

# Modelo hidrológico - hidráulico para evaluar un sistema de drenaje urbano en zonas planas

## INTRODUCCIÓN

El Estado Falcón está ubicado en la zona occidental del país, limitado al norte por el Mar Caribe, la capital del estado es la Ciudad de Coro, cuya superficie es de 24.800 Km<sup>2</sup>, representando así cerca del 3% de la superficie total del país y con una población de 763.188 habitantes según el último censo realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) en el año 2001. La Península de Paraguaná situada al Norte del Estado, en los últimos años se ha convertido en una de los principales polos turísticos del país, y además, en ella se encuentra una de las refinerías más grandes del mundo.

La Ciudad de Coro, es una de las más importantes de Venezuela dado que conjuntamente con La Vela fueron declaradas Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO, de allí la importancia de contar con servicios públicos que funcionen adecuadamente. En tal sentido, uno de los problemas que ha venido padeciendo el área metropolitana de Coro está relacionado con la deficiencia en la capacidad de los sistemas de drenaje urbano para evacuar las aguas de lluvia, lo cual origina un represamiento prolongado de dichas aguas en diversas zonas de la Ciudad, afectando el flujo normal tanto de vehículos como de personas.

Otro de los problemas asociados con la acumulación de aguas pluviales en las áreas urbanas de la Ciudad, tiene que ver con la proliferación de vectores y enfermedades en zonas donde se mezcla el agua residual con el agua de lluvia afectando la salud de las comunidades aledañas a las áreas más críticas, del mismo modo esta acumulación excesiva de agua en calles y avenidas, ha contribuido al deterioro progresivo de la infraestructura vial, requiriendo enormes inversiones de recursos que al cabo de unos pocos años vuelven a ser necesarios, cuando la vialidad nuevamente se afectada por el estancamiento de

## Resumen / Abstract

*Coro, capital del Estado Falcón, como muchas zonas urbanas de regiones costeras, presenta una topografía predominantemente plana y sufre anegamiento provocado por escorrentía urbana. En este trabajo se empleó el Modelo Storm Water Management Model (SWMM) para evaluar el Drenaje Pluvial existente en la Avenida Ramón Antonio Medina, una de las principales vías de la ciudad. Se realizó el análisis hidrológico e hidráulico del funcionamiento del drenaje existente, para resolver las inundaciones en las adyacencias de la vía, producto de procesos urbanísticos como el cambio de uso del suelo. Se propuso una solución basada en incorporar nuevas captaciones como 11 sumideros de ventana ubicados a lo largo de la vía, 4 sumideros de reja en calzada ubicados en 3 de los sectores adyacentes y modificación en el diámetro del colector principal.*

*Palabras clave: drenaje urbano, modelación, inundaciones, SWMM.*

*Coro, capital of Falcón state, as many other urban zones near the coast, has a predominantly flat topographic surface and is frequently flooded by urban runoff. In this work the Storm Water Management Model (SWMM) was applied to evaluate the existing stormwater sewer system along the route of Avenida Ramón Antonio Medina, one of the main streetways of the city. Hydrologic and hydraulic analysis of the system was performed in order to reduce flooding of the streetway vicinities resulting from urban processes as the changes in soil use. A solution was arrived based on incorporating a number of sinks along the way and in adjacent sectors as well as a modification in the main collector diameter.*

*Keywords: urban drainage, modeling, floods, SWMM.*

las aguas de lluvia.

Uno de los factores que imposibilita una eficiencia aceptable en la evacuación de las aguas pluviales por parte de los sistemas de drenaje existentes, tiene que ver con el relieve de la ciudad, caracterizado por una baja energía disponible para drenar el agua por gravedad, con divisorias poco definidas y acumulación de agua en superficie. Esta particularidad se ve reflejada en la Avenida Ramón Antonio Medina, clasificada como un sistema arterial principal ubicado al sur-este de la ciudad, la cual representa una de las zonas con mayor crecimiento urbanístico en los últimos años y hacia donde escurren Sectores como Los Perozo, San José y 5 de Julio además de algunos nuevos urbanismos localizados en las adyacencias de la Avenida.

El Sistema de drenaje superficial consta de brocales -cuneta para conducir el agua superficialmente, sumideros de ventana en aceras para la captación, colectores secundarios (tuberías de conexión), y un Colector enterrado para transportar el agua hacia la descarga final. Una revisión exhaustiva del proyecto original, permitió verificar que el sistema fue diseñado, asumiendo que gran parte de las áreas que drenan hacia la avenida no serían urbanizadas.

Sin embargo, hasta la fecha la realidad es otra, ya que los cambios en el uso de suelo producto del crecimiento urbano no planificado, ha incrementado el escurrimiento superficial que drena directamente a la Avenida. La Agen-

cia Federal Americana encargada del funcionamiento de las carreteras, ilustra la situación anteriormente planteada a través de la figura 1.

