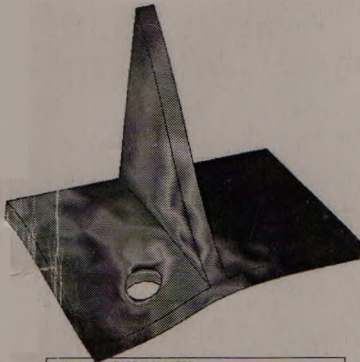


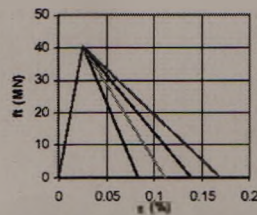
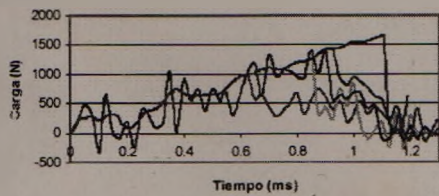
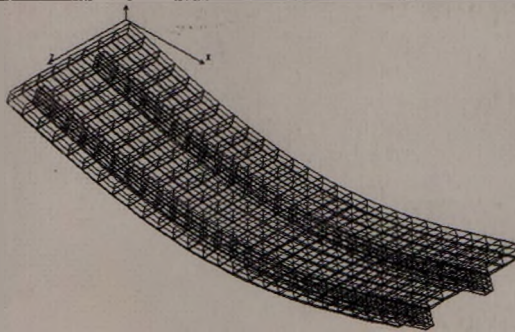


Universidad Nacional del Nordeste
Facultad de Ingeniería
U.N.N.E. – Resistencia - Chaco
10 al 12 de Noviembre de 2004



Contour Plot of NODAL V. MISES
Deformation (MID): DISPLACEMENT of LOAD ANALYSIS, step 1.

**2^{DA} JORNADA
DE
COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA
PARA
INGENIERÍA
2004**



— Cf = 2160 N/m — Cf = 3240 N/m — Cf = 5400 N/m
— Cf = 4250 N/m (DF) — Ens. Laboratorio

— Cf = 2160 — Cf = 3240
— Cf = 5400 — Cf = 4250

Modelación matemática del drenaje pluvial de las subcuencas Wilde – Pueyrredon y Hernandarias con empleo del programa HEC-1. Determinación de manchas de inundación

BRAVO, Juan M. – BIANUCCI, Sandra P. – PILAR, Jorge V. – DEPETTRIS, Carlos A.

Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, UNNE. Avda. Las Heras 727. Resistencia (H3500CO1), Chaco, Argentina. Tel.: (03722) 425064 – Int. 142.

jumarbra@yahoo.com.ar - paola@ing.unne.edu.ar - jpilar@ing.unne.edu.ar - cdepettris@ing.unne.edu.ar

ANTECEDENTES

La ciudad de Resistencia sufre situaciones de anegamiento provocadas por precipitaciones de cierta intensidad y agravadas por la falta de una red de drenaje pluvial adecuada a las situaciones actuales de desarrollo y crecimiento poblacional, tanto en su capacidad de conducción como también en la falta de mantenimiento continuo.

El empleo de programas computacionales en la modelación y simulación matemática de procesos hidrológicos representa una de las herramientas más utilizadas en la evaluación de los sistemas y predicción de las consecuencias de los eventos hidrológicos.

La aplicabilidad del programa HEC-1 (desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos) en ambientes urbanos con las características de esta ciudad fue demostrada por Bravo & Pilar, 2003, quienes lo utilizaron en la modelación de la cuenca de aporte a la laguna de villa Los Lirios.

El presente trabajo representa una extensión del anterior trabajo a dos subcuencas vecinas a la cuenca de aporte de la laguna de villa Los Lirios, con las cuales se completa la modelación matemática del drenaje pluvial de la zona céntrica de la ciudad.

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La ciudad de Resistencia se sitúa en el sureste de la provincia del Chaco en la intersección de los valles de los ríos Negro y Paraná, con una población aproximada de 300.000 habitantes y una superficie de 202 km² [Pérez. 2001]. La precipitación media anual es de 1415mm (serie 1985-1994), la frecuencia media anual de días con precipitaciones es de 79 (serie 1955-1992). [APA-AFIN. 2001]. El macrodrenaje de la ciudad de Resistencia se divide en dos zonas: el Sistema Norte (SN) y el Sistema Sur (SS). El límite entre ambos sectores está constituido por las vías del ex FFCC General

Belgrano. Desde ésta hacia la Av. Soberanía Nacional – Av. Malvinas Argentinas se extiende el SS, y hacia el Río Negro, el SN.

