

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

23
154

"UN METODO PARA REVISION DE
REDES DE TUBOS DE AGUA
POTABLE"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

PATRICIA GUILLERMINA PEÑA SANTANA

1982



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CHILE

A la Pasante Srta. PATRICIA GUILLERMINA PENA SANTANA,
P r e s e n t e .

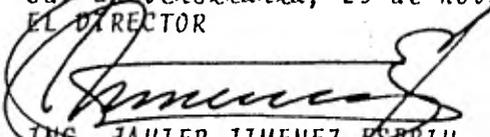
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted u continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor M. en I. Oscar A. Fuentes Mariles, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"UN METODO PARA REVISION DE REDES DE TUBOS DE AGUA POTABLE"

1. Introducción.
2. Fundamentos teóricos.
3. Descripción del método.
4. Aplicaciones.
5. Conclusiones y recomendaciones.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, 25 de noviembre de 1981
EL DIRECTOR


ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU

INDICE

TEMA	PAGINA
1. INTRODUCCION	1
2. FUNDAMENTOS TEORICOS	5
2.1 Ecuación del flujo en un tubo	5
2.2 Fórmulas y coeficientes de fricción	7
2.3 Definición de redes cerradas y abiertas	13
2.4 Gastos de demanda y gasto máximo horario en el día de máxima demanda	14
2.5 Requisitos que debe cumplir una red desde el punto de vista de "Abastecimiento de Agua Potable"	20
2.6 Planteamiento del problema	22
3. DESCRIPCION DEL METODO	26
3.1 Deducción de la ecuación de aproximación	26
3.2 Método de solución	29
3.3 Condición de bombas en la red	32
4. APLICACIONES	35
4.1 Ejemplo de una red pequeña sin bombas	35
4.2 Ejemplo de una red pequeña con bomba	41
4.3 Ejemplo de una red grande	48
5. CONCLUSIONES	66

ANEXO

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

1. INTRODUCCION

Desde tiempos remotos, el hombre se ha preocupado del suministro de agua al lugar en que habita. Una de las primeras formas artificiales para conseguirlo fue excavando pozos.

Frecuentemente los historiadores hacen mención a la importancia que tenían los pozos en Grecia, Persia e India en la antigüedad. Junto a estos se construían obras para almacenamiento y conducción del agua, usando conductos de mampostería, plomo y cachorros de alfarería (ref 13). Estos materiales se emplearon hasta el siglo XVII, cuando se empezaron hacer experimentos de hierro fundido, logrando con este material canales con mayor duración y resistencia a las roturas y fugas.

Con el adelanto obtenido al introducir el hierro fundido para transportar el agua y el desarrollo de técnicas para elevarla.

fue posible entubarla y entregarla a domicilio por medio de sistemas de tubos. A partir de este momento, los ingenieros se ocuparon de la distribución del agua y del análisis de las redes de tubos.

En la práctica actual, este análisis consiste en hacer una revisión a partir de las características geométricas y de rugosidad de los tubos.

La revisión de las redes de tubos de agua potable, desde el punto de vista hidráulico, consiste en saber si la cantidad de agua que el sistema proporciona satisface las demandas con precisión adecuada.

Estas redes, a parte de satisfacer las demandas, deben ser lo más económicas posibles, lo que hace necesario realizar varias revisiones para poder seleccionar la de menor costo.

Para que el tiempo y el costo del cálculo que implican tales revisiones no se incrementen demasiado, es necesario disponer de un método sencillo y eficiente para realizarlas.

Existen varios métodos de revisión de redes de tubos, el más usado y, posiblemente, el más antiguo, es el propuesto por Hardy Cross en 1936 (ref 1). Consiste en establecer el equilibrio de las pérdidas de carga, después de proponer una dis-

luego de suponer una distribución de pérdidas. El método es iterativo y llega a la solución mediante correcciones sucesivas a las condiciones supuestas inicialmente.

Las soluciones obtenidas con este método, en redes "pequeñas" han sido buenas; no así en redes "grandes", en donde si las distribuciones supuestas no están cerca de las correctas, el método es muy lento para llegar a la solución y, en ocasiones no llega a ella.

Desde entonces hasta la fecha se han desarrollado varios métodos para manejarlos en computadoras, entre los que destacan los de Shamir y Howard (ref 11), Wood y Charles (ref 15), González Villareal y Capella (ref 4) y otros. En estos métodos se trata de llegar más rápidamente a la solución, pero presentan los inconvenientes de que el tiempo de cómputo y la cantidad de memoria que requieren es relativamente grande; además, en algunos casos no se garantiza su convergencia.

En esta tesis se presenta un método que trata de cubrir, en lo posible, dichos inconvenientes. El algoritmo de que parte fue propuesto por Sánchez Bribiesca (ref 9).

El método se basa en los principios de continuidad y de conservación de la energía, con los que se forma un sistema de ecuaciones no lineales, el cual mediante algunos artificios matemá

ticos se transforma en lineal, obteniendo así un sistema más fácil de resolver, cuya matriz de coeficientes resulta porosa, pudiendo usar métodos que son rápidos para su solución, como el de SOR (successive overrelaxation), Choleski, Gauss, etc.

El método que se presenta en esta tesis obtiene como resultados los gastos en los tubos y bombas (en caso de que se tengan bombas en la red), y los niveles piezométricos en los nudos. Para ello, en el capítulo 2 se exponen las consideraciones de las que se parte y se plantea el problema por resolver, llegando a establecer un sistema de ecuaciones no lineales. En el capítulo 3 se hace la transformación de este sistema en uno de ecuaciones lineales y se presenta el método de solución de redes. En el capítulo 4 se aplica el método a una red "chica" sin bombas, a la misma red con una bomba y a una red "grande", como es la red primaria de la ciudad de México.

Por último en el capítulo 5 se describen algunas conclusiones y recomendaciones sobre este trabajo.

2, FUNDAMENTOS TEORICOS

2.1 Ecuación del flujo en un tubo

El análisis del flujo a través de las redes de tubos está basado en dos de las leyes fundamentales de la Mecánica de los Fluidos: continuidad y conservación de la energía. Sea el conducto circular uniforme de longitud L mostrado en la fig 2.1 en términos de las secciones s e i ; de acuerdo con la ecuación de continuidad, se tiene que

$$Q = A_s V_s = A_i V_i \quad (2.1)$$

donde

Q gasto en el tubo

A área transversal de las secciones s e i

V velocidad media en las secciones s e i

y debido a que las secciones permanecen constantes se debe cumplir

$$V_s = V_i \quad (2.2)$$

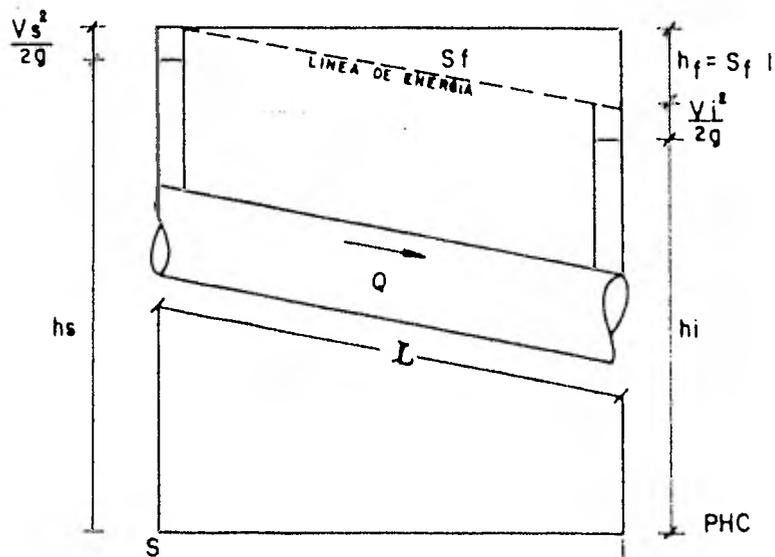


Fig. 2.1

Por otra parte aplicando la ecuación de conservación de la energía se tiene

$$h_s + \frac{V_s^2}{2g} = h_i + \frac{V_i^2}{2g} + S_f L \quad (2.3)$$

donde

h carga de posición

$\frac{V^2}{2g}$ carga de velocidad

$S_f L$ pérdida de carga por resistencia al flujo entre las secciones s e i

Por último, al sustituir 2.2 en 2.3 se obtiene como la ecuación de flujo en un tubo

$$h_s - h_i = S_f L \quad (2.4)$$

2.2 Fórmulas y coeficientes de fricción

Mediante observaciones y experimentos se han establecido algunos principios generales, para describir la resistencia al flujo en tubos, comúnmente llamada "fricción". Dichos principios pueden enunciarse brevemente como sigue

1. La pérdida por fricción h_f en flujo turbulento generalmente aumenta con la rugosidad del tubo. Cuando el flujo es laminar la pérdida por fricción es independiente de la rugosidad.
2. La pérdida por fricción es directamente proporcional al área de la superficie mojada ($\pi D L$).
3. La pérdida por fricción varía en relación inversa con el diámetro del tubo elevado a alguna potencia ($1/D^x$).
4. La pérdida por fricción varía de acuerdo con la velocidad elevada a alguna potencia (V^n).
5. La pérdida por fricción varía con la viscosidad cinemática que se define como la relación entre la viscosidad dinámica y la densidad del fluido $(\mu/\rho)^r$.

De acuerdo con los principios anteriores, es posible escribir una ecuación de pérdida de carga por resistencia al flujo o de fricción como

$$h_f = (K') (\pi D L) \left(\frac{1}{D^x} \right) (V^n) \left(\frac{\mu}{\rho} \right)^r \quad (2.5)$$

en la cual K' es un coeficiente combinado de rugosidad y proporcionalidad.

Si se hace $x = m + 1$, la ec 2.5 queda

$$h_f = K' \pi \left(\frac{\mu}{\rho} \right)^r \left(\frac{L}{D^m} \right) (V^n) \quad (2.6)$$

Fórmula de Darcy - Weisbach

La ec 2.6 puede escribirse como

$$h_f = K \frac{L}{D^m} V^n \quad (2.7)$$

donde

$$K = K' \pi \left(\frac{\mu}{\rho} \right)^r$$

Chezy en 1775 señaló que la pérdida de carga en conductos varía aproximadamente con el cuadrado de la velocidad. A mediados del siglo XIX, Darcy, Weisbach y otros aceptaron el valor dado por Chezy, de $n = 2$ propusieron que $m = 1$; usando estos valores y dividiendo y multiplicando la ec 2.7 por $2g$ se obtiene

$$h_f = \frac{K L}{2g} V^2$$

Reuniendo $2g K$ en un solo factor f (llamado factor de fricción), se obtiene la conocida fórmula para resistencia al flujo en tubos

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (2.9)$$

Es conveniente hacer las siguientes observaciones con respecto a la fórmula anterior:

1. La pérdida de carga en flujo turbulento no varía con el cuadrado de la velocidad, sino con potencias de 1.7 en adelante. Esta discrepancia debe tomarse en cuenta usando el valor de f más adecuado.
2. Puesto que, por definición, $V = \frac{Q}{A}$, para el caso de sección circular se tiene

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D^2} \quad (2.10)$$

Dados Q , f y L , la pérdida de carga varía inversamente con el diámetro elevado a la quinta potencia. Sin embargo, se ha demostrado experimentalmente (ref 6) que, en realidad, el valor del exponente del diámetro está más cerca de 5.25 y que por lo tanto, el exponente de D en la fórmula 2.9 debe ser aproximadamente 1.25. Esta discrepancia también puede solucionarse en parte corrigiendo el valor de f .

Para la determinación de f se han usado métodos empíricos du-

estos métodos como el de Poiseville, Blasius, Nikuradse, Colebrook y White son tratados en la ref 12.

Si se expresa la ec 2.7 en función de la pendiente se tiene

$$V = \left(\frac{1}{K} \right)^{1/n} D^{m/n} S_f^{1/n} \quad (2.11)$$

haciendo

$$\begin{aligned} C' &= \left(\frac{1}{K} \right)^{1/n} \\ Y &= \frac{m}{n} \\ z &= \frac{1}{n} \end{aligned}$$

se obtiene

$$V = C' D^Y S_f^z \quad (2.12)$$

Si el diámetro se expresa en términos del radio hidráulico ($D = 4 R$), resulta

$$V = C'' R^Y S_f^z \quad (2.13)$$

donde

$$C'' = C' (4^Y)$$

Las expresiones 2.7, 2.12 y 2.13 generalmente son aplicadas para todos los fluidos. Los valores numéricos de los coeficientes y exponentes se determinan a partir de datos experimentales.

Fórmula de Chezy

S_f y D por $4R$.

$$V = \left(\sqrt{\frac{8g}{f}} \right) \left(\sqrt{RS} \right) \quad (2.14)$$

o

$$V = C \sqrt{RS} \quad (2.15)$$

donde $C = \sqrt{8g/f}$ es el llamado coeficiente de Chezy, que está en función de las mismas variables que el coeficiente f de Darcy - Weisbach, por lo que está sujeto a las mismas observaciones. Además, como en el caso de f , es necesario hacer uso de tablas con valores empíricos para obtener el valor de C .

Fórmula de Manning

La fórmula de Manning es una de las más conocidas en el cálculo de pérdidas en canales, aunque se usa también comúnmente en tubos.

Manning, a partir de datos experimentales de flujo en canales, concluyó que los valores de y y z en la ec 2.13 son respectivamente $\frac{2}{3}$ y $\frac{1}{2}$ y que existe gran similitud entre los valores de C y el recíproco de la n de Kutter. En el sistema métrico su fórmula es

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_f^{1/2} \quad (2.16)$$

que se puede comparar con la fórmula de Chezy haciendo

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad (2.17)$$

Fórmula de Hazen - Williams

Estos investigadores obtuvieron su fórmula experimentando con flujo en tubos y canales; sin embargo se usa más en tubos. La fórmula en el sistema métrico es

$$V = 0.8492 C_H R^{0.63} S_F^{0.54} \quad (2.18)$$

Esta fórmula generalmente se usa en un sistema mixto y en función del diámetro, siendo

$$Q = 0.0177435 C_H D^{2.63} S_F^{0.54} \quad (2.19)$$

donde

Q gasto, en ℓ/s

D diámetro, en pulg

Los autores publicaron una tabla donde se recomiendan valores de C_H para flujo de agua en tubos (ref 14).

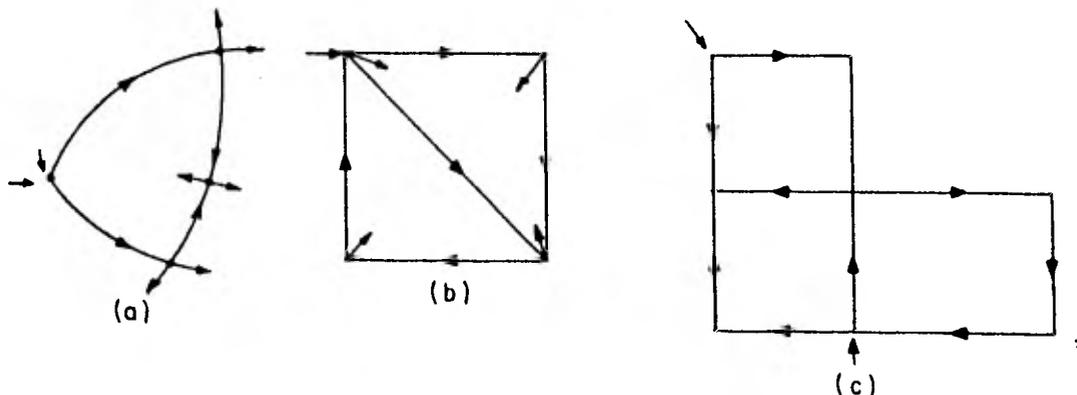
Existen otras fórmulas propuestas por otros autores que generalmente adoptan la forma de la ec 2.13 variando los valores de los exponentes y coeficientes de acuerdo a sus experiencias, o que simplemente adoptan la fórmula de Chezy y proponen alguna fórmula para el cálculo de C , como Bazin y Kutter (ref 12).

En el método que posteriormente se desarrollará existe la opción de usar la fórmula de fricción que se desee. En la tabla 3.1 se dan los valores de los coeficientes y exponentes de las de Darcy - Weisbach, Manning y Hazen - Williams, que son las más usadas.

2.3 Definición de redes cerradas y abiertas

Redes cerradas. Son aquellas en las que los conductos que las componen están intercomunicados de tal manera que se encuentran formando al menos un circuito (fig 2.2). Se entiende por circuito aquel arreglo de tubos donde el agua que sale por un punto puede llegar al mismo después de moverse en una cierta trayectoria por los tubos que lo forman.

Su análisis se referirá a encontrar los niveles piezométricos o los gastos a partir de las características geométricas y de rugosidad de los tubos que forman la red, y de los gastos que entran o salen de la misma.



Redes abiertas. Los tubos que las componen no forman ningún circuito (fig 2.3)

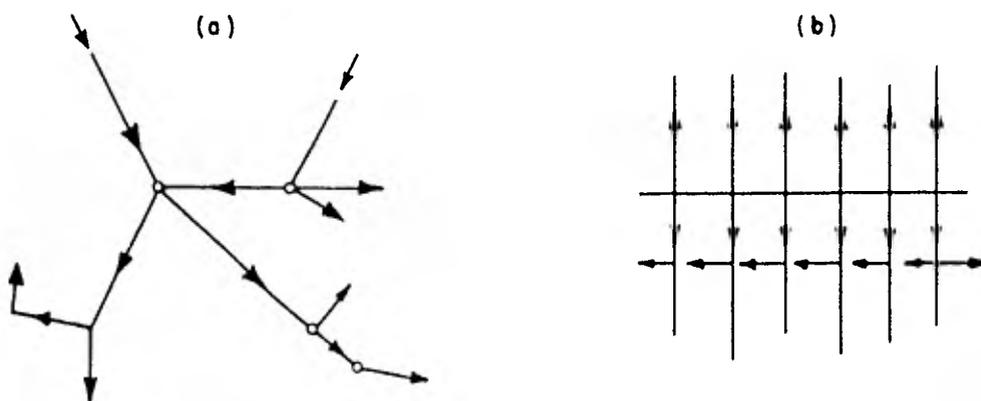


Fig. 2.3 Redes abiertas

En ambos tipos de redes los extremos finales pueden terminar en un recipiente, descargar libremente a la atmósfera o estar cerrados.