### INFORMACIÓN NECESARIA PARA DESARROLLAR EL TRABAJO

Para desarrollar la primera etapa de la investigación se llevo a cabo una fase de investigación documental que consistió en la revisión exhaustiva del proyecto original denominado "Proyecto de alcantarillado para la recolección de escorrentías de la avenida Ramón Antonio Medina, Coro Estado Falcón". Dicha revisión tenía como finalidad realizar un análisis comparativo que permitiera contrastar dos aspectos del proyecto original, con el funcionamiento actual del sistema: el primero de ellos tenía que ver con los criterios de riesgo asumidos para el flujo en calles y el segundo aspecto estaba relacionado con los coeficientes de escorrentías asignados a cada una de las subcuencas que tributan a la avenida. Esto, permitiría, entre otras cosas cuantificar el impacto de los procesos urbanizadores en la zona y al mismo tiempo valorar la importancia de dichos aspectos dentro de la Gestión de los sistemas de Drenaje Urbano en zonas planas. Así mismo, se obtuvo la información hidroclimática de la zona en estudio recopilada de las estaciones ubicadas dentro o en las adyacencias de la cuenca urbana estudiada, la cual contiene los Registro de Lluvias Máximas para diferentes duraciones (Fuente: Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Coro). El mapa topográfico se obtuvo a

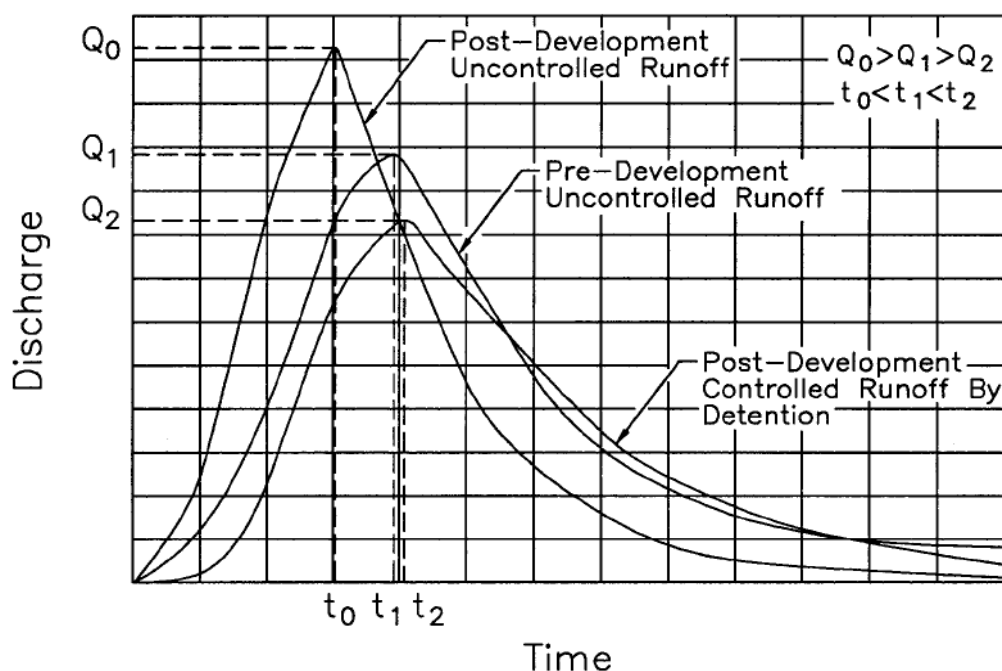


Figura 1. Efecto de la urbanización en la escorrentía superficial urbana Fuente: Urban Drainage Design Manual (FHWA).

partir del análisis de los datos más recientes de nivelaciones realizadas en la Ciudad. Igualmente, se llevo a cabo una investigación de campo con la finalidad de validar y actualizar la información obtenida en la etapa anterior, a través de la visualización de los patrones de flujo en calles y obtención de las características geométricas de los elementos que conforman el sistema de drenaje, al igual que la realización del levantamiento topográfico de la cuenca urbana, con el objeto de conceptualizar el sistema a modelar.

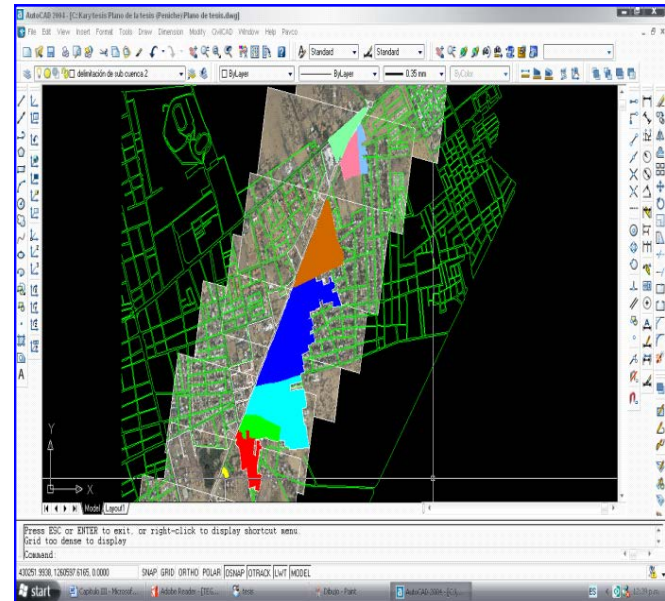
## DELIMITACIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO

Antes de definir las microcuencas que drenan directamente a la Avenida se procedió a conceptualizar el Sistema de Drenaje de la ciudad. El macrodrenaje de la Ciudad de Coro se divide de manera general en dos zonas: el Sistema Oeste (SO) conformado por la quebrada de Coro y quebrada de Chávez y el Sistema Este (SE) constituido por el Río Coro y la Laguna de Fundaparques. El límite entre ambos sectores está constituido por la Avenida Manaure. La zona en estudio tiene un área aproximada de 70.189 hectáreas, y esta limitada por la Avenida Tirso Salavarría hacia el Oeste, Avenida Independencia intersección con el Paseo Monseñor Iturriza hacia el Este, Avenida Ramón Antonio Medina y plaza 5 de Julio por el Norte y por el Sur con el área de influencia de los sectores Los Perozo, 5 de Julio, San José y los conjuntos residenciales Villa Futuro, Los Antonios, Villa Rosaleda y Sol de Coro.

