

XII Simposio Iberoamericano sobre planificación de sistemas de abastecimiento y drenaje

“HERRAMIENTA PARA EL DISEÑO DE DRENAJES URBANOS”

María Carmen Espinosa Espinosa (1), Benjamín Lara Ledesma (2)

(1) Estudiante de maestría de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; Santiago Tapia 403, Morelia, Michoacán, México; espinosaemc@gmail.com

(2) Profesor e investigador de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; Santiago Tapia 403, Morelia, Michoacán, México; blarale@hotmail.com

RESUMEN

Una de las herramientas para el diseño de drenaje urbano es el SWMM (Storm Water Management Model) que en este trabajo se presenta un diseño de una red de drenaje utilizando esta herramienta, el diseño está basado en los flujos de entrada: a través de microcuencas se analiza la precipitación del sitio en estudio, generando el escurrimiento a la tubería y los caudales sanitarios, proporcionan los gastos totales para el diseño de la red. Este software facilita el diseño ya que de una manera muy rápida se pueden proponer varios diámetros hasta lograr un diseño óptimo de la red; el SWMM tiene una interface gráfica que es de mucha ayuda en el diseño, ya que permite la observación del fenómeno físico del escurrimiento a través de los conductos. Otra de las ventajas, y la más importante de ellas, es que este software es de libre acceso.

Palabras claves: Drenaje pluvial, drenaje urbano, modelos matemáticos, SWMM.

ABSTRACT

One of the tools for the design of urban drainage is the SWMM (Storm Water Management Model) who in this work appears a design of a drainage network using this tool, the design is based on the flows of entry: across microbasins the rainfall of the site is analyzed in study, generating the runoff to the pipeline and the sanitary flows, they provide the total expenses for the design of the network. This software facilitates the design since in a very rapid way they can propose several diameters up to achieving an ideal design of the network; the SWMM has a graphical interface that is of great help in the design, since it allows the observation of the physical phenomenon of the runoff across the conduits. Other one of the advantages, and the most important of them, is that this software is of free access.

Key words: Stormwater drainage, urban drainage, mathematical models, SWMM.

SOBRE EL AUTOR PRINCIPAL

(1) *María Carmen Espinosa Espinosa*: Ingeniera Civil egresada de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, becada por el Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología (COECYT) para el desarrollo de la tesis “Diseño de la red de drenaje sanitaria y pluvial del municipio de Chucándiro, Michoacán”.

Actualmente estudiante de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental becada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), desarrollando la tesis “Evaluación experimental de la velocidad de rotación en un reactor de biodiscos para aguas residuales”.

Ponente en el XXII Congreso Nacional de Hidráulica con el artículo “Determinación de la socavación de pilas en laboratorio”.

Ayudante de técnico académico de medio tiempo (2 años).

Profesor por horas de la materia de análisis y diseño hidráulico de canales (6 meses).

Profesor por horas de la materia de hidráulica de conductos a presión (6 meses).

Profesor por horas de la materia de hidráulica básica (6 meses).

Curso de EPANET aplicado a hidráulica de conductos a presión (40 h).

Curso de H-CANALES aplicado a funcionamiento hidráulico de canales (40 h).

ANTECEDENTES E INTRODUCCIÓN

El desplazamiento de la población rural hacia zonas urbanas provoca un fuerte crecimiento de la superficie ocupada por las ciudades, por lo tanto a esta población se le tiene que proporcionar de servicios; en general, se inician con el abastecimiento de agua potable y van satisfaciendo sus necesidades con base en obras de acuerdo a su economía.

Sin embargo, una vez que las aguas procedentes del abastecimiento son empleadas en las múltiples actividades humanas, son contaminadas con desechos orgánicos, inorgánicos y bacterias patógenas. Después de cierto tiempo, la materia orgánica contenida en el agua se descompone y produce gases con olor desagradable. Además, las bacterias existentes en el agua causan enfermedades. Por lo que la disposición o eliminación de las aguas de desecho o residuales debe ser atendida convenientemente para evitar problemas de tipo sanitario.

Anteriormente para la modelación de las redes de drenaje se realizaban suponiendo que el flujo siempre se iba a encontrar en condiciones de flujo permanente. Actualmente con el avance de la tecnología se ha logrado solucionar modelos matemáticos que permiten simular el comportamiento de las redes de alcantarillado utilizando condiciones de flujo no permanente. Estos nuevos sistemas se crean dentro de entornos de desarrollo probados, bien documentados y respaldados, que hacen un uso completo de los más modernos avances en la informática.

En la actualidad existen en el mercado muchas herramientas informáticas que son muy útiles para el diseño de redes de alcantarillado, las mismas que difieren entre sí por su costo, que va variando de acuerdo a la capacidad y facilidad de uso. En este trabajo nos basaremos sólo en el SWMM (Storm Water Management Model).

