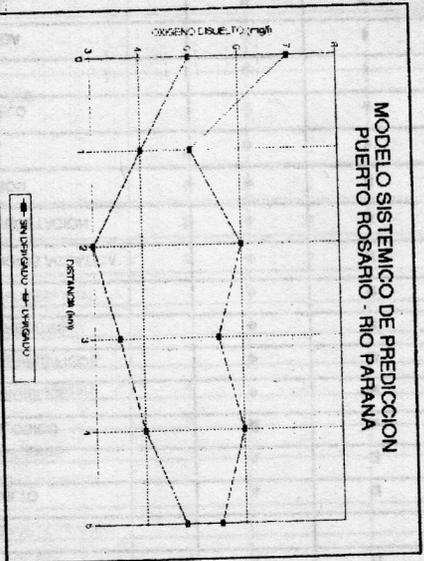
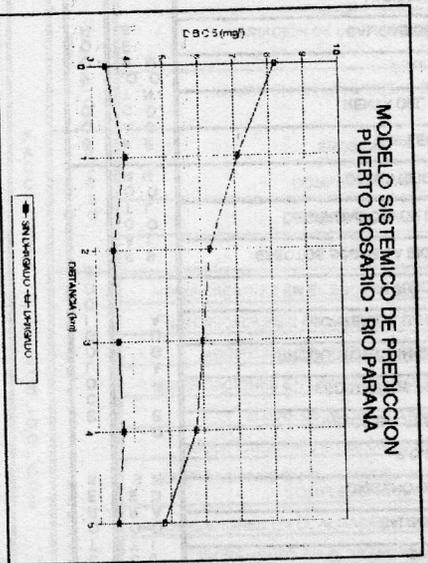


MODELO SISTEMICO DE PREDICCION
PUERTO ROSARIO - RIO PARANA



MODELO SISTEMICO DE PREDICCION
PUERTO ROSARIO - RIO PARANA



UN MODELO MATEMATICO PARA SIMULACION DE ESCURRIMIENTO EN ZONAS RURALES, SEMIURBANIZADAS Y URBANIZADAS

GERARDO A. RICCARDI 1
ERIK ZIMMERMANN 2
RAMIRO MAURIG 3

INTRODUCCION

El distrito Rosario, al sur de la Provincia de Santa Fe, Argentina, se caracteriza por estar atravesado en el norte y sur por cursos de agua; los cuales tienen sus nacientes en zonas rurales con cauces no definidos, y posteriormente a medida que descienden hacia el río Paraná su encauzamiento se hace más marcado y conduciendo agua permanentemente. Al llegar estos sistemas hídricos a sus cuencas bajas, atraviesan grandes orbes pobladas como Rosario y otras ciudades, por lo que sus valles de inundación se presentan urbanizados en grado creciente, hasta llegar a zonas densamente pobladas donde los desbordes de crecidas producen graves afectaciones materiales y en ocasiones pérdidas humanas. A raíz de este problemático escenario hídrico organismos públicos encararon la realización de diversos estudios, proyectos y obras estructurales en vistas a su resolución. Actualmente con las obras proyectadas en estado de culminación se plantea la definición de medidas no-estructurales a seguir con la consiguiente legislación que las avale, que permitan una adecuada ocupación y uso del suelo de las llanuras de inundación con el objeto de evitar daños y pérdidas de vidas humanas para

- 1) Investigador Categoría E. CIUNR. Depto. Hidráulica. FCEIYA. UNR.
- 2) Investigador Asistente CONICET. Depto. Hidráulica. FCEIYA. UNR.
- 3) Alumno 6 año Ingeniería Civil. FCEIYA. UNR.

el futuro, siempre dentro de un contexto de planificación de recursos hídricos a nivel regional. Con este motivo se plantea la configuración de mapas de riesgo de inundación asociadas a los períodos medios de retorno de los eventos. Para dicha delimitación se han comenzado a implementar modelos matemáticos de simulación de escurrimiento. En este trabajo se expone un modelo tipo de celdas apto para escurrimiento subterrico (o levemente superterrico) tanto superficial : por cauce, por valle de inundación y por calle de zonas urbanas; como por redes de colectores subterráneos.

El modelo se basa en ecuaciones gobernantes de continuidad y leyes de descarga entre celdas o compartimientos. Las hipótesis del modelo concuerdan con las características de los escurrimientos en los cursos de la región , donde los ríos y arroyos están conformados por un cauce principal permanente y un valle de inundación lateral transitoriamente ocupado por el flujo y además atravesado por terraplenes de rutas, vías férreas y caminos, lo que permite dividirlo en un cierto número de compartimientos (celdas) interconectados. Asimismo los escurrimientos en las crecidas registran variaciones pequeñas de alturas a través del tiempo. Por otra parte, con el objeto de evaluar en ciertas zonas del escurrimiento la influencia sobre el escurrimiento de la variación de la energía de velocidad del flujo, se incorporaron en las ecuaciones gobernantes una aproximación del término inercial que evalúa las fuerzas debidas a la aceleración convectiva del flujo.

Además en lo que respecta al tránsito en zona urbana se diseñó al modelo para la simulación de tránsito por zonas de calles , denominado sistema mayor de drenaje urbano, y por redes de conductos cerrados o sistema menor. También resulta apto para la simulación de flujos a presión , para presiones algo superiores a la atmosférica (hasta $1,50 \text{ kg/cm}^2$).

El modelo utiliza un algoritmo de resolución numérica en la cual no existen ningún tipo de restricciones respecto a las vinculaciones entre las diferentes celdas constitutivas del modelo. Con lo cual cualquier celda

puede estar vinculada con otra , y no es necesario respetar ninguna condición de agrupamiento de celdas como lo requerían los clásicos modelos de celdas. A raíz de lo puntualizado el modelo permite cualquier alternativa de discretización topológica e hidráulica entre sus componentes. La programación fue realizada en Lenguaje Fortran 77 - Lahey 3.0 , obteniéndose un código computacional sumamente veloz.