El área analizada es parte del SN y corresponde a las subcuencas Wilde – Pueyrredon y Hernandarias, pertenecientes a la cuenca de aporte a la laguna Ávalos. Estas subcuencas abarcan sectores céntricos de la ciudad y sus límites aproximados son: Av. Avalos–Hernandarias (NO), Av. Lavalle (NE), Av. Sarmiento - Alberdi (SE), y Av. Moreno (SO). En la figura 1 se presenta el área de estudio.



Figura 1 Área de estudio

DEFINICIÓN DE LAS MICROCUENCAS

Se adoptó una discretización a nivel de microcuencas (figura 2), entendiendo como tales las áreas de aporte a cada sumidero o grupo de ellos cuando éstos se encontraban muy próximos entre sí.

La subcuenca Wilde – Pueyrredon funciona con una red de conductos con escurrimiento por gravedad que desaguan a la laguna Ávalos a través de un conducto único.

La subcuenca Hernandarias funciona también con una red de conductos con escurrimientos por gravedad que desaguan a la laguna Ávalos.

Para la definición de las microcuencas fue necesario conocer el sentido del escurrimiento por cuadra y la dirección del escurrimiento en los cruces de calles.

El sentido del escurrimiento en cada cuadra se definió utilizando el relevamiento topográfico realizado por la empresa privada HYTSA y, para conocer la dirección de escurrimiento en los badenes, se realizó un relevamiento de la cuenca al efecto. También se relevó el estado actual de los sistemas de sumideros y sus dimensiones.

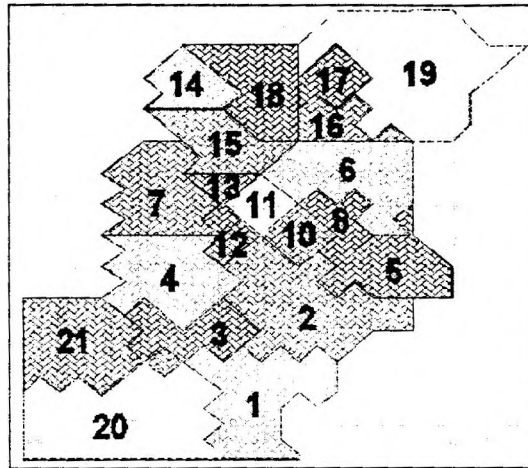


Figura 2 Microcuencas definidas

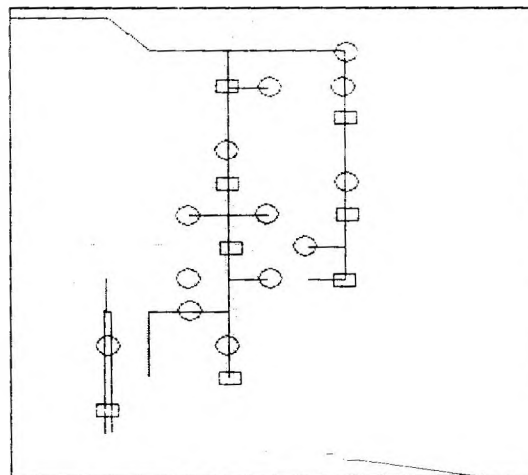


Figura 3 Red de drenaje pluvial existente

RED DE DRENAJE PLUVIAL EXISTENTE

Se consultó el Departamento de ingeniería de la Municipalidad de Resistencia, donde se tuvo acceso al plano de drenaje pluvial de la ciudad, en el cual están indicadas las trazas y dimensiones de los conductos, como también la ubicación de los sistemas de sumideros, lo cual fue corroborado a través del relevamiento de campo.

En la figura 3 se indican las trazas de los conductos y la ubicación de los sistemas de sumideros existentes. Los círculos representan, además, los puntos más bajos de la microcuencas. Fue indicado en dicha figura con rectángulos los sumideros “de paso”, definidos como aquellos ubicados en la intersección de calles donde no ~~se~~ pendiente positiva hacia el mismo.

