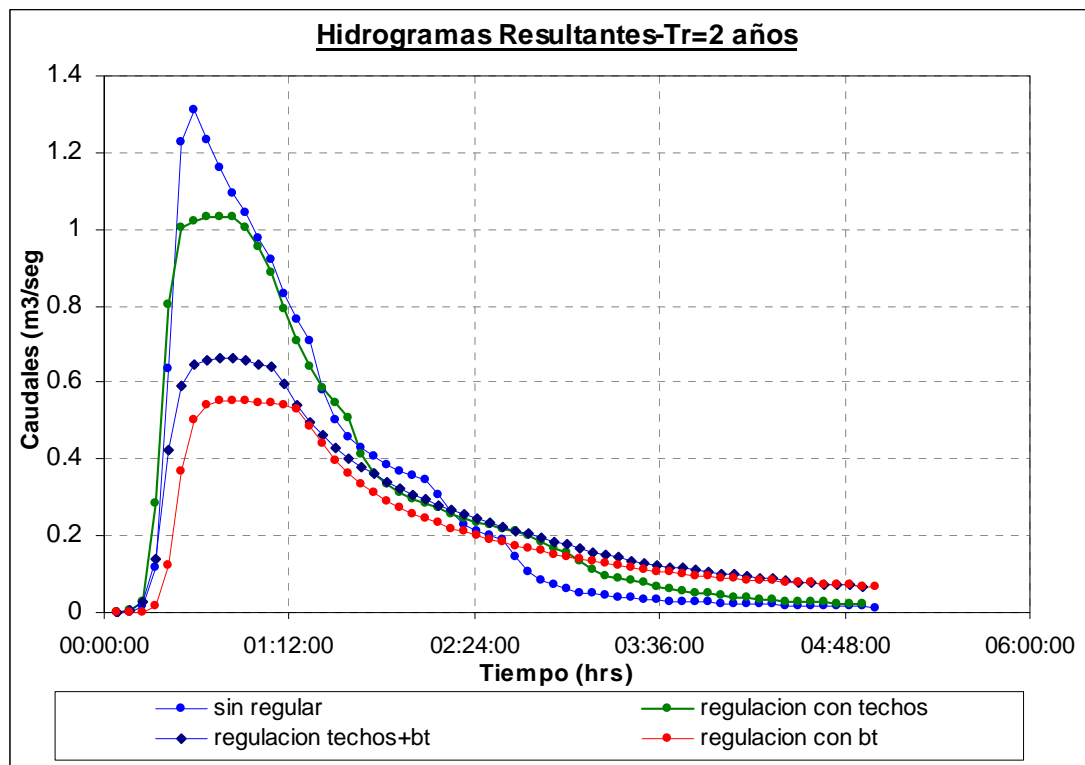


Gráfico N° 7: Hidrogramas totales resultantes

**Modelación de la subcuenca con regulación distribuida domiciliaria**

En los Gráficos N° 8 al 15 se muestran los hidrogramas por subcuenca resultantes de regulación en techos.

