aaa 9673

TESIS
IC 977
RJ

APLICACION DE CRITERIOS DE OPTIMIZACION AL DISEÑO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE AGUA POR GRAVEDAD.

Universidad Católica Andrés Bello
BIBLIOTECA
Caracas

Jacobo Rubinstein Starosta

profesor guía: Ing. Mario Mengual F.

Trabajo presentado ante la Universidad Católica Andrés Bello

como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Civil

Caracas, Julio 1977

A Tamar

A mis padres

A mis hermanos

Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a todas aquellas personas que de una u otra forma han colaborado en la realización de este Trabajo Especial:

Mario Mengual
Rafael Guevara
Morella de Mibelli
Guillermo Vidal
Manuel V. Mendez
Jerónimo Gómez
Tamar de Rubinstein
Francis Rubinstein
Zully Moreno
Eduardo Lulo
Ana Peraza
Miguel Vidal

Por su trabajo, tiempo y esfuerzo, mi reconocimiento, respeto y cariño es de ustedes.

I N D I C E

Pág.

I. SINOPSIS 1

II. INTRODUCCION 4

III. PROCEDIMIENTO GENERAL DE CALCULO 7

III.1 Generalidades 7

III.2 Datos requeridos 8

III.2.1 Referentes a las tuberías que se fabrican.

III.2.2 Referentes a los nodos

III.2.3 Referentes a las tuberías

III.2.4 Datos generales

III.3 Método de selección de las rutas más cortas 10

III.3.1 Criterio de las rutas más cortas

III.3.2 Asignación de las rutas de alimentación a los nodos.

III.4 Determinación de caudales iniciales en tuberías. 16

III.5 Determinación de las alturas críticas 17

III.6 Selección de los diámetros de las tuberías 19

III.6.1 Caso de una tubería entre dos nodos intermedios.

III.6.2 Caso de una tubería unida a un nodo terminal.

III.6.3 Caso de una tubería unida al nodo de alimentación.

Pág.

III.6.4 Caso de una tubería existente

III.7 Método de balanceo de caudales 35

III.8 Determinación de las alturas piezométricas en los nodos. 39

IV. APLICACION DE LAS TECNICAS DE LA PROGRAMACION - ELECTRONICA. 41

IV.1 Diagrama de bloque general 42

IV.2 Diagramas de bloques de los subprogramas 47

IV.3 Lista de variables usadas y requerimientos de memoria. 71

IV.4 Listado de los subprogramas 89

IV.5 Manual de usuario 122

IV.5.1 Fundamento teórico

IV.5.2 Información suministrada por el Centro de Computación.

IV.5.3 Comienza el modo "SESSION"

IV.5.4 Carga de datos

IV.5.5 Modificación

IV.5.6 Corrida del programa

IV.5.7 Se termina el modo "SESSION"

IV.5.8 Resumen

IV.5.9 Limitaciones del programa

IV.5.10 Formes para la entrada de datos

IV.6 Manual de operación y mantenimiento.- 142

V. ANALISIS DE LA SENSIBILIDAD DEL COSTO DEL SISTEMA CON LA VARIACION DE DIFERENTES PARAMETROS DE DISEÑO. 164

V.1 Usando el criterio de las rutas más cortas de alimentación. 165

1- Número de soluciones obtenidas

2- Velocidad máxima permisible en tuberías.

I.- SINOPSIS

El presente trabajo tiene como objeto presentar una serie de principios, criterios y procedimientos que permiten llevar el diseño de redes de distribución de agua por gravedad hacia una solución que además de satisfacer los requerimientos hidráulicos de presiones mínimas remanentes y velocidades permisibles, resulte a la vez un sistema de costo mínimo.

Se ha elaborado también un programa de computación que permite aprovechar las ventajas de la programación electrónica en la aplicación de las consideraciones teóricas desarrolladas en el texto de este trabajo. Sin embargo, hay que recalcar que los principios básicos no pierden ni su generalidad, ni su utilidad en sistemas pequeños resueltos manualmente.

Se presentan al final de este trabajo una serie de ejemplos que ilustran el empleo de las técnicas propuestas y permiten investigar los efectos que sobre el diseño se producen al introducir modificaciones tales como:

- Variación de velocidad máxima permisible en las tuberías.
- Variación de la cota piezométrica del nodo de alimentación.
- Variación de los diámetros mínimos de algunas tuberías.
- Diámetros fijos en algunas tuberías por ser estas existentes
- Alteración de las rutas de alimentación a los nodos.

Los resultados obtenidos se comentan con detalle más adelante.

Se fundamenta el método utilizado, en la premisa básica de que, salvo en condiciones topográficas o hidráulicas especiales, la forma más económica de llevar agua a un nodo es a través de la distancia más corta que lo une con el punto o nodo de alimentación.

Es por esto que el primer paso consiste en definir esos caminos o rutas más cortas, desde el nodo de alimentación hasta cada-

Pág.

3- Cota piezométrica de alimentación

4- Tuberías existentes

5- Incremento de la cota piezométrica

6- Diferentes ubicaciones del nodo de alimentación.

V.2 Usando un criterio de alimentación perimetral. 175

1- Incremento de la cota piezométrica de un nodo cualquiera.

2- Tuberías existentes

V.3 Usando alimentación por dos estanques de igual cota piezométrica 179

VI. CONCLUSIONES 203

VII. BIBLIOGRAFIA 206

* * *

uno de los nodos. Se pueden entonces, diferenciar dentro de la red dos tipos de tuberías:

a.) aquellas que forman parte de esos caminos mínimos ya definidos y que inicialmente se supondrán preferenciales en la alimentación de los nodos: se conocerán a lo largo del trabajo como tuberías primarias.

b.) aquellas que no siendo indispensables en la conducción de caudal, se requieren para cerrar la configuración abierta definida por las del tipo anterior y dar mayor flexibilidad en el mantenimiento y operación de la red: se conocerán en este trabajo como tuberías secundarias.

Seguidamente se obtiene una solución económica del sistema ramificado abierto, aplicando principios básicos de la Programación Dinámica. (ver sección III.6). Como resultado se obtiene una configuración de diámetros que satisface los condicionamientos hidráulicos antes nombrados y que además resulta ser la solución más económica de las distintas alternativas generadas en el proceso de la programación dinámica. Para resolver el problema de optimización se proponen como caudales iniciales que circulan por las tuberías primarias, al caudal que corresponde al aplicar la condición de continuidad de todos los tramos que queden aguas abajo de cada una de ellas. Las tuberías secundarias inicialmente no llevan caudal, es decir, su caudal es igual a cero. Si el problema fuera un sistema abierto, se daría por concluido en este punto; sin embargo, la presencia de las tuberías secundarias con diferencias de altura piezométrica entre los nodos extremos de las mismas, obliga el paso de cierto caudal, que debe balancearse por cualquiera de los métodos conocidos; en este caso se ha propuesto el método iterativo del profesor Hardy Cross.

Dado que el método de Cross produce alteraciones en los caudales que circulan por las diferentes tuberías, se repite el proceso de optimización hasta que no haya alteración en los diámetros de los mismos en dos procesos sucesivos. En este punto se tiene resuelto el problema planteado.

Hay que destacar que el programa anexo contempla el caso de ampliaciones de redes aprovechando las tuberías existentes y sólo modificándolas en función de su capacidad hidráulica y del proceso de optimización de costos. En este caso los caminos de alimentación a cada nodo pueden modificarse por la influencia de tuberías existentes de diámetro relativamente grande.

Sin embargo, hay que hacer notar que los criterios usados no podrán nunca sustituir la experiencia y el sano juicio del ingeniero quien deberá hacer una evaluación crítica de los resultados obtenidos y hacer las modificaciones que considere necesarias.

II.- INTRODUCCION

El país vive actualmente un momento muy especial: la situación internacional y los precios de nuestro principal producto de exportación han provocado grandes ingresos de divisas en el tesoro nacional y los correspondientes incrementos en los presupuestos de los distintos organismos. La nación, en su afán de desarrollo, demanda la construcción de la infraestructura indispensable para el logro de sus metas; es obvia la importancia que el agua tiene dentro de toda actividad del hombre, de aquí que la demanda de este recurso se incrementa a pasos agigantados y se prevea tanto la construcción de nuevos sistemas de distribución de agua como la ampliación de los ya existentes, en el entendido de que dichas obras deberán resultar lo más económicas posibles dentro del marco de sus requerimientos, a fin de evitar gastos innecesarios, permitiendo un mejor aprovechamiento de los recursos en la satisfacción de las necesidades de la población servida.

El problema de distribución de agua con sus diferentes elementos de diseño (diámetros, material y espesor de tuberías, velocidades permisibles, alturas piezométricas mínimas, gastos de descarga en los nodos, etc.), puede tener varias soluciones; dada la naturaleza del problema y la gran cantidad de variables que intervienen en el diseño y sus complejas interrelaciones, una optimización por métodos de ensayo y error es difícil de obtener.

Tradicionalmente la solución se ha obtenido mediante aplicación de un proceso iterativo que satisface la condición de la continuidad de la masa en cada nodo y que usa las relaciones entre el gasto y el gradiente de energía en cada tramo de la tubería.

La ecuación de Hazen-Willians es frecuentemente usada para relacionar el gasto y las características de la tubería (rugosidad y-

dimensiones), con el gradiente de altura piezométrica.

El procedimiento propuesto por el profesor Hardy Cross en el año 1936 es de gran ayuda para verificar las características hidráulicas de un sistema, pero tiene el inconveniente de exigir que los diámetros de las tuberías estén previamente determinados; es decir, el diseño es la verificación de un predimensionamiento del sistema, el cual ha sido realizado, en general, en base a criterios arbitrarios de distribución de gastos y selección de diámetros en función de éstos.

Recientemente, algunos autores (1, 2) han tratado de resolver el problema de optimización planteado mediante principios de programación lineal, realizando severas simplificaciones como son las de considerar la función diámetro como contínua y aproximando el valor del diámetro comercial conveniente más cercano. En algunos casos la solución óptima puede distar mucho de la solución obtenida por esta simplificación.

En términos de la programación lineal el problema se reduce a obtener el mínimo valor de la función objetivo: costo del sistema.

$$COSTO = \min \left(\sum_{j=1}^{m} Lj * CU\ j,\emptyset \right)$$

Sujeta a las siguientes restricciones:

$$Hi \geqslant hi\ min.$$

$$Vj \leq V\ máx.$$

donde:

Lj = longitud de la tuberías j

CUj,Ø = Costo unitario de la tubería j, de diámetro Ø (puede incluir costos de excavación, colocación y relleno)

Hi = Altura piezométrica existente en el nodo i

himin = Altura piezométrica mínima requerida en el nodo i

Vj = Velocidad del flujo en la tubería j

Vmax = Velocidad máxima permitida en las tuberías de la red

Se hace necesario, para llegar a la solución del problema de optimización mediante la programación lineal, establecer relaciones lineales entre las variables que aparecen en la función objetivo y aquellas que forman parte de las restricciones; o bien, plantear una función objetivo distinta, tal como por ejemplo, hacer mínimo el exceso de presión remanente en los nodos.

Las relaciones entre el nodo y las variables de diseño (diámetros, espesores, alturas piezométricas), son obtenidas fundamentalmente por vía experimental y normalmente dan expresiones no lineales.

Otros autores (4, 5) sin embargo, introducen conceptos relacionados con los gradientes de alturas piezométricas, y la optimización de la red, se hace en base a unos gradientes más económicos.

Para este trabajo fue estudiada y adoptada la alternativa de combinar la idea de las rutas más cortas de alimentación con los principios básicos de la técnica de programación dinámica.

III.- PROCEDIMIENTO GENERAL DE CALCULO

III.1.- GENERALIDADES

En este capítulo se hace la descripción de las distintas partes que constituyen el procedimiento usado para resolver el problema del diseño optimizado de una red de distribución de agua por gravedad.

A continuación se enumeran los distintos pasos seguidos en el proceso:

a.) Carga de los datos requeridos

b.) Obtención de las rutas más cortas de alimentación a los nodos. Se obtiene un sistema abierto de tuberías; tuberías primarias.

c.) Se asignan los caudales iniciales que circulan por las tuberías atendiendo a la condición de continuidad en los nodos. Las tuberías que no forman parte del sistema abierto hallado en (b), las tuberías secundarias, no llevarán inicialmente ningún caudal.

d.) Se determinan las alturas críticas de los nodos.

e.) Se determina una configuración de diámetros y espesores de tubería por medio de los principios básicos de la programación dinámica, en función de los condicionamientos hidráulicos de altura piezométrica mínima y velocidad máxima permisible.

f.) Se aplica un método iterativo para la corrección del caudal que circula por las tuberías al considerar la presencia de las tuberías secundarias y el consiguiente efecto de red.- En este caso se usa el método de Hardy Cross.

g.) Se calcula la altura piezométrica de cada nodo

h.) Se imprimen los resultados obtenidos

i.) Si las correcciones de caudal han sido de magnitud tal que han provocado la inversión del sentido de flujo en alguna de las tuberías primarias, entonces se recalculan las rutas más cortas de alimentación tomando en consideración el sentido real del flujo. Se repite el proceso desde (d) con el último conjunto de caudales obtenidos.

j.) Si no se han producido modificaciones en las rutas más cortas se repite el proceso desde (e)

k.) El proceso se detiene cuando los cambios de caudal son tan pequeños que no inducen modificaciones en los diámetros de las tuberías. También se prevee la posibilidad de detenerlo al haberse estudiado un número determinado de soluciones.

Se recomienda ver el diágrama de bloques del programa en la sección IV.1 , el cual permite visualizar gráficamente las relaciones existentes entre las distintas partes del procedimiento descrito.

III.2.- DATOS REQUERIDOS

Para la solución del problema se deben conocer los siguientes datos:

III.2.1.- Tabla de datos referentes a las tuberías que se fabrican, que incluye:

1.a Diámetro en milímetros

1.b Coeficiente ALFA correspondiente a la fórmula de Hazen-Williams

$$Hf = \alpha \times L \times Q^{1.85}$$

donde: Hf = pérdida de altura piezométrica (m)

α = coeficiente de pérdida

L = longitud del tramo (m)

Q = caudal que circula por la tubería (lts/seg.)

1.c Material: O si se trata de tuberías que para un mismo diámetro presentan la posibilidad de tener diferentes espesores. (p.e: caso de tuberías de acero).

1 si se trata de tuberías que presenten un solo espesor para cada diámetro. (p.e: caso de las tuberías de hierro fundido)

1.d Espesor mínimo: solamente requerido para tuberías de material tipo: 0; representa el espesor mínimo en mm. que se exige para las tuberías de este diámetro, debido a condiciones de sobrecargas exteriores, de colapso por vacío, de fabricación u otras.

1.e Costo unitario de las tuberías. Para las tuberías de material tipo 0 el costo unitario no se requiere como dato de entrada ya que se ha incluido en el programa una rutina que calculará el costo de estas tuberías mediante la fómula:

$$C = \gamma \times \pi \times D \times e \; 10^{-6} \times c$$

donde:

γ = peso específico del acero (Kg/m3)

D = diámetro de la tubería

e = espesor en milímetros

c = costo unitario del acero instalado en Bs/Kg.

Para las tuberías de material tipo 1 se requerirá el costo por metro de longitud de tubería colocada.

III.2.2.- Tabla de datos referentes a los nodos, que incluye:

2.a Número de nodos en la red

2.b Caudal de descarga en cada nodo

2.c Presión mínima requerida en cada nodo

2.d Cota topográfica de cada nodo

2.e Nodo de alimentación

2.f Altura piezométrica en el nodo de alimentación

III.2.3.- Tabla de datos referentes a las tuberías, que incluye:

3.a Número de tuberías

3.b Nodos que definen a cada tubería

3.c Longitud de cada tramo

3.d Diámetro mínimo de cada tubería

3.e Velocidad máxima permisible

III.2.4.- Datos generales del sistema como son:

4.a Número máximo de soluciones que se desean obtener

4.b Número de opciones a estudiar en la programación dinámica

4.c Porcentaje de incremento de longitud por pérdidas menores (se usa el concepto de longitud equivalente para tomar en cuenta las pérdidas menores)

4.d Error de cierre tolerado para las alturas piezométricas en el Cross

4.e Esfuerzo de trabajo para el acero en Kg/cm2

4.f Peso específico del acero en Kg/m3

4.g Costo del acero instalado en Bs/Kg

4.h Decidir si se va a usar el criterio de las rutas más cortas o si el proyectista va a asignar las rutas de alimentación a los nodos

III.3.- METODO DE SELECCION DE LAS RUTAS MAS CORTAS

En los trabajos de Watanatada (3), Nakajima (4) y Kally (6), se puede observar que todas las soluciones por ellos obtenidas tienden hacia la forma ramificada haciendo que algunas tuberías que no son necesarias para la continuidad del sistema, tomen los valores de diámetros mínimos permitidos o simplemente tomen el valor cero y desaparezcan.

Si bien es cierto que un sistema de distribución en forma de árbol ramificado es más económico que una red ya que representa la mínima ruta a la descarga (de acuerdo con la teoría del transporte), hay que admitir que un sistema de red donde un nodo puede ser alimentado al menos por dos caminos diferentes, es hidráulicamente más conveniente ya que permite mayor flexibilidad en la operación, mantenimiento y reparaciones del mismo y tolera más facilmente cambios abruptos en el caudal, como por ejemplo en el caso de la demanda por incendio o en el de modificaciones en el uso de la tierra.

Se han previsto dos modalidades diferentes para establecer la red abierta requerida en el proceso de optimización:

1.) Usar el criterio de las rutas más cortas
2.) Permitir al proyectista la asignación de las rutas de alimentación a los nodos.

III.3.1.- Criterio de las rutas más cortas.

El método usado para determinar las rutas más cortas a cada nodo desde el nodo de alimentación, es un método iterativo que sólo exige conocer las longitudes de las tuberías, los nombres de sus nodos de entrada y salida y las alturas piezométricas de cada uno de los mismos; esto último se usa sólo para verificar que el camino propuesto sea físicamente factible.

Al obtener por primera vez las rutas más cortas no se hace ninguna verificación de factibilidad física del camino, sino que este se halla estrictamente en función de la longitud de los tramos.

La distancia más corta entre el nodo de alimentación y un nodo N será el menor de los valores Dn calculados así:

$$Dn = Dm + Lnm$$

donde: Dm = la distancia más corta entre el nodo de alimentación y el nodo M

Lnm = la longitud de la tubería N - M

M = cada uno de los nodos que se encuentre vinculado al nodo N mediante tubería.

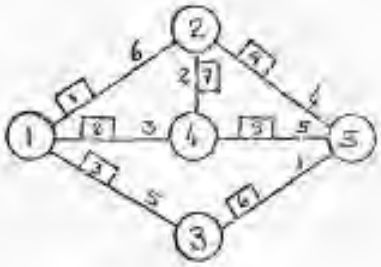
Cada vez que se hace una alteración de alguna de las distancias mínimas, se repite el proceso de obtención de rutas más cortas, ya que es posible que este cambio incida en las rutas más cortas de algún otro nodo.

El sistema de almacenamiento en memoria de computador de los resultados obtenidos por este proceso iterativo, requiere solamente de tres arreglos uni-dimensionales y con una cantidad de elementos igual al número de nodos que se tenga. En uno de ellos se almacena el valor de la mínima distancia del nodo N al de alimentación; en el segundo se tiene el nombre del nodo

que lo antecede en la ruta más corta al nodo de alimentación;- en el tercero de los arreglos que se tiene la identificación de la tubería que une al nodo N con el que lo antecede en la ruta más corta. (Arreglos A, B y C, respectivamente.)

El ejemplo que se dá a continuación permite visualizar y entender claramente lo anteriormente expuesto.

Las longitudes de los tramos están escritos sobre ellos, el nodo de alimentación es el nodo (1), el nombre de las tuberías está encerrado en un ▭ .-



Inicialmente se asigna al valor de distancias mínimas de los distintos nodos un número muy alto (9999...) de forma tal que pueda ser sustituido por un valor de distancia menor durante el proceso.

NODO 1 Como es el nodo de alimentación, su distancia a él mismo es 0 y el nodo anterior a él, no existe y por lo tanto es 0.-

	1	2	3	4	5
A.	0	99999999	99999999		
B.	0	–	–	–	–
C.	0	–	–	–	–

NODO 2 Disto 2 = Disto 1 + L1-2 = 0 + 6 = 6 9999 : Se toma 6

Disto 2 = Disto 4 + L4-2 = 9999 + 2 = 1001 6 : Se mantiene 6

Disto 2 = Disto 5 + L2-5 = 9999 + 4 = 1003 6 : Se mantiene 6

	1	2	3	4	5
A.	0	6	99999999	9999	
B.	0	1	–	–	–
C.	0	1	–	–	-

NODO 3

Disto 3 = Disto 1 + L1-3 = 0 + 5 = 5 9999 : Se toma 5

Disto 5 + L5-3 = 9999 + 1=1000 5 : Se mantiene 5

	1	2	3	4	5
A.	0	6	5	9999	9999
B.	0	1	1	–	–
C.	0	1	3	–	–

NODO 4

Disto 4 = Disto 1 + L1-4 = 0 + 3 = 3 9999 : Se toma 3

Disto 4 = Disto 2 + L2-4 = 6 + 2 = 8 3 : Se mantiene 3

Disto 4 = Disto 5 + L5-4 = 9999 + 5 = 1004 3: Se mantiene 3

	1	2	3	4	5
A.	0	6	5	3	9999
B	0	1	1	1	–
C.	0	1	3	2	–

NODO 5

Disto 5 = Disto 2 + L2-5 = 6 + 4 = 10 9999 : Se toma 10

Disto 5 = Disto 4 + L4-5 = 3 + 5 = 8 10 : Se toma 8

Disto 5 = Distp 3 + L3-5 = 5 + 1 = 6 8 : Se toma 6

	1	2	3	4	5
A.	0	6	5	3	6
B.	0	1	1	1	3
C.	0	1	3	2	6

Como ha habido al menos un cambio en las distáncias calculadas se repite el proceso.

Hasta aquí se puede apreciar que hay error en el cálculo de la distancia del nodo 2.

NODO 1

El mismo caso anterior

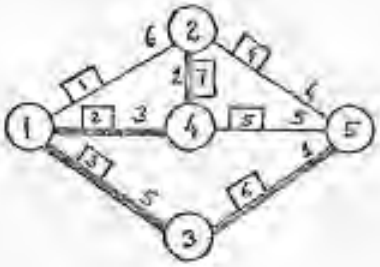
NODO 2

$Disto_2 = Disto\ 1 + L2\text{-}1 = 0 + 6 = 6$ 6:Se mantiene 6

$Disto_2 = Disto\ 4 + L2\text{-}4 = 3 + 2 = 5$ 6:Se toma 5

$Disto_2 = Disto\ 5 + L2\text{-}5 = 6 + 4 = 10$ 5:Se mantiene 5

Lo demás sigue en la misma forma que lo calculado anteriormente. Los resultados obtenidos se resumen así:



	1	2	3	4	5
A.	0	5	5	3	6
B.	0	4	1	1	3
C.	0	7	3	2	6

Las tuberías 7, 3, 2 y 6 son las primarias. Las tuberías 1, 4 y 5 son las secundarias.

Los caminos más cortos de alimentación están representados por las líneas de mayor intensidad en el dibujo.

A título de ejemplo, se hace la reconstrucción de la ruta al nodo 5. Se busca la casilla Nº 5 del arreglo B y se obtiene el nodo 3, nodo al que está unido el nodo 5 por la tubería Nº 6 según vemos en la casilla Nº 5 del arreglo C.

Se busca entonces en la casilla Nº 3 del arreglo B y se obtiene el nodo 1, unido al nodo C por la tubería Nº 3.

Si se busca en la casilla Nº 1 encontramos el valor 0 lo cual indica que el nodo 1 es el nodo de alimentación.

La distancia mínima entre los nodos 5 y el 1 (de alimentación)- está en la casilla 5 del arreglo A y es igual a 6.

La factibilidad física de alimentar un nodo se logra verificando que se cumplan las siguientes condiciones:

1) La altura piezométrica del nodo estudiado debe ser menor -- que la del nodo de alimentación
2) La altura piezométrica del nodo estudiado debe ser menor que la del nodo que lo antecede en la ruta más corta.
3) Un nodo es alimentado por uno y sólo un camino, de esta forma se impide la posibilidad de que existan contracorrientes en una ruta más corta, es decir, la circulación del agua en una ruta más corta se hace alejándose del nodo de alimentación.

Hay que hacer notar que el criterio para la selección de la ruta de alimentación del nodo, podría ser cualquier otro distinto, tal como uno que tomara en consideración las alturas piezométricas mínimas del camino o condiciones topográficas especiales.

Se verifican las rutas más cortas siempre que haya una inversión de caudales en las tuberías ocasionadas por la corrección- de caudal que se introduce por efecto del balance que hace el - método de Cross. (Ver diagrama de flujo (sección IV.2))

III.3.2.- Asignación de las rutas de alimentación a los nodos.

En algunos casos puede ser preferible diseñar un sistema de alimentación diferente al que resulta de aplicar el criterio de- las rutas más cortas, bien sea para procurar una alimentación - de tipo perimetral, en previsión de desarrollos posteriores, - que estén ubicados en la periferia de la zona en estudio, bien- sea para lograr una mejor adaptación a las condiciones topográficas del sector o por cualquier otro motivo que el proyectista considerara conveniente. En este caso, el proyectista debe suministrar para cada nodo el nombre del que lo antecede sobre la ruta de alimentación propuesta.

En caso de producirse, por efecto de las correcciones debidas al método de Cross, una inversión del caudal en alguna de las tuberías primarias se realiza un nuevo estudio de las rutas de alimentación de los nodos aguas abajo de la que haya cambiado de sentido, procurando aprovechar las rutas inicialmente propuestas.

III.4.- DETERMINACION DE CAUDALES INICIALES EN TUBERIAS

Las rutas más cortas halladas en la sección anterior, se utilizan en el cálculo de los caudales iniciales que circulan por las tuberías; la asignación de estos se hace respetando la condición de continuidad en los nodos.

El cálculo de los caudales de las tuberías primarias se hace de aguas abajo hacia aguas arriba; por cada tubería circula un valor de caudal igual a la suma de los caudales de descarga de los nodos que quedan aguas abajo de la misma. Las tuberías secundarias no llevan inicialmente ningún caudal.

Esta configuración inicial de caudales se verá modificada al considerar el caudal que circula por las tuberías secundarias una vez aplicado el método de Cross.

El método usado en el programa de computación (ver sección IV.2) es el siguiente:

1.- Se asigna a todas las tuberías un caudal inicial cero.

2.- Para cada tubería (J 1) tomada en forma secuencial (esta secuencia sólo depende de la forma como fueron introducidos los datos; no tiene importancia para el proceso), se determina si forma parte de las rutas más cortas (si aparece en el arreglo E) y en caso de ser así, se determina cual es el nodo (I 1) alimentado por esta tubería.

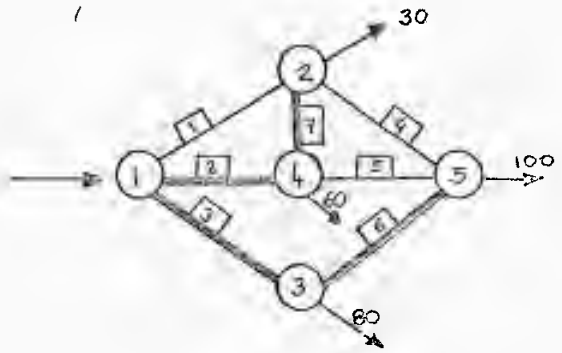
3.- Se examina el arreglo B para determinar las tuberías que son alimentadas directamente por el nodo I 1.

4.- El caudal que circula por la tubería J1, será la suma del caudal de descarga del nodo I 1 más la suma de los caudales que circulan a su vez por las tuberías determinadas en el punto 3.

5.- Se repite el mismo proceso para todas las tuberías hasta que ninguno de los caudales determinados sea modificado.

El procedimiento descrito puede parecer muy complicado, sobre todo al compararlo con el procedimiento manual que permite visualizar facilmente tanto las rutas más cortas como los nodos aguas abajo de cualquiera de las tuberías; pero, dado que la máquina requiere de un procedimiento general que no necesite la definición explicita por parte del ingeniero de las rutas más cortas, entonces se comprenderá la utilidad del método.

A continuación se ilustra el procedimiento usado mediante un ejemplo. Este ejemplo es el mismo de la sección de las rutas más cortas.



El nombre de los nodos está encerrado en ◯ , el nombre de las tuberías está encerrado en ▭ , el nodo (1) es el nodo de alimentación, el caudal de descarga de cada no está anotado sobre cada flecha.-

Evidentemente el caudal de alimentación será la suma de los caudales de descarga de los nodos.

C alim. = 30 + 80 + 60 + 100

C alim. = 270

Caudal que circula por la tubería 6 = QT 6

QT 6 = 100

QT 3 = 80 + 100 = 180

QT 7 = 30

QT 2 = 60 + 30 = 90

QT 1 = Q 4 = Q 5 = 0 (por ser tuberías secundarias)

III.5.- DETERMINACION DE LAS ALTURAS CRITICAS

Este concepto de alturas críticas se introduce en función de las rutas más cortas halladas anteriormente.

Se define como altura crítica del nodo N al mayor de los siguientes valores:

a.- Altura piezométrica mínima requerida en el nodo N, calculada como la suma de la cota del nodo más la presión mínima en el mismo.

b.- La mayor de las alturas piezométricas mínimas de los nodos aguas abajo del nodo N sobre las rutas más cortas que lo contienen.

La definición de este valor permite reducir el intervalo de existencia de la altura piezométrica del nodo N, que sólo podrá estar entre la altura crítica del mismo y la altura piezométrica del nodo de alimentación.

Esta reducción del rango de existencia de la altura piezométrica es importante ya que redundará en un aumento de la efectividad y precisión de la optimización mediante la programación dinámica, según veremos en la próxima sección.

El método usado en el programa de computación (ver sección V.2) es el siguiente:

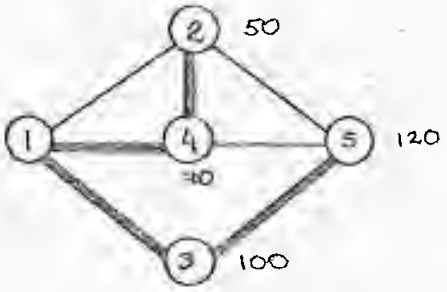
1.- Se inicializan las alturas críticas de los nodos en la altura piezométrica mínima correspondiente a cada uno.

2.- Partiendo de cada uno de los nodos terminales, se recorre hacia aguas arriba su camino mínimo determinando en cada paso, la altura crítica correspondiente.

3.- Se compara la altura crítica del nodo N con la del nodo que la antecede en las rutas más cortas M (el que aparece en el arreglo B en la casilla del nodo N). Si está última es mayor no se hace ninguna alteración, en caso contrario se altera la altura crítica del nodo M y se coloca la del nodo N.

4.- Se repite el paso anterior hasta completar la ruta del nodo N.

En el caso del ejemplo que se viene estudiando:



Las alturas piezométricas mínimas de los nodos son los números que aparecen al lado de los nodos.-

Se elabora la siguiente tabla explicativa:

NODO	H. min.	H. crítica
2	50	50
5	120	120
3	100	120
4	70	70

No tiene ninguna utilidad definir la altura crítica del nodo de alimentación por cuanto la solución más ventajosa desde el punto de vista económico será siempre aquella que se verifica con una altura piezométrica en el mismo igual a la de alimentación.

III.6.- SELECCION DE LOS DIAMETROS DE LAS TUBERIAS

Para la selección de los diámetros de las tuberías se hace uso de la Programación Dinámica, la cual es una de las técnicas de la Investigación de Operaciones que aunqúe emplea conceptos muy simples, es la más difícil de aplicar por cuanto carece de una formulación definida y de algorítmos de solución.

Normalmente,en los textos de Investigación de Operaciones (7, 8, 9) la explicación de la técnica de la programación dinámica se hace con el desarrollo de varios ejemplos y no mediante profundas discusiones y justificaciones teóricas, quizás porque lo más importante sea adecuar la mente al proceso lógico y simple que utiliza y no perderse en demostraciones difíciles de conducir con el rigor necesario y que sin embargo, pueden ser intuitivamente aceptadas por el sentido común.

La programación dinámica es apropiada para resolver problemas que requieren decisiones interrelacionadas, es decir, decisiones que se deben tomar en forma secuencial y que a su vez influyen en las decisiones que se tomarán posteriormente en esa misma secuencia.

La técnica utilizada permite dividir el problema en un conjunto de problemas más pequeños y fáciles de resolver y luego se reagrupan los resultados del análisis. Cada etapa en que se divide el problema toma la decisión óptima hasta esa etapa; se obtiene la óptima total al completarse el proceso.

Cada tubería representa en si misma una etapa del problema de optimización donde la decisión a tomar se refiere a la selección del valor del diámetro comercial más conveniente; este diámetro seleccionado junto con el valor del caudal que circula por la tubería, determina un estado específico en la variable altura piezométrica de cada nodo, la cual debe estar comprendida entre la altura piezométrica del nodo de alimentación y la altura crítica del nodo en referencia, para que la decisión tomada pueda corresponder a una solución válida o factible del problema; adicionalmente debe verificarse la condición de que la velocidad de circulación del agua sea menor que la velocidad máxima admisible en las tuberías.

El análisis del problema se hace de aguas abajo hacia aguas arriba, partiendo de los nodos terminales y finalizando en el nodo de alimentación.

Se presentan en el proceso cuatro casos principales:

1) Caso de una tubería entre dos nodos intermedios
2) Caso de una tubería entre un nodo terminal y uno intermedio
3) Caso de una tubería entre el nodo de alimentación y uno intermedio
4) Caso de una tubería existente

III.6.1.- Caso de una tubería entre dos nodos intermedios.

Este es realmente el caso más general, los demás son varian - tes del mismo.

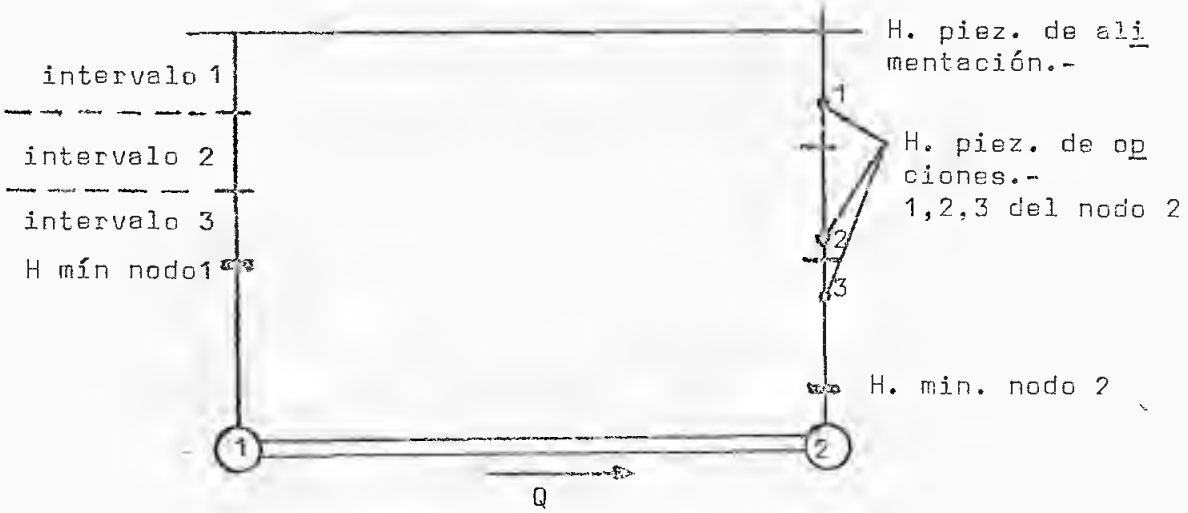
Un nodo intermedio es cualquier nodo que no coincide con los- extremos de la cadena a que pertenece.

El rango de existencia de las alturás piezométricas de los no dos extremos de las tuberías en estudio, se divide en una - serie de intervalos u opciones. Para cada una de las opciones del nodo aguas arriba y partiendo de las distintas opciones - del nodo aguas abajo, se selecciona la alternativa más económi ca que defina una altura piezométrica comprendida en dicho in tervalo y que además cumpla los requerimientos de velocidades máximas permisibles.

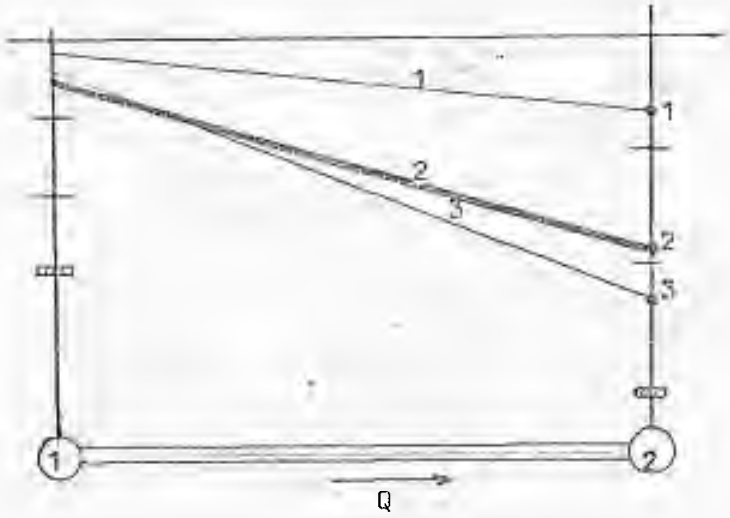
El costo de cada alternativa aguas arriba se evalúa como el - costo acumulado hasta la opción del nodo aguas abajo más el - costo del tramo de tubería que los une.

La altura piezométrica en cada intervalo en el nodo aguas arri ba se calcula sumando a la altura piezométrica de la opción - del nodo aguas abajo, la pérdida de carga debida a la tubería seleccionada.

Se ilustra gráficamente lo descrito anteriormente.



Estudio del intervalo 1 del nodo 1



Se selecciona la más económica de las siguientes alternativas:

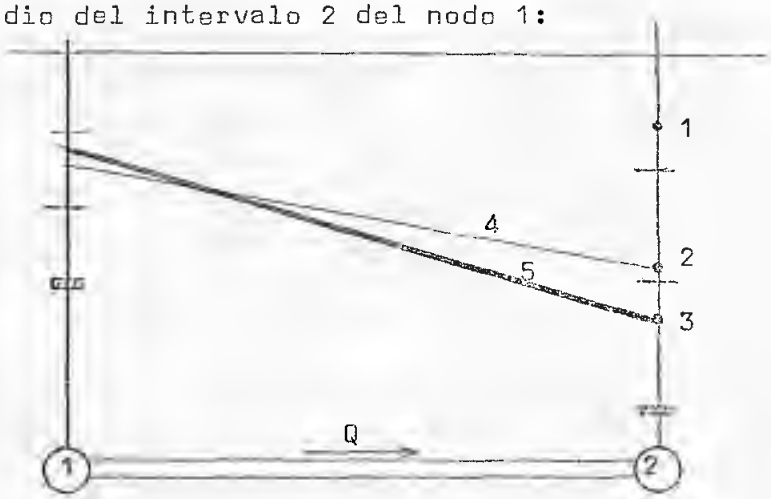
a) Costo acumulado hasta la opción aguas abajo 1 más costo tramo 1-2 con tubería de diámetro 1.

b) Costo acumulado hasta la opción aguas abajo 2 más costo tramo 1-2 con tubería de diámetro 2.

c) Costo acumulado hasta la opción aguas abajo 3 mas costo tramo 1-2 con tubería de diámetro 3.

Se selecciona la alternativa "b"

Estudio del intervalo 2 del nodo 1:



Se selecciona la más económica de las siguientes alternativas:

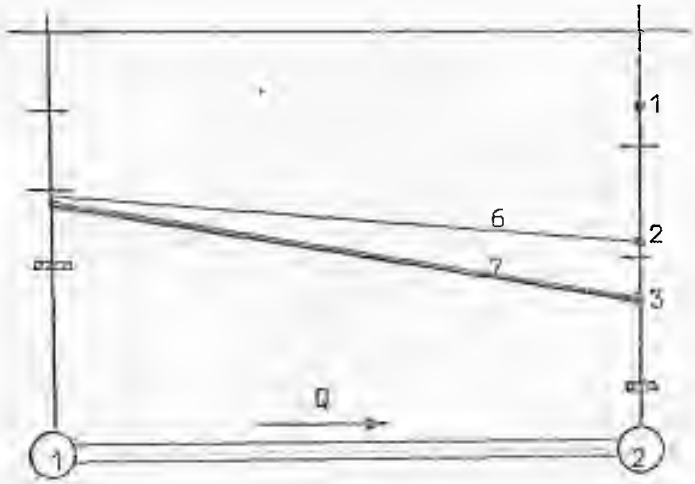
a) Costo acumulado hasta la opción aguas abajo 2 más costo tramo 1-2 con tubería de diámetro 4.

b) Costo acumulado hasta la opción aguas abajo 3 más costo tramo 1-2 con tubería de diámetro 5.

No se considera la opción aguas abajo 1 ya que requiere de pérdidas de carga negativas (la inclinación de la línea de altura piezométrica debería subir en el sentido del flujo, lo cual no es físicamente posible).

Se selecciona la alternativa "b"

Estudio del intervalo 3 del nodo 1:



Se selecciona la más económica de las siguientes alternativas:

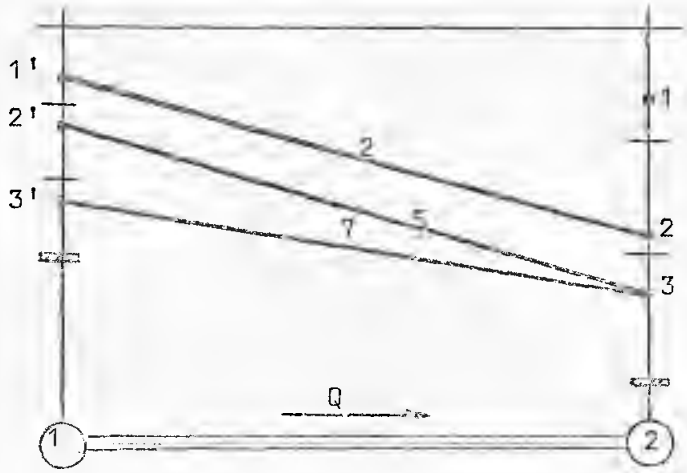
a) Costo acumulado hasta la opción aguas abajo 2 más costo tramo 1-2 con tubería de diámetro 6.

b) Costo acumulado hasta la opción aguas abajo 3 más costo tramo 1-2 con tubería de diámetro 7.

No se considera la opción aguas abajo 1 por la misma razón previamente expuesta.

Se selecciona la alternativa "b".

En definitiva se tendrá



Las tuberías seleccionadas deben cumplir los requerimientos de velocidades máximas permisibles.

