

# **SISTEMA DE CÓMPUTO PARA ANÁLISIS Y DISEÑO DE REDES DE ALCANTARILLADO SANITARIO (SCADRAS)**

Velitchko G. Tzatchkov, Fernando Pozo, Julio C. López

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  
Paseo Cuauhnáhuac No. 8532 CP. 62550 Jiutepec, Mor.  
Tel. 01 (73) 19-40-00, ext. 432, Fax 01 (73) 19-43-66  
E-mails: velitchk@tlaloc.imta.mx fpozo@tlaloc.imta.mx

## **RESUMEN**

Se presenta el Sistema de Cómputo para Análisis y Diseño de Redes de Alcantarillado Sanitario (SCADRAS), que corre dentro de AutoCAD y permite realizar la graficación (digitalización) de una red de alcantarillado sanitario, su análisis hidráulico y el cálculo del costo del proyecto. El sistema puede ser usado tanto en anteproyectos y proyectos ejecutivos de redes nuevas, rehabilitaciones y ampliaciones de redes existentes, como en revisión hidráulica de redes. En proyectos de redes nuevas, rehabilitaciones y ampliaciones, el sistema determina por el método de programación dinámica los diámetros y cotas de plantilla de los conductos nuevos por diseñar y, en su caso, la ubicación de plantas de bombeo dentro de la red; que proporcionan un costo mínimo para la construcción y, de ser necesario, para el bombeo, cumpliendo con las condiciones de velocidades mínimas y máximas permisibles, colchones mínimos, alturas de caída y otras exigidas por las normas de diseño. Una vez definida la red, el sistema calcula las cantidades de obra y el costo total del proyecto, considerando los costos de excavaciones, construcción de tuberías, pozos y cajas de visita y estaciones de bombeo dentro de la red. El sistema genera también los propios planos del proyecto.

## **INTRODUCCIÓN**

Para una topografía de la localidad en estudio y un trazo definido de la red de alcantarillado, existe una infinidad de posibles soluciones de diámetros y cotas de plantilla de las atarjeas, subcolectores, colectores y emisores para desalojar las aguas servidas. En ocasiones la topografía del terreno obliga a rebombear el agua dentro de la red, en otros casos resultan necesarias caídas en la unión de las tuberías con los pozos de visita. Las tuberías del alcantarillado deben estar

enterradas con cierto colchón mínimo para quedar protegidas contra el tráfico vehicular de las calles. Las velocidades y tirantes del flujo en las tuberías deben estar en ciertos límites definidos por las normas de diseño. El problema del diseño de la red consiste entonces en encontrar el diámetro y las cotas de plantilla de cada conducto en la red, y las alturas de las posibles caídas y bombeos, de forma tal que en cada conducto se respete el tirante mínimo y las velocidades mínimas y máximas permisibles, además de asegurar los colchones mínimos en cada tubería.

Debido al alto costo para la construcción y operación (bombeo) de una red de alcantarillado, es deseable también que el diseño produzca el costo mínimo posible.

En términos matemáticos se trata entonces de un problema de optimización discreta de gran escala con restricciones.

## **ESTUDIOS PREVIOS Y DATOS NECESARIOS**

Tanto en redes nuevas como en ampliaciones la formulación de un proyecto de alcantarillado sanitario requiere de información y estudios previos de campo y gabinete que permitan al ingeniero de diseño concebir con mayor amplitud de criterio las diferentes soluciones posibles para conducir las aguas residuales generadas.

Los estudios que constituyen la ingeniería básica del proyecto son: el demográfico, el topográfico y el geotécnico.

Los resultados de los estudios anteriores son indispensables para aplicar SCADRAS y deben ser proporcionados por el usuario. Se necesita también un plano de las calles de la localidad, digitalizado en AutoCAD. Planos de este tipo son distribuidos por el INEGI para cualquier localidad del país con más de 5,000 habitantes.