En este trabajo se exponen las ecuaciones gobernantes del modelo. Posteriormente se presenta la formulación numérica , la solución de las ecuaciones en diferencias finitas, las condiciones de frontera e iniciales y la estructura computacional del programa utilizado. Luego se describe el estado de avance de una aplicación del modelo en el Arroyo Ludueña a lo largo de 15 km de curso, 1,5 km de entubamiento en grandes conductos subterráneos, abarcando una zona de 40 km^2 en la zona rural y urbana de las ciudades de Rosario y Funes.-

Por último se presentan las conclusiones extraídas del trabajo .

II. ECUACIONES GOBERNANTES

El movimiento de flujo transitando por cauces principales permanente por valles de inundación ocupado temporalmente por el flujo, por calles urbanas o por conductos, tiene características claramente bidimensionales. Cuando el escurrimiento en estudio registra variaciones de alturas pequeñas y lentas a través del tiempo, si los términos friccionales preponderan sobre los restantes (los inerciales), y si además el curso principal, los tributarios , el valle de inundación, los sistemas superficiales de drenaje urbanos y las redes de conductos pueden ser divididos en un cierto número de compartimientos interconectados de manera que se verifique una correspondencia entre el movimiento simulado y el fenómeno real es adecuado el uso de los modelos matemáticos cuasi-

bidimensionales del tipo de celdas en la simulación del escurrimiento. Estos modelos simulan el escurrimiento bidimensional mediante el intercambio de flujo entre celdas con cualquier dirección contenida en el plano, pero con leyes de intercambio de tipo unidimensional.

En la Figura 1a. y 1b. se observa a modo ilustrativo un tramo de un curso de agua conformado por cauce principal y valle de inundación lateral, y un tramo urbano constituido por el sistema mayor y menor, en los cuales se han realizado discretizaciones topológicas en celdas.

Las ecuaciones que gobiernan el modelo son la de continuidad y las de descarga entre celdas vinculadas.

II.1 ECUACIONES DE CONTINUIDAD

En el planteo de la ecuación de continuidad, se supone que a toda la celda i le corresponde un nivel de agua característico Z_i supuesto en el centro de la celda (Fig.2). Asimismo se asume que la superficie de agua es horizontal entre las fronteras de la celda y que su valor es Z_i .

Existen dos hipótesis fundamentales sobre las cuales están basadas las ecuaciones gobernantes :

- (1) El volumen V_i de agua almacenado en la celda i está directamente relacionado a el nivel Z_i de la celda : $V_i = V(Z_i)$
- (2) La descarga Q_{ik}^{ra} entre dos celdas adyacentes i y k en un tiempo dado $n \Delta t$ es una función de los niveles de energía: $Z_i^{ra} + \alpha_k V_i^{ra} / 2g$ y $Z_k^{ra} + \alpha_i V_k^{ra} / 2g$

Esta cantidad se escribe como :

$$Q_{ik}^{ra} = Q (Z_i^{ra} + \alpha_k V_i^{ra} / 2g , Z_k^{ra} + \alpha_i V_k^{ra} / 2g)$$

Se desprecian las fuerzas originadas en la aceleración local.

Si consideramos la celda i como la de la Fig. 2 y se asume un intervalo de tiempo Δt , para cualquier tiempo conocido $t_n = n \Delta t$ el nivel de agua en la celda i es $Z_i(t_n)$ y la correspondiente área de la superficie de agua (ABCD) es igual a $A_{si}(t_n)$ que es el área de la superficie de agua en el plano horizontal de la celda. En el tiempo $t_{n+1} = t_n + \Delta t = (n+1) \Delta t$ el nivel de agua es $Z_i(t_{n+1})$ y la superficie de agua alcanza a A'B'C'D' igual a :

$$A_{si}(t_{n+1}) = A_{si}(t_n) + \Delta A_{si}$$

El incremento de nivel de agua de una celda se deberá a la precipitación caída sobre la misma $P_i(t)$ durante un intervalo Δt a las descargas Q_{ik}^{ra} provenientes de las celdas adyacentes y otros aportes. El incremento de volumen de agua almacenada en una celda i durante un cierto intervalo de tiempo Δt puede definirse desde condiciones geométricas (ecuac. 1) y desde condiciones de descarga (ecuac. 2) :

$$\Delta V_i = \int_{z_i(t_n)}^{z_i(t_{n+1})} A_{si}(z_i) dz_i \quad (1)$$

$$\Delta V_i = \int_{t_n}^{t_{n+1}} P_i(t) dt + \sum_1^k \int_{t_n}^{t_{n+1}} Q_{i,k}(z_i, z_k) dt \quad (2)$$

el subíndice k representa el número total de celdas adyacentes a i .

Despreciando términos de ordenes inferiores y realizando una aproximación de 1er. orden (por ej. la suposición de: $\Delta A_{si} / A_{si} \ll 1$, observando el promedio de las integrales (2) en el escalón de tiempo Δt y comparando el incremento de volumen que definen las ecuaciones (1) y (2) se llega a la ecuación de continuidad escrita en forma diferencial simplificada por el modelo:

$$A_{s_i} \frac{dz_i}{dt} = P_{i(e)} + \sum_{k=1}^K Q_{i,k}^n (z_i, z_k) \quad (3)$$

Existirán tantas ec.(3) como celdas i e incógnitas $z_i(t)$ integren el modelo. Para N celdas, el sistema de N ecuaciones diferenciales ordinarias es establecido para N funciones desconocidas z_i de la variable independiente t . La solución del este sistema existe y es única (Cunge, 1975) si el grupo de condiciones iniciales $z_i(t)$ pueden ser calculadas numéricamente como también las descargas entre celdas $Q_{i,k}^n$ ya que su expresión es explícita en función de los niveles z_i y z_k . Como se trata de simular flujo impermanente las condiciones de frontera variarán en el tiempo y deben ser preestablecidas para plantear correctamente el problema.