## SISTEMA DE DRENAJE ACTUAL Y DEFINICIÓN DE LAS MICROCUENCAS

El levantamiento topográfico se realizó para obtener las coordenadas geográficas, de la vía y de los elementos de drenaje que se encuentran a lo largo de ella (sumideros y bocas de visita). Esta base de datos topográfica representa la información esencial para analizar la hidrodinámica superficial en la vía, y en las estructuras de drenaje existentes. En tal sentido, el sistema de drenaje existente consta de 19 sumideros de ventana en la senda sur de la avenida y 8 en la senda norte, y el colector enterrado posee un diámetro que va aumentando progresivamente desde 15", 18", 24", 30", 33", 36", y culmina en 42". Luego se llevo a cabo el levantamiento planialtimétrico de los sectores que drenan hacia la Avenida, obteniendo de esta manera las respectivas curvas de pavimentos. Así mismo, se verificó la información contenida en la cartográfica de la Ciudad a escala 1: 5000, utilizando las imágenes satelitales del Software Google Earth v3.0.0762 y las inspecciones de campo. Estos mapas, permitieron digitalizar la distribución de las parcelas en las manzanas y obtener las microcuencas que fluyen hacia la Avenida, para ello se tomó como base las direcciones del flujo en calles y parcelas dentro de cada uno de

los sectores adyacentes a la vía, resultando los siguientes límites para la cuenca urbana la cual tiene un área aproximada de 69 hectáreas: por el norte con la senda Norte de la avenida Ramón Antonio Medina y Plaza 24 de Julio, por el sur con los sectores: Perozo, Los Antonios, Villa Futuro, 5 de Julio, Villa Rosaleda, Sol de Coro y San José, por el este con el Monumento a la Federación y por el oeste con la intersección de la avenida Tirso Salavarría con la avenida en estudio.



### Legenda

|                                                                                                                                         |                                                                                                                                       |                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <span style="background-color: yellow; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 15px;"></span> Equipamiento | <span style="background-color: cyan; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 15px;"></span> Villa Futuro | <span style="background-color: pink; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 15px;"></span> Sol de Coro         |
| <span style="background-color: red; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 15px;"></span> Físico          | <span style="background-color: blue; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 15px;"></span> 5 de Julio   | <span style="background-color: lightblue; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 15px;"></span> San José       |
| <span style="background-color: green; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 15px;"></span> Los Perozo    | <span style="background-color: orange; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 15px;"></span> Rosaleda   | <span style="background-color: darkgreen; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 15px;"></span> P. 24 de Julio |

Figura 2. Mapa que muestra cada una de las Microcuencas que aportan a la Avenida Ramón Antonio Medina.

## MODELACIÓN HIDROLÓGICA - HIDRÁULICA

### Datos de Precipitación

En el Área Metropolitana de la Ciudad solo existe una estación Hidroclimática activa, por lo tanto los datos de lluvias máximas para diferentes duraciones fueron obtenidas de la Estación Coro Aeropuerto de Latitud 1261791.77 Norte y Longitud 424029.24 Este y cuya altitud es de 16 metros sobre el nivel del mar. A partir de esta información de construyeron las Curvas Profundidad Duración Frecuencia.

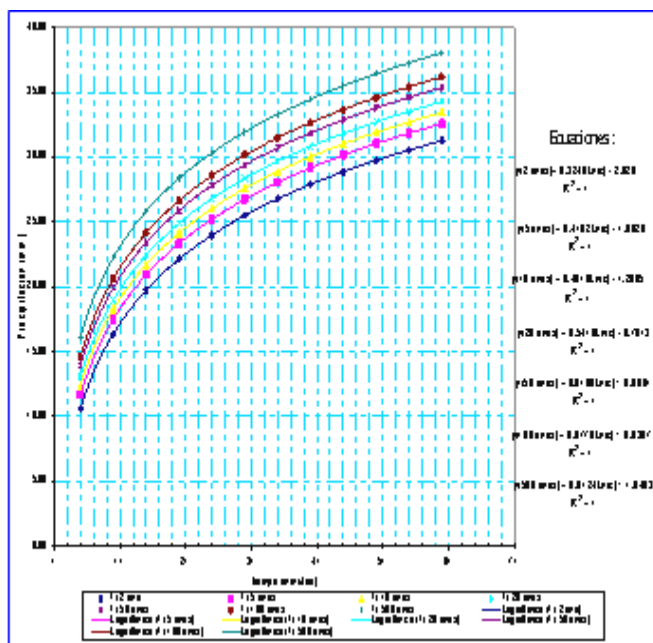


Figura 3. Curvas Profundidad Duración Frecuencia para la Estación Coro.