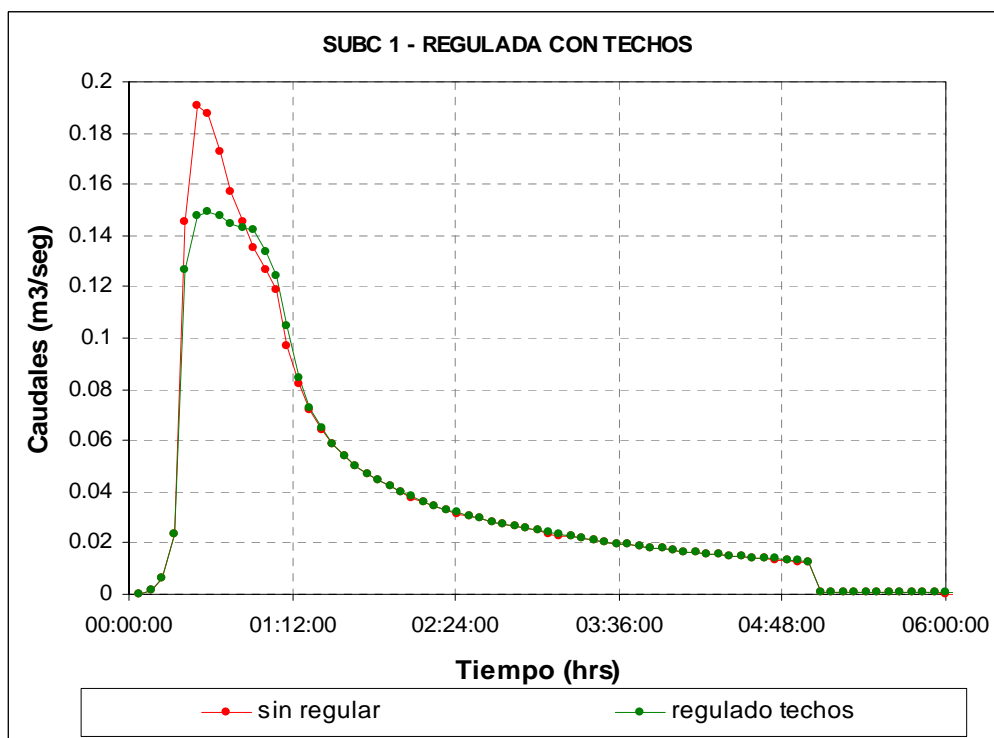


Gráfico N° 8

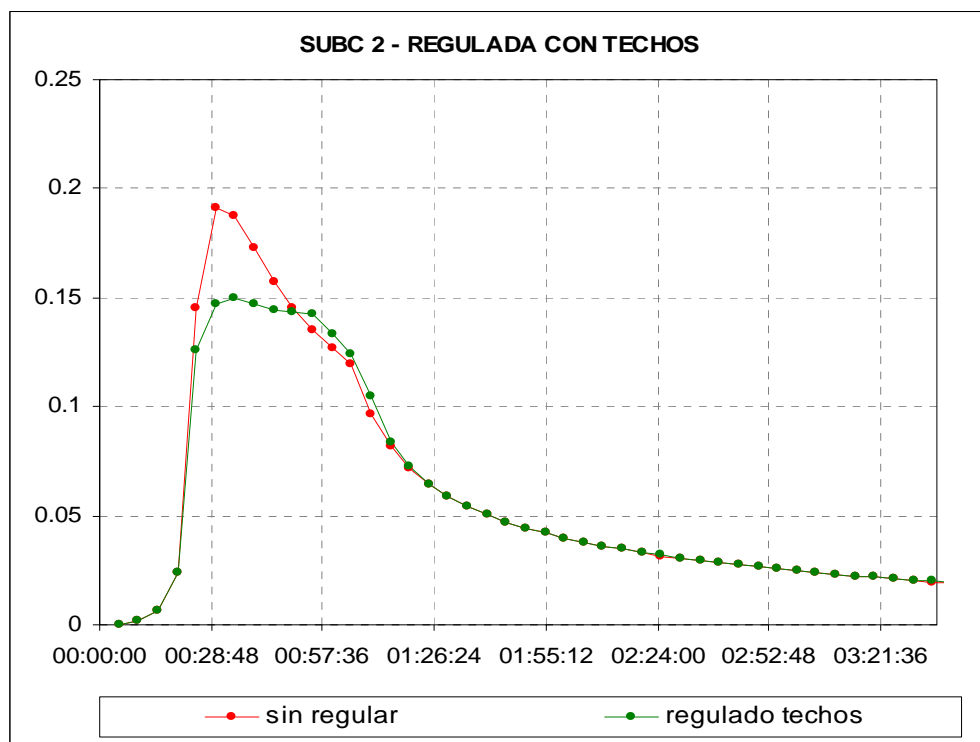


Gráfico Nº 9

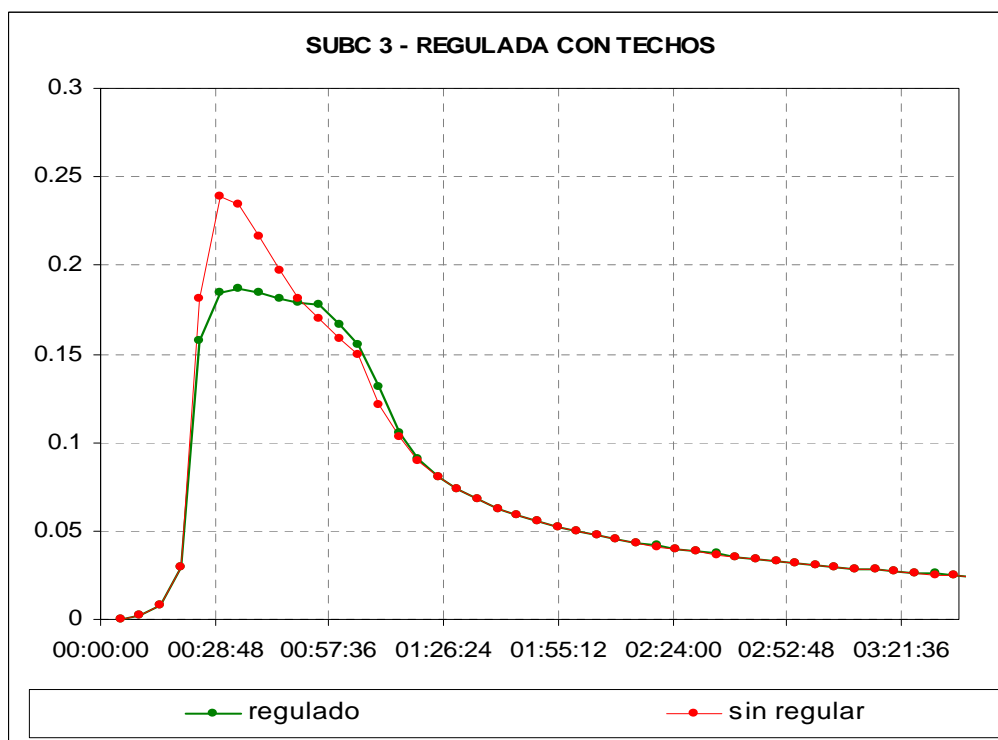


Gráfico Nº 10

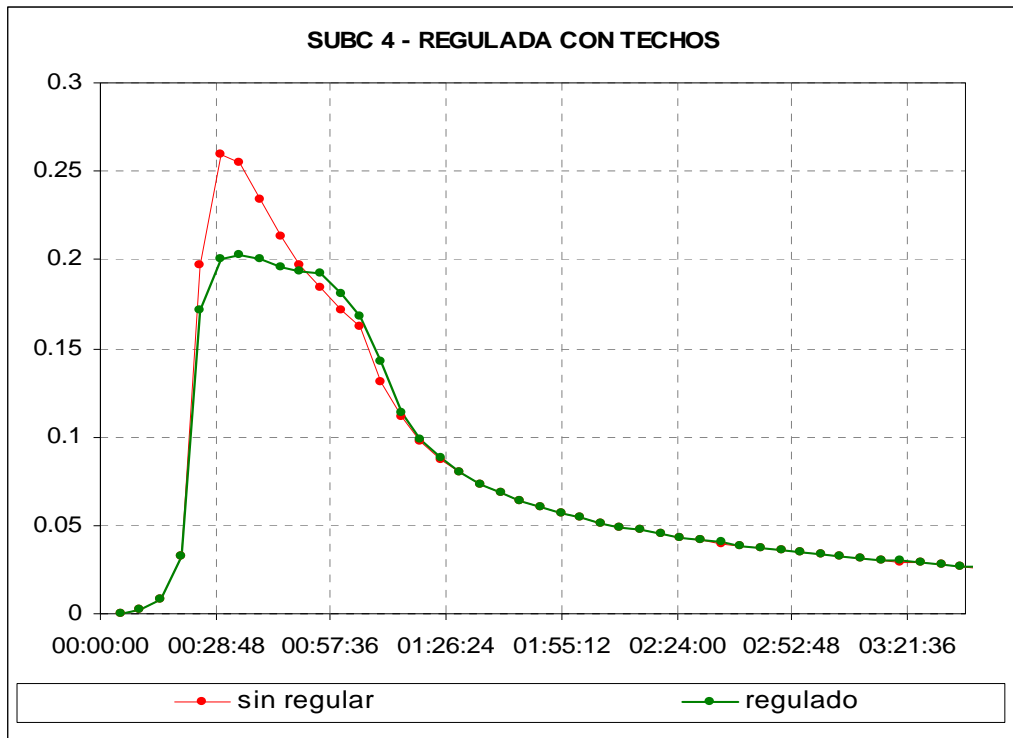


Gráfico N° 11

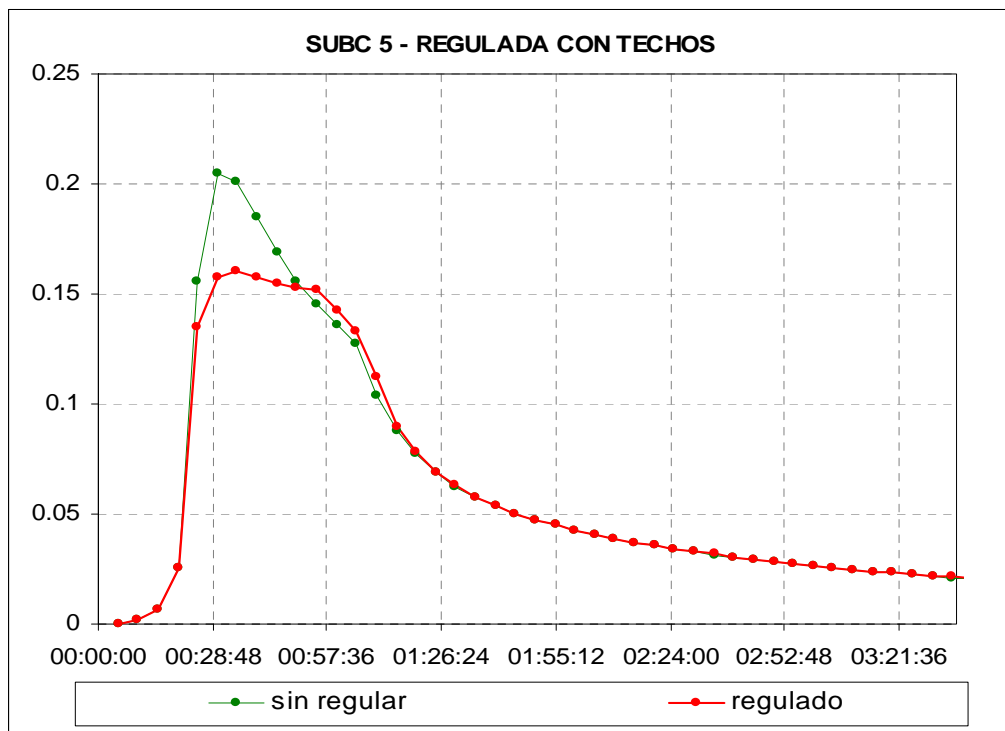


Gráfico N° 12

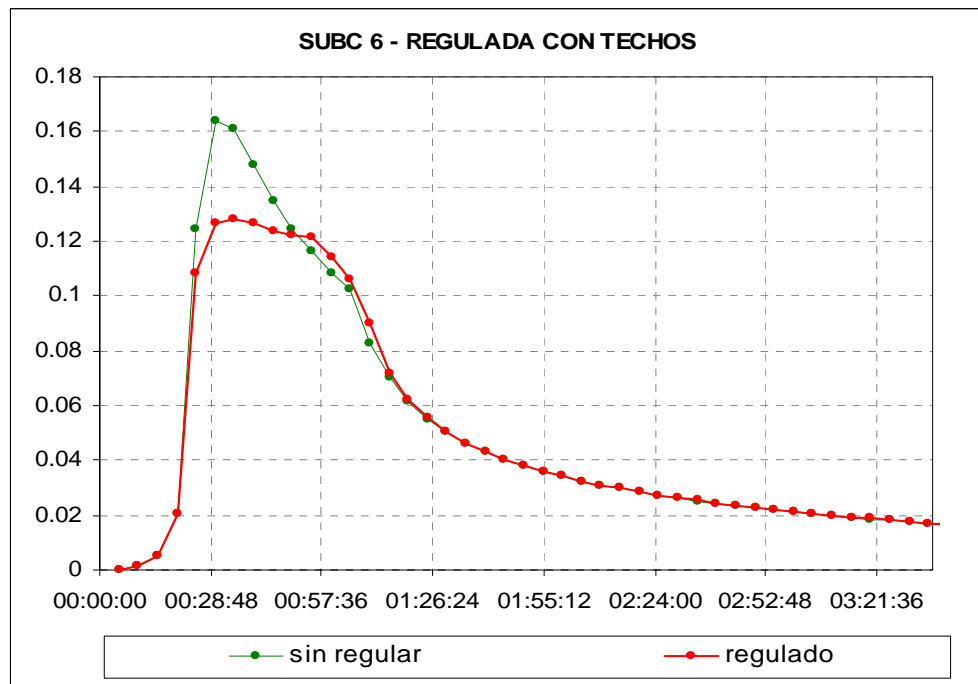


Gráfico Nº 13

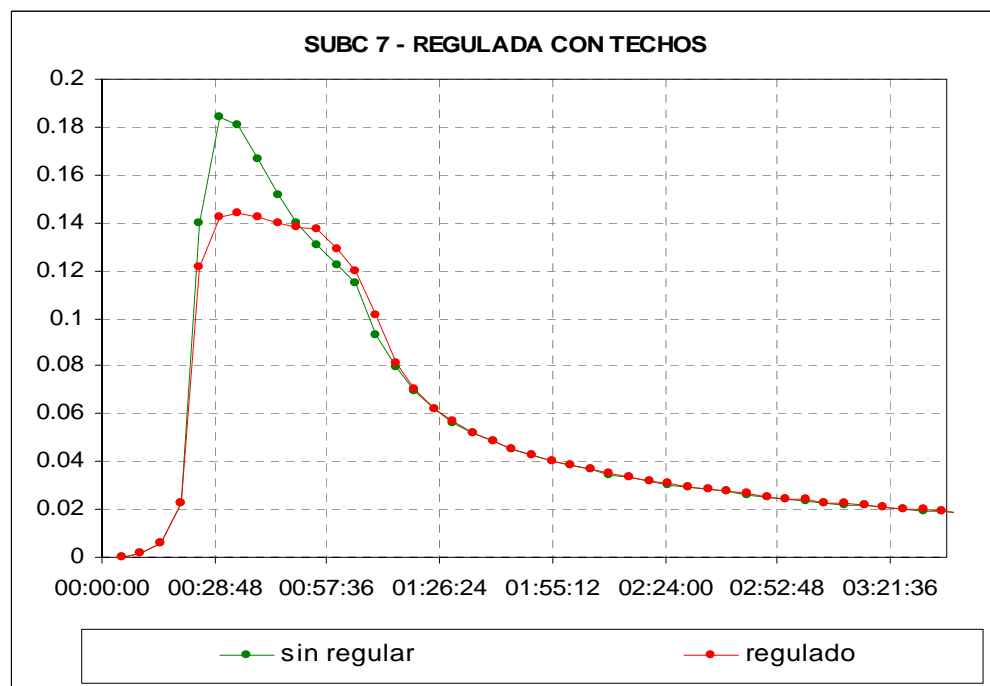


Gráfico Nº 14



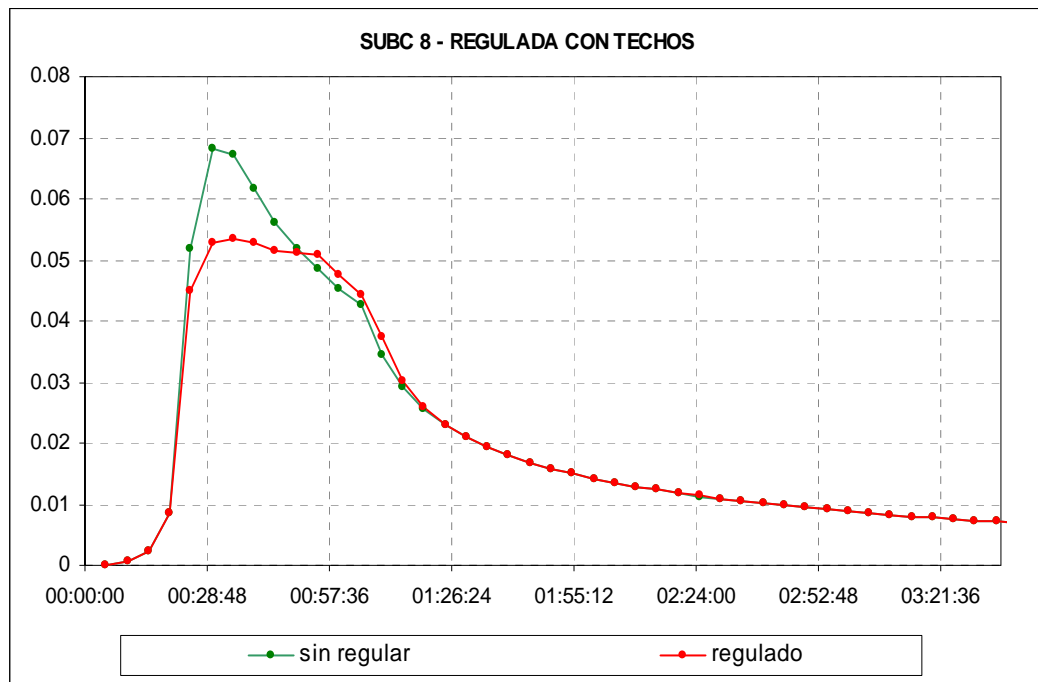


Gráfico N° 15

***Modelación de la subcuenca con regulación distribuida en boca de tormenta***

En los Gráficos N° 16 al 23 se muestran los hidrogramas por subcuenca resultantes de regulación en boca de tormenta.