El SWMM es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones, que se puede utilizar para un único acontecimiento o para realizar una simulación continua en un periodo extendido. El programa permite simular tanto la cantidad como la calidad del agua evacuada, especialmente en alcantarillados urbanos. El módulo hidrológico de SWMM funciona con una serie de cuencas en las cuales cae el agua de lluvia y se genera la escorrentía. El Módulo de transporte o hidráulico de SWMM analiza el recorrido de estas aguas a través de un sistema

compuesto por tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, bombas y elementos reguladores. El programa es capaz de seguir la evolución de la cantidad y la calidad del agua de escorrentía de cada cuenca, así como el caudal, el nivel de agua en los pozos o la calidad del agua en cada tubería y canal durante una simulación compuesta por múltiples intervalos de tiempo. Al igual que es un conjunto flexible de capacidades de modelación hidráulica usada para transitar el escurrimiento y entrada de flujos externos a una red de tuberías, canales, unidades de almacenamiento-tratamiento y estructura de reparto (Lewis 2010). Estos incluyen habilidad para:

- Manejo de redes de tamaño ilimitado;
- Uso de gran variedad de formas estándar para cerrar y abrir conductos, así como para canales naturales;
- Modelo de elementos especiales tales como unidades de almacenamiento-tratamiento, reparto de caudal, bombas, vertederos y orificios;
- Aplicación de flujos externos y entrada de la calidad del agua desde el escurrimiento superficial, interflujo con el agua subterránea, infiltración, flujos sanitarios y otros flujos definidos por el usuario;
- Alternativas de selección entre flujo permanente y flujo no permanente por onda cinemática u onda dinámica; y,
- Aplicación de controles dinámicos para estado de bombeo, abertura de orificios y niveles de vertedero para reglas de control definidas por el usuario.

BASE CIENTÍFICO - TEÓRICA

Para poder efectuar el diseño de un sistema de alcantarillado, se requiere conocer los principios de hidráulica que se aplican al transporte a gravedad de líquidos en conductos cerrados o abiertos.

Hidráulicamente, la captación de aguas difiere de la distribución de agua en tres aspectos:

- Los conductos no fluyen bajo presión, excepto en circunstancias especiales;
- El flujo es casi siempre inestable y frecuentemente no uniforme; y,
- Las aguas transportan cargas de materiales flotantes, suspendidos y solubles.

Los mismos principios hidráulicos se aplican al flujo en las alcantarillas y al flujo en tuberías llenas. Sin embargo, las alcantarillas rara vez trabajan a tubo

lleno; y para cualquier alcantarilla circular, el área, la velocidad de flujo, y la descarga varían con la altura del agua en el interior de la tubería.

Por lo general la tubería se diseña como flujo a canal abierto, en condiciones parcial o totalmente llena. El diseño contempla condiciones de flujo uniforme.

El drenaje urbano significa la evacuación de las aguas superfluas o perjudiciales de un terreno urbano. Tales son las aguas residuales y las aguas pluviales.

Un modelo está formado por nudos que representan pozos de registro o uniones en un sistema de tuberías y uniones o entronques en un sistema de canales abiertos. Los nudos están unidos por líneas que representan tuberías, canales u otros dispositivos como los controles de caudal o las bombas del sistema.

Los nudos ordinarios representan puntos por los que entran caudales del sistema, o uniones entre líneas. Un nudo de vertido representa un punto por el que un caudal abandona el sistema.

Si las zonas urbanas sólo ocupasen zonas altas, con buenas pendientes y alejadas de cauces naturales importantes, y además fuese de extensión reducida, probablemente el drenaje no exigiría técnicas muy sofisticadas, pero por lo regular las zonas urbanas suelen ocupar zonas llanas, más fácil de urbanizar, y con multitud de cauces naturales que las atraviesan.

Los sistemas de drenaje urbano deben evacuar las avenidas de determinado periodo de retorno que cruzan las ciudades siguiendo el trazado de los antiguos cauces naturales.

El drenaje urbano no sólo sirve para evitar las inundaciones, sino también para mantener las condiciones higiénicas dentro y fuera de las ciudades recolectando las aguas residuales y transportándolas hasta las estaciones depuradoras, las cuales deben funcionar conjuntamente con el sistema de drenaje (Campos, 2010).

METODOLOGÍA

En este trabajo se analizó la población de Chucándiro, Michoacán, México, para el desarrollo de una red de alcantarillado se comenzó con la recopilación de la información de base, como son los datos estructurales del sistema y los datos fenomenológicos.

Dentro de los datos estructurales del sistema se requirió la ayuda de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para este trabajo se utilizó el software ArcView, para facilitar la descripción de la ocupación del suelo y la definición de las cuencas.

Para los datos fenomenológicos se empleó la base de datos del extractor rápido de información climatológica (ERIC 3) para obtener la información de las estaciones con registro de lluvia cercanas a la zona de estudio.

El diseño del sistema con un evento de lluvia con magnitud correspondiente a 5 o 10 años de periodo de retorno es un periodo económico de diseño porque la obra no es costosa y se tiene un nivel de protección adecuado en condiciones de lluvias ordinarias (CONAGUA, 2010), para este análisis se utilizó un periodo de retorno de 10 años.

Para obtener el gasto pico a la salida de una cuenca a partir de una relación de proporcionalidad entre el gasto pico y el volumen total de agua precipitada en una superficie se utilizó el método racional. Este modelo toma en cuenta, además del área de la cuenca, la altura o intensidad de la precipitación.

Para estimar el tiempo de concentración es mediante la fórmula de Kirpich (ecuación 1).

$$t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (1)$$

Donde:

S es la pendiente del cauce principal;

L es la longitud del cauce principal de la cuenca en m; y,

t_c es el tiempo de concentración en h.

Para las curvas intensidad–duración–periodo de retorno (i–d–T) se seleccionó la intensidad o altura de precipitación con una duración de 30 minutos y periodo de retorno de 10 años, y después se seleccionó el hietograma de una librería de lluvias de diseño sintéticas formada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2010.