### Características Hidrofísicas de la Cuenca Urbana

A parte del parámetro de infiltración, uno de los parámetros más importantes del Modelo empleado, está representado por el porcentaje de área impermeable de cada microcuenca. Para este estudio, dicho parámetro se determinó con ayuda de las imágenes de satélite, las cuales tuvieron que ser verificadas a través de inspecciones de campo. Para determinar el uso de suelo actual de la cuenca urbana, también se utilizaron imágenes de satélite obtenidas a partir del Software Google Earth. Igualmente, se realizaron inspecciones de campo que permitieron verificar el tipo de cobertura y el uso de suelo en algunas áreas que exigían mayor detalle que el ofrecido por las imágenes de satélite. Luego se procedió a asignar el valor de curva número (CN) a cada subcuenca, de acuerdo con los valores sugeridos por la SCS (1986) enunciados en el TR55 para el grupo de suelo "D" por ser los predominantes en la zona. Los valores de curva número utilizados fueron: Suelo (Tierra) 89, Vegetación (Prados y parques, pasto: 50% - 75%) 84, Pavimento 98, Residencial (Techos): Sitios 500 m<sup>2</sup> o menor 92, Sitios 1000 m<sup>2</sup> 87, Sitios 2000 m<sup>2</sup> 85, Sitios 5000 m<sup>2</sup> 84, Sitios de 10000 m<sup>2</sup> 82.

### Selección de los periodos de retorno.

La evaluación del drenaje de la avenida Ramón Antonio Medina se realizó con dos periodos de retorno. El primero de ellos fue de 5 años tomado del proyecto original, para establecer un patrón de comparación de respuesta de la cuenca con respecto a la situación actual de la mis-

ma. El otro fue de 10 años, seleccionado considerando la función básica y complementaria de las estructuras de drenaje urbano expuestas por Bolinaga citadas por Camacho (1996), en este caso se trata de una vía arterial de dos canales en la cual se encuentra un alcantarillado ( $Q < 20 \text{ m}^3/\text{seg}$ ). Es preciso destacar, que para estimar el tiempo de concentración de cuenca urbana se utilizó la recomendación formulada por Chow (1995), la cual sugiere que la ecuación de Kirpich para cuencas rurales, sea afectada por un Factor de reducción igual a 0.4. Por lo tanto, se obtuvo un tiempo de concentración de 14.249 minutos y se asumió este valor como el más desfavorable para evaluar todas las sub-áreas.

### Implementación del Modelo SWMM.

La simulación hidrológica e hidráulica de la cuenca se realizó aplicando el Modelo de Gestión de Aguas Pluviales (SWMM). vE 5.0, traducido y desarrollado por el Grupo Multidisciplinario de Modelación de fluidos de la Universidad Politécnica de Valencia. Esta versión del programa está disponible en español y además puede ser descargada de forma gratuita en la siguiente dirección: <http://www.gmmf.upv.es/desarrollo/software/SWMM0.asp>. El modelo SWMM, fue desarrollado inicialmente por la Agencia América de Protección Ambiental (EPA), y en los últimos años ha sido validado en diversos estudios, con los cuales se han obtenido resultados interesantes, destacando entre otros aspectos las potencialidades que el programa ofrece para analizar el funcionamiento hidrodinámico de sistemas de drenaje complejos, con un número ilimitado de componentes. A pesar de que el SWMM posee varios modelos para determinar la infiltración en el suelo, en la presente investigación se empleó el modelo de infiltración basado en el Número de Curva desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS) para estimar la lluvia efectiva. El transporte de agua por calles y por el interior de los conductos fue estimado con las ecuaciones de conservación de la masa y de la cantidad de movimiento tanto para el flujo gradualmente variado como para el flujo transitorio (ecuaciones de Saint Venant). Así mismo, el modelo emplea la ecuación de Manning para establecer la relación entre el caudal que circula por el conducto (Q), la sección del mismo (A), su radio hidráulico (Rh) y la pendiente (S) tanto para canales abiertos como para conductos cerrados parcialmente llenos. Una vez introducido los datos de entrada para cada uno de los componentes que conforman el sistema entre los que se incluyen: cuencas, calles, obras de captación y conductos, se ejecutaron las simulaciones, y se obtuvieron entre otros resultados relevantes, los tirantes y velocidades en los conductos, y los hidrogramas de salida en los puntos que descargan a la avenida. Es preciso destacar, que la condición de frontera para todas las simulaciones realizadas, consistió en suponer que el per-