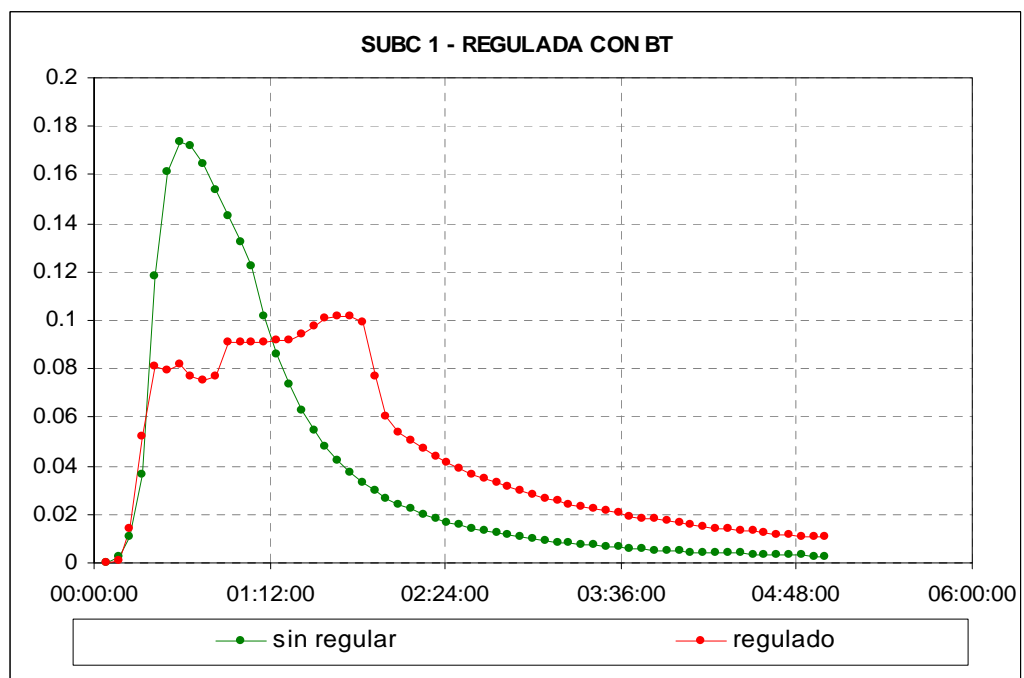


Gráfico N° 16

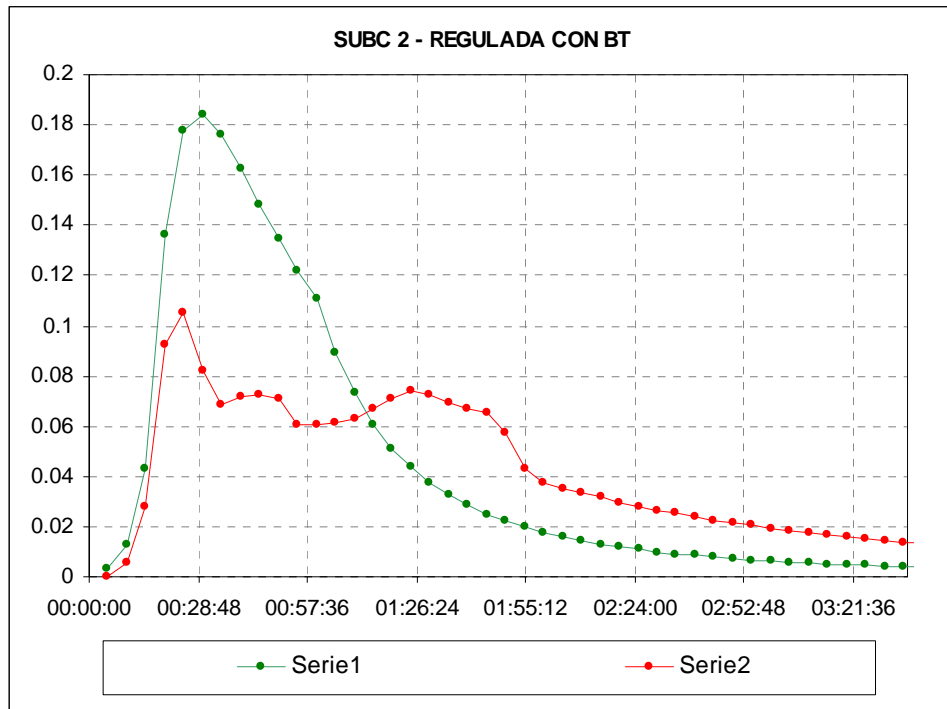


Gráfico Nº 17

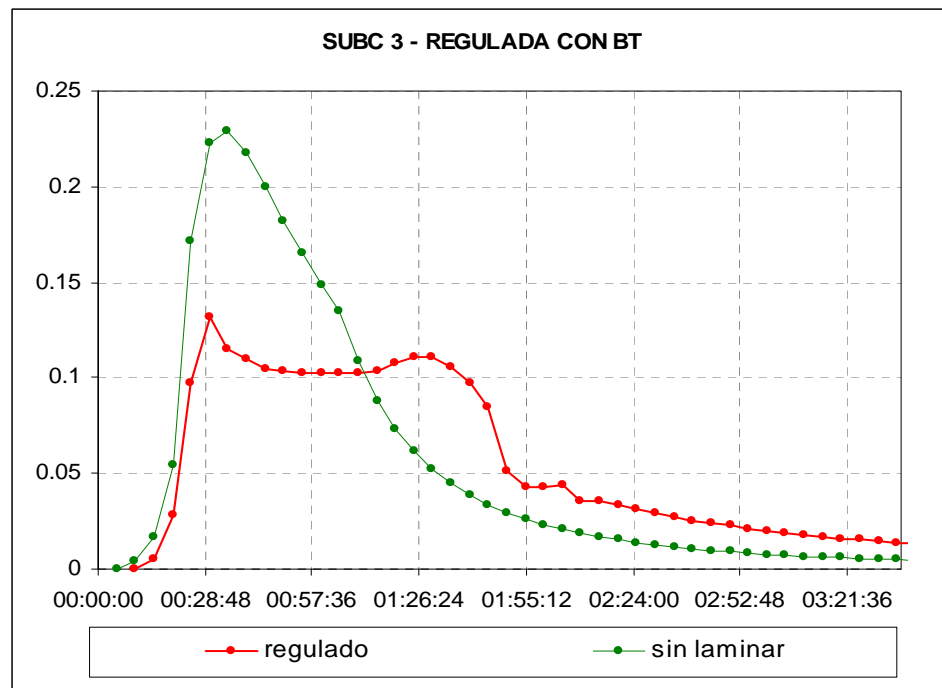


Gráfico Nº 18

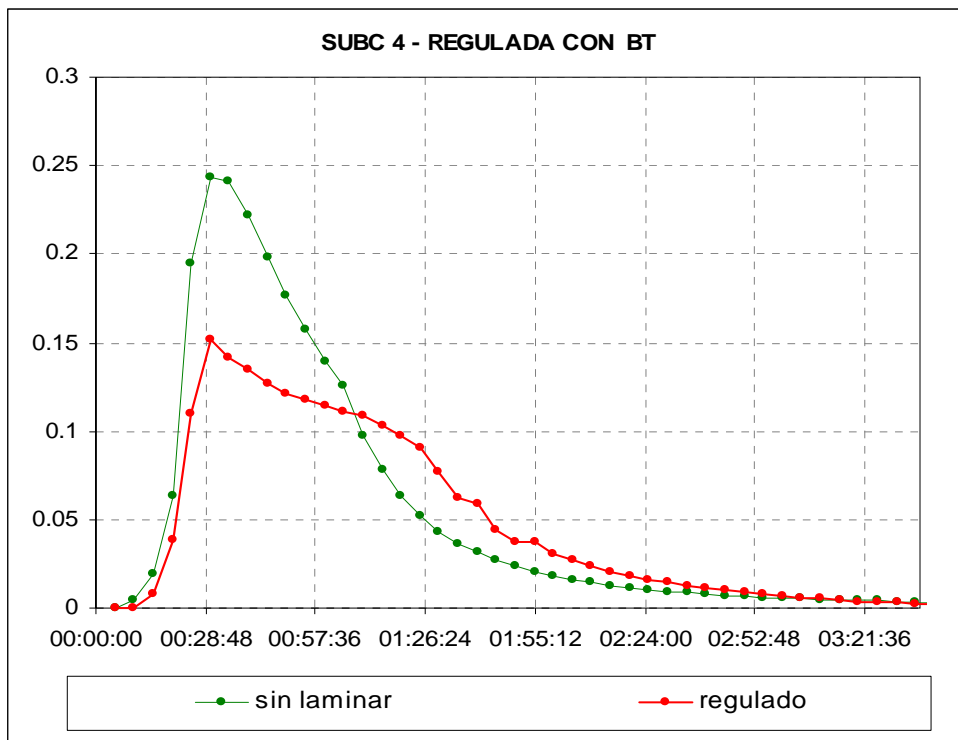


Gráfico Nº 19

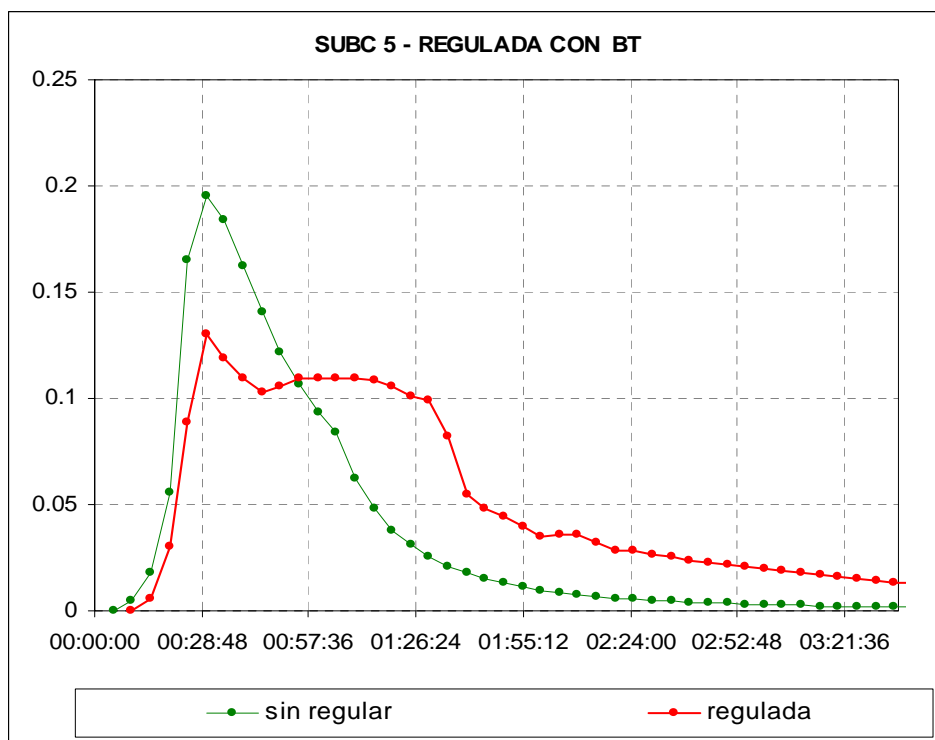


Gráfico Nº 20

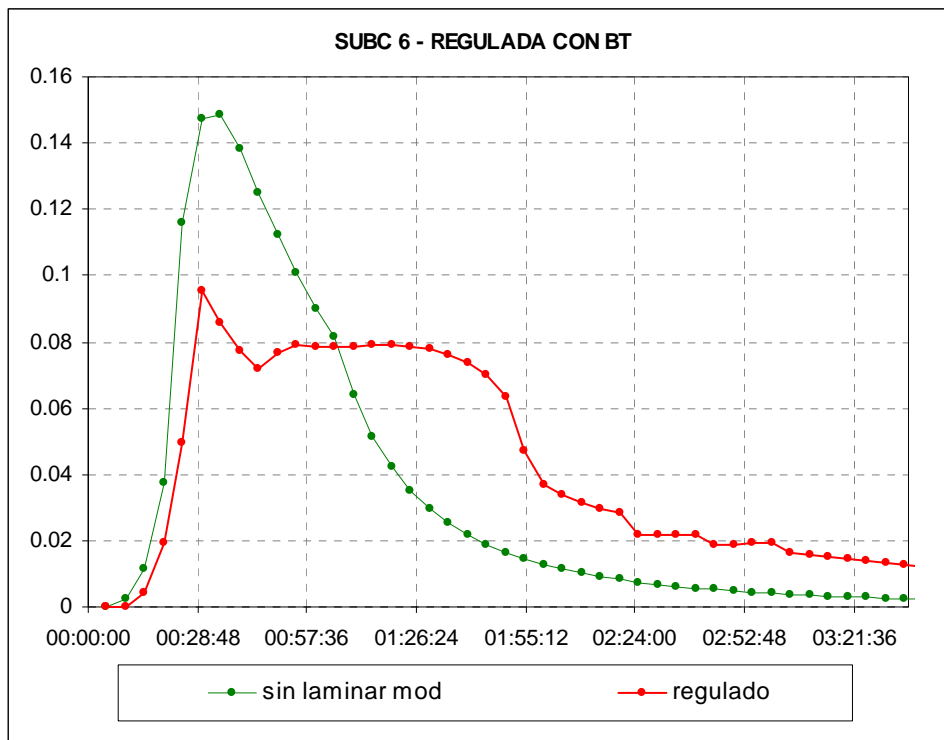


Gráfico Nº 21

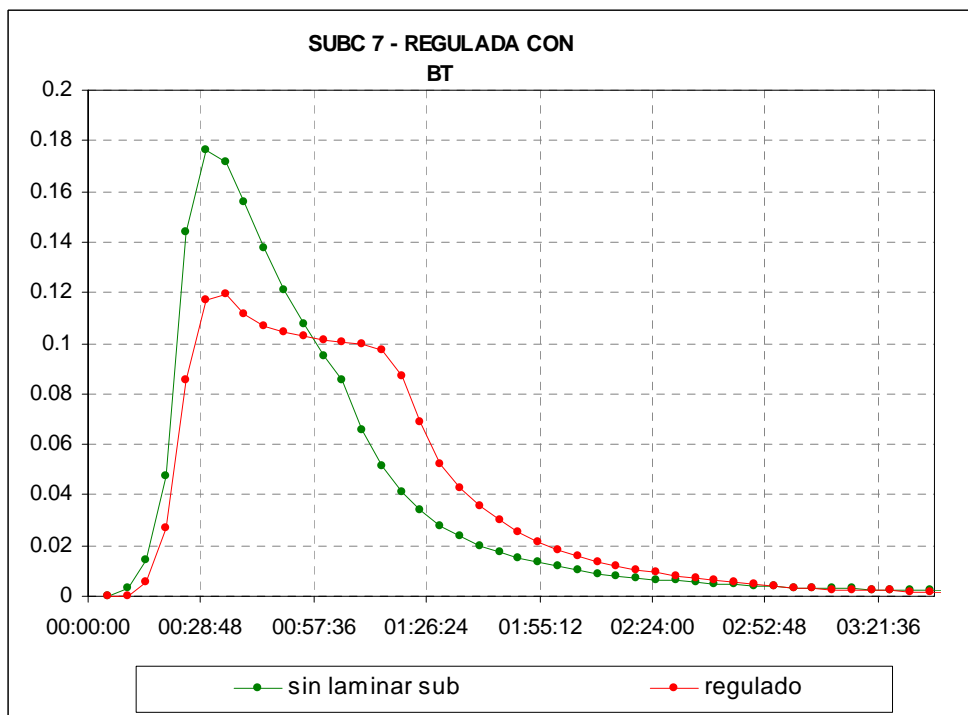


Gráfico Nº 22

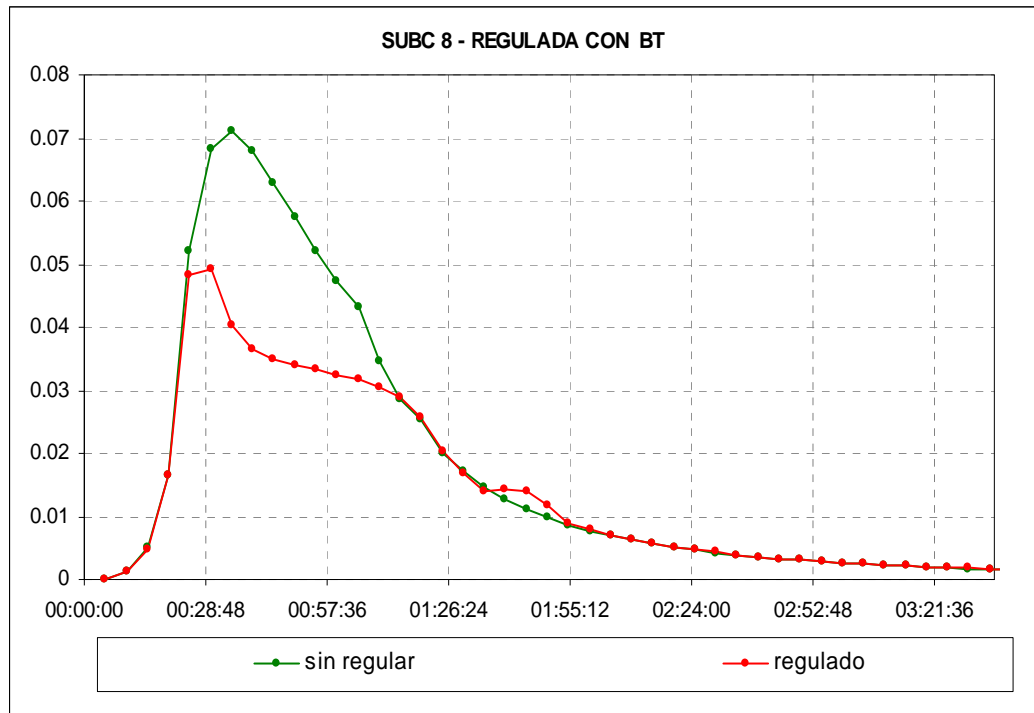


Gráfico N° 23

**Modelación de la subcuenca con regulación distribuida en techo y boca de tormenta**  
 En los Gráficos N° 24 al 31 se muestran los hidrogramas por subcuenca resultantes de regulación en techos más regulación en bocas de tormenta.

