

**INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA (INA)**  
**CENTRO REGIONAL LITORAL (CRL) - SANTA FE - ARGENTINA**  
**Nuevas tecnologías para contribuir a la solución de inundaciones en grandes ciudades.**

**Autores:** Ing. Alejandro Secchi

Ing. Rosana Mazzón

**Colaboradores:** Ing. Ricardo Giacosa

Ing. Héctor Bianchi

## **1. Introducción**

La urbanización provoca efectos y cambios importantes en el ciclo hidrológico, aumentando los volúmenes de escurrimiento, y las descargas pico y reduciendo los tiempos de distribución del flujo.

En general las grandes ciudades del país se ven afectadas por un acelerado y desordenado crecimiento de la urbanización, aumentando los efectos mencionados y dejando a las redes existentes de desagüe pluvial sin capacidad para conducir los caudales generados y en consecuencia las inundaciones son cada vez más frecuentes. Algunas de estas inundaciones en cuencas altamente urbanizadas, alcanzan niveles alarmantes y pérdidas económicas millonarias, como los casos de cuencas de los arroyos de la ciudad de Buenos Aires y Rosario (Argentina).

Como respuesta a estos eventos, generalmente se alude a catástrofes naturales o fenómenos excepcionales, sin tener en cuenta que en la actualidad existe un avanzado desarrollo científico en este campo. Las nuevas técnicas de control a nivel, se basan en el principio de la desaceleración del escurrimiento en cuencas urbanizadas mediante sistemas de almacenamiento o infiltración. Se ha comenzado a usar como solución a estos problemas, sistemas de compuertas para retener en las redes a tiempo real (EEUU, Japón), o sistemas de almacenamiento en grandes túneles con bombeo posterior a la tormenta (Suecia), lagos de retención integrados en las ciudades (Francia) También esta en experimentación otras técnicas para reducir los coeficientes de escurrimiento como trincheras y zanjas de infiltración, pavimentos porosos, los cuales restan cuestionados por los ingenieros viales, ya que disminuye la impermeabilidad necesaria de calzadas y la resistencia estructural, otra técnica es la acumulación en los techos, que esta cuestionada por los ingenieros y arquitectos, ya que produce sobrecarga en los techos, filtraciones y obliga a sobredimensionar las estructuras y aumentar costos.

No obstante, aun contando con estas técnicas, en cuencas altamente urbanizadas, las soluciones propuestas a las inundaciones son cada vez más complejas, debido a la falta de espacios verdes disponibles, si se opta por soluciones con almacenamiento, y en los casos de soluciones clásicas por conducción a superficie libre, por la gran cantidad de interferencias de infraestructura de servicios públicos y el impacto que producen estas obras en el medio ambiente.

Con el fin de contribuir en las alternativas de soluciones estructurales para hacer frente al problema de las inundaciones en áreas urbanas y en base a los nuevos conceptos y metodologías mencionados, el INA Instituto Nacional del Agua y del Ambiente ha desarrollado, experimentado y patentado un dispositivo regulador de crecidas.

## **2.- Medidas estructurales y no estructurales:**

Establecer un conjunto de normas técnicas y legales, medidas estructurales y no estructurales, como base para esa planificación integral del saneamiento urbano.

Las medidas estructurales se relacionan con las obras a ejecutar e incluyen configuraciones de tuberías y canales, dispositivos reguladores, presas y vertederos, almacenamientos, canales derivadores, diques laterales de contención, etc.

Las medidas no estructurales incluyen cambios de usos de tierra, prohibición de ocupación de áreas inundables, zonificación por riesgo, pautas de edificación, tipos de obras correctivas, sistemas de alerta hidrológica, etc.

Como consecuencia, queda claro que para elaborar propuestas y soluciones en el drenaje urbano es menester combinar ambos tipos de medidas.

Básicamente se deben considerar tres aspectos para la formulación de estas medidas que si bien se presentan en forma conjunta, para una mejor comprensión se enuncian a continuación por separado y que son

### **Aspectos técnicos:**

Es conocido que la regulación se puede conseguir en diferentes escalas y con diferentes niveles de intervención:

- \* A nivel de predio, con intervención del Propietario y del Municipio
- \* A nivel de calles en el ingreso del agua a conductos, con intervención del Municipio
- \* A nivel de cuenca urbana y rural en zonas apropiadas de almacenamiento, con intervención del Municipio y / o Provincia.