MODELACION HIDROLÓGICA

El modelo hidrológico utilizado fue el concebido por Bravo & Pilar, 2003, el cual considera que, producido un evento de precipitación y luego de descontadas las pérdidas, el agua escurrirá hacia los sectores más bajos de las microcuencas, donde se encuentra el sistema de sumideros, formando lagos en dichos sectores. La superficie que se inundaría está formada por las bocacalles en las que se encuentran los sumideros, además de las calles que concurren a estas bocacalles. Desde allí ingresará a la red de conductos del microdrenaje y se propagará hacia los reservorios naturales, o sea las lagunas.

El programa computacional empleado fue el HEC-1 desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del ejército de los Estados Unidos.

Para la definición de los eventos críticos se utilizaron las curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) de la ciudad de Resistencia, adoptadas oficialmente por la Administración Provincial del Agua del Chaco (APA) y proporcionadas por el departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería (U.N.N.E). Se adoptó una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca que aporta a la laguna Ávalos, que es de alrededor de 3 horas, y se generaron tormentas de 2, 5, 10, 25 y 50 años de tiempo de recurrencia.

Para la obtención de los hietogramas de diseño correspondientes a cada tiempo de recurrencia se empleó el método de los bloques alternos [Chow, Maidment & Mays, 1994]. La discretización temporal adoptada fue 15 minutos y se consideró que la intensidad pico se produce al término de la primera hora.

Para la determinación de la tasa de pérdida y del hidrograma de escurrimiento directo se empleó el método del Servicio de Conservación de Suelos de E.E.U.U. (S.C.S.) o también conocido como método de la Curva Número [Chow, Maidment & Mays, 1994]. Para el cálculo de la tasa de pérdidas el programa requiere de dos parámetros: el CN del área no directamente conectada a la red y el porcentaje de área impermeable directamente conectada. Luego de la calibración, los valores adoptados para estos parámetros fueron: CN = 60 y 50% el porcentaje de área impermeable directamente conectada.

Para determinar el hidrograma de escurrimiento directo se utilizó el método del Hidrograma Unitario sintético del S.C.S., cuyo parámetro, el tiempo de retardo Tlag, se

suele estimar como igual al 60 % del tiempo de concentración [Tucci et al., 1995]. Para el cálculo de este último se empleó la fórmula de Kirpich, que si bien se desarrolló para cuencas rurales menores a 50 ha. también puede ser utilizada con ciertos cuidados en cuencas urbanas y, en este caso, arrojó valores razonables.

En la modelación realizada el tránsito de la escorrentía a través de los lagos que se forman en los puntos más bajos se hizo aplicando el método de Pulz, también conocido como “piscina nivelada”.

~~Para el diseño del modelo hidrológico, según el esquema de modelación adoptado, se estableció que los lagos se forman en los sectores más bajos de las microcuencas.~~

La topografía extremadamente plana de la cuenca en análisis provoca que las distintas microcuencas presenten transfluencias. Entonces, el agua que llega a una microcuenca y no es retenida puede ser evacuada mediante dos caminos. El primero es alcanzando el conducto de desagüe a través de los sumideros. El otro modo es mediante transfluencia a una microcuenca vecina.

Las transfluencias pueden ser niveladas o no niveladas. Las transfluencias niveladas son aquellas en que los niveles alcanzados por las aguas en los lagos involucrados son los mismos en el momento de máximo almacenamiento. En las transfluencias no niveladas los niveles no alcanzan a igualarse en dicho instante, existiendo lagos que provocan la transfluencia (alcanzan la mayor cota en el nivel de agua) y otros que la reciben. [Bravo & Pilar, 2003(1)].

En la modelación se siguió la metodología descrita por Bravo & Pilar, 2003, utilizando primero modelos reducidos, que permiten conocer el caso de transfluencia existente entre las microcuencas involucradas, los que luego son incorporados al modelo general de las subcuencas.

El esquema de modelación siguió la trayectoria de los conductos de las subcuencas Wilde y Pueyrredon, en sentido SO-NE, desde la cabecera de los conductos principales hasta su desembocadura en la laguna Ávalos.

RESULTADOS

En las tablas 1 y 2 se adjuntan las cotas de pico alcanzadas en los diferentes lagos y el correspondiente tirante de pico para cada uno de los eventos simulados.

