

Simulación numérica de la red de drenaje pluvial de la cuenca Gancedo. La Habana

Patricia Ruth de Horta Brito email: patricia@civil.cujae.edu.cu
Centro de Investigaciones Hidráulicas
Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Marianao, La Habana.

Luis Manuel Pino Plans email: luisplans123@gmail.com
Centro de Investigaciones Hidráulicas
Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Marianao, La Habana.

RESUMEN

Las inundaciones ocasionadas por lluvias son una amenaza continua que afecta a muchas zonas urbanas en todo el mundo, la cuenca Gancedo, ubicada en la zona central de La Habana, comprende los municipios de Habana Vieja, Diez de Octubre y Cerro, y presenta este problema con relativa frecuencia. A partir de la situación existente en la cuenca se realiza el estudio del funcionamiento hidráulico de las redes mediante el uso del software de modelación matemática EPA-SWMM. Se simula para tres variantes de lluvia, resultando 9 áreas de inundación, esto evidencia el mal estado de la red de drenaje pluvial de la cuenca, se presentan varias soluciones ingenieras para lograr su adecuado funcionamiento.

Palabras clave: drenaje, Gancedo, inundaciones, modelación, soluciones

Numerical simulation of the storm drain network of the Gancedo basin

ABSTRACT

Floods caused by rains are a continuous threat that affects many urban areas around the world, the Gancedo basin, located in the central area of Havana, comprises the municipalities of Habana Vieja, Diez de Octubre and Cerro, and presents this problem with relative frequency. Based on the situation in the basin, the study of the hydraulic operation of the networks is carried out through the use of EPA-SWMM mathematical modeling software. The program for three rainfall variants was modeled, resulting in 9 flood areas; this demonstrates the poor state of the storm drainage network in the basin, which led to the proposal of several engineering solutions to achieve optimum operation.

Keywords: drainage, Gancedo, floods, modeling, solutions

INTRODUCCIÓN

El uso de la modelación numérica se ha convertido en las últimas décadas en una necesaria herramienta para la evaluación de los sistemas de drenaje pluvial ante diferentes escenarios hidrológicos, esto último marcado por los efectos del Cambio Climático, Gómez (2009), Sánchez (2012), Sañudo et al. (2020).

La aplicación del modelo SWMM, EPA (2005) es de uso generalizado a nivel mundial, con demostrada eficacia en la modelación hidráulica de sistemas de alcantarillado y drenaje García et al. (2004), de Horta (2018).

La Habana presenta continuas inundaciones a pesar de contar con un sistema de drenaje pluvial, particularmente en la cuenca Gancedo se evidencian inundaciones pluviales provocadas por el mal diseño del sistema de la red de drenaje y por la falta de mantenimiento de la misma, aplicando un modelo matemático se realizará un análisis simulando el comportamiento hidráulico de la red de drenaje pluvial lo que permitirá definir una solución a los problemas existentes.

En este artículo se propone analizar el comportamiento de las zonas con mayores problemas, recopilar la información existente del trazado y características de la red, así como la topografía de la cuenca Gancedo, simular el comportamiento de la red existente en la cuenca para diferentes tipos de lluvias mediante el modelo matemático EPA SWMM 5.1 y proponer soluciones ingenieriles para los problemas existentes en las redes.

UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca topográfica de Gancedo abarca un área tributaria total de 610,38 ha, perteneciente a los municipios, Cerro, Habana Vieja y Diez de Octubre, sus aguas pluviales descargan a la bahía de La Habana, a través del dren principal de Gancedo que va por la calle del propio nombre. Los drenes principales asociados a Gancedo son dren Maboá, dren Villanueva y dren Agua Dulce, estos tienen asociados drenes secundarios ramificados de forma que captan toda el agua pluvial de la cuenca y a su vez ellos descargan al dren principal que descarga en la bahía de La Habana.

Hidrología de la cuenca urbana

Probabilidad de ocurrencia de la lluvia

El escenario a modelar se define según la probabilidad de ocurrencia de la lluvia y el tiempo de duración de la misma. Para la modelación se ha empleado una lluvia, con una probabilidad del 50% y tiempo de retorno de 2 años tomado del pluviómetro CH-171 del municipio Plaza de la Revolución (figura 1).

Tiempo de duración de la lluvia

La intensidad de la lluvia a utilizar en la modelación se toma de la curva I-F-D (intensidad-frecuencia-duración) de La Habana, de donde los parámetros usados son $A=5682,10$, $b=48,5$, $n=0,99$ para la probabilidad del 50%. Chow et al. (1994).

