

**IV CONGRESO LATINOAMERICANO
DE ESTUDIANTES DE INGENIERÍA
CIVIL**

COLEIC, PANAMÁ 2007

CONCURSO DE PONENCIAS

“SIMULACIÓN EN PERIODO EXTENDIDO DE UN
SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL PARA LA
CIUDAD DE LOJA”. APLICACIÓN DEL SWMM 5 VE.

AUTORA:

Machuca Rivera Silvana Carolina

ASESOR

Benavides Muñoz Holger, Ing.

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

SIMULACIÓN EN PERIODO EXTENDIDO DE UN SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL PARA LA CIUDAD DE LOJA. APLICACIÓN DEL SWMM 5 VE.

RESUMEN

La topografía de la urbe lojana y la topología de la red de alcantarillado del casco central de la ciudad de Loja, en épocas de máxima precipitación pluvial, provoca que las edificaciones con aparcamientos subterráneos se inunden; y el agua de lluvia, al elevarse la napa freática, drene en forma lenta hacia la red principal, generando incomodidad para los usuarios de los centros comerciales, hoteles y otras edificaciones de esta zona central.

Ante esta situación, la presente investigación, analizará la mejor posibilidad de reingeniería en el sistema de alcantarillado de la ciudad. La alternativa de solución se simuló en forma práctica en el SWMM 5 VE. Modelamos también, la generación y transporte de la escorrentía superficial, se estimó la evolución de la acumulación del contaminante durante tiempo seco para diferentes usos del suelo, el arrastre del contaminante en determinados usos del suelo durante episodios de tormenta y el impacto de la acumulación de desechos en las trayectorias de caudales debida a la limpieza de calles en tiempo seco.

El objetivo de esta investigación fue analizar y dimensionar los componentes necesarios de la red de drenaje pluvial público para prevenir inundaciones, mediante la aplicación de herramientas ofimáticas de hidráulica pluvial.

Para este cometido se necesitó información hidrológica de la zona, topológica de la red actual, conexiones, nudos de vertido, sistemas de almacenamiento, conductos, estaciones de bombeo, reguladores de caudal, principalmente.

1. INTRODUCCIÓN

El software SWMM es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones, que se puede utilizar para un único acontecimiento o para realizar una simulación continua en periodo extendido, con un número cualquiera de elementos hidráulicos incluyendo depósitos, sistemas de bombeo, tuberías, nudos, entre otros. Las principales entradas del software son los datos de precipitación y la caracterización de los elementos topológicos que conforman el sistema, entre los que se incluyen información de subcuencas, sistema de transporte, elementos de almacenamiento y unidades de tratamiento.

La superficie de los parqueaderos subterráneos (áreas de parking) del centro de la ciudad de Loja se inundan en cada evento de precipitación máxima, por motivos de filtración subterránea, por aumento del nivel freático y por encontrarse bajo el nivel del cauce del río Zamora, que fluye paralelamente al lugar de estudio.

El área de parqueo subterráneo consta de dos sectores divididos por el embaulado para el paso a desnivel de la calle Rocafuerte, el tramo Sur soporta primero las inundaciones debido a que un pozo del sistema de alcantarillado pluvial, de 3 metros de profundidad, frecuentemente en temporada invernal al recibir grandes cargas de caudal desborda y hace que este exceso inunde el área antes mencionada, siguiendo la trayectoria del paso a desnivel vehicular.

Las dos zonas de parqueadero subterráneo cuentan con rejillas de piso que varían su profundidad de 0.1 m hasta 0.16 m, las cuales no son suficientes para evacuar el agua de origen pluvial.

3. OBJETIVO

Analizar y dimensionar los componentes necesarios de la red de drenaje pluvial público para prevenir inundaciones, mediante la aplicación de una herramienta ofimática de hidráulica pluvial -SWMM-.