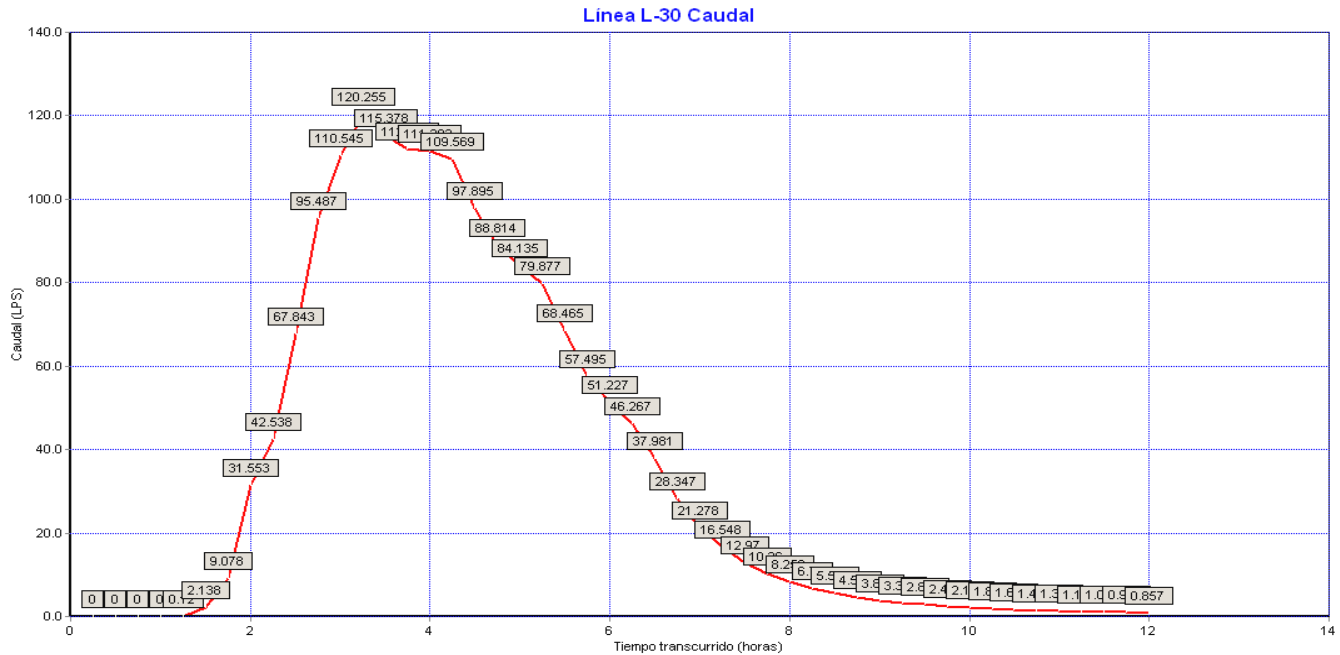


Figura 4. Hidrograma obtenido en la Subcuenca Villa Futuro.  $Tr = 10$  años

fil de flujo estaba gobernado por las condiciones aguas abajo, lo cual es evidente en este tipo de zonas donde predomina el flujo subcrítico. Igualmente, se asumió que el ultimo nodo o nodo de descarga, para todos los casos analizados se comporta como descarga libre, lo cual pudo ser constatado como una condición real, a través de las observaciones realizadas en los puntos de descarga respectivos. Los resultados de la subcuenca "Villa Futuro" con un  $Q$  pico = 120,25 lps para  $Tr = 10$  años se muestran en la Figura 4.

#### Verificación de resultados obtenidos de la escorrentía en las sub - áreas (sectores) con el modelo SWMM.

Cabe destacar que el presente trabajo constituye la primera experiencia en la Aplicación de este tipo de herramientas informáticas para el análisis y evaluación de los Sistemas de Drenaje de la Ciudad, por lo tanto, no existe ningún antecedente que haya permitido calibrar y validar este tipo de Modelos en zonas con las características hidrofísicas, climáticas y topográficas propias de la Ciudad de Coro. No obstante, al no disponer de hidrogramas medidos en campo, para tal fin, se realizó una verificación de los resultados obtenidos en las simulaciones a través de inspecciones exhaustivas de campo, basadas en recorridos por la Avenida Ramón Antonio Medina durante eventos lluviosos. Dichas observaciones, permitieron comprobar que la zona más crítica coincide con el Sector 5 de Julio, el cual resultó ser la Subcuenca con

mayores aportes, luego de la modelación.

#### **EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE**

##### **Evaluación del Drenaje Superficial de la Avenida.**

Para la evaluación del sistema de captación superficial de la Avenida, primeramente se definieron los criterios de riesgo asociado al flujo en calles. Según la norma Venezolana el único criterio consiste en restringir el ancho mojado a un valor de  $T = 1,5$  metros. Sin embargo, la evaluación definitiva se llevo a cabo comparando el ancho mojado ( $T$ ) y la altura al nivel del brocal en cada sumidero ( $Y$ ), con los valores establecidos en el proyecto original  $T = 2,75$  m y  $Y = 5,5$  cms, los cuales corresponden a los criterios máximos de riesgo sugeridos para este tipo de vías, según la norma Venezolana (Manual del MOP, 1969). En la tabla 1, se muestra un resumen de los resultados obtenidos de la evaluación, la primera columna sirve de identificación de cada uno de los sumideros, la segunda corresponde al escurrimiento total que llega al sumidero incluyendo el gasto de las microcuencas mas el escurrimiento que se genera en la propia vía y por último se muestra el ancho mojado estimado a la entrada del sumidero. Si se observan los resultados, se puede comprobar claramente que en más del 60% de las estructuras de captación del escurrimiento superficial en la Avenida presenta un funcionamiento hidráulico incorrecto, si se considera como criterio de riesgo el ancho máximo del proyecto original.