Ya obtenida la precipitación para un periodo de retorno, dicho valor se debe repartir para lo largo de 24 horas. La distribución que se utilizó para realizar el hietograma fue la distribución de Huff, que de acuerdo con los datos analizados, se distribuyó las precipitaciones en cuatro grupos, de acuerdo con la intensidad de precipitación (cuatro cuartiles). Las distribuciones que se consideran más adecuadas para su empleo en procesos de dimensionamiento son las

correspondientes a los dos primeros cuartiles, las más severas.

Se prosigue con la modelación matemática con la introducción de datos en el modelo, asimismo el programa SWMM 5.0 realiza un tratamiento específico de las pérdidas por infiltración. Para este trabajo se utilizó el método del número de curva (CN) del Soil Conservation Service (SCS), y para terminar con el diagnóstico del funcionamiento.

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Para la elaboración de este trabajo se auxilió en el software ArcView con el cual se apoyó para la localización de las cuencas, para un mejor manejo de la información, dentro del municipio de Chucándiro se dividió en 10 cuencas las cuales se presentan en la Figura 1 y las características de estas se muestran en la Tabla 1.

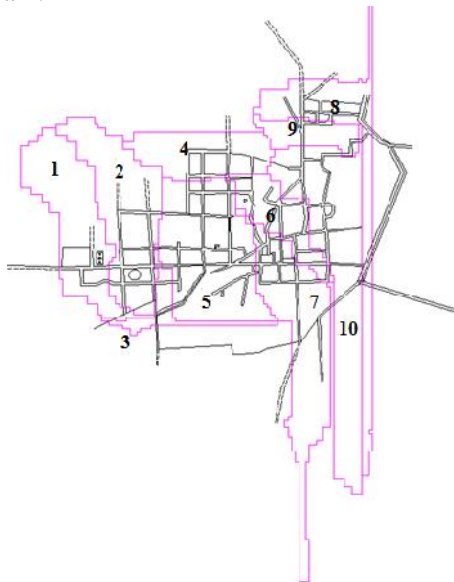


Figura 1. Distribución de las cuencas referenciadas al municipio de Chucándiro

Tabla 1. Características de las subcuencas

Número Cuenca	Área (m ²)	Área (km ²)	Perímetro (m)	Pendientes Media (%)	Elevación Mínima (m)	Elevación Máxima (m)	Elevación Media (m)
1	247572.12	0.2476	3429.24	17.36	1843	2022	1914.90
2	264185.51	0.2642	3212.65	14.08	1842	2007	1906.36
3	50491.68	0.0505	2815.59	3.56	1841	1868	1847.18
4	156361.34	0.1564	2057.54	17.21	1877	1945	1898.99
5	328358.81	0.3284	2743.39	12.22	1840	1918	1868.52
6	115316.49	0.1153	2274.13	9.66	1837	1909	1866.62
7	285685.20	0.2857	4909.23	3.98	1837	1888	1844.82
8	237799.54	0.2378	8194.07	4.99	1837	1889	1848.03
9	69059.59	0.0691	1588.28	9.24	1837	1889	1859.33
10	369077.91	0.3691	4909.23	7.51	1837	1890	1848.91
Promedio	2123908.21	2.12		9.98			

Fuente: Elaborada por los autores

La información del tipo de suelo registrada por el INEGI, fue procesada con ayuda del Arcview, se presentan los resultados en la Figura 2.

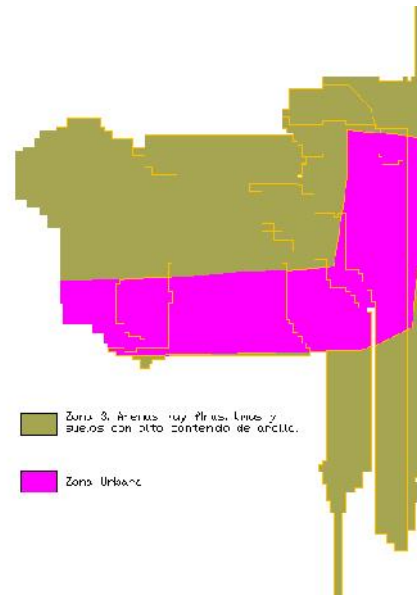


Figura 2. Tipos de suelo de la zona de estudio

De acuerdo a la base de datos del ERIC 3, se localizan 10 estaciones climatológicas en las cercanías de la zona de estudio. De las cuales al hacer un estudio de la información de éstas solamente tres cumplen con los requerimientos y son las estaciones de Huandacareo, Cuitzeo (16250); Huaniqueo, Huaniqueo (16050); Cuitzeo, Cuitzeo (16027).

De los datos proporcionados de las estaciones y teniendo ya en cuenta nuestro periodo de retorno de 10 años (CONAGUA, 2010) los datos se analizarán con la distribución normal, lognormal y Gumbel los resultados se presentan en la Figura 3.