## **TRAZO DE LA RED DE ALCANTARILLADO**

Antes de entrar al diseño de las tuberías que conforman un sistema de alcantarillado sanitario, el ingeniero de proyecto debe realizar un trazado del sistema, tomando en cuenta que el sentido de escurrimiento en los tubos deberá seguir la pendiente del terreno hacia el punto topográficamente más bajo, escogiéndolo como sitio de descarga. El SCADRAS ofrece dos facilidades al usuario con respecto a la consideración de los pozos de visita, cajas de unión y otras obras en la red de alcantarillado:

a) El usuario puede marcar en el plano solamente los puntos de cruce de las tuberías. Después de realizarse el trazo y el dimensionamiento de las tuberías el sistema inserta automáticamente el tipo de pozo de visita o caja de unión según el diámetro de las tuberías que se unen. Esta facilidad del sistema es útil cuando se

realiza el diseño de una red nueva.

b) El usuario puede insertar directamente los tipos de pozos de visita y cajas de unión. Esta facilidad del sistema es útil cuando se realiza la graficación de una red existente.

En el trazo de las tuberías y obras de arte el sistema considera la simbología aceptada en México para este tipo de proyectos.

## **CÁLCULO DE LOS GASTOS DE APORTACIÓN**

SCADRAS calcula la aportación y la distribuye en las atarjeas de la red utilizando los lineamientos de las *Normas de proyecto para obras de alcantarillado sanitario en localidades urbanas de la República Mexicana*, donde se obtienen el coeficiente de Harmon y los gastos medio, mínimo, máximo y máximo extraordinario para cada tramo de la red, en función de la población a servir por la tubería.

## **CÁLCULOS HIDRÁULICOS Y DE OPTIMIZACIÓN DEL COSTO**

Desde un punto de vista hidráulico los conductos parcialmente llenos trabajan como canales circulares, donde al aumentar su pendiente se incrementa la velocidad del agua disminuyendo su tirante, lo que permite al ingeniero de diseño reducir el diámetro de la tubería y por consecuencia su costo. Empero, una mayor pendiente constructivamente involucra un mayor volumen de excavación y de relleno de zanjas, aunado a mayores acarrees del material sobrante. Por lo que desde un punto de vista matemático se encuentran en conflicto los costos de adquisición, suministro e instalación de tuberías contra los costos de excavación, relleno y compactación de zanjas, transporte y disposición final del material sobrante. El problema se complica aún más al considerar los costos de caídas y rápidas en pozos de visita y las inversiones a efectuar por construcción, equipamiento y operación de estaciones de bombeo, y al acotar dentro de un rango, por normatividad, las velocidades y tirantes permisibles y los colchones mínimos a cumplir en función del diámetro seleccionado.

La solución del problema se logra mediante un proceso de programación dinámica de tipo discreto analizando la red como una estructura de árbol donde las cabezas de atarjea se encuentran en la terminación de las ramas y el emisor forma el tronco, hasta llegar al punto de descarga en la raíz (Ilustración 2).

En perfil, el análisis de la red se realiza tubería por tubería, comenzando desde las ramas hacia la raíz, tomando en cuenta una profundidad permisible de excavación (ver Ilustración 3). El diámetro en cada uno de los tramos se calcula para conducir el gasto formado por los caudales acumulados de las tuberías conectadas aguas arriba del pozo de visita al inicio de la tubería, más el caudal de aportación de dicho tramo, y la pendiente se calcula haciendo variar las profundidades en los pozos de visita, considerando caídas y posibles bombeos generando de esta manera una

serie de alternativas.