Tabla 1. Picos de almacenamiento en los lagos en función del evento analizado.

TR	Cota de Pico (m IGM)										
	Lago 1	Lago 2	Lago 3	Lago 4	Lago 5	Lago 6	Lago 7	Lago 8	Lago 10	Lago 11	
2	49.05	49.05	49.05	49.05	49.38	48.9	48.94	48.96	49.05	48.99	
5	49.08	49.08	49.08	49.08	49.41	48.9	49.01	48.97	49.08	49.03	
10	49.09	49.09	49.09	49.09	49.43	48.92	49.09	48.92	49.09	49.04	
25	49.12	49.12	49.12	49.12	49.44	48.97	49.12	48.97	49.12	49.06	
50	49.15	49.15	49.15	49.15	49.49	49.01	49.15	49.01	49.15	49.08	

TR	Cota de Pico (m IGM)										
	Lago 12	Lago 13	Lago 14	Lago 15	Lago 16	Lago 17	Lago 18	Lago 19	Lago 20	Lago 21	
2	49.09	48.87	48.61	48.61	48.72	48.72	48.48	48.72	49.15	49.15	
5	49.1	48.88	48.63	48.7	48.9	48.9	48.56	48.9	49.17	49.17	
10	49.11	48.89	48.7	48.7	48.92	48.92	48.7	48.92	49.19	49.19	
25	49.12	48.9	48.81	48.81	48.97	48.97	48.81	48.97	49.21	49.21	
50	49.12	48.9	48.9	48.9	49.01	49.01	48.9	49.01	49.22	49.22	

Tabla 2. Tirantes de agua máximos en los lagos.

TR	Tirante de agua alcanzado (m)*										
	Lago 1	Lago 2	Lago 3	Lago 4	Lago 5	Lago 6	Lago 7	Lago 8	Lago 10	Lago 11	
2	0.1	0.38	0.26	0.22	0.01	0.24	0.13	0.05	0.17	0.42	
5	0.13	0.41	0.29	0.25	0.04	0.24	0.2	0.06	0.2	0.46	
10	0.14	0.42	0.3	0.26	0.06	0.26	0.28	0.01	0.21	0.47	
25	0.17	0.45	0.33	0.29	0.07	0.31	0.31	0.06	0.24	0.49	
50	0.2	0.48	0.36	0.32	0.12	0.35	0.34	0.1	0.27	0.51	

TR	Tirante de agua alcanzado (m)*										
	Lago 12	Lago 13	Lago 14	Lago 15	Lago 16	Lago 17	Lago 18	Lago 19	Lago 20	Lago 21	
2	-0.05	0.03	0.01	0.02	0.1	0.34	0.13	0.18	0.25	0.43	
5	-0.04	0.04	0.03	0.11	0.28	0.52	0.21	0.36	0.27	0.45	
10	-0.03	0.05	0.1	0.11	0.3	0.54	0.35	0.38	0.29	0.47	
25	-0.02	0.06	0.21	0.22	0.35	0.59	0.46	0.43	0.31	0.49	
50	-0.02	0.06	0.3	0.31	0.39	0.63	0.55	0.47	0.32	0.5	

