

Algoritmo para la inicialización de caudales en los métodos de análisis de sistemas de distribución de agua

M.^a PILAR MONTESINOS BARRIOS (*)
JOSE LUIS AYUSO MUÑOZ (**)
ADOLFO PEÑA ACEVEDO (*)

RESUMEN. El análisis de sistemas de distribución de agua consiste en determinar los caudales circulantes a través de sus elementos, así como las alturas piezométricas en sus nudos. Según el tipo de planteamiento de las ecuaciones definitorias del sistema, las incógnitas pueden ser los caudales o las presiones nodales. Los diversos métodos de análisis de redes son de carácter iterativo y se clasifican en tres grupos, según el tipo de ecuaciones empleadas en el planteamiento del problema: ecuaciones de líneas, de nudo y de malla. En el presente trabajo se propone un algoritmo, basado en la teoría de grafos, que determina los caudales iniciales requeridos en la aplicación tanto el método del Newton-Raphson como el Hardy-Cross, ambos formulados según las ecuaciones de malla. Se ha desarrollado un programa de ordenador que usa dicho algoritmo y se aplica en la ejecución de los métodos citados para el análisis de una red mallada. El programa está disponible para quienes estén interesados, sin más que enviar un disquete con la envoltura adecuada y debidamente franqueada a los autores.

ALGORITHM FOR THE INITIALIZATION OF FLOWS IN ANALYSIS METHODS FOR WATER DISTRIBUTION SYSTEMS

ABSTRACT. An analysis of water distribution systems consists of determining the flows running through their elements and the their nodal pressures. There are several approaches to solve the hydraulic problem, and the unknowns may either be the flows or the nodal pressures. Most of the methods are iterative and can be classified into three distinct groups, depending on the equations used and the approach to the problem: link, nodal or loop equations. An algorithm has been developed, which estimates the initial flow rates on the basis of graph theory. The loop equations are solved either by Newton-Raphson or Hardy Cross methods. A computer program which uses this algorithm has been developed for application in carrying out the mentioned methods. The program is available free of charge to those interested, on receipt of a self-addressed stamped, disk mailer and diskette.

INTRODUCCION

El análisis de los sistemas de distribución de agua es un problema planteado desde tiempo atrás que ha promovido, y aún suscita, el interés de los investigadores.

Los modelos de simulación hidráulica tratan de analizar las condiciones de funcionamiento del sistema. Así, dada la topología de la red y una distribución de consumos, el modelo reproduce las características hidráulicas del sistema, determinando los caudales en las distintas conducciones y las alturas piezométricas en los nudos de la red.

La problemática del análisis de redes hidráulicas reside en el carácter no lineal de las ecuaciones que las definen, lo que implica el uso de métodos iterativos, es decir, técnicas que necesitan, para llegar a la solución del problema, partir de unos determinados valores iniciales. Dos de los métodos más empleados en el análisis de redes, Hardy Cross y Newton-Raphson, requieren un conjunto de caudales iniciales adecuado para que la convergencia de la solución sea rápida,

pues unas estimaciones iniciales inadecuadas pueden conducir a una convergencia lenta, o incluso en algunos casos, a una inexistencia de la misma, con la consiguiente imposibilidad de obtener una solución.

Los modelos de simulación hidráulica basados en los métodos de Hardy Cross y Newton-Raphson requieren una serie de datos iniciales, entre los que se encuentran los caudales de partida para los respectivos procesos iterativos. La estimación de esta distribución inicial de caudales, que cumpla la condición de conservación de la masa en cada nudo de la red, puede hacerse manualmente para el caso de redes sencillas con un pequeño número de elementos, convirtiéndose en un trabajo tedioso y engorroso para el analista o proyectista cuando se trata de redes complejas.

La necesidad de generar de forma automática los caudales iniciales requeridos por los modelos de simulación hidráulica, de modo que no sólo eviten un trabajo molesto al ingeniero, sino que aseguren la convergencia de la solución, ha llevado al diseño de algoritmos inicializadores (Epp y Fowler, 1970; Wood y Charles, 1972; Nielsen, 1990).

En este trabajo se presenta un algoritmo basado en la teoría de grafos que permite estimar automáticamente los valores iniciales de los caudales circulantes a través de los elementos de la red de distribución, a partir de las demandas

(*) Profesores Asociados del Área de Proyectos de Ingeniería. ETSIAM (Universidad de Córdoba).