El segundo y tercer nivel por corresponder a la intervención del Municipio y/o Provincia no requiere para la implementación de las medidas de una norma o reglamentación especial y por lo tanto no son los casos a considerar.

La regulación a nivel de predio es por lo tanto la que interesa específicamente, y desde el punto de vista técnico lo más importante es determinar con precisión el hidrograma resultante de la tormenta de diseño puesto que ello indicará el grado de regulación que es posible.

### **Aspectos económicos:**

La primera cuestión a considerar es que las medidas de regulación no pueden ser una acción aislada sino formar parte de una alternativa de solución de la cual se haya previamente estudiado su factibilidad técnico-económica.

La segunda cuestión apunta a las fuentes de financiamiento, donde debe establecerse si el plan de inversiones y de o. y m. se atenderá con : recursos generales del municipio (como parte de los servicios que debe prestar), con recursos específicos del contribuyente para obras de drenaje urbano, con créditos externos.

### **Aspectos normativos/legales:**

Estos se refieren específicamente a todos los instrumentos jurídicos que permitan la implementación de los aspectos técnicos y económicos de la regulación de excesos pluviales a nivel predial en beneficio del conjunto social, pero sin lesionar legítimos intereses y derechos privados.

Concretamente se deberá reglamentar los aspectos constructivos de viviendas y edificaciones en general de forma tal de establecer el cálculo de los volúmenes a regular y como incorporar mecanismos y dispositivos que cumplan con dicha finalidad. Esto puede lograrse con la introducción de capítulos específicos sobre el tema en el **Reglamento de edificación, Plan**

Regulador o Código Urbano existentes.

### 3. Desarrollo del dispositivo regulador en BT

#### 3.1. Descripción geométrica e hidráulica.

La función del dispositivo es trabajar con almacenamientos distribuidos y regulados sobre los caudales antes que ingresen a los conductos de desagüe pluvial, los cuales adecuadamente laminados y combinados en la cuenca, permiten conformar picos regulados por diseño y manejar los desfasajes de hidrogramas de crecida en las subcuencas con los desembalses calculados para las tormentas de proyecto. Es decir en función de la capacidad actual de la red o conducto en estudio, se determina el grado de insuficiencia para conducir los excesos generados para una tormenta de diseño seleccionada. En base a esto 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 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 (figura 1) 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. Estos elementos son calculados en función de la tormenta de proyecto adoptada, de los porcentajes de laminación y los tiempos de desembalse buscados.

Si bien el funcionamiento en sus condiciones de diseño 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. A partir de este punto del hidrograma, por proyecto, se comienza a almacenar la porción establecida del pico de crecida en el segundo reservorio que se encuentra vacío y con la capacidad de retención proyectada para cada boca de tormenta. 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, por diferencia de alturas en estas cámaras, hacia la red. La velocidad regulada de este desembalse es de gran importancia en la suma y conformación de los hidrogramas a circular por los conductos. El factor fundamental en el dispositivo es, por lo antedicho, la combinación de funcionamientos hidrológicos e hidráulicos.