**TABLA I- RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN SUPERFICIAL DE LA AVENIDA PARA TR = 10 AÑOS.**

| Tramo | Q<br>total(lps) | Q<br>captado<br>(lps) | T (m)  | Evaluación<br>Hidráulica |
|-------|-----------------|-----------------------|--------|--------------------------|
| SV-1  | 34.2664         | 30.8397               | 2.7345 | Correcto                 |
| SV-2  | 52.5173         | 42.5390               | 3.1027 | Incorrecto               |
| SV-3  | 39.2337         | 33.3487               | 3.0013 | Incorrecto               |
| SV-4  | 40.8404         | 36.7563               | 3.2319 | Incorrecto               |
| SV-5  | 32.1742         | 28.9568               | 2.9251 | Incorrecto               |
| Sv-A  | 72.7040         | 72.7040               | 4.8178 | Incorrecto               |
| SV-6  | 15.9915         | 15.9915               | 2.2377 | Correcto                 |
| SV-7  | 156.5807        | 140.9226              | 5.3109 | Incorrecto               |
| SV-8  | 137.0544        | 119.2373              | 4.8250 | Incorrecto               |
| SV-9  | 77.9196         | 70.1276               | 4.0983 | Incorrecto               |
| SV-B  | 39.3320         | 39.3320               | 3.8264 | Incorrecto               |
| SV-10 | 62.9219         | 57.8881               | 3.9241 | Incorrecto               |
| SV-11 | 151.6049        | 112.1876              | 3.9775 | Incorrecto               |
| SV-12 | 63.8428         | 57.4585               | 3.7009 | Incorrecto               |
| SV-13 | 55.8860         | 50.2974               | 3.4905 | Incorrecto               |
| SV-14 | 69.2029         | 62.9746               | 4.0506 | Incorrecto               |
| SV-15 | 47.2979         | 42.5681               | 3.2858 | Incorrecto               |
| SV-16 | 25.4315         | 24.1600               | 2.6784 | Correcto                 |
| SV-17 | 21.8884         | 21.8884               | 2.5414 | Correcto                 |
| SV-18 | 21.3867         | 21.3867               | 2.4876 | Correcto                 |
| SV-C  | 5.2100          | 5.2100                | 1.7930 | Correcto                 |
| SV-D  | 5.2100          | 5.2100                | 1.7930 | Correcto                 |
| SV-19 | 23.5570         | 23.0858               | 2.7140 | Correcto                 |

#### Evaluación del Colector Principal.

En esta fase se empleó el SWMM para modelar el comportamiento del colector principal, transitando los gastos captados por los sumideros para las condiciones actuales. De dicha simulación, se consideraron los resultados relacionados con la velocidad y el nivel del flujo dentro del mismo, estos tirantes fueron representados mediante un perfil longitudinal tal como se muestra en la figura 4 en donde se aprecian claramente los puntos donde se ve rebasada la capacidad de conducción del colector y comienza a trabajar sobrecargado.

#### PROPUESTA PARA MEJORAR EL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL SISTEMA

Una vez evaluado el sistema completo, se realizó una propuesta de solución basada en la colocación de nuevas estructuras de drenaje superficial (como sumideros y rejillas en calzada) incluyendo las respectivas modificaciones en los diámetros del colector principal. Primeramen-

te, se propuso ubicar obras perpendiculares a la dirección del flujo en calles que interceptarán el escurrimiento proveniente de las nuevas urbanizaciones (sumideros de rejilla en calzada) y así, disminuir el gasto superficial total que drena por la avenida. Igualmente, se propone ubicar mayor cantidad de sumideros de ventana en los puntos donde el ancho mojado arroja valores críticos.

#### Cálculo de nuevas obras de captación superficial (sumideros de ventana).

La propuesta consiste en aprovechar la ubicación de los sumideros ya existentes. Los nuevos sumideros de ventana serán ubicados de la siguiente forma:

**Senda Sur:** Sumidero II Próximo al Callejón Fudeco (sector Equipamiento Físico), Sumidero V Próximo al sector Los Perozo, Sumidero X Próximo a la calle Mapararí (sector 5 de Julio), Sumidero XIII Posterior a la calle Las Palmas (sector 5 de Julio), Sumidero XV Posterior a la Urbanización Villa Hermosa (sector 5 de Julio), Sumidero VXIII Posterior a la calle Raúl Leoni (Sector Villa Rosaleda), Sumidero XX Aproximación a la Urbanización Villa Rosaleda (sector Villa Rosaleda), Sumidero XXII Próximo a la calle Rafael González (sector Villa Rosaleda).

**Senda Norte:** Sumidero XI Posterior a la calle Coviobrenco (sector 5 de Julio), Sumidero XVII Posterior a la calle Las Flores (sector Villa Rosaleda), Sumidero XXIV Posterior a la calle Curimagua (cercano al sector Plaza 24 de Julio)

#### Cálculo de nuevos sumideros de rejilla en calzada.

Estos se diseñaron para ser colocadas en los puntos de descarga del Sector Los Perozo, Los Antonios y 5 de Julio (calles Mapararí, Libertad y Las Brisas). Es importante destacar que se seleccionó la rejilla INOS Tipo I de área total 1.50\*0.9 y área efectiva de 1.32\*0.72.

$$Q_i = \left[ \frac{(400 * B * S_o^{1/2})}{n} \right] * (Y_a - (S_x * B)) \quad [3]$$

Donde,

$Q_i$  = Caudal Captado.