Para el nodo 1 se tendrá entonces disponible la siguiente información:

a) 1', 2', 3' altura piezométrica correspondiente a los intervalos 1,2,3, respectivamente. Se calculan como la altura piezométrica de la opción del nodo aguas abajo más la perdida debida a la tubería seleccionada. Si para alguno de los intervalos del nodo aguas arriba este valor resulta menor que la altura piezométrica que define el extremo inferior del intervalo, se toma este último como representativo de esa opción. Esto se hace con el fin de mantener siempre las opciónes en cada nodo, adicionalmente se logra con esta medida ir garantizando la satisfacción de los requerimientos de alturas piezométricas mínimas en los nodos aguas abajo de la tubería estudiada.

b) Costo acumulado del sistema hasta el nodo, para las distintas opciones de altura piezométrica en el mismo.

c) Configuración de diámetros de las tuberías aguas abajo de la tubería estudiada correspondientes a las distintas opciones en el nodo 1.

El proceso continúa partiendo de los valores 1', 2' y 3', realizándose un estudio similar al descrito para una tubería aguas arriba del nodo 1 recorriendo su ruta más corta hasta llegar al nodo de alimentación, donde concluye el estudio.

Es importante aclarar que en el caso de un nodo donde concurren más de dos tuberías, no se prosigue el análisis descrito hacia aguas arriba hasta no haber completado el correspondiente a las tuberías que se ubican hacia aguas abajo del mismo.

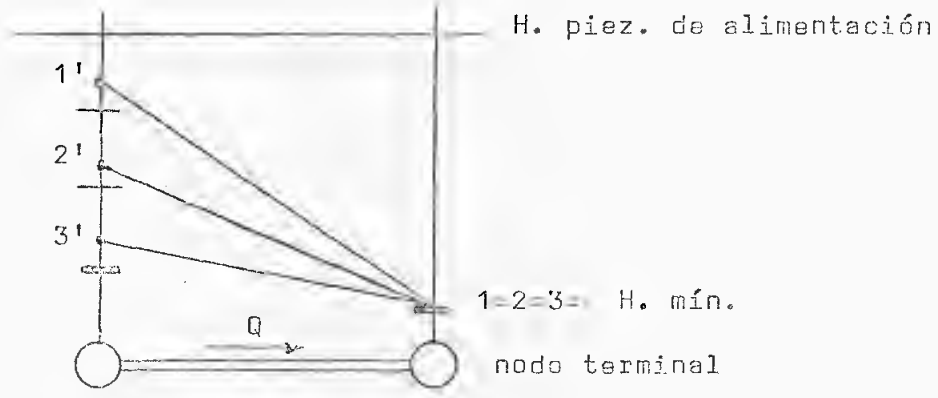
III.6.2.- Caso de una tubería unida a un nodo terminal

Los nodos terminales son fáciles de reconocer en la red, ya que son los extremos de las distintas cadenas.

La única variante que se introduce en el proceso general antes descrito es que el valor de altura piezométrica para todos los intervalos del nodo terminal, es igual al valor de altura piezométrica mínima requerida en el mismo.

Esta consideración es perfectamente razonable en virtud de que las tuberías de menor diámetro son las que producen mayores pérdidas de carga y generalmente resultan más económicas, por lo tanto será más económico alimentar a un nodo terminal mediante una tubería que llegue lo más cerca posible a la altura piezométrica mínima del nodo.

Se ilustra este caso gráficamente así:



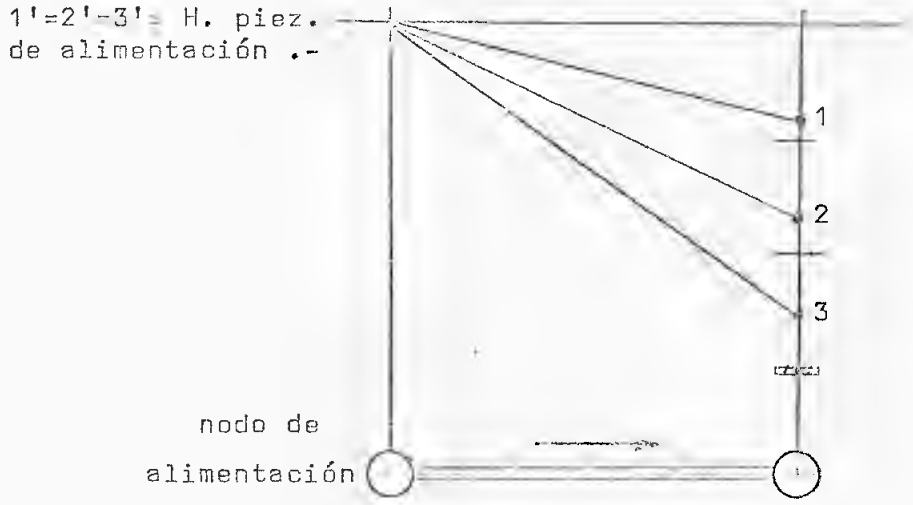
III.6.3.- Caso de una tubería unida al nodo de alimentación

Se analiza separadamente este caso, no por que en si represente una variante del procedimiento general descrito sino más bien porque al concluir su análisis finaliza también el procedimiento de la programación dinámica.

Al finalizar el análisis de las tuberías unidas al nodo de alimentación se tendrán varias soluciones o alternativas de configuraciones de diámetros que satisfacen los requerimientos hidráulicos de velocidades máximas permisibles y alturas piezométricas mínimas en los nodos.

De esas alternativas se selecciona la más económica y es la que se propone como solución al sistema abierto de tuberías primarias.

Se ilustra gráficamente este caso así:



III.6.4.- Caso de una tubería existente

La variante introducida en este caso consiste en considerar que el costo del tramo con el diámetro existente es cero, luego, si se cumplen los requerimientos hidráulicos será más conveniente desde el punto de vista económico, tratar de aprovechar la presencia de la tubería existente.

Si no se satisfacen las condiciones de velocidades máximas permisibles o de alturas piezométricas, entonces se descarta la tubería existente y se continúa el proceso normalmente.

Cabe esperar que a mayor número de opciones estudiadas, valedecir, mientras menor es el intervalo, se puede llegar a soluciones cada vez mejores; pero en la práctica, dado que los diámetros presentan valores discretos, se tendrán una serie de intervalos de altura piezométrica que no corresponden a pérdidas de carga de ninguna tubería. En este caso se adopta para ese intervalo la misma solución que la correspondiente a la opción inmediatamente inferior, obteniéndose configuraciones de diámetros similares y de escaso valor ya que es una solución repetida.

Para cada problema en particular, dependiendo del rango de posible existencia de las alturas piezométricas y del número de

diámetros comerciales de tuberías disponibles en el mercado, se determina el número de opciones convenientes.

Se recomienda en cualquier caso, disponer de un mínimo de tres opciones. Es importante fijar un número adecuado de ellas ya que incrementan notablemente tanto el tiempo de proceso como el área de memoria requerida para el almacenamiento de la información.

La selección de los diámetros de las tuberías primarias es evidentemente una de las partes esenciales del procedimiento de diseño de la red; es importante familiarizarse con la técnica de programación dinámica propuesta, por lo cual se considera importante ilustrarlo mediante un ejemplo. Se recomienda además ver el diagrama de la rutina correspondiente.

Por tratarse de un ejemplo ilustrativo se estudian para cada nodo solamente dos opciones. La tabla de datos de tuberias comerciales es la correspondiente al capítulo de ejemplos (ver Capitulo V).

Se pretende hallar la configuración de diámetros más económica de la siguiente línea de tuberias:

Datos:

Nodo	Q.descarga	P.mínima	Cota	
A	0	0	196	A es nodo de alimentación
B	300	15	150	
C	100	10	162	
D	200	10	160	

Tuberia	longitud (m)	diametro mínimo (mm)
A-B	100	100
B-C	200	100
C-D	300	100

La velocidad máxima permisible en tuberias es de 5 m/seg.

Solución:

1- Se calcula el caudal que circula por cada tubería; evidentemente será igual a la descarga de los nodos que quedan aguas abajo de la misma.

Tubería	Caudal
C-D	200
B-C	300
A-B	600

2- Se calcula el valor de altura piezométrica crítica en cada nodo:

Nodo	H.piez.mín	H.crítica
D	170	170
C	172	172
B	165	172
A	196	196

3- Selección de los diámetros de las tuberías:

3.1 Análisis del tramo C-D

a) Dado que el nodo D es un nodo terminal se usará como valor de partida el de su altura piezométrica mínima = 170 m

b) Se definen los intervalos u opciones en el nodo aguas arriba C:

intervalo 1: altura piezométrica = 196 m

intervalo 2: altura piezométrica = $196 - \frac{196-172}{2} = 184$ m

Nota: el intervalo queda definido por el valor superior del mismo.

c) Estudio del intervalo 1:

Valor superior del intervalo 196

Valor inferior del intervalo 184

Se calcula el valor de ALFA que corresponde a la tubería de menor diámetro que produce la mayor pérdida de carga en ese intervalo:

$$ALFA = \frac{H}{L * Q ** 1.85}$$

$$ALFA = \frac{196-170}{300 * 200 ** 1.85} = 4.797 * 10^{-6}$$

Se busca la tubería comercial que tenga un valor de ALFA inmediatamente inferior al calculado, es decir, una tubería comercial de diámetro superior al teórico requerido.

Entrando en la tabla de tuberías comerciales del Capítulo V se selecciona el diámetro de 250 mm con un valor de ALFA de $2.688 * 10^{-6}$.

Se calcula la velocidad en la tubería

$$V = \frac{200 * 1000 * 4}{3.14 * 250 ** 2} = 4.07$$ menor que 5 m/seg, se adopta este diámetro.

El costo acumulado hasta el nodo C para la primera opción es simplemente el costo del tramo de diámetro 250 mm

C1c = 85Bs./m x 300 m = 25500 Bs.

La altura piezométrica en el nodo C para la primera opción es:

$$170 - 2.688 \times 10^{-6} \times 300 \times 200^{1.85} = 184.57 \text{ m}$$

d) Estudio del intervalo 2:

Valor superior del intervalo 184

Valor inferior del intervalo 172

Se calcula el valor de ALFA

$$ALFA = \frac{184 - 170}{300 \times 200 \times \times 1.85} = 2.583 \times 10^{-6}$$

Tubería comercial = 300 mm

Velocidad = 2.83 m/seg menor que 5. Se adopta.

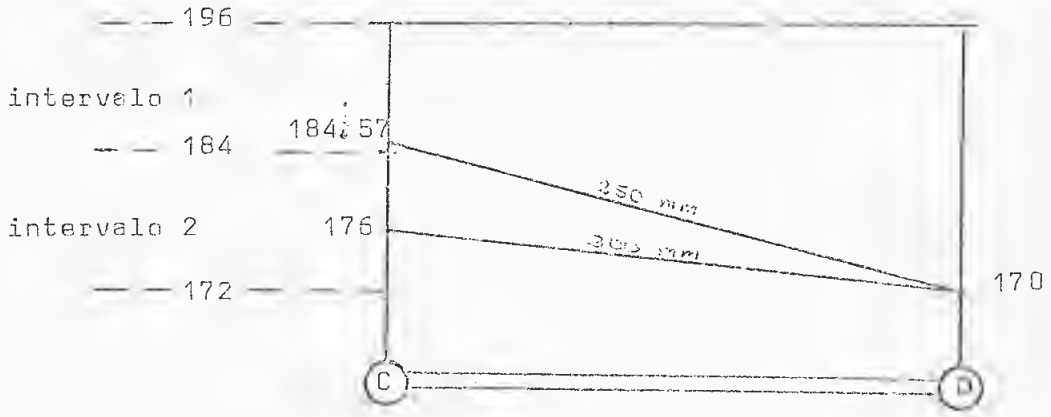
El costo acumulado hasta el nodo C en la segunda opción es:

C2c= 110 Bs/m x 300 m = 33000 Bs.

La altura piezométrica en el nodo C para la segunda opción es:

$$170 + 1.106 \times 10^{-6} \times 300 \times 200^{1.85} = 176 \text{ m}$$

Se resume gráficamente asi:



3.2 Análisis del tramo B-C

a) Los valores de alturas piezométricas de partida son las calculadas para el nodo C: 176 y 184.57 m

b) Se definen los intervalos del nodo aguas arriba B

intervalo 1: altura piezométrica = 196

intervalo 2: altura piezométrica = $196 - \frac{196-172}{2} = 184$

c) Estudio del intervalo 1

Valor superior del intervalo 196

Valor inferior del intervalo 184

-Partiendo de la altura piezométrica en C de 176m

$$ALFA = \frac{196 - 176}{200*300**1.85} = 2.614 \times 10^{-6}$$

Tubería comercial = 300 mm

Velocidad = 4.24 m/seg menor que 5. Se adopta.

El costo acumulado hasta el primer intervalo del nodo B, partiendo del intervalo 2 del nodo C es:

C1b = C2c + Costo tramo

C1b = 33000 + 110 Bs/m x 200 m = 55000 Bs.

La altura piezométrica en el nodo B para la primera opción es de:

$176 + 1.106 \times 10^{-6} \times 200 \times 300^{1.85} = 184.46$ m

-Partiendo de la altura piezométrica en C de 184.57m

$$ALFA = \frac{196 - 184.57}{200*300**1.85} = 1.494 \times 10^{-6}$$

Tubería comercial = 300 mm

Velocidad = 4.24 m/seg menor que 5. Se adopta.

El costo acumulado hasta el primer intervalo del nodo B, partiendo del intervalo 1 del nodo C es:

C1b = C1c + Costo tramo

C1b = 25500 + 22000 = 47500 Bs.

Este costo resulta menor que el calculado anteriormente, por lo tanto, será más conveniente llegar al primer intervalo del nodo B desde el intervalo 1 del nodo C.

La altura piezométrica en el nodo B para la primera opción es de:

$184.57 - 1.106 \times 10^{-6} \times 200 \times 300^{1.85} = 193.03$ m

d) Estudio del intervalo 2

Valor superior del intervalo 184

Valor inferior del intervalo 172

-Partiendo de la altura piezométrica en C de 176 m

$$ALFA = \frac{184 - 176}{200 \times 300 \times \times 1.85} = 1.046 \times 10^{-6}$$

Tubería comercial = 350 mm

Velocidad = 3.12 m/seg menor que 5. Se adopta.

El costo acumulado hasta el segundo intervalo del nodo B, partiendo del intervalo 2 del nodo C es:

C2b= C2c + Costo tramo

C2b= 33000 + 150 Bs/m x 200 m = 63000 Bs.

La altura piezométrica en el nodo B para la segunda opción es de:

$$176 + 5.222 \times 10^{-7} \times 200 \times 300^{1.85} = 180 \text{ m}$$

-Partiendo de la altura piezométrica en C de 184.57m

$$ALFA = \frac{184 - 184.57}{200 \times 300 \times \times 1.85} = - 7.45 \times 10^{-8}$$

El valor de ALFA negativo indica que la pérdida de carga en la tubería debería ser realmente una ganancia de energía, lo cual es imposible. Efectivamente, se aprecia que como el valor superior del intervalo aguas arriba es inferior al valor de partida aguas abajo, no existe manera de llegar a él-co ninguna tubería comercial.

Se resume gráficamente así:

3.3 Análisis del tramo A-B

a) Los valores de altura piezométrica de partida son los calculados para el nodo B: 180 y 193 m

b) Como el nodo aguas arriba es el nodo de alimentación A el valor de la altura piezométrica es de 196 para todos los intervalos.

c) -Partiendo de la altura piezométrica en B de 180

$$ALFA = \frac{196 - 180}{100*600**1.85} = 1.16 \times 10^{-6}$$

Tubería comercial = 300 mm

Velocidad = 8.94 m/seg mayor que 5. Se debe incrementar el diámetro.

Diámetro = 350 mm

V= 6.24 m/seg Se incremento.

Diámetro = 400 mm

V= 4.77 m/seg menor que 5. Se adopta.

El costo acumulado hasta el nodo de alimentación, partiendo del intervalo 2 del nodo B es de:

CA = C2b + Costo tramo

CA = 63000 + 185 Bs/m x 100 m = 81500 Bs.

-Partiendo de la altura piezométrica en B de 193

$$ALFA = \frac{196 - 193}{100*600**1.85} = 2.17 \times 10^{-7}$$

Tubería comercial= 450 mm

Velocidad = 3.77 m/seg menor que 5. Se adopta.

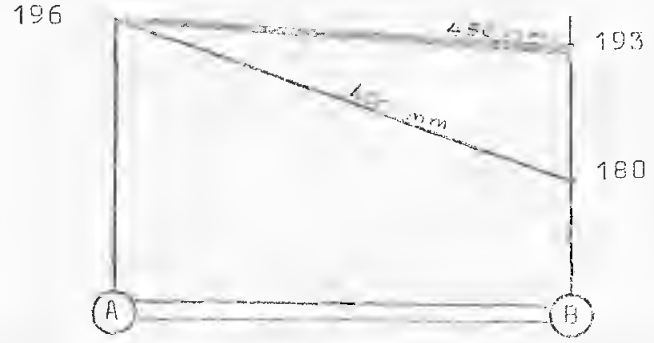
El costo acumulado hasta el nodo de alimentación, partiendo del intervalo 1 del nodo B es:

CA = C1b + Costo tramo

CA = 47500 + 230 Bs./m x 100 m = 70500 Bs.

Este costo es menor que el calculado anteriormente.

Se resume gráficamente asi:



Al llegar al nodo de alimentación se ha completado el estudio del sistema. Se selecciona la alternativa más económica en este punto.

La configuración de diámetros definitiva será entonces:

Tubería	Diámetro definitivo
A-B	450
B-C	300
C-D	250

Con un costo total de 70500 Bs.

Se puede verificar que las alturas piezométricas son superiores a las mínimas requeridas en todos los nodos.

III.7.- METODO DE BALANCEO DE CAUDALES

En esta sección se describe el método utilizado para corregir la configuración de caudales correspondientes al sistema ramificado anteriormente estudiado e incorporar así el efecto de red que introducen las tuberías secundarias.

En efecto, en virtud de la diferencia de altura piezométrica entre los extremos de las tuberías secundarias, debe circular por ellas algún caudal; luego, el caudal supuesto para ellas debe ser corregido.

Sea cual fuere el método utilizado debe tomar en consideración los siguientes aspectos fundamentales.

a.- Conservación de la continuidad del caudal en los nodos, el caudal que entra a un nodo debe ser igual al que sale del mismo.

b.- La altura piezométrica de un nodo es una y sólo una, por lo tanto, en un circuito la suma algebráica de las pérdidas y ganancias de altura piezométrica deben ser iguales a cero.

En este caso el método utilizado es el del profesor Hardy Cross.

Las variaciones de altura piezométrica se evaluan mediante la ecuación de Hazen-Williams.

$$H = \alpha \times L \times Q^{1.85}$$

donde:

H = pérdida de carga en m.
α = coeficiente de Hazen-Williams
L = longitud en metros de la tubería
Q = caudal que circula por la tubería

Las pérdidas se producen en la dirección del flujo y las ganancias en la dirección contraria al mismo.

De acuerdo con el método de Cross, se debe definir para cada circuito un signo para los caudales:

positivo (+) si van en el sentido horario

negativo (-) si van en el sentido antihorario

Aprovechando esta convención y recordando que la suma de las pérdidas y ganancias de altura piezométrica en un circuito son nulas, se puede establecer.

$$\sum Hf\ (+) = \sum Hf\ (-)$$

$$\sum \alpha\ L\ Q^{1.85}\ (+) = \sum \alpha\ L\ Q^{1.85}\ (-)$$

Sin embargo, se sabe que estos caudales Q no son correctos sino que deben ser corregidos en una cantidad Dq .

$$\sum \alpha\ L\ (Q_0 + Dq)^{1.85}\ (+) = \sum \alpha\ L\ (Q_0 - Dq)^{1.85}\ (-)$$

Resolviendo por binomio de Newton y despreciando infinitésimos de órden superior se tendrá:

$$\sum \alpha\ L\ (Q_0^{1.85} + 1.85\ Q_0^{0.85}\ Dq)(+) = \sum \alpha\ L\ (Q_0^{1.85} - 1.85\ Q_0^{0.85}\ Dq\ (-)$$

y despejando Dq

$$Dq = \frac{\sum \alpha\ L\ Q_0^{1.85}}{1.85\ L\ Q^{0.85}}$$

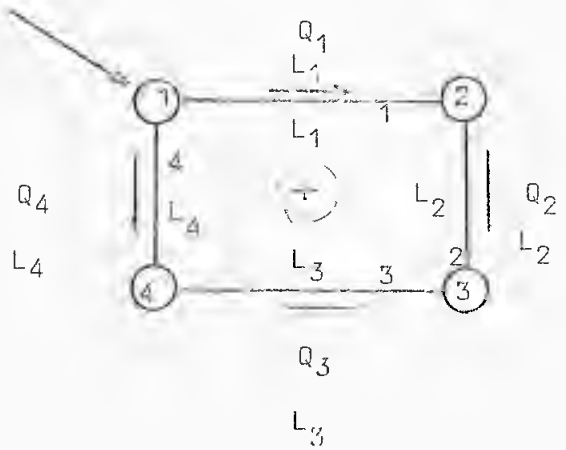
Donde la sumatoria se refiere a todas las tuberías que conforman el circuito.

Esta corrección de caudal se aplica sumándola a las tuberías

de caudal positivo y restándola a las de caudal negativo.

Este proceso de corrección se repite para todos los circuitos hasta que el Dq sea suficientemente pequeño o hasta cumplir el requerimiento exigido por las normas en cuanto a error de cierre de alturas piezométricas del circuito.

Se ilustra el método descrito mediante un ejemplo:



$$hf\ 1 = +\ L_1\ \alpha_1\ Q_1^{1.85}$$

$$hf\ 2 = +\ L_2\ \alpha_2\ Q_2^{1.85}$$

$$hf\ 3 = -\ L_3\ \alpha_3\ Q_3^{1.85}$$

$$hf\ 4 = -\ L_4\ \alpha_4\ Q_4^{1.85}$$

$$\sum = hf_1 + hf_2 + hf_3 + hf_4$$

Si $\sum hf$ es positivo indica que la pérdida de carga en el sentido horario es mayor que la de sentido antihorario; luego, si se busca lograr que ambas pérdidas sean iguales, se debe disminuir el caudal que circula por las tuberías 1 y 2, y para lograr la conservación de la continuidad habrá que incrementarlo en esa misma cantidad en las tuberías 3 y 4.

El valor de esa corrección de caudal es:

$$Dq = -\frac{(L_1\alpha_1 Q_1^{1.85} + L_2\alpha_2 Q_2^{1.85} - L_3\alpha_3 Q_3^{1.85} - L_4\alpha_4 Q_4^{1.85})}{1.85(L_1\alpha_1 Q_1^{0.85} + L_2\alpha_2 Q_2^{0.85} + L_3\alpha_3 Q_3^{0.85} + L_4\alpha_4 Q_4^{0.85})}$$

Aplicando la corrección a los caudales:

Q1	=	Q1v	+	(- Dq)	Q1n	<	Q1v
Q2	=	Q2v	+	(- Dq)	Q2n	<	Q2v
Q3	=	Q3v	+	(- Dq)	Q3n	>	Q3v
Q4	=	Q4v	+	(- Dq)	Q4n	>	Q4v

donde:

Qin = caudal corregido o nuevo de la tubería

Qiv = caudal viejo de la tubería

Si $\sum hf$ es negativo se aplica un razonamiento análogo.

Se habrá llegado a la solución del problema, es decir, al balanceo de los caudales, cuando el numerador sea menor que el error de cierre establecido o cuando el Dq sea lo suficientemente pequeño.

En el caso del programa de computación, el circuito al cual se aplica el método de Cross es aquel definido por las rutas de alimentación de los nodos de entrada y salida de las tuberías secundarias.-

III.8.- DETERMINACION DE LAS ALTURAS PIEZOMETRICAS EN LOS NODOS

Una vez obtenidos los caudales corregidos en la sección anterior, se procede a calcular las alturas piezométricas de cada uno de los nodos.

El proceso se realiza de aguas arriba hacia aguas abajo, partiendo de la cota piezométrica del nodo de alimentación.

La altura piezométrica de cada nodo será igual a la altura piezométrica del nodo aguas arriba del mismo menos las pérdidas de carga que se producen en el tramo de tubería que los une.

Las pérdidas de carga se evaluan, como ya se dijo, mediante la expresión de Hazen - Williams.

$$hf = \alpha \times L \times Q^{1.85}$$

El procedimiento usado en el programa de computación es el siguiente:

1.- Se asigna a todos los nodos un valor de H. piezométrica igual a cero.
2.- Se asigna al nodo de alimentación el valor de H. piezométrica de alimentación
3.- Se busca un nodo cuyo valor de H. piezométrica sea desconocido; es decir, igual a cero.
4.- Se verifica que sea conocida la H. piezométrica del nodo aguas arriba del mismo.
5.- H del nodo = H del anterior - pérdidas.
6.- Se continúa el proceso desde 3 hasta que todas las alturas piezométricas de los nodos hayan sido determinadas.

Una vez finalizado el proceso se tiene una solución completa del problema. Sin embargo, debido a las modificaciones de caudal introducidas por el método de Cross, se debe verificar que aún se satisfagan las alturas piezométricas mínimas requeridas y las velocidades máximas permisibles.

También se puede dar el caso de que para la nueva configuración de caudales existe otra configuración de tuberías de menor costo, luego, se debe repetir todo el proceso de selección de diámetros hasta obtener la solución de mínimo costo.

IV.- APLICACION DE LAS TECNICAS DE LA PROGRAMACION ELECTRONICA

En este capítulo se presenta el complemento práctico del capítulo anterior; los procedimientos teóricos propuestos y descritos son expresados en términos matemáticos y lógicos e implementados por medio de un programa de computación.

Con miras a lograr una mayor flexibilidad operativa y una mayor versatilidad, el programa fue estructurado en 20 subprogramas, cada uno de los cuales tiene una función específica y conserva el máximo de independencia posible. Esto permite evidentemente sustituir cualquier procedimiento descrito por otro, que cumpla los mismos objetivos pero que resulte mejor en algún aspecto (tal como asegurar una más rápida convergencia, reducir los tiempos de proceso, etc.), sin alterar sustancialmente ni la estructura ni la secuencia general de proceso.

La codificación del programa se hizo en lenguaje BASIC - HP - 3000, y se presentan las modalidades de entrada de datos en forma conversacional (session) por terminal de pantalla de rayos catódicos --- (2640 A ó 2645 A) mediante subprogramas en "BASIC INTERPRETER" y la resolución del problema en forma no interactiva sino en "batch" mediante subprogramas en "BASIC COMPILER".

A continuación se presentan

IV.1.- Diagrama de bloque general

IV.2.- Diagramas de bloques de los programas.

IV.3.- Lista de variables usadas y requerimientos de memoria.

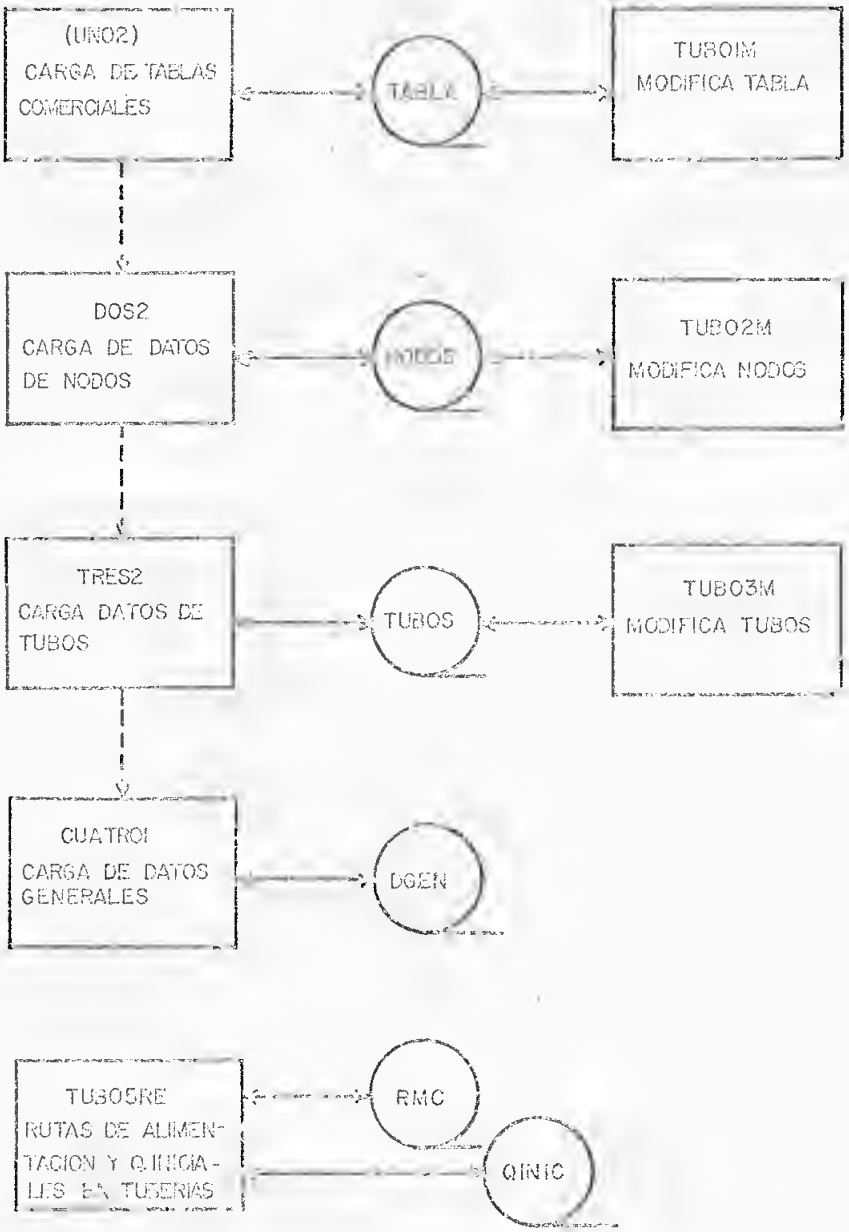
IV.4.- Listado de los subprogramas

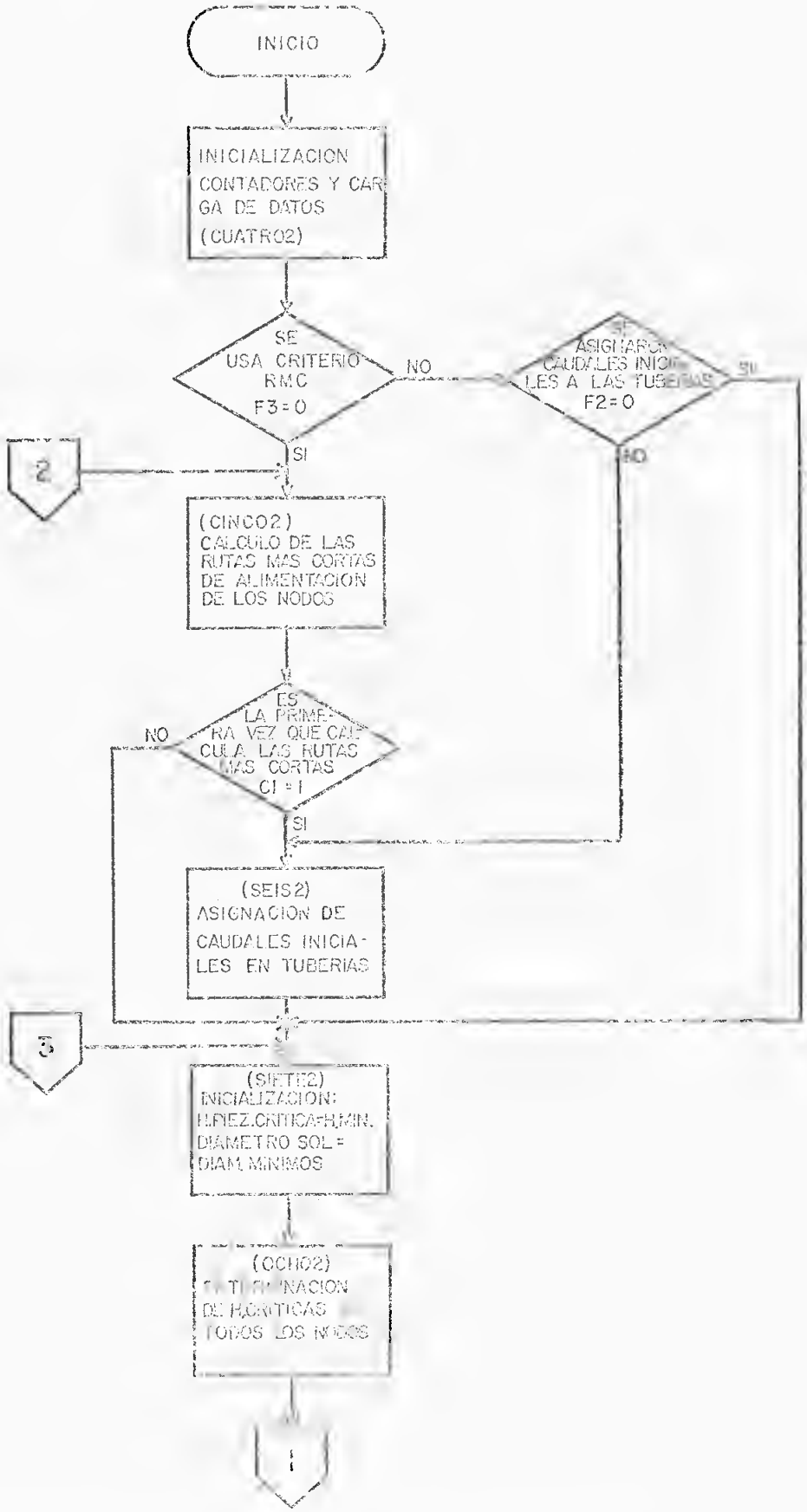
IV.5.- Manual de usuario.

IV.6.- Manual de operación y mantenimiento.

IV.1 DIAGRAMA DE BLOQUE GENERAL

DIAGRAMA DE BLOQUE GENERAL
ENTRADA DE DATOS




INICIO
INICIALIZACION CONTADORES Y CARGA DE DATOS (CUATRO2)
SE USA CRITERIO RMC F3=0
NO
SI
ASIGNARON CAUDALES INICIALES A LAS TUBERIAS F2=0
SI
NO
2
(CINCO2) CALCULO DE LAS RUTAS MAS CORTAS DE ALIMENTACION DE LOS NODOS
ES LA PRIMERA VEZ QUE CALCULA LAS RUTAS MAS CORTAS C1=1
NO
SI
(SEIS2) ASIGNACION DE CAUDALES INICIALES EN TUBERIAS
3
(SIETE2) INICIALIZACION: H.PIEZ.CRITICA=H.MIN. DIAMETRO SOL= DIAM.MINIMOS
(OCHO2) DETERMINACION DE H.CRITICAS EN TODOS LOS NODOS
1

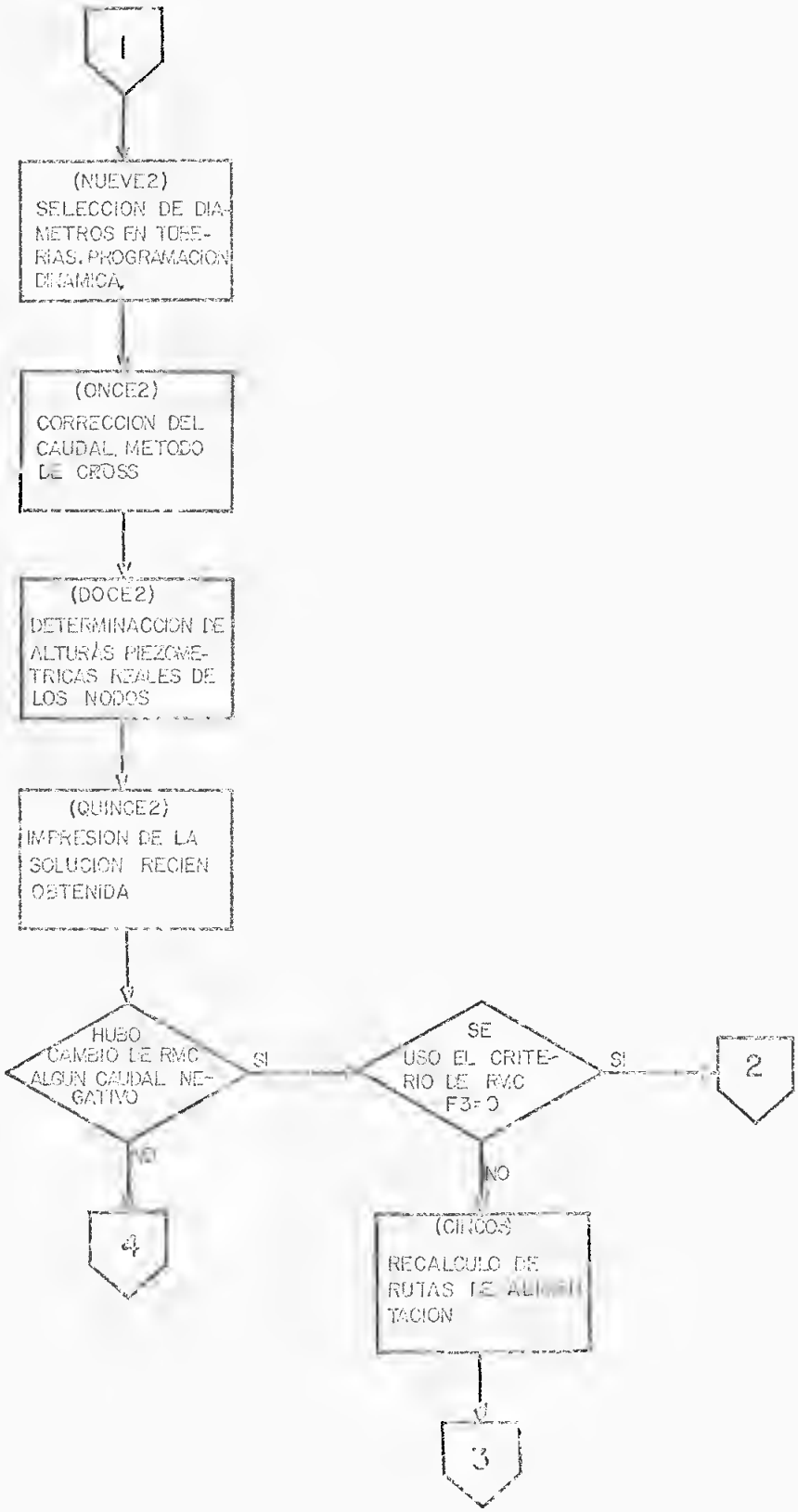
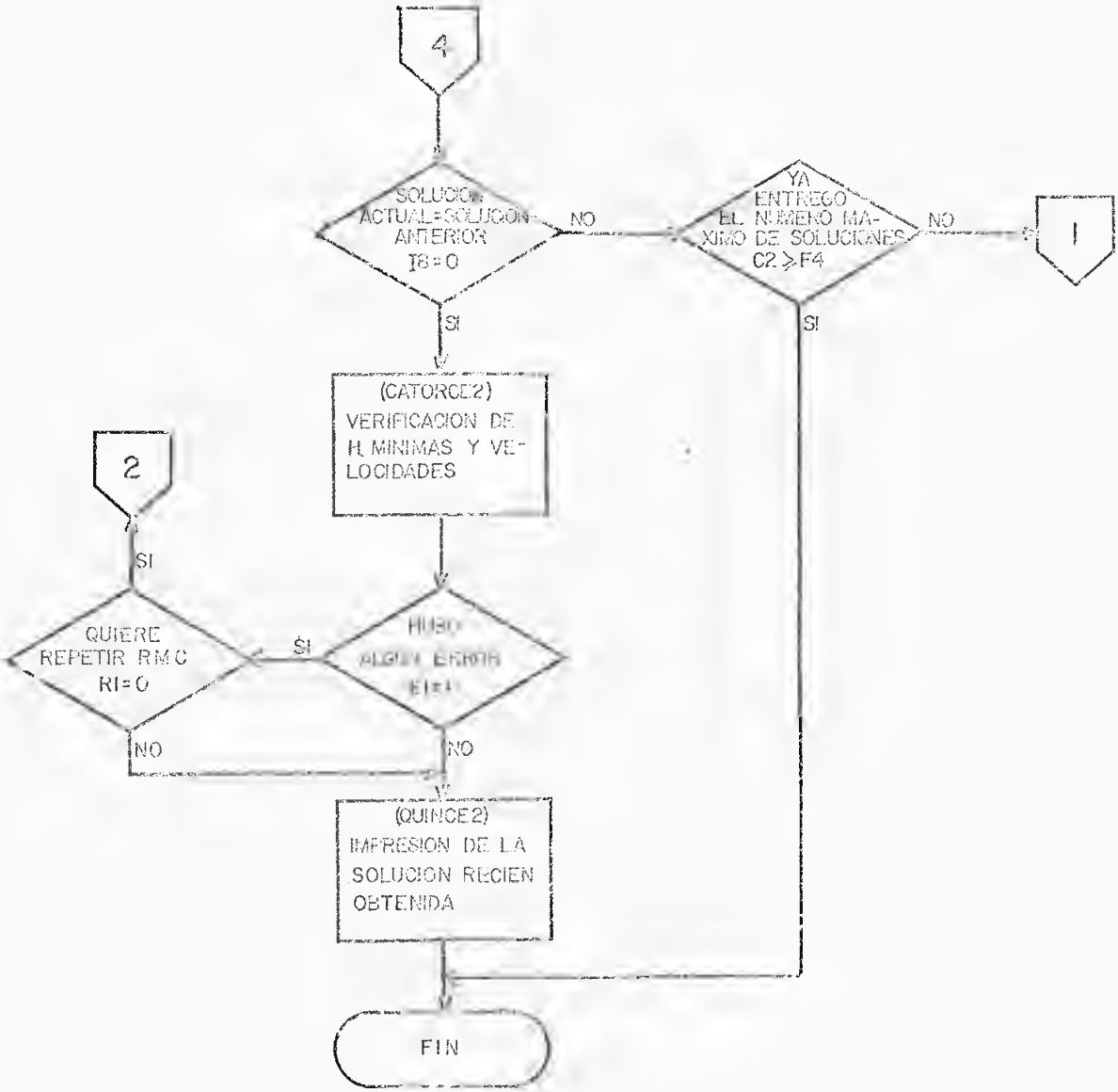
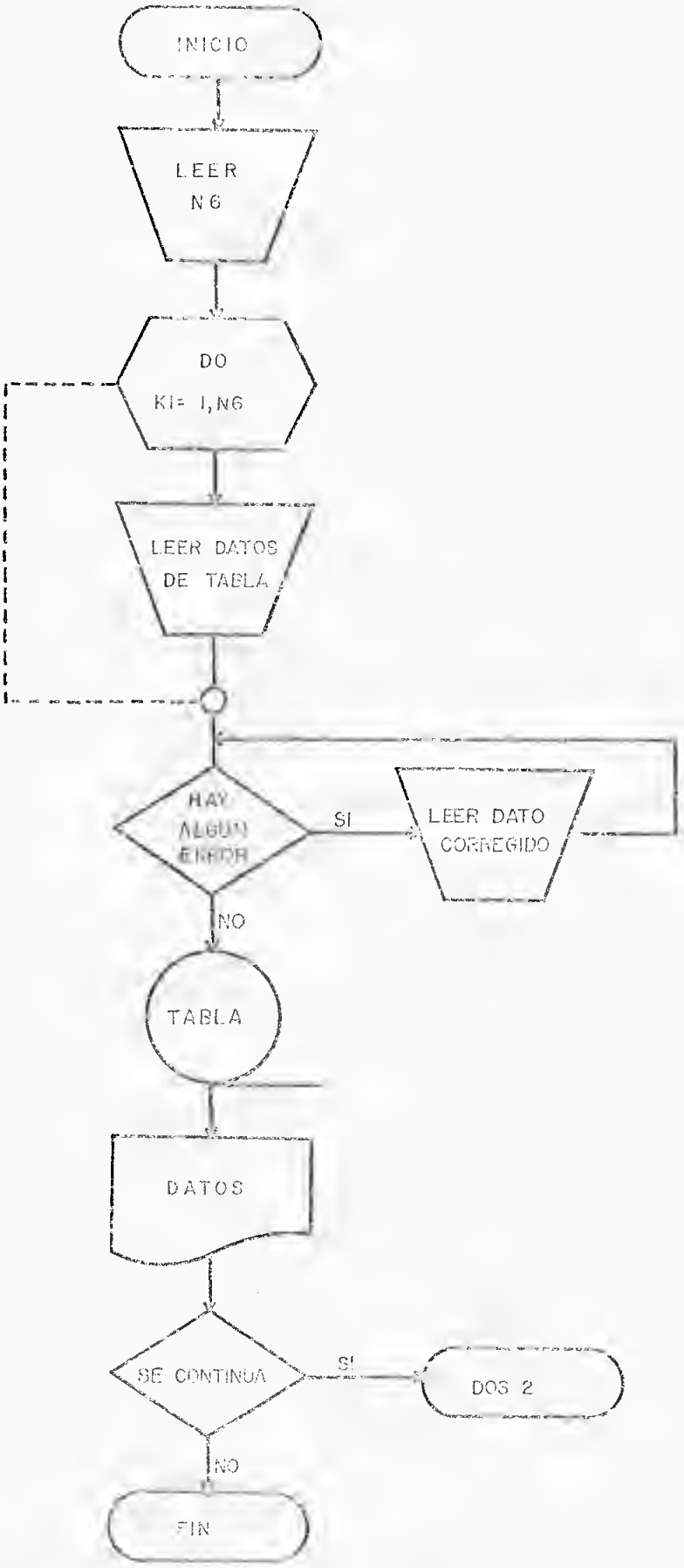