En general, los sistemas de abastecimiento de agua potable son redes cerradas, por lo que el método que se propondrá aquí es para este tipo de redes.

2.4 Gastos de demanda y gasto máximo horario en el día de máxima demanda

Para el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable es necesario conocer las variaciones mensuales, diarias y horarias de los consumos.

Las variaciones en períodos de un mes o más se emplean en el diseño de los almacenamientos de reserva y las variaciones en períodos cortos (en algunos días u horas) se emplean para el diseño de bombas, purificadores, etc.

Variaciones mensuales. Generalmente existen meses de mayor o menor consumo de agua, dependiendo del clima, costumbre, actividades y otros muchos factores. Esta variación mensual de consumo alcanza un máximo en verano en casi todos los casos, debido al agua que se emplea en el aseo personal, para refrescar animales, para regar jardines, para enfriar los condensadores de las instalaciones de aire acondicionado, etc; este máximo generalmente ocurre durante dos o tres meses. Un segundo máximo puede ocurrir en invierno, cuando en algunos lugares el agua se deja correr desperdiciándose con el fin de evitar que las tuberías se congelen y se rompan.

En la tabla 2.1 se presenta la variación mensual, en porcentaje, según experiencias llevadas a cabo en 500 poblados de Estados Unidos.

mes	enero	feb	mar	abril	mayo	junio	jul	agosto	sep	oct	nov	dic
variación mensual	87.5	82.3	90.7	92.8	103.0	113.6	119.0	116.5	107.0	102.3	93.5	91.8

Tabla 2.1 Variaciones mensuales de la demanda en porcentaje respecto a la media (ref 13)

Variaciones diarias. Así como existen variaciones mensuales en los consumos, también las hay en el transcurso del día. Es importante saber cuándo se presenta el mayor consumo normal en un día, para considerarlo en el abastecimiento de agua y evitar escasez en los días de gran demanda.

Generalmente, el valor máximo de consumo diario ocurre en el mes de mayor consumo.

La variación diaria se expresa como el gasto medio anual multiplicado por un coeficiente C_d que para los lugares de clima uniforme, en los que se consume aproximadamente la misma cantidad de agua en todos los días de la semana, $C_d = 1.20$. Para aquellas regiones de clima variable pero no extremoso, se usa $C_d = 1.35$; para lugares de clima extremoso y seco $C_d = 1.50$; para lugares de clima muy extremoso como en las regiones desérticas, $C_d = 1.75$ (ref 13).

La Organización Panamericana de la Salud (ref 8) recomienda los siguientes coeficientes de variación diaria:

clima templado	1.4 a 1.6
clima cálido y húmedo	1.2 a 1.4
clima de regiones áridas	1.8 a 2.0

Variaciones horarias. En caso de que no existan desperdicios

noche es relativamente pequeño y en zonas residenciales casi nulo; el consumo se incrementa generalmente por las mañanas, se vuelve a presentar un decremento para posteriormente alcanzar el valor de máximo consumo después de las seis de tarde. En la fig 2.4 se muestra la variación horaria de consumo de tres lugares de Estados Unidos; en cada caso la línea continua representa el día de máximo consumo entre los años de 1936 y 1939.

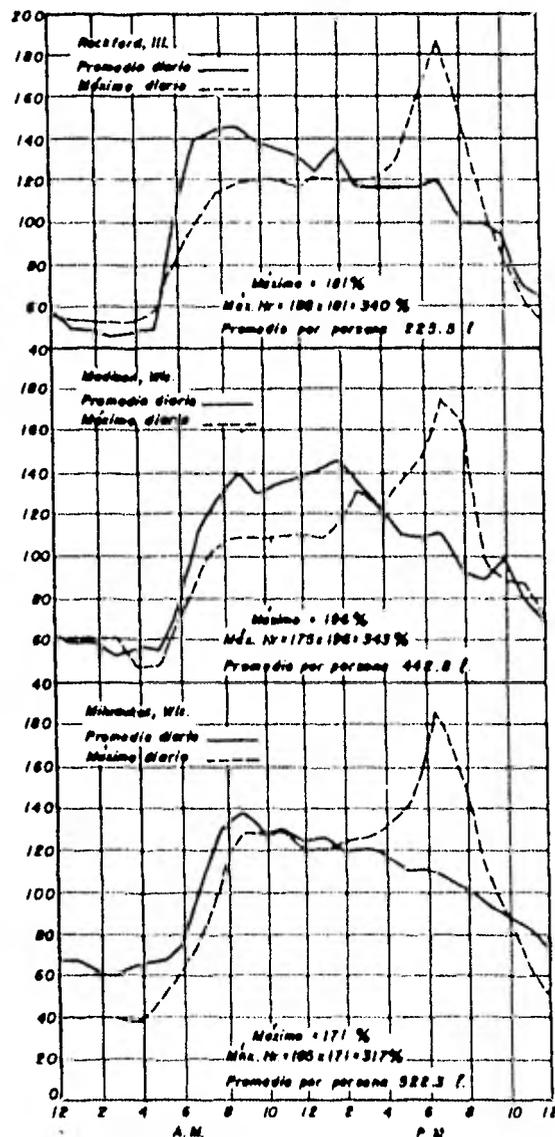


FIG. 24 CONSUMOS HORARIOS

Tabla 2.2

DELEGACION	POBLACION	DOTACION l/h/d.					TOTAL
		HABITANTES	USO DOMESTICO	COMERCIO Y SERVICIOS	USO PUBLICO	USO INDUSTRIAL	
1. AZCAPOTZALCO	618518	240.1	37.9	54.8	112.73	445.53	
2. COYOACAN	669202	279.6	16.6	58.4	100.19	454.79	
3. CUAJIMALPA	205075	229.6	3.8	46.0	---	279.40	
4. G. A. MADERO	1895948	228.9	14.6	48.0	44.25	335.75	
5. IZTACALCO	631201	233.9	15.7	49.2	1.37	300.17	
6. IZTAPALAPA	1101051	233.4	8.3	47.6	23.00	312.30	
7. M. CONTRERAS	171955	274.1	6.7	55.4	---	336.20	
8. MILPA ALTA	88163	232.7	5.4	46.9	---	285.00	
9. A. OBREGON	1053100	271.3	9.0	55.3	---	335.60	
10. TLALPAN	315071	268.9	8.4	54.7	---	332.00	
11. TLAHUAC	317706	223.6	1.2	45.5	---	276.30	
12. XOCHIMILCO	439152	206.4	27.7	46.1	22.82	303.02	
13. B. JUAREZ	661086	300.3	108.1	80.5	---	488.90	
14. CUAHUTEMOC	894066	205.6	356.3	110.8	13.24	685.94	
15. M. HIDALGO	721334	267.6	107.7	74.0	89.48	538.78	
16. V. CARRANZA	895254	232.2	52.8	56.2	32.52	373.72	

Promedio = 380.21 l/h/d por delegación

Como en los casos anteriores, interesa saber el valor máximo de consumo horario; se han fijado coeficientes de variación horaria (Ch) según las condiciones prevalentes en la región.

La Organización Panamericana de la Salud (ref 8) recomienda como coeficientes de variación horaria de 2.0 a 2.5, excepto en regiones desarrolladas, donde pueden ser aún mayores. En estas regiones el valor estaría más relacionado con el área servida que con la población.

Para calcular los consumos máximos, generalmente, se usan únicamente los coeficientes de variación diaria y horaria, despreciando el mensual.

El consumo medio horario de agua en una población se calcula de acuerdo con la ecuación

$$V_{md} = DH \quad (2.20)$$

donde

- V_{md} volumen medio de agua potable, en ℓ
- D dotación de agua, en ℓ/hab/día
- H número de habitantes

En la tabla 2.2 se da la dotación por delegación en la ciudad de México, proporcionada por el D.D.F.

El consumo medio diario es entonces

$$Q_{mh} = \frac{DH}{86400} \quad (2.21)$$

donde

Q_{mh} gasto medio diario, en ℓ
y el gasto máximo diario Q_{Md} será por tanto

$$Q_{Md} = C_d Q_{md} \quad (2.22)$$

y el gasto máximo horario Q_{Mh} se calculará como

$$Q_{Mh} = C_h Q_{md} \quad (2.23)$$

Por último, para obtener el gasto máximo horario en el día de máxima demanda se emplea la ecuación

$$Q_{MM} = C_d C_h Q_{md} \quad (2.24)$$

2.5 *Requisitos que debe cumplir una red desde el punto de vista de "abastecimiento de agua potable".*

Un sistema de distribución de agua potable debe diseñarse para comprender las fluctuaciones en las demandas domésticas, industriales y otras. Sin embargo, la capacidad para satisfacer estos requerimientos no depende únicamente del consumo, sino también de la presión disponible.

Si no existe riesgo de incendios, la capacidad hidráulica del sistema de distribución se calcula a partir de la demanda máxima para los usos domésticos, industriales y otros. Para una se

guridad absoluta, se agregaría la demanda para incendios.

Respecto a la presión del agua en la línea de la calle para consumos normales, Turneaure y Russell (ref 13) admiten como presión mínima 18 m de columna de agua en zonas residenciales y 21 m en zonas comerciales y 28 y 32m respectivamente como presión máxima; Fair, Geyer y Okun (ref 2) admiten como presión mínima 14m para poder elevar el agua por lo menos tres pisos y para vencer la resistencia por fricción del sistema de distribución de la casa, pero aclaran que es más deseable tener 28m y que las manzanas comerciales se abastecen más satisfactoriamente con presiones mínimas de 42 a 53 m; la Organización Panamericana de la Salud (ref 8) admite como presión mínima de 14 a 15 m, excepto en las partes aisladas en donde se admite que se reduzca a 8 m y como presión máxima 40m; las normas de proyecto para obras de aprovisionamiento de agua potable (ref 10) en localidades urbanas pequeñas admiten una presión mínima de 10 m. Recomiendan que para localidades con diferencias de nivel mayores de 50 m las redes de distribución se proyecten por zonas, de tal manera que la carga estática máxima no sobrepase los 50 m.

Para evitar que se formen adherencias en las paredes de los tubos (generalmente carbonato de calcio), se ha puesto de manifiesto experimentalmente que la velocidad óptima de circulación de agua debe estar comprendida entre 1.20 y 1.80 m/s; conside-

rando esto, se puede establecer el diámetro mínimo requerido en una población (ref 8).

2.6 Planteamiento del problema

Sea por ejemplo la red de la fig 2.5, de la cual se desea conocer los niveles piezométricos o los gastos en todos sus tramos, siendo conocidas las características geométricas y de rugosidad de los tubos, los gastos que entran o salen de la red y el nivel piezométrico en el nudo 5.

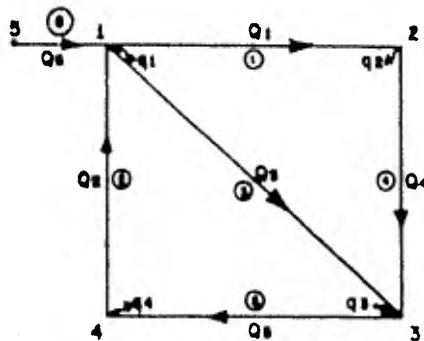


Fig. 2.5

donde

1,2,... número de nudo

1,2,... número de tubo

$Q_1, Q_2 \dots$ gasto en el tubo, en donde el subíndice indica el tubo correspondiente

$q_1, q_2 \dots$ gasto de ingreso o egreso en el nudo, en donde el subíndice indica el nudo correspondiente

En cada nudo debe cumplirse la ecuación de continuidad, es decir, los gastos en los tubos que llegan a un mismo nudo deben ser iguales a los gastos de ingreso o egreso de la red en el mismo; para la red en estudio

$$\begin{aligned}
 \text{Nudo 1} \quad q_1 &= -Q_1 + Q_2 - Q_3 + Q_6 \\
 \text{Nudo 2} \quad q_2 &= Q_1 - Q_4 \\
 \text{Nudo 3} \quad q_3 &= -Q_3 - Q_4 + Q_5 \\
 \text{Nudo 4} \quad q_4 &= -Q_2 + Q_5
 \end{aligned} \tag{2.25}$$

Por otro lado, si en la ec 2.13 se substituyen $V = Q/A$ y $S_f = \tilde{L}(h_s - h_i)$ se tiene

$$\begin{aligned}
 Q &= AC'' R^Y L^{Yz} (h_s - h_i)^z \\
 \text{y si} \quad K &= AC'' R^Y L^{Yz} \\
 Q &= K (h_s - h_i)^z
 \end{aligned} \tag{2.26}$$

y por último, si se substituye la ec 2.26 en el sistema 2.25 se tiene

$$\begin{aligned}
 q_1 &= -K_1 (h_1 - h_2)^z + K_2 (h_4 - h_1)^z - K_3 (h_1 - h_3)^z + K_6 (h_5 - h_1)^z \\
 q_2 &= K_1 (h_1 - h_2)^z - K_4 (h_2 - h_3)^z \\
 q_3 &= -K_3 (h_1 - h_3)^z - K_4 (h_2 - h_3)^z + K_5 (h_3 - h_4)^z \\
 q_4 &= -K_2 (h_4 - h_1)^z + K_5 (h_3 - h_4)^z
 \end{aligned} \tag{2.27}$$

Lo que representa un sistema de ecuaciones no lineales, ya que $z \neq 1$.

3. DESCRIPCION DEL METODO

Para resolver el sistema de ecuaciones no lineales 2.27 existen métodos basados en la idea de transformarlos a sistemas lineales y llegar a su solución por aproximaciones sucesivas.

El funcionamiento de estos métodos puede aclararse con el siguiente ejemplo

Problema: Encontrar la raíz cuadrada de C

Solución:

La ec. que describe el problema puede escribirse como $x^2 - C = 0$, donde X es la incógnita, la cual se propone encontrar mediante la fórmula

$$x_{n+1} = \frac{x_n^2 + C}{2x_n}$$

En esta ec el subíndice representa el número de iteración que se está realizando.

Sea $C = 2$; tomando como primera aproximación $x_0 = 1$ se tiene, al sustituir en la fórmula propuesta, que

$$x_1 = \frac{1^2 + 2}{2(1)} = 1.5$$

con este resultado la siguiente iteración queda

$$x_2 = \frac{(1.5)^2 + 2}{2(1.5)} = 1.416666$$

del mismo modo

$$x_3 = \frac{(1.416666)^2 + 2}{2(1.416666)} = 1.4114215687$$

y así sucesivamente se obtiene

$$x_4 = 1.4114213562$$

$$x_5 = 1.414213562$$

Por otra parte se sabe que 1.414213562 es el valor redondeado (hasta la novena cifra decimal), de $\sqrt{2}$, por lo que se observa que en la cuarta iteración el método dió un buen resultado de la raíz buscada; otro aspecto del método que se puede resaltar es que, entre más iteraciones se realizan, los resultados se acercan más a la solución.

El método utilizado corresponde al de Newton - Raphson (ref 5), cuya fórmula de recurrencia es

3.1 Deducción de la ecuación de aproximación

El método de Newton - Raphson es empleado por algunos autores (ref 4,7,11 y 15) para proponer procedimientos de solución a los problemas de redes de tubos.

Los resultados obtenidos al aplicar estos métodos no siempre son satisfactorios, pues dependen de la estimación inicial de la solución y además requieren un gran almacenamiento de memoria y tiempo de cómputo. En esta tesis se propone un método más eficiente.

La ec 2.26 puede escribirse como

$$h_s - h_c = \frac{1}{K^{1/z}} Q^{1/z} \quad (3.2)$$

haciendo

$$k = \frac{1}{K^{1/z}}$$

y

$$m = 1/z$$

la ec 3.2 queda

$$h_s - h_c = k Q^m$$

Se observa que $h_s - h_c$ es una función de Q , que se puede escribir como

$$f(Q) = h_s - h_c = k Q^m \quad (3.3)$$

Por otra parte, se sabe que el desarrollo en serie de Taylor (ref 5) de una función $f(x)$ es

$$f(x) = f(a) + f'(a)(x-a) + \frac{f''(a)}{2!} (x-a)^2 + \frac{f'''(a)}{3!} (x-a)^3 + \dots + \frac{f^{(n)}(a)}{n!} (x-a)^n + \dots$$

al cortar la serie en el tercer término, aparece un error de truncado que se considera de la siguiente manera

$$f(x) = f(a) + f'(a)(x-a) + \frac{f''(a+\alpha)(x-a)^2}{2!}$$

donde

$$0 < \alpha < 1$$

Definiendo

$$a = Q$$

$$x = Q + \Delta Q$$

Se tiene

$$f(Q + \Delta Q) = f(Q) + f'(Q)\Delta Q + \frac{f''(Q + \alpha \Delta Q)}{2!} \Delta Q^2 \quad (3.5)$$

Si se hace

$$Q = Q^J$$

$$Q^J + \Delta Q = Q^{J+1}$$

y el término $\frac{f''(Q + \alpha \Delta Q)}{2!} \Delta Q^2$ se condiera burdamente como $0\Delta Q$; donde 0 es una constante que considera el error de truncado, aunque desde luego se puede ignorar igualándola a cero, pero esta aproximación ha resultado satisfactoria en los cálculos realizados.