4. METODOLOGÍA

La metodología incluye los siguientes pasos:

- Conformar la línea base para el estudio, eso incluye: levantamiento topográfico, recolección de datos topológicos de la red pluvial en la zona de interés, recolección y procesamiento de datos hidrológicos.
- Analizar el comportamiento hidráulico-pluvial de la red en la zona de interés mediante la aplicación de software SWMM 5Ve.
- Proponer elementos hidráulicos para dar solución a la problemática analizada.

5. ANÁLISIS HIDRÁULICO

Para el desarrollo de la presente investigación se debe tener en cuenta las propiedades de los objetos físicos representados gráficamente; así:

5.1 Pluviómetros

Los pluviómetros en SWMM establecen la entrada de datos de las intensidades medidas en mm, pudiendo ser utilizado para una o para todas las cuencas en estudio. La intensidad es la cantidad de lluvia que se precipita sobre un área específica. Para la realización de la simulación se considera la ecuación de intensidad (01) para la ciudad de Loja:

$$I = I_{dTR} \times 480.47 \times t^{-0.8489} \quad \text{Ec. 01}$$

Donde:

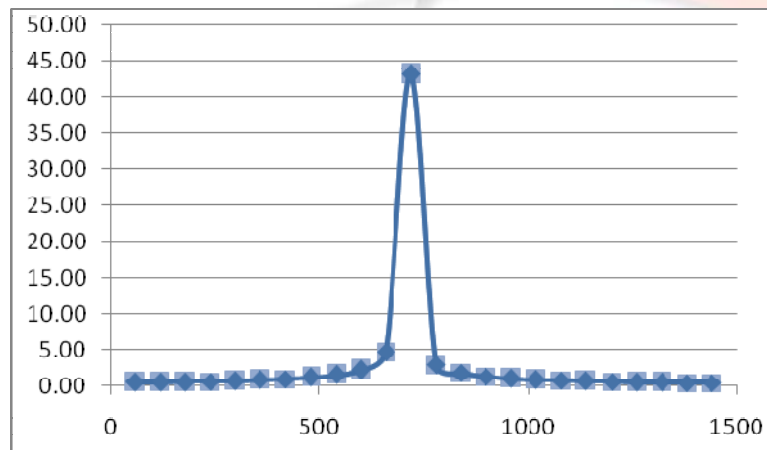
- I – intensidad de lluvia en mm
- I_{dTR} – constante con un periodo de retorno de 50 años con valor 2.9
- t – tiempo de duración de lluvia en min

Para la obtención de la serie temporal utilizamos el método de los bloques alternos, el cual nos proporciona las intensidades en cada unidad de tiempo, obteniendo como resultado los datos del cuadro 01 y del gráfico 01.

Cuadro 01: Intensidades de lluvia

TIEMPO (min)	INTENSIDAD (mm)	TIEMPO (min)	INTENSIDAD (mm)
60	0,48	780	3,02
120	0,52	840	1,82
180	0,57	900	1,33
240	0,64	960	1,06
300	0,72	1020	0,89
360	0,82	1080	0,76
420	0,96	1140	0,67
480	1,18	1200	0,60
540	1,54	1260	0,55
600	2,26	1320	0,50
660	4,76	1380	0,46
720	43,11	1440	0,45

Gráfico 01: Intensidades de lluvia



La simulación se la realiza con una tormenta de diseño de 24 horas e intensidad de lluvia de 69.69 mm, para lo cual la serie temporal contendrá intensidades de lluvia en los intervalos previamente definidos, que se los introducirá desplegando la categoría de objetos, series temporales desde el visor de datos del programa.

5.2 Cuencas

Las cuencas son áreas de la superficie terrestre cuya topografía y elementos del sistema hacen que toda el agua proveniente ya sea por escurrimiento superficial, por la elevación del nivel freático, o directamente por la precipitación, drene directamente hacia un nudo de descarga. En el editor de propiedades de la cuenca se fijan los datos del cuadro (02). (SWMM 5Ve. Manual del usuario).