1
(NUEVE2)
SELECCION DE DIAMETROS EN TUBERIAS. PROGRAMACION DINAMICA.
(ONCE2)
CORRECCION DEL CAUDAL. METODO DE CROSS
(DOCE2)
DETERMINACCION DE ALTURAS PIEZOMETRICAS REALES DE LOS NODOS
(QUINCE2)
IMPRESION DE LA SOLUCION RECIEN OBTENIDA
HUBO CAMBIO DE RMC ALGUN CAUDAL NEGATIVO
SI
SE USO EL CRITERIO DE RMC F3=0
SI
2
NO
4
NO
(CINCO4)
RECALCULO DE RUTAS DE ALIMENTACION
3

DIAGRAMA DE BLOQUE CONTINUACION

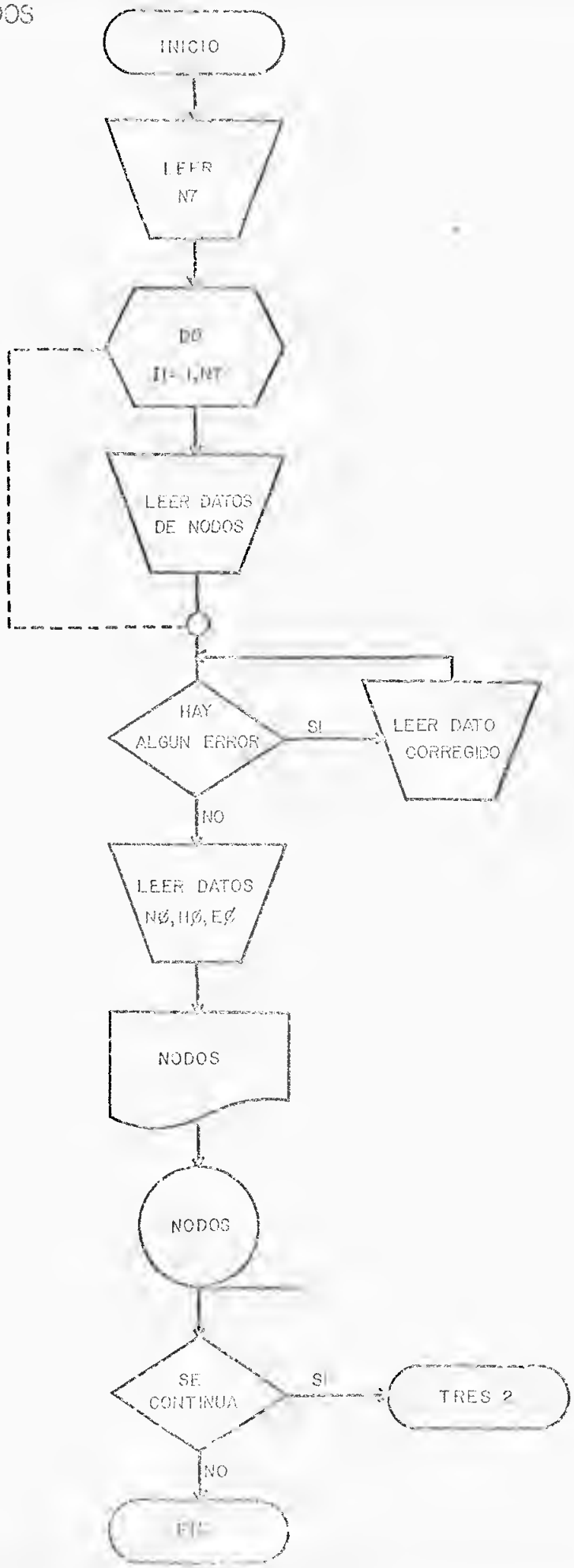


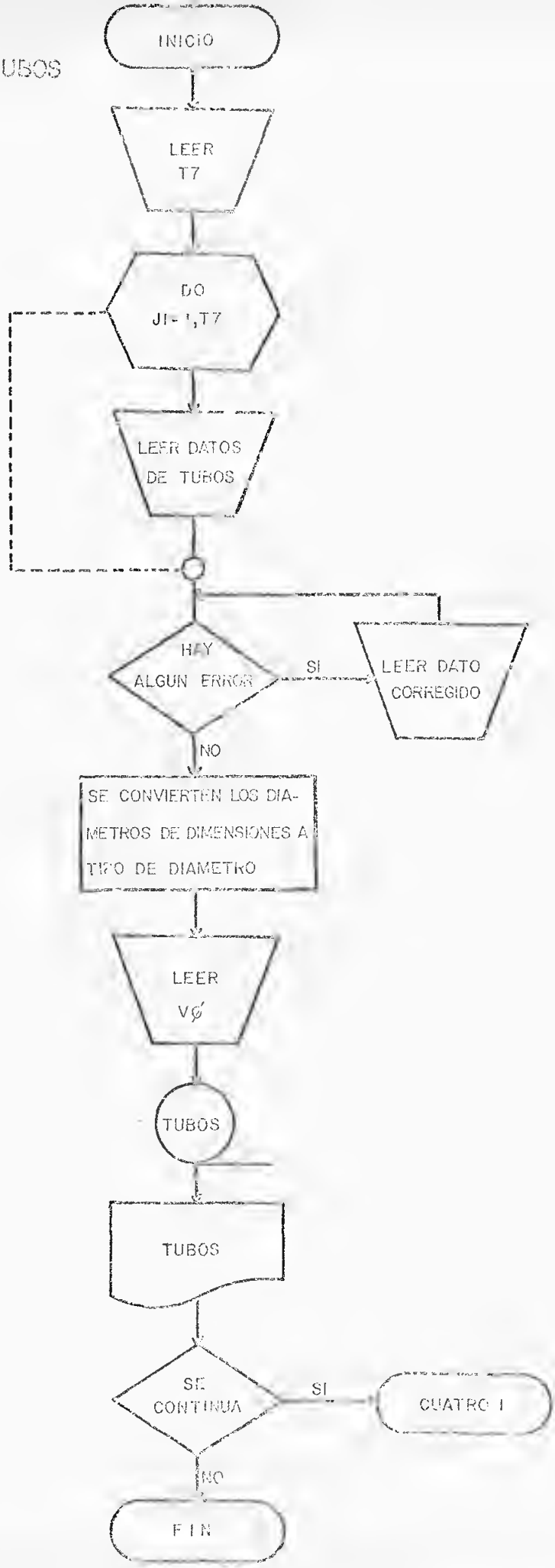
IV.2 DIAGRAMAS DE BLOQUES DE LOS SUBPROGRAMAS

UNO 2 CARGA DE TABLAS COMERCIALES

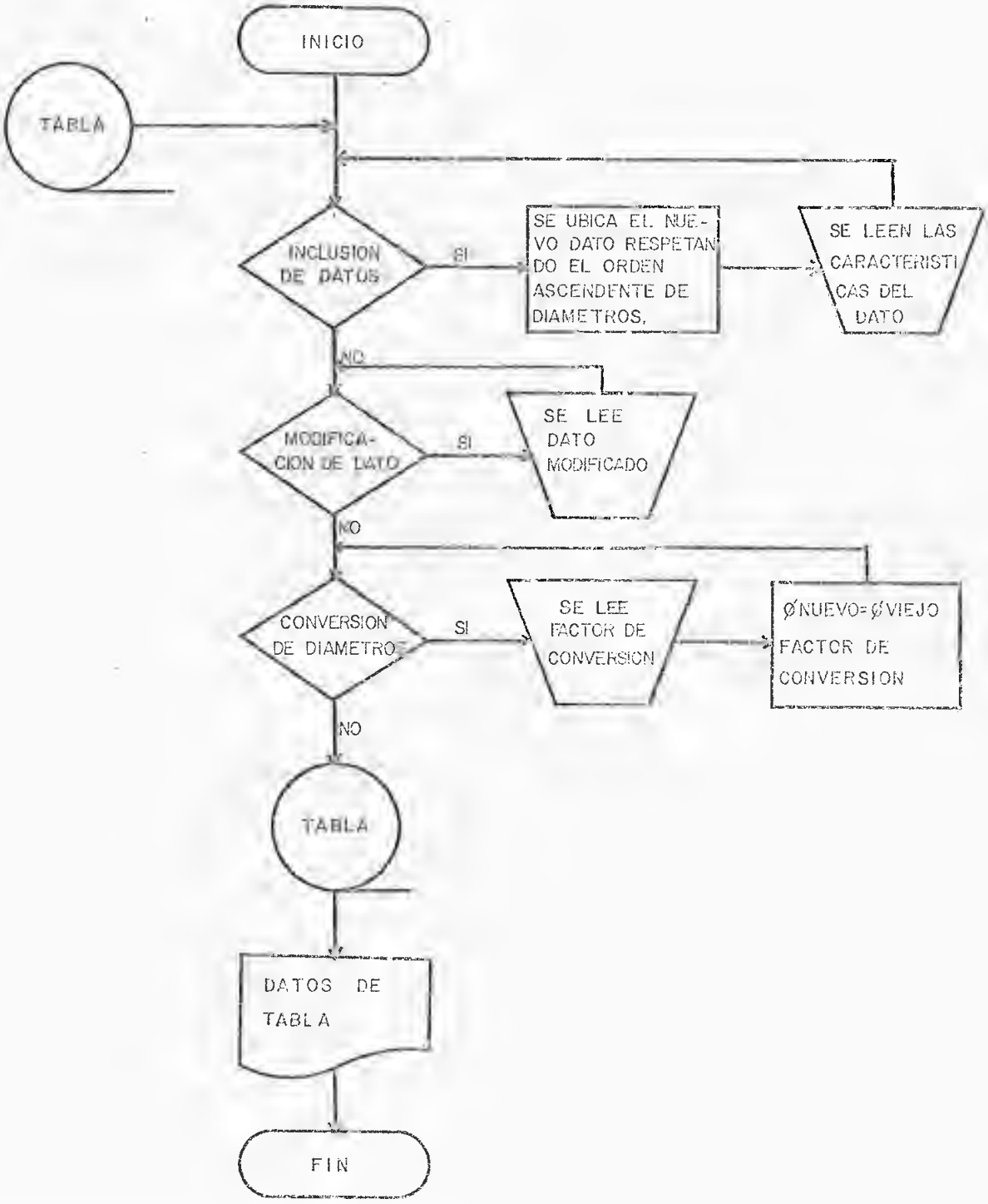


D032 CARGA DATOS DE NODOS

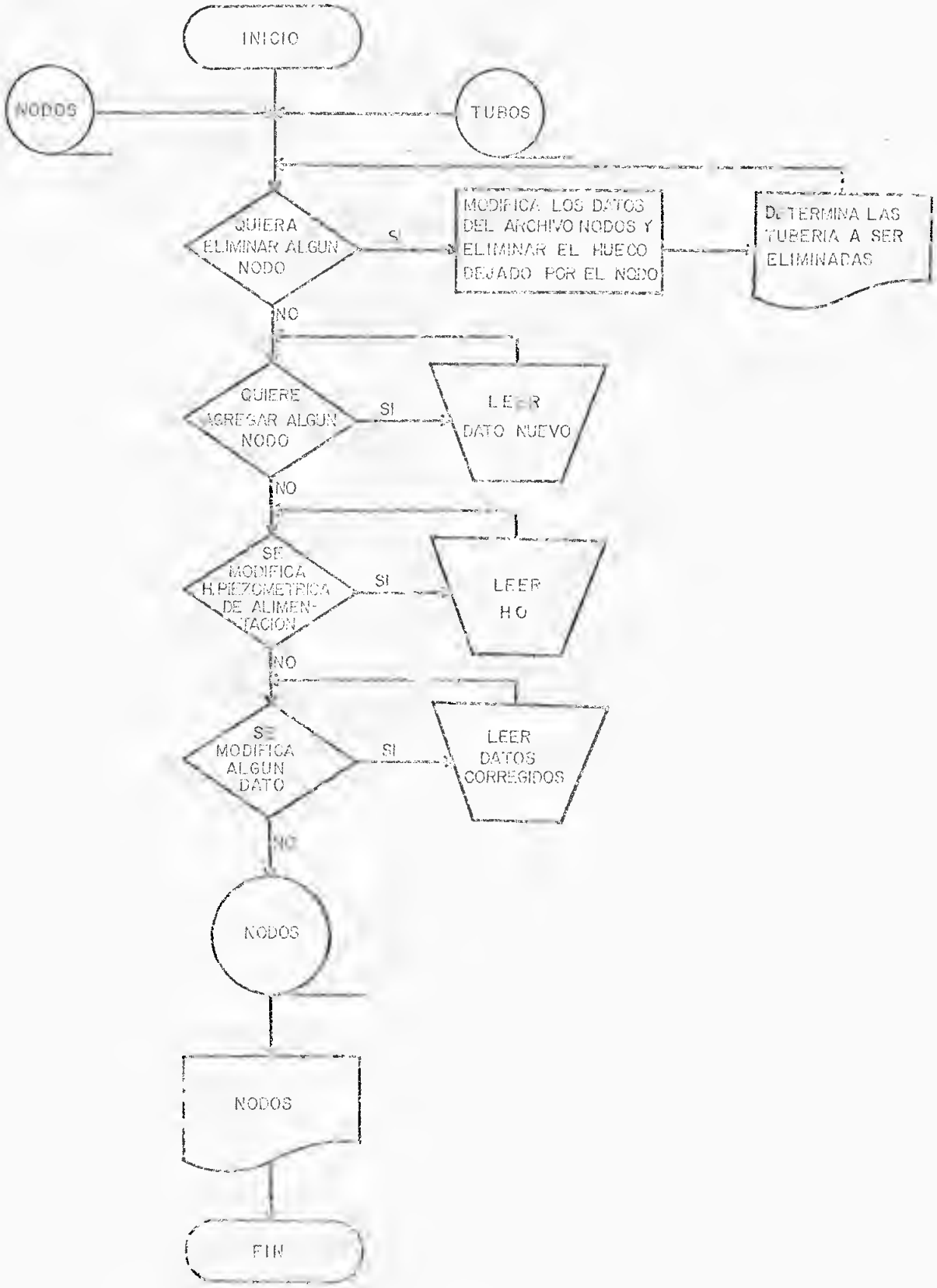



INICIO
LEER
T7
DO
JI=1,T7
LEER DATOS
DE TUBOS
HAY
ALGUN ERROR
SI
LEER DATO
CORREGIDO
NO
SE CONVIERTEN LOS DIA-
METROS DE DIMENSIONES A
TIPO DE DIAMETRO
LEER
VØ
TUBOS
TUBOS
SE
CONTINUA
SI
CUATRO 1
NO
FIN

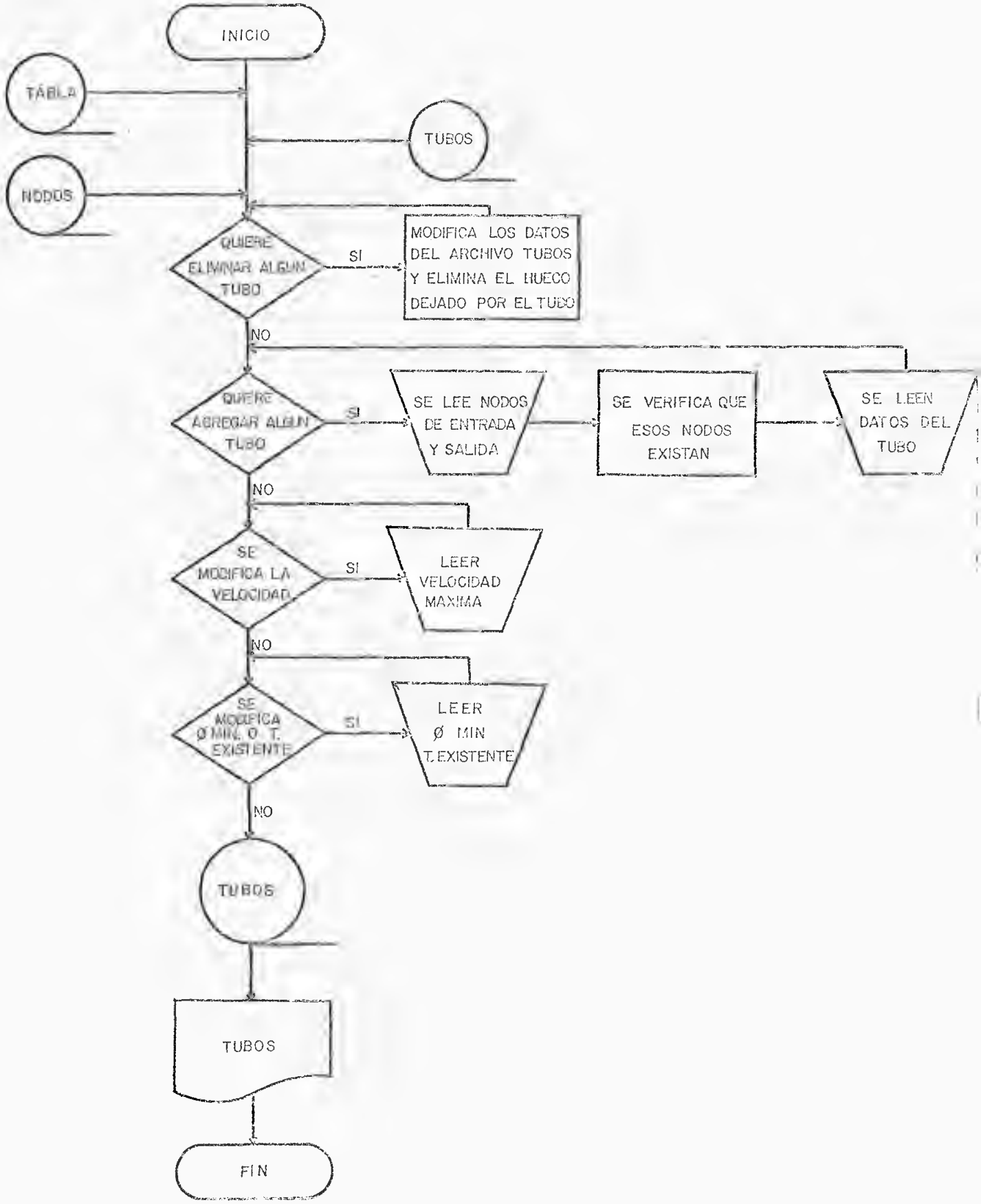
TUBOIM MODIFICACION DE DATOS DE TABLA



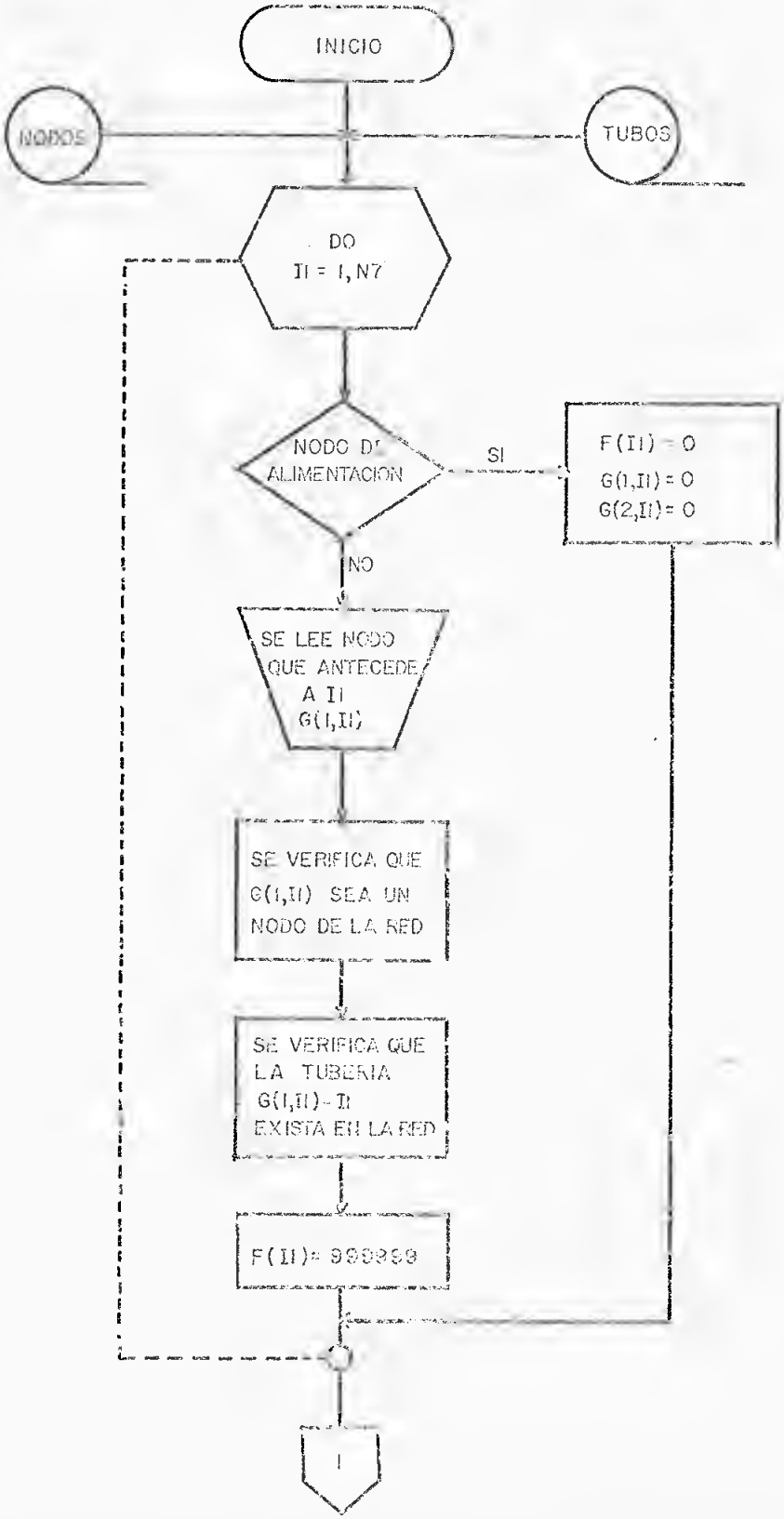
TUBO2M MODIFICACION DE DATOS DE NODOS

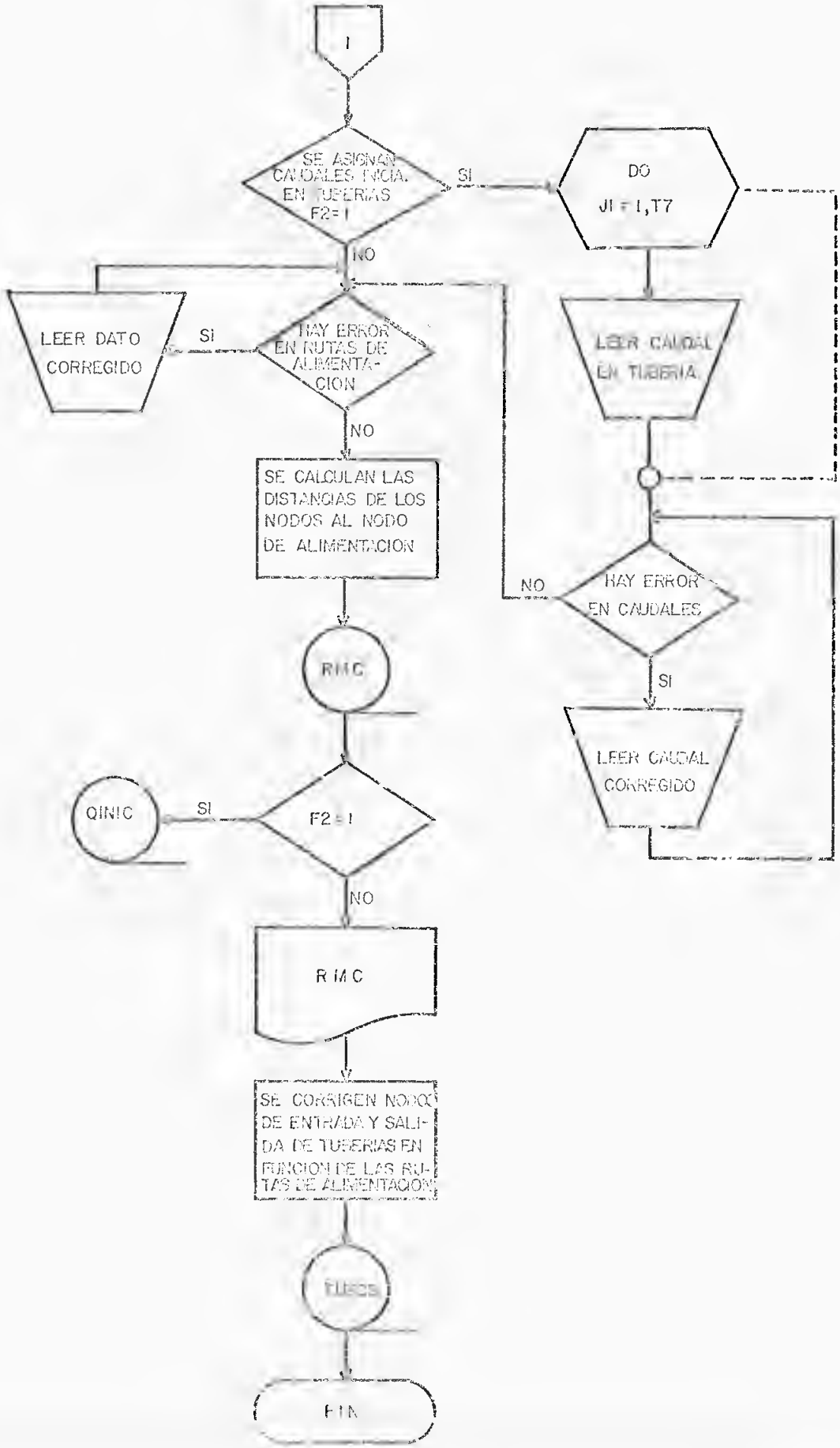


TUBO3M MODIFICACION DE DATOS DE TUBOS

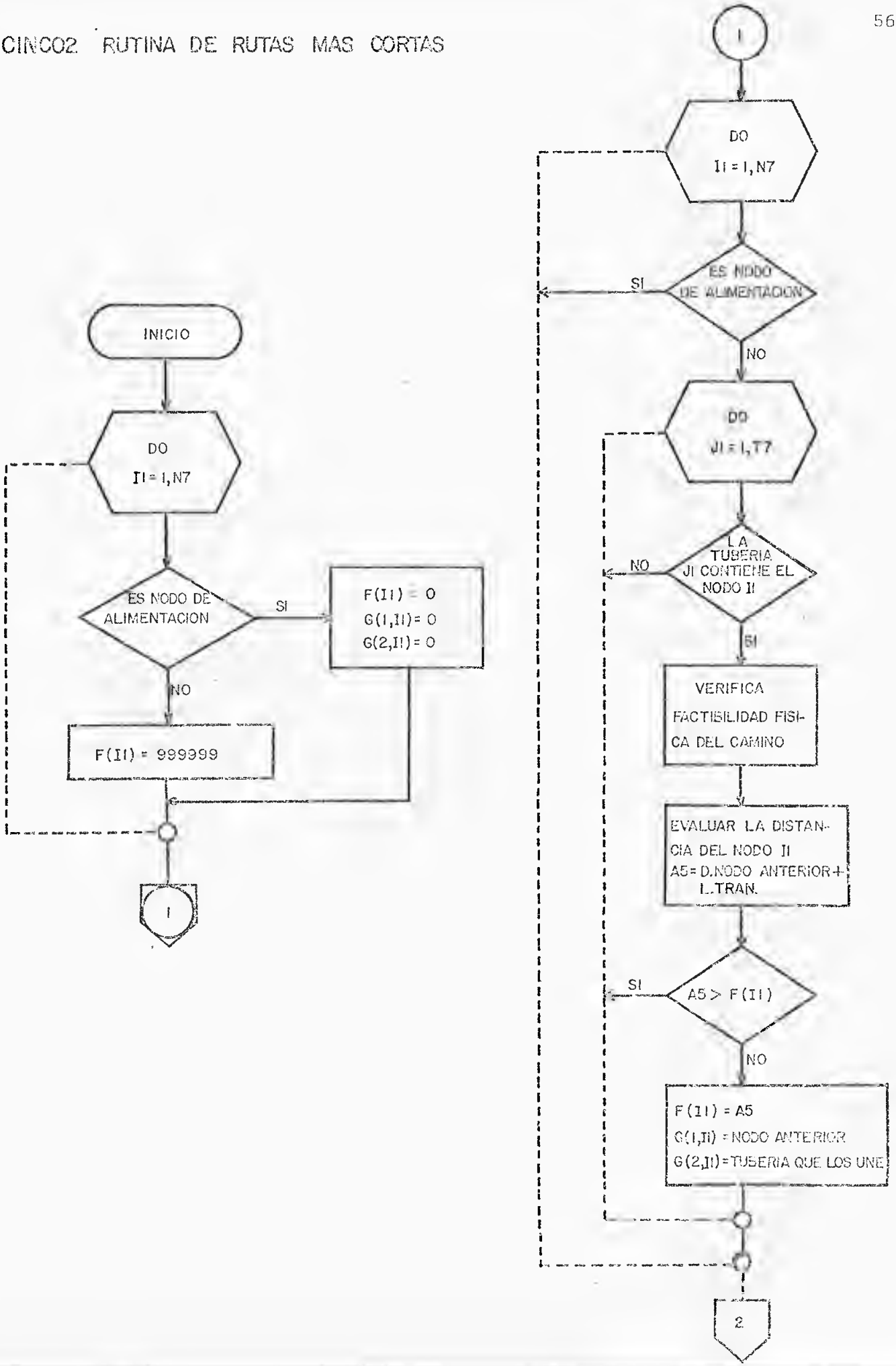


TUBØ5RE CARGA DE RUTA DE ALIMENTACION A LOS NODOS

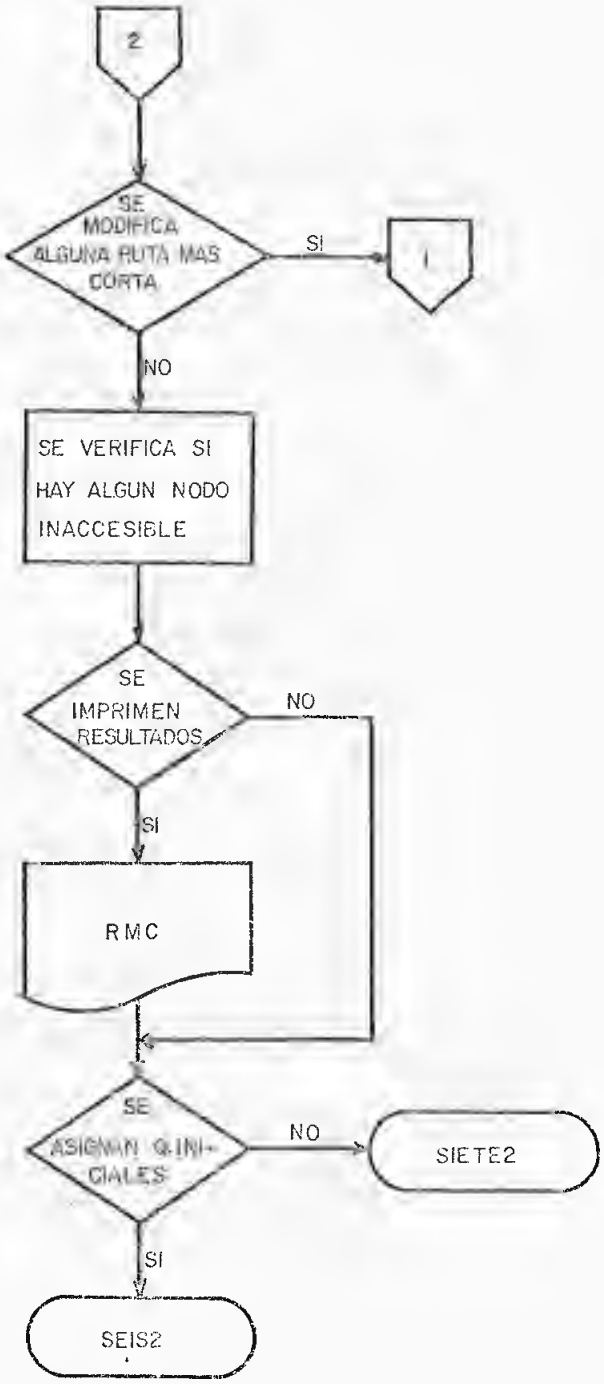


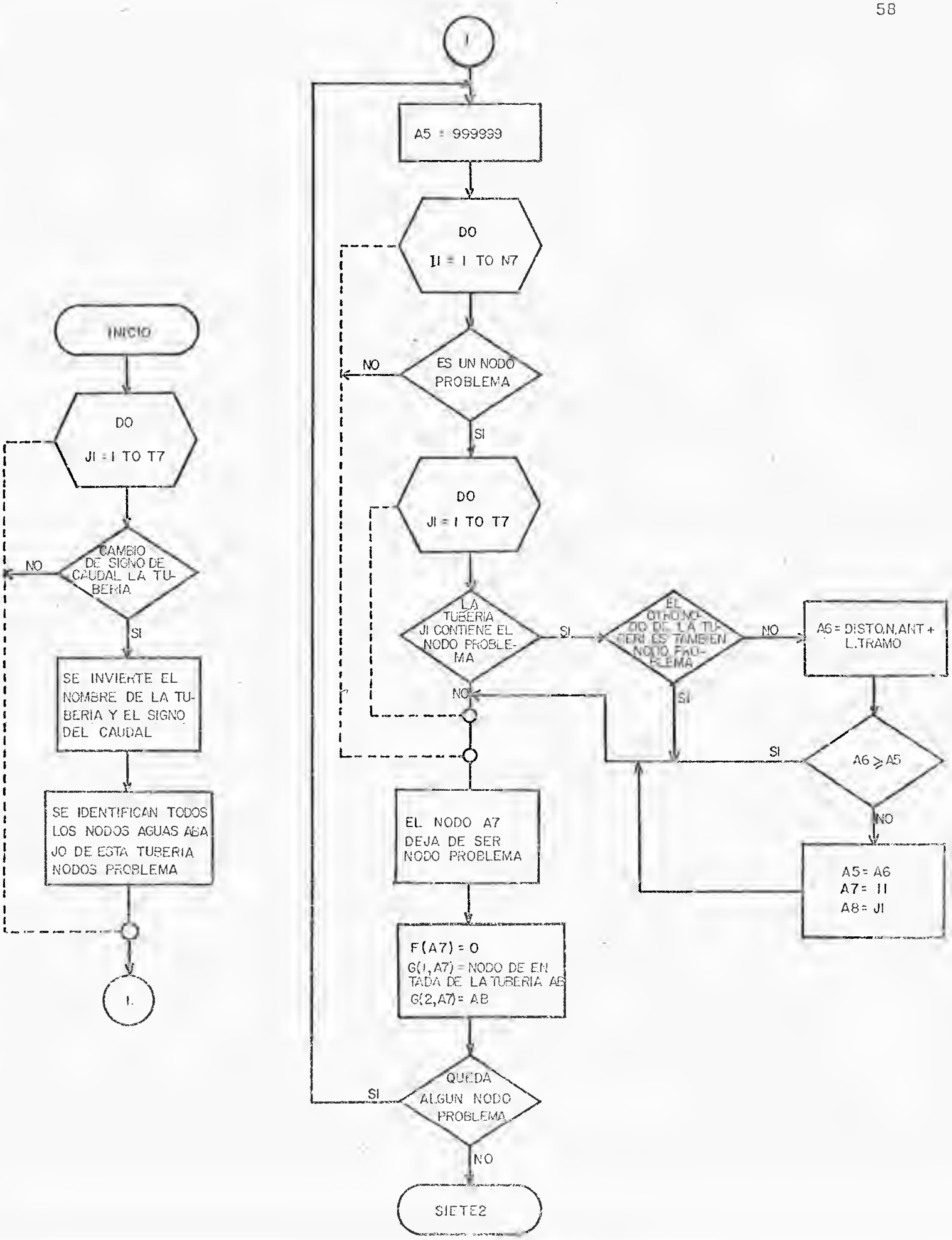

I
SE ASIGNAN CAUDALES INICIA. EN TUBERIAS F2=I
SI
DO JI=I,T7
NO
LEER DATO CORREGIDO
SI
HAY ERROR EN RUTAS DE ALIMENTA-CION
LEER CAUDAL EN TUBERIA
NO
SE CALCULAN LAS DISTANCIAS DE LOS NODOS AL NODO DE ALIMENTACION
NO
HAY ERROR EN CAUDALES
SI
RMC
LEER CAUDAL CORREGIDO
QINIC
SI
F2=I
NO
RMC
SE CORRIGEN NODOS DE ENTRADA Y SALIDA DE TUBERIAS EN FUNCION DE LAS RUTAS DE ALIMENTACION
FUBCS
FIN