De esta forma se tiene

$$f(Q^{J+1})^* = f(Q^J) + f'(Q^J)(Q^{J+1} - Q^J) + O(Q^{J+1} - Q^J) \quad (3.6)$$

Para desarrollar la función 3.3 en la forma dada por 3.6 se tiene

$$f'(Q) = m k Q^{m-1}$$

o sea

$$f'(Q^J) = m k (Q^J)^{m-1} \quad (3.7)$$

Si se hace

$$f(Q^{J+1}) = h_s^{J+1} - h_i^{J+1} \quad (3.8)$$

y como

$$f(Q^J) = k (Q^J)^m \quad (3.9)$$

al sustituir 3.7, 3.8 y 3.9 en 3.6 se tiene

$$h_s^{J+1} - h_i^{J+1} = k (Q^J)^m + m k (Q^J)^{m-1} (Q^{J+1} - Q^J) + O(Q^{J+1} - Q^J) \quad (3.10)$$

y despejando Q^{J+1}

$$Q^{J+1} = \frac{h_s^{J+1} - h_i^{J+1}}{m k (Q^J)^{m-1} + 0} + \frac{[(m-1) k (Q^J)^{m-1} + 0] Q^J}{m k (Q^J)^{m-1} + 0} \quad (3.11)$$

Para tomar en cuenta el signo del gasto, de acuerdo a la convención adoptada por el sentido de su recorrido, se emplea la ec 3.3 como

$$h_s - h_i = k |Q|^{m-1} Q \quad (3.12)$$

ya que si $h_s > h_i$, $Q > 0$ y la ec sería $h_s - h_i = C Q^m$
 pero si $h_s < h_i$, $Q < 0$ y la ec sería $h_i - h_s = C Q^m$

* los superíndices J y J + 1 representan el número de iteración

donde $C = k |Q|^{m-1}$

Se puede demostrar esto en la ec 3.11, si esta se modifica y se escribe

$$Q^{J+1} = \frac{h_s^{J+1} - h_i^{J+1}}{mk |Q^J|^{m-1} + 0} + \frac{[(m-1) k |Q^J|^{m-1} + 0] Q^J}{m k |Q^J|^{m-1} + 0} \quad (3.13)$$

Si se hace

$$\alpha_n^J = \frac{1}{mk_n |Q_n^J|^{m-1} + 0} \quad (3.14)$$

y

$$\gamma_n^J = \left(\frac{m-1}{m} + \frac{\theta}{m} \alpha_n^J \right) Q_n^J \quad (3.15)$$

donde el subíndice n denota el tubo en cuestión; la ec 3.13, en forma abreviada, queda

$$Q_n^{J+1} = \alpha_n^J h_s^{J+1} - \alpha_n^J h_i^{J+1} + \gamma_n^J \quad (3.16)$$

La ec anterior es de tipo lineal, pues los coeficientes α_n^J y γ_n^J se conocen de la iteración anterior J.

Los valores de m y k, de acuerdo con las fórmulas de fricción de Darcy - Weisbach, Manning y Hazen - Williams aparecen en la tabla 3.1

3.2 Método de solución

Sea la red de la fig 2.6. Si para cada gasto se sustituye la ec 3.16 en la de continuidad para cada nudo (ec 2.25) se puede

Tabla 3.1

Fórmula	k	m
Darcy - Weisbach	$0.826 \frac{f \ell}{d^2}$	2
Manning	$10.2936 \frac{n_m^2 \ell}{d^{5.333}}$	2
Hazen - Williams	$10.67 \frac{\ell}{C_H^{1.852} d^{4.8682}}$	2

Los valores de k de esta tabla son usados para obtener la pérdida de carga en m, cuando el gasto está en m^3/s y la longitud (ℓ) y el diámetro (d) están en m.

establecer el siguiente sistema de ecuaciones lineales:

$$\begin{aligned}
 & (-\alpha_1^J - \alpha_2^J - \alpha_3^J - \alpha_6^J) h_1^{J+1} + \alpha_1^J h_2^{J+1} + \alpha_3^J h_3^{J+1} + \alpha_2^J h_4^{J+1} = \\
 & \quad q_1 + \gamma_1^J - \gamma_2^J - \gamma_3^J - \gamma_6^J - \alpha_6^J h_5^J \\
 & \alpha_1^J h_1^{J+1} + (-\alpha_1^J - \alpha_4^J) h_2^{J+1} + \alpha_4^J h_3^{J+1} = q_2 - \gamma_1^J + \gamma_4^J \quad (3.17)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \alpha_3^J h_1^{J+1} + \alpha_4^J h_2^{J+1} + (-\alpha_3^J - \alpha_4^J - \alpha_5^J) h_3^{J+1} + \alpha_5^J h_4^{J+1} = -q_3 - \gamma_3^J - \gamma_4^J + \gamma_5^J \\
 & \alpha_2^J h_1^{J+1} + \alpha_5^J h_3^{J+1} + (-\alpha_2^J - \alpha_5^J) h_4^{J+1} = q_4 + \gamma_2^J - \gamma_5^J
 \end{aligned}$$

h_5 aparece en los términos independientes, ya que es conocido.

En forma general, el sistema 3.17 se puede escribir como

$$\{ \alpha^J \} \{ h^{J+1} \} = \{ q, \gamma^J \} \quad (3.18)$$

donde

$$\begin{aligned}
 \{ \alpha^J \} & \quad \text{matriz de coeficientes} \\
 \{ h^{J+1} \} & \quad \text{vector de incógnitas} \\
 \{ q, \gamma^J \} & \quad \text{vector de términos independientes}
 \end{aligned}$$

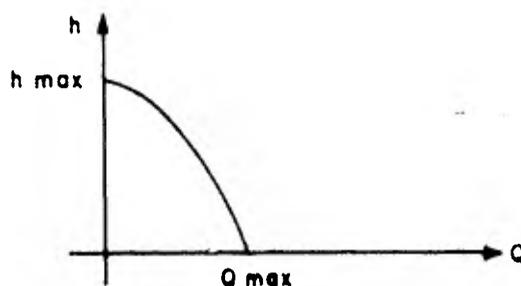
Para resolver el sistema 3.18 y de este modo conocer los niveles piezométricos en la red, se usa el siguiente método de solución:

1. Se hace $J=0$ y se suponen los gastos en los tubos (Q_n^0).
2. Se calculan α_n^J y γ_n^J para todos los tubos.

3. Se forma el sistema de ecuaciones lineales 3.18.
4. Se resuelve el sistema obtenido en el paso 3 y se encuentra $\{h^{J+1}\}$.
5. Con los valores obtenidos en 4, se calculan los gastos en cada tubo (Q_n^{J+1}).
6. Se comparan los gastos Q_n^J con Q_n^{J+1} ; si son aproximadamente iguales se va al paso 7; de otro modo, se hace $J = J + 1$ y se va al paso 2.
7. La solución está dada por los niveles piezométricos en los nudos h^{J+1} y los gastos en los tubos Q_n^{J+1} .

3.3 Condición de bombas en la red

Si la red en estudio tiene bombas, se puede considerar su operación mediante sus curvas características.



Estas curvas se pueden ajustar a un polinomio de tercer grado dado por:

$$Q = a + b h + c h^2 + d h^3$$

al diferenciar esta ec, se tiene

$$dQ = (a_1 + 2a_2h + 3a_3h^2) dh \quad (3.20)$$

y al hacer

$$dQ = Q^{J+1} - Q^J$$

$$dh = h^{J+1} - h^J$$

la ec 3.20 resulta

$$Q^{J+1} = [a_1 + 2a_2h^J + 3a_3(h^J)^2] h^{J+1} - [a_1 + 2a_2h^J + 3a_3(h^J)^2] h^J \quad (3.21)$$

además, si

$$\alpha_B = a_1 + 2a_2h^J + 3a_3(h^J)^2 \quad (3.22)$$

$$\gamma_B = Q_B^J - \alpha_B h^J \quad (3.23)$$

la ec 3.21, en forma abreviada, queda

$$Q^{J+1} = \alpha_B h^{J+1} + \gamma_B \quad (3.24)$$

De esta manera para aquellos nudos que contengan bombas, el gasto que aportan éstas es considerado a partir de las constantes α_B y γ_B dadas con las ecs 3.22 y 3.23; este gasto se toma en cuenta en la ec de continuidad del nudo con bomba. Los coeficientes que intervienen en α_B y γ_B pueden obtenerse mediante un ajuste por mínimos cuadrados o seleccionando cuatro parejas de puntos de la curva de operación de la bomba y haciendo pasar por ellos el polinomio de tercer grado.

Si se considera la red de la fig 2.6 y se supone que existe una

bomba en el nudo 2; se tiene el siguiente sistema:

$$(-\alpha_1^J - \alpha_2^J - \alpha_3^J - \alpha_6^J) h_1^{J+1} + \alpha_1^J h_2^{J+1} + \alpha_3^J h_3^{J+1} + \alpha_2^J h_4^{J+1} = q_1 + \gamma_1^J - \gamma_2^J + \gamma_3^J - \gamma_6^J - \alpha_6^J h_5^J$$

$$\alpha_1^J h_1^{J+1} + (-\alpha_1^J - \alpha_4^J + \alpha_B^J) h_2^{J+1} + \alpha_4^J h_3^{J+1} = q_2 - \gamma_1^J + \gamma_4^J - \gamma_B^J$$

$$\alpha_3^J h_1^{J+1} + \alpha_4^J h_2^{J+1} + (\alpha_3^J - \alpha_4^J - \alpha_5^J) h_3^{J+1} + \alpha_5^J h_4^{J+1} = -q_3 - \gamma_3^J - \gamma_4^J + \gamma_5^J$$

$$\alpha_2^J h_1^{J+1} + \alpha_5^J h_3^{J+1} + (-\alpha_2^J - \alpha_5^J) h_4^{J+1} = q_4 + \gamma_2^J - \gamma_5^J$$

Nótese que en la segunda ec se han agregado los términos α_B y γ_B .

En forma abreviada el sistema 3.25 se puede escribir como

$$\left\{ \alpha^J, \alpha_B^J \right\} \left\{ h^{J+1} \right\} = \left\{ q, \gamma^J, \gamma_B^J \right\} \quad (3.26)$$

Los pasos a seguir en el método al considerar bombas son similares a los señalados anteriormente, excepto que los pasos 3 y 5 deben ser ahora.

3. Se forma el sistema de ecuaciones lineales 3.26
5. Con los valores obtenidos en 4, se calculan los gastos en cada tubo (Q_n^{J+1}) y para los nudos con bomba se calcula Q_B^{J+1} con la ec 3.19.

4. APLICACIONES

El método de solución planteado en el capítulo anterior se aplica a tres ejemplos para ilustrar su uso; el primero contempla una red pequeña sin bombas, el segundo la misma red con una bomba y el tercero la red primaria de abastecimiento de agua potable de la ciudad de México, que es una red grande.

4.1 Ejemplo de una red pequeña sin bombas.

Dada la geometría de la red de la fig 4.1 y las demandas indicadas, se desea, conocer los gastos en los tubos y niveles piezométricos en los nudos. Se sabe que los tubos tienen acabado interior de cemento pulido. La tolerancia en la diferencia entre los gastos calculados en dos iteraciones sucesivas se tomará como de $0.001 \text{ m}^3/\text{s}$.

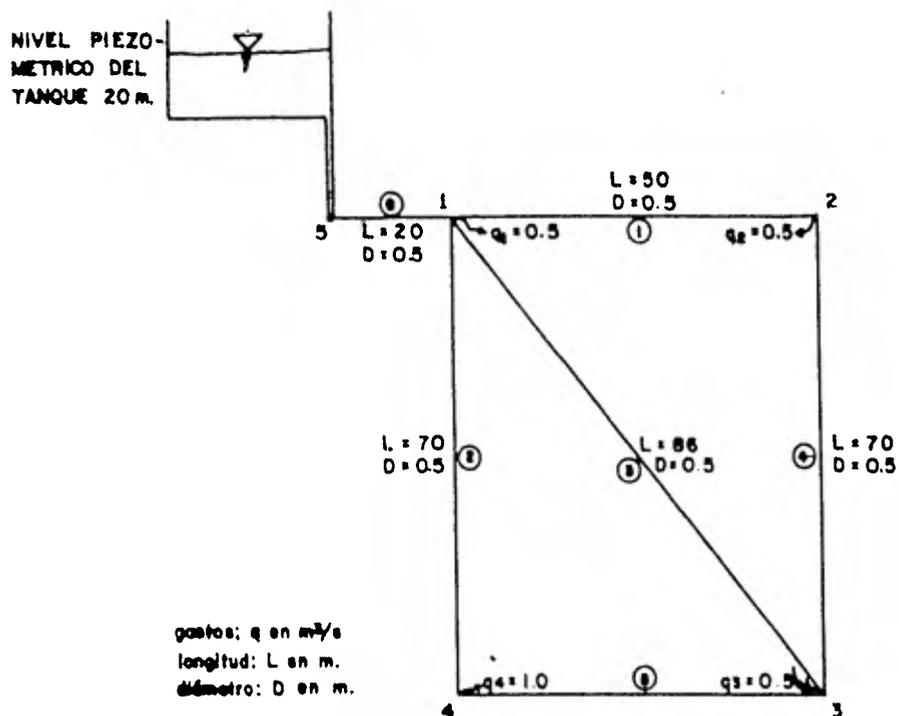


Fig. 4.1 Red del ejemplo

Solución

Los gastos estarán en m^3/s y los niveles piezométricos en m.

- 1.- Se suponen inicialmente los siguientes gastos en los tubos. Su sentido de recorrido es como el mostrado en la fig 2.5

$$Q_1 = 0.80$$

$$Q_2 = 0.10$$

$$Q_3 = 0.30$$

$$Q_4 = 0.30$$

$$Q_5 = 1.10$$

2. Estos gastos se sustituyen en las ecs 3.14 y 3.15, usando los valores de m y k correspondientes a la fórmula de Hazen - Williams (de la tabla 3.1), para $C_H = 100$, que corresponden al tipo de material de los tubos. Con estos valores y usando $\theta = 0$, se tiene

$$\begin{array}{ll} \alpha_1 = 0.2120 & \gamma_1 = 0.3680 \\ \alpha_2 = 0.8905 & \gamma_2 = 0.0460 \\ \alpha_3 = 0.2843 & \gamma_3 = 0.1380 \\ \alpha_4 = 0.3493 & \gamma_4 = 0.1380 \\ \alpha_5 = 0.1616 & \gamma_5 = 0.5060 \\ \alpha_6 = 0.3102 & \gamma_6 = 0.6900 \end{array}$$

3. Al sustituir los valores anteriores en el sistema 3.17 resulta.

$$\begin{array}{rcl} - 1.6971 h_1 + 0.2120 h_2 + 0.2841 h_3 + 0.8905 h_4 & = & - 5.9347 \\ 0.2120 h_1 - 0.5613 h_2 + 0.3491 h_3 & = & 0.2700 \\ 0.2843 h_1 + 0.3493 h_2 - 0.7952 h_3 + 0.1616 h_4 & = & - 0.2700 \\ 0.8905 h_1 & + & 0.1616 h_3 - 1.0522 h_4 = 0.5400 \end{array}$$

4. Resolviendo el sistema anterior, se encuentran los niveles piezométricos

$$\begin{array}{l} h_1 = 17.3893 \\ h_2 = 16.9300 \\ h_3 = 17.4237 \\ h_4 = 16.8814 \end{array}$$

5. Con estos valores se calculan los gastos para cada tubo según la ec 3.16

$$Q_1 = 0.4655$$

$$Q_2 = -0.4063$$

$$Q_3 = 0.1282$$

$$Q_4 = -0.0345$$

$$Q_5 = 0.5937$$

$$Q_6 = 1.5$$

6. Se termina la primera iteración, se comparan los valores de estos gastos con los anteriores y se observa que no cumplen con la tolerancia, por lo que se regresa al paso 2 para iniciar una nueva iteración

2. La segunda iteración se inicia usando los gastos obtenidos en la anterior, de las ecs 3.14 y 3.15

$$\alpha_1 = 0.3363$$

$$\gamma_1 = 0.2141$$

$$\alpha_2 = 0.2697$$

$$\gamma_2 = -0.1869$$

$$\alpha_3 = 0.5865$$

$$\gamma_3 = 0.0590$$

$$\alpha_4 = 2.2036$$

$$\gamma_4 = -0.0159$$

$$\alpha_5 = 0.2733$$

$$\gamma_5 = 0.2731$$

$$\alpha_6 = 0.3102$$

$$\gamma_6 = 0.6901$$

3. Al sustituir los valores de α_n y γ_n en 3.17 se tiene

$$-1.5027 h_1 + 0.3363 h_2 + 0.5865 h_3 + 0.2697 h_4 = -5.9347$$

$$0.3363 h_1 - 2.5399 h_2 + 2.2036 h_3 = 0.2700$$

$$0.5865 h_1 + 2.2036 h_2 - 3.0634 h_3 + 0.2733 h_4 = -0.2700$$

$$0.2697 h_1 + 0.2733 h_3 - 0.5431 h_4 = 0.5400$$

4. Resolviendo nuevamente el sistema resulta

$$h_1 = 17.3893$$

$$h_2 = 17.0810$$

$$h_3 = 17.1565$$

$$h_4 = 16.2778$$

5. Con los que se obtienen los siguientes gastos con la ec 3.16

$$Q_1 = 0.3178$$

$$Q_2 = -0.4867$$

$$Q_3 = 0.1955$$

$$Q_4 = -0.1822$$

$$Q_5 = 0.5133$$

$$Q_6 = 1.5$$

6. Se comparan los gastos con los obtenidos en la iteración anterior y se observa que todavía no cumplen con la tolerancia, por lo que se sigue iterando, regresando al paso 2. A continuación se muestran los resultados obtenidos en las siguientes iteraciones.

Tercera iteración	cuarta iteración	quinta iteración
$h_1 = 17.3893$	$h_1 = 17.3893$	$h_1 = 17.3893$
$h_2 = 16.9953$	$h_2 = 16.9947$	$h_2 = 16.9947$
$h_3 = 17.1574$	$h_3 = 17.1572$	$h_3 = 17.1572$
$h_4 = 16.2579$	$h_4 = 16.2578$	$h_4 = 16.2578$

Tercera iteración

cuarta iteración

quinta iteración

$$Q_1 = 0.3296$$

$$Q_2 = -0.4855$$

$$Q_3 = 0.1849$$

$$Q_4 = -0.1704$$

$$Q_5 = 0.5145$$

$$Q_6 = 1.5$$

$$Q_1 = 0.3300$$

$$Q_2 = -0.4860$$

$$Q_3 = 0.1847$$

$$Q_4 = -0.1703$$

$$Q_5 = 0.5144$$

$$Q_6 = 1.5$$

$$Q_1 = 0.3300$$

$$Q_2 = -0.4860$$

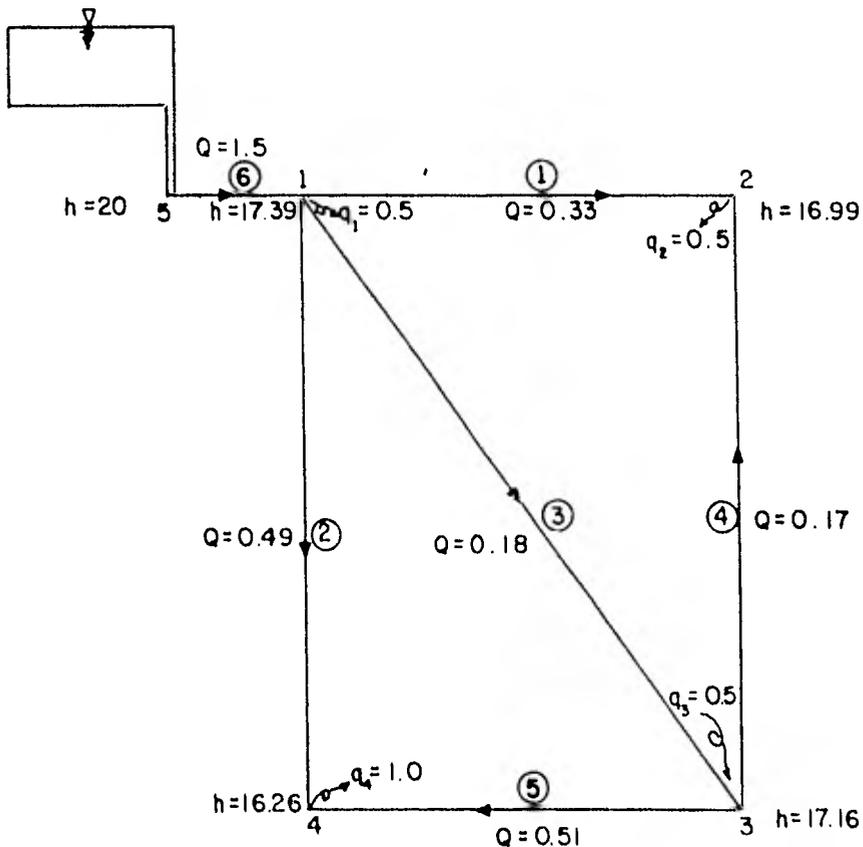
$$Q_3 = 0.1847$$

$$Q_4 = -0.1703$$

$$Q_5 = 0.5144$$

$$Q_6 = 1.5$$

Dado que la tolerancia se cumple en la quinta iteración, el cálculo se detiene ahí; la solución se muestra en la fig 4.2.