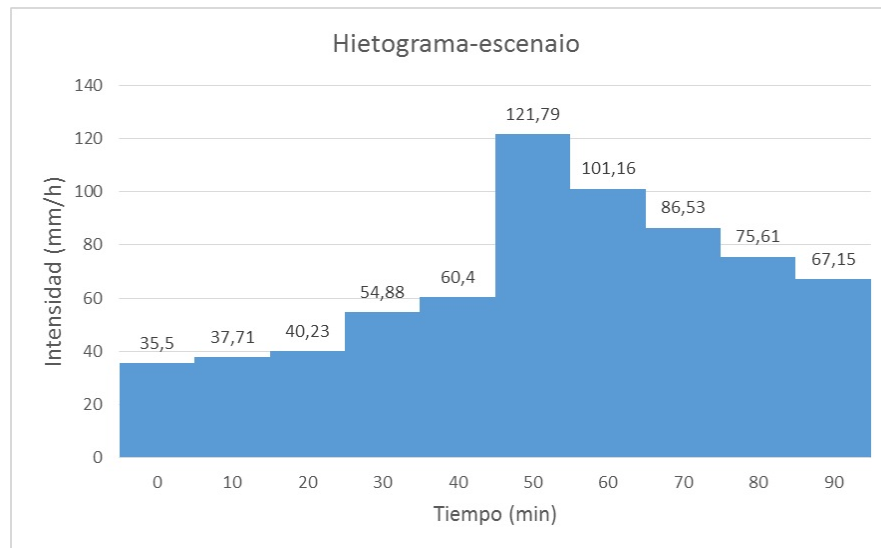


Figura 1. Hietograma de la lluvia utilizado en la modelación del escenario

Se realizará un análisis de tres variantes desplazando la máxima intensidad de la lluvia a 1/3 del comienzo del aguacero correspondiéndose con un tiempo de 30 minutos, en el medio, a los 50 minutos, y a 2/3 de haber iniciado el aguacero para un tiempo de 60 minutos obteniendo tres variantes para la simulación del modelo.

El sistema cuenta con un total de 225 conductos, de los cuales 177 son tuberías de hormigón con un coeficiente de Manning de 0,013, otros 47 son cajones de hormigón y una zanja excavada en tierra con abundante vegetación y un coeficiente de Manning de 0,04.

El Stormwater Management Model (modelo de gestión de aguas pluviales) de la EPA (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. El programa permite simular tanto la cantidad como la calidad del agua evacuada, especialmente en alcantarillados urbanos. El módulo de escorrentía o hidrológico funciona con una serie de cuencas en las cuales cae la precipitación y se origina la escorrentía; el de transporte o hidráulico analiza el recorrido del agua mediante un sistema compuesto por tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, bombas y elementos reguladores. El modelo de infiltración que se utilizó para estimar la escorrentía superficial fue el denominado Número de Curva de la Natural Resources Conservation Service (NRCS) y de la Soil Conservation Service (SCS) de los Estados Unidos, mientras que el tipo de onda con la que se trabajó fue el modelo de la onda dinámica ya que este resuelve las ecuaciones completas unidimensionales de Saint Venant y por tanto teóricamente genera los resultados más precisos.

Para el establecimiento del modelo se tuvo en cuenta colocar y definir nodos del sistema, con 214 nodos en total, 56 son nodos cabecera y 158 son nodos no cabecera; trazado y dimensionamiento de la red de tuberías y canales con 225 conductos en total, de ellos 177 son tuberías circulares de hormigón, 47 son cajones de hormigón y 1 zanja excavada en tierra, se delimitó un total de 277 subcuencas abarcando los 3 municipios de análisis en cuestión, se introdujeron en el editor series temporales los hietogramas de análisis para la simulación y por

último corresponde la definición de los parámetros del modelo hidráulico y las opciones generales de la modelación donde se define el modelo de infiltración (Número de Curva), el tipo de onda (Onda Dinámica), intervalos en lo que vamos a saber el caudal de inundación (10 minutos), tiempo de duración de la lluvia(90 minutos), hora de inicio y final de la simulación.

RESULTADOS Y PROPUESTAS DE SOLUCIONES

Para el análisis de los resultados de la simulación se analizan los drenes que conforman la cuenca: dren Maboá, dren Villa Nueva y dren Agua Dulce, ya que se conoce de las inundaciones en las áreas comprendidas en dichos drenes. Información brindada por la empresa Aguas de La Habana, totalizando 9 zonas puntuales afectadas por este fenómeno. Realizándose también análisis en nodos y conductos.

La tabla 1 muestra la ubicación y dimensión de cada área de inundación de los 3 drenes en cuestión.

Tabla 1. Áreas de inundación por dren

Dren	Localización	Área (hectáreas)
Maboá	Calle Vista Alegre desde calle Juan Bruno Zayas hasta Juan Delgado	1,63
	Calle Santa Catalina desde calle Mayia Rodríguez hasta calle Cortina	18,4
	Se delimita por las calles Luis Estévez, San Julio, Santa Emilia y San Benigno	43,4
	Calle San Leonardo desde calle San Indalecio hasta calle Ensenada	9,08
Agua Dulce	Calle Macedonia y Resguardo	1,37
	Calle Calzada de Buenos Aires y Durege	2,5
	Se delimita por las calles San Indalecio, Agua Dulce, Fomento y Tamarindo	16,6
Villa Nueva	Calles Enna, Fomento, Velázquez y Guasabacoa	4,78
	Calle Villa Nueva y Aspuro	4,26

En la figura 2 se muestran cada una de estas áreas de inundación. En color rojo se delimitan las áreas de inundación, en azul la numeración de la misma, en naranja se delimita la cuenca y las manzanas en color gris.

