



RELEVAMIENTO INUNDACIÓN 17 DE ENERO DE 2022 EN LA CIUDAD DE MONTEVIDEO

Ernesto Cedrez*

CSI Ingenieros

Pablo Guido

IM - SEPS

Santiago Urrestarazu

CSI Ingenieros

TEMA: Tema 4



Soriano 1180, Montevideo, Uruguay. CP: 11100. Tel: 29021066. E-mail: ecedrez@csi-ing.com

RESUMEN

A raíz del evento de precipitación ocurrido el 17-01-2022 en la ciudad de Montevideo, el cual presentó una intensidad de precipitación muy elevada y fuera de lo común, se desarrolló el estudio “Relevamiento y modelación de tormenta 17-01-2022”, realizado por CSI Ingenieros para la Intendencia de Montevideo (IM) y financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). El estudio constó de dos etapas principales. En primer lugar, se realizó el relevamiento y mapeo de información en 80 puntos representativos de las zonas más afectadas de Montevideo, obteniendo así las cotas máximas de inundación alcanzadas durante el evento. En segundo lugar, se realizó la modelación de la tormenta en el software Infoworks ICM, donde la esquematización de la red de drenaje y saneamiento de Montevideo fue desarrollada durante el Plan Director de Saneamiento y Drenaje de Montevideo (PDSUM) finalizado en el año 2019. A partir de la comparativa en algunos puntos de control entre los valores máximos observados en campo y los calculados en la modelación, se calibraron los principales parámetros hidrológicos del modelo.

Palabras Clave: Análisis, Inundación, Modelación, Precipitación, Relevamiento.

INTRODUCCIÓN

El día 17 de enero de 2022 se produjo un evento de precipitación en el área metropolitana de Montevideo que superó la capacidad instalada del sistema de drenaje pluvial en varias zonas de Montevideo, generando inundaciones excepcionales con importante afectación en el espacio público y privado. Si bien se cuenta con información local de las lluvias y relevamientos parciales de las zonas inundadas, no se cuenta con un mapeo general de la afectación con los niveles alcanzados. Es debido a esto que surge la iniciativa de este estudio, y aprovechando la oportunidad que genera la información recabada, se suma al estudio la calibración del modelo hidrodinámico de la ciudad de Montevideo desarrollado en el PDSUM

RELEVAMIENTO DE NIVELES DE INUNDACIÓN ALCANZADOS

A partir del registro de afectaciones durante el evento en análisis con que cuenta la IM y con apoyo del modelo hidrodinámico de las redes y cursos de agua de Montevideo, se identificaron 80 puntos representativos de las zonas afectadas.

25 al 27 de octubre de 2022

Cámara Mercantil de productos del país

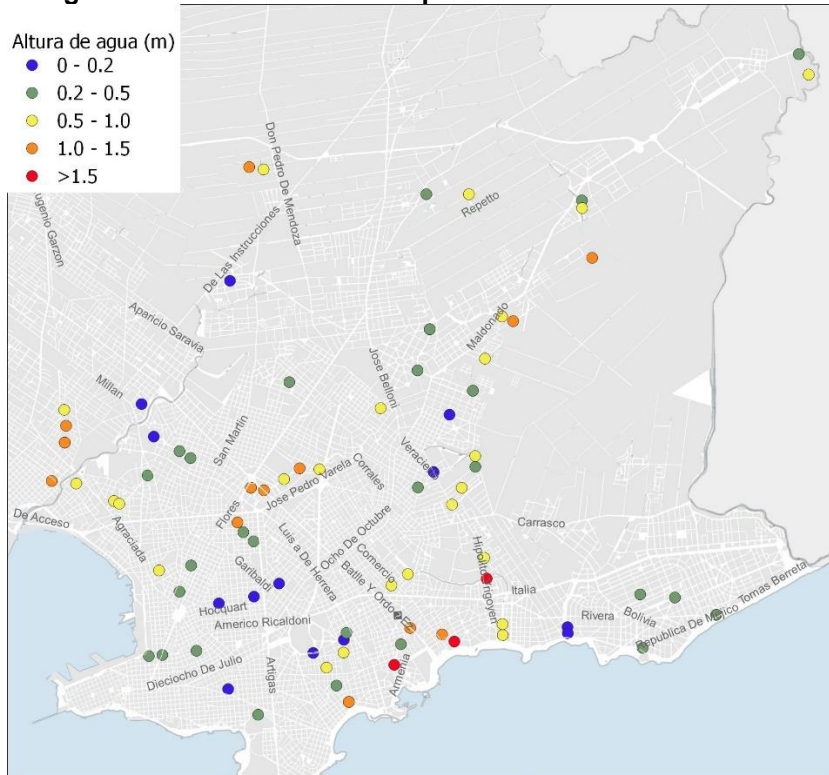
Con los puntos definidos se realizó una inspección y relevamiento en campo con vecinos de cada zona para definir los niveles de agua alcanzados en la tormenta del 17 de enero de 2022. A cada vecino consultado se le preguntó acerca del nivel máximo de inundación.