Niveles piezométricos h en m.
Gastos q, Q en $m^3/seg.$

Fig 4.2 SOLUCION

4.2 Ejemplo de una red pequeña con bomba

Resolver la misma red que en el ejemplo anterior, pero con una bomba en el nudo 2 (fig 4.3), cuya curva característica se muestra en la fig 4.4.

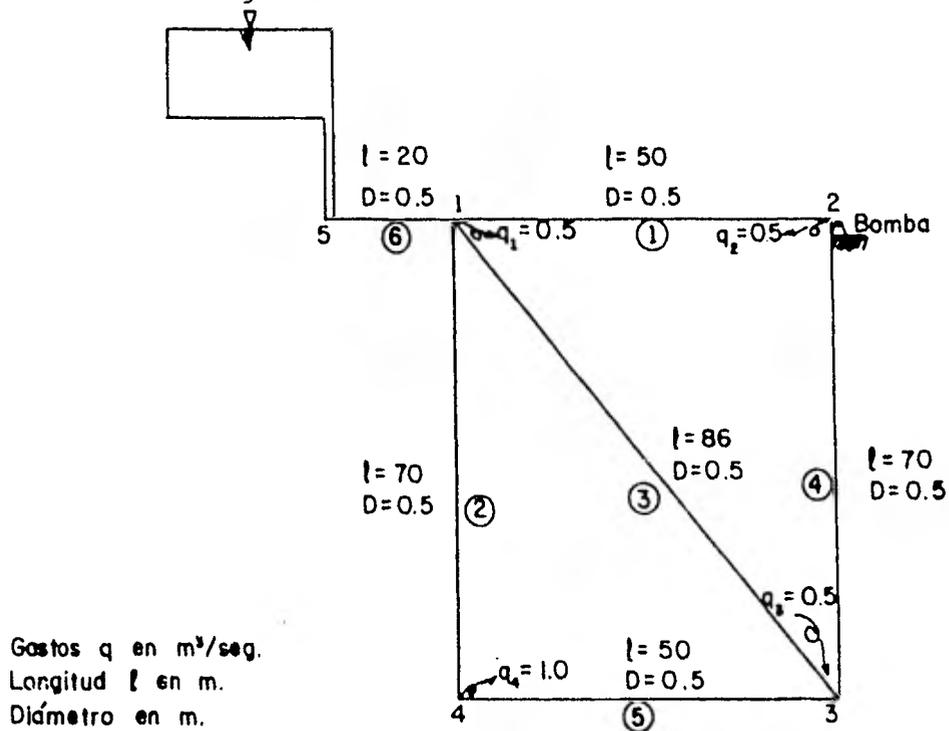


Fig. 4. 3 RED DEL EJEMPLO

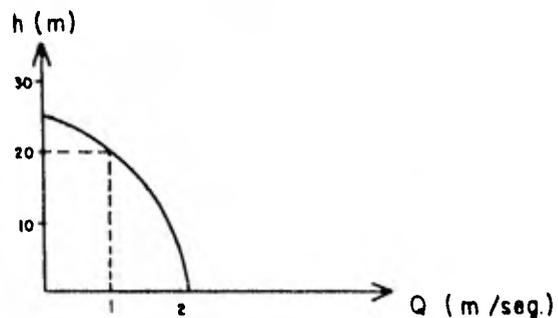


Fig. 4. 4 CURVA CARACTERISTICA DE LA BOMBA

Solución

Las constantes a_0 , a_1 , a_2 y a_3 que intervienen en los coeficientes de la bomba, α_B y γ_B , se van a obtener de la siguiente manera

- a) Se escogen 4 parejas de coordenadas de la fig 4.4, como por ejemplo

h	Q
0	2.0
15.0	1.5
20.0	1.0
25.0	0

- b) Estos valores se sustituyen en la ec 3.19 y se forma el siguiente sistema

$$25a_1 + 625 a_2 + 15625 a_3 = -2.0$$

$$20a_1 + 400 a_2 + 8000 a_3 = -1.0$$

$$15a_1 + 225 a_2 + 3375 a_3 = -0.5$$

y al resolverlo se obtienen las constantes

$$a_0 = 2$$

$$a_1 = -0.06333$$

$$a_2 = 0.006$$

$$a_3 = -0.00027$$

Aplicando éstos en las ecs 3.22 y 3.23 resulta

$$\alpha_B = -0.06333 + 0.012 h^k - 0.00081 (h^k)^2 \quad (4.1)$$

$$\gamma_B = Q_B^k + 0.06333 h^k - 0.012 (h^k)^2 + 0.00081 (h^k)^3 \quad (4.2)$$

1. Se suponen los mismos gastos iniciales del ejemplo anterior

$$Q_1 = 0.80$$

$$Q_2 = 0.10$$

$$Q_3 = 0.30$$

$$Q_4 = 0.30$$

$$Q_5 = 1.10$$

$$Q_6 = 1.50$$

Para la bomba, se supone como carga inicial en el nudo 2

$$h_2 = 0$$

2. Sustituyendo estos gastos en 3.14 y 3.15, usando m y k de la tabla 3.1 al usar la fórmula de Hazen - Williams; con $\theta = 0$ resulta

$$\alpha_1 = 0.2120 \quad \gamma_1 = 0.3680$$

$$\alpha_2 = 0.8905 \quad \gamma_2 = 0.0460$$

$$\alpha_3 = 0.2843 \quad \gamma_3 = 0.1380$$

$$\alpha_4 = 0.3493 \quad \gamma_4 = 0.1380$$

$$\alpha_5 = 0.1616 \quad \gamma_5 = 0.5060$$

$$\alpha_6 = 0.3102 \quad \gamma_6 = 0.6901$$

Para el nudo con bomba se sustituye h_2 en las ecs 4.1 y 4.2 teniendo

$$\alpha_B = - 0.0633 \quad \gamma_B = 2.0$$

3. Al sustituir los valores de α y γ en el sistema 3.25 resulta

$$\begin{aligned} - 1.6971 h_1 + 0.2120 h_2 + 0.2843 h_3 + 0.8905 h_4 &= - 5.9347 \\ 0.2120 h_1 - 0.6246 h_2 + 0.3493 h_3 &= - 1.7300 \\ 0.2843 h_1 + 0.3493 h_2 - 0.7952 h_3 + 0.1616 h_4 &= - 0.2700 \\ 0.8905 h_1 + 0.1616 h_3 - 1.0522 h_4 &= 0.5400 \end{aligned}$$

4. Resolviendo el sistema anterior, se encuentran los niveles piezométricos

$$h_1 = 19.5863$$

$$h_2 = 20.8183$$

$$h_3 = 20.3876$$

$$h_4 = 19.1962$$

5. Con estos valores, se calculan los gastos para cada tubo con la ec 3.16 y para la bomba con 3.19

$$Q_1 = 0.1068$$

$$Q_6 = 0.8184$$

$$Q_2 = - 0.3014$$

$$Q_B = 0.8459$$

$$Q_3 = - 0.0898$$

$$Q_4 = 0.2884$$

$$Q_5 = 0.6986$$

6. Se termina la primera iteración, se comparan los valores de estos gastos con los anteriores y se observa que no cumplen con la tolerancia de $0.001 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que se procede a seguir iterando. Se regresa al paso 2.
2. La segunda iteración se inicia usando los gastos obtenidos en la anterior, con lo que

$$\begin{array}{ll}
 \alpha_1 = 1.1784 & \gamma_1 = 0.0492 \\
 \alpha_2 = 0.3479 & \gamma_2 = -0.1386 \\
 \alpha_3 = 0.7944 & \gamma_3 = -0.0413 \\
 \alpha_4 = 0.3612 & \gamma_4 = 0.1327 \\
 \alpha_5 = 0.2380 & \gamma_5 = 0.3214 \\
 \alpha_6 = 0.5198 & \gamma_6 = 0.3765 \\
 \alpha_\beta = -0.1646 & \gamma_\beta = 4.2718
 \end{array}$$

3. Al sustituir estos valores en 3.25 se tiene

$$\begin{array}{r}
 - 2.8406 h_1 + 1.1784 h_2 + 0.7944 h_3 + 0.3479 h_4 = -10.1267 \\
 1.1784 h_1 - 1.7042 h_2 + 0.3612 h_3 = - 3.6883 \\
 0.7944 h_1 + 0.3612 h_2 - 1.3936 h_3 + 0.2380 h_4 = - 0.2700 \\
 0.3479 h_1 + \quad \quad \quad + 0.2380 h_3 - 0.5858 h_4 = 0.5400
 \end{array}$$

4. Resolviendo nuevamente el sistema, resulta

$$\begin{array}{l}
 h_1 = 19.7226 \\
 h_2 = 20.0075 \\
 h_3 = 19.8410 \\
 h_4 = 18.8490
 \end{array}$$

5. Con los que se obtienen los siguientes gastos

$$Q_1 = -0.2865$$

$$Q_2 = -0.4426$$

$$Q_3 = -0.1354$$

$$Q_4 = 0.1928$$

$$Q_5 = 0.5574$$

$$Q_6 = 0.5207$$

$$Q_B = 0.9723$$

6. Se comparan los gastos con los obtenidos en la iteración anterior y se observa que todavía no cumplen con la tolerancia, por lo que se sigue iterando, regresando al paso 2.

A continuación se anotan los resultados obtenidos en las siguientes iteraciones

tercera iteración

$$h_1 = 19.6342$$

$$h_2 = 19.9489$$

$$h_3 = 19.7517$$

$$h_4 = 18.6956$$

$$Q_1 = -0.2918$$

$$Q_2 = -0.4390$$

$$Q_3 = -0.1281$$

$$Q_4 = 0.1891$$

cuarta iteración

$$h_1 = 19.6342$$

$$h_2 = 19.9490$$

$$h_3 = 19.7518$$

$$h_4 = 18.6956$$

$$Q_1 = -0.2919$$

$$Q_2 = -0.4389$$

$$Q_3 = -0.1280$$

$$Q_4 = 0.1890$$

$$Q_5 = 0.5610$$

$$Q_6 = 0.5191$$

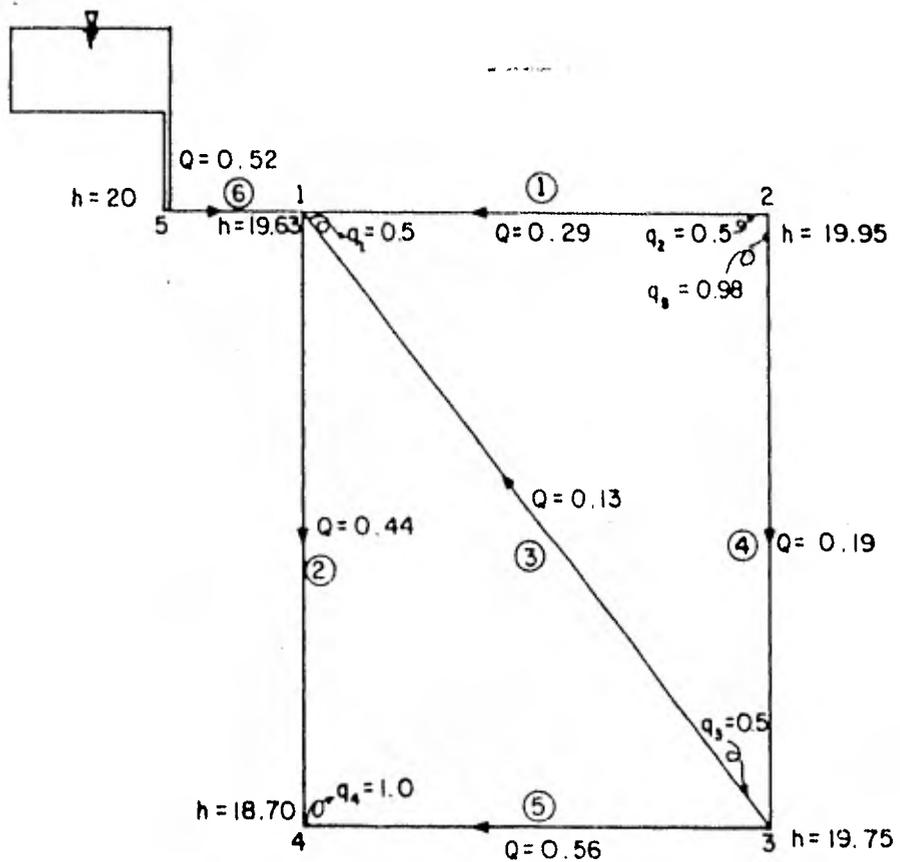
$$Q_B = 0.9809$$

$$Q_5 = 0.5611$$

$$Q_6 = 0.5191$$

$$Q_B = 0.9809$$

Al cumplirse con la tolerancia en la cuarta iteración, la solución es la que se muestra en la fig. 4.5.



Niveles piezométricos h en m.

Gastos q , Q en m^3/seg

4.3 Ejemplo de una red grande

Dada la geometría de la red primaria de la ciudad de México (fig 4.6), las demandas, las cotas sobre el terreno y el coeficiente de Manning de 0.0145; se desea conocer los gastos en los tubos y los niveles piezométricos en los nudos.

Solución

Para obtener la solución de esta red, se emplea el programa que se encuentra en el anexo a esta tesis; los datos se proporcionan de acuerdo al instructivo de uso adjunto al mismo.

En las primeras hojas de resultados del programa se presentan los datos de la red, posteriormente la forma en que se conectan los tubos con los nudos, las iteraciones que se realizaron, los resultados de éstas y por último la solución que consisten en los gastos en los tubos y niveles piezométricos en los nudos.

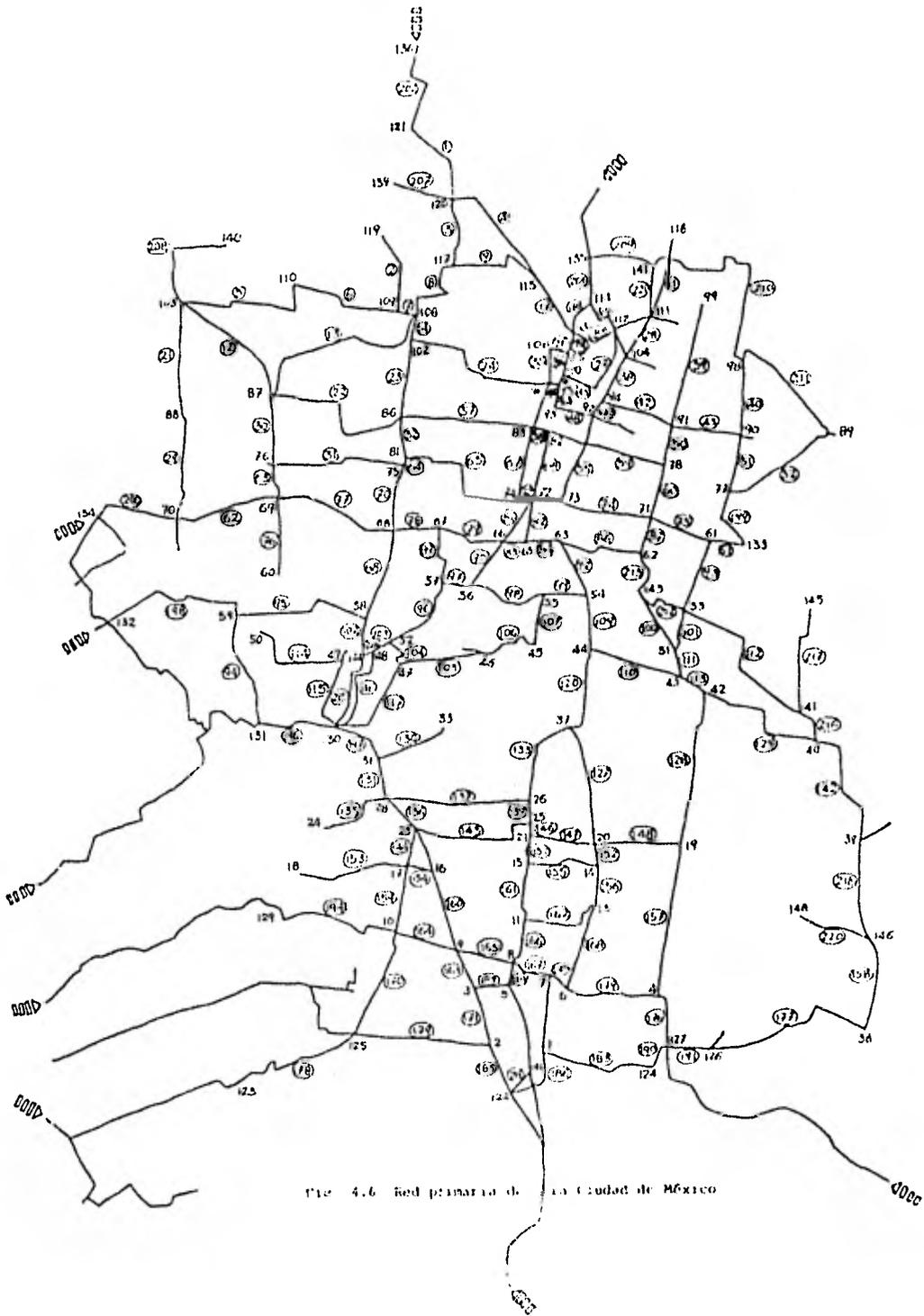


Fig. 4.6 Red primaria de la Ciudad de México

NUDOS DE CARGA CONSTANTE (TANQUES)