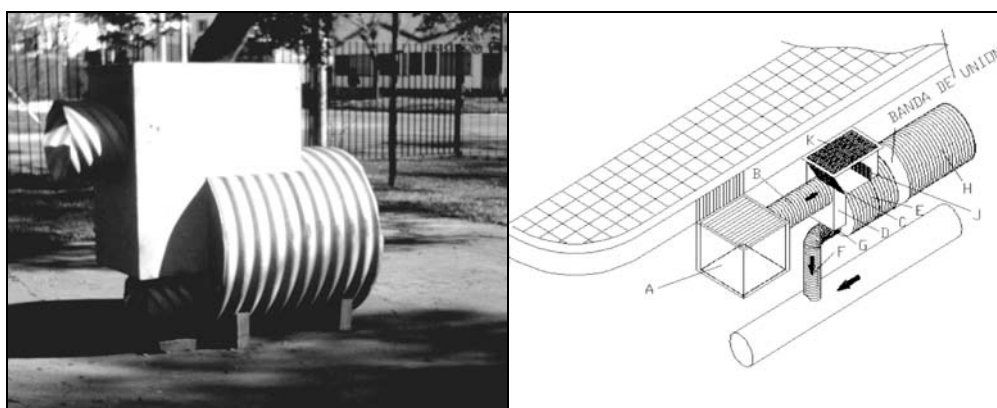


Figura 1: Dispositivo regulador en boca de tormenta

#### 3.2. Simulación matemática del funcionamiento. Parámetros de diseño

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 (versión

modificada del HYMO), lo cual permite simular en forma conjunta los procesos de transformación lluvia - caudal en áreas urbanas, determinando los hidrogramas de crecida por subcuencas, regularlos, desfasarlos 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.

### 3.3. Ensayos en laboratorio

A efectos de optimizar los parámetros de diseño y validar la simulación matemática se construyó un prototipo en escala 1:1 que fue ensayado en laboratorio (figura 2). Según la formulación hidráulica del dispositivo se debía cumplir no solo con la representación del caudal pico, sino con la semejanza temporal de ambos hidrogramas (el generado por el modelo y el ensayado en laboratorio). Para ello en los ensayos se discretizaron caudales de entrada para  $\Delta t$  de 5 y 2 minutos.

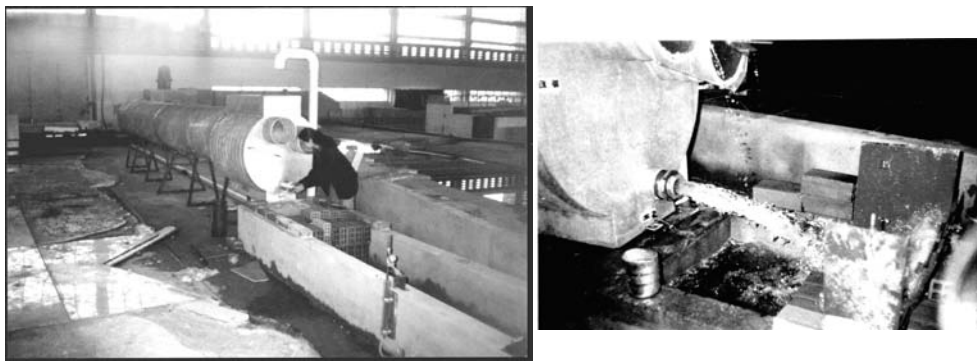


Figura 2: Ensayos en laboratorio

Los resultados evidencian una excelente correspondencia entre los hidrogramas simulados y los generados en el ensayo tanto en los de entrada como los de salida (Figura 3). Las diferencias detectadas en los hidrogramas de salida permitieron ajustar los respectivos coeficientes de descarga utilizados en la modelación matemática.

Los ensayos fueron realizados para un caudal pico de 10.88 litros/seg. y tres diámetros de orificio de la placa intercambiables de: 1, 1.7 y 2.88 cm obteniéndose una amortiguación del caudal pico en un 32%.

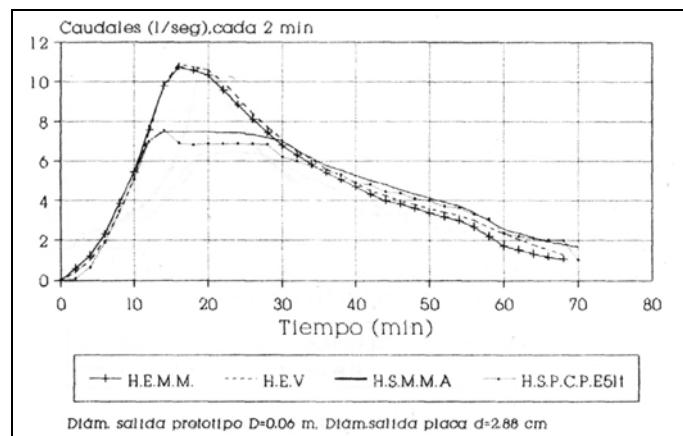


Figura 3: Comparación entre modelo físico y modelo matemático

### 3.4. Experimentación en cuenca piloto

Con colaboración de la Secretaria de Recursos Hídricos de la Municipalidad de Santa Fe, se implementó el dispositivo prototipo en una subcuenca experimental.