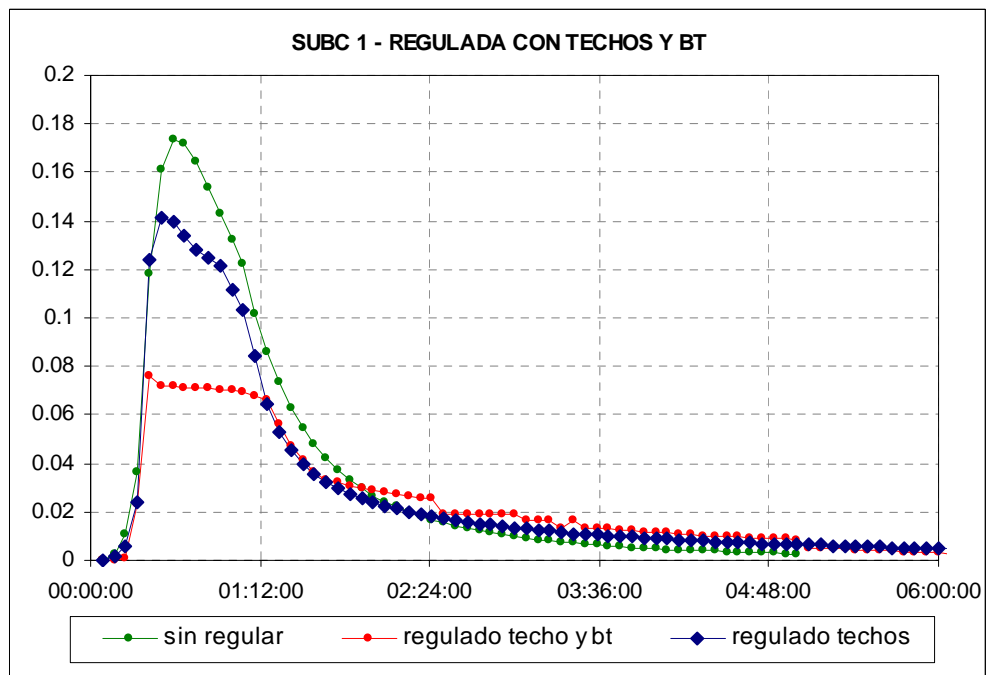


Gráfico N° 24

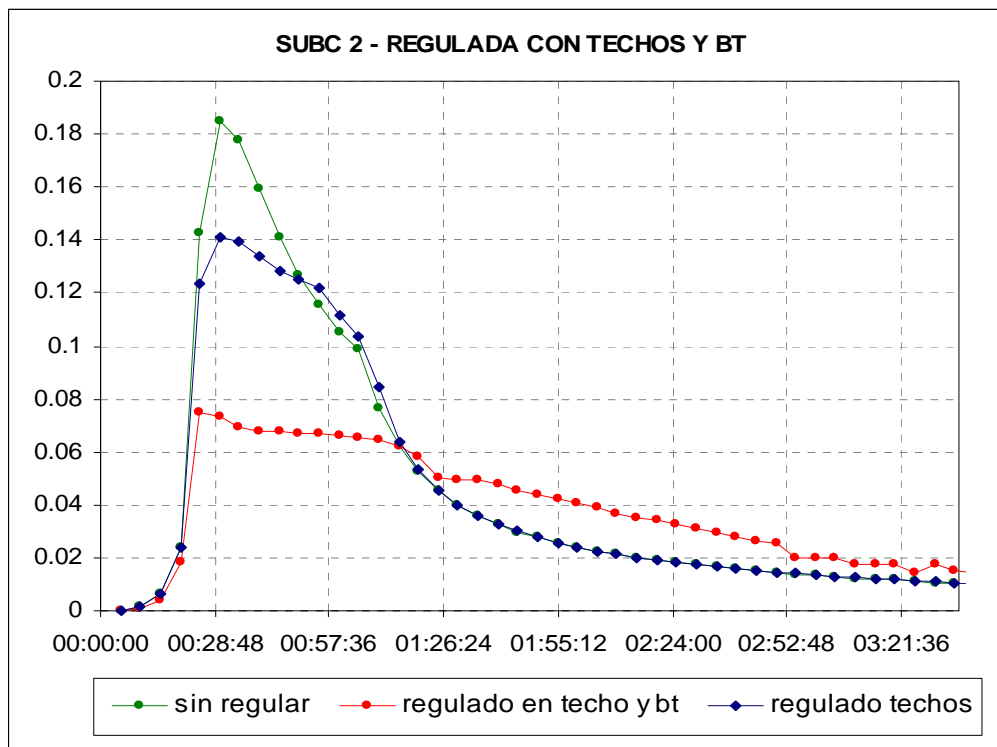


Gráfico Nº 25

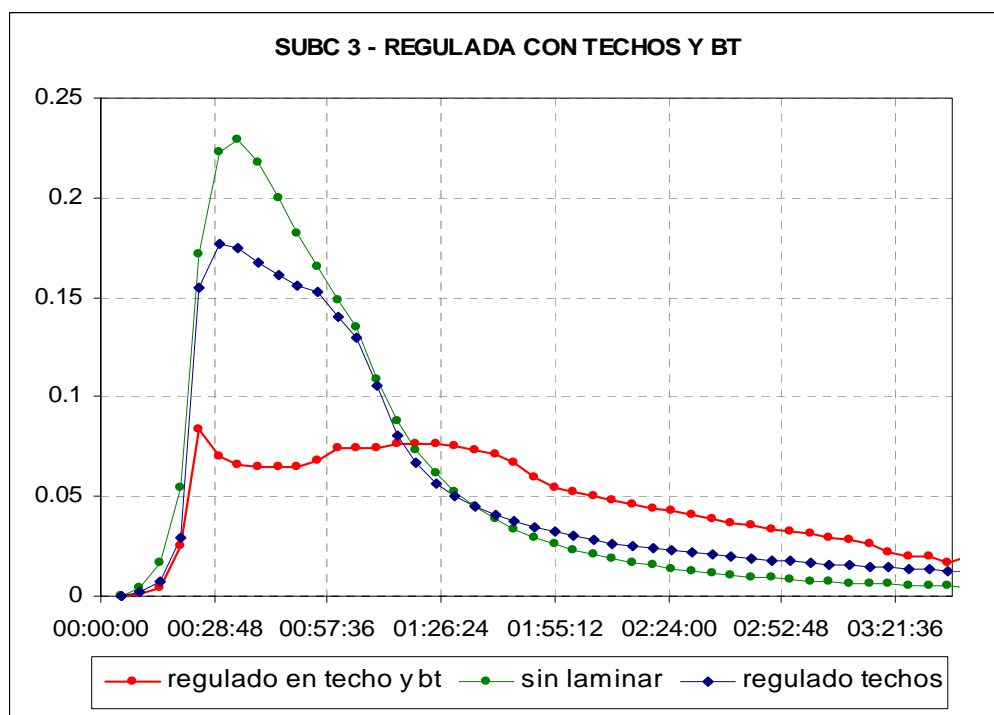


Gráfico Nº 26

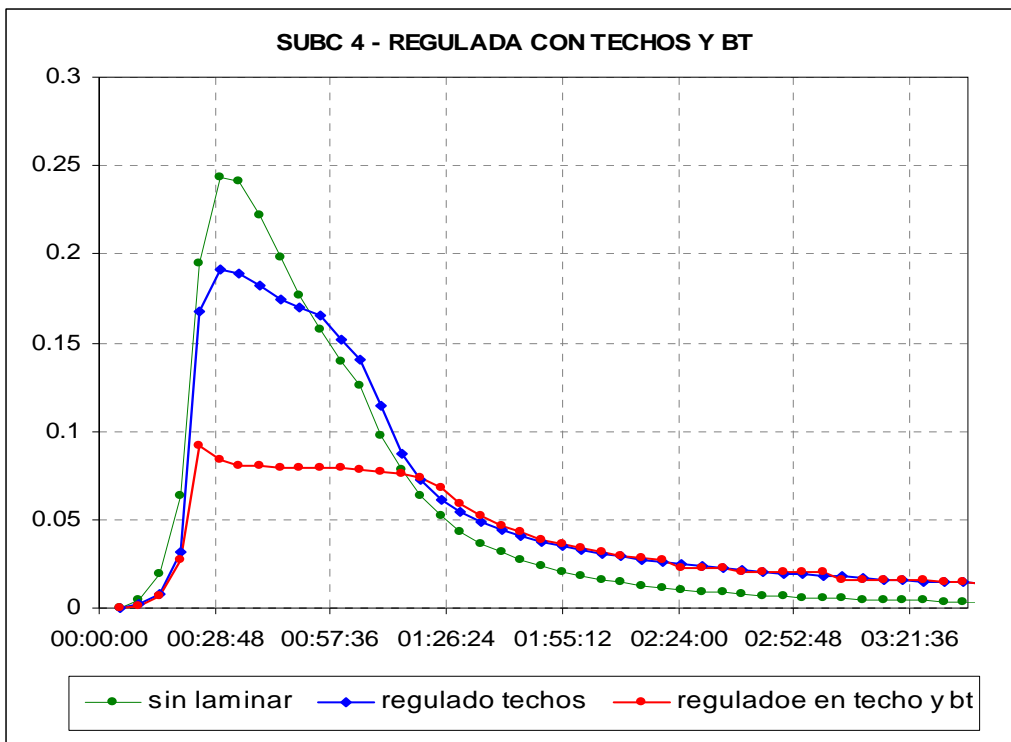


Gráfico Nº 27

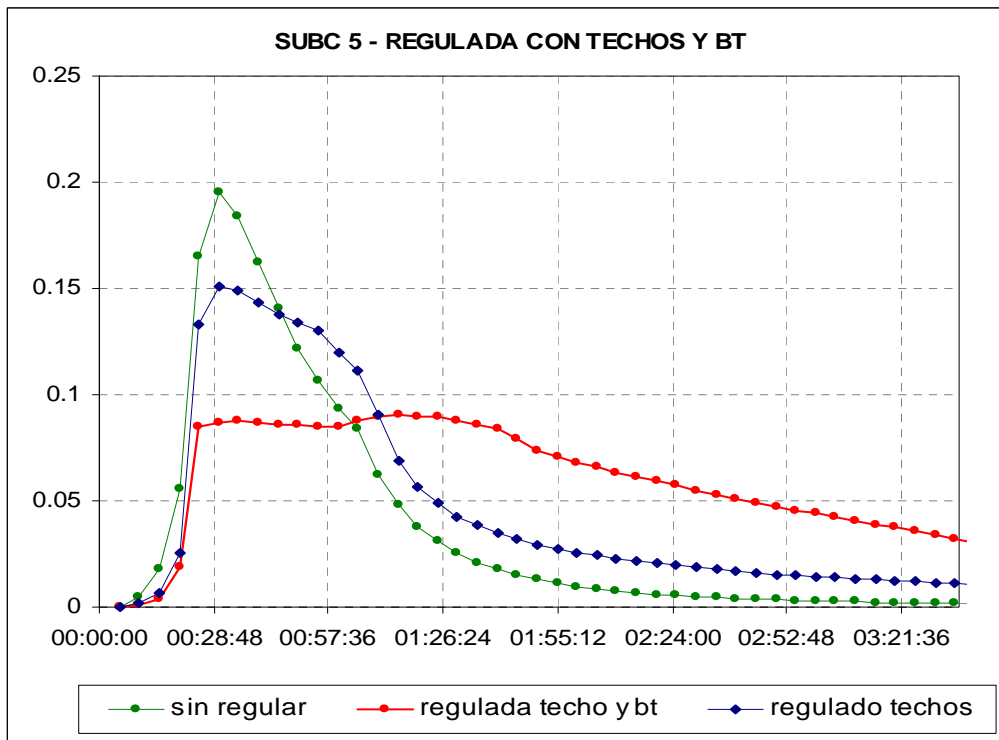


Gráfico Nº 28

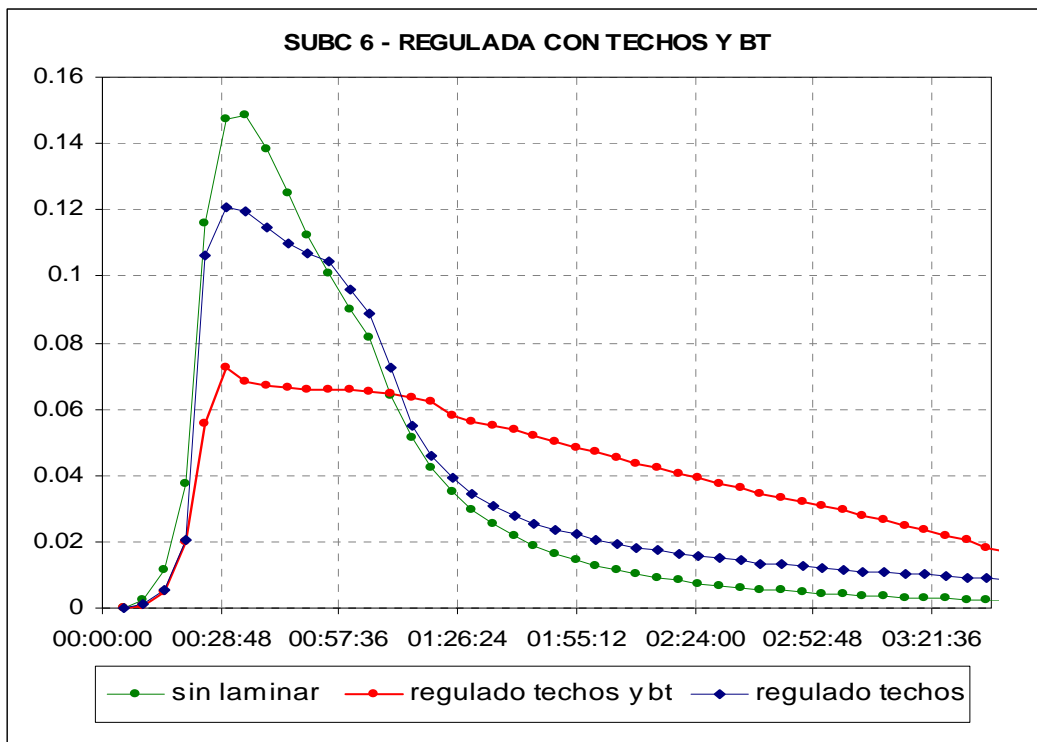