II.2 LEYES DE DESCARGA ENTRE CELDAS

El modelo contempla un grupo de relaciones de intercambio entre celdas a saber:

II.2.1 UNION TIPO RIO SIMPLE

En este caso se evalúa el intercambio de caudal entre celdas de acuerdo con la fórmula para flujo uniforme de Strickler-Manning. Se deduce de la ecuación de cantidad de movimiento para escurrimientos con fuerzas inerciales despreciables. Para este caso Cunge (1980) plantea la ecuación de cantidad de movimiento:

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z_i}{\partial x} + \frac{Q}{K^2} = 0 \quad (4)$$

donde h es la altura del pelo de agua, z_i la cota de fondo y K es el

coeficiente de transporte definido como: $K = k A R^{2/3}$ con k : coeficiente de rugosidad de Strickler-Manning ($1/\eta$), A : área de la sección transversal al flujo y R : radio hidráulico de la sección transversal (Fig. 3)

Discretizando la ec.(4) para dos celdas adyacentes y considerando que la suma de los dos primeros términos de esa ecuación no es más que la pendiente de la superficie libre de agua $S_{i,k}$ entre la celdas i y k se llega a una expresión de caudal:

$$Q = \text{signo} (z_k - z_i) \frac{K}{\sqrt{\Delta x}} \sqrt{|z_k - z_i|} \quad (5)$$

donde Δx es la distancia fija entre los centros de las celdas i y k . En la ecuac. (5) los parámetros k , A y R son funciones del nivel del nivel de agua \dot{z} en la sección de flujo entre celdas i y k . Por lo tanto se pueden escribir: $K = k A_{i,k} R_{i,k}^{2/3} = K(\dot{z}_{i,k})$ donde $\dot{z}_{i,k} = \alpha z_i + (1-\alpha) z_k$ es el nivel ponderado entre los niveles de las dos celdas y $K = K(\dot{z}_{i,k}) = K(z_i, z_k)$ es reconocida como el factor de transporte de la sección de escurrimiento. El coeficiente de peso α es constante para cada par de celdas dado. Para la evaluación de la descarga por parte del modelo se define la función:

$$\phi(\dot{z}_{i,k}) = \frac{K(\dot{z}_{i,k})}{\sqrt{\Delta x}} = \frac{k A R^{2/3}}{\sqrt{\Delta x}} \quad (7)$$

$\Phi(z_i, z_k)$ se determina en una primera instancia modelación sobre la base de la geometría de la vinculación y de la rugosidad general, luego es utilizada como parámetro de ajuste durante el proceso de calibración.

Este tipo de unión es utilizada en general para representar a vinculaciones entre celdas donde se evidencia un límite físico entre ellas. Tal es el caso de celdas separadas por terraplenes de rutas, vías, caminos, etc., además se utiliza como vinculación entre las celdas del cauce principal de un curso de agua y los valles laterales.

La fórmula utilizada es la clásica para vertederos de cresta ancha (Fig. 4). En las ec.(8a. y 8b.) se presentan las fórmulas de descarga para el caso en que el nivel en la celda k es mayor que el de la celda i, o sea $z_k > z_i$. Para el caso inverso: $z_k < z_i$ se invierten los subíndices.

$$Q_{i,k} = \phi_F (z_k - z_w)^{3/2} \quad 1) \text{ Vertedero de descarga libre} \quad (8.a)$$

$$Q_{i,k} = \phi_D (z_i - z_w) \sqrt{z_k - z_i} \quad 2) \text{ Vertedero sumergido} \quad (8.b)$$

En general los coeficientes ϕ_F y ϕ_D pueden ser definidos como :

$$\phi_F = \mu_1 b \sqrt{2g} \quad \phi_D = \mu_2 b \sqrt{2g}$$

b es el ancho efectivo del vertedero y μ_1 y μ_2 son los coeficientes de descarga de vertederos.-

La deducción de la descarga entre dos celdas adyacentes se inicia en la ecuación completa de cantidad de movimiento :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g A \frac{\partial z}{\partial x} + g \frac{A Q |Q|}{K^2} = 0 \quad (9)$$

derivando el segundo término, considerando lentas variaciones de alturas y caudales a través del tiempo y con una adecuada discretización en celdas del curso, lo que implica que los términos variacionales de caudal respecto a t y a x del flujo pueden ser despreciados, la ec.(9) se reduce a :

$$- \frac{1}{g A A^2} \frac{\partial A}{\partial x} \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{Q |Q|}{K^2} = 0 \quad (10)$$

discretizando la ec.(10) y considerando las variaciones de áreas mojadas no mayores a un 50% se llega a una expresión explícita del caudal $Q_{i,k}$:

$$Q_{i,k} = \phi_{i,k} \sqrt{\frac{z_k - z_i}{1 + \frac{\phi_{i,k}^2}{2g} \left(\frac{1}{A_i^2} - \frac{1}{A_k^2} \right)}} \quad (11)$$

11.4 UNION TIPO PUENTE

Para la cuantificación de la descarga Q_x entre dos celdas separadas por un puente se utilizó la formulación que presentó Ven Te Chow (1959)

en su articulo referido a flujo a través de constricciones. Según Chow aplicando la ecuación de energía en las secciones k y p (k : celda aguas arriba, p : zona bajo puente) se puede expresar una formulación explícita de la descarga como:

$$Q_{i,k} = \sqrt{2g} C A_p \sqrt{\frac{\Delta h}{1 - \alpha_k C^2 \left(\frac{A_p}{A_k}\right)^2 + 2g C^2 \left(\frac{A_p}{K_p}\right)^2 \left(L + L_a \frac{K_p}{K_k}\right)}} \quad (12)$$

h_p se calcula en función de K_k y K_p que son los coeficientes de transporte de la sección de llegada al puente y bajo el puente ; L_p es la longitud del tramo de llegada aguas arriba (de la zona perturbada) y L es la longitud de la constricción; A_k y A_p son la áreas mojadas de las secciones k (celdas aguas arriba del puente) y p (bajo el puente); C es un coeficiente total de descarga que depende principalmente de : Porcentaje de constricción del flujo; Nro. de froude; Redondeo de las aristas de la constricción; Chamfers de los estribos; Angularidad de la constricción; Profundidades laterales de estribos; Pendiente lateral de los estribos; Excentricidad; Efecto de sumergencia, de pilas y pilares.