(**) Catedrático del Área de Proyectos de Ingeniería. ETSIAM (Universidad de Córdoba).

nodales, y permite abordar el problema del análisis de redes malladas, ramificadas con más de un punto de alimentación y mixtas.

DEFINICION DEL ALGORITMO

El algoritmo desarrollado, denominado QINI, obtiene, a partir de los datos geométricos de la red (nodos y elementos) y de las resistencias hidráulicas de sus distintos componentes, lo que en teoría de grafos se denomina *árbol de expansión minimal*, que consiste en una estructura en árbol compuesta por una serie de tuberías o elementos de la red, que sin formar circuitos cerrados une todos los nodos. De este modo, una vez determinada la nueva topología de la red, se realiza el reparto de caudales en función de las demandas nodales.

Esta nueva configuración de la red presenta las siguientes ventajas:

1. Dos nodos cualesquiera están conectados por un solo camino, por lo que la red mallada o mixta pasa a tener una configuración de tipo ramificado, mucho más simple.
2. Usando el árbol de expansión de mínima resistencia, quedan eliminados del mismo aquellos elementos de mayor resistencia, a los que se les asigna un caudal nulo.

Esto da una aproximación bastante razonable al caudal verdadero (Epp y Fowler, 1970; Montesinos y Ayuso, 1992), lo que determina una reducción en el número de iteraciones requeridas para la determinación de la solución.

El algoritmo QINI está estructurado en forma de los subalgoritmos secuenciales. El primero de ellos determina el árbol de expansión minimal de la red, y el segundo, teniendo en cuenta la nueva configuración geométrica, estima el caudal circulante a través de los distintos componentes de la misma.

Asimilando la red del sistema de distribución de agua a un grafo conexo (sus vértices están conectados) y no dirigido (no se conoce la dirección del flujo entre dos nodos cualesquiera), puede aplicarse el algoritmo de Prim (Aho y colaboradores, 1988) para obtener el árbol de expansión minimal, entendiendo como tal al árbol libre (estructura no mallada) de un grafo conexo y cuya resistencia, suma de las resistencias asociadas a las aristas (tuberías) que lo forman, es mínima.

El algoritmo de Prim, para la determinación del árbol de expansión minimal, puede resumirse del siguiente modo:

Se denomina por $V = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ el conjunto de nodos de la red y U un subconjunto de nodos de V . Se comienza asignando un nodo cualquiera i al subconjunto U , en el que se desarrolla el árbol de expansión minimal, tubería por tubería. El primer paso consiste en la localización de la tubería k de menor resistencia que conecta al nodo i del subconjunto U con el resto de los nodos aislados $V-U$ al U , constituyendo los dos nodos (i y el recién agregado a U) junto la tubería o elemento que las conecta un árbol de expansión parcial. Los restantes nodos constituyen el subconjunto $V-U$. El siguiente paso a seguir consiste en buscar la tubería de menor resistencia que conecte algún nodo del subconjunto U (árbol de expansión parcial) con cualquiera del resto de los nodos aislados $V-U$, agregando dicha tubería o elemento al árbol de expansión parcial. Estos pasos se repiten sucesivamente hasta que el subconjunto U llega a ser igual que el conjunto V , lo que es lo mismo, hasta que todos los nodos aislados lleguen a estar conectados al árbol de expansión parcial, resultando el árbol de expansión de mínima resistencia hidráulica.

Una vez que se ha obtenido el árbol de expansión mini-

mal, los caudales circulantes a través de cada tubería del árbol se determinan, mediante el segundo subalgoritmo, que se detalla seguidamente.

Se introducen los nodos denominados *fuentes* en los que existen embalses alimentadores, y a partir del árbol de expansión, el subalgoritmo identifica los nodos *terminales* (nodos de finalización del árbol) y los nodos de *paso* (nodos que conectan el extremo de una tubería con el inicio de otra). El siguiente paso consiste en inspeccionar todos los nodos del árbol para comprobar en cada nodo terminal si existe la posibilidad de que acaben más de una tubería, en cuyo caso la demanda en dicho nodo se supone que es abastecida de forma *inversamente proporcional a la resistencia hidráulica* de las tuberías que en él concurren. Seguidamente, comenzando por un nodo cualquiera de la red, se selecciona el nodo terminal en orden secuencial más próximo y determina la tubería que termina en el mismo y se le asigna un caudal igual a la demanda en dicho nodo, quedando esta tubería eliminada para los cálculos siguientes, sumando el caudal en la tubería a la demanda en el nodo inicial, identificando a continuación el número de tuberías que terminan en dicho nodo, para repartir esta nueva demanda entre las tuberías que en él terminan de forma inversamente proporcional a la resistencia hidráulica de las mismas. A partir de ese momento se disminuye en una unidad el número de tuberías que finalicen en el nodo terminal inspeccionado. A continuación se inicia un ciclo para ver si existe alguna tubería que comience en el nodo inicial de la tubería eliminada, en cuyo caso establece el nodo inicial de la tubería como nodo de paso; en caso contrario comprueba si el nodo inicial de la tubería es fuente, y si lo es, procede a la búsqueda de otro nodo terminal, estableciendo, en caso contrario, el nodo inicial de la tubería eliminada como nodo terminal, volviendo a proceder de igual manera hasta agotar todos los nodos terminales y haber establecido todos los caudales que circulan por el árbol en función de las demandas de los nodos de la red. A las tuberías que no forman parte del árbol de expansión de mínima resistencia hidráulica se les asigna un caudal cero.