CINCO2 RUTINA DE RUTAS MAS CORTAS

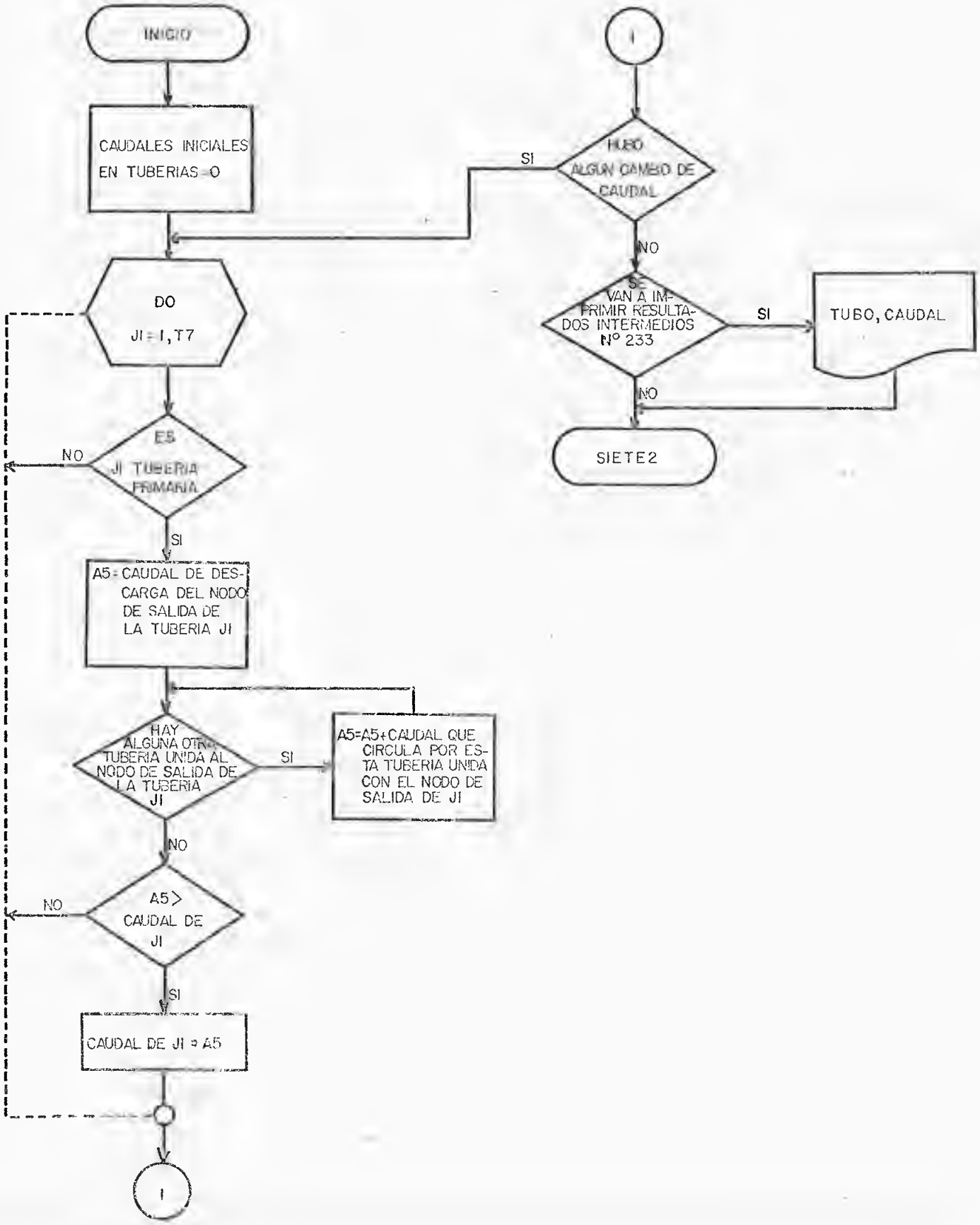


CINCO2 CONTINUACION

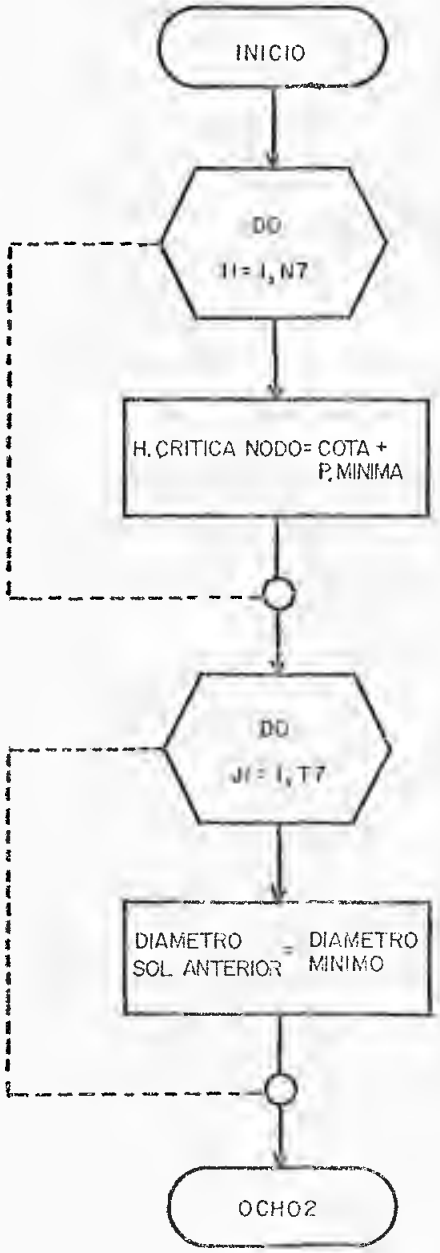



INICIO
DO
JI = I TO T7
CAMBIO DE SIGNO DE CAUDAL LA TUBERIA
NO
SI
SE INVIERTE EL NOMBRE DE LA TUBERIA Y EL SIGNO DEL CAUDAL
SE IDENTIFICAN TODOS LOS NODOS AGUAS ABAJO DE ESTA TUBERIA NODOS PROBLEMA
I.
I
A5 = 999999
DO
II = I TO N7
ES UN NODO PROBLEMA
NO
SI
DO
JI = I TO T7
LA TUBERIA JI CONTIENE EL NODO PROBLEMA
SI
NO
EL OTRO NODO DE LA TUBERIA ES TAMBIEN NODO PROBLEMA
NO
SI
A6 = DISTO.N.ANT + L.TRAMO
A6 ≥ A5
SI
NO
A5 = A6
A7 = II
A8 = JI
EL NODO A7 DEJA DE SER NODO PROBLEMA
F(A7) = 0
G(1,A7) = NODO DE ENTADA DE LA TUBERIA A8
G(2,A7) = A8
QUEDA ALGUN NODO PROBLEMA
SI
NO
SIETE2

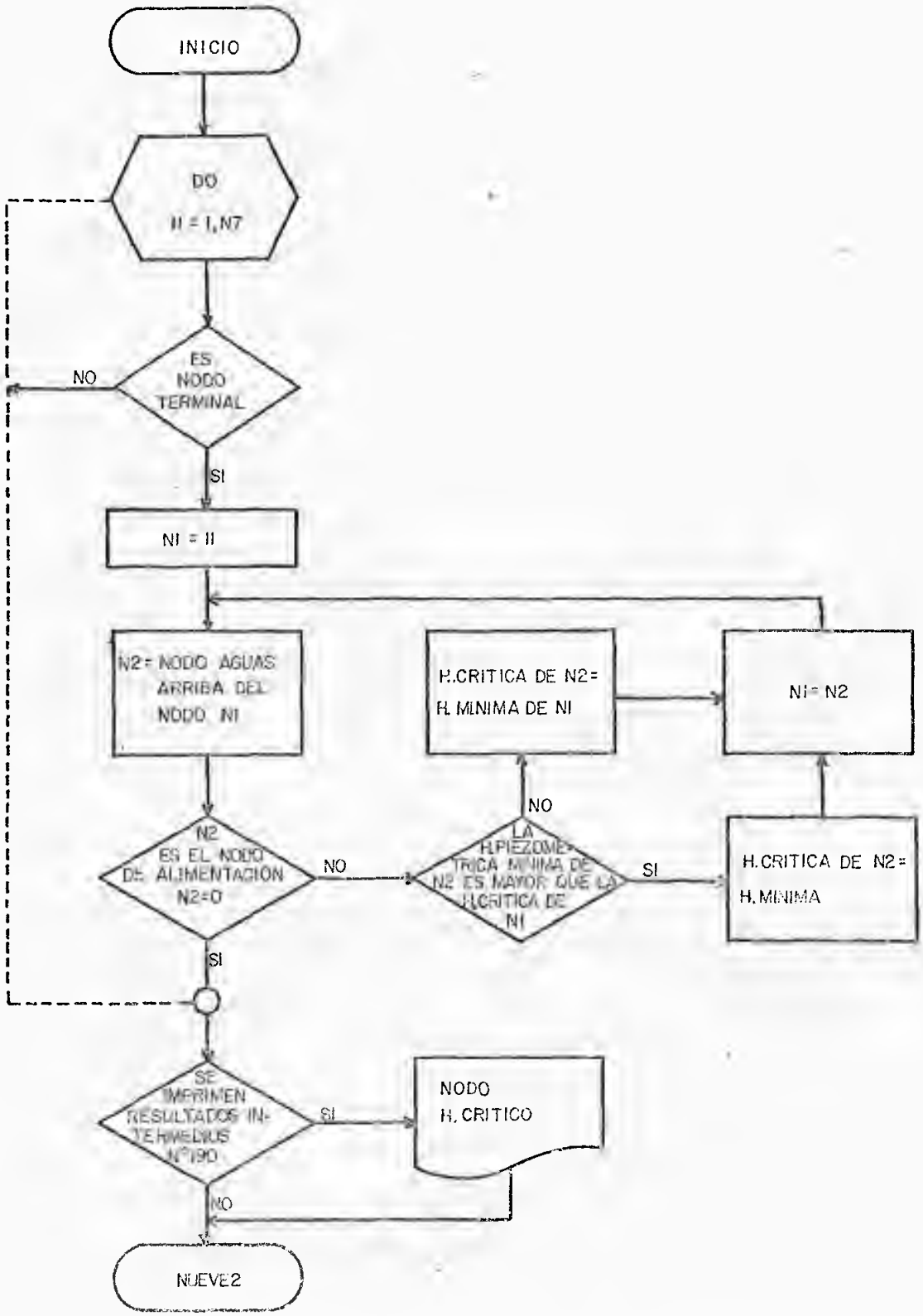
SEIS2 ASIGNACION DE CAUDALES INICIALES EN TUBERIAS



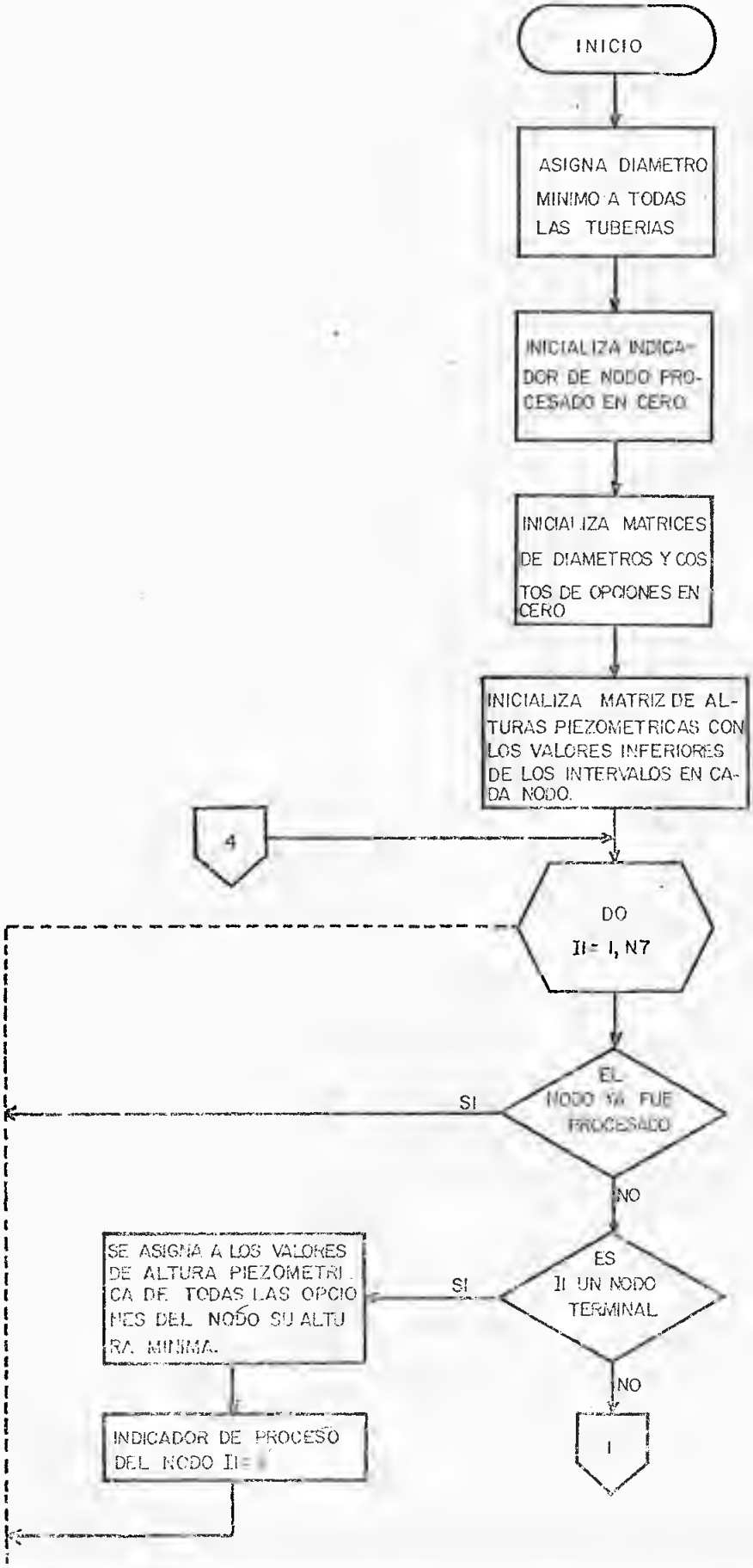
SIETE2 INICIALIZACION DE ALTURAS PIEZOMETRICAS CRITICAS



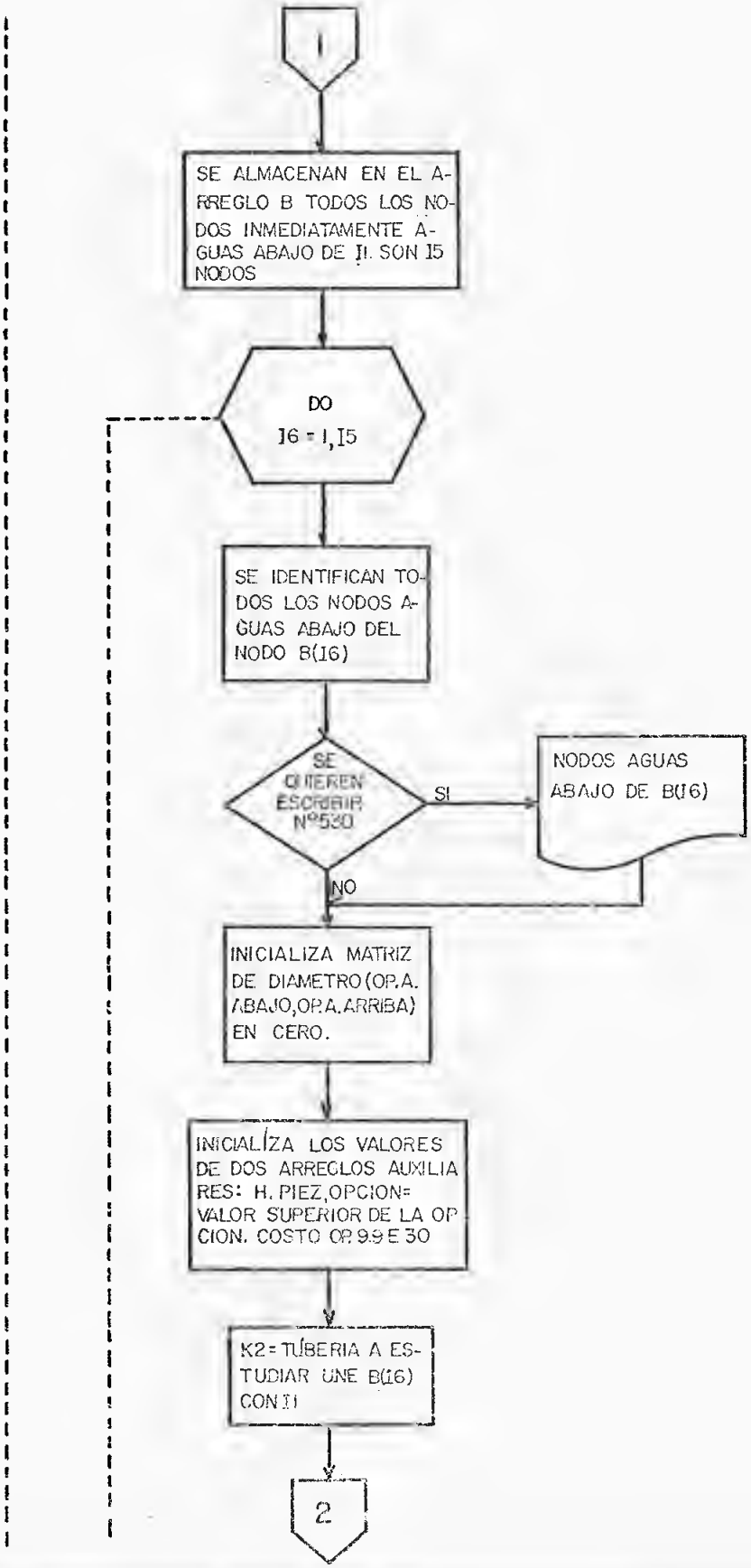
OCHO2 DETERMINACION DE LAS ALTURAS CRITICAS DE LOS NODOS

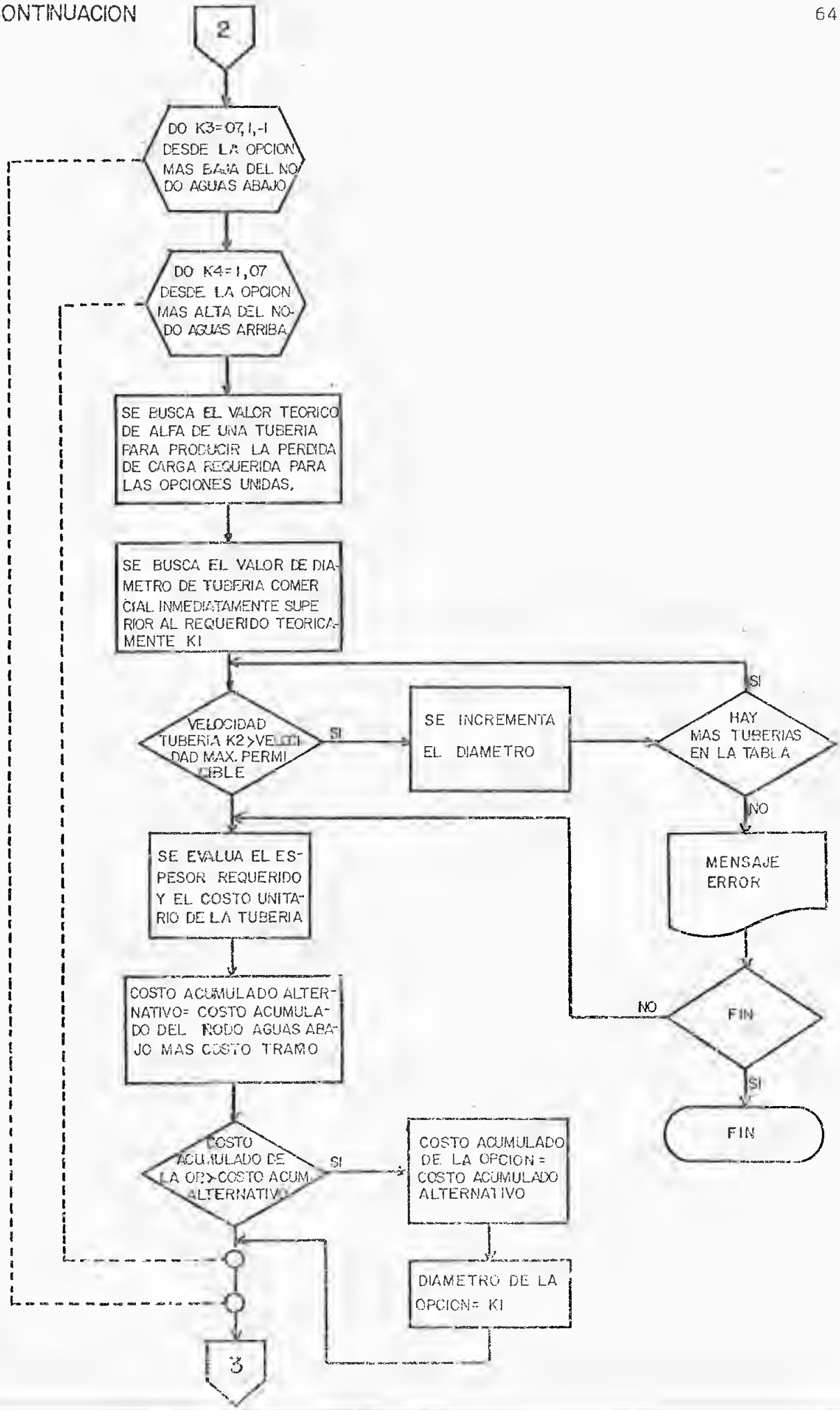


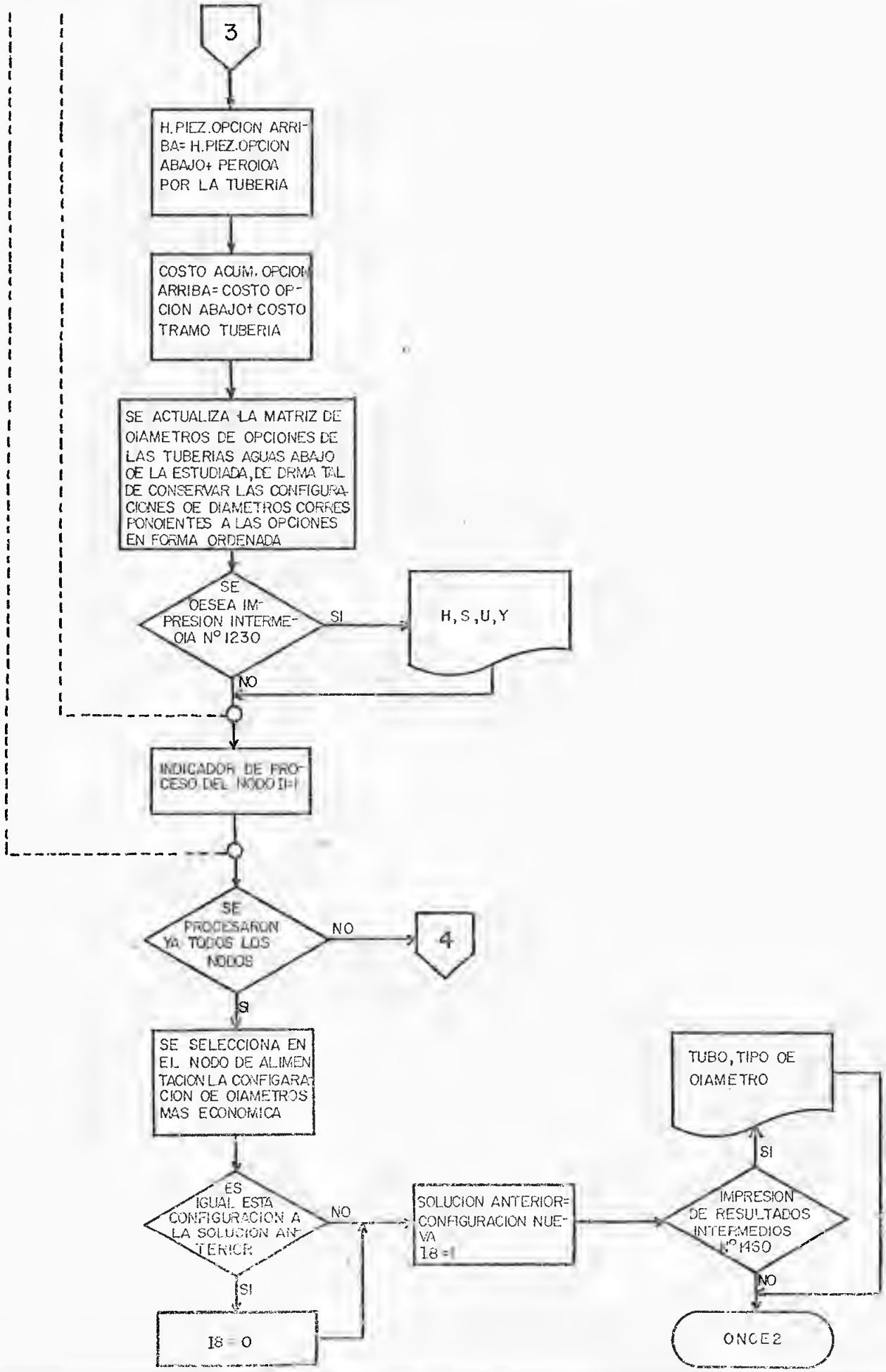
NUEVE2 SELECCION DE DIAMETROS



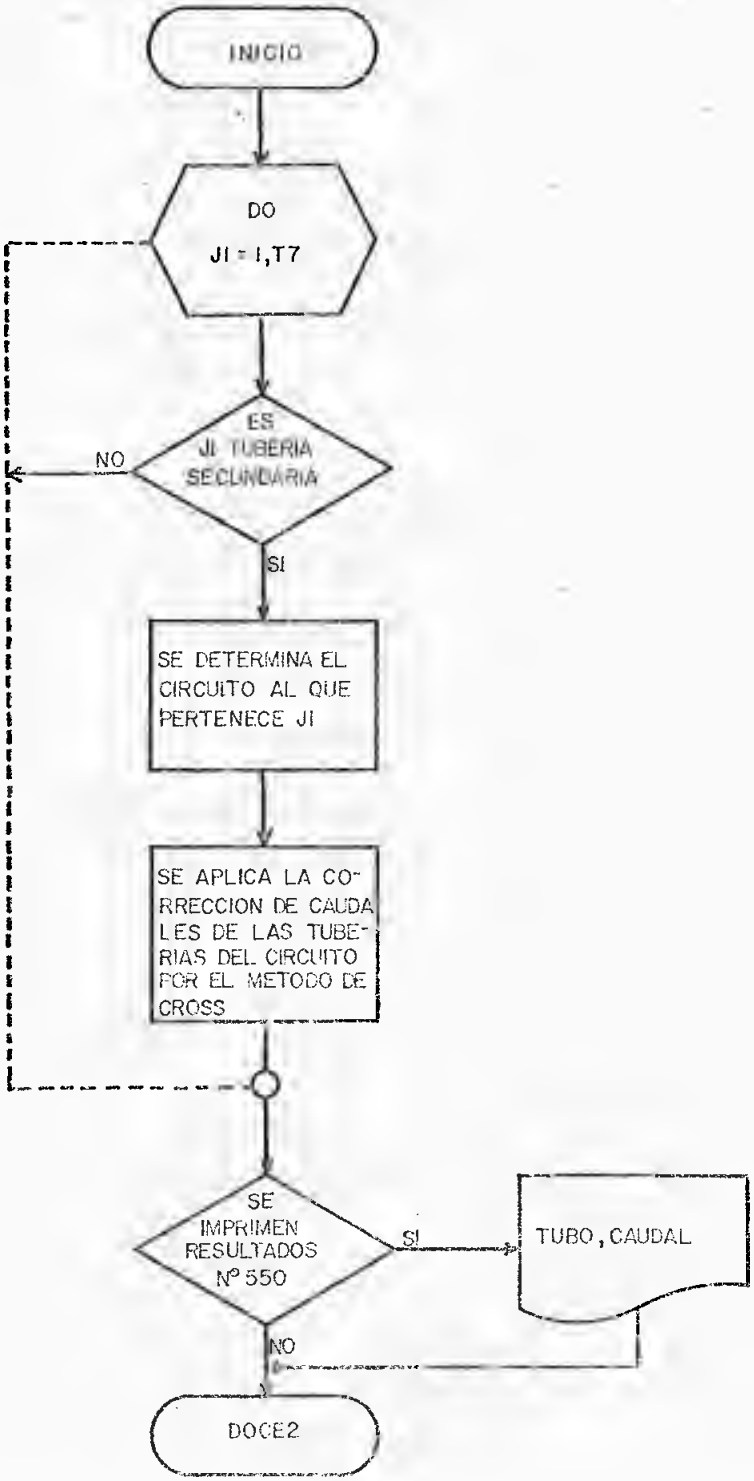
NUEVE2 CONTINUACION



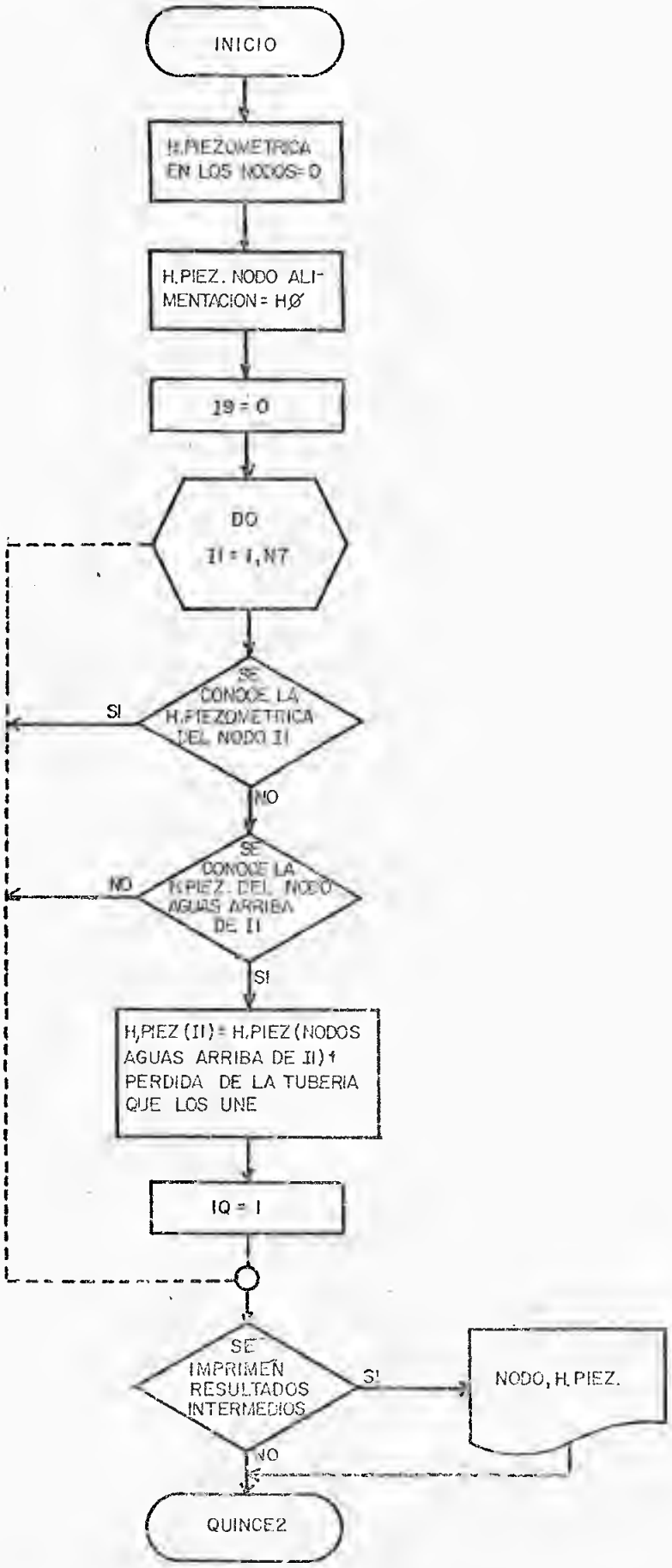

2
DO K3=07,1,-1 DESDE LA OPCION MAS BAJA DEL NODO AGUAS ABAJO
DO K4=1,07 DESDE LA OPCION MAS ALTA DEL NODO AGUAS ARRIBA
SE BUSCA EL VALOR TEORICO DE ALFA DE UNA TUBERIA PARA PRODUCIR LA PERDIDA DE CARGA REQUERIDA PARA LAS OPCIONES UNIDAS.
SE BUSCA EL VALOR DE DIAMETRO DE TUBERIA COMERCIAL INMEDIATAMENTE SUPERIOR AL REQUERIDO TEORICAMENTE K1
VELOCIDAD TUBERIA K2>VELOCIDAD MAX. PERMISIBLE
SI
SE INCREMENTA EL DIAMETRO
HAY MAS TUBERIAS EN LA TABLA
SI
NO
MENSAJE ERROR
SE EVALUA EL ESPESOR REQUERIDO Y EL COSTO UNITARIO DE LA TUBERIA
COSTO ACUMULADO ALTERNATIVO= COSTO ACUMULADO DEL NODO AGUAS ABAJO MAS COSTO TRAMO
NO
FIN
SI
FIN
COSTO ACUMULADO DE LA OP>COSTO ACUM. ALTERNATIVO
SI
COSTO ACUMULADO DE LA OPCION = COSTO ACUMULADO ALTERNATIVO
DIAMETRO DE LA OPCION= K1
3


3
H.PIEZ.OPCION ARRIBA= H.PIEZ.OPCION ABAJO+ PERDIDA POR LA TUBERIA
COSTO ACUM. OPCION ARRIBA= COSTO OPCION ABAJO+ COSTO TRAMO TUBERIA
SE ACTUALIZA LA MATRIZ DE DIAMETROS DE OPCIONES DE LAS TUBERIAS AGUAS ABAJO DE LA ESTUDIADA, DE FORMA TAL DE CONSERVAR LAS CONFIGURACIONES DE DIAMETROS CORRESPONDIENTES A LAS OPCIONES EN FORMA ORDENADA
SE DESEA IMPRESION INTERMEDIA N° 1230
SI
H, S, U, Y
NO
INDICADOR DE PROCESO DEL NODO I=I
SE PROCESARON YA TODOS LOS NODOS
NO
4
SI
SE SELECCIONA EN EL NODO DE ALIMENTACION LA CONFIGARACION DE DIAMETROS MAS ECONOMICA
ES IGUAL ESTA CONFIGURACION A LA SOLUCION ANTERIOR
NO
SI
I8 = 0
SOLUCION ANTERIOR= CONFIGURACION NUEVA
I8 =1
IMPRESION DE RESULTADOS INTERMEDIOS N° 1460
SI
TUBO, TIPO DE DIAMETRO
NO
ONCE2

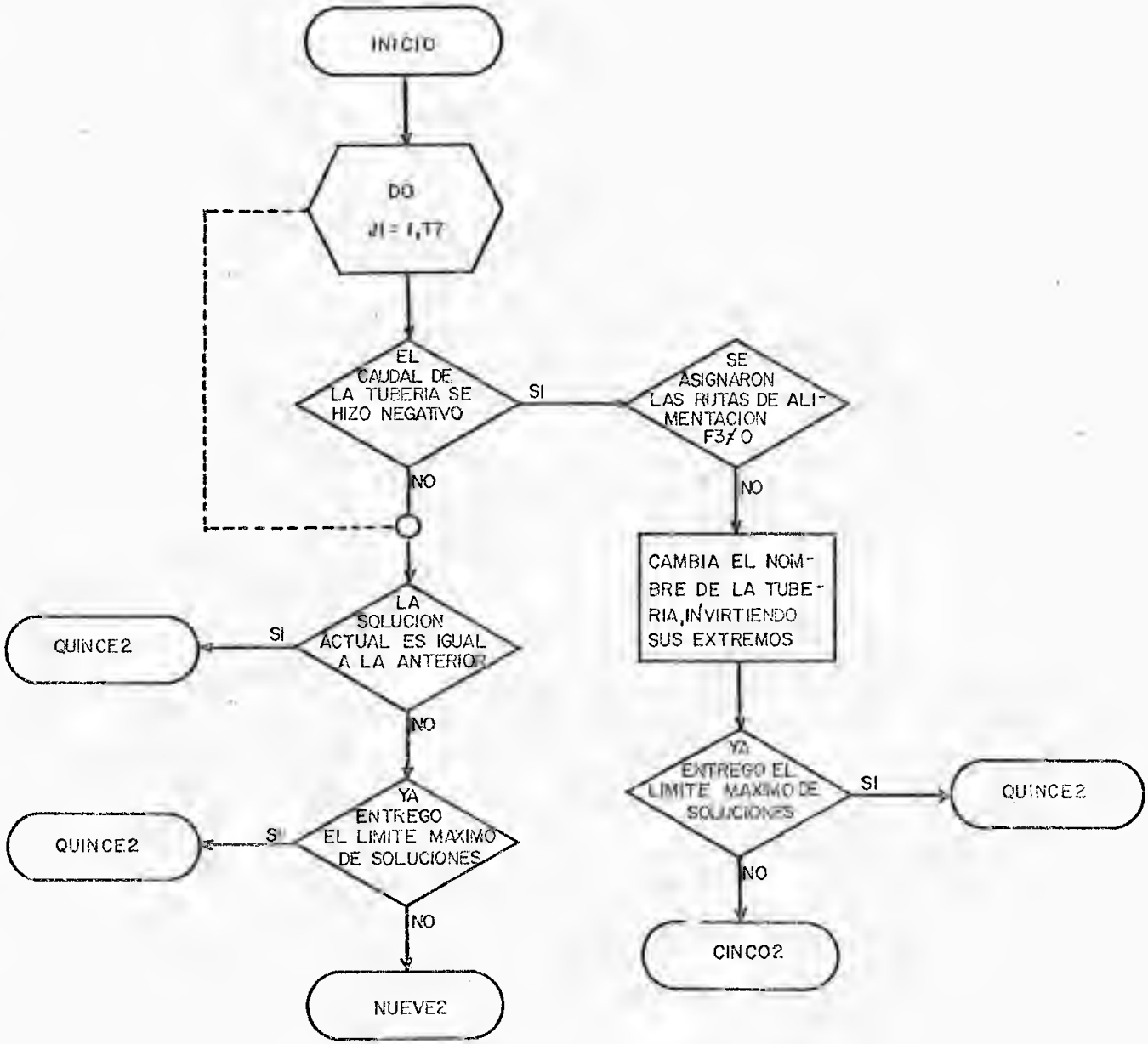
ONCE2 PROCESO DE LAS TUBERIAS SECUNDARIAS



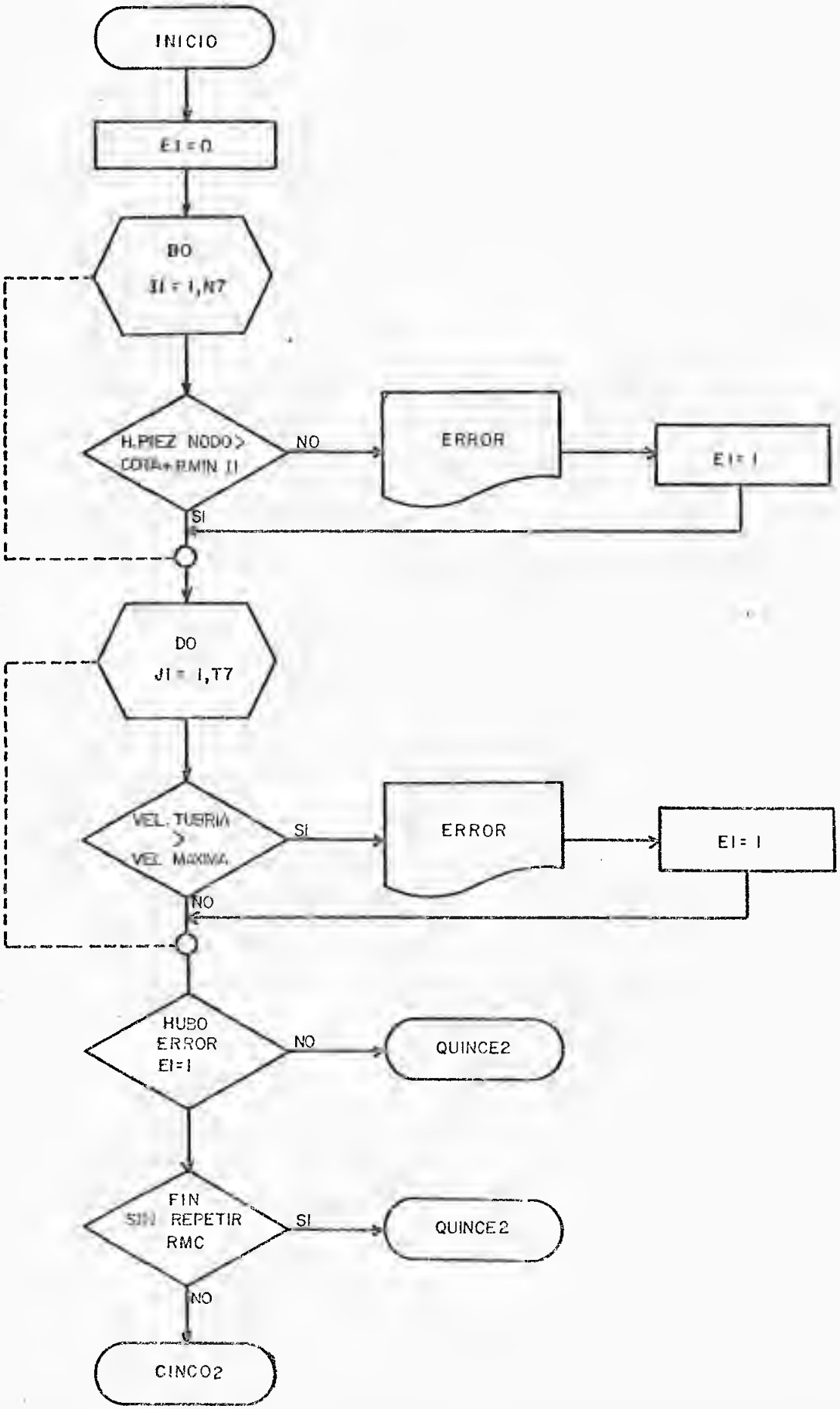
DOCE2 DETERMINACION DE H.PIEZOMETRICA REALES EN LOS NODOS



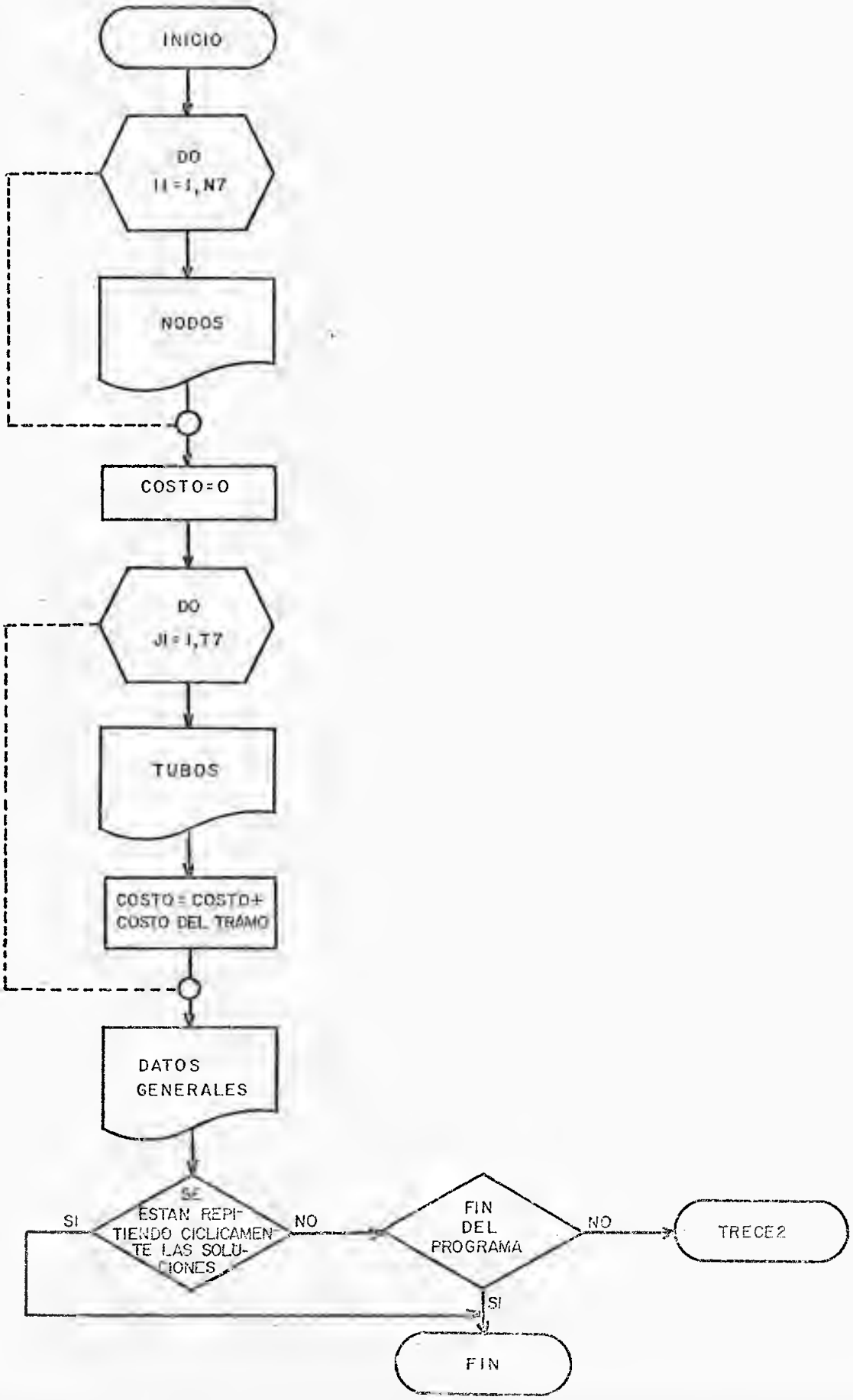
TRECE2 VERIFICACION DE CAMBIO DE RMC POR INVERSION DE CAUDAL DEBIDO A CROSS



CATORCE2 VERIFICACION DE ALTURAS PIEZOMETRICAS MINIMAS Y VELOCIDADES



QUINCE2 IMPRESION DE SOLUCION



IV.3.- LISTA DE VARIABLES Y REQUERIMIENTOS DE MEMORIA

IV.3.1 Lista de variables

Para todos los programas

A (1, # DATO)	Diámetro comercial de la tubería
A (2, # DATO)	ALFA correspondiente de la fórmula ALFA * L * $Q^{1.85}$
A (3, # DATO)	0 material de espesor variables para un mismo diámetro (Ej. acero) 1 material de espesor constante (Ej. asbesto-cemento, hierro fundido)
A (4, # DATO)	Espesor mínimo requerido para las tuberías de-material tipo 0. Para las tuberías de material tipo 1 se establece igual a cero.
A (5, # DATO)	Costo por metro de longitud de la tubería de - material tipo 1. El costo de las tuberías de-material tipo 0 se evalua mediante fórmulas.
A (6, # DATO) A (7, # DATO)	Reserva. No se usan en el programa
G (1, NODO)	Nodo anterior al nodo en cuestión
G (2, NODO)	Tubería que une al nodo con el nodo anterior
M (1, NODO)	Presión mínima requerida en el nodo
M (2, NODO)	Caudal de descarga en el nodo
M (3, NODO)	Cota topográfica del nodo
M (4, TUBO)	Longitud de la tubería
M (5, TUBO)	Tipo de diámetro. Correspondiente al diámetro mínimo de la tubería
M (6, TUBO) M (7, TUBO)	Reserva. No se usan en el programa
N (1, NODO)	Nombre externo del nodo
N (2, NODO)	Tipo de nodo. 1 indica nodo de alimentación 0 cualquier otro
N (3, TUBO)	Nodo de entrada de la tubería
N (4, TUBO)	Nodo de salida de la tubería
N (5, TUBO)	Tipo de tubería. 1 indica tubería existente. 0 tubería libre a ser diseñada

N (6, TUBO) Reserva. No se usa en el programa
O (N O D O) Altura piezométrica del nodo
R (T U B O) Caudal que circula por la tubería
V (N O D O) Altura piezométrica crítica del nodo
W (1, TUBO) Diámetro del tubo. Solución anterior
W (2, TUBO) Diámetro del tubo. Solución actual

UNO 2

entrada desde : EXTERIOR
salida hacia : DOS 2,EXTERIOR

A (1,...)
.
.
.
A (5,...)
E1 Indicador 0 = NO ; 1 = SI
I1, J1, K1 } Contadores
L9 Contador de líneas
N6 Número de datos en tablas

DOS 2

entrada desde : EXTERIOR,UNO 2
salida hacia : TRES 2,EXTERIOR

EØ Error de cierre de circuitos Cross
E1 Indicador 0 = NO ; 1 = SI
E2 Nombre externo del nodo a corregir
HØ Cota piezométrica de alimentación
I1, J1 } Contadores
L9 Contador de líneas
M (1,...)
.
.
.
M (3,...)