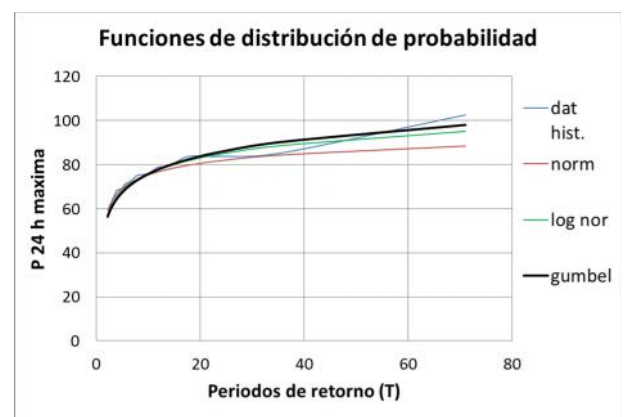


Figura 3. Distribución de probabilidad

Como se puede apreciar en la Figura 3 la distribución que mejor ajusta es la Gumbel así que se trabajó con esa distribución en la Tabla 2 se muestra los resultados de la distribución Gumbel.

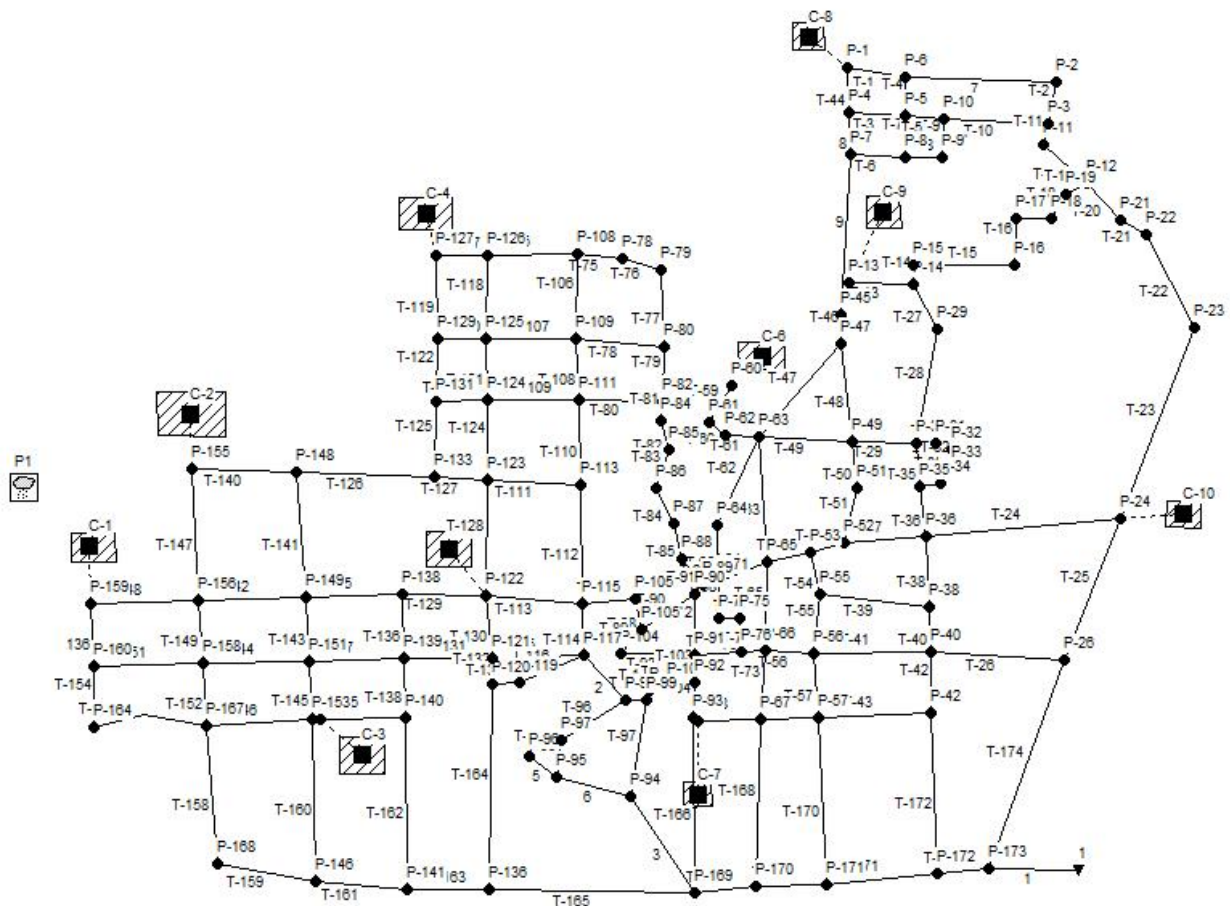


Figura 6. Ubicación de cuencas, pozos y tramos

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez que los datos han sido ingresados al programa y éste se ha ejecutado sin ningún inconveniente, se procede a realizar la simulación para ver el comportamiento de los conductos. Esto se hace porque puede ser que en algunos de los tramos el gradiente hidráulico sea muy alto que trabajen a presión o que se estén rebosando los pozos y se tenga que hacer algún cambio en el diseño.

Se presentan los resultados de la simulación para la red de drenaje sanitaria y pluvial en las Tablas 3a, 3b, 3c, 3d y 3e.

Para conocer la actuación de cada uno de los modelos, se han estudiado alternativas diferentes, variando los diámetros y pendientes analizando su influencia en los resultados calculados.

En particular, la modelación realizada con EPA SWMM 5.0 considera la solución en los términos inerciales en la ecuación de cantidad de movimiento. También se considera la incorporación de varios nodos intermedios, de tal manera de poder estudiar y analizar los cambios de la elevación del agua en toda la longitud del conducto.