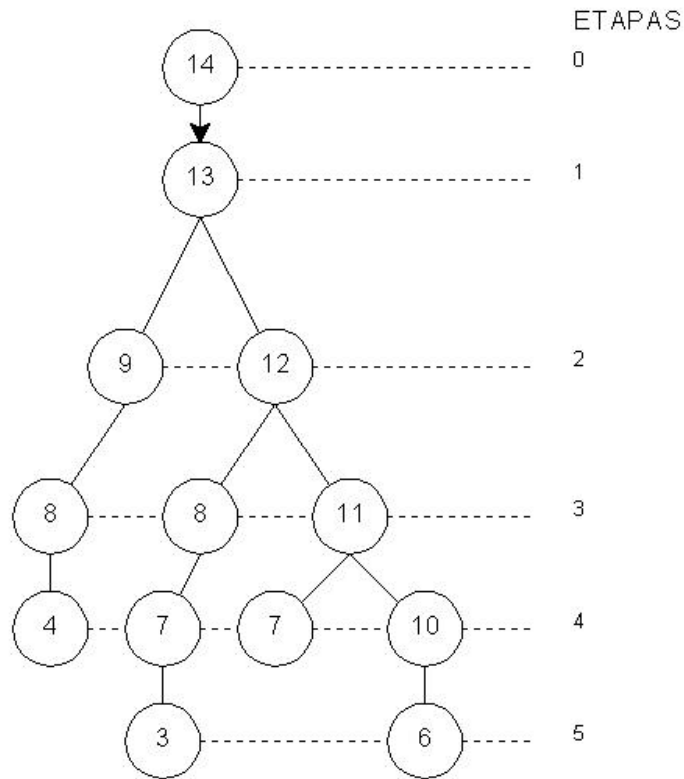


Ilustración 2. Estructura de árbol de una red

En los dos extremos de cada tubería se establece la estratigrafía del terreno -tipo de material, espesor, talud y costo de excavación por estrato-, el tipo de cama a emplear en el tramo y el número de profundidades a analizar (ver Ilustración 4); en las cabezas de atarjea sólo existe una profundidad igual a la profundidad mínima (ver Ilustración 5).

Cada profundidad del nodo A se calcula con las profundidades del nodo B, esto se realiza para cada uno de los tramos de la red.

Para determinar el costo de una alternativa, se consideran los siguientes costos:

- Costo de ruptura y reposición de pavimentos.
- Costo de instalación y suministro de la tubería del tramo.
- Costo de excavación según la estratigrafía del subsuelo y relleno de zanjas.
- Costos de estructuras, equipo y obras de arte (plantas de bombeo, bombas, caídas y pozos de visita).

Para cada profundidad del nodo final de cada tramo se tendrá un costo mínimo de llegada. Este costo es considerado para el cálculo del costo de la alternativas del tramo siguiente.

## RESULTADOS QUE PROPORCIONA EL SCADRAS

Como resultados se obtienen los siguientes datos, para las tuberías y los pozos:

- Cotas de plantilla en las tuberías y en los pozos.
- Profundidades de los pozos.
- Material, diámetro y pendiente de las tuberías.
- Gastos de diseño (máximo, medio, mínimo y máximo extraordinario) por tramo.
- Velocidad y tirante a gasto máximo extraordinario.
- Velocidad y tirante a gasto medio.
- Velocidad y tirante a gasto mínimo.
- Gasto, velocidad y tirante a tubo lleno.
- Volúmenes de excavación por estrato y tramo.
- Elevaciones de construcción para la colocación del tubo dependiendo del tipo de cama a emplear y
- Volúmenes de relleno de zanjas por tramo.