N (1,...)
N (2,...)
NØ Nodo de alimentación (Internamente)
N7 Número de nodos en la red

TRES 2

entrada desde : EXTERIOR, DOS 2
salida hacia : CUATRO 1, EXTERIOR

A (1,...)
E1 Indicador 0 = NO ; 1 = SI
I1, I3, J1, K1 } Contadores
L1 Indicadores 0 = NO ; 1 = SI
L9 Contador de líneas
M (4,...)
M (5,...)
N (1,...)
N (3,...)
N (4,...)
N (5,...)
N6 Número de datos de tablas
N7 Número de nodos en la red
T7 Número de tuberías en la red
VØ Velocidad máxima permitida en tuberías

CUATRO 1

Entrada desde : EXTERIOR, TRES 2
salida hacia : EXTERIOR
A1 Esfuerzo de trabajo en el acero (Kg/ cm2)
A2 Peso específico del acero (Kg/m3)
A3 Costo del acero (Bs./Kg.)
F1 Porcentaje de incremento de longitud por pérdidadas menores
F3 0 se usa el criterio de las rutas más cortas de alimentación. 1 se usa la configuración de alimentación suministrada por el proyectista
F4 Número máximo de soluciones a estudiar

TUB Ø 1 M

entrada desde : EXTERIOR

salida hacia : EXTERIOR

A (1,...)

.
.
.

A (5,...)

D Diámetro a incluir

E1 Indicador 0 = NO ; 1 = SI

K1
K2 } Contadores
K3

L9 Contador de líneas

N6 Número de datos en tablas

TUBØ 2 M

entrada desde : EXTERIOR

salida hacia : EXTERIOR

E1 Indicador 0 = NO ; 1 = SI

HØ Cota piezométrica de alimentación

I1
I2
I3 } Contadores
J1

L9 Contador de líneas

M (1,...)

M (2,...)

M (3,...)

N (1,...)

N (2,...)

N1 Nodo a eliminar

N7 Número de nodos en la red

TUBØ 3 M

entrada desde : EXTERIOR

salida hacia : EXTERIOR

A (1,...)

E1 Indicador 0 = NO ; 1 = SI

I1
I3
J1
J2
K1
} Contadores

L9 Contador de líneas

M (4,...)

M (5,...)

N (1,...)

N (3,...)

N (4,...)

N (5,...)

N6 Número de datos en tablas

N7 Número de nodos en la red

T7 Número de tuberías en la red

VØ Velocidad máxima permitida en tuberías

TUBØ 5 RE

entrada desde : EXTERIOR

salida hacia : EXTERIOR

E1 Indicador Ø = NO ; 1 = SI

F (...)

F2 0 si se calcula el caudal en tuberías por medio del programa. 1 si se asignan caudales a las tuberías a criterio del proyectista.

G (1,...)

G (2,...)

I1
I2
} Contadores

I9 Switch indicador de proceso: 1 se repite el calculo de distancia. 0 no se repite.

J1 Contador de líneas

M (4,...)

N (1,...)

N (3,...)

N (4,...)

N7 Número de nodos en la red

R (...)

T7 Número de tuberías en la red

CUATRO 2

entrada desde : EXTERIOR

salida hacia : CINCO 2

SEIS 2

SIETE 2

A (1,...)

.
.
.

A (5,...)

A1 Esfuerzo de trabajo en el acero (Kg/cm2)

A2 Peso específico del acero (Kg/m3)

A3 Costo del acero (Bs/Kg)

C1 0 no se calculan caudales iniciales en tuberías

1 si se calculan caudales iniciales (seis 2)

C2 Contador del número de veces que se pasa por la rutina - de selección de diámetro (nueve 2)

C4 Número acumulado de vueltas de Cross que se han dado en- el proceso.

C5
C6 } Contadores
C8

F1 Porcentaje de incremento de longitud por pérdidas menores

F3 0 se usa el criterio de las Rutas más Cortas de alimentación

1 se usa la configuración de alimentación suministrada por el proyectista. (en TUBØ 5 RE)

F4 Número máxmo de soluciones a estudiar

I1
J1 } Contadores

M (1,...)

.
.
.

M (5,...)

N (1,...)

.

.

.

N (5,...)

N6 Número de datos en tablas

N7 Número de nodos en la red

T7 Número de tuberías en la red

CINCO 2

entrada desde : CUATRO 2

TRECE 2

salida hacia : SEIS 2

SIETE 2

A5 Variable auxiliar

C1 0 no se calculan caudales iniciales en tuberías pero se verifica factibilidad física del camino

1 no verifica factibilidad física pero calcula caudales iniciales (seis 2)

E6 1 indica que hay algún nodo inaccesible

F (...)

G (1,...)

G (2,...)

HØ Cota piezométrica de alimentación

I1 Contador

I3 Indicador para evitar la posibilidad de que se produzcan contracorrientes en tuberías.

I4 Permite cambiar el nombre y signo del caudal en tuberías con caudal negativo.

I9 Indicador 1 se repite el proceso de obtención de las - Rutas más Cortas hasta que I9 = 0

J1 Contador

M (4,...)

N (1,...)

N (3,...)

N (4,...)

N7 Número de nodos en la red

O (...)

R (...)

R1 Ø se calculan los caudales iniciales en las tuberías

1 no se recalculan los caudales iniciales en las tuberías

T7 Número de tuberías

CINCO 3

entrada desde : TRECE 2

salida hacia : SIETE 2

A5 Variable auxiliar, contiene distancia mínima de alimentación de los nodos estudiados.

A6 Variable auxiliar, contiene distancia de alimentación del nodo estudiado.

A7 Nodo cuya distancia es la mínima A5 de las estudiadas

A8 Tubería que comunica al nodo A7 con el anterior a las rutas de alimentación.

E (N O D O) indicador de proceso de los nodos. 1 indica que debe ser calculado su camino de alimentación

0 indica que ya es conocido.

F ( )

G (1,...)

G (2,...)

I1 Contador

I9 Indicador de proceso. 1 indica que se debe repetir el proceso de hallas los nodos que quedan aguas abajo de la tubería que cambio su dirección de flujo.

J1, L2, L3 } Contadores

M (4,...)

N (3,...)

N (4,...)

N7 Número de nodos en la red

R (...)

T7 Número de tuberías en la red

SEIS 2

entrada desde : CUATRO 2
CINCO 2
salida hacia : SIETE 2

A5 Variable auxiliar, contiene máximo caudal que circula por la tubería estudiada.

G (1,...)

G (2,...)

I1, I2 } Contadores

I9 Indicador de proceso. 1 indica que se debe repetir el proceso de cálculo de caudales que circulan por las tuberías. 0 indica fin del proceso.

J1 Contador

M (2,...)

N7 Número de tuberías en la red

R (...)

T7 Número de tuberías en la red

SIETE 2

entrada desde : CUATRO 2
CINCO 2
CINCO 3
salida hacia : OCHO 2

I1, J1 } Contadores

M (1,...)

M (3,...)

M (5,...)

N (5,...)

N7 Número de nodos en la red

T7 Número de tuberías en la red

V (...)

W (1,...)

X (1, TUBO) Innecesario, pero contiene la condición de tubería existente 1 ó libre 0.

OCHO 2

entrada desde : SIETE 2

salida hacia : NUEVE 2

C7 Variable auxiliar, contiene altura piezométrica crítica

G (1,...)

I1
I2 } Contadores
J1

N1 Contiene nodo estudiado

N2 Contiene nodos anteriores al nodo estudiado

N7 Número de nodos en la red

V (...)

NUEVE 2

entrada desde : OCHO 2
TRECE 2

salida hacia : ONCE 2

A (1,...)
.
.
.
A (5,...)

A1 Esfuerzo de trabajo en el acero Kg/m3

A3 Costo del acero Bs./Kg

B (bifurcación) Nodo aguas abajo del nodo estudiado

C (1, opción) Cota piezométrica del nodo aguas arriba en la opción. Definido por la parte superior del intervalo.

C (2, opción) Costo para llegar a esa opción.

C2 Contador del número de vecaes que se ha ejecutado la rutina de selección de diámetros.

D1 Variable auxiliar. Contiene el diámetro propuesto para la Tubería estudiada.

D2 Variable auxiliar. Contiene el costo acumulado hasta el nodo estudiado.

D (opción) No se usa

E (1, NODO) Indicador de proceso para el nodo

0 no se ha procesado, es decir, no se ha seleccionado el diámetro de la tubería que sale de él.

1 el nodo ha sido procesado.

E (2, NODO) Indicador de nodo aguas abajo del nodo estudiado. 0 el nodo en cuestión no está aguas abajo del nodo estudiado.

1 el nodo queda aguas abajo del nodo estudiado.

E1 0 = NO ; 1 = SI

G (1,...)

G (2,...)

H (opción, nodo) Contiene el tipo de diámetro de la tubería que alimenta al "nodo" para llegar a la "opción" en el nodo anterior

HØ Cota piezométrica de alimentación

H1 Indicador. 1 la tubería es existente y su diámetro mínimo coicide con el diámetro seleccionado. Por lo tanto, el costo del tramo es cero.

0 se trata de una tubería libre o si se trata de una existente, el diámetro mínimo no coincide con el diámetro seleccionado.

I (opción, nodo) Matríz auxiliar similar a H

I1, I2, I3 } Contadores

I5 Número de bifurcaciones aguas abajo del nodo estudiado

I6 Contador

I7 Indicador de proceso. 1 se debe seguir hallando bifurcaciones aguas abajo del nodo estudiado.

0 se han hallado todas las bifurcaciones.

I8 Indicador de proceso. 1 dos soluciones sucesivas son diferentes.

0 dos soluciones sucesivas son iguales.

NUEVE 2 (cont.)

J1 Contador

K1 Tipo de diámetro de la tubería estudiada

K2 Contador

K3 Contador. Representa opción en el nodo aguas abajo

K4 Contador. Representa opción en el nodo aguas arriba

K5 Variable auxiliar. Representa el valor de ALFA teórico de tubería requerido para unir la opción aguas abajo con la opción aguas arriba.

K6, K7, L2, L3 } Contadores

M (1,...)
.
.
.
M (5,...)

M3 Costo mínimo de las opciones que llegan al nodo de alimentación.

M4 Opción a la que corresponde el mínimo costo

N (1,...)
.
.
.
N (5,...)

NØ Nodo de alimentación

N6 Número de datos en tablas

N7 Número de nodos en la red

O (...)

O7 Número de opciones a estudiar en programación dinámica

R (...)

S (opción, nodo) Costo acumulado de los tramos aguas abajo del nodo en la opción correspondiente.

T1 Contador

T7 Número de tuberías en la red.

NUEVE 2 (cont.)

U (opción abajo, opción arriba) Diámetro más económico para llegar de la opción aguas - abajo a la opción aguas arriba.

V (...)

VØ Velocidad máxima permisible en tubería

V1 Velocidad en tubería

W (1,...) diámetros de tuberías de la solución anterior

W (2,...) diámetros de tuberías de la solución recien calculada.

y (opción, nodo) H. piezométrica correspondiente al "nodo" en la "opción".

Z1 Menor de las cotas de los nodos extremos de la tubería - estudiada.

Z2 Presión estática.

Z3 Costo por metro de la tubería estudiada

Z4 Espesor en mm de la tubería estudiada

ONCE 2

entrada desde : NUEVE 2

salida hacia : DOCE 2

A (1,...)

A (2,...)

A5 Variable auxiliar

C3 Contador número de vualtas de Cross

C4 Acumulado vueltas de Cross en el proceso

D1 Diferencia de caudal

EØ Error de cierre circuitos Cross

E1 Indicador 0 = NO ; 1 = SI

F1 Incremento de longitud por pérdidas menores

F9 Coeficiente que permite alterar la repartición de caudales del Cross. Generalmente igual a 1 ya que asegura una convergencia más rapida.

ONCE 2 (cont.)

G (2,...)

I1 Contador

I9 Indicador auxiliar en la determinación del lazo de la tubería secundaria en cuestión.

J1, J2 Contadores

M (4,...)

N (3,...)

N (4,...)

N1 Auxiliar, contiene el nombre del nodo estudiado

N2 Auxiliar, contiene el nombre del nodo anterior al nodo estudiado.

N7 Número de nodos en la red

P1 Pérdida de carga de acuerdo con el método de Cross.

$L \quad Q^{1.85}$

R (...)

R9 Denominador del método de Cross $\alpha L Q^{0.85}$

S1 Acumula el numerador de la expresión de $D\bar{q}$

S2 Acumula el denominador de la expresión de $D\bar{q}$

T1 Contador

T7 Número de tuberías en la red

V1 Velocidad de flujo por la tubería

W (2,...)

X (2, TUBO) 1 indica que la tubería pertenece al lazo de la tubería secundaria estudiada

Ø indica que no pertenece al lazo de la tubería secundaria estudiada.

DOCE 2

entrada desde : ONCE 2

salida hacia : QUINCE 2

DOCE 2 (cont.)

A (2,...)

A5 Auxiliar, contiene altura piezométrica del nodo estudiado.

F1 Porcentaje de incremento de longitud por pérdidas menores.

G (2,...)

I1 Contador

I9 Indicador. 1 debe repetir el proceso de cálculo de H. piezométricas en los nodos.
Ø no debe repetir el proceso.

J1 Auxiliar, contiene nombre de la tubería estudiada

M (4, J1)

N (2,...)

N (3,...)

N (4,...)

NØ Nodo de alimentación

N7 Número de nodos en la red

O (n o d o) = H. piezométrica del nodo

R (...)

W (2,...)

TRECE 2

entrada desde : QUINCE 2

salida hacia : CINCO 2
CINCO 3
NUEVE 2
CATORCE 2
QUINCE 2

A5 Variable auxiliar

C1 0 repite rutina de rutas más cortas pero verificando la factibilidad física del camino y sin repetir cálculo de caudales iniciales

C2 Número de soluciones entregadas.

TRECE 2 (cont.)

C8 Contador del número de veces que se repite el cálculo de las RMC.

F4 Número máximo de soluciones a entregar.

I7 Ø No hubo cambio en las rutas más cortas

1 Hubo cambio de signo de caudal y por lo tanto cambio en las RMC.

I8 Ø Dos soluciones secesivas son iguales

1 Dos soluciones seucesivas son diferentes.

J1 Contador

N (3,...)

N (4,...)

R (...)

V5 Ø Indica que se ha entregado ya el número máximo de soluciones. Fin del programa.

CATORCE 2

entrada desde : TRECE 2

salida hacia : CINCO 2

QUINCE 2

A (1,...)

E1 Indicador. 1 Ha habido error en H. piezometricas o en velocidades.

Ø No ha habido errores.

I1, J1 } Contadores

M (1,...)

M (3,...)

N7 Número de nodos en la red

O (...)

R (...)

R1 Indicador. Ø se repite el proceso de las RMC.

1 fin del proceso.

T7 Número de tuberías en la red

VØ Velocidad máxima permisible en tuberías

V1 Velocidad de la tubería estudiada

W (2,...)

QUINCE 2

entrada desde : DOCE 2
TRECE 2
CATORCE 2

salida hacia : TRECE 1
EXTERIOR

A (1,...)
.
.
.
A (5,...)

A1 Esfuerzo de trabajo en el acero (Kg/cm2)

A2 Peso específico del acero (Kg/m3)

A3 Costo del acero (Bs./Kg)

CØ Costo del sistema

C2 Número de la solución

C3 Número de iteraciones de Cross.

E (Solución) Contiene el costo de la solución

EØ Error de cierre de circuitos de Cross

HØ H. piezométrica de alimentación

H1 Indicador. 1 La tubería es existente y su diámetro mínimo coincide con el diámetro seleccionado. Por lo tanto el costo del tramo es cero.

Ø No se trata de una tubería existente o aún si es existente el diámetro mínimo no coincide con el diámetro seleccionado. Por lo tanto se considera el costo del tramo.

L9 Contador de líneas

M (1,...)
.
.
.
M (5,...)

N (1,...)

N (5,...)

O (...)

R (...)

V1 Velocidad de la tubería.

IV.3.2 Requerimientos de Memoria

FIJOS. Referentes a los programas

NUEVE 2 4364 bytes - 2182 palabras

VARIABLES. Dimensión de los arreglos

Condiciones Nº nodos = Nº Tubos = NT

Capacidad arreglos = 14 * Nº datos tabla + Nº máx. bifurcaciones * # opciones^2 + 4 * # opciones + 2 Nº máx. soluciones + 6 * (NT * Nº opciones) + 40 * NT.

Para el programa se han tomado los siguientes valores

Nº datos en tabla = N6 = 30

Nº máximo de bifurcaciones = 10

Nº máximo de opciones = O7 = 5

Nº máximo de soluciones = F4 = 30

Nº máximo de nodos = N7 = 160

Nº máximo de tubos = T7 = 160

Es decir 11.735 palabras

Se deben preveer unas 1500 palabras para las demás variables.

TOTAL = 2182 + 11735 + 1500

TOTAL = 15417 = 15500 palabras

IV.4 LISTADO DE LOS SUBPROGRAMAS

```
DOS2
  10 COM(1) N6,M[7,56],N7,N8,N9,E0,M[6,160],M[7,160],T7,V0
  20 FILES THELP
  30 INTEGER K
  40 REM  CARGA TABLAS EN MEMORIA---------FILE 1
  50 INPUT "SE VAN A CARGAR TABLAS  ? ",E1
  60 IF E1=1 THEN 80
  70 CHAIN "DOS2"
  80 INPUT "NUMERO DE DATOS EN TABLAS = ? ",N6
  90 PRINT "NUMERO DE DATOS EN TABLAS=";N6
 100 FOR K1=1 TO N6
 110   GOSUB 230
 120 NEXT K1
 130 INPUT "HAY ALGUN ERROR ?  ",E1
 140 IF E1=0 THEN 190
 150 PRINT "CORRECCIONES EN TABLAS"
 160 INPUT "# DATO A CORREGIR = ?  ",K1
 170 GOSUB 230
 180 GOTO 170
 190 PRINT #1,N6,(FOR I1=1 TO 5,(FOR J1=1 TO N6,A[I1,J1]))
 200 L3=5
 210 GOTO 370
 230 IMAGE /,4(,DD.DD 12(,DD.DD,DD.DD,DD.DD
 232 INPUT "DIAMETRO TUBO/",A[1,K1]
 240 INPUT "ALFA T= ? ",A[2,K1]
 250 INPUT "MATERIAL ESP COPST ?",A[3,K1]
 260 IF A[3,K1]=0 THEN 300
 270 A[4,K1]=0
 280 INPUT "COSTO T= ?",A[5,K1]
 290 GOTO 320
 300 INPUT "ESPESOR MIN =(MM) ?",A[4,K1]
 310 A[5,K1]=0
 320 RETURN
 330 FOR K1=1 TO N6
 340   IF L3=15 THEN 370
 350   L3=1
 360   PRINT CTL(49);LIN(3),SPC(8),
       "DIAMETRO      ALFA       MATERIAL  ESP MIN   COSTO"
 370   PRINT USING 220(1,(FOR I1=1 TO 5,A[I1,K1]))
 380   L3=L3+1
 390 NEXT K1
 400 INPUT "SE VAN A CARGAR DATOS DE NUEVOS ?",E1
 410 IF E1=1 THEN 430
 420 GOTO
 430 CHAIN "DOS3"
 440 REM  JACOBO ROBINSTEIN STARESTA  1982
```

```
DOS2
 10 COM(1) N6,A[7,30],N7,N0,H0,E0,N[6,160],M[7,160],T7,V0
 20 INTEGER N
 30 FILES NODOS
 40 REM RUTINA ENTRADA DATOS NODOS--------FILE 2
 50 INPUT "SE VAN A CARGAR DATOS DE NODOS ?",E1
 60 IF E1=1 THEN 90
 70 CHAIN "TRES2"
 80 PRINT CTL(49)
 90 INPUT "CUANTOS NODOS HAY ?",N7
100 PRINT "NUMERO DE NODOS=";N7
110 FOR I1=1 TO N7
120   GOSUB 570
130 NEXT I1
140 INPUT "HAY ALGUN ERROR ? ",E1
150 IF E1=1 THEN 360
160 INPUT "NODO DE ALIMENTACION = ? ",N0
170 FOR I1=1 TO N7
180   IF N[1,I1]=N0 THEN 220
190 NEXT I1
200 PRINT "NO CONSIGUE EL NODO N0";E1
210 GOTO 140
220 INPUT "H PIEZ DE ALIM (M)= ? ",H0
230 N0=I1
235 M[1,N0]=H0-M[3,N0]
240 INPUT "ERROR CIERRE CIRCUITOS CROSS = ? ",E0
250 L9=50
260 GOSUB 620
270 PRINT USING 520;N[1,N0]
280 PRINT USING 530;H0
290 PRINT USING 540;E0
300 PRINT CTL(49)
310 PRINT #1;N7,N0,H0,E0,(FOR I1=1 TO 2,(FOR J1=1 TO N7 N[I1,J1])),(&
    FOR I1=1 TO 3,(FOR J1=1 TO N7,M[I1,J1]))
320 INPUT "SE VAN A CARGAR DATOS DE TUBOS ?",E1
330 IF E1=1 THEN 750
340 STOP
350 CHAIN "TRES2"
360 PRINT USING 550
370 INPUT "NODO A CORREGIR= ? ",E2
380 FOR I1=1 TO N7
390   IF E2=N[1,I1] THEN 450
400 NEXT I1
410 INPUT "NO CONSIGUE EL NODO. SE AGREGA ? ",E1
420 IF E1=0 THEN 460
430 N7=N7+1
440 I1=N7
450 GOSUB 570
460 INPUT "ALGUN OTRO ERROR ? ",E1
470 IF E1=0 THEN 160
480 GOTO 370
490 IMAGE /,2X,"NODO      TIPO",6X,"Q.DESCARGA",6X,"P.MINIMA",3X,"COTA
P"
500 IMAGE /,2X,"(LT/SEG)",1X,"(M)",3X,"(M)"
510 IMAGE /,/,4X,3D,2X,DDD,3X,12D.DD,4X,5D.DD
520 IMAGE /,"NODO DE ALIMENTACION= ",4D
530 IMAGE /,"H. PIEZOMETRICA INICIAL= ",8D," M"
540 IMAGE /,"ERROR CIERRE DE CIRCUITOS EN CROSS=",4D.6D
550 IMAGE "CORRECCIONES EN DATOS DE ENTRADA"
560 REM RUTINA DE LECTURA
```

```
570 INPUT "NODO = ?  TIPO = ? ",N[1,I1],N[2,I1]
580 INPUT "Q DESCARGA = ? ",M[2,I1]
590 INPUT "P MINIMA = ? ",M[1,I1]
600 INPUT "COTA = ? ",M[3,I1]
610 RETURN
620 FOR I1=1 TO N7
630   IF L9<=15 THEN 680
640   L9=1
650   PRINT CTL(49)
660   PRINT USING 490
670   PRINT USING 500
680   PRINT USING 510;N[1,I1],N[2,I1],M[2,I1],M[1,I1],M[3,I1]
690   L9=L9+1
700 NEXT I1
710 RETURN
720 REM   JACOBO RUBINSTEIN STAROSTA.1977
```

```
TPES2
  10 COM(1) N6,A[7,30],N7,N0,H0,E0,N[6,160],M[7,160],T7,V0
  20 FILES TUBOS,TABLA,NODOS
  30 RESTORE #2
  40 READ #2;N6,(FOR I1=1 TO 3,(FOR J1=1 TO N6,A[I1,J1]))
  50 INTEGER N
  60 REM ENTRADA DE DATOS DE LAS TUBERIAS--------FILE 3
  70 RESTORE #3
  80 READ #3;N7,N0,H0,E0,(FOR I1=1 TO 2,(FOR J1=1 TO N7,N[I1,J1])),(&
     FOR I1=1 TO 3,(FOR J1=1 TO N7,M[I1,J1]))
  90 INPUT "SE VAN A CARGAR DATOS DE TUBOS ?",E1
 100 IF E1=1 THEN 120
 110 CHAIN "CUATRO1"
 120 INPUT "CUANTAS TUBERIAS HAY ?",T7
 130 PRINT "NUMERO DE TUBERIAS=";T7
 140 M[4,1]=M[5,1]=0
 150 FOR J1=1 TO T7
 160   GOSUB 430
 170 NEXT J1
 180 INPUT "HAY ALGUN ERROR ?",L1
 190 IF L1=1 THEN 360
 200 FOR J1=1 TO T7
 210   FOR K1=1 TO N6
 220     IF M[5,J1]=A[1,K1] THEN 260
 230   NEXT K1
 240   PRINT "ERROR EN TABLAS ";M[5,J1];"SE SALE DE LAS TABLAS"
 250   STOP
 260   M[5,J1]=K1
 270 NEXT J1
 280 INPUT "V MAXIMA PERMITIDA EN TUBERIAS= ? ",V0
 290 PRINT #1;T7,V0,(FOR I1=3 TO 5,(FOR J1=1 TO T7,M[I1,J1])),(FOR I1=4&
     TO 5,(FOR J1=1 TO T7,M[I1,J1]))
 300 L9=50
 310 GOSUB 650
 320 INPUT "SE VAN A CARGAR DATOS GENERALES",E1
 330 IF E1=1 THEN 350
 340 STOP
 350 CHAIN "CUATRO1"
 360 PRINT USING 400
 370 INPUT "TUBERIA A CORREGIR= ?",J1
 380 IF J1<=T7 THEN 400
 390 T7=T7+1
 400 GOSUB 490
 410 PRINT "ALGUN OTRO ERROR";
 420 INPUT L1
 430 IF L1=0 THEN 330
 440 GOTO 370
 450 IMAGE //,5X,"TUBERIA",5X,"NODO",5X,"NODO",3X,"LONGITUD   D.MINIMO&
     TIPO"
 460 IMAGE / 16X "ENTRADA  SALIDA",4X,"(M)",6X,"(TIPO)"
 470 IMAGE /,7X,DDD,7X,DDD,6X,DDD,1X,6D.DD,4X,4D.DD,5X,DDD
 480 IMAGE "CORRECCIONES EN DATOS DE ENTRADA"
 490 INPUT "NODOS ENT Y SAL DE TUBERIA",M[3,J1],M[4,J1]
 500 FOR I2=3 TO 4
 510   FOR I1=1 TO N7
 520     IF M[I2,J1]>N[1,I1] THEN 500
 530     M[I2,J1]=I1
 540     GOTO 600
 550   NEXT I1
 560   PRINT "NO CONTIENE EL NODO";M[I2,J1]
```

```
570    INPUT "FIN COM ERROR?",E1
580    IF E1=0 THEN 490
590    STOP
600 NEXT J1
610 INPUT "LONGITUD= ?",M[4,J1]
620 INPUT "D MINIMO= ?",M[5,J1]

640 RETURN
650 FOR J1=1 TO T2
660    IF L9<=15 THEN 710
670    L9=1
680    PRINT CTL(49)
690    PRINT USING 450
700    PRINT USING 460
710    PRINT USING 470;J1,M[1,M[3,J1]],M[1,M[4,J1]],M[4,J1],M[5,J1],M[5&
     ,J1]
720    L9=L9+1
730 NEXT J1
740 RETURN
750 REM   JACOBO RUBINSTEIN STAROSTA. 1977.
```

CUATRO1

```
 10 REM CARGA DE DATOS GENERALES
 20 FILES DGEN
 30 PRINT CTL(49)
 40 INPUT "NUMERO MAXIMO DE SOLUCIONES A ESTUDIAR",F4
 50 INPUT "NUMERO DE OPCIONES A ESTUDIAR EN F.D. = ",O7
 60 INPUT "INCREM LONG PERD.MEN(%) = ",F1
 70 INPUT "FACTOR DE RELAJAMIENTO = ",F9
 80 INPUT "ESFUERZO DE TRABAJO EN EL ACERO (KG/CM2) = ",A1
 90 INPUT "PESO ESPECIFICO DEL ACERO (KG/M3) = ",A2
100 INPUT "COSTO DEL ACERO (BS/KG) = ",A3
110 INPUT "SE VAN A LEER LAS F.M.O?",F3
120 RESTORE #1
130 PRINT #1;F4,O7,F1,F9,A1,A2,A3,F3
140 STOP
150 END
160 REM   JACOBO RUBINSTEIN STAROSTA.  1977
```

```
TUB01M
 10 COM(1) N6,A[7,30]
 20 FILES TABLA
 30 REM   MODIFICA DATOS DE TABLA
 40 RESTORE #1
 50 READ #1;N6,(FOR I1=1 TO 5,(FOR J1=1 TO N6,A[I1,J1]))
 60 INPUT "QUIERE INCLUIR ALGUN DATO? ",E1
 70 IF E1=0 THEN 330
 80 REM    INCLUSION DE ALGUN DATO
 90 INPUT "DIAMETRO T(MM)",D
100 FOR K1=1 TO N6
110    IF D>A[1,K1] THEN 210
120    IF D<A[1,K1] THEN 150
130    PRINT "YA EXISTE ESE DIAMETRO",D
140    GOTO 60
150    FOR K2=N6 TO K1 STEP -1
160       FOR K3=1 TO 5
170          A[K3,K2+1]=A[K3,K2]
180       NEXT K3
190    NEXT K2
200    GOTO 220
210 NEXT K1
220 N6=N6+1
230 A[1,K1]=D
240 INPUT "ALFA T=? ",A[2,K1]
250 INPUT "MATERIAL=ESP CONST? ",A[3,K1]
260 IF A[3,K1]=0 THEN 300
270 A[4,K1]=0
280 INPUT "COSTO T=? ",A[5,K1]
290 GOTO 60
300 INPUT "ESPESOR MIN.=? ",A[4,K1]
310 A[5,K1]=0
320 GOTO 60
330 INPUT "QUIERE MODIFICAR ALGUN DATO?",E1
340 IF E1=0 THEN 380
350 INPUT "DATO A MODIFICAR=",K1
360 INPUT "DIAMETRO,ALFA,MATERIAL,ESP.MIN,COSTO",A[1,K1],A[2,K1],A[3,&
    K1],A[4,K1],A[5,K1]
370 GOTO 330
380 INPUT "QUIERE PASAR  MM LOS DIAMETROS ?",E1
390 IF E1=0 THEN 450
400 INPUT "FACTOR DE CONVERSION?; D*FACTOR=MM ",F1
410 FOR K1=1 TO N6
420    A[1,K1]=A[1,K1]*F1
430 NEXT K1
440 GOTO 380
450 RESTORE #1
460 PRINT #1;N6,(FOR I1=1 TO 5,(FOR J1=1 TO N6,A[I1,J1]))
470 L9=50
480 FOR K1=1 TO N6
490    IF L9<=25 THEN 520
500    L9=1
510    PRINT LTL(49);LIN(3),SPA(8),&
    "DIAMETRO  ALFA  MATERIAL  ESP.MIN   COSTO",LIN(2)
520    PRINT USING 550;K1,(FOR I1=1 TO 5,A[I1,K1])
530    L9=L9+1
540 NEXT K1
550 IMAGE /,4D,7D DD,1X,D.30E,3(7D.DD)
560 STOP
570 REM   JACOBO RUBINSTEIN STAROSTA,  1977
```

TUB02M

```
10 COM(1) N6,A[7,30],N7,N0,H0,E0,N[6,160],M[7,160],T7,V0
20 INTEGER N
30 FILES NODOS,TUBOS
40 RESTORE #1
50 READ #1;N7,N0,H0,E0,(FOR I1=1 TO 2,(FOR J1=1 TO N7,N[I1,J1])),(&
   FOR I1=1 TO 3,(FOR J1=1 TO N7,M[I1,J1]))
60 REM MODIFICA DATOS DE NODOS
70 RESTORE #2
80 READ #2;T7,V0,(FOR I1=3 TO 5,(FOR J1=1 TO T7,N[I1,J1])),(FOR I1=4&
    TO 5,(FOR J1=1 TO T7,M[I1,J1]))
90 INPUT "SE QUIERE ELIMINAR ALGUN  NODO?",E1
100 IF E1=0 THEN 380
110 INPUT "NODO A ELIMINAR=",N1
120 FOR I1=1 TO N7
130    IF N[1,I1]<>N1 THEN 230
140    N7=N7-1
150    FOR I2=I1 TO N7
160       N[1,I2]=N[1,I2+1]
170       N[2,I2]=N[2,I2+1]
180       M[1,I2]=M[1,I2+1]
190       M[2,I2]=M[2,I2+1]
200       M[3,I2]=M[3,I2+1]
210    NEXT I2
220    GOTO 280
230 NEXT I1
240 PRINT "NO CONSIGUE EL NODO";N1
250 INPUT "NO CONSIGUE AL NODO. FIN CON ERROR?",E1
260 IF E1=0 THEN 90
270 STOP
280 FOR I3=3 TO 4
290    FOR J1=1 TO T7
300       IF N[I3,J1]<>I1 THEN 330
310       PRINT "SE DEBE ELIMINAR TUBERIA";J1
320       GOTO 350
330       IF N[I3,J1]<I1 THEN 350
340       N[I3,J1]=N[I3,J1]-1
350    NEXT J1
360 NEXT I3
370 GOTO 90
380 INPUT "SE QUIERE AGREGAR ALGUN NODO?",E1
390 IF E1=0 THEN 430
400 N7=N7+1
410 INPUT "NODO,TIPO,Q.DESCARGA,P.MIN.COTA",N[1,N7],N[2,N7],M[2,N7],M[&
    1,N7],M[3,N7]
420 GOTO 380
430 INPUT "SE QUIERE MODIFICAR H.PIEZ DE ALIMENTACION?",E1
440 IF E1=0 THEN 470
450 INPUT "H.PIEZ DE ALIM=",H0
455 N[1,N0]=H0-N[3,N0]
460 GOTO 430
470 INPUT "SE QUIERE MODIFICAR ALGUN DATO?",E1
480 IF E1=0 THEN 590
490 INPUT "NODO=?",N1
500 FOR I2=1 TO N7
510    IF N[1,I2]=N1 THEN 570
520 NEXT I2
530 PRINT "NO CONSIGUE AL NODO";N1
540 INPUT "FIN CON ERROR?",E1
550 IF E1=0 THEN 47
```

```
560 STOP
570 INPUT "NODO,TIPO,Q DESCARGA,P MIN,COTA",N[1,I2],N[2,I2],M[2,I2],M[&
    1,I2],M[3,I2]
580 GOTO 470
590 INPUT "SE MODIFICA ERROR DE CIERRE EN CROSS?",E1
591 IF E1=0 THEN 599
592 INPUT "ERROR DE CIERRE CROSS=",E0
599 RESTORE #1
600 PRINT #1;N7,N0,R0,E0,(FOR I1=1 TO 2,(FOR J1=1 TO N7,N[I1,J1])),(&
    FOR I1=1 TO 3,(FOR J1=1 TO N7,M[I1,J1]))
610 L9=50
620 FOR I1=1 TO N7
630   IF L9<=15 THEN 680
640   L9=1
650   PRINT CTL(49)
660   PRINT USING 710
670   PRINT USING 720
680   PRINT USING 730;N[1,I1],N[2,I1],M[2,I1],M[1,I1],M[3,I1]
690   L9=L9+1
700 NEXT I1
710 IMAGE /,/,7X,"NODO      TIPO",6X,"Q DESCARGA",6X,"P MINIMA",5X,"COT&
a"
720 IMAGE /,26X,"(LT/SEG)",11X,"(M)",8X,"(M)"
730 IMAGE /,/,6X,3D,7X,DDD,2(12D.DD),4X,5D.DD
740 REM   JACOBO RUBINSTEIN STAROSTA  1977
```

```
TUBO3M
 10 COM(1) N6,A[7,30],N7,N0,H0,E0,N[6,160],M[7,160],T7,V0
 20 INTEGER N
 30 FILES TABLA,TUBOS,NODOS
 40 RESTORE #1
 50 READ #1;N6,(FOR I1=1 TO 5,(FOR J1=1 TO N6,A[I1,J1]))
 60 REM  REALIZA MODIFICACIONES EN DATOS DE TUBOS
 70 RESTORE #2
 80 READ #2;T7,V0,(FOR I1=3 TO 5,(FOR J1=1 TO T7,N[I1,J1])),(FOR I1=4&
      TO 5,(FOR J1=1 TO T7,M[I1,J1]))
 90 RESTORE #2
100 RESTORE #3
110 READ #3;N7,N0,H0,E0,(FOR I1=1 TO 2,(FOR J1=1 TO N7,N[I1,J1])),(&
    FOR I1=1 TO 3,(FOR J1=1 TO N7,M[I1,J1]))
120 INPUT "SE QUIERE ELIMINAR ALGUN TUBO? ",E1
130 IF E1=0 THEN 240
140 INPUT "NUMERO DE LA TUBERIA A ELIMINAR=",J1
150 T7=T7-1
160 FOR J2=J1 TO T7
170    N[3,J2]=N[3,J2+1]
180    N[4,J2]=N[4,J2+1]
190    M[4,J2]=M[4,J2+1]
200    N[5,J2]=M[5,J2+1]
210    N[5,J2]=N[5,J2+1]
220 NEXT J2
230 GOTO 120
240 INPUT "SE QUIERE AGREGAR ALGUN TUBO? ",E1
250 IF E1=0 THEN 390
260 T7=T7+1
270 INPUT "NODOS ENT Y SAL DE TUBERIA",N[3,T7],N[4,T7]
280 GOSUB 710
290 INPUT "LONGITUD= ",M[4,T7]
300 INPUT "D MINIMO= ",M[5,T7]
310 INPUT "ES FIJO EL DIAMETRO? ",N[5,T7]
320 FOR K1=1 TO N6
330    IF M[5,T7]<=A[1,K1] THEN 370
340 NEXT K1
350 PRINT "ERROR ";N[5,T7];"SE SALE DE LAS TABLAS"
360 STOP
370 M[5,T7]=K1
380 GOTO 240
390 INPUT "SE QUIERE MODIFICAR LA VELOCIDAD?",E1
400 IF E1=0 THEN 420
410 INPUT "V MAXIMA PERMITIDA EN TUBERIAS=? ",V0
420 INPUT "SE QUIERE MODIFICAR D MIN O T EXIST?",E1
430 IF E1=0 THEN 540
440 INPUT "TUBERIA A MODIFICAR",J1
450 INPUT "D MINIMO=",M[5,J1]
460 FOR K1=1 TO N6
470    IF M[5,J1]<=A[1,K1] THEN 510
480 NEXT K1
490 PRINT "ERROR";M[5,J1];" SE SALE DE LAS TABLAS"
500 STOP
510 M[5,J1]=K1
520 INPUT "ES FIJO EL DIAMETRO?",N[5,J1]
530 GOTO 420
540 PRINT #2;T7,V0,(FOR I1=3 TO 5,(FOR J1=1 TO T7,N[I1,J1])),(FOR I1=4&
      TO 5,(FOR J1=1 TO T7,M[I1,J1]))
550 L3=50
560 FOR J1=1 TO T7
```

```
570    IF L9<=20 THEN 620
580    L9=1
590    PRINT CTL(49)
600    PRINT USING 670
610    PRINT USING 680
620    PRINT USING 690;J1,N[1,N[3,J1]],N[1,N[4,J1]],M[4,J1],A[1,M[5,J1]&
     1,N[5,J1]
630    L9=L9+1
640 NEXT J1
650 PRINT
660 PRINT " V. MAXIMA PERMITIDA EN TUBERIAS= ";V0
670 IMAGE /,/,5X,"TUBERIA",5X,"NODO",5X,"NODO",3X,"LONGITUD  D.MINIMO &
TIPO"
680 IMAGE /,16X,"ENTRADA  SALIDA",4X,"(M)",6X," (MM) "
690 IMAGE /,7X,DDD,7X,DDD,6X,DDD,1X,6D.DD,4X,4D.DD,5X,4D
700 STOP
710 FOR I3=3 TO 4
720    FOR I1=1 TO N7
730       IF N[I3,T7]<>N[1,I1] THEN 760
740       N[I3,T7]=I1
750       GOTO 810
760    NEXT I1
770    PRINT "NO CONSIGUE EL NODO";N[I3,T7]
780    I3=I3+1
790    IF E1=0 THEN 270
800    STOP
810 NEXT I3
820 RETURN
830 REM  JACOBO RUBINSTEIN STAROSTA. 1977
```

```
CUATRO2
 10 COM(1) N6,A[7,30],N7,N0,H0,E0,N[6,160],M[7,160],T7,V0
 20 COM(2) R[160],C1,C2,C4,C5,C6,C8,R1,F1,O7,I8,X[2,160]
 30 COM(3) F[160],G[2,160],D[160],V[160],W[2,160]
 40 COM(4) F3,F4,F9,A1,A2,A3,V1,V5,C3
 50 INTEGER N,X,G
 60 FILES TABLA,NODOS,TUBOS,RMC,QINIC,DGEN
 70 RESTORE #1
 80 READ #1;N6,(FOR I1=1 TO 5,(FOR J1=1 TO N6,A[I1,J1]))
 90 RESTORE #2
100 READ #2;N7,N0,H0,E0,(FOR I1=1 TO 2,(FOR J1=1 TO N7,N[I1,J1])),(&
    FOR I1=1 TO 3,(FOR J1=1 TO N7,M[I1,J1]))
110 RESTORE #3
120 READ #3;T7,V0,(FOR I1=3 TO 5,(FOR J1=1 TO T7,N[I1,J1])),(FOR I1=4&
     TO 5,(FOR J1=1 TO T7,M[I1,J1]))
130 REM RUTINA INICIALIZACION DE CONTADORES--------FILE 4
140 RESTORE #6
150 READ #6;F4,O7,F1,F9,A1,A2,A3,F3
160 C1=1
170 C2=C4=C5=C6=C8=R1=0
180 MAT R=ZER
190 IF F3=0 THEN 270
200 RESTORE #4
210 READ #4;F2,(FOR I1=1 TO 2,(FOR J1=1 TO N7,G[I1,J1])),(FOR I1=1 TO &
    N7,E[I1])
220 IF F2=0 THEN 260
230 RESTORE #5
240 READ #5;(FOR J1=1 TO T7,R[J1])
250 CHAIN "SIETE2"
260 CHAIN "SEIS2"
270 CHAIN "CINCO2"
280 END
290 REM   JACOBO RUBINSTEIN STAROSTA  1977.
```