Cuadro 02: Propiedades de la cuenca

PROPIEDAD	NOMBRES	
	CUENCA 1	CUENCA 2
Pluviómetro:	lluvia	lluvia
Descarga:	nudo 2	nudo 3
Area:	4.48 Ha	2 Ha
Ancho:	400 m	200 m
% de pendiente:	1	1
% de impermeabilidad:	85	85
Manning para area permeable:	0.1	0.1
Manning para area impermeable:	0.012	0.012
Metodo de infiltracion:	Horton	Horton

5.3 Nudos de conexión

Pertencen al sistema de drenaje donde conectan diferentes líneas entre sí. A través de las conexiones entran al sistema los aportes externos de caudal. Para cada uno de los nudos de conexión se fijan propiedades del cuadro (03).

Cuadro 03: Propiedades de los nudos de conexión

PROPIEDAD	NOMBRES							
	nudo1	nudo2	nudo3	nudo4	nudo5	nudo6	nudo7	nudo8
Cota de fondo	2059.67	2058.36	2058.17	2058.33	2059.79	2060.95	2062.50	2056.72
Profundidad máxima	3	3	3	3	1.8	1.8	1.8	3

5.4 Nudos de vertido o descargas:

Son los puntos terminales del sistema de drenaje utilizados para definir las condiciones finales aguas abajo del sistema. Una restricción del programa es que un nudo de vertido sólo puede recibir caudal de una tubería. Utilizaremos una cota de fondo de 2058 m.

5.5 Conducciones

Son tuberías o canales por los que se desplaza el agua desde un nudo a otro pudiendo ser éstas manipulables por el diseñador. Los datos se detallan en el cuadro (04).

Cuadro 04: Propiedades de las conducciones

PROPIEDAD	NOMBRES								
	cond1	cond2	cond3	cond4	cond5	cond6	cond7	cond8	cond9
Nudo inicial	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	D2	N8
Nudo final	N2	N3	N4	N5	V1	N5	N6	N6	D1
Forma del conducto	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Rec_op en
Longitud	114.24	26.52	22.44	46.92	4488	112.20	120.36	8.16	25
Rugosidad	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.014	0.009	0.009	0.009
Desnivel de entrada	0.3	0.9	0.82	1.8	0.4	1.73	0.3	0.92	2.10
Desnivel de salida	0.834	0.62	0.5	0.3	1.8	0.42	1,406	0.4	0.5

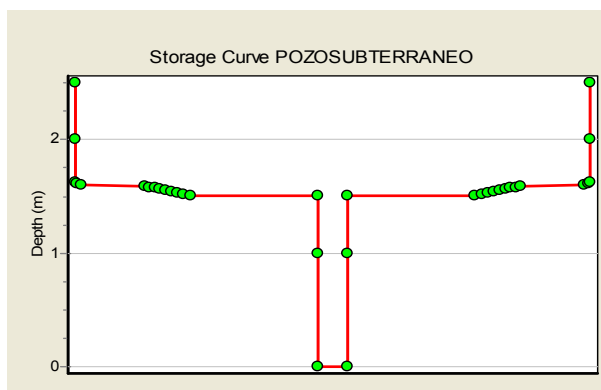
5.6 Sistemas de almacenamiento

Son nudos del sistema de drenaje capaces de almacenar determinados volúmenes de agua. Pueden representar desde sistemas de almacenamiento reducidos como pequeñas cuencas hasta sistemas grandes como un lago. Las propiedades son las mostradas en el cuadro (06) y el perfil del depósito 01 con una inundación en el área de parqueo Sur que asciende hasta 1 m, ver gráfico (02). (SWMM 5Ve. Manual del usuario).