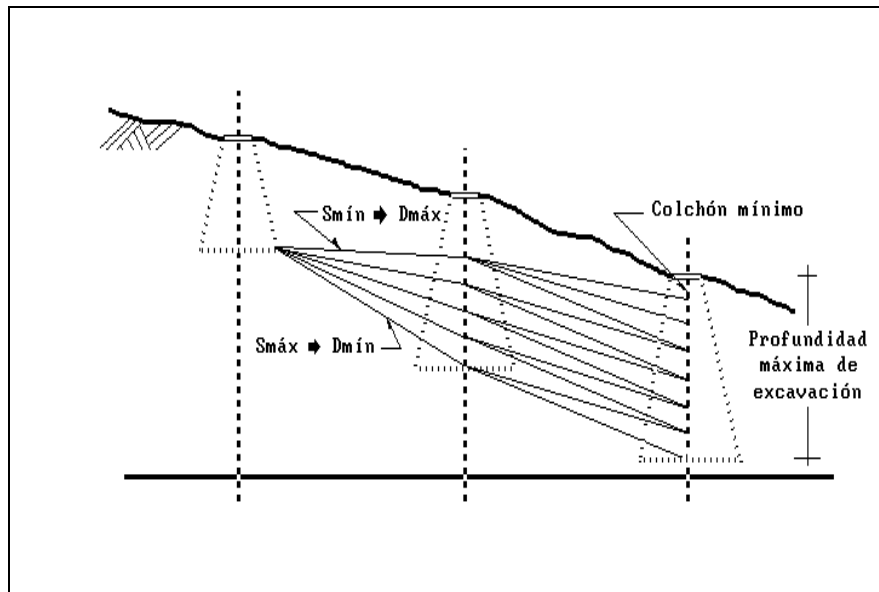


Ilustración 3. Esquema de la optimización de un trayecto de la red por el método de programación dinámica.

La Ilustración 6 muestra el archivo de resultados de los gastos de diseño, y la ilustración 7 muestra una pantalla de AutoCAD con el menú del sistema activado en el comando de optimizar el diseño de la red.

## CONCLUSIONES

SCADRAS es un sistema de cómputo para el diseño de redes de alcantarillado sanitario que permite realizar rápidamente diferentes trazos de rutas de escurrimiento obteniendo el costo mínimo de la red y garantizando que se cumpla la normatividad hidráulica referente a velocidades y tirantes permisibles. El sistema ha sido presentado a la CNA y se ha implementado en varias compañías de consultoría que realizan proyectos de alcantarillado sanitario. Se prevé la posibilidad de que el sistema pueda ser ampliado y mejorado en diferentes aspectos, si los usuarios lo requieren. El sistema será comercializado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

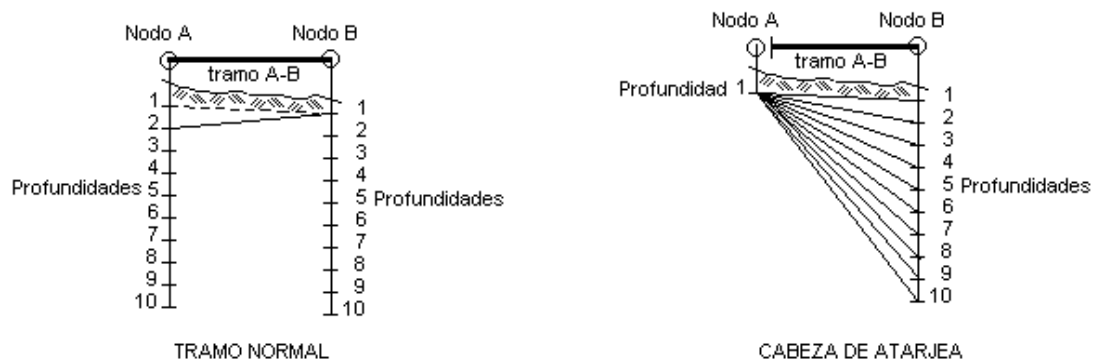


Ilustración 4. Tramo normal

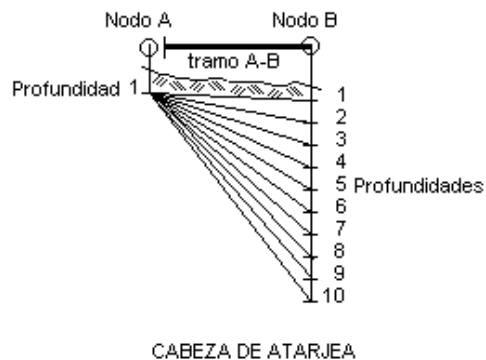


Ilustración 5. Cabeza de atarjea

## BIBLIOGRAFÍA

- Comisión Nacional del Agua -CNA- (1994). *Lineamientos técnicos para la elaboración de estudios y proyectos de agua potable y alcantarillado sanitario*. Segunda versión. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
- INEGI- (1990). Sistema para consulta de información censal (Scince). Resultados definitivos. XI Censo general de población y vivienda. México
- Oficina de Normas y Desarrollo de Tecnología de la Subdirección de Proyectos de la Comisión Nacional del Agua -CNA-. Facultad de Ingeniería -UNAM-. (1990). *Normas de proyecto para obras de alcantarillado sanitario en localidades urbanas de la República Mexicana*.
- Subdirección General de Infraestructura Hidráulica, Urbana e Industrial. Gerencia de Normas Técnicas. - Comisión Nacional del Agua -CNA- (1994). *Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Tema "Datos básicos"*.