Universidad Católica Andrés Bello
BIBLIOTECA
Caracas

```
CINCO2
 10 COM(1) N6,A[7,30],N7,N0,H0,E0,M[6,160],N[7,16],T7,V0
 20 COM(2) R[160],C1,C2,C4,C5,C6,C8,R1,F1,O7,T6,X[2,160]
 30 COM(3) F[160],G[2,160],O[160],V[160],W[2,160]
 40 INTEGER N,X,G
 50 REM RUTINA RUTAS MAS CORTAS--------FILE 5
 60 E6=0
 70 FOR I1=1 TO N7
 80    F[I1]=999999
 90    IF N[2,I1]=0 THEN 110
100    F[I1]=G[1,I1]=G[2,I1]=0
110 NEXT I1
120 I9=0
130 FOR I1=1 TO N7
140    IF N[2,I1]=1 THEN 440
150    I4=1
160    FOR J1=1 TO T7
170       IF N[3,J1]=I1 THEN 230
180       IF N[4,J1]=I1 THEN 200
190       GOTO 370
200       I3=1
210       N1=N[3,J1]
220       GOTO 250
230       I3=-1
240       N1=N[4,J1]
250       IF C1=1 THEN 300
260       IF H0<O[I1] THEN 370
270       IF H0<O[N1] THEN 370
280       IF H0=O[N1] THEN 300
290       IF R[G[2,N1]]*I3*R[J1]<0 THEN 370
300       A5=F[N1]+M[4,J1]
310       IF A5>=F[I1] THEN 370
320       F[I1]=A5
330       I9=1
340       G[1,I1]=N1
350       G[2,I1]=J1
360       I4=I3
370    NEXT J1
380    IF I4>0 THEN 440
390    J1=G[2,I1]
400    A5=N[3,J1]
410    N[3,J1]=N[4,J1]
420    N[4,J1]=A5
430    R[J1]=-R[J1]
440 NEXT I1
450 IF I9=1 THEN 120
460 FOR I1=1 TO N7
470    IF F[I1]<>999999 THEN 500
480    PRINT "NODO INACCESIBLE";N[1,I1]
490    C4=1
500 NEXT I1
510 IF C4=1 THEN 600
520 GOTO 570
530 PRINT "NODO DISTO  H ANT T ANT"
540 FOR I1=1 TO N7
550    PRINT USING 6[illegible] N[1,G[1,I1]],G[2,I1]
560 NEXT I1
570 IF C1=0 THEN 620
580 IF C1=1 THEN 630
590 PRINT "SCIRO"
```

```
600 PRINT "ERROR EN NODO INACCESIBLE"
610 STOP
620 CHAIN "SIETE2"
630 IMAGE 4,DDDD,50,DD,3(DDDD)
640 REM JACOBO FUEINSTEIN STAROSTA. 1977
```

```
CINCO3
 10 COM(1) N6,R[2,30],N7,N0,H0,E0,N[6,160],M[7,160],T7,V0
 20 COM(2) F[160],C1,C2,C4,C5,C6,C8,R1,F1,C7,I8,X[2,160]
 30 COM(3) F[160],G[2,160],D[160],V[160],W[2,160]
 40 INTEGER N,X,G,E[160]
 50 REM MODIFICA RUTAS DE ALIMENTACION ASIGNADAS
 60 MAT E=ZER
 70 FOR J1=1 TO T7
 80    IF R[J1]>=0 THEN 250
 90    A5=N[3,J1]
100    N[3,J1]=N[4,J1]
110    N[4,J1]=A5
120    R[J1]=ABS(R[J1])
130    E[N[3,J1]]=1
140    I9=0
150    FOR L2=1 TO N7
160       IF E[L2]=0 THEN 230
170       FOR L3=1 TO N7
180          IF L2<>G[1,L3] THEN 220
190          IF E[L3]=1 THEN 220
200          I9=1
210          E[L3]=1
220       NEXT L3
230    NEXT L2
240    IF I9=1 THEN 140
250 NEXT J1
260 I9=0
270 A5=999999
280 FOR I1=1 TO N7
290    IF E[I1]=0 THEN 410
300    I9=1
310    FOR J1=1 TO T7
320       IF N[4,J1]=I1 THEN 340
330       GOTO 400
340       IF E[N[3,J1]]=1 THEN 400
350       A6=D[N[2,J1]]+N[4,J1]
360       IF A6>=A5 THEN 400
370       A5=A6
380       A7=I1
390       A8=J1
400    NEXT J1
410 NEXT I1
420 E[A7]=0
430 E[A7]=A9
440 G[1,R[A8]]=N[2,A8]
450 G[2,R[A8]]=A7
460 IF I9=0 THEN 260
470 CHATU PSIETE?
480 REM  JORDEA ROBINSTEIN STARBSTA   1977
```

```
SEIS2
  10 COM(1) N6,A[7,30],N7,N0,H0,E0,N[6,160],M[7,160],T7,V0
  20 COM(2) P[160],C1,C2,C4,C5,C6,C9,R1,F1,C7,I8,X[2,160]
  30 COM(3) F[16,3],G[2,160],D[160],V[160],W[2,160]
  40 INTEGER N,H,G
  50 REM ASIGNACION DE CAUDALES INICIALES EN TUBERIAS--------FILE 6
  60 MAT G=ZER
  70 I9=0
  80 FOR I1=1 TO T7
  90   FOR I2=1 TO C7
 100     IF I1=G[2,I2] THEN 130
 110   NEXT I2
 120   GOTO 210
 130   A5=N[3,I1]
 140   FOR I2=1 TO N7
 150     IF I1=B[1,I2] THEN 170
 160     A5=A5+B[D[2,I2]]
 170   NEXT I2
 180   IF A5=B[I1] THEN 210
 190   I9=1
 200   B[I1]=A5
 210 NEXT I1
 220 IF I9=0 THEN 70
 230 GOTO 25
 240 PRINT "TUBO   CAUDAL INICIAL"
 250 FOR I1=1 TO T7
 260   PRINT I1,B[I1]
 270 NEXT I1
 280 CHAIN "SIETE2"
 290 REM  JACOBO SUBINSTEIN STAROSTA    1977
```

```
SIFTAR
 10 COM(1) N6,A[7,30],R7,N0,H0,E0,N[6,160],M[7,160],T7,V0
 20 COM(2) R[160],C1,C2,C4,C5,C6,C8,R1,F1,O7,I8,X[2,160]
 30 COM(3) F[160],G[2,160],O[160],V[160],W[2,160]
 40 INTEGER N,X,G
 50 REM RUTINA INICIALIZACION DE H PIEZOMETRICAS--------FILE 7
 60 FOR I1=1 TO N7
 70   V[I1]=M[1,I1]+M[3,I1]
 80 NEXT I1
 90 FOR J1=1 TO T7
100   W[1,J1]=M[5,J1]
110   K[1,J1]=N[5,J1]
120 NEXT J1
130 CHAIN "OCH02"
140 END
150 REM  JACOBO RUBINSTEIN STAROSTA  1977
```

```
0CH02
 10 COM(1) NE,B[7,30],N7,N0,H0,F0,N[6,160],M[7,160],T7,V0
 20 COM(3) F[160],G[2,160],O[160],V[160],W[2,160]
 30 INTEGER N,G
 40 REM DETERMINACION DE H CRITICAS--------FILE 8
 50 FOR I1=1 TO N7
 60   FOR I2=1 TO N7
 70     IF I1=B[1,I2] THEN 180
 80   NEXT I2
 90   N1=I1
100   C7=W[N1]
110   N2=B[1,N1]
120   IF N2=0 THEN 180
130   IF W[N2]>=C7 THEN 150
140   W[N2]=C7
150   C7=W[N2]
160   N1=N2
170   GOTO 110
180 NEXT I1
190 GOTO 240
200 PRINT "NODO    H CRITICA"
210 FOR J1=1 TO N7
220   PRINT W[1,J1],W[J1]
230 NEXT J1
240 CHAIN "NUEVE2"
250 REM  JACOBO RUBINSTEIN STAROSTA  1977
```

```
NUEVE2
 10 COM(1) N6,A[7,30],N7,N0,H0,E0,N[6,160],M[7,160],T7,V0
 20 COM(2) B[160],C1,C2,C4,C5,C6,C9,R1,F1,Q7,I8,X[2,160]
 30 COM(3) F[160],G[2,160],S[160],V[160],W[2,160]
 40 COM(4) F3,F4,F5,A1,A2,A3,V1,V5,C3
 50 COM(5) Y[5,160],S[5,160],C[2,5],E[2,160],H[5,160],I[5,160],U[5,5],B
    B[160],O[5]
 60 INTEGER N,X,G,E,M,I,U,B,D
 70 FOR J1=1 TO T7
 80   W[2,J1]=M[5,J1]
 90 NEXT J1
100 FOR I1=1 TO N7
110   E[1,I1]=0
120   FOR K2=1 TO Q7
130     H[K2,I1]=I[K2,I1]=S[K2,I1]=0
140     V[K2,I1]=H0-(H0-V[I1])/Q7*(K2)*(I1<>N0)
150   NEXT K2
160 NEXT I1
170 I7=0
180 FOR I1=1 TO N7
190   IF E[1,I1]<>0 THEN 1270
200   I5=0
210   FOR I2=1 TO N7
220     IF I1=G[1,I2] THEN 260
230     IF E[1,I2]=1 THEN 260
240     I5=I5+1
250     B[I5]=I2
260   NEXT I2
270   GOTO 300
280   I7=1
290   GOTO 1270
300   IF I5<>0 THEN 370
310   E[1,I1]=1
320   I7=1
330   FOR K2=1 TO Q7
340     V[K2,I1]=V[I1]
350   NEXT K2
360   GOTO 1270
370   FOR I6=1 TO I5
380     REM PRINT"CALC TUBO QUE ALIM A";B[I6]
390     FOR L2=1 TO N7
400       E[2,L2]=0
410     NEXT L2
420     E[2,B[I6]]=1
430     I8=0
440     FOR L2=1 TO N7
450       IF E[2,L2]=0 THEN 520
460       FOR L3=1 TO N7
470         IF L2<>G[1,L3] THEN 510
480         IF E[2,L3]=1 THEN 510
490         I8=1
500         E[2,L3]=1
510       NEXT L3
520     NEXT L2
530     GOTO 600
540     PRINT "NODOS AGUAS ABAJO DEL NODO";B[I6]
550     FOR L2=1 TO N7
560       IF E[2,L2]=0 THEN 580
570       PRINT L2;
580     NEXT L2
```

```
590   PRINT
600   IF I8=1 THEN 630
610   F[2,B[I6]]=0
620   MAT L=ZER
630   FOR K4=1 TO C7
640     C[1,K4]=P0-(P0-V[I1])/C7*(K4-1)*(I1<>A0)
650     C[2,K4]=5.9E30
660   NEXT K4
670   K2=G[2,B[I6]]
680   FOR K3=C7 TO 1 STEP -1
690     FOR K4=1 TO C7
700       K1=N[5,K2]
710       K5=(C[1,K4]-Y[K3,B[I6]])/N[4,K2]/(1+F1/100)/R[K2]**1.85
720       IF K5<0 THEN 760
730       FOR K1=N[5,K2] TO A6
740         IF K5>=A[2,K1] THEN 780
750       NEXT K1
760       K1=A6
770       GOTO 910
780       V1=ABS(R[K2])/(PI*(1/4)*A[1,K1]*A[1,K1])*1000
790       IF V1<=VC THEN 910
800       K1=K1+1
810       IF K1<=A6 THEN 780
820       PRINT "POSIBLE PREPOR EN TUBERIA";K2
830       PRINT "NODO A, ABAJO";B[I6],"H.PIEZ";Y[K3,B[I6]]
840       PRINT "H.PIEZ INTERVALO";K4,"=";C[1,K4]
850       PRINT "V.TUBERIA";V1
860       INPUT "EN CON PREPOR ?";E1
870       IF E1=1 THEN 900
880       K1=A6
890       GOTO 910
900       STOP
910       C1=K1
920       GOSUB 1810
930       H1=(K1=N[5,K2]) AND (N[5,K2]=1)
940       C2=S[K3,B[I6]]+Z3*N[4,K2]*(K1=0)
950       REM PRINT "OP.ABAJO";K3;"OP.ARRIBA";K4;"TUBO";K2;"C.TIRO";K
960       REM PRINT "CTO.TRANO";Z3*N[4,K2];"CTO.ACUM";C2
970       IF C2>=C[2,K4] THEN 1030
980       FOR K7=1 TO C7
990         L[K7,K4]=0
1000      NEXT K7
1010      U[K3,K4]=C1
1020      C[2,K4]=C2
1030    NEXT K4
1040  NEXT K3
1050  FOR K4=C7 TO 1 STEP -1
1060    FOR K3=1 TO C7
1070      IF U[K3,K4]=0 THEN 1190
1080      T1=Y[K3,B[I6]]+A[2,U[K3,K4]]*N[4,K2]*(1+F1/100)*R[K2]**1.85
1090      IF Y[K4,I1]>=T1 THEN 1110
1100      Y[K4,I1]=T1
1110      S[K4,I1]=S[K4,I1]+C[2,K4]
1120      I[K4,B[I6]]=I[K3,K4]
1130      H[K4,B[I6]]=L[K3,K4]
1140      FOR K6=1 TO A7
1150        IF F[2,K6]<>1 THEN 1170
1160        H[K4,K6]=L[K3,K6]
1170      NEXT K6
1180      GOTO 1220
```

```
1190        NEXT K3
1200        REM MENSAJE POSIBLE ERROR
1210        PRINT "INT VACIO AGUAS ARRIBA",K4
1220      NEXT K4
1230      REM GOSUB 1480
1240    NEXT I6
1250    F[1,I1]=1
1260    MAT I=H
1270 NEXT I1
1280 IF I7=1 THEN 170
1290 M3=S[1,N0]
1300 M4=1
1310 FOR K4=2 TO O7
1320    IF S[K4,N0]>=M3 THEN 1350
1330    M3=S[K4,N0]
1340    M4=K4
1350 NEXT K4
1360 I8=0
1370 FOR I1=1 TO N7
1380    IF H[2,I1]=1 THEN 1430
1390    W[2,G[2,I1]]=H[M4,I1]
1400    IF W[2,G[2,I1]]=W[1,G[2,I1]] THEN 1430
1410    W[1,G[2,I1]]=W[2,G[2,I1]]
1420    I8=1
1430 NEXT I1
1440 C2=C2+1
1450 V1=12
1460 REM GOTO 1750
1470 CHAIN "ONCE2"
1480 PRINT "MATRIZ TIPO DE DIAMETRO"
1490 PRINT " NODO  OPCIONES 1,2,.."
1500 FOR T1=1 TO N7
1510    PRINT T1,(FOR K3=1 TO O7,H[K3,T1])
1520 NEXT T1
1530 PRINT "MATRIZ COSTO ACUMULADO"
1540 PRINT " NODO OPCIONES 1,2,.."
1550 FOR T1=1 TO N7
1560    PRINT T1,(FOR K3=1 TO O7,S[K3,T1])
1570 NEXT T1
1580 PRINT
1590 PRINT
1600 PRINT "MATRIZ U[OP.ABAJO,OP.ARRIBA]"
1610 FOR K3=1 TO O7
1620    FOR K4=1 TO O7
1630      PRINT U[K3,K4];
1640    NEXT K4
1650    PRINT
1660 NEXT K3
1670 PRINT "MATRIZ HPO"
1680 PRINT " NODO  OPCIONES 1,2,.."
1690 FOR T1=1 TO N7
1700    PRINT T1,(FOR K3=1 TO O7,V[K3,T1])
1710 NEXT T1
1720 PRINT
1730 REM FIN RUTINA IMPRESION AUXILIAR
1740 RETURN
1750 PRINT "TUBO  TIPO DE DIAM."
1760 FOR T1=1 TO N7
1770    IF G[2,T1]=0 THEN 1790
1780    PRINT G[2,T1],H[2,G[2,T1]]
```

```
1790 NEXT T1
1800 CHAIN "ONCE2"
1810 REM        RUTINA DE ESPESORES Y COSTO
1820 IF M[3,N[3,K2]]>M[3,N[4,K2]] THEN 1850
1830 Z1=M[3,N[3,K2]]
1840 GOTO 1860
1850 Z1=M[3,N[4,K2]]
1860 Z2=(H0-Z1)*100
1870 Z4=Z2*A[1,K1]/2000/A1
1880 IF A[3,K1]=0 THEN 1920
1890 Z3=A[5,K1]
1900 Z4=A[4,K1]
1910 RETURN
1920 IF Z4>=A[4,K1] THEN 1940
1930 Z4=A[4,K1]
1940 Z3=PI*(A2)*A[1,K1]*Z4* 000001*A3
1950 RETURN
1960 REM JACOBO RUBINSTEIN STAROSTA.  1977.
```

```
ONCE2
 10 COM(1) N6,A[7,30],N7,N0,H0,E0,N[6,160],M[7,160],T7,V0
 20 COM(2) R[160],C1,C2,C4,C5,C6,C8,R1,F1,D7,I8,X[2,160]
 30 COM(3) F[160],G[2,160],O[160],V[160],W[2,160]
 40 COM(4) F3,F4,F9,A1,A2,A3,V1,V5,C3
 50 INTEGER N,X,G
 60 REM CONTROLA EL PROCESO DE LAS NO TUBERIAS--------FILE 12
 70 C3=0
 80 S3=0
 90 FOR J1=1 TO T7
100   FOR I1=1 TO N7
110     IF J1=G[2,I1] THEN 690
120   NEXT I1
130   REM  PRINT "N-T=";J1
140   REM DETERMINACION DEL CIRCUITO PARA LA N-T J1(LAZO)
150   FOR J2=1 TO T7
160     X[2,J2]=0
170   NEXT J2
180   X[2,J1]=1
190   I9=1
200   N1=N[3,J1]
210   N2=G[1,N1]
220   IF N2=0 THEN 260
230   X[2,G[2,N1]]=I9+X[2,G[2,N1]]
240   N1=N2
250   GOTO 210
260   IF I9=-1 THEN 300
270   I9=-1
280   N1=N[4,J1]
290   GOTO 210
300   REM APLICACION DEL METODO DE CROSS PARA EL CIRCUITO
310   REM  PRINT "LAZO DE";J1;"=";N(3,J1);N(4,J1)
320   REM FOR T1=1 TO T7
330   REM PRINT T1,X(2,T1)
340   REM NEXT T1
350   S1=S2=0
360   C3=C3+1
370   FOR J2=1 TO T7
380     IF X[2,J2]=0 THEN 430
390     P1=M[4,J2]*A[2,W[2,J2]]*ABS(R[J2])**1.85+V[2,J2]*SGN(R[J2])
400     S1=S1+P1*(1+F1/100)
410     R9=M[4,J2]*A[2,W[2,J2]]*ABS(R[J2])**.85
420     S2=S2+R9*(1+F1/100)
430   NEXT J2
440   D1=-S1/(S2+(S2=0))/1.85/F9
450   IF ABS(S1)<=E0 THEN 470
460   S3=1
470   REM PRINT "S1=";S1;"S2=";S2;"D1=";D1
480   FOR J2=1 TO T7
490     R[J2]=R[J2]+D1*X[2,J2]
500     IF R[J2]>=0 THEN 560
510     IF J2<>J1 THEN 560
520     A5=N[3,J1]
530     N[3,J1]=N[4,J1]
540     N[4,J1]=A5
550     R[J2]=ABS(R[J2])
560   NEXT J2
570   REM  PRINT "ITERA CROSS#";C3;S1;S2
580   V1=ABS(R[J1])/(PIX(1/4)*(A[1,W[2,J1]])**2)*1000
590   IF V1<=V0 THEN 690
```

```
600    W[2,J1]=W[2,J1]+1
610    S3=1
620    IF W[2,J1]<=N6 THEN 690
630    PRINT "ERROR VEL N-T";J1;"V1=";V1
640    INPUT "FIN CON ERROR ? ",E1
650    IF E1=0 THEN 670
660    STOP
670    W[2,J1]=N6
680    S3=1
690 NEXT J1
700 IF C3/(T7-N7+1)>50 THEN 730
710 IF S3=1 THEN 80
720 GOTO 740
730 PRINT "NO CERRO EL CROSS  SE SIGUE"
740 REM PRINT"CAUDALES EN";C3;" ITERACIONES"
750 GOTO 800
760 PRINT "TUBO   CAUDAL CORREGIDO"
770 FOR J1=1 TO T7
780   PRINT J1,R[J1]
790 NEXT J1
800 V5=13
810 C4=C4+C3
820 CHAIN "DOCE2"
830 REM  JACOBO RUBINSTEIN STAROSTA.  1977.
```

```
DOCE2
 10 COM(1) N6,A[7,30],N7,N0,H0,E0 N[6,160],M[7,160],T7,V0
 20 COM(2) R[160],C1,C2,C4,C5,C6,C8,R1,F1,O7,I8,X[2,160]
 30 COM(3) F[160],G[2,160],O[160],V[160],W[2,160]
 40 COM(4) F3,F4,F9,A1,A2,A3,V1,V5,C3
 50 INTEGER N,X,G
 60 REM DETERMINACION DE H.PIEZOMETRICAS EN TUBERIAS--------FILE 11
 70 MAT O=ZER
 80 FOR I1=1 TO N7
 90    IF N[2,I1]=0 THEN 110
100    O[I1]=V[I1]
110 NEXT I1
120 I9=0
130 FOR I1=1 TO N7
140    IF O[I1]<>0 THEN 190
150    IF O[G[1,I1]]=0 THEN 190
160    J1=G[2,I1]
170    O[I1]=O[G[1,I1]]-SGN(R[J1])*A[2,W[2,J1]]*M[4,J1]*(1+F1/100)*ABS(&
       R[J1])**1.85
180    I9=1
190 NEXT I1
200 IF I9=1 THEN 120
210 GOTO 260
220 PRINT "NODO  H.PIEZ REAL"
230 FOR I1=1 TO N7
240    PRINT N[1,I1],O[I1]
250 NEXT I1
260 V5=13
270 CHAIN "QUINCE2"
280 REM  JACOBO RUBINSTEIN STAROSTA    1977.
```

TRECE2

```
 10 COM(1) N6,A[7,30],N7,N0,H0,E0,N[6,160],M[7,160],T7,V0
 20 COM(2) R[160],C1,C2,C4,C5,C6,C8,R1,F1,O7,I8,X[2,160]
 30 COM(4) F3,F4,F9,A1,A2,A3,V1,V5,C3
 40 INTEGER N,X
 50 REM VERIFICA CAMBIO RMC POR INVERSION DE 0. DEBIDO A CROSS----FILE
 60 I7=0
 70 FOR J1=1 TO T7
 80    IF R[J1]>=0 THEN 150
 90    IF F3<>0 THEN 210
100    A5=N[3,J1]
110    N[3,J1]=N[4,J1]
120    N[4,J1]=A5
130    R[J1]=ABS(R[J1])
140    I7=1
150 NEXT J1
160 IF I7=0 THEN 240
170 C1=0
180 C8=C8+1
190 IF C2>=F4 THEN 280
200 IF F3=0 THEN 220
210 CHAIN "CINCO3"
220 CHAIN "CINCO2"
230 REM VERIFICACION CONDICIONES FINALES
240 IF I8=0 THEN 270
250 IF C2>=F4 THEN 280
260 CHAIN "NUEVE2"
270 CHAIN "CATORCE2"
280 PRINT "YA ENTREGO EL LIMITE MAXIMO DE SOLUCIONES ";C2
290 V5=0
300 CHAIN "QUINCE2"
310 REM   JACOBO RUBINSTEIN STAROSTA   1977
```

```
CATORCE2
 10 COM(1) N6,A[7,30],N7,N0,H0,E0,N[6,160],M[7,160],T7,V0
 20 COM(2) R[160],C1,C2,C4,C5,C6,C8,R1,F1,O7,I8,X[2,160]
 30 COM(3) F[160],G[2,160],O[160],V[160],W[2,160]
 40 INTEGER N,Y,G
 50 REM VERIFICACION DE H MINIMAS,VELOCIDADES Y FIN DEL PROGRAMA-------
 60 E1=0
 70 FOR I1=1 TO N7
 80    IF O[I1]>=M[1,I1]+M[3,I1] THEN 110
 90    PRINT "ERROR H MINIMA NODO";N[1,I1]
100    E1=1
110 NEXT I1
120 FOR J1=1 TO T7
130    V1=ABS(R[J1])/(PI*(1/4)*A[1,W[2,J1]]**2)*1000
140    IF V1<=V0 THEN 170
150    PRINT "ERROR VELOCIDAD TUBO";J1
160    E1=1
170 NEXT J1
180 IF E1=0 THEN 210
190 INPUT "FIN SIN REPETIR R M C ? ",R1
200 IF R1=0 THEN 220
210 CHAIN "QUINCE2"
220 CHAIN "CINCO2"
230 REM   JACOBO RUBINSTEIN STAROSTA. 1977.
```

```
QUINCE2
 10 COM(1) N6,A[7,30],N7,N0,H0,E0,N[6,160],M[7,160],T7,V0
 20 COM(2) R[160],C1,C2,C4,C5,C6,C8,R1,F1,O7,I8,X[2,160]
 30 COM(3) F[160],G[2,160],O[160],V[160],W[2,160]
 40 COM(4) F3,F4,F9,A1,A2,A3,V1,V5,C3
 50 COM(6) E[30]
 60 L9=50
 70 INTEGER N,X,G
 80 L9=50
 90 REM RUTINA SALIDA DE DATOS------ FILE 15
100 FOR I1=1 TO N7
110    IF L9<=20 THEN 170
120    L9=1
130    PRINT CTL(49)
140    PRINT USING 580
150    PRINT USING 590
160    PRINT USING 600
170    PRINT USING 610;N[1,I1],N[2,I1],M[2,I1],M[1,I1],M[3,I1],M[1,I1]+&
       M[3,I1],O[I1]
180    L9=L9+1
190 NEXT I1
200 C0=0
210 L9=50
220 FOR J1=1 TO T7
230    IF L9<=20 THEN 300
240    L9=1
250    PRINT CTL(49)
260    PRINT USING 620
270    PRINT USING 630
280    PRINT USING 640
290    PRINT LIN(2)
300    V1=R[J1]/(PIX(1/4)*(A[1,W[2,J1]])**2)*1000
310    GOSUB 720
320    H1=(W[2,J1]=M[5,J1]) AND (N[5,J1]=1)
330    PRINT USING 650;J1,N[1,N[3,J1]],N[1,N[4,J1]],A[1,M[5,J1]],A[1,W[&
       2,J1]],R[J1],V1,N[5,J1],Z4,M[4,J1],M[4,J1]*Z3*(H1=0)
340    C0=C0+Z3*M[4,J1]*(H1=0)
350    L9=L9+1
360 NEXT J1
370 PRINT CTL(49)
380 PRINT USING 660
390 PRINT "NODO DE ALIMENTACION= ";N[1,N0]
400 PRINT "H.PIEZOMETRICA INICIAL=";H0
410 PRINT "ERROR MAXIMO CIERRE CROSS=";E0;"M"
420 PRINT "NUMERO DE TUBERIAS=";T7
430 PRINT "V.MAXIMA PERMITIDA=";V0;"M/SEG"
440 PRINT "NUMERO DE OPCIONES ESTUDIADAS PARA P.DINAMICA=";O7
450 PRINT "INCREMENTO DE LONGITUD POR PERDIDAS MENORES=";F1;"%"
460 PRINT "NUMERO DE ITERACIONES DE CROSS= ";C3
470 PRINT "EL COSTO TOTAL ES=";C0;"Bs"
480 PRINT CTL(49)
490 REM  VERIFICA LA REPETICION DE UN CICLO
500 E[C2]=C0
510 IF C2=1 THEN 670
520 FOR S1=0 TO C2-1
530    IF E[S1]<>C0 THEN 570
540    IF E[C2-1]<>E[S1-1] THEN 570
550    PRINT "SE VERIFICA UN CICLO"
560    GOTO 700
570 NEXT S1
```

```
580 IMAGE /,"DATOS FINALES",/,/,"NODOS"
590 IMAGE /,/,5X,"NODO      TIPO",5X,"Q DESCARGA",5X,"P.MINIMA",5X,"COT&
A     H MIN     H FINAL"
600 IMAGE /,24X,"(LT/SEG)",9X,"(M)",7X,"(M)",6X,"(M)",6X,"(M)",/,/
610 IMAGE /,5X,DDD,7X,DD,7X,7D.DD,3X,7D.DD,1X,4D.DD,1X,7D.DD,1X,7D.DD
620 IMAGE "TUBERIAS"
630 IMAGE /,/,"TUBO  NODO  NODO   D.MIN   D.DEF   CAUDAL   VELOCIDAD  &
TIPO    ESP     LGNG   COSTO"
640 IMAGE /,6X,"ENTR   SAL   (MM)    (MM)   (LT/SEG)   (M/SEG)",10X,"(&
MM)      (M)      ($)"
650 IMAGE /,3D,2X,3D,3X,3D,4X,6D,2X,6D,M7D.DD,1X,M3D.DD,6X,DD,1X,5D.D,&
3X,5D.DD,7D.DD
660 IMAGE "DATOS GENERALES"
670 IF V5<>13 THEN 700
680 V5=14
690 CHAIN "TRECE2"
700 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
710 END
720 REM        RUTINA DE ESPESORES Y COSTO
730 IF M[3,N[3,J1]]>M[3,N[4,J1]] THEN 760
740 Z1=M[3,N[3,J1]]
750 GOTO 770
760 Z1=M[3,N[4,J1]]
770 Z2=(H0-Z1)*100
780 Z4=Z2*A[1,W[2,J1]]/2000/A1
790 IF A[3,W[2,J1]]=0 THEN 830
800 Z3=A[5,W[2,J1]]
810 Z4=A[4,W[2,J1]]
820 RETURN
830 IF Z4>=A[4,W[2,J1]] THEN 850
840 Z4=A[4,W[2,J1]]
850 Z3=PIX(A2)*A[1,W[2,J1]]*Z4* 000001*A3
860 RETURN
870 REM   JACOBO RUBINSTEIN STAROSTA   1977
```

PROGRAMA STRLEJT. Permite obtener listado de todos los subprogramas.

```
1   !JOB PUBINS.DESA:OUTCLASS=LP!
2   !FILE J:DEV=LP1
3   !BASIC
4   GET LNO2
5   LIST,OUT=J
6   GET DCS2
7   LIST,OUT=J
8   GET TRES2
9   LIST,OUT=J
10  GET TUR01M
11  LIST,OUT=J
12  GET TUR02M
13  LIST,OUT=J
14  GET TUR03M
15  LIST,OUT=J
16  GET TUR05PE
17  LIST,OUT=J
18  GET CLATRC1
19  LIST,OUT=J
20  GET BATCH
21  LIST,OUT=J
22  GET CLATRC2
23  LIST,OUT=J
24  GET CINCC2
25  LIST,OUT=J
26  GET CINCC3
27  LIST,OUT=J
28  GET SEIS2
29  LIST,OUT=J
30  GET SIETE2
31  LIST,OUT=J
32  GET CCHC2
33  LIST,OUT=J
34  GET NUEVE2
35  LIST,OUT=J
36  GET CNCE2
37  LIST,OUT=J
38  GET DOCE2
39  LIST,OUT=J
40  GET TRECE2
41  LIST,OUT=J
42  GET CATORCE2
43  LIST,OUT=J
44  GET QUINCE2
45  LIST,OUT=J
46  EXIT
47  !EOD
48  !EOJ
```

PROGRAMA STRCEJT. Permite compilar los subprogramas.

```
1   !JOB RUBINS,DESA:OUTCLASS=LP1
2   !PURGE EJTESISU
3   !FILE EJTESISL,NEW:SAVE
4   !BASICOMP,*EJTESISU
5   CONTROL SOURCE ,MAP
6   CONTROL SEGMENT=S056
7   COMPILE CLATRC2,CINCC2,SFIS2
8   CONTROL SEGMENT=SC378
9   COMPILE CINCC3,SIFTE2,CCHO2
10  CONTROL SEGMENT=S9
11  COMPILE NLEVE2
12  CONTROL SEGMENT=S111214
13  COMPILE INCE2,CCCE2,CATCRCE2
14  CONTROL SEGMENT=S1315
15  COMPILE TRECE2,GLINCE2
16  EXIT
17  !PURGE EJTESISP
18  !PREP EJTESISL,EJTESISP:MAXDATA=25000:PMAP
19  !SAVE EJTESISP
20  !EOD
21  !EOJ
```

PROGRAMA STREJT. PERMITE HACER LA CORRIDA DEL PROGRAMA.

```
1    !JOB RUBINS.CESA;OUTCLASS=LPT:TIME=1000
2    !RUN FITFESISP
3    0
4    0
5    0
6    0
7    1
8    !EOD
9    !EOJ
```

IV.5.- MANUAL DEL USUARIO

Este manual está dirigido a aquellas personas que aún teniendo escasos conocimientos de computación, desean hacer uso del programa para resolver el problema de la optimización del diseño de un sistema de distribución de agua por gravedad.

El contenido de este manual es el siguiente:

IV.5.1 Fundamento Téórico

IV.5.2 Información suministrada por el Centro de Computación

IV.5.3 Comienza el modo "SESSION"

IV.5.4 Carga de datos

a) Carga de tablas comerciales

b) Carga de datos de nodos

c) Carga de datos de tuberías

d) Carga dedatos generales

e) Carga de rutas de alimentación y/o caudales iniciales en tuberías.

IV.5.5 Modificación de datos

a) Modificación de tablas comerciales

b) Modificación de datos de nodos

c) Modificación de datos de tubos

IV.5.6 Corrida del programa

IV.5.7 Termina el modo "SESSION"

IV.5.8 Resumen

IV.5.9 Limitaciones del programa

IV.5.10 Formas para la entrada de los datos

IV.5.1 Fundamento Teórico

El siguiente programa permite hacer el diseño optimizado de una red de distribución de agua por gravedad.

El criterio básico utilizado en el diseño de la red es el considerar que la forma más económica para llevar un determinado gasto de descarga a un nodo, es por la ruta más corta que lo une al nodo de alimentación.

Esta afirmación ha sido comprobada en los estudios realizados por MATSUDA, N.A. (A study on Design of Rational Distribution Network. Jour JWWA 328: 31 (1962) (citado por Shigeki Nakajima en el Journal AWWA Julio 1975 pág.390), y por Elisha Kally, quienes han observado que la optimización de una red conlleva a una solución de tipo árbol ramificado y no a un sistema cerrado.

Sin embargo, dado que los criterios de seguridad y las Normas así lo exigen, todo nodo debe ser alimentado al menos por dos tuberías (para casos de emergencia y por consideraciones de mantenimiento y operación),y por lo tanto es indispensable conservar ciertas tuberías que permiten el efecto de red.

A continuación se enumeran los distintos pasos seguidos en el proceso:

a) Carga de los datos requeridos
b) Obtención de las rutas más cortas de alimentación a los nodos. Se obtiene un sistema abierto de tuberías; tuberías primarias.
c) Asignación de los caudales iniciales que circulan por las tuberías atendiendo a la condición de continuidad en los nodos. Las tuberías que no forman parte del sistema abierto hallado en (b), las tuberías secundarias, no llevan inicialmente ningún caudal.
d) Determinación de las alturas críticas de los nodos.

e) Determinación de una configuración de diámetros y espesores de tubería por medio de los principios básicos de la programación dinámica, en función de los condicionamientos hidráulicos de altura piezométrica mínima y velocidad máxima permisible.

f) Aplicación de un método iterativo para la corrección del caudal que circula por las tuberías al considerar la presencia de las tuberías secundarias y el consiguiente efecto de red. En este caso se usa el método de Hardy Cross.

g) Cálculo de la altura piezométrica de cada nodo.

h) Impresión de los resultados obtenidos.

i) Si las correcciones de caudal han sido de magnitud tal que han provocado la inversión del sentido de flujo en alguna de las tuberías primarias, entonces se recalculan las rutas más cortas de alimentación tomando en consideración el sentido real del flujo. Se repite el proceso desde (d) con el último conjunto de caudales obtenidos.

j) Si no se han producido modificaciones en las rutas más cortas se repite el proceso desde (e)

k) El proceso se detiene cuando los cambios de caudal son tan pequeños que no inducen modificaciones en los diámetros de las tuberías. También se considera la posibilidad de detenerlo al haberse estudiado un número determinado de soluciones.

En la elaboración del programa se ha tomado en cuenta el hecho de que la mayoría de los sistemas tienen ciertas tuberías existentes que valdría la pena conservar siempre que con los nuevos gastos cumplieran con los requisitos de alturas piezométricas mínimas y velocidad máxima permisible.

Además, se da la oportunidad al proyectista de asignar los caminos de alimentación a los nodos si no le satisface el criterio de las rutas más cortas propuesto.

Se recomienda al lector referirse al Capítulo III de este trabajo especial.

Fórmulas utilizadas

a) Para la pérdida de carga se utiliza la fórmula de Hazen-Williams.

$$hf = L \times \alpha \times Q^{1.85} \quad (1 + F1 / 100)$$

donde:
- h = pérdida de carga de la tubería
- α = coeficiente que depende de las características de la tubería
- L = longitud de la tubería (m)
- Q = Caudal que circula por la tubería (lts/seg)
- F1 = Porcentaje de incremento de la longitud por pérdidas menores.

b) Para determinar la variación del caudal según el Método de Cross.

$$D_q = - \frac{\Sigma (\alpha \; L \; Q^{1.85})}{1.85 \; \Sigma (\alpha \; L \; Q^{0.85})}$$

donde la sumatoria se refiere a todas las tuberías que conforman el circuito.

IV.5.2 Información suministrada por el Centro de Computación. *

Debido a la manera como está organizado el sistema operativo en su estructura de GRUPO-CUENTA-USUARIO se requiere del Centro de Computación la siguiente información:

a) Nombre de la cuenta donde se encuantra el programa: N CUENTA
b) Verificación si los archivos TABLA, NODOS, TUBOS, RMC, QINIC DGEN, existen.

Si así es, y se puede eliminar su contenido entonces puede dirigire al punto IV.5.3.

Si no se puede eliminar su contenido, el Centro de Computación debe preservarlos mediante un RENAME o mediante el FCOPY

Si se usa el RENAME o si se desea crear esos archivos, el Centro de Computación debe hacerlo desde el subsistema BASIC y con el comando CREATE.

* Se refiere al Centro de Computación de la U.C.A.B. y a una Hewlett Packard 3000.

HELLO N cuenta

BASIC

CREATE Nombre del archivo, Número de registros

IV.5.3 Se comienza el modo"SESSION"

El modo "SESSION" o conversacional es la manera de interactuar con el ordenador mediante un terminal de rayos catódicos. (2640 - 2645)

NOTA: Al final de cada comando se debe oprimir la tecla RETURN que se abreviará (RT)

1- Prender el terminal en la parte posterior

2- HELLO N cuenta; TERM = 10 (RT)

3- FILE LISTA; DEV = LP2 (LP1 si la impresora grande esta disponible) o (LP2 si la que está disponible es la impresora pequeña) (RT)

IV.5.4 Carga de datos

Para la carga de datos se precisa además de los pasos 1,2,3 - para entrar en "SESSION", entrar en el subsistema BASIC. Se- recomienda el uso de las formas para la entrada de los da - tos que aparecen al final de este manual.

4- BASIC (RT)

NOTA: Una vez terminada la carga y modificación de los datos- se debe salir del subsistema BASIC mediante el comando-

EXIT (RT)

a) Carga de tablas comerciales

Programa UNO2

5- RUN UNO2, OUT = LISTA (RT)

DATOS:

1- Se van a cargar tablas ? (0 = NO); (1 = SI)

2- Número de datos en tablas

3- Elaborar una tabla así: (ver sección Iv.5.10)

Diametro (mm) — ALFA (α) $H_f = \alpha L Q^{1.85}$

MATERIAL CONSTANTE (0 = NO ACERO) (1 = SI A.C o H.F)	ESPESOR	COSTO UNITARIO (SOLO PARA MATERIAL TIPO 1)	ESPESOR MINIMO (SOLO PARA MATERIAL TIPO 0)

4- Hay algún error ? (0 = NO); (1 = SI)

5- Introducir # línea a corregir

6- Se van a cargar datos de nodos ? (0 = NO); (1 = SI)

NOTA: Los datos se graban en el archivoTABLA

b) Carga de datos de Nodos

Programa DOS2

RUN DOS2, OUT = LISTA (RT)

DATOS:

1-Número de nodos en la red

2-Elaborar una tabla así: (ver sección Iv.5.10)

NOMBRE DEL NODO	TIPO (0 = NORMAL) (1=ALIMENTACION)	Q. descarga (lts/ seg)

P. mínima (m)	COTA (m)

3-Hay algún error ? (0 = NO) ; (1 = SI)

4-Nombre externo del nodo a corregir. Se puede agregar alguno si se desea.