El dispositivo (figura 4) se instaló en una subcuenca experimental de la ciudad de Santa Fe (Argentina). La capacidad de almacenamiento es de 4.3 m<sup>3</sup> y vinculado a la boca de tormenta, se implementó un pluviógrafo y un limnígrafo que fueron operados por el termino de 15 meses.

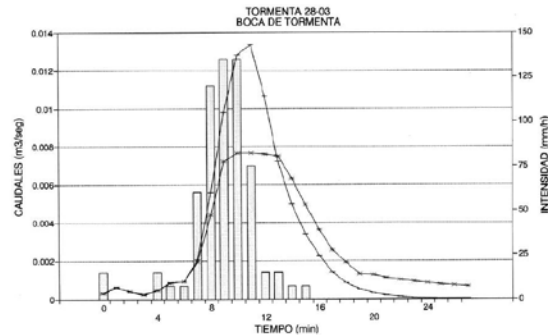


Figura 4: Instalación experimental del dispositivo regulador en bocas de tormenta.

Durante el periodo de operación se registraron 11 tormentas de las cuales se seleccionaron dos que por su intensidad y producción de caudal pico, muestran la funcionalidad del dispositivo.

**Tormenta 28-03-94**

- \* Imáx= 135 mm/h en dos minutos
- \* Duración= 180 minutos
- \* Qp hidrograma de entrada



**Tormenta 14-11-94**

- \* Imáx= 120 mm/h en dos minutos
- \* Duración= 43 minutos
- \* Qp hidrograma de entrada

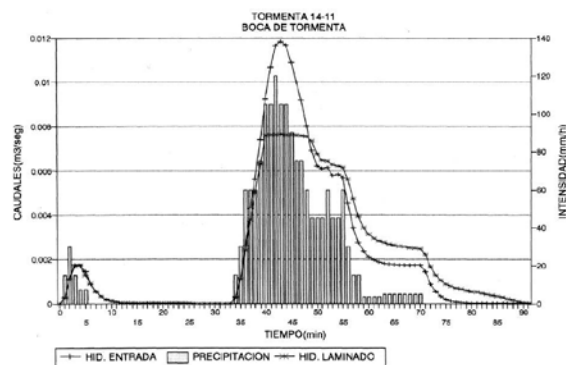


Figura 5: Hidrogramas amortecidos por el dispositivo en bocas de tormenta.

#### 4.1 - Descripción General del Primer Prototipo Modelo Domiciliario:

Este dispositivo está constituido por una cámara de almacenamiento de forma cúbica, de volumen igual a  $(1,20) \text{ m}^3$ . La entrada de los caudales se realiza por su parte superior y constituye el hidrograma proveniente de un techo para una tormenta de características determinadas. La salida ubicada en su extremo inferior es variable, lográndose esto por medio de cuplas de distinto diámetro.

El volumen de almacenamiento es dividido por una placa de (75) cm de alto, colocada a (15) cm del frente del laminador, con un orificio ubicado a la misma altura que la salida del prototipo. Uno de los laterales del dispositivo (figura 6) ha sido confeccionado con una placa de acrílico para poder visualizar el funcionamiento interno

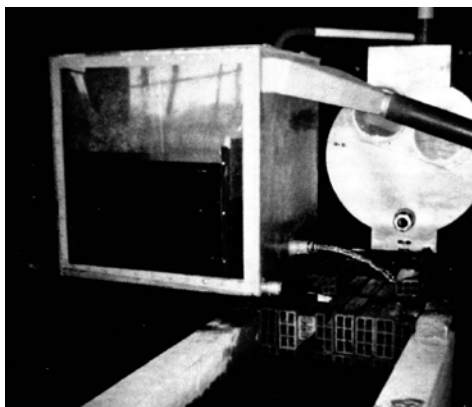


Figura 6: Primer prototipo de regulador domiciliario. Instalación en laboratorio.

#### 4.2. - Instalación y ensayos en laboratorio:

Se construyó e instaló un prototipo de este regulador a un costado del canal de descarga utilizado para los ensayos del regulador en BT. Para la entrada de los caudales a ensayar se realizó un bypass de la cañería de alimentación pudiéndose de esta manera utilizar la misma válvula para regular el volumen ingresado.