II.25 UNION TIPO PERDIDA DE CARGA

Este tipo de vinculación resulta apta para todo tipo de singularidad donde se manifieste una pérdida de energía del flujo debido a bruscos cambios en la sección de escurrimiento tales como contracciones o expansiones tanto en vertical como en horizontal. Estas particularidades se presentan generalmente en alcantarillas, embocaduras de colectores, acometidas de colectores secundarios a primarios, etc. (Fig. 7).

La ecuación de la descarga entre dos celdas en una contracción (ec. 13) y expansión (ec. 14) se definen como :

$$Q_{i,k} = \sqrt{2g} \sqrt{\frac{Z_k - Z_i}{\left(\frac{1 + K_i}{A_i^2} - \frac{1}{A_k^2}\right)}} \quad (13) \quad Q_{i,k} = \sqrt{2g} \sqrt{\frac{Z_k - Z_i}{\left(\frac{1}{A_i^2} - \frac{1 - K_k}{A_k^2}\right)}} \quad (14)$$

en la que k establece la porción de energía de velocidad de la sección contraída, que se pierde en la unión.-

II.26 UNION DE CONDUCCION EN CONDUCTOS CERRADOS

Este tipo de vinculaciones se utiliza para la conexión entre celdas de conductos cerrados. La ecuación de descarga utilizada es del mismo tipo que la planteada en las vinculaciones descriptas en II.2.1 y II.2.4.

La diferencia respecto a las mismas está dada en los casos de que los conductos entre a trabajar a presión, por lo cual en estos casos el factor de transporte permanece constante a partir de la superación de la cota superior del conducto por parte de la línea piezométrica. Por lo que $K = k A_{11} R^{2/3}_{11} = \text{constante}$

Además en los casos de línea piezométrica superior a intradós de conducto en la ecuación de continuidad (3) el valor de A_{si} es mínimo correspondiente a la superficie que resultara de plantear la rendija de Preissmann (Cunge, 1980) a lo largo de todo el conducto cerrado.-

Para la formulación numérica de las ecuaciones del modelo en primer lugar se explicita la función de descarga entre celdas para luego introducirla en la ecuación de continuidad (3):-

Se asume que la descarga $Q_{ik}(z_i(\tau), z_k(\tau))$ es una descarga intermedia entre Q_{ik}^n y Q_{ik}^{n+1} con τ variando entre $n \Delta t \leq \tau \leq (n+1) \Delta t$

El valor intermedio de $Q_{ik}(\tau)$ se define considerando un coeficiente de peso θ donde $0 \leq \theta \leq 1$. y se introduce en la ec. de continuidad (3) :

$$A_{z_i} \Delta z_i = \Delta t \left[\theta \sum_1^k Q_{i,k}^{n+1} + (1-\theta) \sum_1^k Q_{i,k}^n + P_i \right] \quad (15)$$

A los efectos de evitar llegar a un sistema complejo de operar se procede a asumir como hipótesis que las variaciones de los niveles de agua Δz_i son pequeñas durante el intervalo de tiempo de cómputo Δt .

Esto permite desarrollar la fórmula de caudal en series de Taylor y desprejar los términos de orden superior con lo que la ecuac. (15) queda de la forma:

$$A_{z_i} \frac{\Delta z_i}{\Delta t} = P_i + \sum_1^k Q_{i,k}^n + \theta \left[\sum_1^k \frac{\partial Q_{i,k}^n}{\partial z_i} \Delta z_i + \sum_1^k \frac{\partial Q_{i,k}^n}{\partial z_k} \Delta z_k \right] \quad (16)$$

La ecuac. (16) tiene como incógnitas a los incrementos Δz_i y Δz_k . Es demostrable (Cunge, 1975) que es más adecuado para la resolución el uso de un esquema implícito, por cuanto permite la utilización de un intervalo de tiempo acorde con el rango de variación de los parámetros que

caracterizan el fenómeno físico.-

En función de lo anterior se toma un coeficiente de peso $\theta = 1$ de modo de asegurar un sistema de ecuaciones incondicionalmente estable en diferencias finitas, con lo cual la ecuac. (16) toma la forma :

$$A_{z_i} \frac{\Delta z_i}{\Delta t} = P_i + \sum_1^k Q_{i,k}^n + \sum_1^k \frac{\partial Q_{i,k}^n}{\partial z_i} \Delta z_i + \sum_1^k \frac{\partial Q_{i,k}^n}{\partial z_k} \Delta z_k \quad (17)$$

las funciones A_{z_i} , P_i y Q_{ik} son conocidas en el tiempo $t = n \Delta t$ y los incrementos Δz_i y Δz_k son las incógnitas.

Existirán tantas incógnitas como celdas i tenga el modelo y el sistema se completa con las condiciones de contorno .

El modelo utiliza un algoritmo de resolución basado en la resolución matricial por el método de Gauss-Seidel en un sistema de $m \times m$ ecuaciones, donde m representa la cantidad de celdas internas del modelo .

En cada paso de tiempo se resuelve la matriz con lo que se determinan los correspondientes Δz , con estos valores se calculan los niveles de agua en cada celda. $z^{n+1}_j = z^n_j + \Delta z_j$

Concluido el cómputo de las cotas se realiza con el cálculo en forma explícita de las descargas entre las celdas : Q^{n+1}_{ij} .-

IV. CONDICIONES DE BORDE e INICIALES

El sistema de ecuaciones diferenciales que generan las ecua. (20), al ser de tipo parabólico, es condición necesaria y suficiente imponer los niveles $z(t)$ en las fronteras geográficas del área a modelar. En la práctica esto no es siempre posible o conveniente, por lo que se puede decir que en los casos reales se pueden presentar tres tipos de condiciones a saber:

- : (i) Nivel en función del tiempo: $z(t)$; (ii) Caudal en función del tiempo: $Q(t)$; (iii) Relación cota-caudal: $Q = f(z)$

El modelo requiere la especificación de las alturas en todas las celdas en el tiempo inicial de simulación .-

V. IMPLEMENTACION COMPUTACIONAL

El programa computacional fue denominado **CELDAS4** . Está constituido por una serie de rutinas auxiliares que realizan la preparación y ordenamiento de datos en archivos, el programa principal y los correspondientes archivos de entrada y salida .