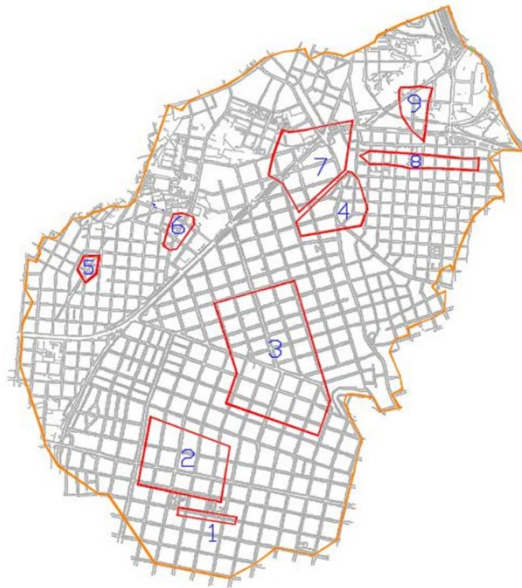


Figura 2. Áreas de inundación de la cuenca Gancedo en AutoCAD 2016

Ubicación de los nodos representativos

La tabla 2 nos brinda información acerca de la localización de cada uno de los nodos en correspondencia con los drenes Maboá, Villa Nueva y Agua Dulce, se tomó la decisión de que cada uno de ellos estuviese ubicado en el ramal principal del sistema de drenaje pluvial, como también que su ubicación estuviese en cada una de las áreas de inundación de interés.

Tabla 2. Ubicación de los nodos

Drenes	Nodos	Ubicación
Maboá	N22	Esquina Milagros Oeste y Figueroa
	N86	Calle Vía Blanca, entre calle Velázquez y calle Caíz de Concha
Villa Nueva	N189	Esquina Arango y Villa Nueva
	N207	Calle Villa Nueva, entre calle Vía Blanca y calle Aspuro
Agua Dulce	N102	Esquina Macedonia y Resguardo
	N112	Esquina Durege y Calzada de Buenos Aires

Simulación de la variante 1

Durante la simulación de esta variante, el momento crítico de inundación ocurre aproximadamente a los 50 minutos después de comenzar la lluvia, instante en el cual se producen los valores máximos de gasto de inundación en los nodos. En la figura 3 se muestra el

comportamiento de la red para dicho intervalo de tiempo, en esta se aprecia el comportamiento en la capacidad de los conductos y la inundación en cada nodo de la cuenca. En color azul se resaltan los nodos donde no ocurre inundación y las líneas rojas gruesas señalan las tuberías que están trabajando a sección llena.

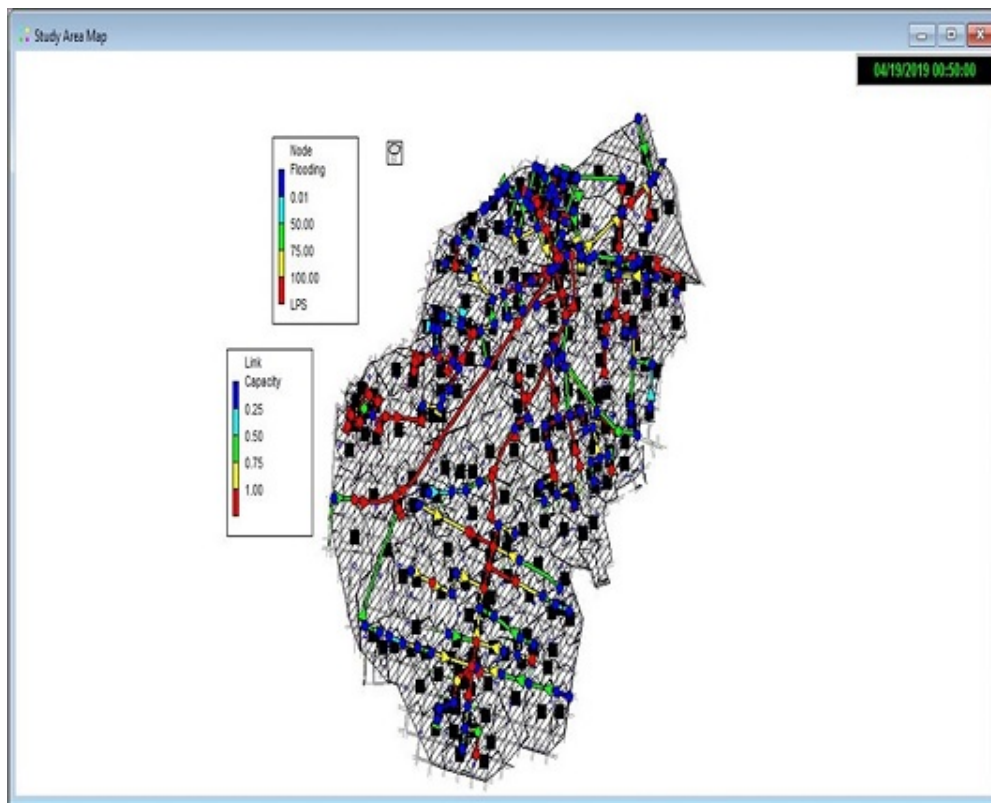


Figura 3. Comportamiento de la red para $t=50$ minutos, variante 1

Para esta variante la cuenca tiene un total de 50 nodos inundados, 22 corresponden al dren Maboá, 22 corresponden al dren Agua Dulce y 6 corresponden al dren Villa Nueva, con 84 tramos de conductos trabajan a sección llena.

En la figura 4 se observan los gastos de inundación en los nodos de interés a partir del modelo matemático SWMM, ocurriendo los máximos valores de inundación a los 50 minutos de haber comenzado la lluvia, correspondiéndose con las áreas de inundación, ocurriendo los mayores gastos ocurren en los nodos N86 y N207.