$B$  = ancho efectivo de la rejilla

$S_o$  = Pendiente longitudinal

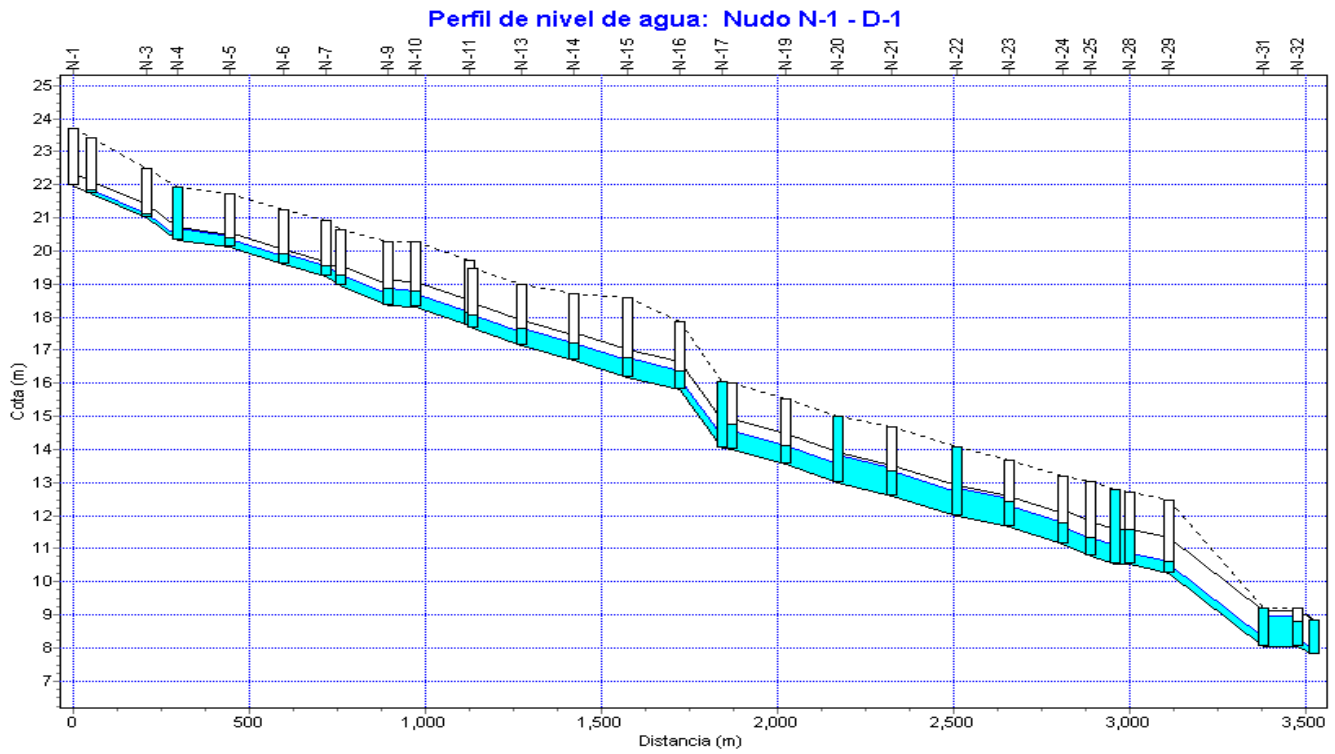
$n$  = Coeficiente de rugosidad de Manning

$Y_a$  = altura de agua al pie del brocal

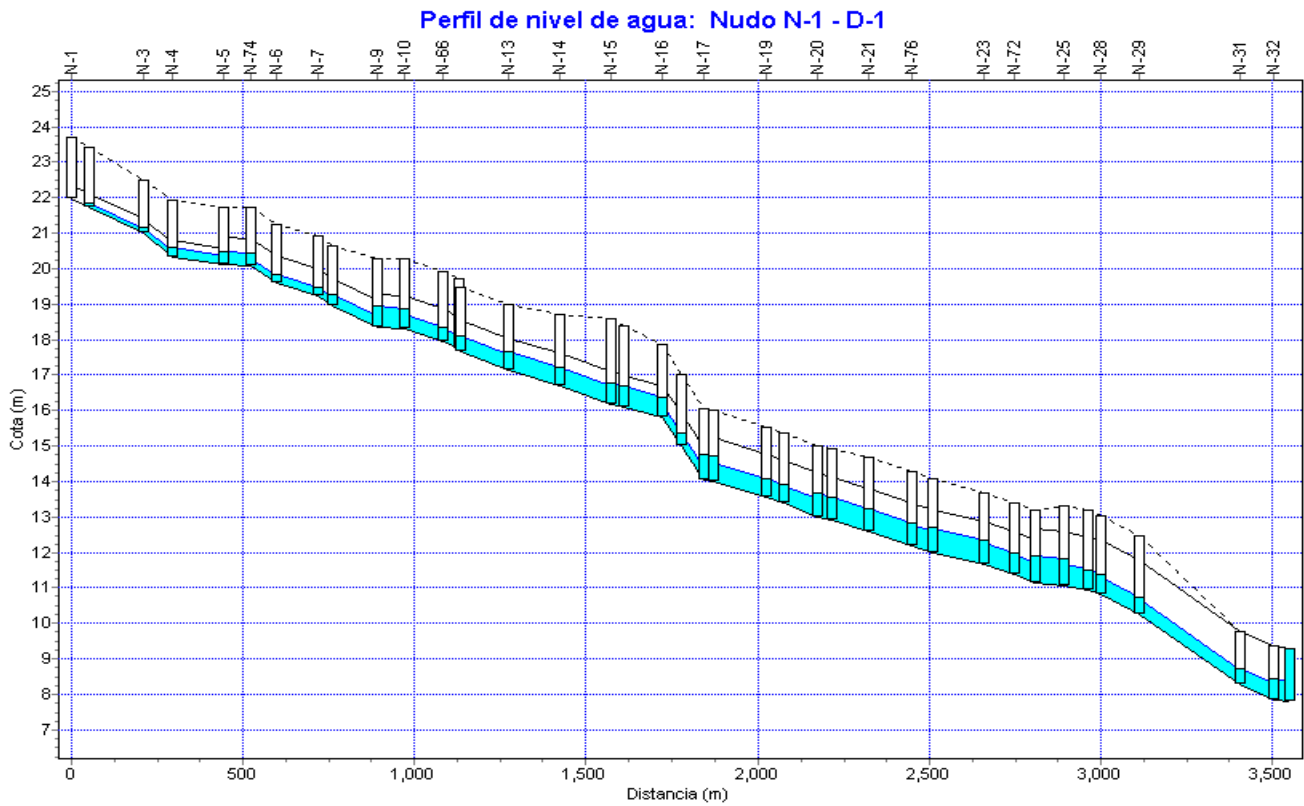
$S_x$  = pendiente transversal.