En una segunda instancia se realizó un relevamiento topográfico, buscando obtener la cota de terreno de las medidas obtenidas en la instancia anterior. Topográficamente por cada vivienda relevada se tomaron dos medidas: La primera, asociada a la altura de agua alcanzada durante el evento de estudio y la segunda, al eje de calle ubicado en frente a la primer medida.

La información obtenida fue procesada y se elaboró un shp de puntos con las viviendas relevadas y su información.

Al obtener información de varios vecinos por cada punto relevado, se tienen varias medidas de inundación para cada punto. Se realizó un promedio de las medidas de forma de poder vincular a cada uno de los puntos con una sola medida.

Figura 1 - Identificación de 80 puntos de las zonas afectadas



Para realizar el promedio se tomaron todas las medidas de las distintas viviendas contemplando su nivel de confianza (variable otorgada según la seguridad del dato obtenido), eliminando aquellas medidas donde se consideraba que no se había registrado el máximo nivel de altura alcanzado.

RECOPIACIÓN Y REVISIÓN DE INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

Para poder simular el evento analizado se recopiló y procesó la información pluviométrica registrada durante este evento. Se obtuvieron los datos pluviométricos del evento a partir de la Red Hidrometeorológica



XI Congreso Nacional de AIDIS

Cambios, desafíos y soluciones:

El rol de la Ingeniería Ambiental en el desarrollo sostenible

25 al 27 de octubre de 2022

Cámara Mercantil de productos del país

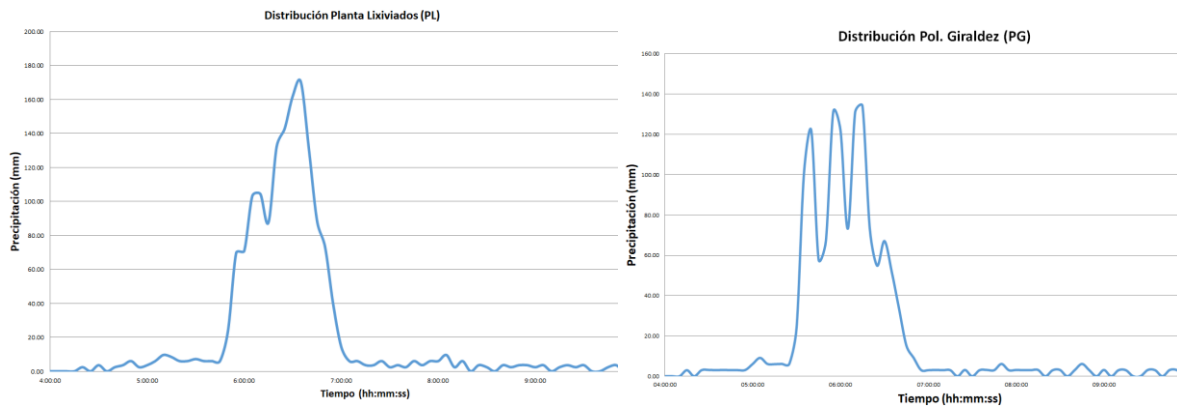


de Montevideo (RHM). De la totalidad de las estaciones de medición se recopilieron datos de precipitación acumulada en 13 de ellos. A continuación, se presenta el listado de Estaciones Pluviométricas y la lluvia acumulada.