En primer lugar una serie de rutinas auxiliares realiza un tratamiento de la información topográfica e hidráulica de todas las celdas y vinculaciones que componen el modelo. Se generan archivos tabulares de las características topográficas e hidráulicas según el incremento de altura fijada.

El programa almacena en disco mediante archivos tabulados los datos computados de : Alturas-Cota vs. tiempo en cada celda
Caudal, velocidad, froude - tiempo en cada vinculación
Hidrogramas-Limnigramas en vinculaciones entrantes y salientes

Para el caso de simulaciones parciales el programa permite almacenar la historia anterior y poder arrancar desde el último tiempo en que figuran datos almacenados en los archivos.

El programa fue desarrollado en lenguaje Fortran 77 Versión Lahey 3.0 y consta de alrededor de 1500 sentencias y puede ser operado en equipos PC-AT-386 en adelante.

Actualmente se está trabajando en el desarrollo de rutinas de presentación de resultados en forma gráfica y tabular para celdas y vinculaciones individuales o selectivas.

VI. AVANCES EN LA APLICACION

El modelo esta siendo aplicado en el valle de inundación del Arroyo Ludueña en los distrito Rosario y Funes, al sur de la provincia de Santa Fe. La red de cursos de agua es de aproximadamente 19 km., con una pendiente media de 1,2 por mil. En el curso principal el caudal actual de desborde es del orden de los 80 m³/seg. El valle de inundación en estudio comprende una superficie total de alrededor de 40 km². Del total del área un 75% es zona rural, un 15% semiurbanizada en tanto que el 10% es zona urbanizada, densamente poblada. En un tramo de 1,5 km el arroyo se encuentra entubado en 5 conductos que componen un superficie de escurrimiento subterránea de 73,3 m². La capacidad de conducción del sistema de entubamiento es de alrededor de 350 m³/seg. Aguas abajo del entubamiento el arroyo escurre rumbo a su desembocadura al río Paraná por un tramo de canal a cielo abierto de aproximadamente 800 m.

La discretización topológica y espacial fue conformada con 202 celdas y 311 vinculaciones. 54 celdas correspondieron curso de agua a cielo abierto; 43 a conductos ; 95 a llanuras de inundación rural y semiurbana y 10 a zona urbana.-

La información topográfica utilizada estuvo dada por una malla de puntos de separación promedio de 100 metros, información que fuera digitalizada para una precisa determinación de curvas de nivel cada 0,25 m.. Asimismo se relevaron las distintas secciones de cursos, alcantarillas, terraplenes, conductos y demas obras de arte que configuran el escenario hídrico modelado.

Los parámetros hidráulicos considerados en forma preliminar : rugosidades, coeficientes de eficiencia, etc. fueron tomados en base a distintas modelaciones realizadas hasta la fecha.

El modelo fue calibrado en función de distintas crecidas ocurridas y principalmente con una ocurrida en el 1986 de recurrencia cincuentenaria. Actualmente está siendo operado para la generación de las zonas de inundación asociada a crecidas de 100 y 500 años de recurrencia. Los resultados calculados se traducen en Hidrogramas, Cotagramas (o Altogramas) y Mapas de Cota Máxima alcanzada. Este último se construye a partir de las cotas máximas calculadas y la grilla digitalizada de la zona en estudio.-

A modo ilustrativo se presenta en la Figura 11 los correspondientes Hidrogramas, Cotagramas y Altogramas de una sección de control dada, para un evento de 100 años de recurrencia donde no se consideró la laminación que produce una presa de retención que actualmente está construyéndose en el valle.

VII. CONCLUSIONES

El modelo desarrollado resultó totalmente apto para la simulación de flujo de llanura con características bidimensionales. Se adecua con tolerable aproximación a la simulación de flujo transitando por

zonas urbanas. Arrojó resultados de calibración con muy buen nivel de aproximación.

Asimismo su implementación ha logrado incorporar una poderosa herramienta tecnológica a la resolución de la problemática hídrica regional, pudiéndose delimitar mediante los resultados la zonas con diferente riesgo de inundación.-

VIII. BIBLIOGRAFIA

- SNOW VT; 1959. " Hidráulica de los Canales Abiertos"; Edit. Diana; México;
- GUNGE JA, HOLLY FM, VERWEY A; 1980;"Practical Aspects of Computational Rivers Hydraulics", Pitman, 420 p.
- GUNGE JA; 1975;"Two Dimensional Modeling of Flood Plains" - Capítulo 17 - "Unsteady flow in open channels" - Editado por Mahmood K, y Yevjevich V - Water Resources Publications - Fort Collins - USA
- RICCARDI G; 1991; "Modelación Matemática Unidimensional Compleja y Bidimensional de Flujos a Superficie Libre"; Primer Informe Anexos 1 y 2; Implementación de un Modelo Matemático Hidrodinámico Unidimensional Complejo en el Arroyo Ludeña CIUNR.
- RICCARDI G; 1992. "Modelación Matemática Unidimensional Compleja y Bidimensional de Flujos a Superficie Libre"; Segundo Informe Anexos 1 y 2; Desarrollo de un Modelo Matemático Bidimensional de Celdas - Aplicación de un Modelo Matemático Bidimensional de Celdas en un tramo del arroyo Ludeña en la zona del Gran Rosario. CIUNR; inédito; Rosario. XV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, IAHR, Cartagena, Colombia.
- RICCARDI G; 1993/4; "Modelación Matemática Unidimensional Compleja y Bidimensional de Flujos a Superficie Libre"; "Desarrollo de un Modelo Matemático Bidimensional de Celdas apto para escurrimientos cuasi-dinámicos CELDAS2"; "Aplicación de un Modelo Matemático Bidimensional de Celdas en un tramo del arroyo Saladillo en la zona del Gran Rosario"; Informe Anual de Investigación, CIUNR;
- RICCARDI G; 1994; "Un Modelo Matemático Hidrodinámico Causi-Bidimensional de Celdas para Escurrimientos Cuasi-Dinámicos"; XVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, IAHR, Santiago , Chile.