Gráfico Nº 29

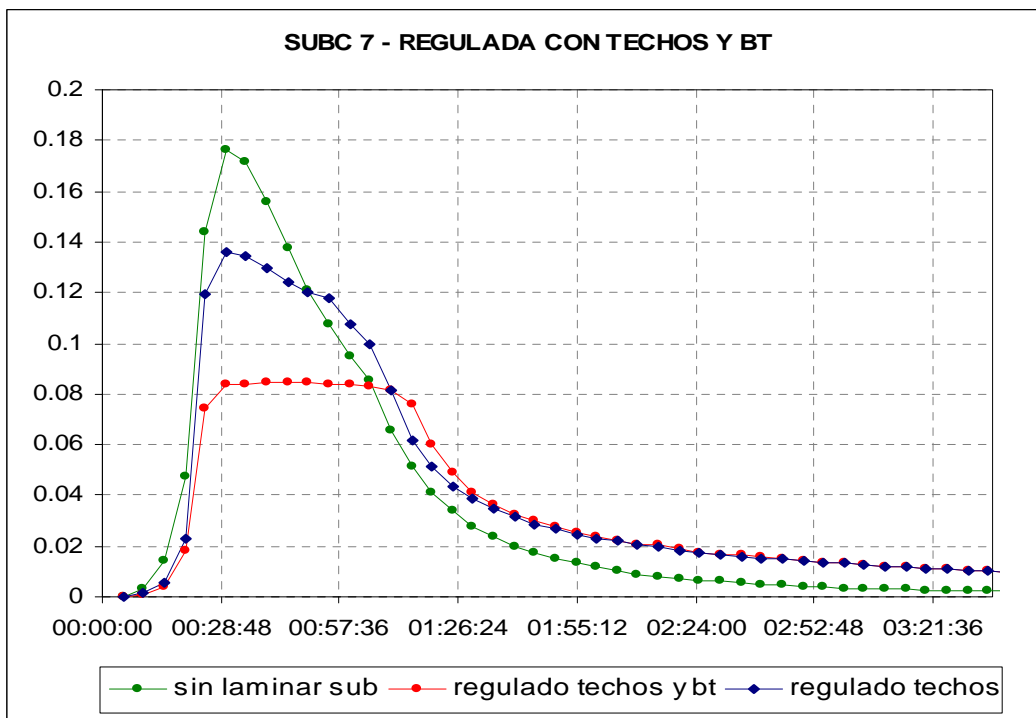


Gráfico Nº 30



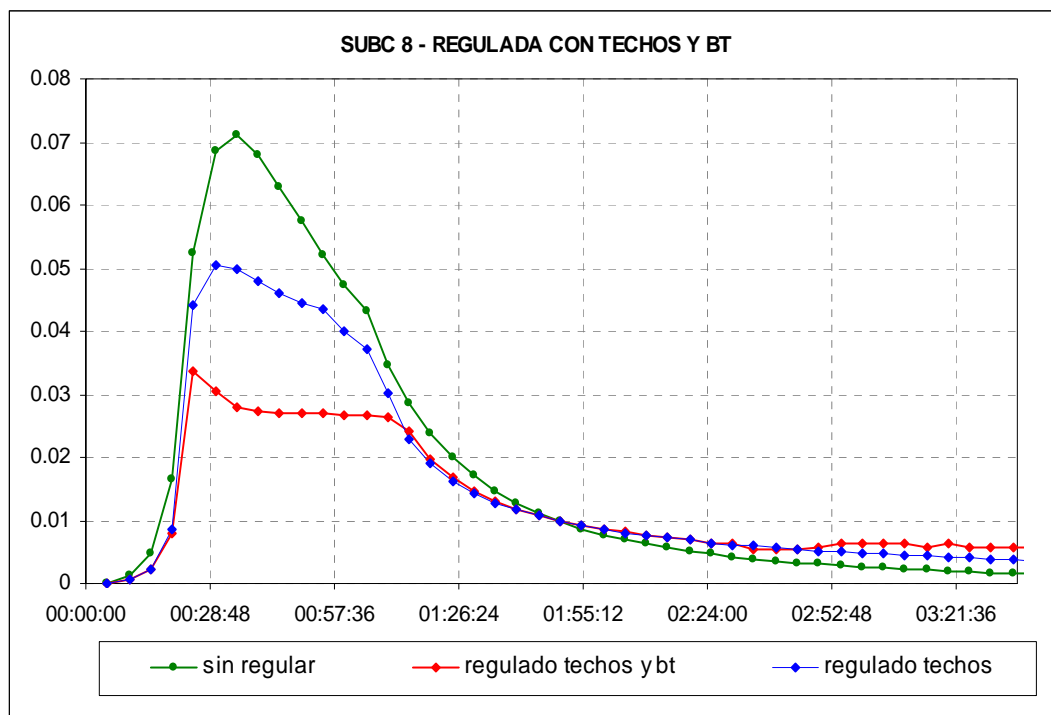


Gráfico N° 31

### 5.5. Análisis de Resultados y Conclusiones

En las Tablas N° 3,4 y 5 se muestra un resumen de los resultados obtenidos por subcuenca para cada una de las alternativas analizadas.