Tabla 1 Datos pluviométricos de la tormenta del 17 de enero de 2022

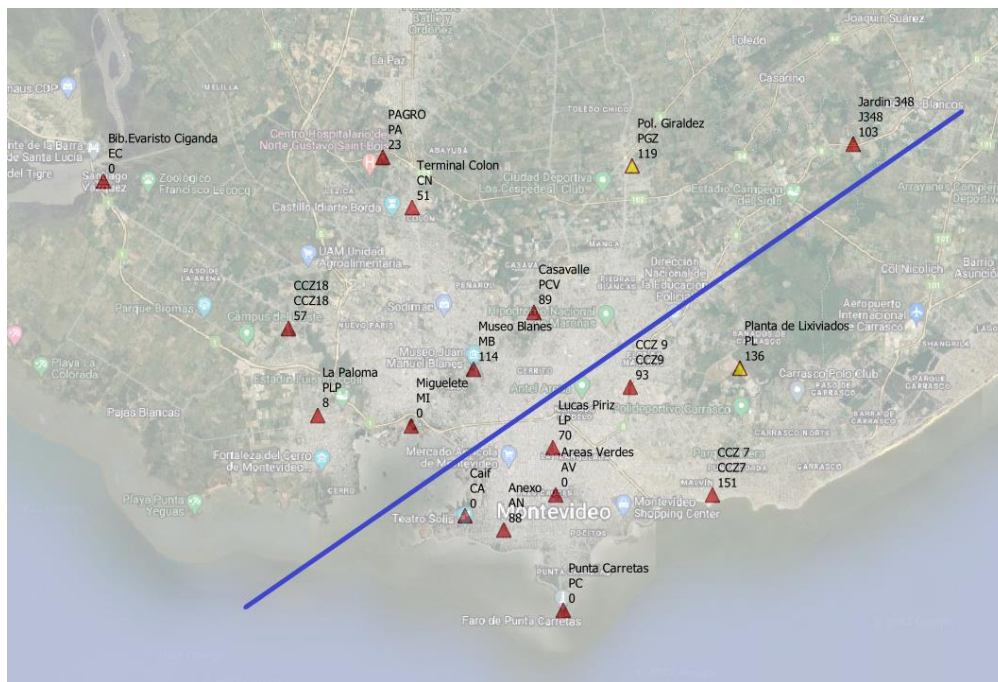
Estación Pluviométrica	ID	Dirección	Precipitación acumulada (mm)
Anexo	AN	Soriano y Santiago de Chile	88
Áreas Verdes	AV	Prof. Dr. Julio A. Bauzá 2363	0
Caif	CA	Ciudadela y Cerro Largo	0
CCZ18	CCZ18	Camino Cibils 6302	57
CCZ 7	CCZ7	Aconcagua 5062 esq. Michigan	151
CCZ 9	CCZ9	8 de Octubre y Marcos Sastre	93
Colón	CN	Centro Cívico Metropolitano	51
Evaristo Ciganda	EC	Biblioteca Municipal Santiago Vázquez	0
Jardín 348	J348	Ruta 8 esq. Los Mirtos	103
Lucas Piriz	LP	Lucas Piriz 2357	70
Blanes	MB	Avenida Millán 4015	114
Miguelete	MI	Rambla Baltasar Brum	0
PAGRO	PA	Camino Hilario Cabrera	23
Punta Carretas	PC	Rambla Wilson y M. J. Errazquin	0
Casavalle	PCV	Camino Gral. Leandro Gómez	89
Pol. Giraldez	PGZ	Faro 6294	119
Lixiviados 1 y 2	PL	Usina de Residuos F. Cardozo	136
La Paloma	PLP	Cno. De Las Tropas 4556	8

Por otra parte, debido a problemas técnicos durante el evento, solo se registró la distribución temporal completa en 2 estaciones: Planta de Lixiviados (PL) y en Policlínica Giraldez (PG).