El hidrograma de entrada utilizado fue generado para una tormenta de 2 años de recurrencia para la ciudad de Buenos Aires y una superficie de techo de 0.07 ha por un modelo de simulación hidrológica. El caudal pico simulado fue de 2.6 l/seg.

Se hicieron ensayos con diámetro de salida igual a 2.5 cm lográndose reducciones del pico del orden del 46 %, comprobándose el buen funcionamiento del dispositivo. Posteriormente se recalcularon los coeficientes del modelo matemático logrando un buen ajuste entre el hidrograma de salida del modelo matemático y el del ensayo.

#### 4.3. - Instalación del dispositivo domiciliario en cuenca:

Al dispositivo versión domiciliaria utilizada en el laboratorio de hidráulica de la F.I.C.H. se lo instaló en una bajada de techo (figura 7) en el Centro Regional Litoral - I.N.A.

Los objetivos buscados son dos; primero obtener los hidrogramas de escurrimiento de 100 m<sup>2</sup> de techo para tormentas reales y así poder calibrar el modelo matemático para esa superficie, y segundo verificar el funcionamiento del mismo. Para el primer objetivo se colocó una batea aforadora con un limnógrafo a faja, este registra la variación de niveles en una faja por medio de una pluma



Figura 7: Instalación del dispositivo regulador domiciliario en el edificio del CRL.

#### 4.4. - Resultados:

Desde la colocación del Dispositivo Laminador de Crecidas en Cuencas Urbanas en una bajada de techo se han recopilado los limnigramas pertenecientes a cada tormenta y con los mismos se procedió a calcular los caudales escurridos para la superficie de techo que aportaba al mismo a partir de la curva H- Q correspondiente a la batea aforadora .

Con los datos recopilados se calibró el modelo matemático de simulación lluvia - caudal. El objetivo perseguido era ajustar los hidrogramas de escurrimiento directo que aportaban los 100 m<sup>2</sup> con los hidrogramas obtenidos por simulación matemática figura 8).

#### 4.5.- Modificación dispositivo regulador domiciliario:

La descarga de los techos escurre por el tubo de bajada que en su extremo inferior ingresa al accesorio de regulación. Este constituye 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 (figura 9).

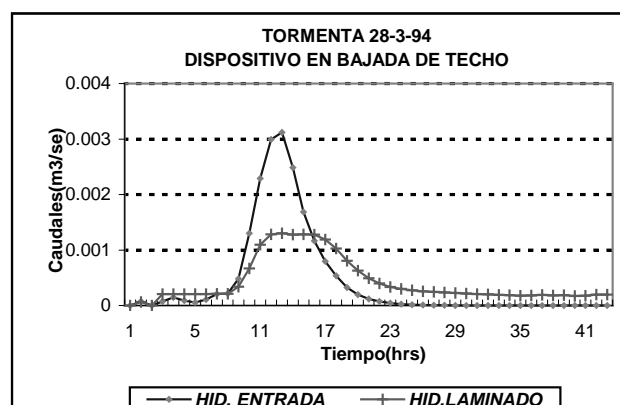


Figura 8: Simulación del dispositivo domiciliario modificado para la tormenta del 28-3-94