NUDO	CARGA (M)
123	180.000
126	115.000
129	127.000
131	116.000
133	112.000
134	116.000
135	131.000
136	115.000

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DE LA RED

(TUBOS ASOCIADOS A NUDOS DE CARGA CONSTANTE)

TURO	NUDOS QUE UNE		LONGITUD (M)	DIAMETRO (M)	COEFICIENTE DE MANNING
61	133	61	780.00	0.76	0.0145
94	131	59	2890.00	0.59	0.0145
177	126	38	4440.00	0.63	0.0145
178	123	125	4080.00	1.22	0.0145
191	126	127	810.00	0.91	0.0145
194	129	10	3710.00	0.81	0.0145
196	131	130	1480.00	1.61	0.0145
199	133	77	1360.00	0.51	0.0145
200	134	70	1690.00	1.61	0.0145
201	135	114	1560.00	1.22	0.0145
202	136	121	2740.00	1.83	0.0145
209	135	141	1960.00	0.51	0.0145

(TUBOS NO ASOCIADOS A NUDOS DE CARGA CONSTANTE)

TURO	NUDOS QUE UNE		LONGITUD (M)	DIAMETRO (M)	COEFICIENTE DE MANNING
1	120	121	3530.00	1.83	0.0145
2	109	119	2580.00	0.51	0.0145
3	117	120	1740.00	1.22	0.0145
4	115	120	3960.00	1.28	0.0145
5	110	103	2980.00	1.22	0.0145
6	109	110	2710.00	1.22	0.0145
7	108	109	550.00	1.22	0.0145
8	108	117	2260.00	1.22	0.0145
9	115	117	2580.00	1.22	0.0145
11	111	118	2055.00	1.22	0.0145
12	87	103	2920.00	1.22	0.0145
13	87	108	8100.00	0.51	0.0145
14	102	108	530.00	1.22	0.0145
17	113	115	1320.00	1.27	0.0145
18	113	114	810.00	1.22	0.0145
19	114	112	940.00	0.51	0.0145
20	112	138	720.00	1.22	0.0145
21	88	103	2740.00	1.22	0.0145

NUDOS DE CARGA CONSTANTE (TANQUES)

NUDO	CARGA (M)
123	180.000
126	115.000
129	127.000
131	116.000
133	112.000
134	116.000
135	131.000
136	115.000

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DE LA RED

(TUBOS ASOCIADOS A NUDOS DE CARGA CONSTANTE)

TUBO	NUDOS QUE UNE	LONGITUD (M)	DIAMETRO (M)	COEFICIENTE DE MANNING
61	133 61	780.00	0.76	0.0145
94	131 59	2890.00	0.59	0.0145
177	126 38	4440.00	0.63	0.0145
178	123 125	4050.00	1.22	0.0145
191	126 127	810.00	0.91	0.0145
194	129 10	3710.00	0.81	0.0145
196	131 130	1480.00	1.61	0.0145
199	133 77	1360.00	0.51	0.0145
200	134 70	1690.00	1.61	0.0145
201	135 114	1560.00	1.22	0.0145
202	136 121	2760.00	1.83	0.0145
209	135 141	1960.00	0.51	0.0145

(TUBOS NO ASOCIADOS A NUDOS DE CARGA CONSTANTE)

TUBO	NUDOS QUE UNE	LONGITUD (M)	DIAMETRO (M)	COEFICIENTE DE MANNING
1	120 121	3530.00	1.83	0.0145
2	109 119	2580.00	0.51	0.0145
3	117 120	1740.00	1.22	0.0145
4	115 120	3960.00	1.28	0.0145
5	110 103	2980.00	1.22	0.0145
6	109 110	2710.00	1.22	0.0145
7	108 109	550.00	1.22	0.0145
8	108 117	2260.00	1.22	0.0145
9	115 117	2580.00	1.22	0.0145
11	111 118	2055.00	1.22	0.0145
12	87 103	2920.00	1.22	0.0145
13	87 108	8100.00	0.51	0.0145
14	102 108	530.00	1.22	0.0145
17	113 115	1320.00	1.27	0.0145
18	113 114	810.00	1.22	0.0145
19	114 112	940.00	0.51	0.0145
20	112 138	720.00	1.22	0.0145
21	88 103	2740.00	1.22	0.0145

22	86	87	3890.00	0.91	0.014
23	86	102	1880.00	1.22	0.014
24	96	102	3730.00	0.63	0.014
26	105	106	340.00	0.51	0.014
27	100	112	2480.00	0.51	0.014
28	104	111	1100.00	1.22	0.014
29	70	88	2560.00	1.22	0.014
30	76	87	1840.00	0.91	0.014
31	75	76	3230.00	0.91	0.014
32	81	86	1000.00	1.22	0.014
35	96	106	950.00	0.51	0.014
36	100	105	640.00	1.22	0.014
38	94	104	925.00	1.22	0.014
39	91	99	3080.00	1.22	0.014
40	90	98	1680.00	0.51	0.014
42	91	94	1890.00	1.22	0.014
43	90	91	1570.00	0.51	0.014
45	95	100	300.00	1.22	0.014
46	95	96	340.00	0.91	0.014
47	93	95	390.00	1.22	0.014
48	92	93	910.00	0.51	0.014
49	92	94	630.00	1.22	0.014
50	78	91	1080.00	1.22	0.014
51	77	90	1395.00	0.51	0.014
52	77	89	3100.00	0.51	0.014
53	83	96	1070.00	0.51	0.014
54	82	93	650.00	1.22	0.014
55	73	92	2140.00	1.22	0.014
57	83	86	3190.00	0.91	0.014
58	82	83	360.00	0.91	0.014
59	78	82	2920.00	0.91	0.014
60	71	78	1180.00	1.22	0.014
62	70	69	2480.00	1.22	0.014
63	69	76	670.00	0.91	0.014
64	75	81	360.00	1.22	0.014
65	74	81	3230.00	1.22	0.014
67	74	83	1740.00	0.51	0.014
68	72	82	1780.00	1.22	0.014
70	68	75	1270.00	1.22	0.014
72	72	74	340.00	1.22	0.014
73	72	73	710.00	1.22	0.014
74	71	73	2260.00	0.97	0.014
75	61	71	1530.00	0.51	0.014
76	60	69	1970.00	0.51	0.014
77	68	69	2950.00	1.22	0.014
78	67	68	1130.00	0.91	0.014
79	66	67	1760.00	0.91	0.014
80	74	142	640.00	0.51	0.014
81	66	72	670.00	1.22	0.014
82	65	72	860.00	1.22	0.014
83	65	66	450.00	0.81	0.014
84	63	65	910.00	0.81	0.014
86	62	63	2090.00	0.51	0.014
87	62	71	650.00	1.22	0.014
88	58	68	2230.00	1.22	0.014
89	57	67	2570.00	0.51	0.014
90	56	66	1420.00	1.22	0.014
92	54	63	1440.00	0.81	0.014
93	53	61	1510.00	0.81	0.014
95	58	59	3290.00	0.51	0.014

96	52	57	2060.00	1.22	0.0145
97	56	57	1030.00	1.22	0.0145
98	55	56	1950.00	1.22	0.0145
99	54	55	1130.00	0.91	0.0145
100	51	143	1740.00	1.22	0.0145
101	51	53	960.00	0.81	0.0145
102	58	144	1020.00	1.22	0.0145
103	48	52	910.00	1.22	0.0145
104	47	52	800.00	0.91	0.0145
105	46	47	1980.00	0.85	0.0145
106	45	46	1900.00	0.57	0.0145
107	45	55	1150.00	0.49	0.0145
109	44	54	1350.00	1.22	0.0145
110	43	44	2340.00	1.27	0.0145
111	43	51	500.00	1.22	0.0145
112	41	53	4530.00	0.51	0.0145
113	42	43	820.00	1.22	0.0145
114	49	50	1820.00	0.51	0.0145
115	49	130	1740.00	0.51	0.0145
116	48	130	1300.00	1.22	0.0145
117	47	130	2045.00	0.91	0.0145
120	37	44	2120.00	1.22	0.0145
127	20	37	2730.00	1.22	0.0145
128	19	42	3370.00	0.76	0.0145
129	40	42	2730.00	1.22	0.0145
130	31	33	1910.00	0.51	0.0145
131	31	28	950.00	1.61	0.0145
133	37	26	1870.00	0.91	0.0145
135	29	24	2060.00	0.51	0.0145
136	28	23	960.00	1.61	0.0145
137	26	23	3400.00	0.51	0.0145
139	26	25	440.00	0.91	0.0145
142	40	39	3110.00	1.22	0.0145
143	23	35	3070.00	0.91	0.0145
146	25	21	300.00	0.91	0.0145
147	21	20	1550.00	0.91	0.0145
148	20	19	2170.00	0.91	0.0145
149	23	17	1220.00	0.91	0.0145
150	23	16	1100.00	1.61	0.0145
151	21	15	920.00	0.91	0.0145
152	20	14	760.00	1.22	0.0145
153	17	18	1170.00	0.51	0.0145
154	16	17	800.00	0.91	0.0145
155	15	14	1670.00	0.51	0.0145
156	14	13	640.00	1.22	0.0145
157	19	4	3620.00	0.76	0.0145
158	38	146	3120.00	1.22	0.0145
159	17	10	1550.00	0.81	0.0145
160	16	9	2020.00	1.61	0.0145
161	15	11	1160.00	0.91	0.0145
162	11	13	2230.00	0.76	0.0145
163	3	9	920.00	1.61	0.0145
164	10	9	1760.00	0.91	0.0145
165	9	8	1220.00	0.91	0.0145
166	11	8	1260.00	0.91	0.0145
167	8	7	1010.00	1.22	0.0145
168	13	6	2190.00	0.51	0.0145
169	8	5	670.00	0.91	0.0145
170	125	10	2650.00	1.22	0.0145
171	2	3	1240.00	1.61	0.0145

172	1	7	1770.00	1.22	0.0145
173	7	6	580.00	0.91	0.0145
174	6	4	2230.00	0.91	0.0145
176	127	4	810.00	0.91	0.0145
179	125	2	3250.00	1.27	0.0145
183	112	113	970.00	1.22	0.0145
184	105	113	450.00	1.22	0.0145
185	2	122	1340.00	1.61	0.0145
186	1	122	1460.00	0.91	0.0145
187	5	147	1800.00	0.94	0.0145
188	1	124	2920.00	0.91	0.0145
189	3	5	750.00	0.51	0.0145
190	124	127	750.00	1.22	0.0145
197	31	130	1500.00	1.61	0.0145
198	132	59	3790.00	0.51	0.0145
205	104	117	700.00	0.51	0.0145
207	120	139	1860.00	0.51	0.0145
208	103	140	1610.00	0.51	0.0145
210	93	141	4690.00	0.51	0.0145
211	89	98	3060.00	0.51	0.0145
212	53	143	1760.00	0.51	0.0145
213	62	143	780.00	1.22	0.0145
214	48	144	140.00	1.22	0.0145
215	130	144	1720.00	1.22	0.0145
216	40	41	660.00	0.51	0.0145
217	41	145	2400.00	0.51	0.0145
218	39	146	1960.00	1.22	0.0145
219	122	147	640.00	0.91	0.0145
220	146	148	1320.00	0.72	0.0145
221	111	141	1160.00	0.51	0.0145

NUDOS CON GASTO DE EGRESO (+) O INGRESO (-)

NUDO	GASTO (M3/S)
1	0.009
2	0.014
4	0.021
7	0.020
8	0.012
9	0.041
10	0.039
11	0.012
13	0.013
15	0.022
16	0.052
18	0.027
19	0.055
20	0.015
23	0.020
24	0.025
25	0.062
28	0.053
31	0.042
33	0.042
37	0.067
38	0.046
39	0.011
40	0.014

41
42
43
44
45
46
47
48
50
51
53
54
55
57
58
59
60
61
63
66
67
68
69
70
71
72
73
75
76
77
78
82
83
86
87
88
89
90
91
92
94
95
98
99
102
103
104
105
108
110
111
114
115
117
118
119
120
121
122
124

0.013
0.048
0.012
0.025
0.009
0.094
0.083
0.017
0.007
0.015
0.015
0.036
0.069
0.085
0.028
0.030
0.033
0.039
0.013
0.030
0.063
0.029
0.066
0.023
0.046
0.049
0.023
0.053
0.013
0.015
0.009
0.024
0.015
0.068
0.079
0.019
0.024
0.006
0.020
0.011
0.005
0.013
0.036
0.016
0.031
0.064
0.014
0.014
0.017
0.017
0.017
0.028
0.007
0.033
0.023
0.033
0.026
0.012
0.005

SUMA DE GASTOS	METODO SOR 2.7108	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 5	27 ERROR	0.00893	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SOR 2.7110	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 5	28 ERROR	0.00998	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SOR 2.7108	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 4	29 ERROR	0.00928	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SOR 2.7109	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 5	30 ERROR	0.00802	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SOR 2.7109	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 5	31 ERROR	0.00848	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SOR 2.7110	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 5	32 ERROR	0.00789	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SOR 2.7108	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 4	33 ERROR	0.00937	OMEGA 1.850

GASTOS EN LOS TUBOS

CARGAS EN LOS NUDOS

TUBO	GASTO	SALE DEL NUDO	NUDO	NIVEL PIEZOMETRICO	CARGAS SOBRE EL TERRENO
1	1.245	120	121	115.36	58.86
2	0.023	109	120	115.83	74.83
3	0.569	117	119	116.13	77.13
4	0.715	115	109	116.23	79.58
5	0.155	110	117	116.25	80.50
6	0.172	109	115	117.00	84.00
7	0.195	108	103	116.12	68.62
8	0.047	117	110	116.17	75.07
9	0.633	115	108	116.35	80.30
11	0.033	111	118	116.55	83.55
12	0.061	87	111	116.56	60.56
13	0.014	103	87	116.13	72.13
14	0.179	103	102	116.26	80.76
17	1.367	113	113	118.49	78.49
18	2.491	114	114	122.76	82.26
19	0.226	114	112	118.49	86.49
20	0.009	112	108	118.49	81.49
21	0.153	103	89	116.07	63.07
22	0.104	86	86	116.28	81.28
23	0.104	86	96	117.34	83.59
24	0.107	94	106	117.69	82.89
26	0.096	105	105	118.09	83.09
27	0.067	112	100	117.61	83.61
28	0.121	111	104	116.54	83.34

763

123
127
130
139
140
145
146
148

0.022
0.016
0.059
0.006
0.020
0.013
0.020
0.028

EL GASTO QUE SALE DE LA RED ES 2.7110

CONDICIONES DEL SISTEMA

NO. NUDO	ELEVACION DEL TERRENO
1	38.00
2	41.05
3	40.30
4	26.00
5	38.00
6	39.00
7	39.00
8	37.20
9	39.00
10	48.00
11	35.10
13	35.00
14	35.00
15	35.50
16	40.00
17	41.50
18	37.00
19	35.00
20	35.00
21	33.43
23	37.40
24	34.30
25	33.50
26	33.50
28	37.50
31	35.50
33	33.50
37	34.50
38	37.35
39	35.50
40	35.00
41	35.00
42	35.00
43	34.00
44	33.00
45	31.25
46	30.20
47	33.20
48	35.00
49	39.20
50	31.50
51	34.20
52	34.10
53	33.50

54	31.90
55	32.50
56	31.50
57	32.00
58	32.50
59	30.70
60	31.00
61	33.00
62	33.00
63	31.50
65	31.20
66	31.20
67	32.20
68	35.00
69	45.30
70	72.00
71	23.00
72	30.00
73	32.00
74	33.00
75	36.00
76	43.00
77	34.00
78	33.35
81	36.00
82	33.70
83	34.70
86	35.00
87	44.00
88	53.00
89	34.50
90	34.45
91	34.00
92	33.00
93	34.00
94	32.00
95	34.00
96	33.75
98	35.00
99	34.00
100	34.00
102	35.50
103	42.50
104	33.20
105	38.00
106	35.00
108	38.00
109	36.75
110	41.10
111	38.00
112	32.00
113	40.00
114	40.00
115	33.00
117	35.75
118	33.00
119	35.00
120	41.00
121	56.50
122	40.20

123	155.00
124	40.00
125	60.00
126	65.00
127	45.00
128	102.00
130	40.00
131	65.00
132	114.00
133	67.00
134	91.34
135	100.00
136	40.30
138	37.00
139	42.00
140	45.00
141	37.00
142	31.20
143	32.00
144	36.00
145	54.50
146	55.50
147	52.50
148	55.50

FACTOR DE ERROR EN EL METODO ESTADICO 3.00
 GASTO INICIAL EN LOS TUBOS 0.029
 NUMERO DE BOMBAS 0
 NUMERO DE NUDOS 128
 NUMERO DE TRAMOS 180
 NUMERO DE TRAMOS ASOCIADOS A TANQUES 12
 NUMERO DE TANQUES 8
 GASTOS DE INGRESO Y EGRESO 92
 NUMERO MAXIMO DADO COMO NOMBRE A UN NUDO 148
 NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES DEL METODO 50
 FACTOR OMEGA 1.8500
 TOLERANCIA (METODO SOR) 0.0100
 MAXIMO NUMERO DE ITERACIONES EN LA SOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES LINEALES 200