* Referida a la cota del eje de calzada en punto más bajo de la microcuenca

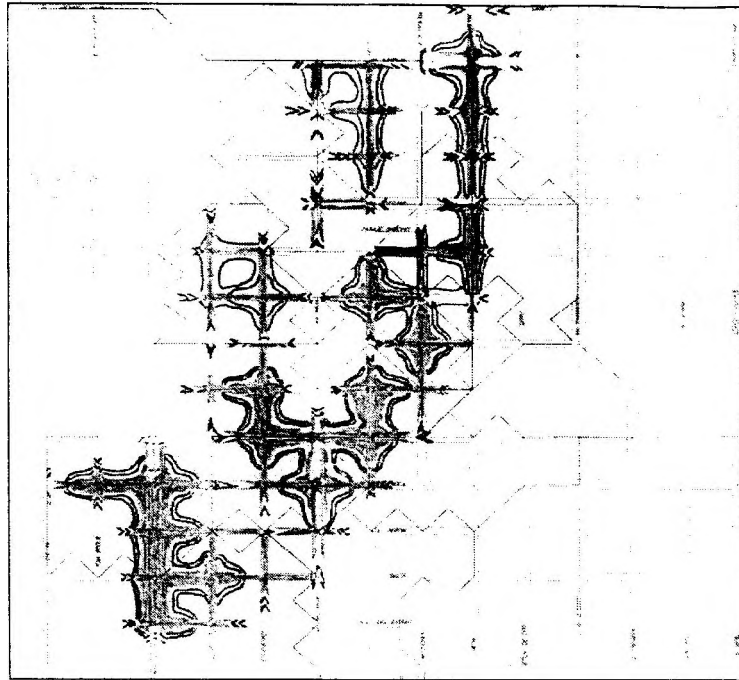


Figura 4 Manchas de inundación

DISCUSIÓN DE DATOS Y RESULTADOS

Las ciudades deben tener un sistema de drenaje pluvial capaz de atender eventos de precipitación de cierta magnitud. Al analizar las manchas de inundación estimadas, una superficie significativa de la zona en estudio se mostró anegada para eventos con tiempo de recurrencia de 2 años.

El modelo diseñado no consiguió, en algunas microcuencas, reflejar los periodos de tiempo con anegamientos. Estos resultaron, por ejemplo, menores a los que se verifican en la realidad para las subcuencas Wilde y Pueyrredón (no así en la subcuenca Hernandarias)

En general, las curvas de evolución de la altura de lámina en cada microcuenca aparecieron más pronunciadas (mayor pendiente) al comienzo, entre los puntos correspondientes a TR 2 y 5 años, y con una menor pendiente a partir del evento de 10 años. Esto es atribuible a la escasa pendiente existente en la zona, que provoca que los lagos tengan un gran incremento en el área inundada para pequeños incrementos de cota a partir del momento que comienzan a sufrir grandes incrementos de volúmenes.

En los lagos formados en sumideros "de paso" se alcanzó el máximo almacenamiento cuando se dio la máxima intensidad de la tormenta. En los lagos formados en las microcuencas ubicadas hacia aguas abajo de la zona analizada (14,15,18,19) existió un aumento importante del tiempo de pico con el incremento de la magnitud del evento, mientras que para las microcuencas de aguas arriba (1,2,3,4) el mismo varió poco. Esto es consecuencia de que estas últimas, por encontrarse con el sistema de conductos trabajando ya a su máxima capacidad, comienzan a presentar transfluencias por muchas calles. El flujo de agua de estas transfluencias pasa a gobernar el escurrimiento que se dirige hacia las microcuencas ubicadas aguas abajo y representando para estas, un aporte tan importante como el propio generado por ellas.

BIBLIOGRAFÍA

APA – AFIN. 2001. *Línea de ribera de lagunas ubicadas en el sistema Hídrico del río Negro*. Informe final. Administración Provincial del Agua del Chaco y Grupo de Investigación del Departamento de Hidráulica – Facultad de Ingeniería (UNNE). Resistencia. Argentina.

(1) BRAVO, J. M., PILAR, J. V. 2003. *Modelación matemática de "transfluencias" en el drenaje pluvial urbano del Área Metropolitana del Gran Resistencia*. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2003. UNNE.

(2) BRAVO, J. M., PILAR, J. V. 2003. *Verificación de la aplicabilidad del programa computacional de uso público HEC-1 a la modelación matemática del drenaje pluvial del Área Metropolitana del Gran Resistencia*. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2003. UNNE.

CHOW, MAIDMENT & MAYS. 1994. *Hidrología aplicada*. Santa Fé de Bogotá: Mc Graw Hill. 584p.

HYTSA, Estudios y proyectos S.A. 2000. *Plan director y proyecto ejecutivo 2ª Etapa del sistema cloacal para el Área Metropolitana del gran Resistencia*. Administración Provincial del Agua del Chaco. Buenos Aires. Argentina.

PÉREZ, M. (2001) *Análisis de una metodología para el inventario de Espacios Verdes en una ciudad intermedia. Verificación en el área central de la ciudad de Resistencia y su prolongación sobre el eje NE*. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2003. UNNE.

TUCCI, LA LAINA PORTO, DE BARROS (organizadores). 1995. *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: ABRH/Editora de Universidade UFRGS. 428p.