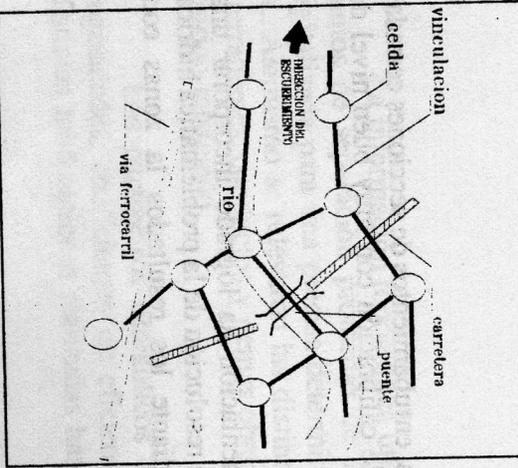


Figura 1a. - Discretización en celdas

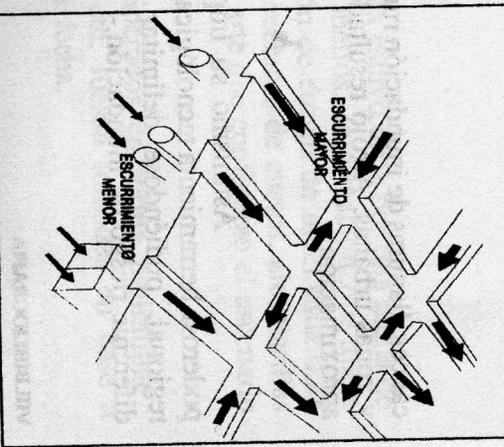


Figura 1.b - Escurrimiento Urbano

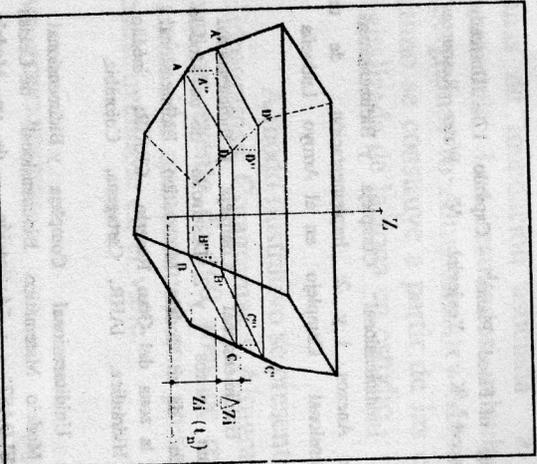


Figura 2 - Ecuación de continuidad de una celda

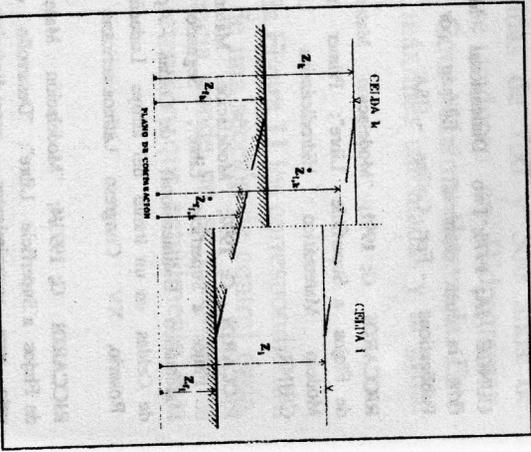


Figura 3 - Unión tipo río

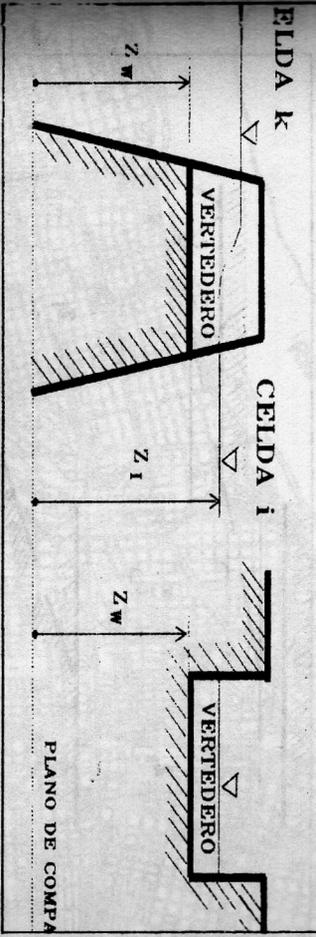


Figura 4 - Unión tipo vertedero

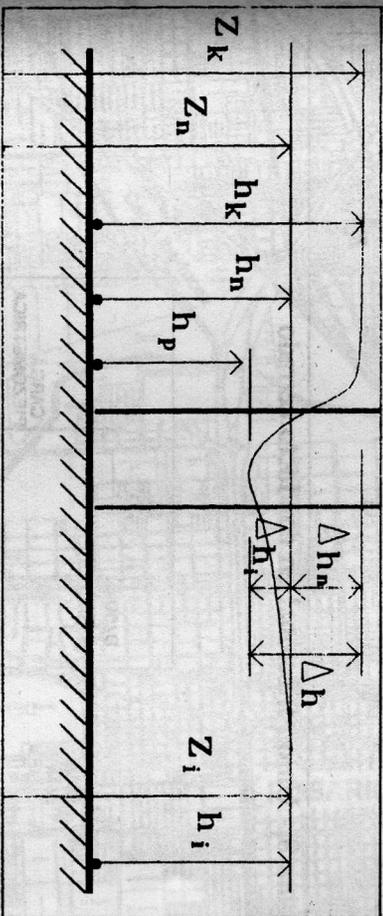


Figura 6 - Unión tipo puente

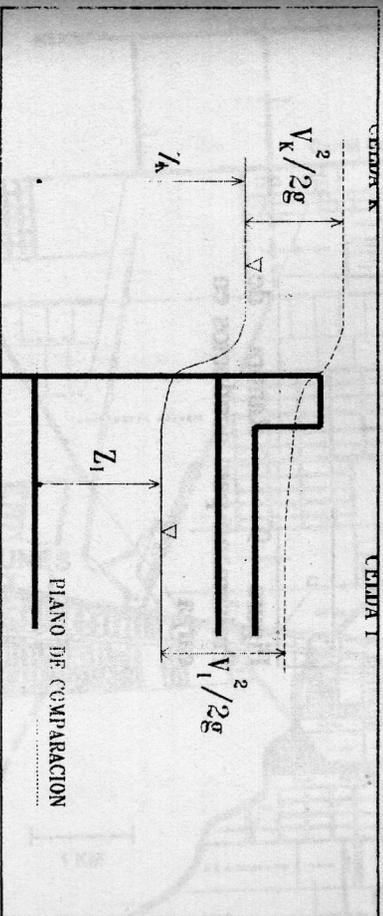


Figura 7 - Unión tipo Pérdida de Carga (Contracción)