Tabla 3a. Resultados de los gastos en los tuberías para la red de alcantarillado sanitaria.

Tramo	Gasto máximo (l/s)	Tiempo máximo de ocurrencia	
		días	h:min
T-1	93.17	0	01:05
T-2	31.85	0	01:10
T-3	42.12	0	01:05
T-4	71.93	0	01:06
T-6	24.93	0	01:07
T-7	15.76	0	01:25
T-8	28.81	0	01:08
T-9	36.02	0	01:08
T-5	124.18	0	01:05
T-10	166.07	0	01:08
T-11	204.82	0	01:09
T-12	210.99	0	01:10
T-13	146.95	0	01:05
T-14	30.41	0	01:06
T-15	36.74	0	01:07
T-16	43.73	0	01:09
T-17	49.93	0	01:11
T-18	57.07	0	01:14
T-19	64.38	0	01:15
T-20	280.14	0	01:12
T-21	285.89	0	01:13
T-22	291.31	0	01:15
T-23	297.49	0	01:18
T-24	38.85	0	01:13
T-25	477.20	0	01:14
T-26	3.43	0	01:17
T-27	123.11	0	01:07
T-28	129.48	0	01:09
T-29	16.59	0	01:12
T-30	42.67	0	01:08
T-31	49.58	0	01:08
T-32	56.49	0	01:09
T-33	63.49	0	01:10
T-34	70.59	0	01:11
T-35	77.47	0	01:11
T-36	155.26	0	01:12
T-37	49.68	0	01:13
T-38	73.85	0	01:13

Fuente: Elaborada por los autores

Tabla 3b. Resultados de los gastos en los tuberías para la red de alcantarillado sanitaria.

Tramo	Gasto máximo (l/s)	Tiempo máximo de ocurrencia	
		días	h:min
T-39	66.01	0	01:14
T-40	15.09	0	01:15
T-41	7.54	0	01:17
T-42	11.25	0	01:17
T-43	189.63	0	01:18
T-44	63.75	0	01:05
T-46	17.67	0	01:09
T-47	16.63	0	01:10
T-48	8.22	0	01:10
T-49	21.37	0	01:13
T-50	10.59	0	01:13
T-51	17.78	0	01:14
T-52	74.64	0	01:14
T-53	29.76	0	01:15
T-54	52.09	0	01:15
T-55	125.18	0	01:16
T-56	208.17	0	01:17
T-57	347.95	0	01:18
T-58	88.47	0	01:12
T-59	64.46	0	01:05
T-60	70.83	0	01:06
T-61	77.40	0	01:06
T-62	50.80	0	01:09
T-63	65.53	0	01:09
T-64	39.21	0	01:14
T-65	140.53	0	01:16
T-66	57.04	0	01:19
T-67	75.43	0	01:14
T-68	100.01	0	01:15
T-69	107.18	0	01:16
T-70	114.38	0	01:17
T-71	35.93	0	01:17
T-72	157.52	0	01:17
T-73	97.13	0	01:18
T-74	96.89	0	01:06
T-75	27.93	0	01:07
T-76	35.08	0	01:07
T-77	41.92	0	01:09

Fuente: Elaborada por los autores

Tabla 3c. Resultados de los gastos en los tuberías para la red de alcantarillado sanitaria

Tramo	Gasto máximo (l/s)	Tiempo máximo de ocurrencia	
		días	h:min
T-78	32.93	0	01:08
T-79	81.60	0	01:10
T-80	27.26	0	01:09
T-81	116.01	0	01:10
T-82	123.18	0	01:11
T-83	130.06	0	01:12
T-84	136.91	0	01:12
T-85	143.77	0	01:13
T-86	150.79	0	01:14
T-87	64.99	0	01:08
T-88	71.64	0	01:09
T-89	64.92	0	01:11
T-90	13.62	0	01:08
T-91	82.49	0	01:15
T-92	102.61	0	01:14
T-93	71.94	0	01:13
T-94	20.73	0	01:18
T-95	58.37	0	01:04
T-96	71.48	0	01:08
T-97	147.06	0	01:21
T-98	74.20	0	01:17
T-100	65.58	0	01:19
T-101	58.42	0	01:17
T-102	51.42	0	01:15
T-103	145.46	0	01:15
T-104	101.02	0	01:16
T-105	44.73	0	01:06
T-106	23.62	0	01:06
T-107	48.50	0	01:07
T-108	45.88	0	01:08
T-109	40.32	0	01:08
T-110	65.38	0	01:09
T-111	74.52	0	01:11
T-112	146.09	0	01:12
T-113	85.39	0	01:05
T-114	168.87	0	01:12
T-115	43.13	0	01:02
T-116	68.20	0	01:04

Fuente: Elaborada por los autores

Tabla 3d. Resultados de los gastos en los tuberías para la red de alcantarillado sanitaria