CODIFICACION DEL ALGORITMO, VARIABLES EMPLEADAS. DIAGRAMA DE FLUJOS

El algoritmo QINI ha sido implementado en lenguaje FORTRAN 77 para la inicialización de caudales de los métodos de Hardy Cross y Newton-Raphson de forma independiente. También se encuentra disponible una versión del mismo en lenguaje C, pero integrado en un modelo complejo de análisis de sistemas de distribución de agua, denominado ANSIDA (Fernández y colaboradores, 1993).

Las principales variables empleadas por el algoritmo son las siguientes:

- RES, vector donde se almacena la resistencia hidráulica de cada línea de la red.
- N1 y N2, vectores donde se almacenan los nodos inicial y final de cada línea.
- A, vector que recoge el primer coeficiente de la ecuación característica de las distintas bombas que pueden existir en la red.
- Q, vector caudal.
- DEM, vector de almacenamiento de las demandas nodales.

Las variables comentadas hasta ahora son aquellas que deben ser comunes al programa principal, por lo que deben

ser incluidas en estructuras COMMON; todas ellas son de carácter real.

Así, las variables cuya utilización es exclusiva del algoritmo, empleado como subrutina de un programa principal, son las siguientes:

- MASC, vector que contabiliza el nudo más cercano a partir del nudo de partida.
- MENC, vector que almacena las líneas de menor resistencia hidráulica.
- V, vector cuyos elementos toman valores de 0, 1 y 2, según los distintos nudos del árbol sean de paso, fuente o terminales.
- P, vector que almacena el número de ramales que acaban en un nudo terminal.
- T, vector de control que elimina aquellas ramas del árbol en las que el caudal circulante ya se ha estimado.
- ARB, vector que contabiliza los distintos componentes del árbol de expansión.
- PC, corresponde a la matriz de resistencia hidráulica, es decir, una matriz de conectividad.
- C, vector de cambio de sentido de flujo en tuberías.

De las variables comentadas anteriormente, sólo MENC y PC son variables reales, el resto son de carácter entero.

El algoritmo QINI es presentado en este trabajo con estructura de subrutina, por lo que requiere algún tipo de argumento de entrada, que en este caso es el número de líneas de que consta el sistema de distribución. No se ha considerado argumento de salida alguno, es decir, un vector de caudales, puesto que se ha considerado incluido dentro de una estructura COMMON.

En la figura 1, se adjunta el diagrama de flujos del algoritmo y, posteriormente, en las figuras 2 y 3 el listado del mismo en *fortran-77*, en forma de subrutina de un programa principal que utilice el método de Hardy Cross o el de Newton-Raphson, o que permita la utilización alternativa de ambos métodos de análisis.

APLICACION DEL ALGORITMO

El algoritmo propuesto ha sido aplicado para la resolución de la red mallada de la figura 4, utilizando los métodos de Hardy Cross y de Newton Raphson y empleando como ecuación de pérdida de carga en tuberías la de Hazen Williams. En la figura 5 se presenta el árbol de expansión minimal generado por el algoritmo. Los valores de los caudales iniciales así como los caudales finales resultantes de la aplicación de ambos métodos se presentan en la tabla 1.

De los resultados expuestos en la tabla anterior se deduce que ambos métodos son válidos para la resolución del problema, aunque el método de Newton presenta una convergencia más rápida, como consecuencia de realizar la resolución del sistema de ecuaciones que define la red de forma simultánea, mientras que el método de Hardy resuelve el mismo conjunto de ecuaciones, también en términos de caudales correctores de malla, pero de forma independiente, con lo que es más lenta la obtención de la solución final.