Para los pluviómetros en los que únicamente se cuenta con un acumulado de lluvia, el perfil de tormenta se obtuvo mediante interpolación de los pluviómetros que si registraron datos. Dada la ubicación de los pluviómetros y que la tormenta se desplazó de noroeste a sureste, se agrupó los pluviómetros en dos, y se les asignó un perfil de lluvia (perfil PGZ para el grupo noroeste y perfil PL para el sureste).

Figura 2 Agrupación de pluviómetros según su ubicación



Una vez determinados los perfiles de lluvia para los 13 pluviómetros, mediante el método de Thiessen se le asignó a cada cuenca un pluviómetro. Posteriormente, en los modelos Infoworks se asignó a cada cuenca el perfil de lluvia correspondiente.

RECOPIACIÓN DE NIVELES DE MAREA

Para determinar el nivel de marea del Río de la Plata, se utilizaron los datos registrados por dos de las estaciones mareográficas de la ANP, ubicadas en Isla de Flores y en la Bahía de Montevideo. Para ambas



estaciones se tomó el nivel registrado cada 4 horas a partir de gráficos en la fecha del evento, y a partir del promedio de estos valores se determinó la condición de borde a utilizar en el modelo.

Simulación y calibración del modelo hidrodinámico

En el marco del Plan Director de Saneamiento y Drenaje de Montevideo (PDSUM) finalizado en el año 2019 se desarrolló un modelo de cuenca para la ciudad de Montevideo implementado en el software Info-works ICM, en el que se representa el tránsito de escorrentía por conductos, cales y cauces. Para la transformación de precipitación en escorrentía el modelo utiliza el método de Wallingford de doble embalse, donde los principales parámetros hidrológicos (utilizados en este trabajo para la calibración) son, para superficies impermeables el coeficiente de escorrentía (C) y el valor de tránsito de escorrentía (RRV), y para superficies permeables la retención máxima potencial (S del NRCS) y el RRV. El doble embalse representa el almacenamiento y retención que se da dentro de las cuencas debido a conductos existentes no representados en el modelo, y el coeficiente RRV regula el funcionamiento de los mismos afectando la velocidad de escurrimiento del caudal generado dentro de cada cuenca.

A partir de los relevamientos efectuados y de la esquematización de modelo, se escogieron puntos de control donde se consideró que cualitativamente el resultado del modelo debería representar correctamente el relevamiento realizado. Como resultado se obtuvieron 30 puntos de control en los cuales comparar el nivel máximo de agua alcanzado en la simulación con el valor relevado.

Para la evaluación de los resultados obtenidos del modelo, se optó por el error cuadrático medio.

$$ECM = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (O^n - P^n)^2$$

donde:

- O es el valor máximo observado en campo
- P es el valor máximo calculado

Figura 3 Ubicación de los puntos de control



Con los parámetros originales del PDSUM, se realizó una primer simulación la cual se tomó como escenario 0.

A partir de los resultados obtenidos, se fueron realizando algunos ajustes a la esquematización del modelo, como por ejemplo incorporación de alivios, incorporación de calles, mejoras localizadas en la representación de captaciones superficiales, anchos de faja de calzada, etc.

Una vez realizados los ajustes de esquematización identificados, se procedió a realizar la calibración de los parámetros hidrológicos del modelo. El objetivo consistió en encontrar la mejor combinación de los mismos de forma de minimizar la diferencia entre los niveles observados (relevamiento) y los calculados (resultado del modelo).

Cada cuenca está clasificada en Urbana, Sub-urbana o Rural. Cada una de ellas está compuesta por 3 tipos de superficies de escorrentía, correspondientes a calles y veredas, superficie edificada (techos) y espacios verdes. A su vez, cada superficie de escorrentía tiene un valor de RRV asociado. A continuación, se muestran los parámetros hidrológicos del escenario inicial:

Figura 4 Parámetros hidrológicos iniciales

Cuenca	Superficie escorrentía	Coefficiente de Escorrentía (C)	Valor del Tránsito de Escorrentía (RRV)
Urbana	Calles y Veredas	0.90	0.15
Urbana	Espacios Verdes	$S=0.064m$	5.00
Urbana	Superficie Edificada	0.80	0.30
Sub-urbana	Calles y Veredas	0.65	0.15