Símbolo de MS-DOS - EDIT

Auto

Archivo Edición Buscar Ver Opciones Ayuda

C:\PRECNA\plano\GASTOSA.PRN

RESULTADOS DEL CALCULO DE GASTOS

Tramo	Longitud	Qmax	Qmin	Qinfi	(Qmaxe+)	(Qmin+)	Qmedio		
Ni	Nf (m)	extr.	(L/s)	(L/s)	(Qinfi)	(Qinfi)	(Qinfi)		
51	45	54.46	81.56	15.10	.03	81.59	15.14	30.24	65
82	51	36.96	55.35	10.25	.02	55.37	10.27	20.52	57
9	82	102.36	153.30	28.39	.06	153.36	28.45	56.84	51
46	9	60.96	91.29	16.91	.04	91.33	16.94	33.85	36
81	46	61.64	92.31	17.09	.04	92.35	17.13	34.23	27
80	81	56.44	84.53	15.65	.03	84.56	15.69	31.34	18
19	80	64.24	96.21	17.82	.04	96.25	17.86	35.67	9
38	40	158.22	236.95	43.88	.10	237.05	43.98	87.86	32
37	38	60.80	91.05	16.86	.04	91.09	16.90	33.76	9
44	45	117.42	175.85	32.56	.07	175.92	32.64	65.20	49
43	44	129.20	193.49	35.83	.08	193.57	35.91	71.74	105
42	43	116.54	174.53	32.32	.07	174.60	32.39	64.71	85
41	42	31.18	46.70	8.65	.02	46.71	8.67	17.31	68
40	41	57.50	86.11	15.95	.04	86.15	15.98	31.93	63
39	40	66.82	100.07	18.53	.04	100.11	18.57	37.10	22
50	39	82.62	123.73	22.91	.05	123.78	22.96	45.88	12

F1=Ayuda | Línea:1 Col:1

Ilustración 6. Archivo de resultados del cálculo de gastos en tuberías

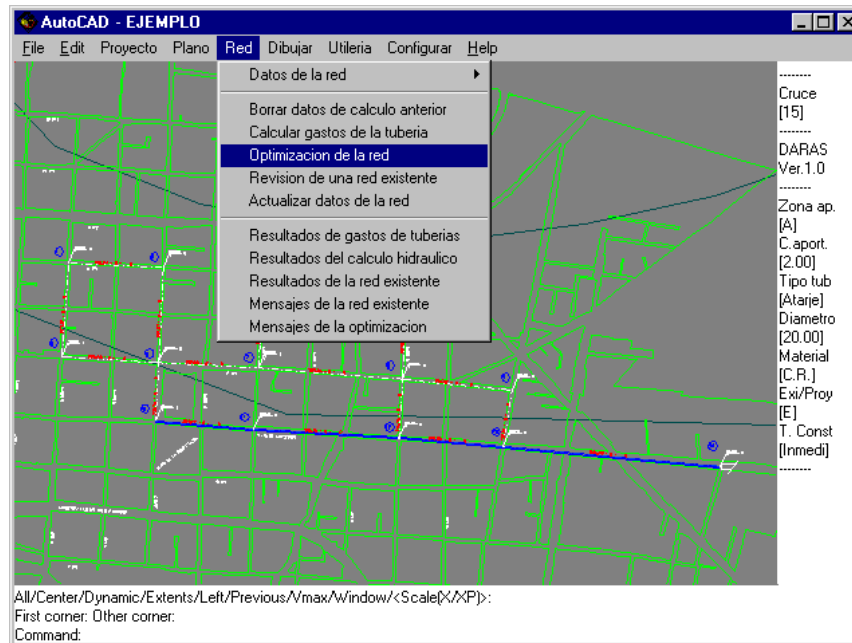


Ilustración 7. Optimización de la red de alcantarillado