CONCLUSIONES

Se ha diseñado un algoritmo capaz de determinar un conjunto de valores iniciales de los caudales circulantes en una red, para la aplicación de los métodos de Hardy Cross y Newton-Raphson, de análisis de sistemas de distribución de agua, de modo que acelere y mejore la convergencia de la solución.

El algoritmo ha sido desarrollado en forma de subrutina

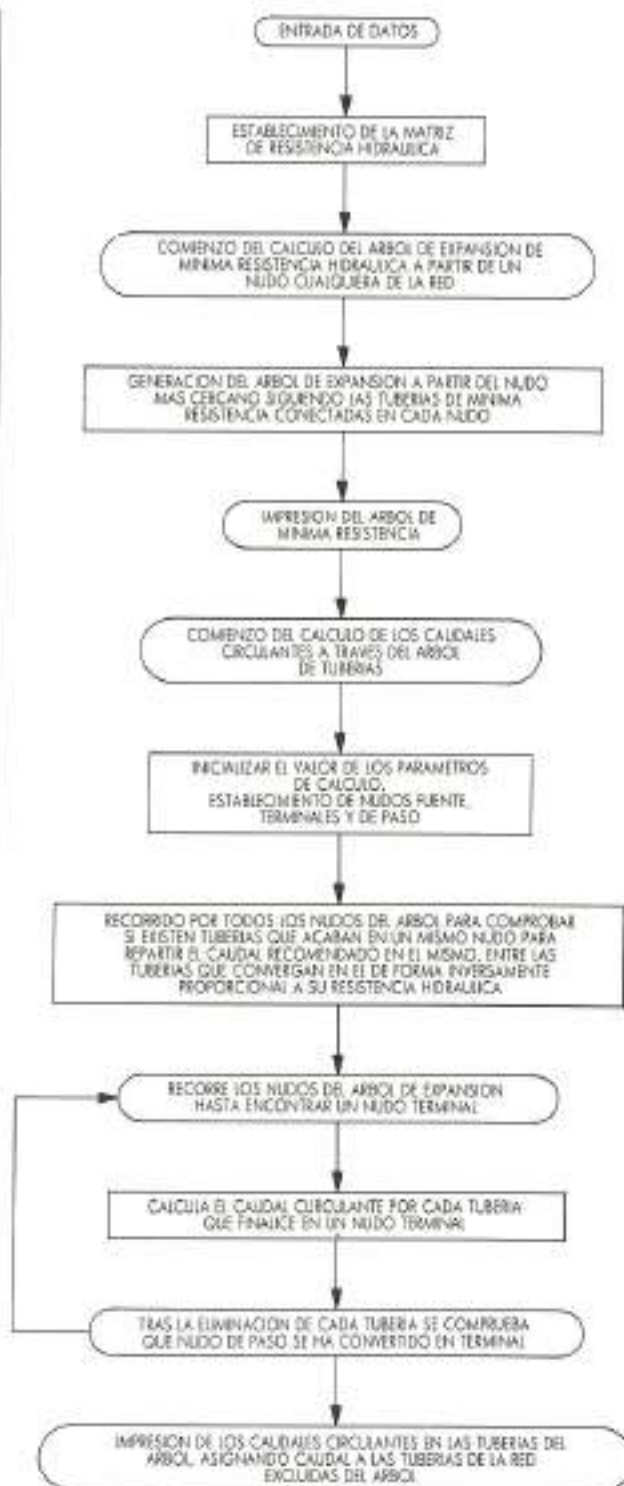


FIGURA 1. Diagrama de flujos.