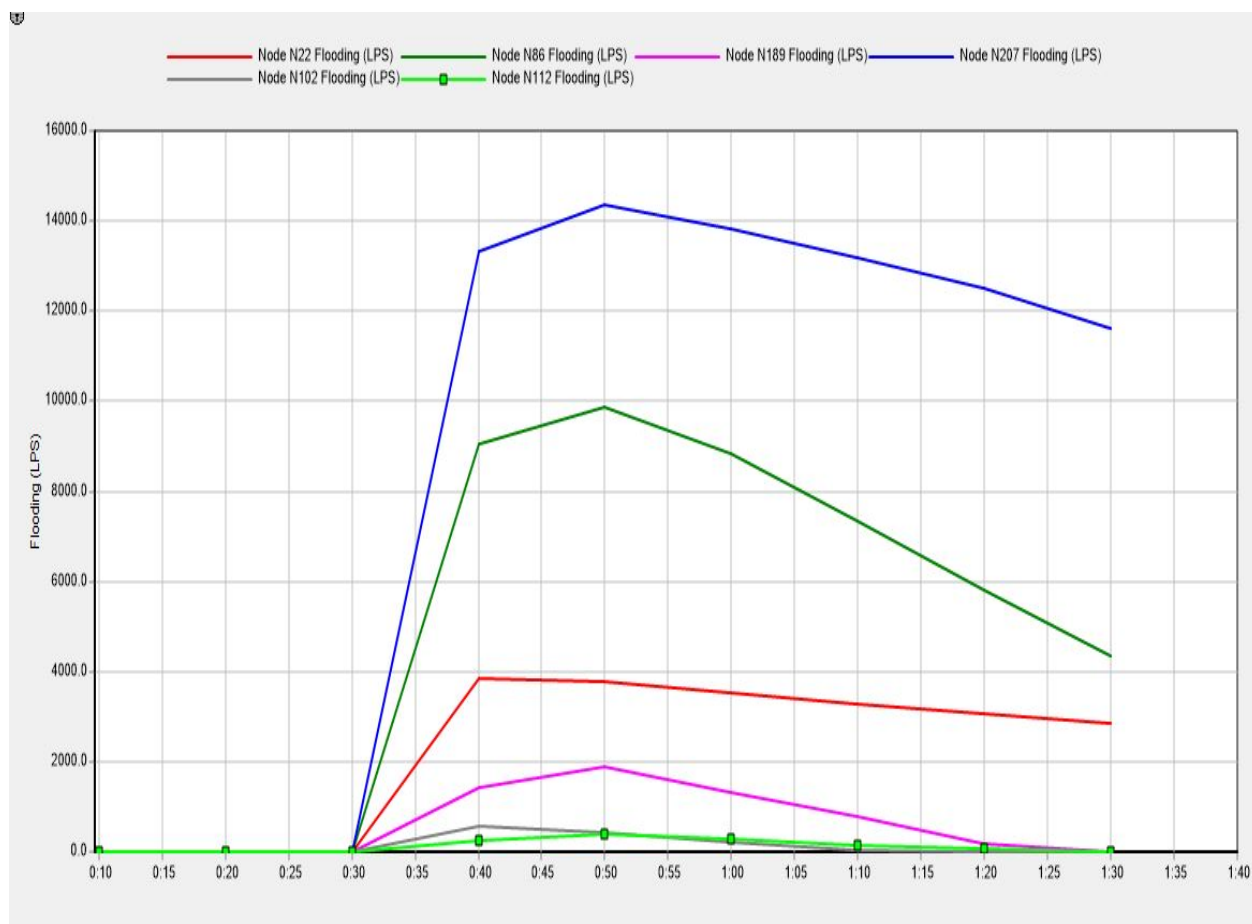


Figura 4. Inundación en los nodos N22, N86, N189, N207, N102, N112 para la variante 1

A continuación, se expone la tabla 3 con el tiempo de inundación y el gasto en cada nodo de interés.

Tabla 3. Tiempo de inundación de los nodos representativos, variante 1

Tiempo (minutos)	Nodos					
	N22 (L/s)	N86 (L/s)	N189 (L/s)	N207 (L/s)	N102 (L/s)	N112 (L/s)
0:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0:40	3844,20	9052,54	1440,56	13317,24	563,07	232,27
0:50	3774,47	9880,41	1873,46	14366,98	415,86	386,21
1:00	3524,13	8822,88	1326,16	13819,02	222,15	268,71
1:10	3273,31	7351,06	785,31	13197,45	45,12	152,51
1:20	3051,44	5800,68	184,98	12506,19	0,00	55,16
1:30	2864,44	4349,97	0,00	11629,53	0,00	0,00

Como se puede observar la inundación en los nodos comienza a los 40 minutos de haber iniciado la lluvia siendo el tiempo más crítico a los 50 minutos, con una inundación en los nodos N22, N86 y N207 hasta el final de la lluvia.

Simulación de la variante 2

En este caso la máxima intensidad de lluvia se produce a los 50 minutos de haber comenzado, ubicada en el medio del hietograma.

Los máximos valores de gasto de inundación en los nodos, se producen para esta variante a los 60 minutos de haber comenzado el aguacero, observándose en la figura 5 el comportamiento de la red para ese instante de tiempo. En color azul se resaltan los nodos donde no ocurre inundación y las líneas rojas gruesas señalan las tuberías que están trabajando a sección llena.