Tramo	Gasto máximo (l/s)	Tiempo máximo de ocurrencia	
		días	h:min
T-117	77.10	0	01:05
T-118	39.06	0	01:05
T-119	95.66	0	01:05
T-120	50.63	0	01:05
T-121	47.67	0	01:07
T-122	51.74	0	01:06
T-123	20.19	0	01:06
T-124	34.33	0	01:08
T-125	38.43	0	01:06
T-126	70.31	0	01:07
T-127	110.80	0	01:10
T-128	76.76	0	01:11
T-129	21.91	0	01:10
T-130	154.38	0	01:06
T-131	99.97	0	01:10
T-132	226.38	0	01:10
T-133	75.41	0	01:04
T-135	35.82	0	01:09
T-136	20.88	0	01:10
T-137	77.35	0	01:09
T-138	14.41	0	00:26
T-139	33.37	0	00:23
T-140	85.93	0	01:05
T-141	21.76	0	01:07
T-142	47.32	0	01:07
T-143	39.99	0	01:08
T-144	100.33	0	01:08
T-145	69.54	0	01:09
T-146	81.85	0	01:09
T-147	80.00	0	01:06
T-148	121.29	0	01:06
T-149	160.11	0	01:07
136	49.27	0	01:06
T-151	33.49	0	01:08
T-154	22.15	0	01:08
T-156	29.34	0	01:09
T-152	99.68	0	01:08
T-158	53.71	0	01:10

Fuente: Elaborada por los autores

Tabla 3e. Resultados de los gastos en los tuberías para la red de alcantarillado sanitaria

Tramo	Gasto máximo (l/s)	Tiempo máximo de ocurrencia	
		días	h:min
T-159	61.24	0	01:12
T-160	157.35	0	01:12
T-161	226.93	0	01:14
T-162	35.19	0	01:07
T-163	271.47	0	01:14
T-164	302.86	0	01:10
T-165	579.75	0	01:15
T-166	108.56	0	01:23
T-167	942.77	0	01:17
T-168	105.77	0	01:12
T-169	1066.26	0	01:18
T-170	253.29	0	01:18
T-171	1344.01	0	01:19
T-172	207.81	0	01:20
T-173	1576.57	0	01:20
T-174	487.45	0	01:15
1	2092.06	0	01:21
2	137.62	0	01:12
3	244.89	0	01:24
5	28.14	0	01:22
6	88.55	0	01:21
7	25.00	0	01:08
8	28.62	0	01:06
9	10.55	0	01:07

Fuente: Elaborada por los autores

A continuación se presentan los perfiles de elevaciones de diferentes tramos, donde se puede apreciar que al momento cuando empieza la simulación de lluvia, no es muy grande su elevación, pero en el tiempo 00:00:50 a 00:01:10 la captación de la tubería es muy grande, después del tiempo de 00:01:10 comienza a disminuir y durante las 24 horas de simulación de la lluvia no vuelve incrementar el nivel del agua.

Se seleccionó un tramo del colector con los pozos P-159, P-160 y P-164, que estos a su vez unidos por los tramos 136 y T-154 (Figura 6). Se puede observar que el tramo de la red trabaja a flujo libre.

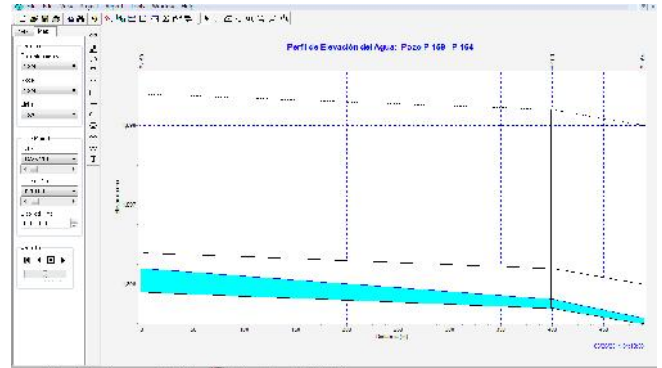


Figura 6. Tiempo 01:10:00 del tramo de los pozos P-159, P-160 y P-164

El tramo ubicado por los pozos P-155, P-156, P-158, P-167 y P-168, unidos por los tramos T-147, T-149, T-152 y T-158 (Figura 7). Al observar las simulaciones la red trabaja a flujo libre.

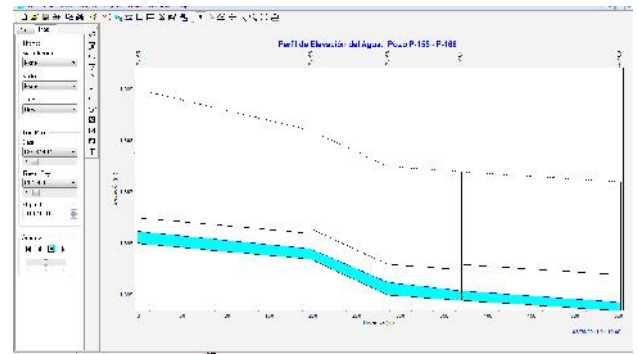


Figura 7. Tiempo 01:10:00 del tramo de los pozos P-155, P-156, P-158, P-167 y P-168

El tramo ubicado por los pozos P-145, P-140 y P-141, unidos por los tramos T-139 y T-162 (Figura 8).

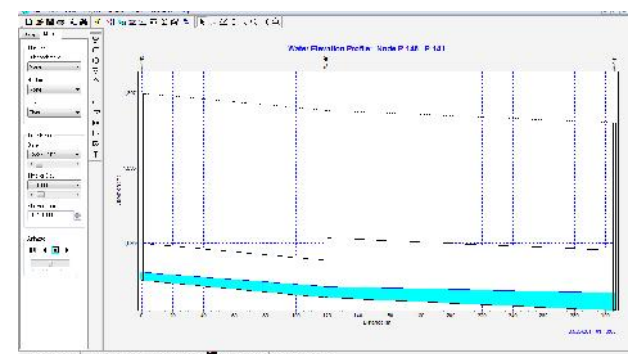


Figura 8. Tiempo 01:10:00 del tramo de los pozos P-145, P-140 y P-141

El tramo ubicado por los pozos P-127, P-129 P-131 y P-133, unidos por los tramos T-119, T-122 y T-125 (Figura 9).