aplicable a cualquier programa principal que utilice cualquier método de análisis de sistemas de distribución, siempre que las ecuaciones definitorias de tales sistemas estén expresadas en términos de caudales (en las líneas) o caudales correctores (en las mallas o pseudomallas).

```

C      Subrutina QINI
C      .....
C      Obtiene los caudales iniciales en la red a partir del árbol de expresión mínimo
C      S
C      de los denominados nodales
SUBROUTINE QINI
REAL INFINITO, AMENCA, MIN
INTEGER ARB, I, P, I, C
COMMON /JUNDO, N, NA, HI
COMMON /JOS, RES(300), N1(300), N2(300), PC(300)
COMMON /TRES, IZ(1300), Q(300), Q1(300), LDEM(300), A(300)
DIMENSION MAS(300), MENC(300), V(300)
DIMENSION P1(300), T1(300), ARB(300), Q1(300)
DATA INF(1.E30)
C      Inicializa el vector Q
DO 3 I = 1, N
  Q(I) = 0
C      3 CONTINUE
C      Inicializa la matriz PC
DO 2 I = 1, ND
  DO 4 J = 1, ND
    PC(I, J) = 0
  CONTINUE
C      2 CONTINUE
C      Resistencias asociadas a cada arista del grafo de la red para determinar el
C      árbol de expresión de mínima resistencia
DO 5 I = 1, N
  PC(I, N2(I) + RES(I))
  PC(N2(I), I) = RES(I)
C      5 CONTINUE
C      Si existe un bombeo en la línea I, le asigna una resistencia muy pequeña
DO 6 I = 1, N
  IF (LINE(I) .EQ. 1) THEN
    PONT(I, N2(I) + 1.E-10)
    PONT(N2(I), I) = 1.E-10
C      6 CONTINUE
C      Establece como resistencia de las aristas que no existen un valor grande apropiado, menor que infinito
DO 9 I = 1, ND
  DO 11 J = 1, ND
    IF (PC(I, J) .EQ. 0) PC(I, J) = 1.E-10
  CONTINUE
C      11 CONTINUE
C      Inicio de la obtención del árbol de expresión
DO 10 I = 2, ND
  IZ = NA + 1
  IF (I2.GT.ND) IZ = 0 + ND
  MENC(IZ) = PC(I, NA)
  MAS(IZ) = NA
C      10 CONTINUE
DO 20 I = 2, ND
  IZ = NA + 1
  IF (I2.GT.ND) IZ = 12 + ND
  IF (NA.EQ.ND) THEN
    MIN = MENC(I)
    K = 1
  ELSE
    MIN = MENC(NA + 1)
    K = NA + 1
  ENDIF
  DO 30 J = 3, ND
    IZ = NA + 1
    IF (I2.GT.ND) IZ = J2 + ND
    IF (N1(I) .EQ. J) AND (N2(K) .EQ. J) THEN
      ARB(I) = IND(K)
    ELSE
      IF (N1(K) .EQ. J) AND (N2(I) .EQ. MAS(K)) THEN
        ARB(I) = IND(K)
      ENDIF
    ENDIF
    CONTINUE
    MENC(I) = INF
    DO 15 J = 2, ND
      IZ = NA + 1
      IF (I2.GT.ND) IZ = J2 + ND
      IF (PC(K, IZ) .LT. MENC(IZ) AND MENC(IZ) .LT. INF) THEN
        MENC(IZ) = PC(K, IZ)
        MAS(IZ) = K
      ENDIF
    CONTINUE
C      20 CONTINUE
C      Escribe los números del árbol abarcador minimal
WRITE(2, 200) (ARB(I), I = 1, ND-1)
WRITE(2, 200)
C      Cálculo de los caudales que circulan por las tuberías del árbol
C      Inicialización de los valores de los vectores V, C, P y T
DO 13 I = 1, ND-1
  C(I) = 0
  T(I) = 0
C      13 CONTINUE
DO 12 I = 1, ND
  V(I) = 0
  P(I) = 1
C      12 CONTINUE
C      Introduce los ruidos frente a la red y les asigna el valor V(I) = 1
WRITE(1, *) 'Introduzca el número de nudos fuente o embalses'
READ(*, *) NFE
DO 14 I = 1, NFE
  WRITE(1, *) 'Nudo fuente', I, 'de la red'
  READ(1, *) K
  WRITE(1, *)
  WRITE(12, 220) (K)
  WRITE(1, *)
  V(K) = 1
C      14 CONTINUE
C      Determina los ruidos terminales y de paso del árbol de expresión
DO 16 I = 1, ND
  IF (V(I) .EQ. 0) GOTO 16
  DO 17 J = 1, ND-1
    IF (N1(I) .EQ. J) .OR. (N2(I) .EQ. J) THEN
      NP = N1(I) .EQ. J
      N1(ARB(I)) = N2(ARB(I))
      N2(ARB(I)) = NP
      V(N2(ARB(I))) = 0
      V(N1(ARB(I))) = 2
      C(ARB(I)) = -1
      WRITE(1, *) '*** ANSO ***'
      WRITE(1, *) 'Se han cambiado el sentido de la tubería', ARB(I)
    ENDIF
  ENDIF

```

FIGURA 2. Listado del algoritmo QINI.