SUB	AREA (Has)	I (%)	IMP(%)	Qptotal (m3/seg)	caudal(lts) por ha	REGULACION CON TECHOS			
						Qptechos (m3/seg)	% laminacion	volumen total m3	volumen por ha
SUB1	4.25	0.08	62	0.19	45	0.149	22	39	9.2
SUB2	3.7	0.19	65	0.184	50	0.149	19	35	9.5
SUB3	4.14	0.19	71	0.23	56	0.176	23	49	11.8
SUB4	3.97	0.29	71	0.243	61	0.2	18	53	13.4
SUB5	3.3	0.31	60	0.195	59	0.16	18	42	12.7
SUB6	2.4	0.16	75	0.148	62	0.128	14	34	14.2
SUB7	2.52	0.24	77	0.176	70	0.14	20	38	15.1
SUB8	1.26	0.14	74	0.07	56	0.05	29	14	11.1
						<b>promedio</b>			
				<b>Qptotal=1.31</b>	<b>57</b>	<b>Qptotal=1.03</b>	<b>20</b>	<b>38</b>	<b>12.1</b>
<b>sin regulacion</b>						<b>23 % regulacion toda la cuenca</b>			

Tabla N° 3

						REGULACION EN BOCAS DE TORMENTA				
SUB	AREA (Has)	I (%)	IMP(%)	Qptotal (m3/seg)	caudal(lts) por ha	QpBT (m3/seg)	% laminacion	volumentotal m3	volumen por ha	
SUB1	4.25	0.08	62	0.19	45	0.08	58	176	41.4	
SUB2	3.7	0.19	65	0.184	50	0.1	46	156	42.2	
SUB3	4.14	0.19	71	0.23	56	0.13	43	182	44.0	
SUB4	3.97	0.29	71	0.243	61	0.152	37	164	41.3	
SUB5	3.3	0.31	60	0.195	59	0.13	33	82	24.8	
SUB6	2.4	0.16	75	0.148	62	0.095	36	99	41.3	
SUB7	2.52	0.24	77	0.176	70	0.12	32	70	27.8	
SUB8	1.26	0.14	74	0.07	56	0.049	30	55	43.7	
						Promedio				
				Qptotal=1.31	57	Qptotal-I=0.8	39	123	38	m3
sin regulacion						38 % regulacion toda la cuenca				

Tabla N° 4

						TECHOS + BOCAS DE TORMENTA				
SUB	AREA (Has)	I (%)	IMP(%)	Qptotal (m3/seg)	caudal(lts) por ha	Qptechos+bt (m3/seg)	% laminacion	volumentotal m3	volumen por ha	
SUB1	4.25	0.08	62	0.19	45	0.076	60	241	56.7	
SUB2	3.7	0.19	65	0.184	50	0.074	60	185	50.0	
SUB3	4.14	0.19	71	0.23	56	0.083	64	311	75.1	
SUB4	3.97	0.29	71	0.243	61	0.092	62	281	70.8	
SUB5	3.3	0.31	60	0.195	59	0.087	55	131	39.7	
SUB6	2.4	0.16	75	0.148	62	0.072	51	110	45.8	
SUB7	2.52	0.24	77	0.176	70	0.084	52	96	38.1	
SUB8	1.26	0.14	74	0.07	56	0.033	53	77	61.1	
						Promedio				
				Qptotal=1.31	57	Qptotal-I=0.56	57	179	55	m3
sin regulacion						57 % regulacion toda la cuenca				

Tabla N° 5

Del análisis de resultados presentados, puede observarse que:

- La tabla N° 3 muestra que regulando los caudales picos por subcuenca en un 20 % promedio, con la implementación de los dispositivos reguladores domiciliarios, es necesario un almacenamiento de 12.1 m3 por ha, (es decir por por manzana).  
Esto implica que se necesitan 300 litros de capacidad de reserva por cada techo simulado en la cuenca.
- La tabla N° 4 muestra que regulando los caudales picos por subcuenca en un 39 % promedio, con la implementación de dispositivos reguladores en boca de tormenta, es necesario un almacenamiento de 38 m3 por ha (por manzana).
- La tabla N° 5 muestra que regulando los caudales picos en un 57 % promedio, con la implementación de los dispositivos reguladores en techos más los dispositivos en boca de tormenta, son necesarios en total 55 m3 por ha (por manzana), repartidos entre los dispositivos domiciliarios y en boca de tormenta, lográndose un resultado similar a la suma de los volúmenes resultantes de las dos alternativas de regulación implementadas por separado.

## **6. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE DESAGÜES PLUVIALES URBANOS DE LA SUBCUENCA REGIMIENTO 12 DE INFANTERIA**

### 6.1. Introducción

El problema de la contaminación del agua en los cuerpos receptores, ya sea en ríos, lagos, lagunas, reservorios, etc., ha sido generalmente atribuido de forma exclusiva a las descargas industriales y las aguas servidas urbanas. Sin embargo, una vez solucionados estos problemas, en muchos países ha quedado de manifiesto que una parte importante de los problemas de calidad en los cuerpos de agua receptores se debe a la denominada contaminación no puntual o difusa, provocada por actividades agrícolas, mineras y principalmente urbanas en las grandes ciudades.

Las precipitaciones en zonas urbanas son una de estas fuentes de contaminación difusa, ya que el escurrimiento desde las ciudades puede arrastrar consigo gran cantidad de contaminantes, y su importancia se ha puesto en evidencia en las últimas décadas. En los Estados Unidos se estima que cerca del 30% de los casos identificados de deterioro de la calidad del agua son atribuibles a las descargas de precipitaciones pluviales urbanas. (U.S.EPA, 1990). (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos).

Actualmente la contaminación de las precipitaciones ha pasado a ser un tema importante en las zonas urbanas debido a la mayor preocupación por el medio ambiente y el mejoramiento de la calidad de vida en las ciudades.

Existen dos procesos fundamentales involucrados en la generación de contaminación aportada por las precipitaciones urbanas; la acumulación de contaminantes sobre las superficies de las ciudades, y el efecto de lavado que provoca la lluvia sobre la atmósfera y sobre la superficie urbana.

Los procesos involucrados son:

**Lavado Atmosférico:** Trata sobre la contaminación contenida en la lluvia al llegar a la superficie terrestre. La atmósfera es la parte del medio ambiente en la cual se generan algunos de los problemas más severos de contaminación difusa, y de hecho a menudo es posible relacionar la contaminación difusa en cuerpos terrestres con la contaminación atmosférica. La remoción de partículas (aerosoles y polvo) desde la atmósfera hacia la superficie terrestre se efectúa mediante el depósito por sedimentación, conocido como deposición atmosférica seca; por la remoción por precipitación; y también por el impacto de las partículas arrastradas por el viento con la vegetación o las superficies rugosas. De la misma forma la remoción de gases se produce durante los períodos de precipitación, la absorción en la superficie terrestre y la adsorción en partículas atmosféricas que posteriormente se remueven.

Los elementos contaminantes se pueden incorporar en la precipitación tanto en el interior de las nubes como en el camino entre ellas y el suelo. Esto último se conoce como lavado atmosférico. Este proceso de lavado hace que las precipitaciones sobre zonas urbanas lleguen al suelo con una cantidad no despreciable de contaminación.

Otro fenómeno involucrado es la acumulación de contaminantes en la superficie, esto es debido a que durante los períodos secos la superficie urbana se comporta como un gran recipiente de basura, polvo y suciedad proveniente de las más diversas fuentes, tales como la deposición atmosférica, la basura arrojada, el deterioro de materiales y emisiones de los automóviles.

Las principales fuentes de contaminación son:

**a) Deposición Atmosférica:**

Esta fuente de sólidos corresponde a la precipitación de partículas finas presentes en la atmósfera, principalmente polvo, polen, y partículas provenientes de las emisiones industriales y la combustión vehicular.

**b) Basura y Suciedad:**

Se considera *basura* a las partículas mayores a 2 mm. Los típicos elementos que la conforman son latas, vidrios, botellas, papeles, materiales de construcción, plásticos, desperdicios orgánicos, restos vegetales, animales e insectos muertos, excrementos de animales, cigarrillos, etc. Se denomina *suciedad* de las calles restos sólidos mayores que el *polvo* y menores que la *basura* (entre 60  $\mu\text{m}$  y 2 mm, tamaño, clasificación propuesta por la EPA, U.S.EPA, 1983), los cuales se originan en gran parte a partir de la destrucción de desperdicios de mayor tamaño.

**c) Árboles y Parques:**

La vegetación presente en las ciudades también produce importantes cantidades de residuos sólidos, principalmente hojas caídas, ramas y pasto cortado, lo que en otoño y en áreas residenciales puede ser por lejos el mayor componente en la composición de los residuos acumulados en las calles

**d) Tráfico:**

Los vehículos son responsables de la deposición de cantidades importantes de contaminantes como hidrocarburos, metales y aceites. Los contaminantes asociados al tráfico vehicular provienen de las emisiones del tubo de escape, desgaste de los neumáticos, pérdidas de aceite y combustible, rotura de partes, sólidos arrastrados por el chasis y los neumáticos, etc.

Todo este material es parcialmente removido por 2 procesos principales; en primer lugar los programas de limpieza y lavado de calles, y en segundo término, el lavado producido por el escurrimiento de las precipitaciones urbanas. Este proceso muy importante es el Lavado Superficial.

El lavado superficial que produce la escorrentía es sin duda el factor fundamental que gobierna el proceso de contaminación de las aguas pluviales urbanas y dentro de este se encuentra el Lavado Inicial, también conocido como First Flush.

### **Objetivo del Muestreo**

El objetivo de este estudio es generar datos de eventos pluviométricos en tiempo real y analizar los principales parámetros contaminantes del agua pluvial, particularmente la que ingresa al sistema de desagües a través de las bocas de tormenta y durante el llamado first flush o lavado inicial de la cuenca de estudio.

El contenido de contaminantes en el escurrimiento urbano, si bien puede caracterizarse por una carga promedio, en general no mantiene una concentración constante a lo largo de la tormenta. En cuencas urbanas, debido al proceso de lavado de superficies impermeables, las cuales contienen una cantidad limitada de contaminantes, es típico que el escurrimiento tenga una carga contaminante mucho mayor al comienzo de las tormentas. A este fenómeno se le ha llamado *lavado inicial* y es sumamente importante de considerar si se quiere obtener polutogramas y estimar concentraciones máximas. También puede ser un factor relevante en el diseño de elementos de control de la contaminación de aguas lluvias, ya que se pueden instalar elementos hidráulicos, de bajo costo que sólo se hagan cargo de la primera parte de la tormenta, lo cual puede hacer mucho más eficiente el diseño de la capacidad y operación de técnicas alternativas, elementos de rebase o captación para plantas de tratamiento o sistemas de almacenamiento y retención.

### 6.2. Muestreo en la subcuenca de Estudio

#### **Diseño y desarrollo del equipo de muestreo**

Para realizar el muestreo de la calidad del agua de lluvia en el denominado lavado inicial de la cuenca, fue necesario diseñar y desarrollar un captador de agua pluvial para bocas de tormenta.

Para lograr este objetivo, hubo que desarrollar y diseñar un muestreador que debía contemplar las siguientes características:

Recibir y contener en un recipiente apropiado los primeros volúmenes de agua de la tormenta, de manera tal que una vez llenado el recipiente, las descargas posteriores sigan su curso sin alterar la muestra, debido a que, caso contrario lavaría o diluiría la muestra colectada.

Esta acción debía hacerse sin operario, es decir el captador sería implementado en el lugar de muestreo y luego de pasada la tormenta, se recolectaría la muestra. Esto es para evitar la logística necesaria que demanda una recolección de muestra en tiempo real, es decir evita realizar la operación cuando se está produciendo la tormenta.

Para lograr este desarrollo, en primera instancia se modificó un antiguo aparato recolector de sedimentos, material dado de baja y disponible en el INA. Este aparato se utilizaba para tomar muestras de sedimentos a distintas profundidades en distintos cuerpos de agua (ríos, lagos, etc) y tenía la particularidad de tener una estructura de metal, que contenía una botella vidriada.

Para diseñar el captador de agua pluvial, se tomaron estos dos elementos y se modificaron como lo muestra la figura N° 14

En primer lugar, se adaptó el sistema de captación ampliando la zona de colección mediante un embudo rectangular que encaja, mediante manguera flexible en la boquilla de toma metálica. A su vez para evitar la entrada de agua una vez que se ha llenado el recipiente, se implementó un flotador dirigido mediante eje flexible, que obtura la entrada de agua cuando se alcanza el nivel deseado en el recipiente.

Además para poder ser instalado en la boca de tormenta, se diseñó un sistema de soporte e instalación, que consta de una barra lateral de acero, con planchuela giratoria graduable (en dirección y en altura), mediante tuercas tipo mariposa, de tal forma que la operación pueda ser fácil y manual. Ver Figura N° 14 y Fotos N° 5,6,7.