5-Nombre externo del nodo de alimentación

6-Cota piezométrica de alimentación (m)

7-Error de cierre de circuitos permitido en el Cross (m)

8-Se van a cargar datos de tubos ? (0 = NO) ; (1 = SI)

NOTA: Los datos se graban en el archivo NODOS.

c) Carga de datos de tuberías

Programa TRES2

RUN TRES2, OUT = LISTA (RT)

DATOS:

1- Número de tubos en la red

2- Elaborar una tabla así: (ver sección IV.5.10)

Nodo entrada	Nodo salida	Longitud (m)	Diámetro minimo (mm)	Tipo

(1 = Tubería existente)

(0 = Tubería propuesta)

3- Hay algún error ? (0 = NO); (1 = SI)

4- Introducir # de secuencia de la tubería a corregir

5- Velocidad máxima permitida en las tuberías (m/seg)

6- Se van a cargar datos generales ? (0 = NO) ; 1 = SI)

NOTA: Los datos se graban en el archivo TUBOS.

d) Carga de datos generales

Programa CUATRO1

RUN CUATRO1, OUT = LISTA (RT)

DATOS:

1- Número máximo de soluciones que se desean reportar (máx. 30)

2- Número de opciones o intervalos que se van a estudiar - en el procedimiento de programación dinámica (máx. 5)

3- Porcentaje (1 - 100) de incremento de longitud de las tuberías por pérdidas menores.

4- Factor que permite modificar la expresión del---------

$$\Delta Q = \left(\frac{\sum \alpha L \; Q^{1.85}}{\text{Factor} * 1.85 \sum \alpha L \; Q^{0.85}} \right)$$

normalmente se toma la unidad (1) ya que asegura la convergencia más rápida en el método.

5- Esfuerzo de trabajo en el acero (Kg/cm2)

6- Peso específico del acero (Kg/m3)

7- Costo del acero en Bs/Kg.

8- Se van a utilizar rutas de alimentación de los nodos asignados por el proyectista (introducir 1) o se va a usar el criterio de las Rutas más Cortas de alimentación (introducir 0).

NOTA: Los datos se graban en el archivo DGEN

e) Carga de rutas de alimentación a los nodos y/o caudales iniciales en tuberías.-

Programa TUBØ5RE

RUN TUBØ5RE, OUT = LISTA (RT)

DATOS:

1- Se van a introducir caudales en tuberías ? (Ø = NO); (1 = SI)

2- Nombre del nodo anterior a cada nodo de la red sobre la ruta de alimentación.

3- Introducir el caudal (lts/seg) de la tubería solicitada por el programa.

NOTA: Las rutas de alimentación se graban en el archivo -- RMC. Los caudales iniciales de las tuberías se graban en el archivo QINIC.

IV.5.5 Modificación de datos

a) Modificación de datos de TABLAS

Programa TUBØ1M

RUN TUBØ1M, OUT = LISTA (RT)

Posibilidades:

1- Inclusión de algún dato

1-1 Diámetro (mm) ALFA (α) $Hf = LQ^{1.85}$

Material espesor constante (0 = NO Acero) (1 = SI AC,H.F)

Costo Unitario (Sólo para material tipo 1)

Espesor mínimo (Sólo para material tipo 0)

2- Modificación de algún dato

2-1 Número de línea a modificar

2-2 Diámetro, ALFA, Material, Espesor mínimo, Costo.

3- Conversión a milímetros si los diámetros están en otras unidades.

3-1 Factor de conversión, tal que el Diámetro actual * factor = mm.

4- Lista de tablas comerciales

NOTA: Ø = NO
1 = SI

b) Modificación de datos de nodos

Programa TUBØ2M

RUN TUBØ2M , OUT = LISTA

Posibilidades:

1- Eliminación de algún nodo

1-1 Nombre externo del nodo a eliminar

1-2 Se obtiene la información de cuales tuberías conectaban con ese nodo y por lo tanto deben ser eliminadas.

2- Agregar algún nodo

2-1 Nodo, Tipo, Q. descarga, P. mín., Cota

3- Modificación de la H. piezométrica de alimentación

3-1 Altura piezométrica de alimentación

4- Modificación de algún dato

4-1 Nombre externo del nodo a modificar

4-2 Nodo, Tipo, Q. descarga, P. mín., Cota.

5- Listado de los nodos de la red.

NOTA: Ø = NO
1 = SI

c) Modificación de datos de TUBOS

Programa TUBØ3M

RUN TUBØ3M, OUT = LISTA

Posibilidades:

1- Eliminación de algún tubo

1-1 Número de secuencia de la tubería a eliminar (es importante tener en cuenta las tuberías previamente eliminadas. Se recomienda eliminar las tuberías en órden decreciente de secuencia)

2- Agregar algún tubo

2-1 Nodos entrada y salida de la tubería

2-2 Longitud

2-3 Diámetro mínimo (mm)

2-4 Tubería existente (Ø = NO) ; (1 = SI)

3- Modificación de la velocidad máxima permitida en las tuberías.

3-1 Velocidad máxima permitida (m/seg.)

4- Modificación de los diámetros mínimos y condición de tubería existente.

4-1 # de secuencia de la tubería a modificar

4-2 Diámetro mínimo (mm)

4-3 Es fijo el diámetro (tubería existente) (Ø=NO); (1=SI)

5- Listado de las tuberías de la red.

NOTA: Ø = NO

1 = SI

IV.5.6 Corrida del programa

La corrida del programa puede hacerse en dos formas distintas

a) Por terminal

b) Por tarjetas

a) Por terminal: Si ya se está en "SESSION" y ya se ha salido del subsistema BASIC (mediante el comando - EXIT) se teclea:

6- STREAM STREJT (RT)

Si la máquina responde ERR 82 Teclear

7- (RT)

8- TELLOP FAVOR ABRIR STREAMS 9 . Confirmar.

Se debe esperar el mensaje del operador informando que-
ya se hizo desde la cónsola CTL A STREAMS 9.
Repetir desde la instrucción 6.
La máquina debe responder # JXXX donde XXX es el número del trabajo en proceso.

b) Por tarjetas: Se requieren las siguientes tarjetas:

```
JOB      N cuenta ; TIME = 1000
RUN EJTESISP ;   STACK   = 5000
EOJ
```

IV.5.7 Se termina el modo "SESSION"

Para terminar el modo "SESSION" simplemente teclear:

9- BYE

10- Apagar el terminal en la parte posterior

IV.5.8 RESUMEN

1- Prender el terminal

2- HELLO Nombre de la cuenta ; TERM = 10

3- FILE LISTA ; DEV = LP2

4- BASIC

5- Dependiendo de lo que se quiera hacer cualquiera de las siguientes instrucciones, en cualquier órden. Se puede omitir las que no sean requeridas.

```
RUN  UNO2, OUT  =  LISTA   (tablas comerciales)
RUN  DOS2, OUT  =  LISTA   (datos de nodos    )
RUN  TRES2, OUT =  LISTA   (datos de tubos    )
RUN  CUATRO1, OUT = LISTA  (datos generales   )
RUN  TUBØ1M..., OUT = LISTA  (modifica tablas comerciales)
RUN  TUBØ2M..., OUT = LISTA  (modifica nodos    )
RUN  TUBØ3M , OUT = LISTA  (modifica tubos    )
RUN  TUBØ5RE ,OUT = LISTA  (carga rutas de alimentación
                            y/o caudales)
```

: EXIT (para salir del subsistema BASIC)

6- Corrida del programa por terminal

STREAM STREJT

Si da ERR 82 entonces : TELLOP FAVOR HACER CTL A STREAMS 9. Confirmar.

Repetir 6 hasta obtener # JXXX siendo XXX el número del trabajo.

7- : BYE

8- Apagar el terminal

9- Corrida del programa por tarjetas:

Tarjetas requeridas : JOB Nombre de la cuenta; TIME = 1000

: RUN EJTESISP ; STACK = 5000

: EOJ

IV .5.9 Límitaciones del Programa

1) Inherentes a la filosofía del método:

a) No permite considerar el caso de sistemas de distribución que presenten bombeo contra la red.

2) Inherentes al programa de computación :

a) Debido a la configuración de las áreas de memoria se tienen las siguientes limitaciones:

Número de nodos = Número de tuberías $\leq$ 160

Número máximo de soluciones a estudiar = 30

Número máximo de opciones en programación dinámica = 5

Número máximo de tuberías que concurren a un nodo = 10

Estos valores pueden ser modificados, simplemente variando las dimensiones que aparecen en las instrucciones COM y DIM del programa.

Solicitar este servicio del Centro de Computación. Ver sección de manual de operación y mantenimiento.

b) Impresiones intermedias:

Existe cierta información auxiliar que puede obtenerse pero sin embargo se obvia en el programa por ser solamente resultados intermedios que permiten hacer un seguimiento al programa pero de escaso valor práctico e implican un notable incremento del tiempo de proceso.

Esa información es:

- Nodo, distancia de alimentación, nodo anterior, tubería que los une.
- Tubería, caudal inicial.
- Nodo, altura crítica.
- Tubería analizada en programación dinámica.
- Lista de nodos aguas abajo de la tubería estudiada.
- Matríz H (opción, nodo) = tipo de diámetro de tubería que alimenta al nodo en esa opción.

  Matríz S (opción, nodo) = Corte acumulado hasta el nodo, correspondiente a esa opción.

  Matríz U (op. abajo, op. arriba) = tipo de diámetro de la tubería estudiada para llegar desde la opción del nodo aguas abajo hasta la opción del nodo aguas arriba.

  Matríz Y (opción, nodo) = cota piezométrica del nodo para esa opción.

- Tubería, tipo de diámetro resultante de la optimización
- Lazo de la tubería en proceso de Cross.
  Tubería, Indicador (1 = pertenece al lazo)
- Numerador, denominador, corrección de caudal.
- Iteración #, numerador, denominador.
- Número de iteraciones de Cross.
- Tubería, caudal corregido.
- Nodo, H. piezométrica real.

Si se quiere alguno de estos resultados, solicitarlo al - Centro de Computación. Ver manual de operación y mantenimiento.

IV.5.10 Formas para la entrada de datos

En las páginas siguientes se presentan unos formularios que permiten organizar adecuadamente la información requerida para la solución del problema del diseño de sistemas de distribución de agua por gravedad.

ENTRADA DE DATOS DE TABLAS COMERCIALES

PROYECTO:	HOJA DE
PROGRAMA UN02. CARGA DE TABLAS COMERCIALES.	BASIC 3000
CONVENCIONES: 1 = SI ; Ø = NO	
NUMERO DE DATOS EN TABLAS =	C =

#	Diámetro (m m)	ALFA	Tipo de material 0 =Espesor varia 1 =Espesor const	Costo Unitario (Bs/m.)	Espesor mínimo (mm)

ENTRADA DE DATOS DE NODOS

PROYECTO:	HOJA DE
PROGRAMA DOS2. CARGA DATOS DE NODOS	BASIC 3000
CONVENCIONES: 1 = SI ; Ø = NO	

NUMERO DE NODOS EN LA RED =

NODO DE ALIMENTACION =

COTA PIEZOMETRICA DE ALIMENTACION = m

ERROR DE CIERRE DE CROSS = m

#	NODO	TIPO Ø = normal 1 = aliment	Q. descarga (lts./ seg)	Presión mín (m)	COTA (m)

ENTRADA DE DATOS DE TUBERIAS

PROYECTO:	HOJA DE
PROGRAMA TRES2. CARGA DATOS DE TUBERIAS.	BASIC 3000
CONVENCIONES 1 = SI ; Ø = NO	
NUMERO DE TUBOS EN LA RED =	
VELOCIDAD MAXIMA EN TUBERIAS = m/seg	

#	NODOS entrada,salida	LONGITUD (m)	Diámetros mínimo o existentes. (mm.)	Tipo de diámetro 0=Tubería no exis 1=Tubería existen

ENTRADA DE DATOS GENERALES

PROYECTO:	HOJA DE
PROGRAMA CUATRO1. CARGA DE DATOS GENERALES	BASIC 3000
CONVENCIONES: 1 = SI ; Ø = NO	

1- Número máximo de soluciones a obtener = (máximo 30)

2- Número máximo de opciones en programación dinámica= (máx. 5)

3- Porcentaje de incremento de longitud por pérdidas menores = %

4- Factor de Relajamiento = (se recomienda 1)

5- Esfuerzo de trabajo en el acero = Kg/cm2.

6- Peso específico del acero = Kg/m3.

7- Costo del acero = Bs/Kg.

8- Ø = Criterio de las Rutas más Cortas

1 = Se asignan rutas de alimentación a los nodos.

CARGA DE RUTAS DE ALIMENTACION

PROYECTO:	HOJA DE
PROGRAMA TUBØ5RE. RUTAS DE ALIMENTACION	BASIC 3000
CONVENCIONES: 1 = SI ; Ø = NO	

SE VAN A CARGAR CAUDALES INICIALES EN TUBERIAS ? =

NODO1 (en la misma secuencia en que fueron introducidos en la tabla de nodos.)	NODO2 (es el nodo que antecede al NODO1 en la ruta de alimentacion propuesta.)

CARGA DE CAUDALES INICIALES

PROYECTO:	HOJA DE
PROGRAMA TUBØ5RE. CAUDALES INICIALES EN TUBERIAS	BASIC 3000
CONVENCIONES: 1 = SI ; Ø = NO	

TUBERIA (en la misma secuencia en que fueron introducidas en la tabla de tubos.)	Q. INICIAL lts./seg.

IV.6 MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO

El siguiente manual está dirigido a personas que dispongan - tanto de conocimientos suficientes en Sistema operativo H-P 3000 y en lenguaje BASIC - 3000, como de conocimientos y autorización para realizar modificaciones en los programas que integran el procedimiento de solución del problema de diseño de sistemas de distribución de agua por gravedad.

Para su uso, se requiere además disponer como referencia del siguiente material:

- Diagramas de bloques general y de los subprogramas (secciones IV.1 - IV.2).
- Lista de variables utilizadas (sección IV.3)
- Lista de los subprogramas (sección IV.4)

Se preveen dos tipos de modificaciones:

a) Obtención de impresiones intermedias:

1) Impresión de rutas más cortas

```
GET  CINCO2
520  REM   GO  TO  570
SAVE  CINCO2!,  FAST
```

Se obtiene una tabla así:

NODO	Distancia mínima de alimentación.	Nodo que lo antecede en la ruta de alimentación	Tubería que los une.

2) Impresión de Caudales iniciales en tuberías

```
GET  SEIS2
230  REM   GO  TO  280
SAVE SEIS2!,  FAST
```

Se obtiene:

Nombre de la tubería	Caudal Inicial

3) Impresión de alturas piezométricas críticas

```
GET  OCHO2
190  REM  GO TO 240
SAVE  OCHO2!  ,  FAST
```

Se obtiene:

Nombre del nodo H. crítica

4) Impresión de la programación dinámica

```
GET  NUEVE2
```

Identifica el tubo analizado:

```
380  PRINT " CALC  TUBO  QUE  ALIM  A  " ; B (I6)
```

Lista los nodos aguas abajo del nodo estudiado:

```
530  REM  GO  TO  600
```

Impresión de resultados intermedios:

```
1230  GOSUB  1480
```

Se obtiene:

NODO Tipo de diámetro para las distintas opciones

NODO Cota acumulada para la opción hasta el nodo.

MATRIZ de tipo de diámetro definitivo (opción abajo, opción arriba)

NODO H. piezométrica para cada opción en cada nodo.

```
SAVE  NUEVE2! , FAST
```

5) Impresión del proceso de Cross

```
GET  ONCE2
```

Impresión del lazo de la tubería secundaria:

```
310 PRINT   " LAZO DE " ; J1; "="; N (i,N(3, j1));
            N (1, N (4, J1))
320  FOR  T1  =  1  TO  T7
330  PRINT  T1,  x (2, T1)
340  NEXT  T1
```

Se obtiene:

Tubería Indicador : 1 pertenece al lazo
0 no pertenece al lazo

Impresión resultados intermedios:

```
470   PRINT  "S1 =" ; S1 ; "S2 = " ; S2 ; "D1 =" ; D1
```

Se obtiene:

Numerador Denominador Corrección de caudal

Impresión en cada iteración:

```
570   PRINT "ITERA  CROSS #" ; C3 ; S1 ; S2
```

Impresión del número total de iteraciones:

```
740   PRINT "CAUDALES EN" ; C3 ; "ITERACIONES"
```

Impresión de caudales corregidos:

```
750   REM  GO  TO  800
```

Se obtiene:

Tubería Caudal corregido

```
SAVE ONCE2 !, FAST
```

6) Impresión de alturas piezométricas reales

```
GET    DOCE2
210    REM    GO  TO  260
```

Se obtiene:

NODO H. piezométrica real

```
SAVE   DOCE2 ! ,  FAST
```

b) Cualquier otro tipo de modificación

A tal efecto se suministra una descripción de cada uno de los subprogramas indicando la función específica de cada grupo de instrucciones:

<u>UNO2</u> Carga de tablas comerciales

100 - 120	Carga de cada uno de los datos
230 - 320	Entrada de datos
130 - 180	Correcciones en datos de entrada
190	Se graban los datos en el archivo tabla
330 - 390	Impresión de los datos de tablas
430	CHAIN "DOS2"

DOS2 Carga de datos de nodos

110 - 130 Carga de cada uno de los datos de nodos

560 - 610 Entrada de datos

140 Hay error en datos ?

360 - 480 Correcciones en datos de entrada.

380 - 400 Se identifica el nombre interno del nodo a corregir.

410 - 450 Se agrega un nuevo nodo

160 - 210 Entrada nombre nodo de alimentación

170 - 190 Se verifica que el nodo de-alimentación exista.

220 Entrada altura piezométrica de alimentación.

240 Entrada de error de cierre de circuitos de Cross.

250 - 260 Impresión de los datos de los nodos

620 - 700 Impresión de los datos

270 - 290 Impresión datos de alimentación

310 Se graban los datos en el archivo NODOS

350 CHAIN "TRES2"

TRES2 Carga de datos de tubos

60 - 70 Se leen datos del archivo TABLA

90 - 100 Se leen datos del archivo NODOS

150 - 170 Entrada de datos de tubos

490 - 600 Nodos de entrada y salida de las tuberías.

510 - 550 Identifica el nombre interno de los nodos de entrada y salida de las tuberías.

560 - 590 Mensaje de error - si no lo consigue.

610 - 630 Entrada del resto de los datos

180 - 190 Hay algún error ?

370 - 440 Correcciones de los datos de tuberías

200 - 270 Conversión de los diámetros de dimensiones a tipo de diámetro

280 Entrada de velocidad máxima permitida - en tuberías.

290 Se graban los datos en el archivo TUBOS

300 - 310 Impresión de los datos de tubos

650 - 730 Impresión de datos de tubos

340 STOP

350 CHAIN "CUATRO1"

TUBØ1M Modificación de datos de tablas

40 - 50 Se leen los datos de TABLA

60 - 320 Inclusión de algún dato

100 - 210 Se ubica la posición del dato a incluir en base al órden ascendiente de la tabla.

220 - 310 Se carga el nuevo dato

330 - 370 Modificación de algún dato

380 - 440 Conversión de los diámetros a otra unidad multiplicando por algún factor

450 - 460 Se graban los datos en el archivo TABLA

470 - 540 Impresión de los datos de TABLA

TUBØ2M Modificación de datos de NODOS

40 - 50 Se leen datos de nodos

70 - 80 Se leen datos de TUBOS

90 - 370 Eliminación de un nodo

120 - 230 Se verifica que el nodo exista y se elimina

150 - 210 Desplaza los datos del archivo para eliminar el hueco - dejado por el eliminado.

280 - 360 Se determinan que tuberías deben ser también eliminadas

380 - 420 Se agrega un nodo

430 - 460 Se modifica H. piezométrica de alimentación.

470 - 580 Modificación de algún dato de nodos

500 - 520 Localiza el nombre interno del nodo a modificar

570 entrada del nodo modificado

590 - 600 Se graban los datos en el archivo NODOS

610 - 730 Impresión de los datos de nodos

TUBØ3M Modificación de datos de tubos

40 - 50 Se leen datos de TABLA

70 - 80 Se leen datos de TUBOS

100 - 110 Se leen datos de NODOS

120 - 230 Eliminación de datos de TUBOS

160 - 220 Desplaza los datos del archivo para eliminar el hueco dejado por el tubo eliminado -

240 - 380 Se agrega una tubería

270 - 310 Se leen los datos de la nueva tubería

320 - 370 Se convierte el diámetro de dimensiones a tipo de diámetro

390 - 410 Se modifica la velocidad máxima permitida en tuberías

420 - 530 Modifica el diámetro mínimo y/o la condición de tubería existente

440 Se lee tubería a modificar

450 Se lee diámetro mínimo de tubería.

460 - 480 Se convierte a tipo de diámetro.

540 Se graban datos en tubos

550 - 700 Se imprimen datos de tubos

710 - 820 Rutina que permite verificar la existencia de los nodos externos de la tubería que se agrega.

TUBØSRE Carga de rutas de alimentación a los nodos

70 - 80 Se leen los datos de NODOS

90 - 100 Se leen datos de TUBOS

130 - 200 Se cargan las rutas de alimentación a cada nodo

140 - 170 Si es un nodo de alimentación el que lo antecede es cero, la tubería que lo une con el anterior es cero y su distancia es cero.

670 - 930 Se lee el nombre del nodo que antecede al estudiado.

680 - 770 Se verifica que el nodo anterior leído, existe.

780 - 910 Se verifica que la tubería que une al nodo anterior con el que lo antecede, exista

920 Inicializa en un número muy alto la distancia del nodo estudiado al de alimentación.

210 - 220 Se asignan caudales iniciales a las tuberías.

1310-1410 Se cargan caudales en tuberías.

1320-1350 Se leen caudales

1360-1400 Se corrigen caudales si han habido errores.

230 - 270 Se corrigen errores en rutas de alimentación.

280 - 350 Se calculan las distàncias de los diferentes nudos al de alimentación.

360 - 370 Se graban datos de rutas de alimentación en archivo RMC.

390 - 400 Se graban datos de caudales iniciales en tuberías en archivo QINIC.

410 - 530 Se imprimen características de las rutas de alimentación.

540 - 630 Se corrigen nodos de entrada y salida de las tuberías en base a las rutas de alimentación.

640 - 650 Se graban datos en archivo TUBOS.

CINCO2 Rutina de Rutas más Cortas.

70 - 100 Se asigna a todos los nodos una distancia muy grande 999999 al de alimentación.

90 - 100 Para el nodo de alimentación su distancia a él mismo es cero, el nodo que lo antecede es cero y la tubería que lo une con el anterior es cero.

120 - 450 Cálculo de las rutas más cortas para cada nodo.

160 - 380 Se busca toda tubería unida al nodo en estudio

200 - 220 Ruta más corta del nodo de entrada de la tubería.

230 - 240 Ruta más corta del nodo de salida de la tubería.

250 - 290 Verificación de-
factibilidad física del camino.

260 HØ debe ser mayor que la altura piezométrica del nodo estudiado

270 HØ debe ser mayor que la H. piezométrica - del nodo anterior al- estudiado.

290 No deben existir contracorrientes.

300 Evalúa la distancia del nodo estudiado como la- mínima del anterior más la longitud del tramo.

310 - 360 Toma la menor distancia al nodo,- se almacena el - nombre del que - lo antecede en - la ruta más corta y el nombre de -- la tubería que - los une.

390 - 430 Inversión del nombre de una tubería.

460 - 500 Se verifica si hay algún nodo inaccesible.

520 Perimite evitar impresión de resultados intermedios.

540 - 560 Impresión de resultados intermedios.

590 CHAIN SEIS2

620 CHAIN SIETE2

CINCO3 Revisión de rutas de alimentación por inversión - de caudal. (Las rutas de alimentación se han asignado por el proyectista).

70 - 250 Proceso para cada tubería.

90 - 120 Inversión del nombre de una- tubería en la cual hubo cambio de signo en el caudal.

130 - 240 Se identifican todos los nodos aguas abajo de la tubería que cambio de signo su - caudal y se consideran nodos problema.

260 - 460 Determinación de la nueva ruta de alimentación.

280 - 410 Proceso para cada nodo.

310 - 410 Se localiza una - tubería unida a - un nodo problema.

340 Si el nodo de entrada de esa tubería no es- nodo problema se calcula su distancia de alimentación.

360-390 Se selecciona la- menor de todas las -- distancias de alimentación de todos los - nodos problema.

420 - 450 Se asigna la distancia seleccionada al nodo correspondiente, así como también el- nodo que lo antecede y la tubería que los une. Este nodo ha dejado de pertenecer al - conjunto de los nodos problema.

470 CHAIN SIETE2

SEIS2 Asignación de caudales iniciales en tuberías

80 - 210 Proceso para cada tubería

90 - 120 Identifica las tuberías primarias.

140 - 170 Incrementa el caudal de la tubería, sumándole la descarga de los nodos aguas abajo de ella.

220 Si ha habido cambio en algún caudal se repite el proceso.

230 Permite evitar impresión de resultados intermedios.

240 - 270 Impresión de resultados intermedios.

280 CHAIN "SIETE2"

SIETE2 Inicialización de H. piezométricas críticas.

60 - 80 Inicializa H. piezométrica crítica de cada nodo en la h. mínima = COTA + presión mínima.

90 - 120 Inicializa la solución inicial de diámetros de tuberías en los diámetros mínimos.

130 CHAIN "OCHO2".

OCHO2 Determinación de alturas piezométricas críticas.

50 - 180 Para cada nodo

90 - 110 Se mueve aguas arriba del nodo terminal

120 Y concluye en el nodo de alimentación.

130 - 150 Selecciona como H. crítica del nodo a la mayor de las H. mínima del nodo o la H. crítica del nodo aguas abajo.

190 Permite evitar la impresión de resultados intermedios.

200 - 230 Impresión de resultados intermedios.

240 CHAIN NUEVE2.

NUEVE2 Selección de diámetros.

70 - 90 Inicializa los diámetros nuevos de todas las tuberías en diámetros mínimos.

100 - 160 Inicialización de indicador de nodos procesados en cero y de todos los arreglos-almacenadores de información de la optimización:

DIAMETROS (H , I)
COSTO ACUMULADO (S)
H. PIEZ. (Y)

170 -1280 Se continua el proceso hasta que todos - los nodos bayan sido procesados I7 = 0

180-1270 Proceso para cada nodo I1:

190 Se verifica si ya fue procesado.

200 - 360 Determinación de la posibilidad de trabajar con el nodo I1, - siempre que todos los nodos aguas abajo hayan sido procesados.

210 - 260 Verifica si todos-nodos aguas abajo-de I1 fueron procesados, almacena el nodo aguas abajo en el arreglo B.

310 - 350 Si es un nodo terminal en una cadena coloca el indicador de procesc en-1 y carga las alturas piezométricas-en la misma.

370 -1240 Proceso para cada nodo B(I6)-inmediatamente aguas abajo del nodo I1:

390 - 610 Determinación de-- todos los nodos a- guas abajo del no- do B(I6)

390 - 410 Inicialización en.0 del indi- cador de que - el nodo está a guas abajo de- B (I6) sobre - las rutas más- cortas. E(2,L2)=1

420 - 610 Determinación- de los nodos - aguas abajo -- del nodo B(I6) E(2, L2)=1

620 - 660 Inicializaciones:

620 Matríz de diá- metros opción- abajo - opción arriba = 0 U(K3, K4)=0

640 Inicialización de H. piezomé tricas de opcio nes representa- das por el va - lor superior del intervalo.

650 Inicialización- del costo de -- las opciones en un número muy - alto.

680 -1040 Proceso de optimización de la tubería-K2. Aguas abajo empieza de la opción-inferior a la superior.

700- Inicializa el tipo de diámetro - de la tubería K2 (K1) en el diámetro mínimo que - le corresponde.

710-750 Cálculo del valor de ALFA teórico de la tubería (H. piez. opción aguas arriba H. piez. opción-aguas abajo) $/L/Q^{1.85}$.

Si da menor o -- igual que cero - entonces no es - posible colocar - ninguna tubería-que de pérdidas-de carga negativa se coloca = N6

En caso contrario se asigna una tubería con un α inmediatamente - inferior. (Es decir, una tubería-comercial mayor)

780-790 Verificación de tuberías por velocidades.

800-900 Incremento de tipo de diámetro en caso de no cumplirse los requerimientos anteriores.

910-1020 Evalúa el costo de la alternativa y si es menos costosa la incluye en el costo C(2, K4) y en la matriz U.

1050-1220 Adopción de la solución definitiva para esa tubería aguas abajo de la opción superior a la inferior ↓ aguas arriba de la opción inferior a la superior.↑

1080-1100 Cálculo de H. piezométrica del nodo I1. Se toma la mayor del intervalo.

1110 Acumula el costo de la alternativa hasta el nodo I1.

1120-1130 Almacenaje de los diámetros de alternativa en las matrices I,H.

1140-1170 Actualización de-

alternativas a
guas abajo NUEVA
=H VIEJA=I.

1240 FIN B (I6)

1270 FIN I1

1290-1350 Selección de la alternativa más económica M4 de costo M3 (alternativa = combinación de diámetros)

1350-1430 Copia de diámetros de la opción seleccionada en el arreglo W(2, nodo alimentado) y verifica si han habido cambios en los diámetros en dos soluciones sucesivas.

1480-1740 Rutina de impresión auxiliar de resultados intermedios al final del estudio de cada tubería

1480-1530 H (opción, nodo)= tipo de diámetro de la tubería que alimenta al nodo en esa opción.

1540-1590 S (opción, nodo)= Costo acumulado hasta el nodo de la opción.

1600-1660 U (opción abajo, opción arriba) = tipo de diámetro correspondiente de la tubería estudiada para llegar desde la opción del nodo aguas

abajo hasta la opción del nodo a - guas arriba.

1670-1730 Y(opción, nodo) = H. piezométrica- del nodo para esa opción.

1750-1780 Impresión de tuberías y tipo de diámetros - resultante de la optimización.

1790 Encadenamiento al programa siguiente.

1800-1940 Rutina de espesores y costo de tubería K2 y de tipo de diámetro K1.

1810-1840 Selección de la cot más baja Z1 de los extremos de la tubería K2.

1850 Carga estática más desfavorable en -- gr/cm2.

1880-1900 Caso de tuberías - de espesor constante para un mismo - diámetro (hierro - fundido)

1910-1940 Caso de tuberías - de espesor variable para un mismo diámetro (acero).

ONCE2 Proceso de las tuberías secundarias

90 - 690 Proceso de las tuberías J1

100 - 120 Selección de una tubería secundaria (no aparece en el vector G(2,I1))

130 Impresión del nombre de la tubería secundaria a procesar

140 - 290 Determinación del circuito para la N-T J1.

150 - 170 Se inicializa el indicador de lazo --- X(2, J2) en cero para todas las tuberías.

180 Indicador de lazo - de la tubería secundaria en 1.

190 - 290 Para las tuberías - que alimentan al nodo de entradade la- tubería secundaria: +1.

Para las que alimentan al nodo de salida de las tuberías- secundarias: -1

320 - 340 Impresión auxiliar- del circuito

350 - 680 Aplicación del método de Cross para la tubería secundaria J1.

350 - [illegible] Inicializa tanto el numerador S1 como - el denominador S2 - en 0.

370 - 430 Para las tuberías - del lazo.

390-400 Cálculo del numerador:

$\sum L\alpha Q^{1.85} x(2,J2)*$
SGN Q

410-420 Cálculo del denominador:
$\sum \left| L\alpha Q^{0.85} \right|$

440 Cálculo del AQ; D1 = -S1/S2/1.85

480 - 560 Corrección de caudal.

500 - 550 Cambio de los extremos de la tubería secundaria si se produce caudal negativo en ella.

580 Cálculo de velocidad en tubería secundaria J1.

590 - 670 Incremento del diámetro de la tubería secundaria en caso de no cumplir los requerimientos de velocidades.

750 Permite impresión auxiliar.

760 - 790 Impresión auxiliar.

DOCE2 Determinación de alturas piezométricas reales en los nodos.

70 - Se asigna a todos los nodos el valor de H. piezométrica igual a cero.

80 - 100 Se asigna al nodo de alimentación su valor de altura piezométrica.

130 - 190 Determinación de las alturas piezométricas de los nodos unidos a algún nodo de H. piezométrica conocida.

170 Cálculo de la altura piezométrica del nodo como la altura piezométrica del nodo aguas -

arriba menos la pérdida de - carga producida por la tubería.

200 Se repite hasta haber calculado la altura piezométrica de todos los nodos.

210 - Permite la impresión de resultados intermedios.

220 - 250 Impresión de resultados intermedios.

270 CHAIN "QUINCE2"

TRECE2 Verificación de cambio de RMC por inversión de caudal debido a Cross.

70 - 150 Proceso para todas las tuberías

90 - 140 Proceso para las que tienen caudal negativo.

90 - Si las rutas de alimentación fueron asignadas por el proyectista entonces - CHAIN CINCO3

100- 130 Cambia el nombre de la tubería que cambió de signo, invirtiendo sus extremos.

190 - Se verifica si ya entregó el límite máximo de soluciones.

240 Se verifica si esta solución es igual a la solución anterior.

250 Se verifica si ya se entregó el límite-máximo de soluciones.

260 CHAIN NUEVE2

270 CHAIN CATORCE2

300 CHAIN QUINCE2

CATORCE2 Verificación de alturas piezométricas mínimas y velocidades.

70 - 110 Verifica que la altura piezométrica en cada nodo sea superior a la mínima requerida.

120 - 170 Verifica que la velocidad en cada tubería sea menor que la velocidad máxima permisible.

190 FIN SIN REPETIR R.M.C. ?

210 CHAIN QUINCE2

220 CHAIN CINCO2

QUINCE2 Rutina de impresión de soluciones.

100 - 190 Impresión de resultados de nodos
NODO TIPO Q descarga P. mínima Cota H. mínima H. final.

220 - 360 Impresión de resultados en tuberías
TUBO N. entrada N. salida D. Min.- D. definitiva CAUDAL Velocidad TIPO Espesor Longitud Costo del tramo.

310 : 720 - 860 Rutina de espesores y costo.

370 - 480 Impresión de datos generales

390 NODO de alimentación

400 H. piezométrica inicial

410 Error máximo cierre Cross

420 Número de tuberías

430 V. máxima permitida

440 Número de opciones estudiadas en P. dinámica.

450 Incremento de longitud por pérdidas menores.

460 Número de iteraciones de Cross.

470 Costo total de la solución

490 - 570 Verifica que la solución no haya entrado en un ciclo.

690 CHAIN TRECE2.

Al finalizar las modificaciones se procede a compilar nuevamente el grupo de programas. Se prefiere trabajar con el compilador de BASIC ya que es más eficiente que el interpretador.

Para la compilación de los programas se dispone de un programa en el EDITOR, llamado STRCEJT.
Se puede correr haciendo :

```
HELLO     N cuenta
STREAM    STRCEJT
```

Se puede obtener también un listado de todos los programas mediante otro programa en el EDITOR llamado STRLEJT.
Se hace :

```
STREAM    STRLEJT.
```

V. ANALISIS DE LA SENSIBILIDAD DEL COSTO DEL SISTEMA CON LA VARIACION DE DIFERENTES PARAMETROS DE DISEÑO.

En este capítulo se propone un ejemplo en el cual se desea mostrar la sensibilidad y tendencias de los resultados obtenidos mediante el programa anexo a la variación de distintos parámetros de diseño:

Velocidad máxima permisible, altura piezométrica de alimentación, tuberías existentes en la red, ubicación del nodo de alimentación, criterios de alimentación distintos al de rutas más cortas y posibilidad de alimentar por más de un estanque con igual cota piezométrica.

El ejemplo estudiado intenta representar un caso de distribución de agua por gravedad. Se trata de un estanque ubicado en una colina que sirve agua a una localidad mediante 18 tuberías y 13 nodos. En el gráfico anexo se pueden apreciar zonas de distinta densidad de población y por lo tanto con diferentes gastos de descarga en los nodos; así mismo, se prevee la posibilidad de un desarrollo futuro aguas abajo del nodo 13.

Se recomienda ver la figura anexa y las tablas de datos del ejemplo al final del capítulo.

Se ha establecido la influencia que los siguientes parámetros tienen en el costo del sistema:

1.- Usando el criterio de las rutas más cortas de alimentación:

1. Número de soluciones obtenidas
2. Velocidad máxima permisible en tuberías
3. Cota piezométrica de alimentación
4. Tuberías existentes
5. Incremento de la cota piezométrica de un nodo cualquiera
6. Diferentes ubicaciones para el nodo de alimentación

2.- Usando un criterio de alimentación perimetral:

1. Incremento de la cota piezométrica de un nodo cualquiera
2. Tuberías existentes

3.- Usando alimentación por dos estanques de igual cota piezométrica.

Se describe a continuación cada uno de los casos estudiados, se presentan los resultados obtenidos en forma tabular y gráfica.

V.1 USO DEL CRITERIO DE LAS RUTAS MAS CORTAS.

V.1.1 Influencia del número de soluciones obtenidas

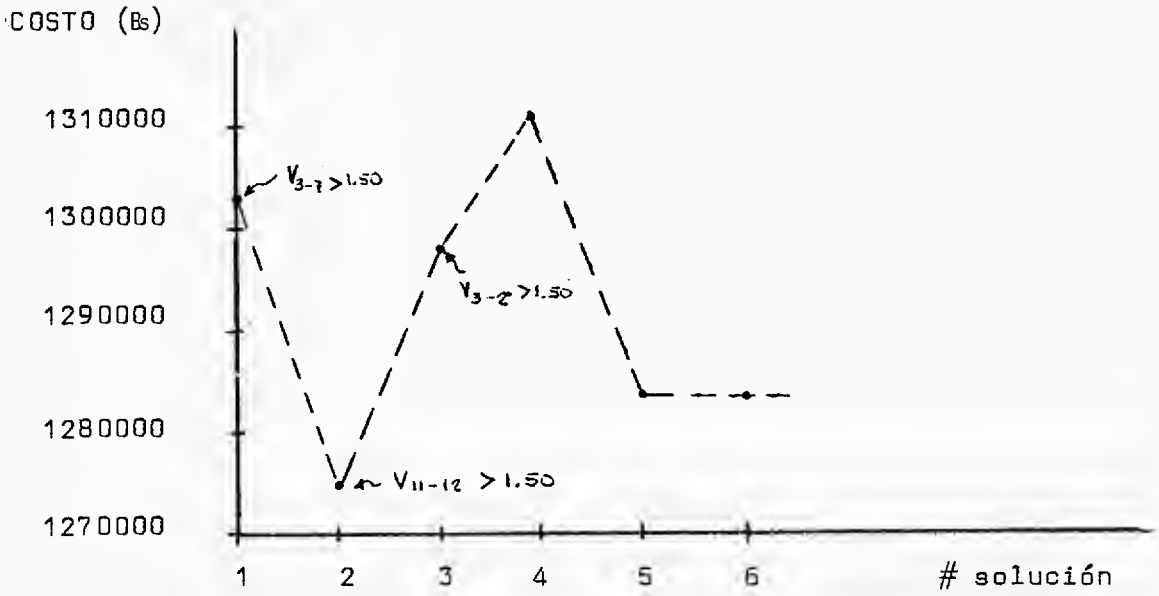
Se pretende mostrar en este caso la forma como el programa progresa en la búsqueda de la solución más económica del sistema de distribución propuesto.

Condiciones:

Cota piezométrica de alimentación = 200 m.
Velocidad máxima permisible = 1.5 m/seg.
Error máximo permitido de cierre en Cross = 0.1 m.

Resultados:

# SOLUCION	COSTO	OBSERVACIONES
1	1303160	Velocidad del tubo 3-7 = 1.51 > 1.50
2	1274870	Velocidad del tubo 11-12 = 1.51 > 1.50
3	1297350	Velocidad del tubo 3-2 = 1.51 > 1.50
4	1310850	
5	1283650	
6	1283650	



Comentarios:

Se puede apreciar como el programa va modificando la configuración de diámetros de las tuberías en la red hasta lograr en la cuarta solución una que satisface todos los requerimientos hidráulicos impuestos para esa configuración de diámetros, la distribución de caudales en las tuberías es tal que permite obtener una nueva solución aún más económica y que no sufre ninguna modificación por efecto del balanceo de caudales con el método de Cross.

Es conveniente destacar que si bien es cierto que para todos los fines prácticos una velocidad de 1.51 m/seg. en lugar de 1.50 m/seg. no puede considerarse un error y que desde el punto de vista de Ingeniería debería recomendarse la solución # 2 por ser la más económica, desde el punto de vista académico y para los efectos de este trabajo será considerado como error y desechada.

El tiempo de CPU utilizado fue de 77 segundos.

Hay que hacer notar que en algunos ejemplos más complejos, con tuberías existentes y con tuberías de diferentes materia

les, se observó la ocurrencia de un ciclo en las soluciones por lo cual se prevee el fin del proceso al detectarse esta condición y se da un mensaje indicativo del mismo.

V.1.2 Influencia velocidad máxima permisible en tuberías.

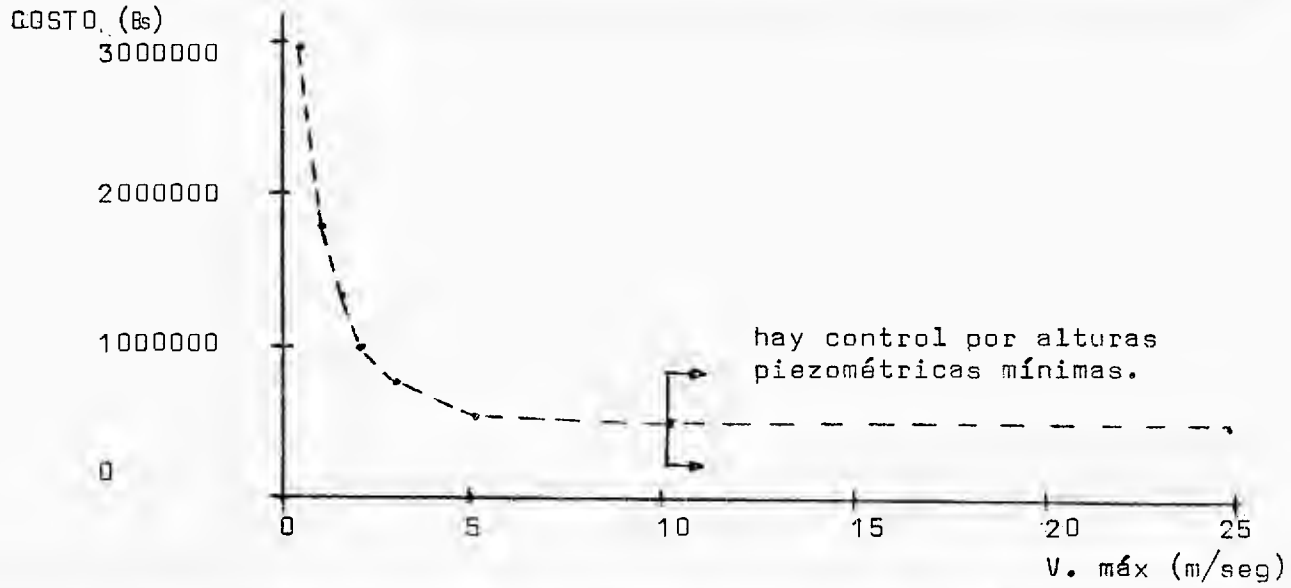
Condiciones:

Cota piezométrica de alimentación : 200

Error máximo permitido de cierre en Cross : 0.1 m.