RED DE TUROS

NUDO	UNIDO AL NUDO	CON EL TUBO	UNIDO AL NUDO	CON EL TUBO	UNIDO AL NUDO	CON EL TURO	UNIDO AL NUDO	CON EL TURO	UNIDO AL NUDO	CON EL TUBO
121	120	1	136	202						
120	121	1	117	3						
119	109	2			115	4	139	207		
109	119	2	110	6	108	7				
117	120	3	108	8	115	9				
115	120	4	117	9	113	17				
103	110	5	87	12	88	21	140	208		
110	103	5	109	6						
108	109	7	117	8	87	13	102	14		
118	111	11								
111	118	11	104	28	141	221				
87	103	12	108	13	86	22	76	30		
102	108	14	66	23	96	24				
113	115	17	114	18	112	183	105	184		
114	113	18	117	19	135	261				
112	114	19	108	20	100	27	113	183	104	205
138	112	20								
88	103	21	70	29						
86	87	22	102	23	81	32	83	57		
96	102	24	106	35	95	46	83	53		
106	105	26	96	35						
105	106	26	100	36	113	184				
100	112	27	108	36	95	45				
104	111	28	94	38	112	205				
70	88	28	79	42	124	260				
76	87	30	75	42	49	63				
75	76	31	61	44	48	73				
81	86	32	75	44	74	75				
94	104	38	61	42	92	49				
99	91	39								
91	99	39	94	42	90	43	78	50		
98	90	40	141	210	89	211				
90	98	40	91	43	77	51				
95	100	45	96	46	93	47				
93	95	47	92	48	82	54				
92	93	48	94	49	73	55				
78	91	50	82	59	71	60				
77	90	51	89	52	133	199				
89	77	52	98	211						
83	96	53	86	57	82	59	74	67		
82	93	54	83	58	78	59	72	68		
73	92	55	72	73	71	74				
71	78	60	73	74	61	75	62	87		
69	70	62	76	63	60	76	68	77		
74	81	65	83	67	72	72	142	80		
72	82	68	74	72	73	73	66	81	65	82
65	75	70	69	77	67	78	58	88		
61	71	75	53	93	133	61				
60	69	76								
67	68	78	66	79	57	69				
66	67	79	72	81	65	83	56	90		
142	74	80								

147	5	187	122	219		
124	1	188	127	190		
132	59	197				
139	120	207				
140	103	202				
141	98	210	111	221	135	209
145	41	217				
142	144	220				
133	61	61	77	190		
131	59	64	120	196		
126	58	177	127	191		
123	125	175				
122	10	124				
124	70	200				
135	114	201	141	209		
136	121	202				

SUMA DE GASTOS	METODO SQR 2.7111	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 81	1 ERROR	0.00797	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SQR 2.7111	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 63	2 ERROR	0.00793	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SQR 2.7110	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 52	3 ERROR	0.00910	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SQR 2.7109	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 47	4 ERROR	0.00692	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SQR 2.7110	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 41	5 ERROR	0.00979	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SQR 2.7109	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 39	7 ERROR	0.00921	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SQR 2.7109	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 39	7 ERROR	0.00848	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SQR 2.7109	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 35	8 ERROR	0.00999	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SQR 2.7106	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 30	9 ERROR	0.00827	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SQR 2.7109	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 29	10 ERROR	0.00783	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SQR 2.7102	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 27	11 ERROR	0.00932	OMEGA 1.850

SUMA DE GASTOS	METODO SOR 2.7110	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 27	12 ERROR	0.00860	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SOR 2.7114	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 22	13 ERROR	0.00970	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SOR 2.7112	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 21	14 ERROR	0.00857	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SOR 2.7110	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 19	15 ERROR	0.00924	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SOR 2.7109	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 16	16 ERROR	0.00948	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SOR 2.7109	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 15	17 ERROR	0.00930	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SOR 2.7110	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 12	18 ERROR	0.00909	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SOR 2.7111	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 11	19 ERROR	0.00941	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SOR 2.7110	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 10	20 ERROR	0.00937	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SOR 2.7109	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 9	21 ERROR	0.00936	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SOR 2.7109	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 8	22 ERROR	0.00879	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SOR 2.7109	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 6	23 ERROR	0.00940	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SOR 2.7108	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 5	24 ERROR	0.00871	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SOR 2.7108	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 4	25 ERROR	0.00862	OMEGA 1.850
SUMA DE GASTOS	METODO SOR 2.7108	NUMERO DE ITERACIONES	CALCULO NO. 4	26 ERROR	0.00861	OMEGA 1.850

102	0.271	144
103	0.089	48
104	0.072	52
105	0.079	47
106	0.015	45
107	0.024	55
109	0.186	44
110	0.378	44
111	0.198	43
112	0.031	41
113	0.168	43
114	0.007	49
115	0.007	130
116	0.195	130
117	0.050	130
120	0.532	37
127	0.378	20
128	0.155	12
129	0.275	42
130	0.042	31
131	1.049	28
133	0.278	26
135	0.025	28
136	2.057	23
137	0.040	28
139	0.238	25
142	0.204	40
143	0.310	23
146	0.010	25
147	0.236	21
148	0.161	20
149	0.472	17
150	1.945	16
151	0.226	15
152	0.318	14
153	0.027	17
154	0.302	17
155	0.056	15
156	0.262	13
157	0.048	4
158	0.137	146
159	0.801	10
160	1.695	9
161	0.304	11
162	0.190	11
163	1.260	3
164	0.947	10
165	0.450	9
166	0.506	8
167	0.442	8
168	0.085	6
169	0.470	5
170	1.638	125
171	1.373	2
172	0.089	1
173	0.511	7
174	0.426	6
176	0.357	4
179	2.317	125
183	0.030	113

26	117.57
24	117.90
23	118.71
25	117.66
28	116.03
21	117.66
17	119.45
16	119.42
15	117.62
14	117.41
19	119.62
13	117.44
4	117.22
146	115.97
20	115.63
10	126.30
9	126.41
3	115.21
11	120.62
8	119.76
7	119.21
6	116.67
5	119.89
128	131.61
2	121.07
1	119.21
127	116.66
122	120.62
147	120.58
104	116.97
132	116.01
139	115.02
140	116.02
141	119.21
145	115.62
148	115.96
133	112.00
131	116.00
126	115.00
123	120.00
129	127.00
134	116.00
135	131.00
136	115.00

84.07
63.60
81.31
84.06
60.53
84.23
77.89
79.42
84.02
82.41
52.62
82.44
81.25
80.47
78.58
78.30
81.41
83.11
60.37
82.16
80.21
79.87
81.69
71.63
60.02
81.23
74.06
80.57
81.38
78.97
2.01
73.62
71.07
82.21
61.42
80.46
25.00
31.00
22.00
25.00
25.00
24.66
31.60
24.70

184	1.095	113
185	0.931	122
186	0.562	122
187	0.357	147
188	0.464	1
189	0.113	3
190	0.459	124
197	1.885	31
198	0.000	59
205	0.188	112
207	0.006	120
208	0.020	103
210	0.106	141
211	0.062	84
212	0.071	143
213	0.212	62
214	0.089	49
215	0.182	130
216	0.057	49
217	0.013	41
218	0.193	32
219	0.357	122
220	0.028	146
221	0.171	141
61	0.514	61
94	0.007	48
177	0.091	38
178	3.977	123
191	0.600	127
194	0.168	129
196	1.351	130
199	0.120	77
200	0.334	70
201	2.734	135
202	1.219	121
209	0.277	135

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El sistema de ecuaciones lineales que resulta en el método propuesto tiene la particularidad que su matriz de coeficientes es simétrica y porosa por lo que se puede resolver usando métodos iterativos especialmente elaborados para esta clase de matrices con lo cual la solución se logra en menos tiempo que usando los convencionales. Si se emplea alguno de los métodos iterativos hay que fijar la tolerancia que permita detener este proceso, la cual se relaciona con el error permitido en los niveles piezométricos.

Para detener el método de solución de la red que hace la revisión se fija otra tolerancia, la cual esta relacionada con el error permitido en los gastos.

Al probar el método, se observó que con la introducción del

factor θ , que interviene en el cálculo de las constantes α y γ (capítulo 3) se obtienen resultados satisfactorios, y que, de acuerdo con el tamaño de la red, es recomendable que este entre cero y tres, escogiendo un valor mayor para redes "grandes".

Los datos que se requieren para usar el método son las características geométricas y de rugosidad, la ubicación de los nudos y la forma en que los tubos están unidos a ellos, los gastos de ingreso y egreso y al menos un nivel piezométrico. En caso de que en la red existan bombas, además de la información anterior, se requiere saber en donde se encuentran estas y sus curvas características.

Algunos de los datos anteriores se conocen de acuerdo a la topografía del lugar, se estiman según datos de población, dotación y fuentes de abastecimiento, se obtienen de las curvas de las bombas que dan los fabricantes y los otros se suponen de acuerdo con la experiencia, con lo que se cuenta en el mercado o con los datos obtenidos al usar algún método de diseño. Respecto a este último, cabe señalar que el método se puede combinar con uno de diseño, haciendo la revisión para los resultados que se obtienen con éste y saber si con ellos la red funcionará adecuadamente o si es necesario hacer otro diseño.

La distribución inicial de gastos con las que se empieza el

proceso puede darse como dato o introducir su cálculo en el método. Se hicieron algunas pruebas, con el objeto de ver en que forma el método converge más rápido y se observó que convenía hacer un promedio de todos los gastos de ingreso y egreso, y suponer éste como distribución inicial en todos los tubos. No importa que al hacer lo anterior los gastos no cumplan con continuidad, ya que al plantear el sistema de ecuaciones se obliga a que se satisfaga este principio en toda la red.

Para resolver el sistema de ecuaciones se uso el método de SOR, en donde se maneja un factor ω , llamado parámetro de relajación, el cual está comprendido entre $0 < \omega < 2$ (ref 3), y al probarlo se obtuvo que entre 1.4 y 1.8 hace menor número de iteraciones, usando los valores mayores para redes "grandes".

Se recomienda que para redes con muchos tubos el método se aplique a redes primarias, tomando como nudos con gastos de egreso los tramos de redes secundarias; ya que si se revisan las dos juntas el número de datos se incrementa grandemente y las ventajas que se obtienen son casi nulas, ya que el tamaño de estos tramos son poco significativos respecto a los de la primaria. En caso de que se tenga incertidumbre de como va a trabajar algún tramo de red secundaria, se puede hacer su revisión como una sola red.

Para aplicar el método a la red primaria de la ciudad de Méxi-

corrido en una computadora Burroughs B6800, siendo su tiempo de ejecución 38 segundos y el de entrada y salida de datos y resultados 11 segundos, que es un tiempo de cómputo muy corto respecto a otros métodos que hasta la fecha se usan, como es el de Cross.

El programa considera las recomendaciones anteriores y tiene la opción de que en cada cálculo que se va ejecutando se puede imprimir la aproximación de la solución, o sólo en el último. El número máximo de cálculos que se recomienda que haga el método de revisión es 50, y para el de SOR, 200 iteraciones, para obtener buenos resultados. Estos para cuando las tolerancias son 0.001 para el método de revisión y 0.01 para el de SOR. Se pueden disminuir dependiendo del tamaño de la red, o si no se desea demasiada aproximación, ya que en los últimos cálculos se hacen muy pocas iteraciones.

Los resultados que se imprimen en el programa se consideran su ficientes para conocer el funcionamiento de la red, aunque si se desea, se le pueden hacer modificaciones para obtener otras cosas, como por ejemplo, en qué nudos no se cumple con la precisión mínima o máxima requerida, etc.

A N E X O

INSTRUCTIVO DE USO

ENTRADA DE DATOS

1a. Tarjeta: NUDOS, NTA, NTINA, NB

NUDOS Número total de nudos de la red (incluye nudos de carga conocida)

NTA Número de nudos de carga conocida (tanques)

NTINA Número de gasto de ingreso o egreso

NB Número de bombas

FORMATO: 16I5

2a. Tarjeta: NIM, IMPRO, INDICA

NIM Número máximo de iteraciones del método que hace la revisión

IMPRO Es un indicador. Si es igual a cero se imprimen todas las iteraciones, y si es uno sólo se imprime la última iteración.

INDICA Es un indicador, sirve para escoger una fórmula de fricción, si es uno emplea la de Darcy - Weisbach, si es dos emplea la de Hazen - Williams y si es cero emplea la de Manning

FORMATO: 16I5

3a. Tarjeta : TH, TOLGAS

TH Factor de error en el método de revisión; se recomienda 3 en redes grandes y 0 en chicas

TOLGAS Tolerancia en el método de revisión; se recomienda 0.001

FORMATO: 10 F 8.0

4a. Tarjeta : OMEGA, TOLCA, NIT

OMEGA Coeficiente utilizado en el método de sobrerelajación (SOR) y su rango es entre 1 y 2; se recomienda 1.8 para redes grandes y 1.4 para chicas

TOLCA Tolerancia en el método de SOR; se recomienda 0.01

NIT Número máximo de iteraciones que se permitirá en el método de SOR; se recomienda 200

FORMATO: 2 F 10.0, I 5

Siguiente(s)

Tarjeta(s) NFAN(I), CIT (I), I = 1, NTA

NFAN (I) Nudo de carga conocida

CIT (I) Carga conocida, en m

FORMATO: 5 (I5, F 10.0)

Siguiente Tarjeta: NTRTA

NTRTA Número de tramos asociados a nudos de carga conocida

FORMA: 16I5

Siguiente(s)
Tarjeta(s) J, (NUD(I, K), K=1, 2), ELE, DIAM, ENE

J Número de tubo

NUD(I,1) Número del nudo de uno de los extremos del tubo J

NUD(I,2) Número del nudo del otro de los extremos del tubo J

ELE Longitud del tubo, en m

DIAM Diámetro del tubo, en m

ENE Coeficiente de rugosidad de Darcy - Weisbach, Hazen - Williams o Manning, según se especifique con "INDICA"

FORMATO: 3I5, 3 F 10.0

Siguiente Tarjeta: NUTRA 1

NUTRA 1 Número de tubos no asociados a nudo de carga constante

FORMATO: 16I5

Siguiente(s)	
Tarjeta(s)	J, (NUD (I, K), K=1,2), ELE, DIAM, ENE
J	Número de tubo
NUD (I, 1)	Número del nudo de uno de los extremos del tubo J
NUD(I,2)	número del nudo del otro de los extremos del tubo J
ELE	Longitud del tubo, en m
DIAM	Diámetro del tubo, en m
ENE	Coeficiente de rugosidad de Darcy - Weisbach, Hazen - Williams o Manning según se especifique con "INDICA"
FORMATO:	3I5, 3 F 10.0
Siguiente(s)	
Tarjeta(s)	NTIN(I), QD(I), I=1, NTINA
NTIN (I)	Nudo con gasto de ingreso o egreso
QD (I)	Gasto de entrada al nudo (negativo) o gasto de salida del nudo (positivo)
FORMATO:	5 (I5, F 10.0)
Siguiente(s)	
Tarjeta(s)	I, B (I)
I	Número del nudo

B(I) Cota del terreno en el nudo, en m

FORMATO: I 5, F 10.2

Siguiente(s)
Tarjeta(s) NBOM(I), AO(I), A1(I), A2(I), A3(I), HMAX (I)

NBOM (I) Número del nudo con bomba

AO(I),A1(I),A2(I)
A3(I) Coeficientes de los términos de grado cero,
uno, dos y tres del polinomio de ajuste de
la curva cargas - gastos de la bomba

HMAX (I) Carga máxima de operación de la bomba

FORMATO I3, 5 F 10.0

Solución del ejemplo 4.2 empleando el programa

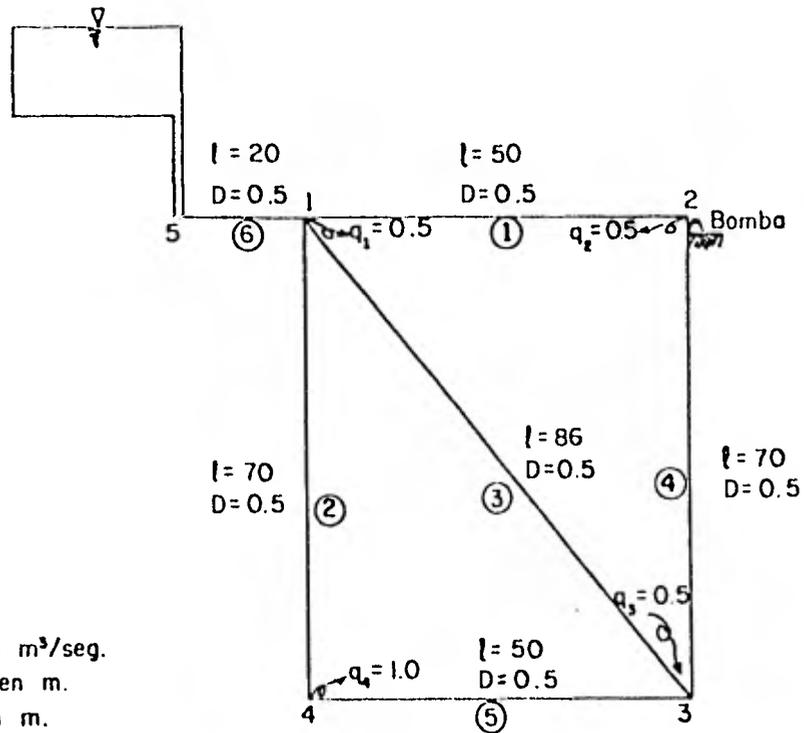


Fig. 4. 3 RED DEL EJEMPLO

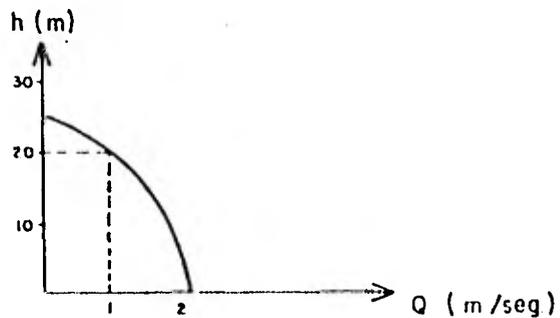


Fig 4 4 CURVA CARACTERISTICA DE LA BOMBA

Los datos que se proporcionan al programa, aparecen codificados en la siguiente hoja.