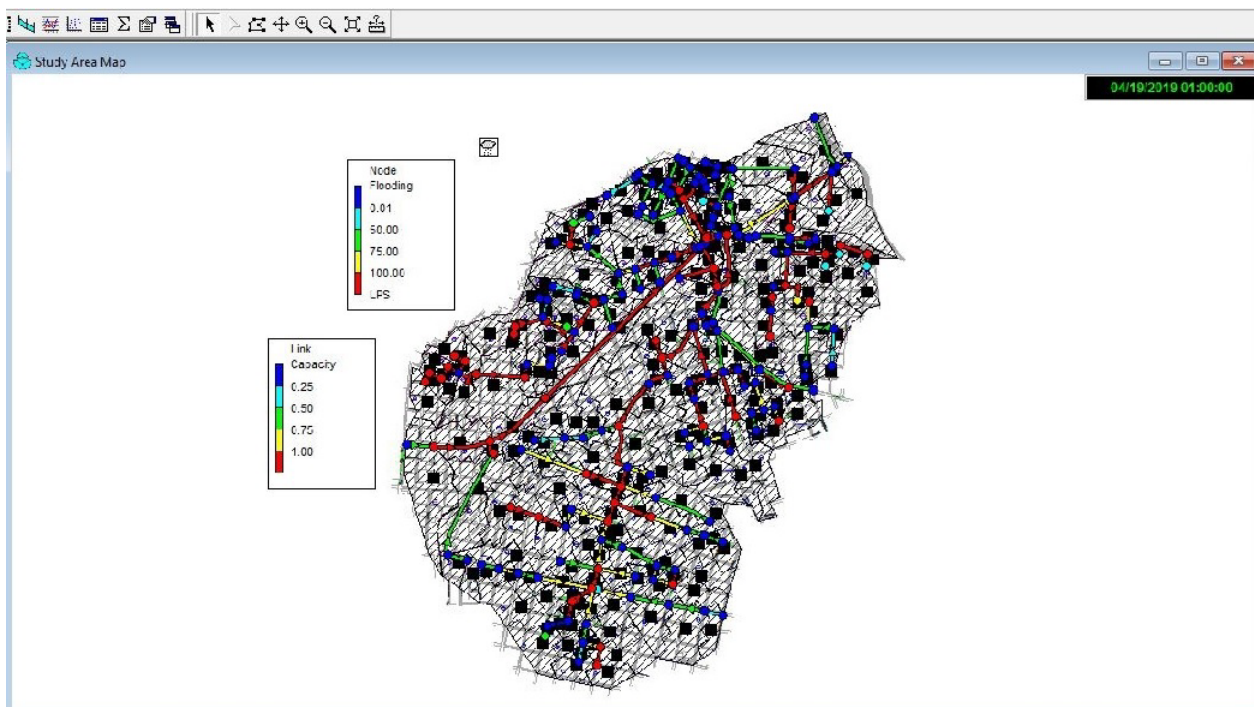


Figura 5. Comportamiento de la red para t=60 minutos, variante 2

Para esta variante la cuenca tiene un total de 61 nodos inundados, 24 corresponden al dren Maboá, 26 corresponden al dren Agua Dulce y 11 corresponden al dren Villa Nueva, con 96 tramos de conductos trabajan a sección llena.

En la figura 6 se muestran los gastos de inundación en los nodos de interés, evidenciando los máximos valores de inundación a los 60 minutos de haber iniciado la lluvia, alcanzando los máximos valores de gasto en los nodos N86 y N207, incrementando su valor respecto a la variante 1.