25 al 27 de octubre de 2022

Cámara Mercantil de productos del país

Cuenca	Superficie escorrentía	Coefficiente de Escorrentía (C)	Valor del Tránsito de Escorrentía (RRV)
Sub-urbana	Espacios Verdes	S=0.070m	10.00
Sub-urbana	Superficie Edificada	0.60	0.30
Rural	Calles y Veredas	0.35	0.15
Rural	Espacios Verdes	S=0.085m	15.00
Rural	Superficie Edificada	0.30	0.30

*Para espacios verdes el S representa la retención máxima potencial y esta expresada en metros

Luego de numerosas simulaciones la combinación de parámetros hidrológicos que obtuvieron mejores resultados fue la siguiente:

Figura 5 Parámetros hidrológicos calibrados

Cuenca	Superficie escorrentía	Coefficiente de Escorrentía (C)	Valor del Tránsito de Escorrentía (RRV)
Urbana	Calles y Veredas	0.89	0.90
Urbana	Espacios Verdes	S=0.056m	5.00
Urbana	Superficie Edificada	0.75	1.30
Sub-urbana	Calles y Veredas	0.89	0.90
Sub-urbana	Espacios Verdes	S=0.056m	5.00
Sub-urbana	Superficie Edificada	0.75	1.30
Rural	Calles y Veredas	0.65	1.80
Rural	Espacios Verdes	S=0.085m	15.00
Rural	Superficie Edificada	0.72	2.60

A continuación, se muestra la variación obtenida en el **ECM** con los nuevos parámetros hidrológicos.

Figura 6 Comparación error cuadrático medio

	Escenario 0	Escenario Calibrado
ECM	0.228	0.089

Cabe señalar que la mayoría de los puntos de control se encuentran alejados de los pluviómetros con los que se cuenta la información completa del perfil de precipitación, por lo que los errores persistentes pueden deberse a diferencias entre la precipitación real y el perfil de precipitación asumido para ciertos pluviómetros.



XI Congreso Nacional de AIDIS

Cambios, desafíos y soluciones:

El rol de la Ingeniería Ambiental en el desarrollo sostenible

25 al 27 de octubre de 2022

Cámara Mercantil de productos del país



Gran parte de la mejora obtenida en el error cuadrático medio se debe a las mejoras de esquematización. Si evaluamos los resultados que arroja el modelo con las mejoras de esquematización y los valores de parámetros hidrológicos iniciales, el **ECM** obtenido es **0.106**.

Otro punto a tener en cuenta es que algunos de los puntos en los que el modelo arroja un nivel de agua considerablemente menor que el relevado son puntos bajos relativos, y el alto nivel de agua alcanzado durante la tormenta (según el relevamiento realizado) pudo deberse a obstrucciones en las bocas de tormenta que redujeron la capacidad de captación de las mismas. Esta situación puede presentarse en 4 de los 30 puntos de control

Figura 7 ECM sin puntos con posibles captaciones obstruidas

	Escenario 0	Escenario 0 con ajustes de esquematización	Escenario Calibrado
ECM	0.206	0.093	0.068

CONCLUSIONES

Previo a futuros trabajos de calibración del modelo, presenta vital importancia realizar trabajos de mejoras de esquematización para tener un modelo que represente lo mejor posible la realidad del sistema de drenajes de la ciudad.

La calibración a partir de relevamientos de información suministrada por vecinos puede generar incertidumbre en algunos puntos en los que vecinos cercanos recuerden niveles con diferencias importantes induciendo a desviaciones no deseadas en la calibración.

Las posibles captaciones superficiales obstruidas son otro punto que puede generar desviaciones, ya que es imposible conocer el estado de funcionamiento real de las captaciones al momento del evento a calibrar. Tener datos de mediciones de caudal seguramente permitiría una mejora significativa en lo que refiere a la calibración, ya que permitiría apuntar a 2 objetivos: caudal generado y velocidad de escurrimiento.