U. N. A. M.
INSTITUTO DE INGENIERIA
FORMA PARA CODIFICACION

PROGRAMA REF CHICA CON BOMBA

COIFICADO POR _____

REVISADO POR _____

FECHA _____

PAGINA _____ DE _____

1	3	7	10	13	17	21	25	29	33	37	41	45	49	53	57	61	65	69	73	77	81
	5			4																	
	50	0		2																	
		0.		0.001																	
		1.	4		0.001		2.00														
	5			20.																	
	1																				
	5		5		1		20.		0.15		1.00.										
	1																				
	2		1		2		50.		0.15		1.00.										
	3		4		1		70.		0.15		1.00.										
	4		1		3		86.		0.15		1.00.										
	5		2		3		70.		0.15		1.00.										
	5		3		4		50.		0.15		1.00.										
	1			0.5		2		0.5		3		-0.5		4						1.0	
	1			0.																	
	2			0.																	
	3			0.																	
	4			0.																	
	5			0.																	
	2			2.		-0.06335		0.006		-0.00027				2.5							

NUDOS DE CARGA CONSTANTE (TANQUES)

NUDO	CARGA (M)
5	20.000

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DE LA RED

(TUBOS ASOCIADOS A NUDOS DE CARGA CONSTANTE)

TUBO	NUDOS QUE UNE	LONGITUD (M)	DIAMETRO (M)	COEFICIENTE DE HAZEN-W
6	5 1	20.00	0.50	100.0000

(TUBOS NO ASOCIADOS A NUDOS DE CARGA CONSTANTE)

TUBO	NUDOS QUE UNE	LONGITUD (M)	DIAMETRO (M)	COEFICIENTE DE HAZEN-W
1	1 2	50.00	0.50	100.0000
2	4 1	70.00	0.50	100.0000
3	1 3	20.00	0.50	100.0000
4	2 3	70.00	0.50	100.0000
5	3 4	50.00	0.50	100.0000

NUDOS CON GASTO DE EGRESO (+) O INGRESO (-)

NUDO	GASTO (M3/S)
1	0.500
2	0.500
3	-0.500
4	1.000

EL GASTO QUE SALE DE LA RED ES 1.5000

CONDICIONES DEL SISTEMA

NO. NUDO	ELEVACION DEL TERRENO
1	0.00
2	0.00
3	0.00
4	0.00
5	0.00

FACTOR DE ERROR EN EL METODO ESTADICO 0.00
 GASTO INICIAL EN LOS TUBOS 0.775
 NUMERO DE BOMBAS 1
 NUMERO DE NUDOS 5
 NUMERO DE TUBOS 6

NUMERO DE TRAMOS ASOCIADOS A TANQUES 1
NUMERO DE TANQUES 1
GASTOS DE INGRESO Y EGRESO 4
NUMERO MAXIMO DADO COMO NOMBRE A UN NUDO 5
NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES DEL METODO 50
FACTOR OMEGA 1.4000
TOLERANCIA (METODO SDR) 0.0100
MAXIMO NUMERO DE ITERACIONES EN LA SOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES LINEALES 200

RED DE TUBOS

NUDO	UNIDO AL NUDO	CON EL TUBO								
2	1	1	3	4	3	3	5	6		
1	2	2	4	3	4	5				
3	1	3	2	4	4	5				
4	1	4								

METODO SOR 1
 SUMA DE GASTOS 0.7609
 GASTO EN LAS BOMBAS 0.7609
 NUBRO 1
 CALCULO NO. 1
 ERROR 0.00913
 OMEGA 1.400

GASTOS EN LOS TUBOS			CARGAS EN LOS NUDOS		
TUBO	GASTO	SALE DEL NUDO	NUDO	NIVEL PIEZOMETRICO	CARGAS SOBRE EL TERRENO
1	0.022	2	2	19.93	19.93
2	0.150	1	1	19.51	19.51
3	0.025	1	4	18.41	18.41
4	0.017	3	3	19.79	19.79
5	0.015	5	5	20.00	20.00
6	0.761	5			

METODO SOR 2
 SUMA DE GASTOS 0.5130
 GASTO EN LAS BOMBAS 0.5130
 NUBRO 1
 CALCULO NO. 2
 ERROR 0.00911
 OMEGA 1.400

GASTOS EN LOS TUBOS			CARGAS EN LOS NUDOS		
TUBO	GASTO	SALE DEL NUDO	NUDO	NIVEL PIEZOMETRICO	CARGAS SOBRE EL TERRENO
1	0.406	2	2	19.62	19.62
2	0.478	1	1	19.77	19.77
3	0.025	3	4	19.10	19.10
4	0.075	3	3	19.86	19.86
5	0.521	5	5	20.00	20.00
6	0.513	5			

METODO SOR 3
 SUMA DE GASTOS 0.5098
 GASTO EN LAS BOMBAS 0.5098
 NUBRO 1
 CALCULO NO. 3
 ERROR 0.00603
 OMEGA 1.400

NUMERO GASTO
1 0.989

GASTOS EN LOS TUBOS

TUBO	GASTO	SALE DEL NUDO
1	0.269	2
2	0.445	1
3	0.166	4
4	0.223	3
5	0.555	5
6	0.509	6

CARGAS EN LOS NUDOS

NUDO	NIVEL PIEZOMETRICO	CARGAS SOBRE EL TERRENO
2	19.69	19.69
1	19.70	19.70
4	18.84	18.84
3	19.79	19.79
5	20.00	20.00

SUMA DE GASTOS METODO SOR
GASTO EN LAS BOMBAS 0.5194
NUMERO GASTO
1 0.981

NUMERO DE ITERACIONES CALCULO NO. 4
ERROR 0.00862 OMEGA 1.400

GASTOS EN LOS TUBOS

TUBO	GASTO	SALE DEL NUDO
1	0.291	2
2	0.444	1
3	0.137	3
4	0.192	4
5	0.555	5
6	0.519	6

CARGAS EN LOS NUDOS

NUDO	NIVEL PIEZOMETRICO	CARGAS SOBRE EL TERRENO
2	19.95	19.95
1	19.69	19.69
4	18.84	18.84
3	19.79	19.79
5	20.00	20.00

SUMA DE GASTOS METODO SOR
GASTO EN LAS BOMBAS 0.5192
NUMERO GASTO
1 0.981

NUMERO DE ITERACIONES CALCULO NO. 5
ERROR 0.00252 OMEGA 1.400

GASTOS EN LOS TUBOS

TUBO	GASTO	SALE DEL NUDO
1	0.289	2
2	0.445	1
3	0.136	3
4	0.192	2
5	0.556	5
6	0.519	6

CARGAS EN LOS NUDOS

NUDO	NIVEL PIEZOMETRICO	CARGAS SOBRE EL TERRENO
2	19.95	19.95
1	19.69	19.69
4	18.84	18.84
3	19.79	19.79
5	20.00	20.00

CALCULO NO. 6

METODO SOB
 NUMERO DE ITERACIONES 1
 SUMA DE GASTOS 0,5194
 GASTO EN LAS BOMBAS
 GASTO
 NUDO 1 0,451

ERROR 0,00006 OMEGA 1,400

GASTOS EN LOS TUBOS		
TUBO	GASTO	CALE DEL NUDO
1	0,289	2
2	0,444	1
3	0,115	2
4	0,112	2
5	0,271	2
6	0,178	2

CARGAS EN LOS NUDOS		
NUDO	NIVEL PIEZOMETRICO	CARGAS SOBRE EL TERRENO
2	19,95	19,95
1	19,69	19,69
3	19,64	19,64
4	19,72	19,72
5	19,69	19,69

LISTADO DEL PROGRAMA

```

1 FILE 7=TELET,UNIT=REMOTE,RECORD=22
2 FILE 5=REDEST,UNIT=DISK,RECORD=14
3 FILE 8=TELET,UNIT=REMOTE,RECORD=14
4 FILE 6=PRINTER,UNIT=PRINTER,RECORD=22
5 C
6 C *** PROGRAMA QUE REvisa UNA RED DE TUBOS DE AGUA POTABLE ***
7 C
8 COMMON/NO1/NUD(230,2),NUT(230),NUDD(160),Q(230),COTA(160),KT(160),
9 IC(210),ALF(230),GAM(230)
10 COMMON/NO2/B(160),OMEGA,NIT,TOLCA,TOLCAS
11 COMMON/NO3/NTIN(160),QD(160)
12 COMMON/NO4/H(160),M(160,7),U(160,7),IKC
13 COMMON/NO7/NUDOS,NUTRA,NUTRA1,NUTRA2,NEC,NTINA
14 COMMON/NO10/TH,THH,COI,NIM,IMPRO
15 COMMON/NO11/NB,NBOM(20),ALFROM(20),GAMBOM(20),QB(20)
16 DIMENSION QA(230)
17 C
18 C *** LLAMA A SUBROUTINA PARA LEER DATOS ***
19 C
20 CALL LECTU
21 C
22 C *** LLAMA A SUBROUTINA PARA ARMAR LA RED DE TUBOS ***
23 C
24 CALL ARMA
25 C
26 C *** DEFINE EL RENGLON Y COLUMNA DE LOS ELEMENTOS DIFE- ***
27 C *** RENTES DE CERO DE LA MATRIZ DE COEFICIENTES ***
28 C
29 DO 10 I = 1,NEC
30 M(I,1)=I
31 10 KT(I) = 1
32 DO 20 J=1,NUTRA1
33 K=NUD(J,1)
34 L=NUD(J,2)
35 JK=KT(K)+1
36 KT(K)=JK
37 JL=KT(L)+1
38 KT(L)=JL
39 M(K,JK)=L
40 M(L,JL)=K
41 20 CONTINUE
42 C
43 C *** EMPIEZA EL PROCESO ITERATIVO ***
44 C
45 DO 110 IKC=1,NIM
46 DO 30 I = 1,NEC
47 U(I,1)=0.
48 B(I)=0.
49 30 KT(I) = 1
50 DO 40 I=1,NTINA
51 J=NTIN(I)
52 40 B(J)=QD(I)
53 DO 50 J=1,NUTRA1
54 K=NUD(J,1)
55 L=NUD(J,2)
56 JK=KT(K)+1
57 JL=KT(L)+1
58 KT(K)=JK
59 KT(L)=JL

```

```

60 C
61 C *** CALCULA CONSTANTES ALFA Y GAMMA PARA LOS TUBOS ***
62 C *** NO LIGADOS A NUDOS DE CARGA CONSTANTE ***
63 C
64 C ALF(J)=1./(C(J)*ABS(Q(J))+TH)
65 C GAM(J)=(COI+THH*ALF(J))*Q(J)
66 C
67 C *** CALCULA ELEMENTOS DE LA MATRIZ DE COEFICIENTES ***
68 C *** (DE TUBOS NO LIGADOS A NUDOS DE CARGA CONSTANTES) ***
69 C
70 C U(K,1)=U(K,1)-ALF(J)
71 C U(L,1)=U(L,1)-ALF(J)
72 C U(K,JK)=ALF(J)
73 C U(L,JK)=ALF(J)
74 C B(K)=B(K)+GAM(J)
75 C B(L)=B(L)-GAM(J)
76 C 50 CONTINUE
77 C
78 C *** CALCULA CONSTANTES ALFA Y GAMMA PARA LOS ***
79 C *** TUBOS LIGADOS A NUDOS DE CARGA CONSTANTE ***
80 C
81 C DO 60 J=NUTRA2,NUTRA
82 C K=NUD(J,1)
83 C L=NUD(J,2)
84 C ALF(J)=1./(C(J)*ABS(Q(J))+TH)
85 C GAM(J)=(O.5+THH*ALF(J))*Q(J)
86 C
87 C *** CALCULA ELEMENTOS DE LA MATRIZ DE COEFICIENTES ***
88 C *** (DE TUBOS LIGADOS A NUDOS DE CARGA CONSTANTE) ***
89 C
90 C U(L,1)=U(L,1)-ALF(J)
91 C 60 B(L)=B(L)-H(K)*ALF(J)-GAM(J)
92 C
93 C *** SI HAY BOMBAS LLAMA A SUBROUTINA PARA CALCULAR CONSTANTES ***
94 C
95 C IF(NB.NE.O) CALL BOMBA
96 C
97 C *** LLAMA A SUBROUTINA QUE RESUELVE EL ***
98 C *** SISTEMA DE ECUACIONES LINEALES ***
99 C
100 C CALL SOR(NEC)
101 C
102 C *** CALCULA GASTOS EN CADA TUBO ***
103 C
104 C DO 70 J=1,NUTRA
105 C K=NUD(J,1)
106 C L=NUD(J,2)
107 C QA(J)=Q(J)
108 C Q(J)=ALF(J)*(H(K)-H(L))+GAM(J)
109 C 70 CONTINUE
110 C SQ=O.
111 C DO 75 J=NUTRA2,NUTRA
112 C SQ=SQ+Q(J)
113 C WRITE(6,130) SQ
114 C
115 C *** CALCULA GASTOS EN LAS BOMBAS ***
116 C
117 C IF(NB.EQ.O) GO TO 75
118 C WRITE(6,140)
119 C DO 78 I=1,NB

```

```

120      J=NBOM(I)
121      QB(I)=ALFROM(I)*H(J)+GAMBOM(I)
122      WRITE(6,150) J,QB(I)
123      78 CONTINUE
124 C
125 C *** PREGUNTA SI LOS GASTOS CUMPLEN CON LA TOLERANCIA ***
126 C
127      79 DO 80 J=1,NUTRA
128      IF (ABS(Q(J)-QA(J)).GT.TOLGAS) GO TO 90
129      80 CONTINUE
130      JI=1
131      GO TO 100
132      90 JI=0
133      100 CONTINUE
134      IF (IKC.EQ.NIM) JI=1
135      IF (IMPRO.EQ.0.OR.JI.EQ.1) CALL IMPRE
136      IF (JI.EQ.1) GO TO 120
137      110 CONTINUE
138      120 CONTINUE
139      130 FORMAT(10X,"SUMA DE GASTOS",F12.4)
140      140 FORMAT(10X,"GASTO EN LAS BOMBAS",/,10X,"NBOM",9X,"GASTO")
141      150 FORMAT(10X,13,7X,F8.3)
142      STOP
143      END
144      SUBROUTINE LECTU
145 C
146 C *** LEE E IMPRIME DATOS ***
147 C
148      COMMON/N01/NUD(230,2),NUT(230),NUDD(160),P(230),COTA(160),KT(160),
149      1C(210)
150      COMMON/N02/B(160),OMEGA,NIT,TOLCA,TOLGAS
151      COMMON/N03/NTIN(160),OD(160)
152      COMMON/N07/NUDOS,NUTRA,NUTRA1,NUTRA2,NEC,NTINA,NUDOS2,NUDOS1,NTA
153      COMMON/N08/NTAN(10),GA,CIT(10)
154      COMMON/N010/TH,THH,C01,NIM,IMPRO
155      COMMON/N011/NR,NBOM(20)
156      COMMON/N012/A0(20),A1(20),A2(20),A3(20),A4(20),A5(20),HMAX(20)
157 C
158 C      IMPRO ES UN INDICADOR
159 C      IMPRO = 0; SI SE IMPRIMEN TODAS LAS ITERACIONES
160 C      IMPRO = 1; SOLO SE IMPRIME LA ULTIMA ITERACION
161 C
162 C
163 C *** DATOS GENERALES DE LA RED DE TUBOS ***
164 C *** Y DE LOS CALCULOS POR REALIZAR ***
165 C
166      READ(5,370)NUDOS,NTA,NTINA,NR
167      READ(5,370)NIM,IMPRO,INDICA
168      READ(5,510)TH,TOLGAS
169      READ(5,360)OMEGA,TOLCA,NIT
170      NEC=NUDOS-NTA
171      NUD1=NEC+1
172      JI=0
173      NUDOS2=NUDOS+1
174 C
175 C *** SEGUN EL VALOR DE INDICA ESCOGE LA FORMULA ***
176 C *** PARA VALUAR PERDIDAS DEBIDAS AL ESFUERZO ***
177 C *** CORTANTE EN LAS PAREDES DE LOS TUBOS ***
178 C
179      IF (INDICA.EQ.1) GO TO 10

```

```

180      IF(INDICA.EQ.2) GO TO 15
181      CO=20.58718
182      EX1=2.
183      EX2=5.33333
184      COI=0.5
185      THH=0.5*TH
186      TITUL1=4HMANN
187      TITUL2=4HING
188      GO TO 20
189      10 CO=0.1652
190      EX1=1.
191      EX2=5.
192      COI=0.5
193      THH=0.5*TH
194      TITUL1=4HDARC
195      TITUL2=4HY-W
196      GO TO 20
197      15 CO=19.76084
198      COI=0.46
199      THH=0.54*TH
200      EX1=-1.852
201      EX2=4.8681
202      TITUL1=4HHAZE
203      TITUL2=4HN-W
204      20 CONTINUE
205      WRITE(6,450)
206      WRITE(6,460)
207      C
208      C C ***  DATOS DE NUDOS DE CARGA CONSTANTE  ***
209      C
210      READ(5,395)(NTAN(I),CIT(I),I=1,NTA)
211      DO 30 I=1,NTA
212      WRITE(6,470)NTAN(I),CIT(I)
213      30 CONTINUE
214      WRITE(6,400)
215      WRITE(6,490)
216      WRITE(6,410)TITUL1,TITUL2
217      WRITE(6,420)
218      NUDOS1=1
219      C
220      C C ***  DATOS DE LOS TUBOS LIGADOS A NUDOS DE CARGA CONSTANTE  ***
221      C
222      READ(5,370)NTRTA
223      DO 40 I=1,NTRTA
224      READ(5,430) J, (NUD(I,K),K=1,2),ELE,DIAM,ENE
225      C(I)=CO*ELE*ENE**EX1/DIAM**EX2
226      NUT(I)=J
227      IF(NUD(I,1).GT.NUDOS1) NUDOS1=NUD(I,1)
228      IF(NUD(I,2).GT.NUDOS1) NUDOS1=NUD(I,2)
229      DO 42 L=1,NTA
230      IF (NUD(I,1).EQ.NTAN(L)) GO TO 46
231      IF (NUD(I,2).EQ.NTAN(L)) GO TO 44
232      42 CONTINUE
233      WRITE(6,550)J
234      GO TO 46
235      44 K=NUD(I,1)
236      NUD(I,1)=NUD(I,2)
237      NUD(I,2)=K
238      46 WRITE(6,440)J, (NUD(I,K),K=1,2),ELE,DIAM,ENE
239      40 CONTINUE