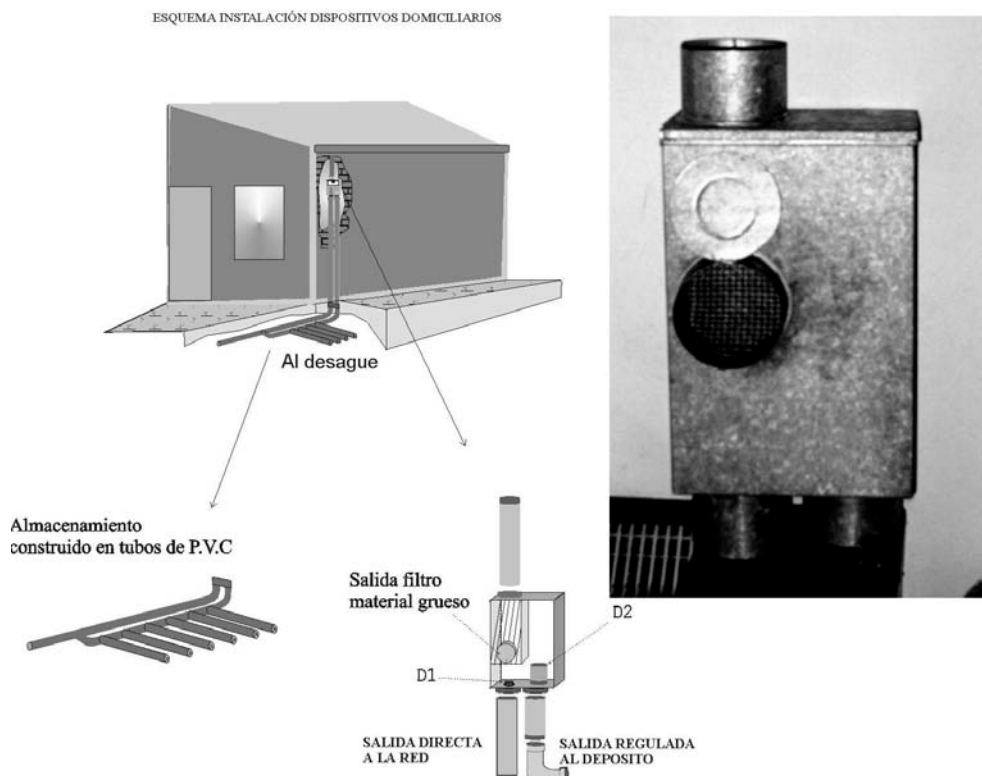


Figura 9: Dispositivo regulador domiciliario modificado.

El sector de regulación consta de una entrada superior por la cual ingresa el desagüe de los techos y constituye el hidrograma de entrada al sistema. Una de sus salidas es regulada de forma tal que provoca la atenuación necesaria del pico del hidrograma de entrada y el excedente es derivado a un sistema de almacenamiento reteniendo una porción de volumen y descargándolo suavemente en el tiempo, logrando el efecto de laminación buscado

El reservorio podrá ser de distintas formas, compatible con la arquitectura de la edificación, y deberá tener un vertedero de excesos por si es superada la capacidad de diseño y un orificio de desembalse calculado en función del tiempo de permanencia que se requiera, y que será conectado a la salida del desagüe existente. Podrá ser único para distintos reguladores, o uno comunitario para distintos edificios, o bien implementarlos en forma separada y/o interconectados, dependiendo todo esto de las condiciones arquitectónicas del edificio o del complejo habitacional. Como variante posible, si los usuarios lo requieren, el reservorio pueden ser utilizados para retener total o parcialmente el agua de lluvia acumulada, este volumen podrá ser utilizado con fines de riego, lavado, fines industriales, etc., pero nunca como agua potable para consumo. Para estos casos, se deberá prever en el reservorio una llave de paso para ser operada por el usuario, y anular el orificio de desembalse.

## 5.- Casos de Aplicación - Ciudad de Rosario

### 5.1.- Empresa Siderúrgica

El objetivo de este trabajo fue la estimación de caudales máximos aportados por el predio y la evaluación de la incidencia de estos aportes en la capacidad de un conducto pluvial municipal existente en calle Vélez Sarsfield.

Los caudales fueron calculados mediante modelación matemática para una tormenta de dos años



de recurrencia, dando que el área de aporte del predio que actualmente drena hacia el colector municipal, produce un  $Q_{\text{máx.}}$  de 240 lts/seg. para una tormenta de 2 años de recurrencia. El resto del área de drenaje que aporta al conducto municipal, excluido el predio de la empresa, es de 0.685 has, y produce caudales máximos del orden de 83 lts/seg.

La capacidad de conducción del colector municipal de 0.60 mts. de diámetro, según datos contenidos en el proyecto, es de 362 lts/seg.

Analizando los valores presentados, se advierte que actualmente el conducto municipal no debería presentar problemas en cuanto a la capacidad de conducción, ya que no están conectadas las descargas de la nave construida y la prevista nave futura, y por lo tanto la producción total actual es de 323 lts/seg. Cabe destacar que si en el futuro se conectan los desagües mencionados, se producirán anegamientos, debido a que la capacidad de conducción del colector resultará insuficiente.