Cuadro 05: Propiedades de los sistemas de almacenamiento

PROPIEDAD	NOMBRES	
	DEPOSITO1	DEPOSITO2
Cota de fondo	2058,278	2060,800
Profundidad	1.5	2
Nivel inicial	0.4	0
Area de inundación	1192,351	0
Curva de forma	tabular	tabular

Gráfico 02: Curva del sistema de almacenamiento



Como resultado del presente análisis hidráulico se considera introducir un depósito de 1.50 m de profundidad desde la cota mas baja del área de parqueo, con un volumen total de 6 m³, el mismo que luego de llenarse completamente empieza a inundar el lugar. En el software se ha estimado valores para las diferentes áreas de inundación versus la altura inundada cada centímetro.

5.7 Bombas

Constituyen dispositivos hidráulicos que permiten elevar agua a niveles superiores, en el SWMM se representan como líneas con una curva característica, la cual representa la relación existente entre el caudal en la bomba y las condiciones de entrada y salida de los nudos. Las propiedades son las mostradas en el cuadro (06). (SWMM 5Ve. Manual del usuario).

Cuadro 06: Propiedades de las bombas

PROPIEDAD	NOMBRE
	DEPOSITO1
Nudo de entrada	D1
Nudo de salida	D2
Curva de la bomba	sumergible
estado inicial	encendida

5.8 Filtración

Es un proceso en el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. El software SWMM permite seleccionar tres modelos diferentes de filtración; (Método Green – Ampt, método del número de curva y la ecuación de Horton); este último es el método utilizado en la presente investigación.

Ecuación de Horton: Se basa en observaciones empíricas y propone que la infiltración decrece exponencialmente desde un valor inicial máximo hasta un cierto valor mínimo a lo largo del evento de lluvia mostrada en la ecuación (02). (SWMM 5Ve. Manual del usuario)

$$f(t) = f_c + (f_o - f_c)e^{-kt} \quad \text{Ec. 02}$$

Donde:

- $f(t)$ – filtración
- f_o – tasa de inicio de infiltración (cm/h)
- f_c – tasa a la que la infiltración decrece exponencialmente
- k – constante de decaimiento

La tasa de infiltración es la tasa a la cual es agua entra al suelo en la superficie.

6. REALIZACIÓN DE LA SIMULACIÓN

El modelo hidráulico de transporte utilizado será el de la onda cinemática, el cual permite que el caudal y el área varíen en el interior del conducto. Adicionalmente es preciso

determinar las fechas de inicio y finalización de la simulación así como la duración de la tormenta. Las unidades de flujo se fijaran según los requerimientos del diseñador.

7. CONCLUSIONES

- Mediante el uso de la ofimática de hidráulica pluvial -SWMM- se ha analizado los componentes de la red de drenaje pluvial para prevenir inundaciones de los subterráneos en zonas comerciales del casco céntrico de la ciudad de Loja.
- Los elementos hidráulicos planteados como alternativas de prevención de inundaciones son: grupo de bombeo, depósito subterráneo, depósito receptor al final de la impulsión, nudos y tuberías.
- Mediante esta aplicación práctica-investigativa del SWMM hemos aprovechado una herramienta informática excelente y gratuita para analizar hidráulicamente drenajes urbanos.

8. AGRADECIMIENTO

Mis sinceros agradecimientos para los docentes de la Universidad Técnica Particular de Loja, en especial para el Ing. Holger Benavides Muñoz quien con sus conocimientos ha sabido guiarme para la culminación de la presente investigación.

9. REFERENCIAS

- SWMM 5Ve. Manual del usuario, traducción al español por GMMF
- APARICIO MIJARES, Francisco Javier., (2003) “Fundamentos de Hidrología de superficies”, Editor Limusa, 303p.
- CHOW, Ven Te., (1994), “Hidrología aplicada”, Santafé de Bogotá, McGraw-Hill, 584 p.
- SALDARRIAGA V, Juan G., (1998), “Hidráulica de tuberías”, Santafé de Bogotá, McGraw-Hill Interamericana, 564 p.