```

```

240 C
241 C *** DATOS DE TUBOS NO LIGADOS A NUDOS DE CARGA CONSTANTE ***
242 C
243 READ(5,370)NUTRA1
244 NUTRA=NTRTA+NUTRA1
245 NUTRA2=NUTRA1+1
246 D0501=1,NTRTA
247 J=NUTRA1+1
248 C(J)=C(I)
249 NUT(J)=NUT(I)
250 NUD(J,1)=NUD(I,1)
251 NUD(J,2)=NUD(I,2)
252 50 CONTINUE
253 WRITE(6,500)
254 WRITE(6,410)TITUL1,TITUL2
255 WRITE(6,420)
256 DO 60 I = 1,NUTRA1
257 READ(5,430) J, (NUD(I,K),K=1,2),ELE,DIAM,ENE
258 NUT(I)=J
259 C(I)=CO*ELE*ENE**EX1/DIAM**EX2
260 IF(NUD(I,1).GT.NUDOS1) NUDOS1=NUD(I,1)
261 IF(NUD(I,2).GT.NUDOS1) NUDOS1=NUD(I,2)
262 WRITE(6,440)J, (NUD(I,K),K=1,2),ELE,DIAM,ENE
263 60 CONTINUE
264 C
265 C *** DATOS DE INGRESO Y EGRESO DE LA RED DESDE LOS NUDOS ***
266 C *** (DEMANDAS Y GASTOS CONSTANTES DE ENTRADA) ***
267 C
268 READ(5,395) (NTIN(I), QD(I),I=1,NTINA)
269 WRITE(6,480)
270 GA=0.
271 DO 70 J=1,NTINA
272 WRITE(6,470)NTIN(J),QD(J)
273 GA=GA+QD(J)
274 70 CONTINUE
275 WRITE(6,540) GA
276 WRITE(6,570)
277 DO 80 J=1,NUDOS
278 READ(5,385)I,R(I)
279 WRITE(6,580)I,B(I)
280 80 CONTINUE
281 IF(NB,EQ,0) GO TO 68
282 DO 68 I=1,NB
283 READ(5,600) NBOM(I),A0(I),A1(I),A2(I),A3(I),HMAX(I)
284 A4(I)=2.*A2(I)
285 A5(I)=3.*A3(I)
286 68 CONTINUE
287 GA=GA/NTINA
288 WRITE(6,350) TH
289 WRITE(6,530) GA
290 WRITE(6,560) NB
291 WRITE(6,330) NUDOS,NUTRA,NTRTA,NTA,NTINA,NUDOS1,NIM,OMEGA,TOLCA,N
292 1 IT
293 330 FORMAT (25X,"NUMERO DE NUDOS"15/25X,"NUMERO DE TRAMOS"15/25X,"NUME
294 1RO DE TRAMOS ASOCIADOS A TANQUES"15/25X,"NUMERO DE TANQUES"15/25X,
295 2"GASTOS DE INGRESO Y EGRESO"15/25X,"NUMERO MAXIMO DADO COMO NOMBRE
296 3 A UN NUDO"15/25X,"NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES DEL METODO"15/25X
297 4,"FACTOR OMEGA"10.4/25X,"TOLERANCIA (METODO SOB)"10.4/25X,"MAXIM
298 50 NUMERO DE ITERACIONES EN LA SOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES
299 6LINEALES"15)

```

```

301 340 FORMAT (15)
302 350 FORMAT(///,25X,"FACTOR DE ERROR EN EL METODO ESTADICO",F10.2)
303 360 FORMAT(2F10.0,15)
304 370 FORMAT(14I5)
305 380 FORMAT(8F10.3)
306 385 FORMAT(15,F10.2)
307 390 FORMAT (15,7F10.2)
308 400 FORMAT(//49X,"CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DE LA RED",//)
309 410 FORMAT(19X,"TUBO",10X,"NUDOS QUE UNE",10X,"LONGITUD",10X,"DIAMETRO
310 1",10X,"COEFICIENTE DE ",2A4)
311 420 FORMAT(58X,"(M)",15X,"(M)")
312 430 FORMAT(315,3F10.0)
313 440 FORMAT(20X,I3,12X,I3,2X,I3,14X,F8.2,11X,F5.2,19X,F10.4)
314 450 FORMAT(//51X,"NUDOS DE CARGA CONSTANTE (TANQUES)",//)
315 460 FORMAT(46X,"NUDO",32X,"CARGA (M)",//)
316 470 FORMAT(46X,I3,31X,F8.3)
317 480 FORMAT(/47X,"NUDOS CON GASTO DE EGRESO (+) O INGRESO (-)",//,46X,"
318 INUDO",29X,"GASTO (M3/S)",//)
319 490 FORMAT(46X,"(TUBOS ASOCIADOS A NUDOS DE CARGA CONSTANTE)",//)
320 495 FORMAT(5(15,F10.0))
321 500 FORMAT(/44X,"(TUBOS NO ASOCIADOS A NUDOS DE CARGA CONSTANTE)",//)
322 510 FORMAT (10F8.0)
323 530 FORMAT(25X,"GASTO INICIAL EN LOS TUBOS",F8.3)
324 540 FORMAT(25X,"EL GASTO QUE SALE DE LA RED ES",F12.4)
325 550 FORMAT(10X,"ERROR EN EL TUBO",15.2X,"YA QUE NO ESTA ASOCIADO A UN
326 INUDO DE CARGA CONOCIDA")
327 600 FORMAT(13,5F10.0)
328 560 FORMAT(25X,"NUMERO DE BOMBAS",15)
329 570 FORMAT(//,54X,"CONDICIONES DEL SISTEMA",//,5X,"NO.",7X,"ELEVACION
330 1",//,56X,"NUDO",5X,"DEL TERRENO",//)
331 580 FORMAT(54X,I4,6X,F8.2)
332 RETURN
333 END
334 SUBROUTINE SOR(NUDOS)
335 C
336 C *** RESUELVE EL SISTEMA DE ECUACIONES ***
337 C *** LINEALES POR EL METODO DE SOR ***
338 C
339 DIMENSION Y(120)
340 COMMON/NO2/B(160),OMEGA,NIT,TOLCA
341 COMMON/NO4/HG(160),M(160,7),A(160,7),IIC
342 COMMON/NO9/NAS(160)
343 E=0.
344 DO 40 IT=1,NIT
345 E1=E
346 E=0.
347 DO 30 I=1,NUDOS
348 Y(I)=0.
349 DO 20 J=1,NAS(I)
350 K=M(I,J)
351 Y(I)=Y(I)+A(I,J)*HG(K)
352 Y(I)=(B(I)-Y(I))/A(I,1)
353 E2=OMEGA*Y(I)
354 E=ABS(Y(I))+E
355 HG(I)=HG(I)+E2
356 IF (E.LT.TOLCA) GO TO 50
357 40 CONTINUE
358 OMEGA=2./(1.+SQRT(1.-E/E1))
359 50 WRITE(6,60) IIC,IT,E,OMEGA
360 60 FORMAT(/60X,"CALCULO NO.",I4,/,23X,"METODO SOR NUMERO DE ITERAC.

```

```

360 IONES",14,10X,"ERROR",F10.5,8X,"OMEGA",F6.3)
361 RETURN
362 END
363 SUBROUTINE IMPRE
364 C
365 C *** IMPRIME GASTOS, NIVELES PIEZOMETRICOS ***
366 C *** Y CARGAS SOBRE EL TERRENO ***
367 C
368 COMMON/NO1/NUD(230,2),NUT(230),NUDO(160),Q(230),COTA(160)
369 COMMON/NO7/NUDOS,NUTRA,NUTRA1,NUTRA2,NEC,NTINA,NUDOS2
370 COMMON/NO4/H(160)
371 WRITE(6,70)
372 WRITE(6,80)
373 DO 20 J=1,NUDOS
374 K=NUD(J,1)
375 L=NUD(J,2)
376 I=NUDO(J)
377 JJ=NUT(J)
378 IF (Q(J).LT.0.) GO TO 10
379 K=NUDO(K)
380 WRITE (6,90)JJ,Q(J),I,I,H(J),H(J)-COTA(J)
381 GO TO 20
382 10 L=NUDO(L)
383 WRITE (6,90)JJ,-Q(J),L,I,H(J),H(J)-COTA(J)
384 20 CONTINUE
385 DO 40 J=NUDOS2,NUTRA
386 K=NUD(J,1)
387 L=NUD(J,2)
388 JJ=NUT(J)
389 IF (Q(J).LT.0.) GO TO 30
390 K=NUDO(K)
391 WRITE (6,90)JJ,Q(J),K
392 GO TO 40
393 30 L=NUDO(L)
394 WRITE (6,90)JJ,-Q(J),L
395 40 CONTINUE
396 70 FORMAT(///11X,"G A S T O S",6X,"E N",6X,"L O S",6X,"T U B O S",22X
397 1,"C A R G A S",6X,"E N",6X,"L O S",6X,"N U D O S"/)
398 80 FORMAT(15X,"TUBO",8X,"GASTO",8X,"SALE DEL NUDO",24X,"NUDO",3X,"NIV
399 1EL PIEZOMETRICO",3X,"CARGAS SOBRE EL TERRENO"/)
400 90 FORMAT(15X,I3,6X,F8.3,I3,12X,I3,30X,I3.5X,F7.2,16X,F7.2)
401 RETURN
402 END
403 SUBROUTINE ARMA
404 C
405 C *** ARMA LA RED E IDENTIFICA NUDOS ***
406 C
407 COMMON/NO1/NUD(230,2),NUT(230),NUDO(160),Q(230),COTA(160),KT(160)
408 COMMON/NO2/B(160)
409 COMMON/NO3/NTIN(160),OD(160)
410 COMMON/NO4/H(160)
411 COMMON/NO7/NUDOS,NUTRA,NUTRA1,NUTRA2,NEC,NTINA,NUDOS2,NUDOS1,NTA
412 COMMON/NO8/NTAN(10),GA,CIT(10)
413 COMMON/NO9/NASO(160)
414 COMMON/NO11/NB,NBM(20)
415 DIMENSION NN(230,7),NT(230,7),NAS(160),IMPRE(20)
416 WRITE (6,490)
417 WRITE (6,500)
418 WRITE (6,510)
419 II=0

```

```

420      DO 10 I = 1,NUDOS1
421 10  Q(I) = 1
422      DO 50 I = 1,NUTRA
423      K=NUD(I,1)
424      L=NUD(I,2)
425      IF (Q(L).EQ.1) GO TO 20
426      NUD(I,2)=KT(L)
427      GO TO 30
428 20  II = II + 1
429      NUDD(II)=L
430      Q(L)=2
431      NUD(I,2)=II
432      KT(L)=II
433 30  IF (Q(K).EQ.1) GO TO 40
434      NUD(I,1)=KT(K)
435      GO TO 50
436 40  II = II + 1
437      NUDD(II)=K
438      Q(K)=2
439      NUD(I,1)=II
440      KT(K)=II
441 50  CONTINUE
442      DO 60 I = 1,NUDOS
443 60  NAS(I) = 0
444      DO 70 N=1,NUTRA
445      K=NUD(N,1)
446      L=NUD(N,2)
447      NAS(K)=NAS(K)+1
448      I=NAS(K)
449      NAS(L)=NAS(L)+1
450      J=NAS(L)
451      NN(K,I)=L
452      NT(K,I)=N
453      NN(L,J)=K
454      NT(L,J)=N
455 70  CONTINUE
456 C
457 C *** IMPRIME EL ARMADO DE LA RFD ***
458 C
459      DO 90 I = 1,NUDOS
460      N=NUDD(I)
461      NA=NAS(I)
462      NASQ(I)=NA+1
463      MJ=0
464      DO 80 J = 1,NA
465      MJ=MJ+1
466      KONT=NN(I,J)
467      KONT=NUDD(KONT)
468      IMPRE(MJ)=KONT
469      MJ=MJ+1
470      KONT=NT(I,J)
471      KONT=NUT(KONT)
472 80  IMPRE (MJ) = KONT
473      WRITE (6,520)(N,(IMPRE(J)),J=1,MJ)
474 90  CONTINUE
475      DO 100 J = NUTRA2,NUTRA
476      L=NUD(J,2)
477      NASQ(L)=NASQ(L)-1
478 100 CONTINUE
479 C

```

```

480 C ***  REENUMERA NUDOS DE LA RED Y DATOS ***
481 C ***  ASOCIADOS A LOS MISMOS ***
482 DO 110 J = 1,NTA
483 K=NTAN(J)
484 K=KT(K)
485 110 NTAN(J) = I
486 DO 120 J = 1,NTINA
487 K=NTIN(J)
488 K=KT(K)
489 120 NTIN(J) = I
490 IF (NR.EQ.0) GO TO 126
491 DO 125 J=1,NR
492 K=NRDM(J)
493 K=KT(K)
494 125 NRDM(J)=I
495 126 CONTINUE
496 DO 130 I = 1,NUTRA
497 Q(I)=GA
498 130 CONTINUE
499 DO 140 I = 1,NTA
500 J=NTAN(I)
501 140 H(J) = CIT(I)
502 DO 150 I=1,NUDOS
503 J=NUDO(I)
504 150 COTA(I)=B(J)
505 490 FORMAT(1H1, //62X, "RED DE TUBOS"//)
506 500 FORMAT(2X, "NUDO", 2X, "UNIDO AL", 4X, "CON EL", 4X, "UNIDO AL", 4X, "CON E
507 1L", 4X, "UNIDO AL", 4X, "CON EL", 4X, "UNIDO AL", 4X, "CON EL", 4X, "UNIDO A
508 2L", 4X, "CON EL")
509 510 FORMAT(10X, "NUDO", 7X, "TUBO", 7X, "NUDO", 7X, "TUBO", 7X, "NUDO", 7X, "TUBO
510 1", 7X, "NUDO", 7X, "TUBO", 7X, "NUDO", 7X, "TUBO"/)
511 520 FORMAT(2X, I3, 6X, I3, 11(6X, I3))
512 RETURN
513 END
514 SUBROUTINE BOMBA
515 C
516 C ***  ENCUENTRA LOS COEFICIENTES ASOCIADOS ***
517 C ***  A LOS NUDOS CON BOMBAS ***
518 C
519 COMMON/ND2/B(160)
520 COMMON/ND4/R(160),M(160,7),U(175,7)
521 COMMON/ND11/NB,NRDM(20),ALFROM(20),GAMBOM(20),QB(20)
522 COMMON/ND12/A0(20),A1(20),A2(20),A3(20),A4(20),A5(20),HMA(20)
523 DO 20 I=1,NB
524 J=NRDM(I)
525 IF (H(J).GT.HMAX(I)) GO TO 10
526 H2=R(J)*H(J)
527 H3=H2*H(J)
528 QB(I)=A0(I)+A1(I)*H(J)+A2(I)*H2+A3(I)*H3
529 ALFROM(I)=(A1(I)+A4(I)*H(J)+A5(I)*H2)
530 GAMBOM(I)=QB(I)-ALFROM(I)*H(J)
531 U(I,1)=U(I,1)+ALFROM(I)
532 B(I)=R(I)-GAMBOM(I)
533 GO TO 20
534 10 ALFROM(I)=0.
535 GAMBOM(I)=0.
536 20 CONTINUE
537 RETURN
538 END

```

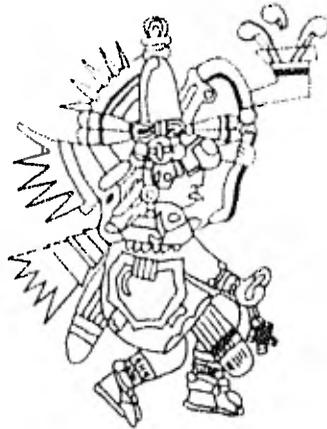
BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS .

1. Cross, H., "Analysis of Flow in Networks of Conduits or Conductors", University of Illinois, Eng. Exp. Station Bull., 286.
2. Fair, G. M., Geyer, J. C. and Okun, D.A., "Water and Wasterwater Engineering", John Wiley & Sons, New York, 1966.
3. Germund, D. and Bjorck, A., "Numerical Methods", Prentice Hall, USA, 1974.
4. González Villareal, F. J. y Capella, V. A., "Modelos para Análisis de Redes de Abastecimiento de Agua Potable", Informe No. 286 Instituto de Ingeniería, UNAM, México, 1971.
5. Hornbeck, R. W., "Numerical Methods", Quantum Publishers, USA, 1975.
6. King, H.W., Wisler, Ch. O., Wodburn, J.G., "Hydraulics", John Wiley & Sons. USA, 1948.
7. Lemieux, P. F., "Efficient Algorithm for Distribution Networks", Journal of the Hydraulics Division. ASCE, No. 9336 (noviembre 1972).
8. Organización Panamericana de la Salud "Seminario Sobre Diseño de Abastecimiento de Agua", 1964
9. Sánchez Bribiesca, J. L., "Doce Algoritmos para Resolver problemas de Hidráulica", Informe No. 412, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, 1978.

10. S.R.H., "*Normas de Proyecto para Obras de Aprovechamiento de Agua Potable en Localidades Urbanas de la República Mexicana*".
11. Shamir, U. and Howard, Ch. D., "*Water Distribution Systems Analysis*", Journal of the Hydraulics Division. ASCE, No. 5758 (January, 1968).
12. Sotelo Avila, G., "*Hidráulica General*", Volumen I Fundamentos, Limusa, México, 1977.
13. Turneaure, F. E. and Russell, H. L., "*Public Water Supplies*", John Wiley & Sons, New York, 1950.
14. Williams, G. S. and Hazen, A., "*Hydraulics Tables*", John Wiley & Sons, New York, 1933.
15. Wood, D.J. and Charles, C.O., "*Hydraulic Network Analysis Using Linear Theory*", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, No 9031 (July 1972)

QUETZALCOATL

Quetzalcóatl, fue quizás el más complejo y fascinante de todos los Dioses mesoamericanos. Su concepto primordial, sin duda muy antiguo en el área, parece haber sido el de un monstruo serpiente celeste con funciones dominantes de fertilidad y creatividad. A este núcleo se agregaron gradualmente otros aspectos: la leyenda lo había mezclado con la vida y los hechos -- del gran Rey sacerdote Tlapaltzin, cuyo título acordado tal era el propio nombre del Dios del que fue especial devoto. En el momento de la conquista, Quetzalcóatl, considerado como Dios único desempeñaba varias funciones: Creador, Dios del viento, Dios del planeta Venus, héroe cultural, arquetipo del sacerdocio, patrón del calendario y de las actividades intelectuales en general, etc. Un análisis adicional es necesario para poder desentrañar los hilos aparentemente independientes que entran al tejido de su complicada personalidad.



IMPRESO EN LOS TALLERES DE:
EDITORIAL QUETZALCOATL, S. A.
MEDICINA No. 37 LOCALES 1 Y 2 (ENTRADA POR PASEO DE LAS
FACULTADES) FRENTE A LA FACULTAD DE MEDICINA DE C. U.
MEXICO 20, D. F. TELÉFONOS: 548-61-80 Y 5-48-58-56