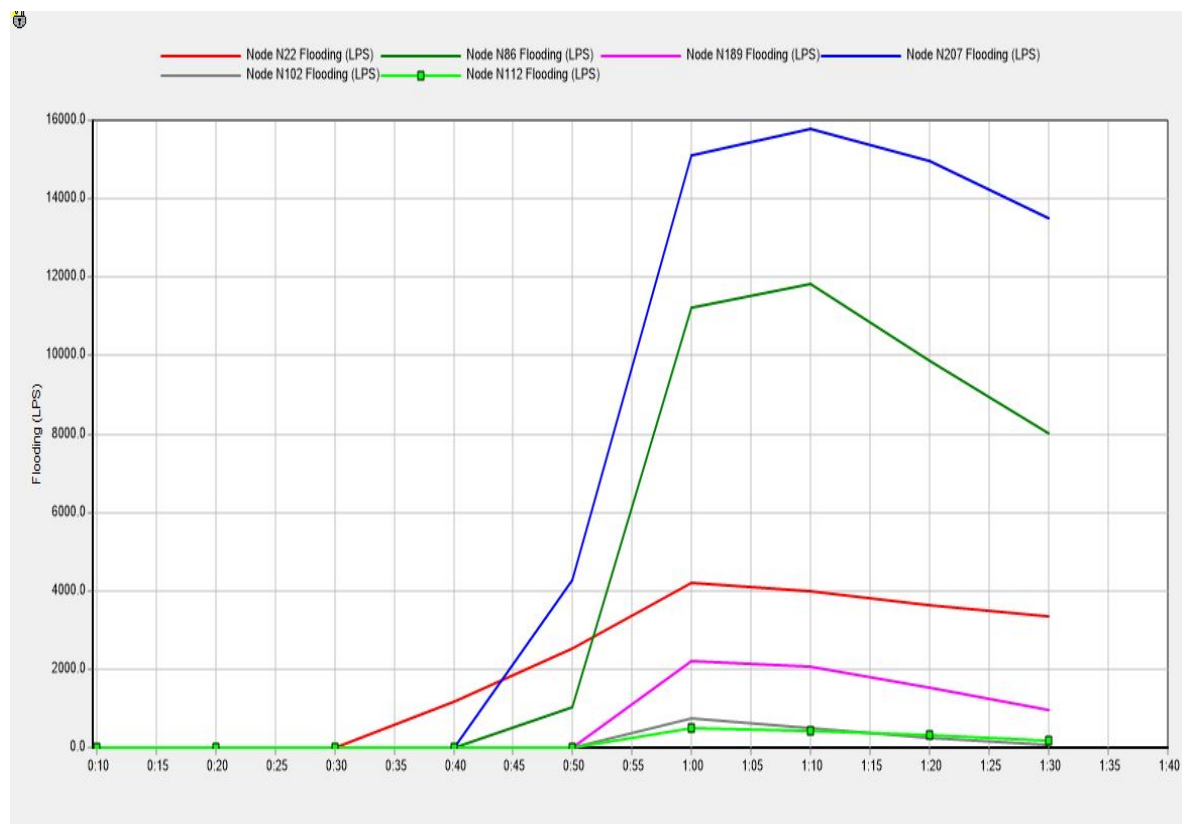


Figura 6. Inundación en los nodos N22, N86, N189, N207, N102, N112, variante 2

A continuación, se expone la tabla 4 con el tiempo de inundación de cada nodo de interés.

Tabla 4. Tiempo de inundación de los nodos representativos, variante 2

Tiempo (minutos)	Nodos					
	N22 (L/s)	N86 (L/s)	N189 (L/s)	N207 (L/s)	N102 (L/s)	N112 (L/s)
0:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0:40	1188,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0:50	2543,45	1037,47	0,00	4271,89	0,00	0,00
1:00	4210,87	11215,55	2203,71	15098,87	750,62	495,27
1:10	3994,06	11819,84	2060,36	15770,55	494,57	428,15
1:20	3648,16	9886,87	1548,72	14979,39	261,78	312,25
1:30	3343,84	8026,36	956,74	13517,61	72,91	175,52

De los resultados presentados para la variante 2 resulta que el nodo más crítico es el N207 ya que es el que posee mayor gasto de inundación en la red y un tiempo de inundación de 50 minutos, igual que los nodos N189, N102, N112 presentan el mismo valor de tiempo, a diferencia que el nodo N22 que tiene un tiempo de inundación de 60 minutos y N86 de 50 minutos.

Simulación de la variante 3

Para esta variante la máxima intensidad de lluvia se ubica a los 2/3 de haber iniciado el aguacero para un tiempo de 60 minutos. La simulación para esta variante arrojó resultados similares a las variantes anteriores, siendo el momento más crítico de la red a los 70 minutos después de haber iniciado el aguacero, tiempo en el que se producen los valores de gasto de inundación en los nodos más considerables. La tendencia es al aumento de los caudales y la reducción del tiempo de inundación, lo cual es de esperar debido al desplazamiento de la lluvia donde su máxima intensidad está ubicada 2/3 al inicio de la lluvia.

La variante 3 tiene un total de 61 nodos inundados, 24 corresponden al dren Maboja, 26 corresponden al dren Agua Dulce, 11 corresponden al dren Villa Nueva, 84 tramos de conductos trabajan a sección llena. La figura 7 describe el gasto de inundación en función del tiempo en los nodos de interés.