La generación de caudales iniciales adecuados para la aplicación de los métodos expuestos de análisis de redes es uno de los principales inconvenientes que se encuentra el ingeniero; por consiguiente, la disponibilidad de un algoritmo que permita la generación automática de los mismos representa una considerable ayuda para el técnico analista de los sistemas de distribución de agua.

BIBLIOGRAFÍA

- AHO, A. F.; HOPCROFT, J. E.; y ULLMAN, J. D. (1988). *Estructuras de datos y algoritmos*. Addison-Wesley Iberoamericana, Argentina.
- EPP, R.; y FOWLER, A. R. (1970). «Efficient code for steady-state flows in networks». *J. Hydr. Div.* 96: 43-56.

- FERNANDEZ, J. C.; MONTESINOS, M. P.; CARMONA, A.; y AYUSO, J. L. (1992). *Modelo combinado de análisis de sistemas de distribución de agua*. ANSIDA. IX Congreso Nacional de Ingeniería de Proyectos, Valencia 13-15 de octubre, 463-462.
- MONTESINOS, M. P. (1992). *Análisis de sistemas de distribución de agua en redes malladas*. Trabajo profesional fin de carrera. UCO.
- MONTESINOS, M. P.; y AYUSO, J. L. (1993). «Aplicación de algoritmos basados en la teoría de grafos para la inicialización de caudales en el método de Hardy Cross». *Riegos y drenajes*, 68: 16-21.
- NIELSEN, H. B. (1990). «Methods for analyzing pipe networks». *J. of Hydr. Engineer* 115: 139-157.

```

17 CONTINUE
18 CONTINUE
DO 52 I = 1,ND
  IF (N1EQ,0) THEN
    IC = 0
    RESUM1 = 0
    DO 54 K = 1,ND-1
      IF (N2ARBK1) EQ,0 THEN
        IC = IC+1
        RESUM1 = RESUM1+1/(RESIARBK1)
      END IF
    CONTINUE
    DO 500 K1 = 1,ND-1
      IF (N2ARBK1) EQ,0 AND (IC,GT,1) THEN
        QIARBK1 = DEMI/(RESIARBK1*(RESUM1))
      END IF
    CONTINUE
500  P1 = IC
    END IF
52  CONTINUE
    P = 0
    C Inicia el recorrido por los nodos del gráfico hasta encontrar un nudo terminal
    C del árbol de expansión
    DO 25 I = 1,ND
      IF (N1EQ,0 OR P1EQ,0) GOTO 25
      C Identifica la tubería que conecta con el nudo terminal
      DO 30 J = 1,ND-1
        IF (N2ARBK1) NE,1 OR (N2ARBK1) EQ,1 GOTO 30
        IF (N2ARBK1) EQ,0 THEN
          QIARBK1 = DEMI
          END IF
          TIARBK1 = 1
          DEMI(N2ARBK1) = DEMI(N2ARBK1)+QIARBK1
          IT = 0
          RESUM2 = 0
          DO 60 L = 1,ND-1
            IF (N2ARBK1) EQ,0 THEN
              IT = IT+1
              RESUM2 = RESUM2+1/(RESIARBK1)
            END IF
          CONTINUE
          IF (IT,GT,1) GOTO 61
          DO 510 K1 = 1,ND-1
            IF (N2ARBK1) EQ,0 AND (IT,GT,1) THEN
              QIARBK1 = DEMI/(RESIARBK1*(RESUM2))
              RESUM2 = 0
            END IF
          CONTINUE
          P1 = P1+1
          P = P+1
          C Busca si hay alguna tubería que comience en el nudo inicial de la tubería
          anterior (arbol)
          DO 27 K = 1,ND-1
            IF (N2ARBK1) EQ,0 AND (N2ARBK1) EQ,1 THEN
              P1IARBK1 = 2
              GOTO 25
            ELSE
              IF (N2ARBK1) EQ,0 AND (N2ARBK1) EQ,1 THEN
                END IF
              CONTINUE
            END IF
          CONTINUE
          IT2 = IT2+1
          CONTINUE
          CONTINUE
          IF (P1,GT,1) GOTO 55
          Escritura de los caudales
          DO 29 I = 1,ND-1
            IF (N2ARBK1) EQ,0 THEN
              QIARBK1 = QIARBK1
              NP = NP+1
              N2ARBK1 = N2ARBK1
              NQARBK1 = NP
            END IF
          CONTINUE
          Formas
          205 FORMAT(1X,'Escriba los caudales que conforman el árbol de expansión. *I,Inicio:?'
            1X,145)
          206 FORMAT(5)
          220 FORMAT(1X,'Nudo final',J3,'de la red',J4)
          RETURN
          END

```

FIGURA 3. Listado del algoritmo GINI (continuación).