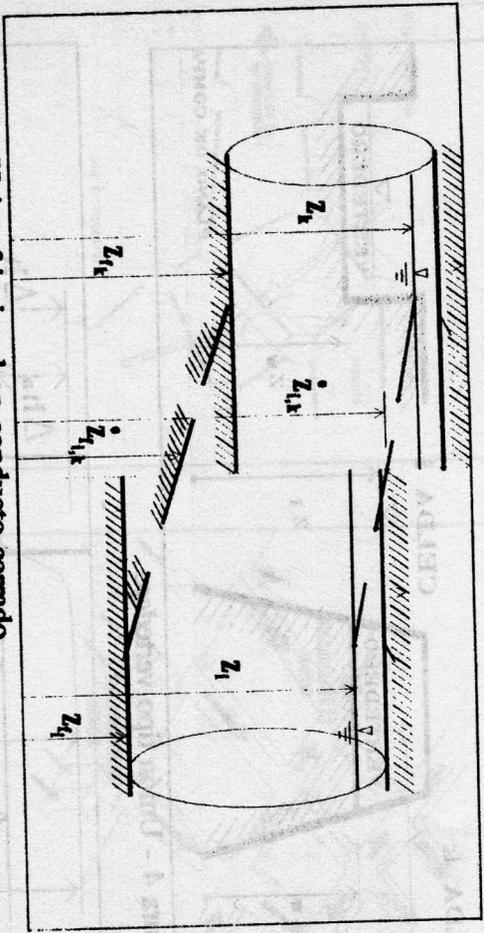


Figura 8 - Union friccional en conducto cerrado

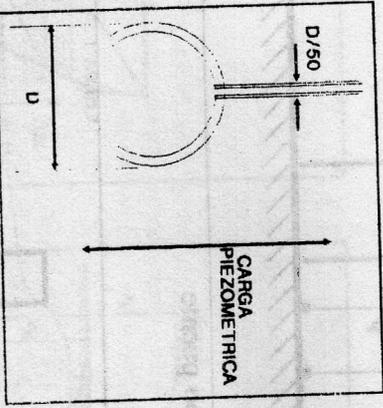


Figura 9 - Ranura de Preissmann para conductos en carga

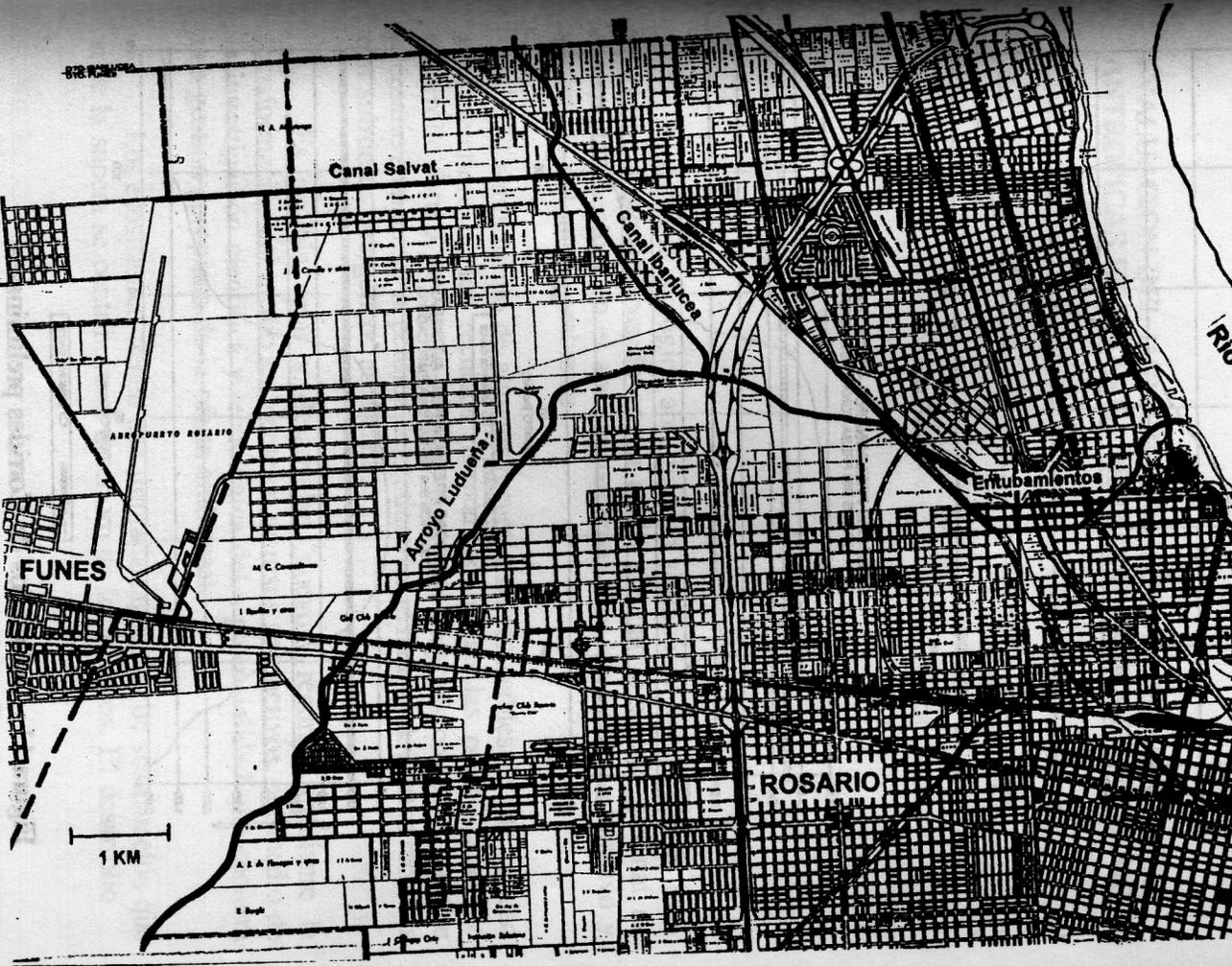


Figura 10 - Area de Estudio

EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL POR ACCIONES ANTROPICAS EN EL AREA METROPOLITANA DE ROSARIO

OMAR A. VASSALLO 1
ADELMA M. MANCINELLI 2

1 - INTRODUCCION

El enfoque ecológico abre un rico abanico de oportunidades para un mejor desarrollo basado en un estilo alternativo y más racional de desenvolvimiento y en el aprovechamiento más inteligente, equitativo y sostenible del medio ambiente.

El agotamiento de algunos recursos no renovables de alta calidad y el deterioro de los recursos renovables limitan las posibilidades de desarrollo futuro, o cuanto menos, significan mayores