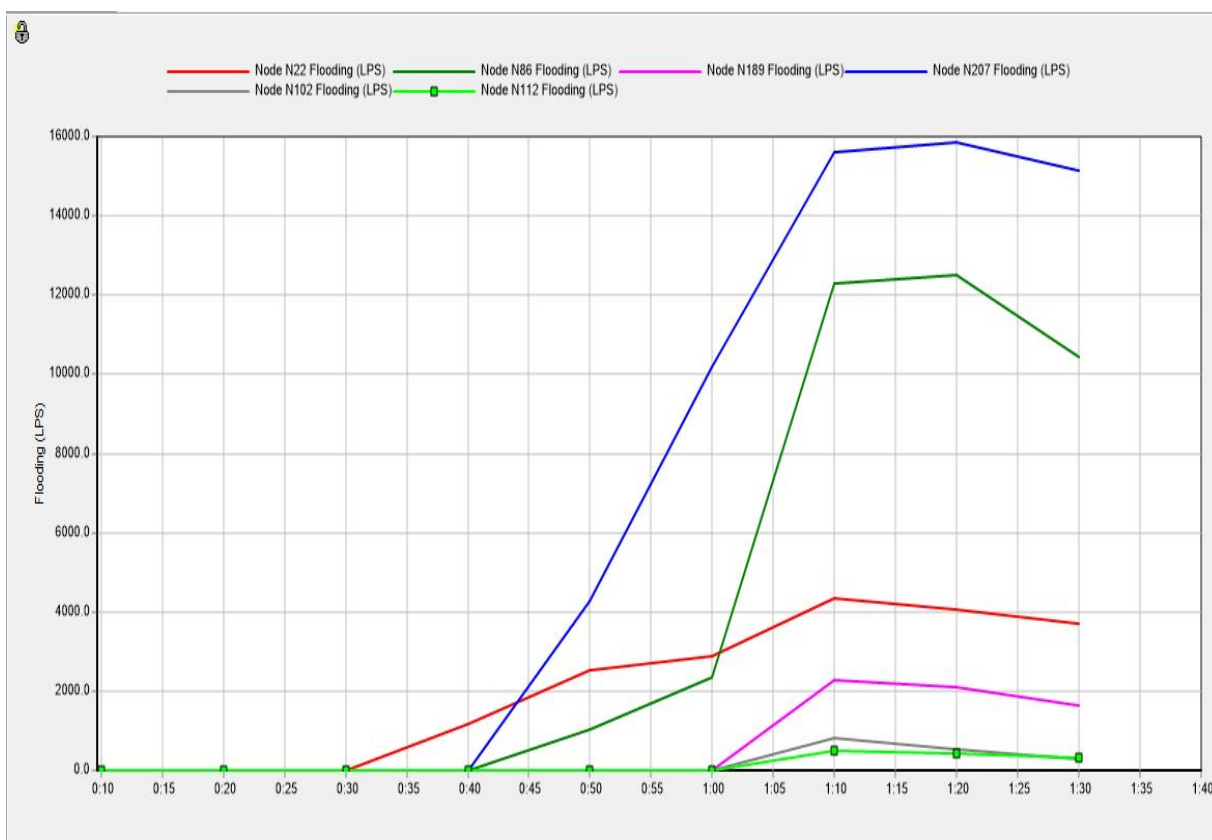


Figura 7. Inundación en los nodos N22, N86, N189, N207, N102, N112, variante 3

La tabla 5 muestra el tiempo de inundación en cada nodo de interés.

Tabla 5. Tiempo de inundación, variante 3

Tiempo (minutos)	Nodos					
	N22 (L/s)	N86 (L/s)	N189 (L/s)	N207 (L/s)	N102 (L/s)	N112 (L/s)
0:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0:40	1188,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0:50	2543,45	1037,47	0,00	4271,89	0,00	0,00
1:00	2878,37	2347,36	0,00	10178,07	0,00	0,00
1:10	4358,26	12291,00	2296,40	15618,37	805,33	510,92
1:20	4074,02	12508,44	2092,38	15867,46	521,31	435,56
1:30	3693,43	10436,85	1628,19	15141,18	277,16	329,32

Para esta variante los nodos N189, N102, N112 tienen un tiempo de inundación de 30 minutos, N86 y N207 de 50 minutos y N22 de 60 minutos.

Propuesta de soluciones para la variante 1

Las propuestas de soluciones en esta variante se basan principalmente en la colocación de depósitos de almacenamiento y aumento de capacidad en los conductos, por lo que, inicialmente en el dren Maboa se planteó la colocación de un depósito de almacenamiento en el área del patio de la escuela primaria Alfredo Miguel Aguajo, localizada en calle Figueroa y Estrada Palma, situada paralela al dren de la calle Figueroa, este toma dimensiones de 85,0 m x 35,0 m, y una profundidad 3,50 m, el embalse sería capaz de almacenar 10 412 m³. Una vez simulada la red en el software SWMM el depósito no es capaz de captar el volumen de agua proveniente aguas arriba, es decir, no soluciona la inundación aguas abajo, por tanto, no cumple con el objetivo para ser colocado y se toma la decisión luego de un análisis de factibilidad, aumentar la capacidad de almacenamiento de los conductos.

La tabla 6 resume la cantidad de tramos de conductos colocados, tipo de sección, dimensión y longitud.

La colocación de estos tramos de conductos se comporta de forma similar en toda la red, ya que una de las premisas cuando se realiza el diseño del sistema de tuberías de drenaje pluvial, es que la capacidad de la red aguas abajo vaya aumentando su volumen de almacenamiento a medida que se van incrementado las áreas de aporte, dicho esto, se colocaron 92 tramos de conductos, de los cuales 69 son tramos de conductos en paralelos y 23 son nuevos tramos que se incorporan a la red, con un total de 11,64 kilómetros de longitud.

También se colocaron 3 depósitos de almacenamiento en áreas de dren Agua Dulce, que tienen como objetivo el almacenamiento de volúmenes de agua que sean considerables para la red, lo cual influye positivamente aguas debajo de su colocación.

Tabla 6. Conductos colocados, variante 1

Conductos			
Tipo	Dimensión	Cantidad de tramos	Longitud (m)
Circulares(m)	1	1	100,35
	1,2	32	3512
Tipo Cajón(m)	1,52 x 2,2	3	516,81
	2 x 2,2	2	236,15
	1,7 x 2,2	1	121,85
	1 x 2	8	1020,68
	2 x 2,75	4	275,7
	3 x 3	15	1180,09
	2,5 x 4	7	950,91
	4 x 5	8	871,83
	2 x 2	4	804,05
	2 x 3	1	1294,45
	1 x 1	1	334,51
	4 x 4	1	93,51
	2,5 x 2,75	2	236
	1,97 x 2,75	2	92

Propuesta de soluciones para la variante 2

Al estar la máxima intensidad de esta variante ubicada en el centro de la duración de la lluvia, la red trabaja para condiciones más desfavorables, y aunque se mantienen las mismas áreas de inundación, el gasto de inundación de los nodos aumenta, dicho esto, se tuvo en cuenta las soluciones propuestas en el escenario anterior para evaluar si era factible resolver las problemáticas con las mismas soluciones, resultando que la capacidad de almacenamiento de la red era menor que el gasto a evacuar, por lo que se decidió aumentar la capacidad de almacenamiento incrementando las dimensiones de los conductos, colocando conductos en paralelo y manteniendo igual que en la variante 1 los depósitos de almacenamiento.