Todo fue realizado en acero inoxidable, por la Empresa ACERIND Santa Fe, siguiendo los planos aportados por el INA.

El captador diseñado, de bajo costo y operación manual, podría ser patentado para su fabricación en serie, ya que soluciona y facilita la toma de este tipo de muestras, sin requerir logística y operación en tiempo real.



Foto N° 5

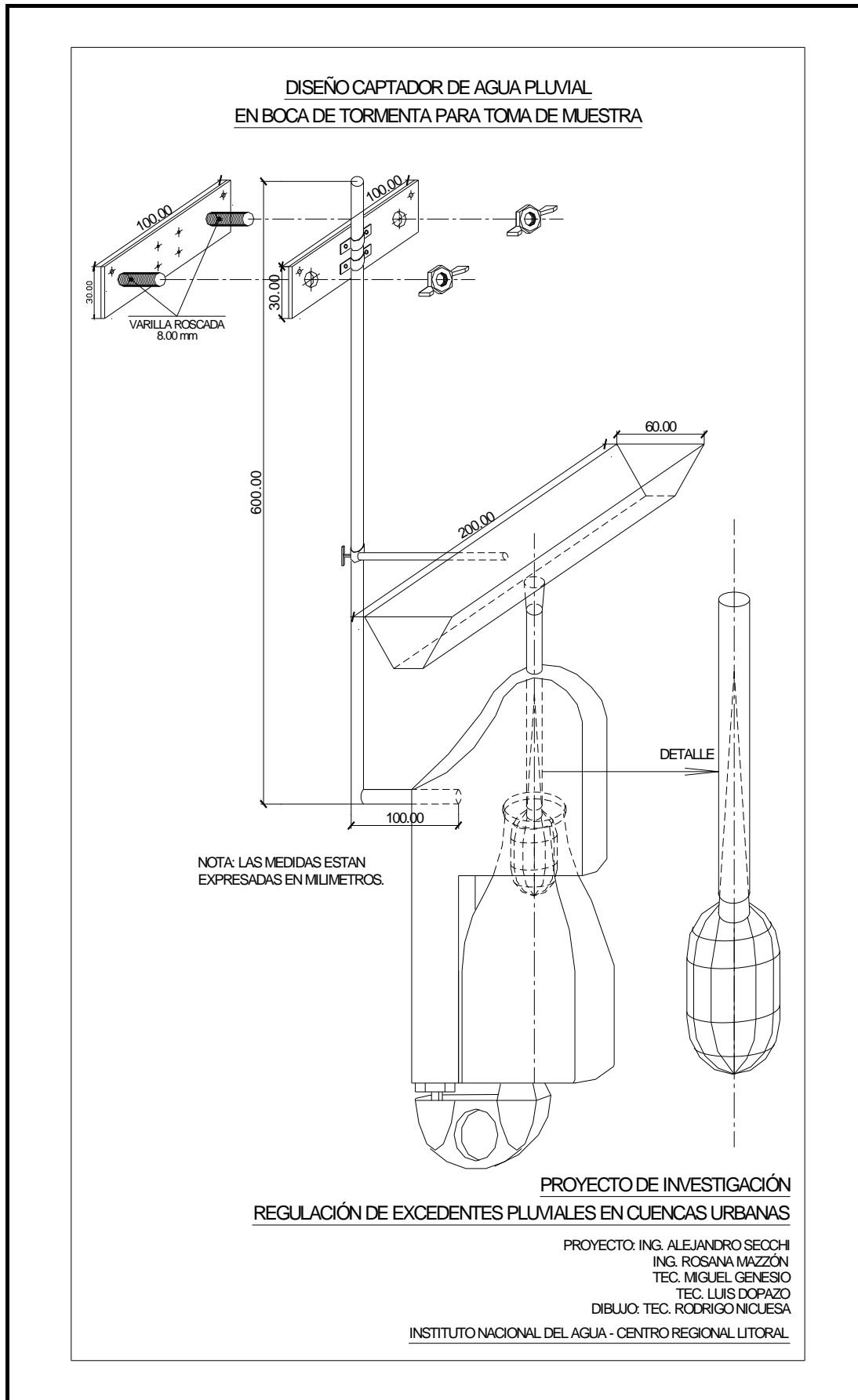


Figura Nº 14



Foto N° 6



Foto N° 7

### 6.3. Análisis de la información obtenida en el muestreo y Conclusiones

Los muestreos han sido realizados en tres tormentas, mediante la instalación de un muestreador en la boca de tormenta ubicada en la intersección de las calles Regimiento 12 de Infantería y Alvear, en la cuenca de estudio denominada Guadalupe Oeste.

Los resultados se presentan en los Protocolos de Laboratorio en el Anexo I (Protocolos de Laboratorio), y resumidos en la Tabla N° 6, puede observarse que los mismos demuestran en general niveles de contaminación menores que los permitidos para efluentes que se vuelquen a conducto pluvial cerrado, según la RESOLUCIÓN N° 1089/82. REGLAMENTO PARA EL CONTROL DEL VERTIMIENTO DE LÍQUIDOS RESIDUALES de la Pcia. de Santa Fe. Salvo los sólidos suspendidos totales, que superan ampliamente los valores permitidos de volcado a cuerpos receptores.

Cabe aclarar que no existe legislación específica, referida al volcado del agua pluvial sin tratamiento a los cuerpos receptores, motivo por el cual se tomó el reglamento mencionado para contrastar los valores obtenidos.

También es necesario destacar que numerosos estudios realizados en otros países, coinciden en que la mayor contaminación en este tipo de proceso denominado Lavado Inicial, es debido a los Sólidos Suspendidos Totales.

A manera de comparación se presentan valores obtenidos a nivel internacional.

Michael Desbordes, investigador francés experto en Hidrología Urbana, presenta un resumen de los resultados de estudios realizados sobre el agua de escurrimiento superficial en el momento de la lluvia para zonas residencial en los Estados Unidos, Europa y Australia:

	<b>Materiales en Suspensión (mg/l)</b>	<b>Plomo (mg/l)</b>
<b>Mínimo</b>	<b>112</b>	<b>0.09</b>
<b>Máximo</b>	<b>1204</b>	<b>0.44</b>



Determinaciones	Tormenta 6y7/10/2011	Tormenta 19,20,21/11/2011	Tormenta 22,23,24/12/2011
<b>Sólidos Totales (mg/l)</b>	1999	3893	865
<b>Sólidos suspendidos Totales (mg/l)</b>	1674	3229	137
<b>pH</b>	7,21	6,99	7,23
<b>Conductividad (µs/cm)</b>	277	745	563
<b>Nitrato (mg/l)</b>	27	N/D	N/D
<b>Nitrito (mg/l)</b>	N/D	N/D	(*)
<b>Hierro (mg/l)</b>	0,15	2	(*)
<b>Plomo (mg/l)</b>	N/D	N/D	(*)
<b>Hidrocarburos Totales (mg/l)</b>	N/D	N/D	(*)

N/D: No detectable

(\*): La cantidad de muestra no fue suficiente para realizar el ensayo

TABLA N° 6: Resultados de Laboratorio

Respecto al proceso denominado Lavado Inicial de cuencas en bocas de tormenta, y a los resultados obtenidos en los muestreos realizados, se puede concluir que los contaminantes y parámetros determinados, en términos generales, están por debajo de los límites admitidos tanto en lo que respecta a pH, nitritos, nitratos, metales pesados e hidrocarburos totales muestreados, salvo los sólidos suspendidos totales, que superan ampliamente los límites establecidos, hecho que coincide con la bibliografía internacional.

Cabe destacar que para hacer frente a esta problemática, el INA, ha desarrollado y patentado una alternativa de sistema de pretratamiento de aguas pluviales para implementar en bocas de tormenta. Patente de Invención N° AR031686B1 "Instalación de Boca de tormenta con recurso de pretratamiento y regulación del caudal que desembalsa"

## 7. CONCLUSIONES GENERALES DEL ESTUDIO

En el presente proyecto se han cumplido los principales objetivos planteados, a través de la implementación de un modelo matemático hidrológico – hidráulico (SWMM) con el fin de simular el funcionamiento de los dispositivos de regulación de los caudales picos desarrollados por el INA en una subcuenca perteneciente a la cuenca Guadalupe Oeste de la ciudad de Santa Fe, validándose las corridas del modelo mediante registros pluviométricos e hidrométricos medidos en el transcurso de este estudio.

Se simuló matemáticamente distintas alternativas de implementación de dispositivos reguladores de caudales en bocas de tormenta y dispositivos domiciliarios, en forma separada y combinada en la subcuenca, lográndose la cuantificación de los volúmenes totales necesarios a almacenar para que el conducto principal existente trabaje sin producir anegamientos para la tormenta de diseño seleccionada.

Analizando los resultados en conjunto puede observarse que con la regulación combinada se logran mayores porcentajes de disminución de los caudales picos, que con la regulación efectuada con los sistemas de bocas de tormenta y techos en forma separada.

Un aspecto muy importante que se desprende del análisis mencionado es que, para la cuenca estudiada es necesario almacenar solo el 10 % del total de lluvia precipitada, para lograr una disminución de los caudales máximos en el orden del 50 %. Es decir, el caudal máximo que debe descargar el conducto principal se reduce a la mitad por efecto de la regulación implementada.

Esta reducción de caudales implica que una cuenca con una red de desagüe deficitaria puede ser recuperada en términos de proyecto con estas alternativas de solución, sin necesidad de ampliación y reposición de los conductos pluviales existentes.

Hay que remarcar también que la aplicación de la regulación puede realizarse en forma separada o combinada dependiendo del nivel de incapacidad hidráulica del sistema y de la inversión a realizar. Esta inversión puede ser pública, como en el caso de la aplicación de los dispositivos en bocas de tormenta a través de fondos municipales, o bien, de inversiones privadas con la aplicación de los dispositivos de regulación domiciliarios en la regulación de predios particulares.

Con respecto a la calidad del agua pluvial urbana y para el caso específico del fenómeno estudiado que es el denominado Lavado Inicial de la cuenca, se destaca el buen funcionamiento del captador diseñado, desarrollado e implementado en el presente proyecto, lo cual permitió obtener las muestras necesarias del agua pluvial en bocas de tormenta.

Los resultados obtenidos a partir de los muestreos mencionados, permiten concluir que la mayoría de los contaminantes analizados están por debajo de los límites admitidos, salvo los sólidos suspendidos, que superan ampliamente los límites establecidos en la reglamentación existente.

Lo mencionado coincide con las experiencias internacionales en este tema y pone en evidencia que los esfuerzos con respecto al tratamiento de la calidad del agua pluvial urbana, deberán estar dirigidos a la retención y tratamiento de los sólidos presentes en el escurrimiento pluvial.

***Agradecimientos: Téc. Miguel Pratto por la instalación del captador de muestras en boca de tormenta y al Téc. Rodrigo Nicuesa por el dibujo técnico del mismo.***

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Secchi A., Mazzón R., 2000. "Nuevas Tecnologías para Contribuir a la Solución de las Inundaciones en Grandes Ciudades". Memorias del XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Tomo II, p. 209-217.

Secchi A., Mazzón R., Porta S., Mottura M., 2002. "Implementación de Medidas Estructurales y No Estructurales para la Regulación de Excedentes Pluviales en la Ciudad de Rosario". Anales del XIX Congreso Nacional del Agua. Villa Carlos Paz, Córdoba.

Macor J., Pedraza R., 2001. "Efectos de la Escala Espacial en la Simulación de Excesos Pluviales de Áreas Urbanas Usando el Modelo SWMM". I Seminario de Drenagem Urbana do Mercosul – V Seminario Nacional de Drenagem Urbana. Vol. I, pág. 105 – 110. Porto Alegre, Brasil.

Maksimović Ć., Radojković M., 1986. "Urban Drainage Catchments". Pergamon Press.

Maza J., Fornero L., Litwin C., Fernández P., 1996. "ARHYMO. Versión 2.0". Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas – Centro Regional Andino, Mendoza.

Pedraza R., 2002. "OCRED-1: Un Modelo Lluvia Escorrentía Basado en las Ecuaciones de la Onda Cinemática Versión 1.0", Serie de publicaciones I+D, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral.