#### Propuesta para el colector principal.

La propuesta para el colector principal está basada en la modificación de diámetros de la tubería existente, específicamente en los puntos donde los niveles del agua reflejados son mayores que la capacidad de la misma, además de la colocación de nuevas bocas de visita de acuerdo con la norma Venezolana. Las dimensiones definitivas luego de la simulación con el SWMM se muestran en la figura 6.



**Figura 5. Perfil longitudinal en el colector principal para  $Tr = 10$  años**



**Figura 6. Perfil longitudinal del Colector Propuesto.**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los Modelos Hidrológicos-Hidráulicos, representan una herramienta sumamente útil para la Planificación y Gestión de los sistemas de aguas Pluviales en ambientes urbanos, posibilitando la verificación de los impactos producido por los procesos urbanísticos en dichos sistemas. A pesar de que en La Ciudad de Coro no se dispone de datos de campo que permitan una adecuada calibración y validación de estos modelos, un análisis comparativo de los gastos simulados en cada subcuenca, evidenció cierta concordancia entre el escurrimiento simulado por el modelo SWMM y las observación realizadas durante eventos lluviosos en las zonas críticas de la vía. No obstante, se propone estudiar alternativas que permitan instrumentalizar alguna de las subcuencas urbanas a fin de calibrar el Modelo de Gestión de Aguas Pluviales (SWMM), y validar su implementación en zonas con características topográficas similares a las de Coro.

De acuerdo con los resultados de la evaluación del drenaje pluvial existente en la avenida Ramón Antonio Medina, se concluye que las características físicas de la cuenca urbana que drena hacia la Avenida, presentan marcadas diferencias a las asumidas en el proyecto original, lo cual ha tenido efectos negativos en el funcionamiento de las obras de captación, permitiendo que en gran parte de la vía se generen valores excesivos en el ancho mojado. Esto, evidencia la importancia que tienen los sistemas de evacuación de aguas pluviales dentro de la planificación urbana, sobretudo en ciudades con topografía plana como es el caso de la Ciudad de Coro. Por lo tanto, se exhorta a organismos públicos como la Alcaldía de Miranda a dar fiel cumplimiento de los planes de desarrollo urbanístico, con el objetivo de prever futuros usos de la tierra en zonas adyacentes a los sistemas de drenaje que se pretenden diseñar.

De acuerdo con la propuesta de solución realizada se plantea la incorporación de nuevas estructuras de captación como 11 sumideros de ventana ubicados de los cuales 8 se ubican en la senda sur y 3 en la senda norte. Además de sumideros de rejilla ubicados en los accesos a sectores como Los Perozo, Los Antonios y 5 de Julio. Por otra parte, también se plantea la modificación de los diámetros del colector principal a lo largo del mismo, como 15", 18", 30", 36", 48" y 60"

## REFERENCIAS

- [1] **Camacho, F.** (1996). Diseño de Obras de Drenaje. Volumen I. T.B.Print, C.A. Valencia. Ve. 376 p.
- [2] **Dolz, J y Gómez, M.** (1996). "Problemática del drenaje de aguas pluviales en zonas urbanas y del estudio hidráulico de las redes de colectores". *Ingeniería del Agua*. 1(1): 55-66.
- [3] **Duque, R; Bandes, R y Barrios R.** (1983). Modelo de Drenaje Urbano Modificado. Descripción del modelo e instructivo de uso. Banco de programas. C.I.D.I.A.T. Mérida, Ve.
- [4] **González, A.** Uso del drenaje Vertical mediante pozos y otras obras en la evacuación de aguas de escurrimiento superficial de origen pluvial. ¿Solución definitiva o temporal? Publicado en el XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica.
- [5] **Maduro, P y Reyes, S** (1992), Nivelación del sector IV de la ciudad de Coro. Tesis Ingeniero Civil. Coro - Venezuela, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. 178 p.
- [6] **Puertas, et al** (2002). El sentido físico de los parámetros en la modelización numérica del drenaje urbano. Publicado en la revista *Ingeniería del Agua*, volumen 9.
- [7] **Riccardi,** (2001). Un sistema de Modelación Hidrológica - Hidráulica Cuasi - Bidimensional para ambientes Rurales y Urbanas. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- [8] **Saldarriaga, et al.** (2005). Calibración de modelos hidráulicos de alcantarillados. Universidad de los Andes, Bogotá D.C., Colombia. Documento en formato PDF.
- [9] **Sarmiento, F.** (1990). Proyecto de alcantarillado para la recolección de aguas de escorrentía de la Avenida Ramón Antonio Medina. Ejecutivo del Estado Falcón. Coro. Ve.
- [10] **Técnica Hidráulica, S.A.** (1994), Estudio de factibilidad económica del drenaje Pluvial de la ciudad de Coro. Coro. Ve.
- [11] **Urbonas, B.** 2007. Stormwater Runoff Modeling; Is it as Accurate as We Think? Engineering Conferences International Conference on Urban Runoff Modeling: Intelligent Modeling to Improve Stormwater Management, Humboldt State Univ., Arcata, CA. Resume P. 12.
- [12] **US Environmental Protection Agency EPA.** (2005), Stormwater Management Model 5.0. User's manual. Cincinnati USA.

Recibido: enero del 2009  
Aprobado: febrero del 2009