La tabla 7 resume la cantidad de tramos de conductos colocados, tipo de sección, dimensión y longitud.

Se colocó un total de 93 tramos de conductos, dividido en 23 tramos nuevos colocados y 70 tramos en paralelo, con una longitud de 11,4 kilómetros, se aumentó la capacidad de almacenamiento de la red redimensionando algunos conductos incrementando sus dimensiones con respecto al escenario anterior.

Tabla 7. Conductos colocados, variante 2

Conductos			
Tipo	Dimensión	Cantidad de tramos	Longitud (m)
Circulares(m)	0,8778	1	100,35
	1,0458	33	3687
Tipo Cajón(m)	1,52 x 2,2	3	516,81
	2 x 2,2	2	236,15
	1,7 x 2,2	1	121,85
	1 x 2	8	1020,68
	2 x 2,75	4	289,7
	3 x 3	15	1026,32
	2,5 x 4	7	558,83
	4 x 5	8	965,34
	2 x 2	4	821,75
	2 x 3	1	1294,45
	1 x 1	1	334,51
	4 x 4	1	93,51
	2,5 x 2,75	2	236
	1,97 x 2,75	2	92

Propuesta de soluciones para la variante 3

Las soluciones propuestas para esta variante se basan en el mismo principio que las anteriores, aunque en este caso el pico del aguacero está a 2/3 de haber iniciado la lluvia y esta es la variante más desfavorable, se logró darle solución a esta problemática aumentando la capacidad de los conductos y colocando depósitos de almacenamiento. Teniendo como precedente las variantes de solución antes planteadas, se realizó en algunos conductos el redimensionamiento para remediar los problemas de inundación en zonas puntuales.

La tabla 8 resume la cantidad de tramos de conductos colocados, tipo de sección, dimensión y longitud.

Se colocaron un total de 106 tramos, con 23 ramales nuevos en el sistema y 83 en paralelo, con una longitud total de 12,44 kilómetros, se aumentó la capacidad de almacenamiento de la red redimensionando algunos conductos, incrementando sus dimensiones con respecto a los escenarios anteriores.

Tabla 8. Conductos colocados, variante 3

Conductos			
Tipo	Dimensión	Cantidad de tramos	Longitud (m)
Circulares(m)	1	1	100,35
	1,2	35	3626
Tipo Cajón(m)	1,52 x 2,2	3	516,81
	2 x 2,2	2	236,15
	1,7 x 2,2	1	121,85
	1 x 2	8	1020,68
	2 x 2,75	5	289,7
	3 x 3	29	2707,86
	2,5 x 4	8	763,51
	4 x 5	2	91,32
	2 x 2	3	742,68
	2 x 3	2	1472,75
	1 x 1	1	334,51
	4 x 5	2	91,32
	2,5 x 2,75	2	236
	1,97 x 2,75	2	92

CONCLUSIONES

Para todas las variantes de lluvia analizadas, se produce inundación en nodos y flujo a sección llena en los conductos. Con el desplazamiento de la máxima intensidad de la lluvia se produce un incremento en los gastos de inundación, presentándose las condiciones más desfavorables para la variante 3.

La situación presente en la red se produce principalmente por problemas en el diseño de algunos elementos del sistema, situación que se ve agravada por el mal estado de la red y la falta de mantenimiento.

Se propusieron diferentes soluciones ingenieras que resuelven los problemas de inundación y flujo a sección llena de la red de drenaje pluvial de la cuenca.

REFERENCIAS

Chow V, T., Maidment D. R. y Mays L. (1994). "Hidrología Aplicada". McGraw-Hill Interamericana S.A., 584 p. ISBN/ISSN/DL: 978-958-600-171-7. Santafé de Bogotá. Colombia.

de Horta P. (2018). "Simulación numéricas de las redes de alcantarillado y drenaje pluvial de la CUJAE. Soluciones propuestas". Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Hidráulicas. Universidad Tecnológica de La Habana. José Antonio Echeverría (Cujae), La Habana. Cuba.

EPA (2005). "User's Manual, SWMM 5.0." E. Environmental Protection Agency. USA.

García J., De Paiva E., Brites A., De Paiva R (2004). "Evaluación de la discretización en una cuenca urbana a través del modelo SWMM". XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, ISBN 987-99083-4-1, Sao Pablo, Brasil, IARH,

Gómez M. (2009). “Comportamiento hidráulico de las calles durante lluvias extremas en zonas urbanas”. Ingeniería hidráulica en México, ISSN: 0186-4076. Vol 14, No 3 pp. 51-62, México.

Sanchez L. (2012). “Modelación integrada de sistemas de drenaje pluvial urbano en zonas predominantemente llanas”. Tesis doctoral. Centro de Investigaciones Hidráulicas. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae). La Habana, Cuba.

Sañudo E., Cea L., Puertas J., (2020). “Modelling Pluvial Flooding in Urban Areas Coupling the Model Iber and SWMM”. Water, 12(9), 2647. DOI: 10.3390/w12092647. EISSN 2073-4441, published by MDPI.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Patricia de Horta Brito <https://orcid.org/0000-0001-6502-8205>

Realizó contribuciones en la interpretación de los datos. Participó en el diseño de la investigación, análisis de los resultados y en la revisión y redacción del informe final.

Luis Manuel Pino Plans <https://orcid.org/0000-0003-0257-9514>

Trabajó en el procesamiento de los datos haciendo contribuciones en su análisis e interpretación. Participó en la búsqueda de información y en la redacción final.