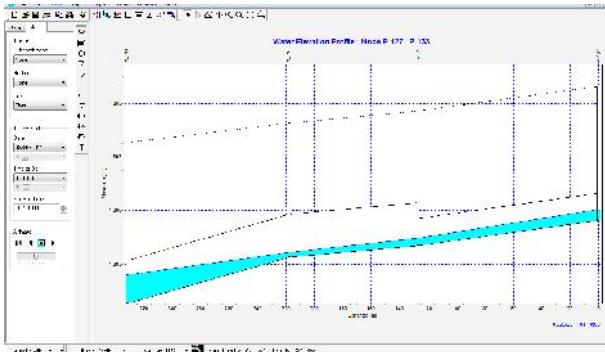


Figura 9. Tiempo 01:10:00 del tramo de los pozos P-127, P-129 P-131 y P-133

El tramo ubicado por los pozos P-122, P-121, P-120 y P-136, unidos por los tramos T-130, T-132 y T-164 (Figura 10).

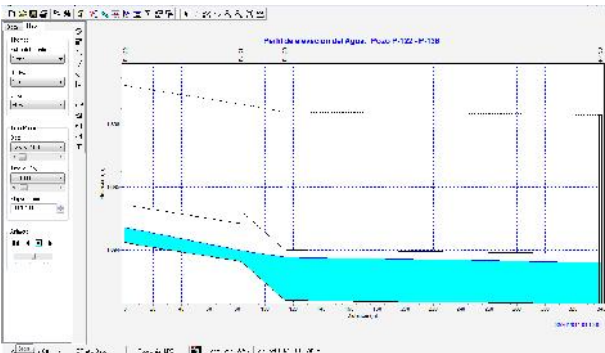


Figura 10. Tiempo 01:10:00 del tramo de los pozos P-122, P-121, P-120 y P-136

El tramo ubicado por los pozos P-60, P-61, P-62, P-63, P-65, P-66, P-67 y P-170, unidos por los tramos T-59, T-60, T-61, T-63, T-65, T-73 y T-168 (Figura 11).

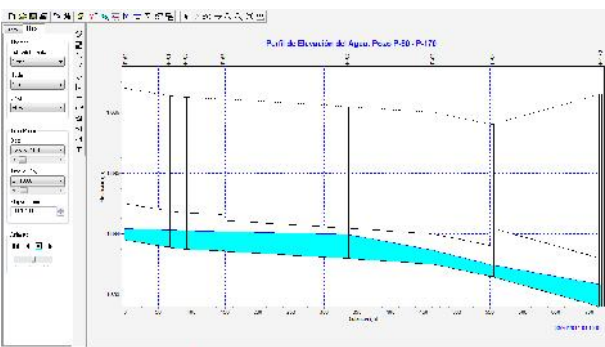


Figura 11. Tiempo 01:10:00 del tramo de los pozos P-60, P-61, P-62, P-63, P-65, P-66, P-67 y P-170

El tramo ubicado por los pozos P-1, P-4, P-7, P-45, P-46, P-49, P-51, P-52, P-53, P-39, P-56, P-57 y P-171, unidos por los tramos T-44, 8, 9, T-46, T-48, T-50, T-51, T-52, T-54, T-55, T-57 y T-170 (Figura 12).

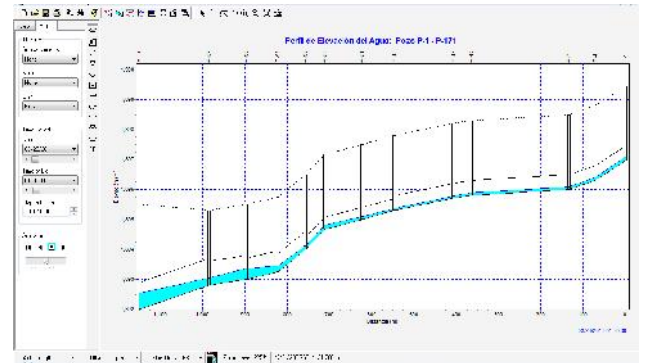


Figura 12. Tiempo 01:10:00 del tramo de los pozos P-1, P-4, P-7, P-45, P-46, P-49, P-51, P-52, P-53, P-39, P-56, P-57 y P-171

El tramo ubicado por los pozos P-13, P-14, P-29, P-30, P-35, P-36, P-38, P-40, P-42 y P-172, unidos por los tramos T-13, T-27, T-28, T-35, T-36, T-38, T-40, T-42, y T-172 (Figura 13).