La alternativa adoptada por la empresa, fue implementar sistemas de regulación de caudales para amortiguar los picos de caudales producidos para estas tormentas. Estos sistemas de regulación, actualmente construidos, fueron diseñados en función de los valores de caudales calculados, y de tal forma que amortigüen los  $Q_{\text{máx.}}$  erogados por las 2 naves construidas actualmente y la futura nave, en aprox. un 40%, con lo cual los caudales máximos de cada una de estas naves quedarían reducidos a 39 lts/seg. De esta forma la sumatoria de caudales del total del área de aporte será compatible con la capacidad de conducción del colector municipal existente en calle Velez Sarsfield.

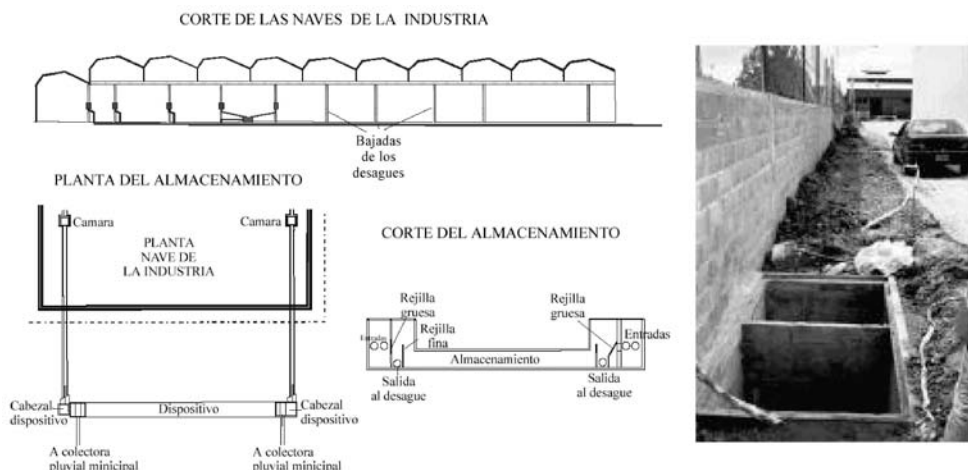


Figura 10: Instalación en una empresa siderurgica de la ciudad de Rosario.

## 5.2.- Hospital de Emergencia Dr. Clemente Alvarez.

El objetivo fué estimar los caudales aportados por el predio de Hospital de Emergencias Dr. Clemente Alvarez para una tormenta de diseño de 2 y 5 años de recurrencia, y evaluar la influencia de estas descargas en los conductos pluviales municipales.

En base a la información suministrada y luego del análisis de las pendientes de los techos y la red interna de desagües se dividió el predio en dos áreas iguales de 5895 Ha cada una, las cuales aportan hacia los conductos pluviales proyectados de 0.40 m de diámetro, ubicados a ambos lados del predio.

Además se consideró una pendiente general tanto para techos como para los patios internos del 2 %.

En virtud del análisis de los resultados y de la evaluación preliminar del sistema receptor analizado

en forma conjunta con la Dirección de Hidráulica se propone laminar los caudales de salidas de ambas áreas con dispositivos reguladores.

Los resultados de las corridas del modelo,  $t_r = 2$  años, arrojan un  $Q_{m\acute{a}x.} = 0.184$  m<sup>3</sup>/seg, para cada área y mediante la utilización de dispositivos reguladores se llegaría a un  $Q_{laminado} = 0.094$  m<sup>3</sup>/seg, logrando una reducción del 50 % del caudal pico generado por el predio. El diámetro de salida necesario es de 0.19 m.

Simulando matemáticamente la utilización de los dispositivos mencionados se estimó que sería necesaria la implementación de un dispositivo con un volumen de 70 m<sup>3</sup>, conectado mediante dos cabezales reguladores a los colectores de 0.4 m de diámetro que se construirán a ambos lados del hospital con el fin de coleccionar las descargas provenientes de los desagües internos, el diámetro de salida proyectado es de 0.2 m. Se verificó que los conductos pluviales de 0.4 m de diámetro y los de 0.3 m (que conectan las cámaras receptoras de los albañales internos a los desagües externos), tienen capacidad suficiente para conducir el escurrimiento generado por el predio.