Pedraza R., Collins J., Pusineri G., Macor J., Ocampo, 1996. "Implementación y Operación de una Cuenca Urbana Experimental en la Ciudad de Santa Fe (Prov. de Santa Fe)". Anales del XVI Congreso Nacional del Agua, Neuquén, Argentina.

Pilar, J. Depettris C., 2001. "Estimación de la impermeabilidad de una cuenca urbana mediante el procesamiento de imágenes satelitales". Libro de Resumos, I Seminario de Drenagem Urbana do Mercosul. IPH – ABRH. Porto Alegre, Brasil.

Pusineri, G, 2001. "Aplicación de un Sistema de Información Geográfica para la determinación de parámetros en modelos matemáticos en Hidrología Urbana", Tesina Final del Master Internacional de Sistemas de Información Geográfica, Universidad de Girona, España.

Pusineri G., Pedraza R., Lozeco C., 2001. "Determinación de Parámetros de Modelos Hidrológicos Urbanos con SIG". Coautor. Publicado en las Memorias del I Seminario de Drenagem Urbana do Mercosul. V Seminario Nacional de Drenagem Urbana. Vol.:I, Pag 155 –160. Porto Alegre.

Maza J., Fornero L., Litwin C., Fernández P., 1996. "ARHYMO" Versión 2.0. Noviembre de 1996. Instituto Nacional del Agua. Centro Regional Andino.

Wisner P., P'ng. C., 1986. "OTTHYMO: Un modelo matemático para Planificación de Sistemas Maestros de Drenaje." Universidad de Ottawa, Canadá.

Water Environment Federation - American Society of Civil Engineers . *Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems* (1992), ASCE, New York.

Calomino F., Maksimović Ć., Molino B., (1995). *Urban Drainage: Experimental Catchments in Italy* . Editorial Bios. Cosenza. Italia.

Chow VT Maidment d y Mays L. (1994) *Hidrología Aplicada*. Edit. Mc Graw-Hill

Heras, R (1972) *Manual de Hidrología* (T8), Dirección General de Obras Hidráulicas, Centro de Estudios Hidrográficos, Madrid.

Iriondo Martín H. (2010) *Las aguas Superficiales y Subterráneas de la Provincia de Santa Fe*.

Orsolini H.E, Zimmermann E.D., Basile P.A. (2008). *Hidrología, Procesos y Métodos*. Edit. UNR.

Nanía Leonardo S., Valentín Manuel Gómez (2006). *Ingeniería Hidrológica*. Edit. Grupo Editorial Universitario.

Isaac Rahmane. *Polución de Aguas Pluviales Urbanas*. Municipalidad de Cordoba.

Jose Pepro Montt Monckeberg (2000). *Antecedentes Empíricos y Modelación de la Calidad de Las Aguas de Lluvias Urbanas*. Santiago de Chile.

Antoine Bailleux, Lemmy Conil. *Recuperation Des Eaux Pluviales*. Universite Montpellier. France.

# **Anexo I**

(Protocolos de Laboratorio)



Instituto Nacional del Agua  
Patricio Cullen 6161  
Santa Fe

## PROTOCOLO DE ANALISIS N° 33025

Muestra: Agua pluvial

Fecha de muestreo: 12.10.2011

Fecha de recepción de la muestra: 12.10.2011

Fecha de inicio de Análisis: 13.10.2011

Código interno: 22904

Identificación: Fecha: 07/10/11 Hora: 12hs

### RESULTADOS

Límites de detección

	RESULTADOS	Límites de detección
Sólidos Totales (mg/lt)	1999	
Sólidos Susp. Totales (mg/lt)	1674	
pH	7,21	
Conductividad (µS/cm)	277	
Nitrato (mg/lt)	27,0	
Nitrito (mg/lt)	N/D	0,005
Hierro (mg/lt)	0,15	
Plomo (mg/lt) (*)	N/D	0,05
Hidrocarburos Totales (mg/lt)	N/D	10

Fecha de finalización de Análisis: 26.10.2011 (\*) Análisis tercerizado

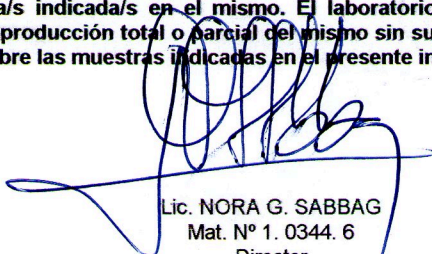
N/D = No Detectable

#### Metodología utilizada:

- Sólidos Totales: Técnica N° 2540B. Referencia A.P.H.A 21 Edición - 2005.
- Sólidos Susp. Totales: Técnica N° 2540D. Referencia A.P.H.A 21 Edición - 2005.
- pH: Técnica N° 4500<sup>+</sup> HB. Referencia A.P.H.A 21 Edición - 2005
- Conductividad: Técnica N° 2510B. Referencia A.P.H.A 21 Edición - 2005
- Nitrato: Colorimétrica. Merck
- Nitrito: Técnica N° 4500 NO<sub>2</sub>B. Referencia A.P.H.A 21 Edición - 2005
- Hierro: Técnica N° 3500 Fe B. Referencia A.P.H.A 21 Edición - 2005
- Plomo: Espectrometría de Absorción Atómica
- Hidrocarburos Totales: Técnica N° 5520F. Referencia A.P.H.A 21 Edición - 2005

Los resultados del presente informe corresponden a la/s muestra/s indicada/s en el mismo. El laboratorio no se hace responsable por el uso indebido del presente informe y prohíbe la reproducción total o parcial del mismo sin su autorización escrita. El laboratorio no se responsabiliza del muestreo realizado sobre las muestras indicadas en el presente informe

Recreo Sur, 26 de Octubre de 2011. -



Lic. NORA G. SABBAG  
Mat. N° 1. 0344. 6  
Director



# Laboratorio de Análisis Industriales

Instituto Nacional del Agua  
Patricio Cullen 6161  
(3000) Santa Fe

## PROTOCOLO DE ANALISIS N° 33463

Muestra: Agua pluvial

Fecha de muestreo: ---

Fecha de recepción de la muestra: 24.11.2011

Fecha de inicio de Análisis: 26.11.2011

Código interno: 23493

Identificación: 19/11/2011

### RESULTADOS

Límites de detección

	RESULTADOS	Límites de detección
Sólidos Totales (mg/l)	3893	
Sólidos Susp. Totales (mg/l)	3229	
pH	6,99	
Conductividad (µS/cm)	745	
Nitrato (mg/l)	N/D	2,1
Nitrito (mg/l)	N/D	0,005
Hierro (mg/l)	2,00	
Hidrocarburos Totales (mg/l)	N/D	10

Fecha de finalización de Análisis: 01.12.2011

N/D = No Detectable

#### Metodología utilizada:

- Sólidos Totales: Técnica N° 2540B. Referencia A.P.H.A 21 Edición - 2005.
- Sólidos Susp. Totales: Técnica N° 2540D. Referencia A.P.H.A 21 Edición - 2005.
- pH: Técnica N° 4500\* HB. Referencia A.P.H.A 21 Edición - 2005
- Conductividad: Técnica N° 2510B. Referencia A.P.H.A 21 Edición - 2005
- Nitrato: Colorimétrica. Merck
- Nitrito: Técnica N° 4500 NO<sub>2</sub>B. Referencia A.P.H.A 21 Edición - 2005
- Hierro: Técnica N° 3500 Fe B. Referencia A.P.H.A 21 Edición - 2005
- Hidrocarburos Totales: Técnica N° 5520F. Referencia A.P.H.A 21 Edición - 2005

Los resultados del presente informe corresponden a la/s muestra/s indicada/s en el mismo. El laboratorio no se hace responsable por el uso indebido del presente informe y prohíbe la reproducción total o parcial del mismo sin su autorización escrita. El laboratorio no se responsabiliza del muestreo realizado sobre las muestras indicadas en el presente informe

Recreo Sur, 01 de Diciembre de 2011. -

Lic. NORA G. SABBAG



# Laboratorio de Análisis Industriales

Ing. Alejandro Secchi  
 Instituto Nacional del Agua  
 Patricio Cullen 6161  
 (3000) Santa Fe

## PROTOCOLO DE ANALISIS N° 33581

Muestra: Agua pluvial

Fecha de muestreo: ---

Fecha de recepción de la muestra: 24.11.2011

Fecha de inicio de Análisis: 24.11.2011

Código interno: 23494

Identificación: 19/11/2011

### RESULTADOS

Límites de detección

Plomo (mg/lit)\*

N/D

0,2

Fecha de finalización de Análisis: 14.12.2011

N/D = No Detectable

(\*) Análisis tercerizado

#### Metodología utilizada:

- Plomo: Espectroscopía de Absorción Atómica.

Los resultados del presente informe corresponden a la/s muestra/s indicada/s en el mismo. El laboratorio no se hace responsable por el uso indebido del presente informe y prohíbe la reproducción total o parcial del mismo sin su autorización escrita. El laboratorio no se responsabiliza del muestreo realizado sobre las muestras indicadas en el presente informe

Recreo Sur, 14 de Diciembre de 2011. –

Lic. NORA G. SABBAG  
 Mat. N° 1. 0344. 6  
 Director





Ing. Alejandro Secchi  
Instituto Nacional del Agua  
Patricio Cullen 6161  
(3000) Santa Fe

## PROTOCOLO DE ANALISIS N° 33652

Muestra: Agua pluvial

Fecha de muestreo: 22.12.2011

Fecha de recepción de la muestra: 22.12.2011

Fecha de inicio de Análisis: 22.12.2011

Código interno: 23750

Identificación: 22/12/2011. Aprox 0:30hs

### RESULTADOS

Límites de detección

Sólidos Totales (mg/lit)	865	
Sólidos Susp. Totales (mg/lit)	137	
pH	7,23	
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	563	
Nitrato (mg/lit)	N/D	2,1
Nitrito (mg/lit)	(*)	
Hierro (mg/lit)	(*)	
Hidrocarburos Totales (mg/lit)	(*)	

Fecha de finalización de Análisis: 23.12.2011

N/D = No Detectable

(\*) La cantidad de muestra no fue suficiente para realizar el ensayo.

#### Metodología utilizada:

- Sólidos Totales: Técnica N° 2540B. Referencia A.P.H.A 21 Edición - 2005.
- Sólidos Susp. Totales: Técnica N° 2540D. Referencia A.P.H.A 21 Edición - 2005.
- pH: Técnica N° 4500\* HB. Referencia A.P.H.A 21 Edición - 2005
- Conductividad: Técnica N° 2510B. Referencia A.P.H.A 21 Edición - 2005
- Nitrato: Colorimétrica. Merck

Los resultados del presente informe corresponden a la/s muestra/s indicada/s en el mismo. El laboratorio no se hace responsable por el uso indebido del presente informe y prohíbe la reproducción total o parcial del mismo sin su autorización escrita. El laboratorio no se responsabiliza del muestreo realizado sobre las muestras indicadas en el presente informe

Recreo Sur, 23 de Diciembre de 2011. –



# Laboratorio de Análisis Industriales

Ing. Alejandro Secchi  
Instituto Nacional del Agua  
Patricio Cullen 6161  
(3000) Santa Fe

## PROTOCOLO DE ANALISIS N° 33653

Muestra: Agua pluvial

Fecha de muestreo: 22.12.2011

Fecha de recepción de la muestra: 22.12.2011

Fecha de inicio de Análisis: 22.12.2011

Código interno: 23751

Identificación: 22/12/2011. Aprox 0:30hs

## RESULTADOS

Plomo (mg/lit)

(\*)

Fecha de finalización de Análisis: 23.12.2011

(\*) La cantidad de muestra no fue suficiente para realizar el ensayo.

### Metodología utilizada:

- Plomo: —

Los resultados del presente informe corresponden a la/s muestra/s indicada/s en el mismo. El laboratorio no se hace responsable por el uso indebido del presente informe y prohíbe la reproducción total o parcial del mismo sin su autorización escrita. El laboratorio no se responsabiliza del muestreo realizado sobre las muestras indicadas en el presente informe

Recreo Sur, 23 de Diciembre de 2011. –

Lic. NORA G. SABBAG  
Mat. N° 1. 0344. 6  
Director