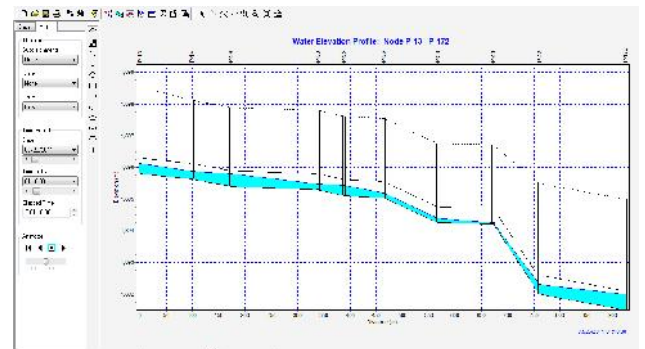


Figura 13. Tiempo 01:10:00 del tramo de los pozos P-13, P-14, P-29, P-30, P-35, P-36, P-38, P-40, P-42 y P-172

El tramo ubicado por los pozos P-1, P-6, P-2, P-3, P-11, P-12, P-22, P-23, P-24, P-26 y P-173, unidos por los tramos T-1, 7, T-2, T-11, T-12, T-20, T-21, T-22, T-23, T-25, y T-174 (Figura 14).

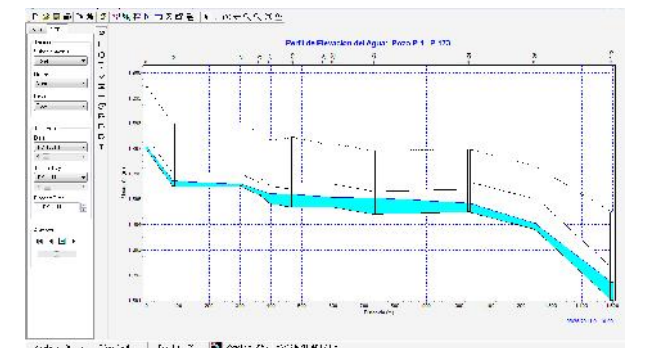


Figura 14. Tiempo 01:10:00 del tramo de los pozos P-1, P-6, P-2, P-3, P-11, P-12, P-22, P-23, P-24, P-26 y P-173

El tramo ubicado por los pozos P-168, P-146, P-141, P-136, P-169, P-170, P-171, P-172, P-173 y 1,

unidos por los tramos T-159, T-161, T-163, T-165, T-167, T-169, T-171, T-173 y 1 (Figura 15).

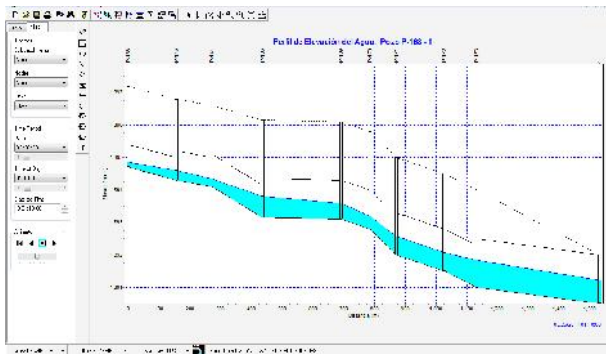


Figura 15. Tiempo 01:10:00 del tramo de los pozos P-168, P-146, P-141, P-136, P-169, P-170, P-171, P-172, P-173 y 1

De los análisis de las simulaciones nos podemos dar cuenta que la red puede soportar un gasto de 2092.06 l/s y todos los tramos de las tuberías trabajan a flujo libre aún en los tiempos donde el gasto por la lluvia aumenta, y los diámetros varían entre 0.20 a 1.50 m.

CONCLUSIONES

Como parte del estudio se realiza una serie de conclusiones en base al diseño de la red, se hicieron una gran cantidad de simulaciones cambiando los diámetros para así poder elegir los diámetros que cumplan satisfactoriamente las condiciones necesarias para el buen funcionamiento de la red. El programa SWMM 5.0 aporta una gran cantidad de parámetros los cuales son benéficos para las simulaciones ya que no sólo toma en cuenta los cálculos hidráulicos sino también las características de las cuencas, suelos y la distribución de la lluvia.

Se recomienda que la red de drenaje pluvial este separada de la red de drenaje sanitaria, ya que la recuperación del volumen pluvial es ecológica como económicamente beneficioso ya que se le puede dar otros usos; por ejemplo, almacenándola para después darle uso para riego o recreación.

Las redes de alcantarillado combinado tienen la ventaja de que resultan más económicas que las redes separadas; además, en la época de lluvias la red puede ser limpiada por las aguas de lluvia.

Al estar empleando el SWMM, se observó que es muy rápido para mostrar los resultados, además cuenta con una gran variedad de modalidades para observar los resultados como por ejemplo los

perfiles, gráficas y tablas que para el usuario son de gran utilidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Lewis, A.R. (2010). Storm Water Management Model, User's Manual, version 5.0. EPA.
- Campos, A.D.F. (2010). Introducción a la hidrología urbana. México.
- Campos, A.D.F. (1998). Procesos del ciclo hidrológico. México: Universitaria Potosina.
- Comisión Nacional del Agua (2009). Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento. México.
- Espinosa, E. M.C. (2011). Diseño de la red de drenaje sanitaria y pluvial del municipio de Chucándiro, Michoacán. Tesis de licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2010). Isoyetas de Intensidad-Duración-Periodo de Retorno para la República Mexicana. México.
- Soil Conservation Service (1986). Urban Hidrology for Small Watersheds. 2ª Ed. (TR-55).
- Rawls, W.J. et al. (1983). ASCE Journal of Hydraulic Engineering, 109, pp 1316.
- Sotelo, A.G. (1997). Hidráulica General, Fundamentos. Volumen1. 1ª edición. México. Editorial Limusa.