También se simuló para  $t_r = 5$  años dando un  $Q_p = 0.247$  m<sup>3</sup>/seg para cada área, siendo el  $Q_l = 0.127$  m<sup>3</sup>/seg y el volumen necesario es de 95 m<sup>3</sup>, el diámetro de salida proyectado es de 0.22 m.

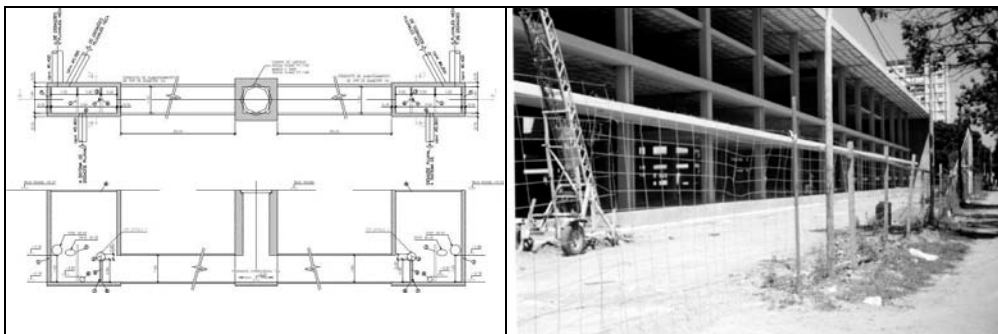


Figura 11: Instalación en el Hospital de Emergencia Dr. Clemente Alvarez.

#### 5.4.- Instalación en planes de viviendas - ciudad de Rosario

Se instalaron 40 reguladores domiciliarios en los planes de vivienda encarados por dicho servicio, en el proyecto denominado Gorriti Sur. En las fotos adjuntas se observan, los tipos de viviendas construidas por el S.P.V. y los detalles de instalación de los dispositivos. En la fotografía aérea del sector, se observa el plan de 40 viviendas que ya ha sido ejecutado, como así también los nuevos planes a construir. La próxima etapa será la manzana comprendida entre las calles Vélez Sarsfield, Barra, Garzón y Ghandi, en la cual se diseñarán e implementarán los dispositivos reguladores



Figura 12: Regulador domiciliario instalados en un plan de viviendas.

### **BIBLIOGRAFIA**

- (1) W.F. Geiger; J. Marsalek; W.J. Rawls; F.C. Zuidema; Chaiman. "Manual on Drainage in Urbanized Areas" , Volumen I - Planning and design of drainage systems.
- (2) Harold E. Babbit; Robert Baumann, "Alcantarillado y Tratamiento De Aguas Negras".
- (3) Ray K. Linsley; Joseph B. Franzini; "Ingeniería de los Recursos Hidraulicos"
- (4) AIRH - XXXII - CONGRESS - "Fourth Internacional Conference on Urban Storm Drainage" Lausanne, 1987.
- (5) Paulo Sampaio Wilken. Sao Paulo. Setiembre de 1978. "Ingenharia de Drenagem Superficial".
- (6) Ven T. Chow. "Hidráulica de los Canales Abiertos."
- (7) Iso Estándar Handbook. "Measurement of liquid Flow in Open Channels"
- (8) Desbordes, M. "Reflexions sur les Methodes de calculades reseaux d'assanissement urbains". Laboratoire 'Hidrologie USTL. Montpellier. Francia - 1974.
- (9) Keiffer, Chu, H. "Synthetic storm pattern drainage design". Journal of the Hidraulics Division - ASCE - Vol.83.1957.
- (10) Maza, Jorge "Apuntes de Hidrología Urbana". Mendoza, Argentina, 1993.
- (11) Maza, Jorge, "Manual del Modelo ARHYMO". Mendoza, Argentina."
- (12) Drainage of Highways and Pavements Hydraulic Engineering, Circular N° 12, Marzo 1984.
- (13) INCYTH. "Estudio desagües pluviales de la ciudad de Buenos Aires. Factibilidad Hidráulica. Planteo de Alternativas. Cuencas Arroyo Vega, Maldonado y Medrano" Volumen 4. Capitulo V. Año 1994.