costos al hacerse necesario compensar la pérdida de productividad natural de dichos recursos con subsidios energéticos artificiales.

Es posible crear y desarrollar "nuevos" recursos mediante la transformación del medio ambiente en recursos productivos, por medio de la investigación científica y tecnológica del a potencialidad que encierra una gestión apropiada de la oferta ambiental.

Los ecosistemas tienen una limitada capacidad de sustentación que si se la supera se contribuye al deterioro de los mismos. El desarrollo

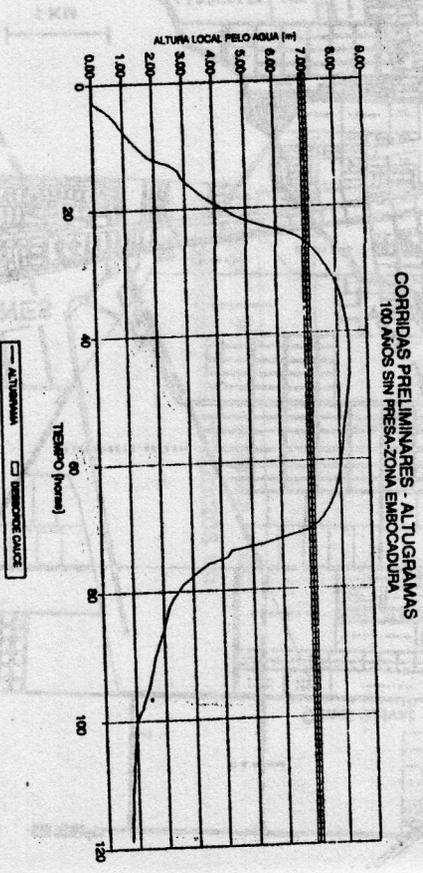
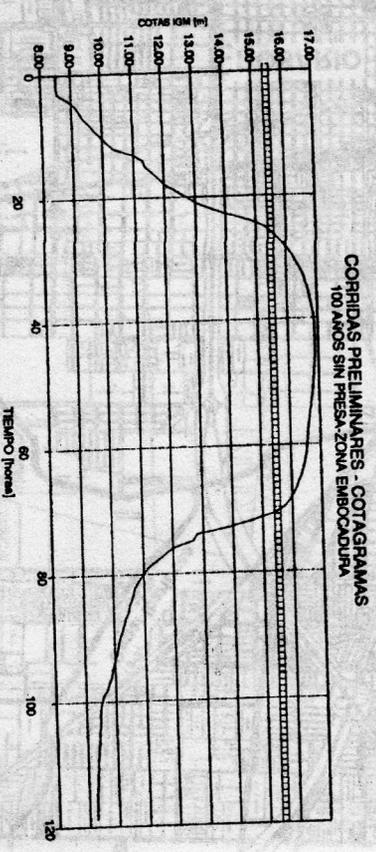
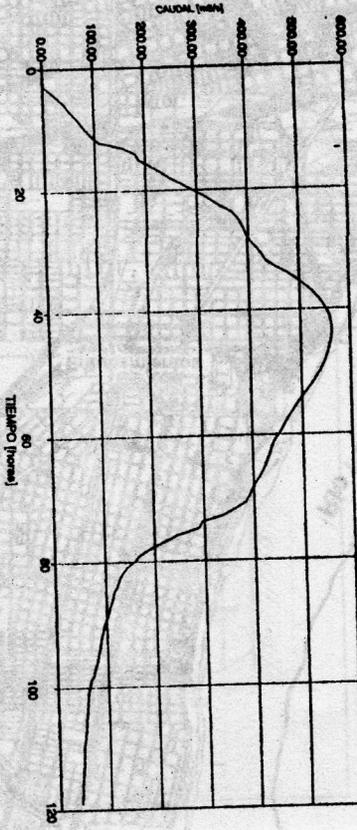


Figura 11 - Resultados de Corridas preliminares Caudal-Cota-Altura vs. tiempo

1) Prof. Adjunto Dedicación Semiestructurada, FCEIYA, UNR.
2) Jefe de Trabajos Prácticos Dedicación Exclusiva, Depto. Hidráulica, FCEIYA, UNR.