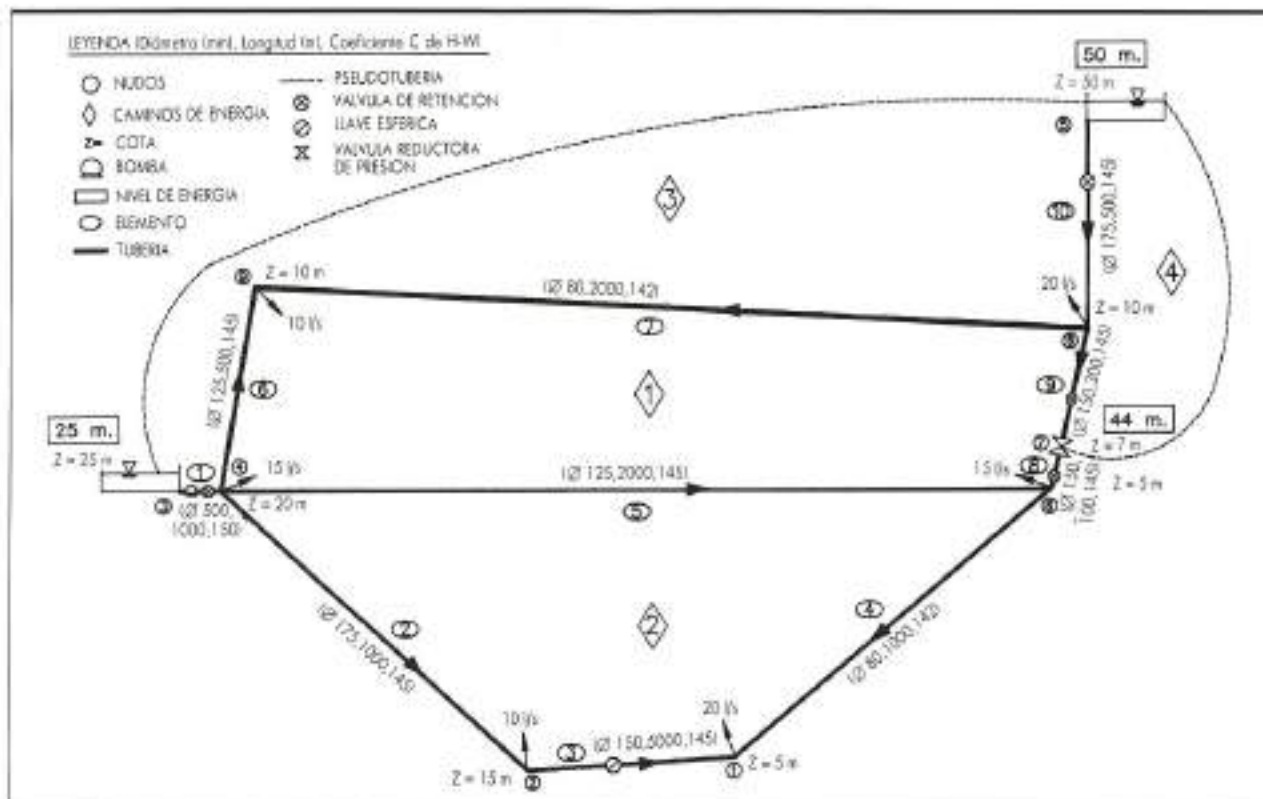


FIGURA 4. Esquema de una red de distribución de agua.

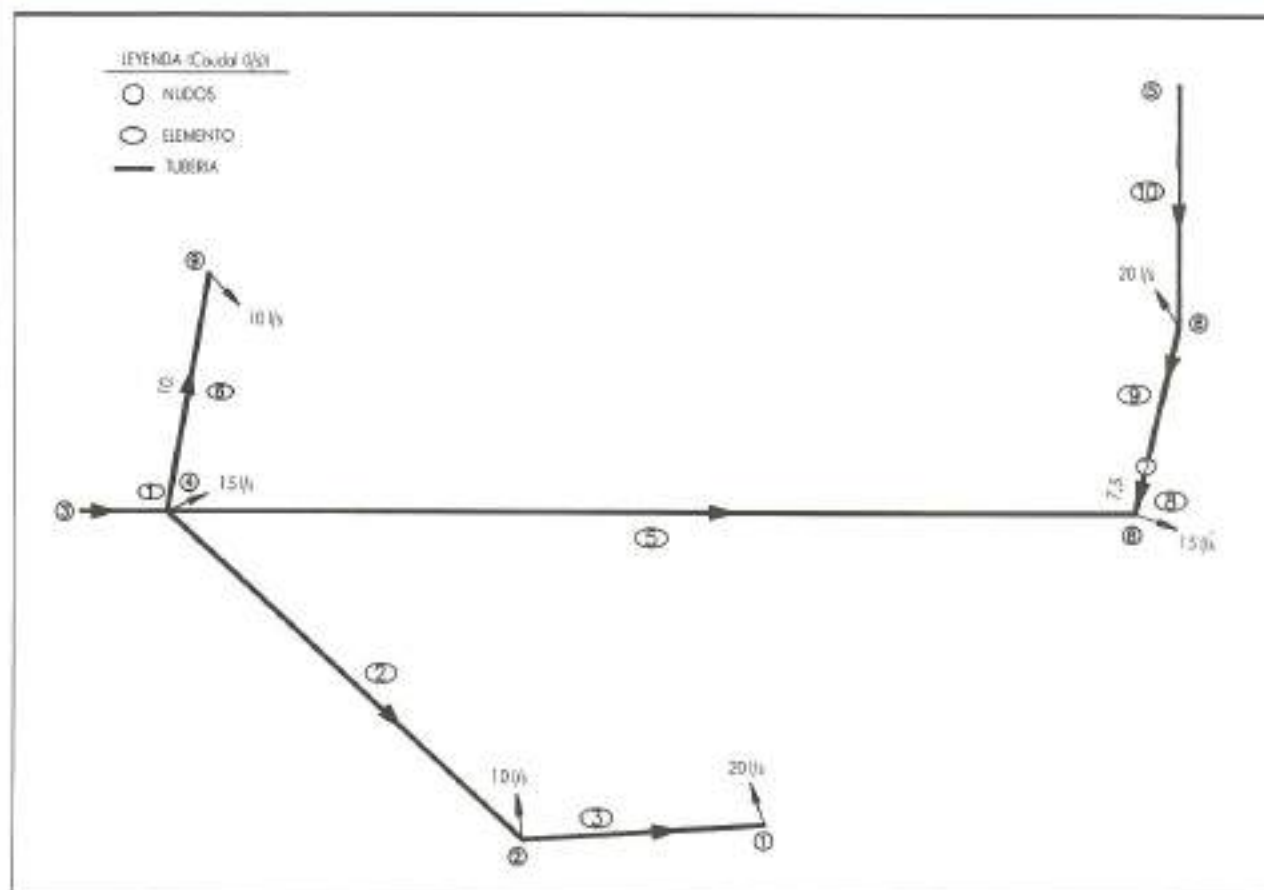


FIGURA 5. Arbol de expansión minimal.

ELEMENTO	CAUDALES INICIALES (l/s)	HARDY CROSS (l/s)	NEWTON-RAPHSON (l/s)
1	55,30	57,74	57,72
2	30,00	26,91	26,90
3	20,00	16,91	16,90
4	0,00	3,08	3,09
5	0,30	5,96	5,95
6	10,00	9,87	9,87
7	0,00	0,12	0,12
8	14,70	12,12	12,14
9	14,70	12,95	12,95
10	34,70	33,07	33,08
Tolerancia (l/s)	—	0,1	0,1
Iteraciones	—	8	5

TABLA 1.



corsán

EMPRESA CONSTRUCTORA, S.A.



Autovía del Puerto de La Mora.



Renovación de vía en el ferrocarril de Langreo.



Sede de la Diputación General de La Rioja.



Regeneración de la Playa de Torrenueva.



Encauzamiento del Barranco del Carrauxet.



Presa de Canales.

CALIDAD Y SERVICIO

"20[~] AÑOS HACIENDO EL BIEN"

En Cadagua llevamos ya 20 años depurando el agua

20 años al servicio del bienestar de miles de personas en toda España.

Diseñando, creando y desarrollando plantas de tratamiento y depuración de agua.

Explotando, manteniendo y gestionando cualquier sistema de abastecimiento o saneamiento de agua.

En Cadagua, ponemos a su servicio 20 años de experiencia, haciéndolo bien.



 **cadagua**
Tenemos la fórmula

A TODAS LAS PERSONAS QUE CON SU COLABORACION HAN HECHO POSIBLE ESTOS 20 AÑOS DE SERVICIO AL HOMBRE Y LA NATURALEZA,
MUCHAS GRACIAS