Resultados:

	VELOCIDAD MAXIMA .-	COSTO MINIMO	TIEMPO CPU (seg)	Nº de SOLUCIONES	SOLUCION ESCOGIDA
a)	0.5	2902200	59	4	4
b)	1.0	1756980	47	4	4
c)	1.5	1283650	77	6	6
d)	2.0	973375	37	3	3
e)	3.0	748500	55	4	4
f)	5.0	574125	56	4	4
g)	10.0	552325	54	4	4
h)	25.0	552325	57	4	4



Comentarios:

Se puede observar que a medida que se aumenta la velocidad-máxima permisible en las tuberías se produce una disminución en los costos de la red, debido fundamentalmente a que se - permite el uso de tuberías de menor diámetro y por lo tanto más económicas.

Sin embargo, esta disminución de costos tiene un límite a - partir del cual independientemente del valor que tome la velocidad, el costo permanece constante ya que el diseño se ve controlado por las pérdidas de carga en las tuberías y las-alturas piezométricas mínimas en los nodos.

V.1.3 Influencia cota piezométrica de alimentación.

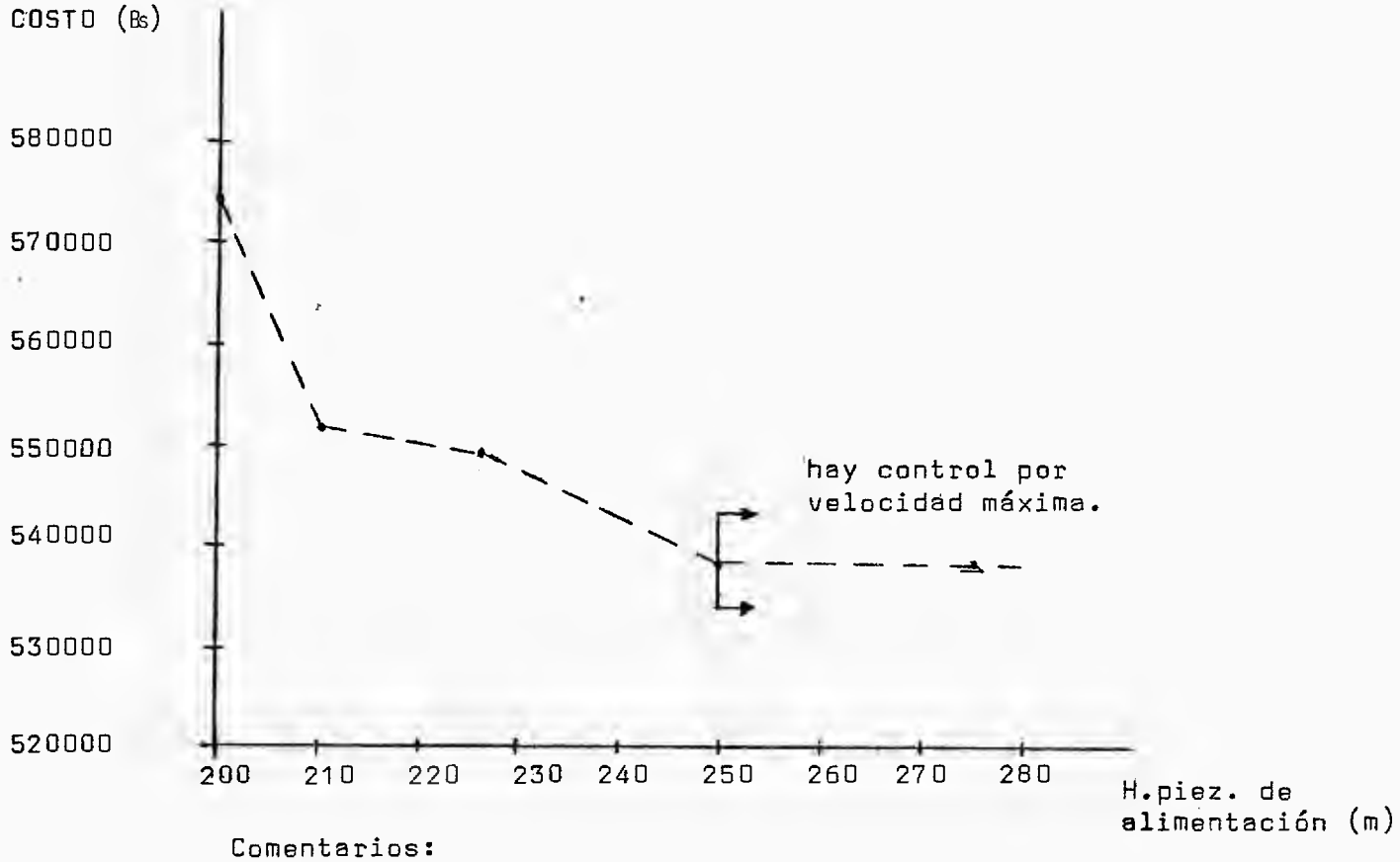
Condiciones:

Velocidad máxima permisible = 5 m/seg

Error máximo permisible en Cross = 0.1 m.

Resultados:

	H. piez. ALIMEN.	COSTO MINIMO	TIEMPO CPU (seg)	Nº DE SOLUCIONES	SOLUCION ESCOGIDA
a)	200	574125	56	4	4
b)	210	551575	81	4	4
c)	225	549575	122	3	3
d)	250	538575	48	3	3
e)	275	538575	36	3	3



Comentarios:

Se puede observar como al aumentar la cota piezométrica de alimentación se produce una disminución en los costos de la red, debido a que se aumenta el rango de pérdidas de carga admisibles y se pueden utilizar tuberías de menor diámetro y por lo tanto más económicas.

Sin embargo esta disminución de costos tiene un límite a partir del cual, aunque se incremente el valor de la cota piezométrica de alimentación, el costo del sistema permanece constante ya que el diseño se ve controlado por la velocidad máxima permisible en las tuberías.

V.1.4 Influencia de las tuberías existentes

Se da frecuentemente el caso de sistemas de distribución de agua que deben ser modificados con el fin de satisfacer in -

crementos en la demanda o en el servicio de agua, por lo tanto, puede resultar conveniente tratar de aprovechar algunas tuberías existentes en la red.

A continuación se ilustra la influencia de una tubería existente en dos situaciones diferentes.

1) Formando parte de las rutas más cortas. Tubería primaria.
2) Fuera de las rutas más cortas. Tubería secundaria.

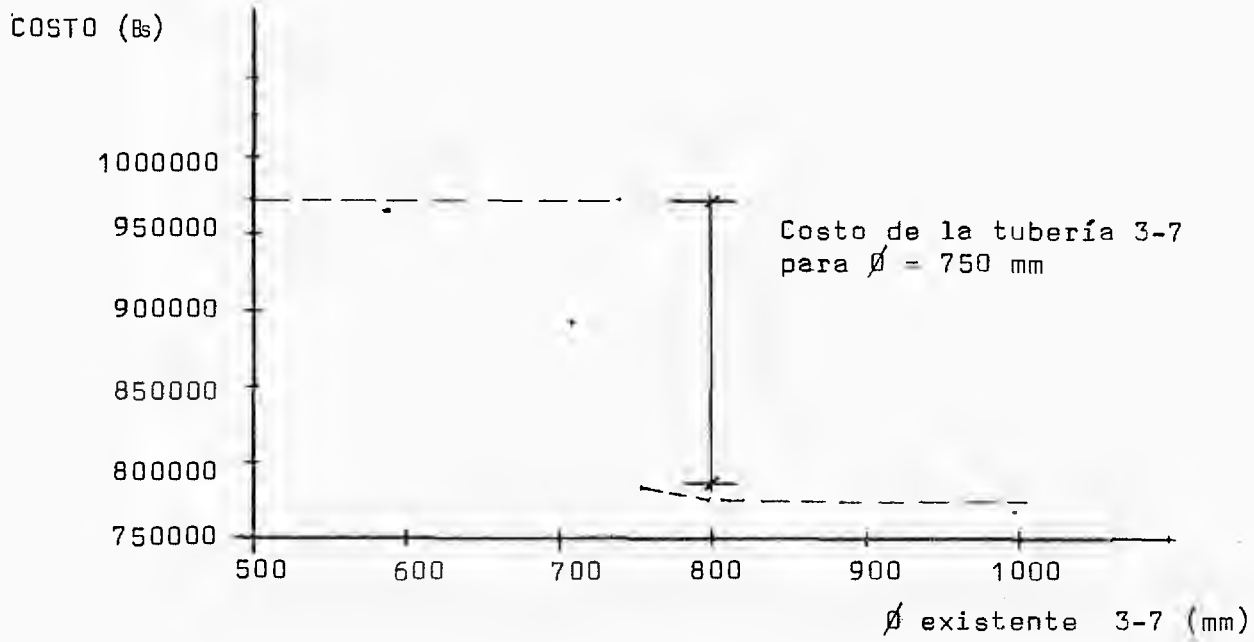
V.1.4.1 Tubería Primaria:

Condiciones:

Cota piezométrica de alimentación = 200 m.
Velocidad máxima permisible = 2 m/seg.
Error máximo permitido de cierre en Cross = 0.05 m.
Tubería primaria existente = 3-7

Resultados

	Diámetro Existente	Diámetro Definitivo	Costo Mínimo	Tiempo CPU (seg)	Nº de Soluciones	Solución Escogida
a)	500	750	973375	42	3	3
b)	600	750	973375	34	3	3
c)	750	750	781375	35	3	3
d)	800	800	759675	44	3	3
e)	1000	1000	759675	44	3	3



Comentarios:

Se puede apreciar que del diámetro de la tubería primaria - existente 3-7 menores de 750 no pueden ser aprovechados por el nuevo sistema sin violar alguno de los requerimientos de velocidades máximas permisibles o presiones mínimas en los- nodos, luego, el programa obliga a adoptar éste como diámetro definitivo y considera el costo del tramo.

Sin embargo, si el diámetro de la tubería existente 3-7 es- mayor que 750 m m si es aprovechado y el costo del tramo se considera igual a cero ya que es existente; se observa un - salto en la gráfica, cuya magnitud es precisamente el costo del tramo 3-7.

Si el diámetro de la tubería exsitente 3-7 es mayor que 750 mm puede darse el caso (para Ø = 800 en este ejemplo) de - una disminución adicional en el costo del sistema ya que -- las pérdidas de carga producidas por esta tubería se hacen- tan pequeñas que permiten diseñar el sistema aguas abajo de

la misma con tuberías de menor diámetro y por lo tanto más-económicas. Sin embargo, a partir del diámetro 800 m m. el diseño es controlado por la velocidad máxima permisible, -- por lo que el costo permanece constante.

V.1.4.2 Tubería Secundaria

Condiciones:

Cota piezométrica de alimentación = 200 m.

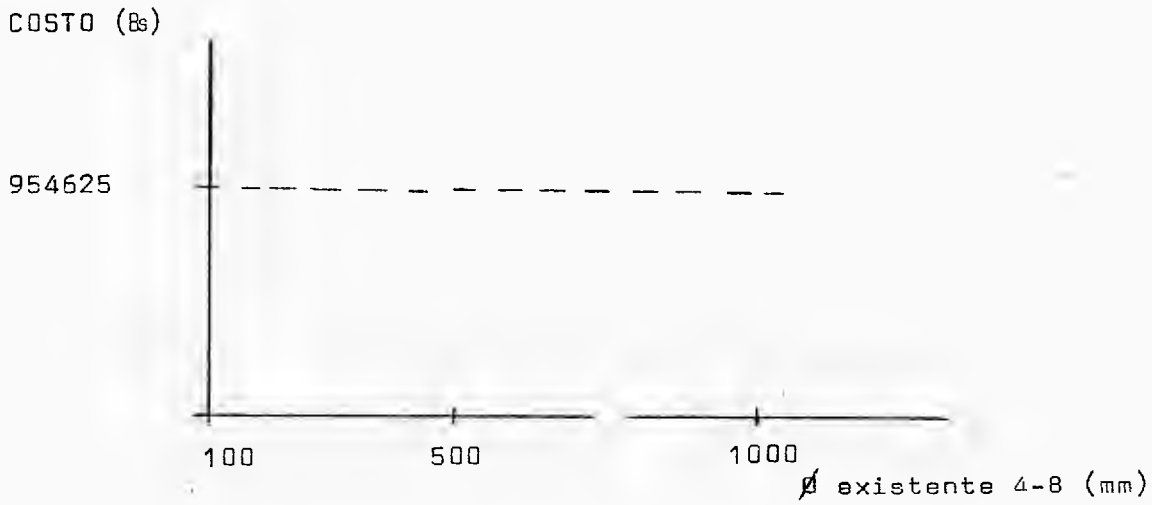
Velocidad máxima permisible = 2 m/seg.

Error máximo permisible de cierre en Cross = 0.05 m.

Tubería secundaria existente = 4-8

Resultados:

	Diámetro Existente	Diámetro Definiti	Costo mínimo.-	Tiempo CPU(seg)	Nº de Solucio.	Solución Escogida
a)	100	100	954625	46	3	3
b)	500	500	954625	40	3	3
c)	1000	1000	954625	37	3	3
d)	3000	3000	954625	38	3	3



Comentarios:

Si bien es cierto que en este caso particular no se observa variaciones del costo del sistema con la condición de existencia de una tubería secundaria, hay que destacar que puede darse el caso en que la influencia de una de estas tuberías sea tal en los caudales que circulan por el sistema que permita lograr una variación en los costos, inclusive puede llegar a modificar las rutas de alimentación y pasar ella - a formar parte del grupo de nuevas tuberías primarias.

Se ensayaron todas las tuberías secundarias de este ejemplo pero no se pudo lograr ilustrar el efecto del cambio en las rutas de alimentacíón.

V.1.5 Influencia del incremento de la cota piezométrica de un nodo cualquiera.

El interés fundamental de este caso es intentar producir -- una condición topográfica tal que sea preferible no usar el criterio de las rutas más cortas de alimentación. Se deben comparar los resultados obtenidos en este caso con los obtenidos en el caso V.2.1.

Condiciones:

Cota piezométrica de alimentación = 200 m.
Velocidad máxima permisible = 25 m/seg.
Error máximo permitido de cierre en Cross = 0.05 m.
Nodo en estudio = NODO 7

	COTA (7)	COSTO MINIMO	TIEMPO CPU (seg)	Nº DE SOLUCIONES	SOLUCION ESCOGIDA
a)	130	552325	62	4	4
b)	170	553325	52	4	4
c)	185	599325	45	3	3
d)	189	756125	31	5	5

El gráfico representativo de este caso se presenta en el ejemplo V.2.1.

Comentarios:

Se puede observar que al aumentar la cota del nodo el costo del sistema aumenta ya que se requiere que las tuberías aguas arriba del nodo en cuestión sean de mayor diámetro y por lo tanto produzcan menos pérdidas de carga.

V.1.6 Influencia de la localización del nodo de alimentación.

Aunque se ha restringido el estudio a sistemas de distribución de agua por gravedad, puede darse el caso que sea más conveniente ubicar el nodo en la zona central de la red y suministrar la cota piezométrica requerida mediante un sistema de bombeo.

A fin de hacer comparables las distintas localizaciones del nodo de alimentación, se procuró en todos los casos la misma altura de bombeo igual a 10 metros.

Condiciones:

Cota piezométrica de alimentación = 200 m.

Velocidad máxima permisible = 2 m/seg.

Error máximo permitido de cierre en Cross = 0.05 m.

Resultados:

	NODO DE ALIMENTACION	COSTO MINIMO	TIEMPO CPU(seg)	Nº DE SOLUCIONES	SOLUCION ESCOGIDA
a)	3	877975	43	3	3
b)	5	1239050	70	4	4
c)	7	721915	60	4	4
d)	13	1136750	50	3	3

Comentarios:

Se observa que el costo del sistema baja al acercarse el nodo de alimentación al centro de la red. Baja el costo del sistema de tuberías ya que las distancias desde los nodos -

de la red al nodo de alimentación es menor; sin embargo, se debe sumar el costo de la conducción del agua desde el punto de captación al nodo de alimentación y el costo de bombeo - necesario para incrementar la cota piezométrica de alimentación.

V.2 USO DE UN CRITERIO DE ALIMENTACION PERIMETRAL

Se ilustra a continuación el efecto que tiene sobre el costo del sistema un criterio de alimentación a los nodos diferente al de las rutas más cortas.

Se proponen las siguientes rutas de alimentación:

NODO	NODO ANTERIOR
1	0
2	3
3	1
4	3
5	4
6	2
7	3
8	4
9	8
10	6
11	10
12	8
13	12

V.2.1 Influencia del incremento de la cota piezométrica de un nodo cualquiera.

Se pretende estudiar las variaciones del costo del sistema al modificar la cota del nodo 7 de forma tal de poder comparar los resultados con los obtenidos en la sección V.1.5.

Condiciones:

Cota piezométrica de alimentación = 200 m.

Velocidad máxima permisible = 25 m/seg.

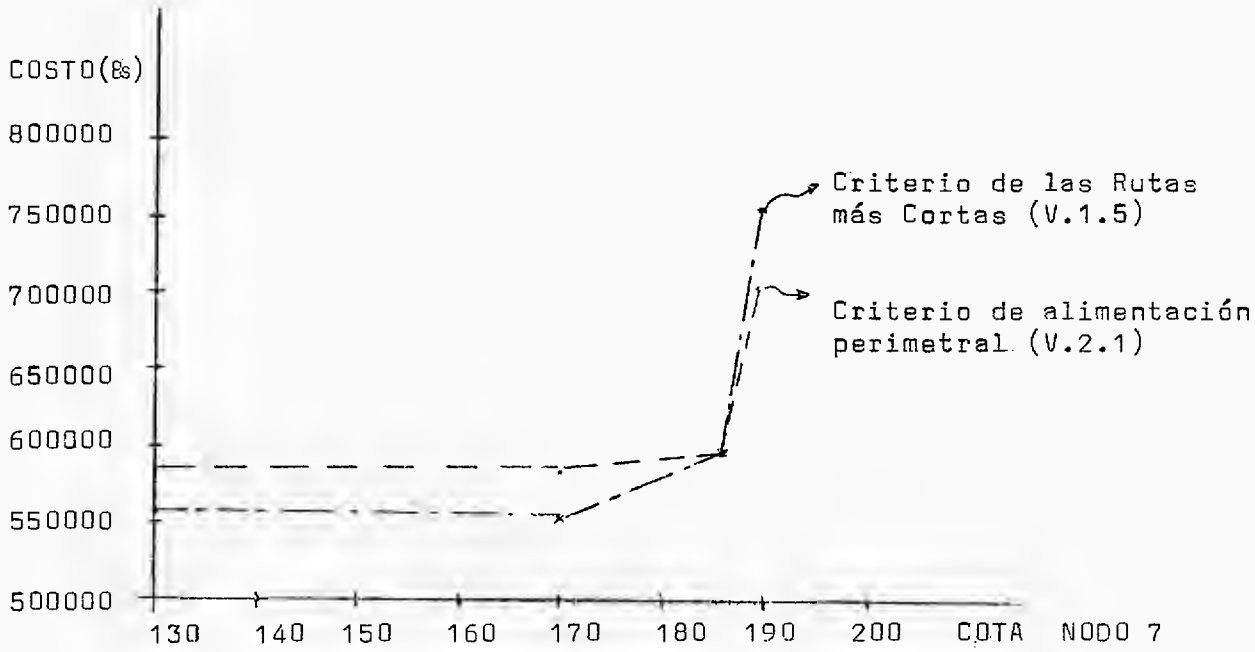
Error máximo permitido de cierre en Cross = 0.05 m.

Nodo en estudio = NODO 7

Rutas de alimentación a los nodos asignadas por el proyectista.

	COTA (7)	COSTO MINIMO	TIEMPO CPU(seg)	Nº DE SOLUCIONES	SOLUCION ESCOGIDA
A)	130	584425	61	5	5
b)	170	585075	58	4	4
c)	185	599325	88	8	8
d)	189	704475	63	5	5

Se presenta también el gráfico correspondiente al ejemplo V.1.5.



Comentarios:

Se puede observar que la tendencia de ambas curvas es similar, es decir, al aumentar la cota del nodo 7, aumenta el costo total de la red en virtud de que las tuberías aguas arriba del mismo deben ser mayores, aunque algunas tuberías aguas abajo pudiesen ser de menor diámetro.

Es interesante destacar cómo el criterio de las rutas más cortas de alimentación resulta en un diseño más económico en la mayoría de los casos; para una cota del nodo 7 = 185 ambos criterios dan el mismo resultado y para cotas del nodo 7 superiores a ese valor resulta más económico utilizar el criterio de una alimentación perimetral.

V.2.2 Influencia de las tuberías existentes:

Este caso es similar al V.1.4 estudiado anteriormente.
Se pretende analizar el comportamiento del sistema con las tuberías existentes cuando las rutas de alimentación han sido asignadas por el proyectista.
Se estudia la influencia de:

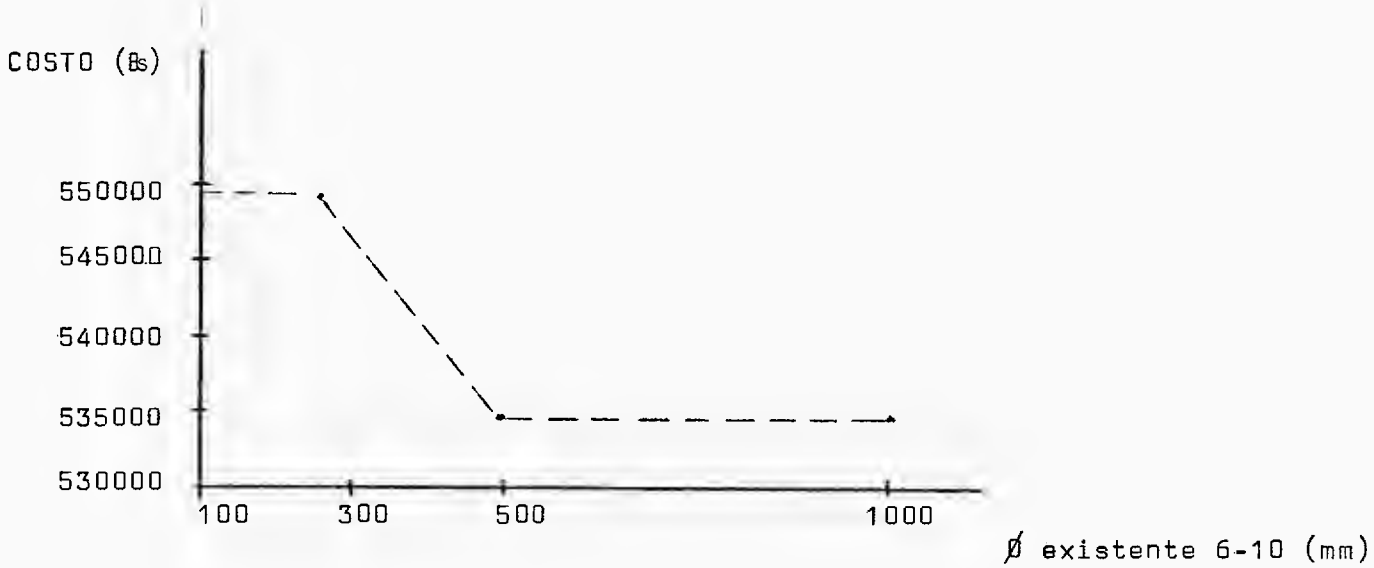
1) Tubería existente en las rutas de alimentación. Tubería primaria.
2) Tubería existente fuera de las rutas de alimentación. Tubería secundaria.

V.2.2.1 Tubería primaria:

Condiciones:
Cota piezométrica de alimentación = 200 m.
Velocidad máxima permisible =2.3 m/seg.
Error máximo permitido de cierre en Cross = 0.1 m.
Tubería primaria existente = 6-10

Resultados

	Diámetro Existente	Diámetro Definitivo	Costo Mínimo	Tiempo CPU (seg)	Nº de Soluciones	Solución Escogida
a)	300	300	549225	31	5	5
b)	500	500	536325	42	7	7
c)	1000	1000	536325	44	7	7



Comentarios: Similares a los del caso V.1.4.1.

V.2.2.2 Tubería secundaria:

Condiciones:

Cota piezométrica de alimentación = 200 m.

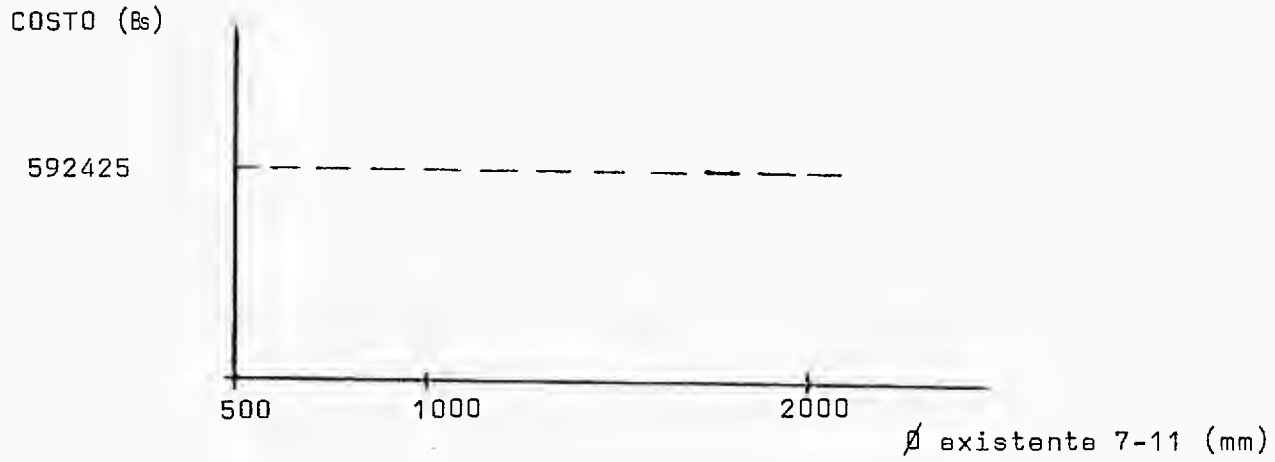
Velocidad máxima permisible = 25 m/seg.

Error máximo permitido de cierre en Cross = 0.1 m.

Tubería secundaria existente = 7-11

Resultados

	Diámetro Existente	Diámetro Definitivo	Costo Mínimo	Tiempo CPU (seg)	Nº de Soluciones	Solución Escogida
a)	500	500	592425	73	6	6
b)	1000	1000	592425	70	7	7
c)	2000	2000	592425	71	7	7



Comentarios: Similares a los del caso V.1.4.2.

V.3 ALIMENTACION POR DOS ESTANQUES DE IGUAL COTA PIEZOMETRICA

Se ilustra a continuación otro de los casos que puede ser manejado en forma satisfactoria por el programa.
Consiste en alimentar el sistema mediante más de un estanque con igual cota piezométrica. La única variante que se

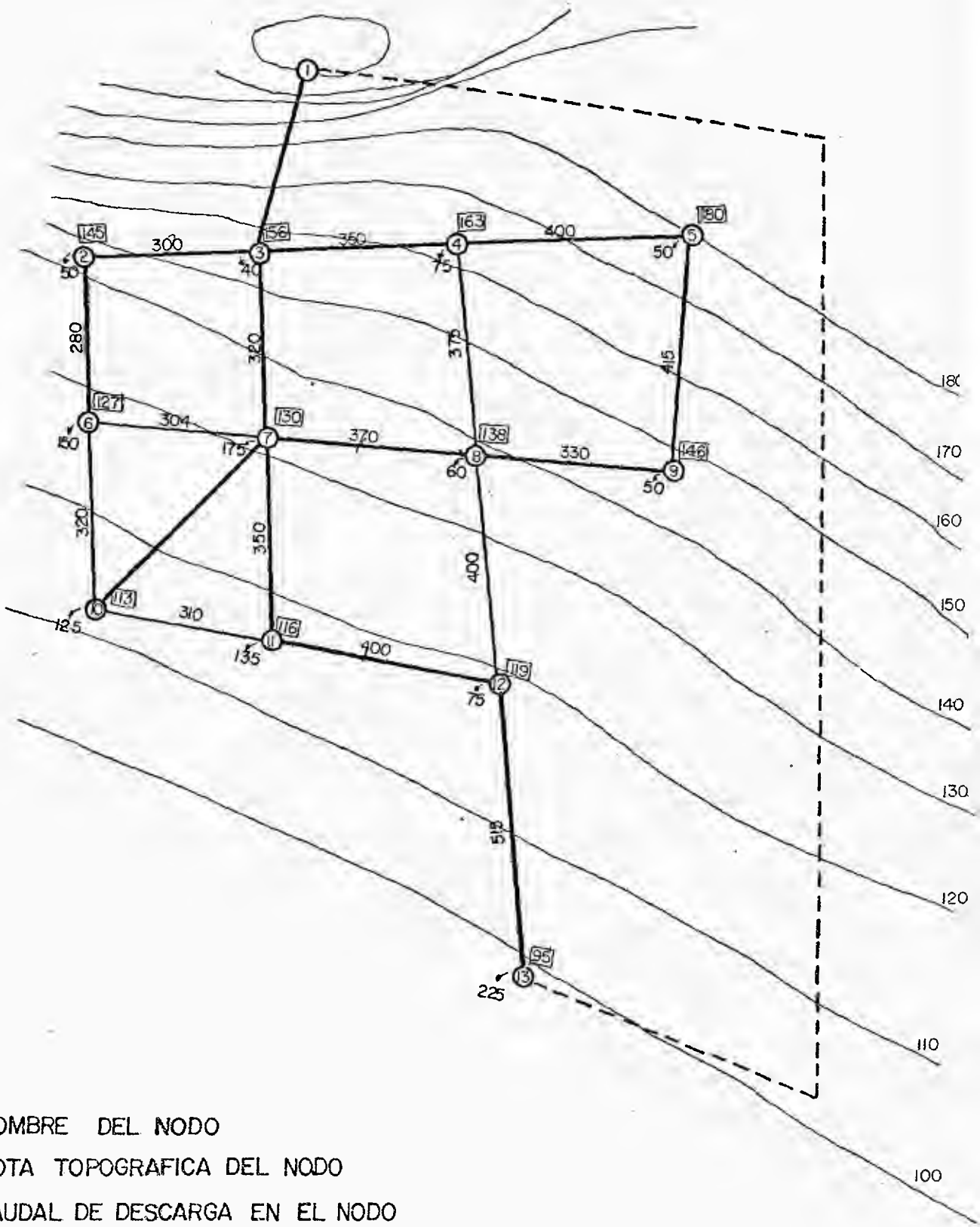
introduce es la creación de una serie de tuberías ficticias de longitud cero, que vinculan los distintos estanques a uno sólo, considerado como principal.

Se consideraron dos estanques localizados en los nodos 1 y 13, por lo tanto se incluye tambien la tubería #19 = 1-13 de longitud cero. (Ver resultados al final del capítulo)

Condiciones:
Cota piezométrica de alimentación = 200 m.
Velocidad máxima permisible = 2 m/seg.
Error máximo permitido de cierre en Cross = 0.1 m.
Nodos de alimentación = 1 y 13.

Resultados:
El costo total del sistema fue de 684125 Bs.

Comentarios:
Al hacer una comparación entre este costo y el de la solución obtenida en el caso V.1.2.d de condiciones similares e igual a 973375 Bs. se puede apreciar que aparentemente resulta más conveniente alimentar por dos estanques; sin embargo, se debe evaluar el costo debido a la construcción del estanque en el nodo 13 y a los posibles sistemas de bombeo requeridos en ese punto para lograr la cota piezométrica de alimentación requerida.



○ NOMBRE DEL NODO

▭ COTA TOPOGRAFICA DEL NODO

✓ CAUDAL DE DESCARGA EN EL NODO

EL NUMERO SOBRE CADA TRAMO INDICA LA LONGITUD DEL MISMO

TABLA DE DIAMETROS COMERCIALES
DEL EJEMPLO ESTUDIADO

	DIAMETRO	ALFA	MATERIAL	ESP.MIN	COSTO
1	100.00	2.331E-04	1.00	.00	50.00
2	150.00	3.235E-05	1.00	.00	55.00
3	200.00	7.970E-06	1.00	.00	65.00
4	250.00	2.688E-06	1.00	.00	85.00
5	300.00	1.106E-06	1.00	.00	110.00
6	350.00	5.222E-07	1.00	.00	150.00
7	400.00	2.725E-07	1.00	.00	185.00
8	450.00	1.536E-07	1.00	.00	230.00
9	500.00	9.193E-08	1.00	.00	275.00
10	550.00	5.779E-08	1.00	.00	335.00
11	600.00	3.783E-08	1.00	.00	390.00
12	650.00	2.562E-08	1.00	.00	455.00
13	700.00	1.786E-08	1.00	.00	525.00
14	750.00	1.276E-08	1.00	.00	600.00
15	800.00	9.320E-09	1.00	.00	680.00
16	850.00	6.937E-09	1.00	.00	760.00
17	900.00	5.252E-09	1.00	.00	845.00
18	950.00	4.036E-09	1.00	.00	950.00
19	1000.00	3.144E-09	1.00	.00	1050.00
20	1500.00	4.364E-10	1.00	.00	1500.00
21	2000.00	1.075E-10	1.00	.00	2000.00
22	2500.00	3.626E-11	1.00	.00	2500.00
23	3000.00	1.492E-11	1.00	.00	3000.00
24	9999.00	0.000E+00	1.00	.00	

**1E10

TABLA DE DATOS DE NODOS

NODO	TIPO	Q.DESCARGA (LT/SEG)	P.MINIMA (M)	COTA (M)
1	1	.00	60.00	190.00
2	0	50.00	10.00	145.00
3	0	90.00	10.00	156.00
4	0	75.00	10.00	163.00
5	0	50.00	10.00	180.00
6	0	150.00	10.00	127.00
7	0	175.00	10.00	130.00
8	0	60.00	10.00	138.00
9	0	50.00	10.00	146.00
10	0	125.00	10.00	113.00
11	0	135.00	10.00	116.00
12	0	75.00	10.00	119.00
13	0	225.00	10.00	95.00

TABLA DE DATOS DE TUBERIAS

TUBERIA	NODO ENTRADA	NODO SALIDA	LONGITUD (M)	D.MINIMO (MM)	TIPO
1	1	3	120.00	100.00	0
2	2	3	300.00	100.00	0
3	3	4	350.00	100.00	0
4	4	5	400.00	100.00	0
5	6	7	304.00	100.00	0
6	7	8	370.00	100.00	0
7	8	9	330.00	100.00	0
8	10	11	310.00	100.00	0
9	11	12	400.00	100.00	0
10	2	6	280.00	100.00	0
11	3	7	320.00	100.00	0
12	4	8	375.00	100.00	0
13	5	9	415.00	100.00	0
14	6	10	320.00	100.00	0
15	7	10	410.00	100.00	0
16	7	11	350.00	100.00	0
17	8	12	400.00	100.00	0
18	12	13	515.00	100.00	0

V. MAXIMA PERMITIDA EN TUBERIAS= 2

DATOS FINALES CASO V.1.1

NODOS

NODO	TIPO	Q.DESCARGA (LT/SEG)	P.MINIMA (M)	COTA (M)	H.MIN (M)	H.FINAL (M)
1	1	.00	10.00	190.00	200.00	200.00
2	0	50.00	10.00	145.00	155.00	199.18
3	0	90.00	10.00	156.00	166.00	199.37
4	0	75.00	10.00	163.00	173.00	198.38
5	0	50.00	10.00	180.00	190.00	196.70
6	0	150.00	10.00	127.00	137.00	198.45
7	0	175.00	10.00	130.00	140.00	199.32
8	0	60.00	10.00	138.00	148.00	197.98
9	0	50.00	10.00	146.00	156.00	196.66
10	0	125.00	10.00	113.00	123.00	197.94
11	0	135.00	10.00	116.00	126.00	198.56
12	0	75.00	10.00	119.00	129.00	197.62
13	0	225.00	10.00	95.00	105.00	195.66

TUBERIAS

TUBO	NODO ENTR	NODO SAL	D.MIN (MM)	D.DEF (MM)	CAUDAL (LT/SEG)	VELOCIDAD (M/SEG)	TIPO	ESP (MM)	LONG (M)	COSTO (BS)
1	1	3	100	1500	1260.00	.71	0	.0	120.00	180000.00
2	3	2	100	450	184.86	1.16	0	.0	300.00	69000.00
3	3	4	100	350	127.80	1.33	0	.0	350.00	52500.00
4	4	5	100	250	50.63	1.03	0	.0	400.00	34000.00
5	7	6	100	200	22.87	.73	0	.0	304.00	19760.00
6	7	8	100	350	112.97	1.17	0	.0	370.00	55500.00
7	8	9	100	250	49.37	1.01	0	.0	330.00	28050.00
8	11	10	100	150	8.77	.50	0	.0	310.00	17050.00
9	11	12	100	550	294.24	1.24	0	.0	400.00	134000.00
10	2	6	100	400	134.86	1.07	0	.0	280.00	51800.00
11	3	7	100	850	857.35	1.51	0	.0	320.00	243200.00
12	4	8	100	100	2.16	.28	0	.0	375.00	18750.00
13	5	9	100	100	.63	.08	0	.0	415.00	20750.00
14	6	10	100	150	7.73	.44	0	.0	320.00	17600.00
15	7	10	100	350	108.49	1.13	0	.0	410.00	61500.00
16	7	11	100	650	438.01	1.32	0	.0	350.00	159250.00
17	8	12	100	150	5.76	.33	0	.0	400.00	22000.00
18	12	13	100	450	225.00	1.41	0	.0	515.00	118450.00

```
DATOS GENERALES
NODO DE ALIMENTACION=  1
H.PIEZOMETRICA INICIAL= 200
ERROR MAXIMO CIERRE CROSS= .1          M
NUMERO DE TUBERIAS= 18
V.MAXIMA PERMITIDA= 1.5          M/SEG
NUMERO DE OPCIONES ESTUDIADAS PARA P.DINAMICA= 5
INCREMENTO DE LONGITUD POR PERDIDAS MENORES= 10   %
NUMERO DE ITERACIONES DE CROSS=  30
EL COSTO TOTAL ES= 1.30316E+06   Bs
```

DATOS FINALES

NODOS

NODO	TIPO	Q.DESCARGA (LT/SEG)	P.MINIMA (M)	COTA (M)	H.MIN (M)	H.FINAL (M)
1	1	.00	10.00	190.00	200.00	200.00
2	0	50.00	10.00	145.00	155.00	198.63
3	0	90.00	10.00	156.00	166.00	199.37
4	0	75.00	10.00	163.00	173.00	198.41
5	0	50.00	10.00	180.00	190.00	196.78
6	0	150.00	10.00	127.00	137.00	197.32
7	0	175.00	10.00	130.00	140.00	199.47
8	0	60.00	10.00	138.00	148.00	198.16
9	0	50.00	10.00	146.00	156.00	196.79
10	0	125.00	10.00	113.00	123.00	197.73
11	0	135.00	10.00	116.00	126.00	198.72
12	0	75.00	10.00	119.00	129.00	197.20
13	0	225.00	10.00	95.00	105.00	195.25

TUBERIAS

TUBO	NODO ENTR	NODO SAL	D.MIN (MM)	D.DEF (MM)	CAUDAL (LT/SEG)	VELOCIDAD (M/SEG)	TIPO	ESP (MM)	LONG (M)	COSTO (BS)
1	1	3	100	1500	1260.00	.71	0	.0	120.00	180000.00
2	3	2	100	400	180.15	1.43	0	.0	300.00	55500.00
3	3	4	100	350	126.46	1.31	0	.0	350.00	52500.00
4	4	5	100	250	49.77	1.01	0	.0	400.00	34000.00
5	7	6	100	150	17.47	.99	0	.0	304.00	16720.00
6	7	8	100	350	111.88	1.16	0	.0	370.00	55500.00
7	8	9	100	250	50.23	1.02	0	.0	330.00	28050.00
8	11	10	100	100	3.91	.50	0	.0	310.00	15500.00
9	11	12	100	500	296.66	1.51	0	.0	400.00	110000.00
10	2	6	100	350	130.15	1.35	0	.0	280.00	42000.00
11	3	7	100	900	863.39	1.36	0	.0	320.00	270400.00
12	4	8	100	100	1.69	.22	0	.0	375.00	18750.00
13	9	5	100	100	.23	.03	0	.0	415.00	20750.00
14	10	6	100	100	2.38	.30	0	.0	320.00	16000.00
15	7	10	100	350	123.47	1.28	0	.0	410.00	61500.00
16	7	11	100	650	435.57	1.31	0	.0	350.00	159250.00
17	9	12	100	100	3.34	.43	0	.0	400.00	20000.00
18	12	13	100	450	225.00	1.41	0	.0	515.00	118450.00

```
DATOS GENERALES
NODO DE ALIMENTACION=  1
H PIEZOMETRICA INICIAL= 200
ERROR MAXIMO CIERRE CROSS= .1          M
NUMERO DE TUBERIAS= 18
V.MAXIMA PERMITIDA= 1.5          M/SEG
NUMERO DE OPCIONES ESTUDIADAS PARA P.DINAMICA= 5
INCREMENTO DE LONGITUD POR PERDIDAS MENORES= 10    %
NUMERO DE ITERACIONES DE CROSS=  36
EL COSTO TOTAL ES= 1.27487E+06    Bs
```

DATOS FINALES

NODOS

NODO	TIPO	Q.DESCARGA (LT/SEG)	P.MINIMA (M)	COTA (M)	H.MIN (M)	H.FINAL (M)
1	1	.00	10.00	190.00	200.00	200.00
2	0	50.00	10.00	145.00	155.00	198.49
3	0	90.00	10.00	156.00	166.00	199.97
4	0	75.00	10.00	163.00	173.00	198.42
5	0	50.00	10.00	180.00	190.00	196.30
6	0	150.00	10.00	127.00	137.00	196.98
7	0	175.00	10.00	130.00	140.00	199.48
8	0	60.00	10.00	138.00	148.00	198.19
9	0	50.00	10.00	146.00	156.00	196.81
10	0	125.00	10.00	113.00	123.00	197.71
11	0	135.00	10.00	116.00	126.00	198.72
12	0	75.00	10.00	119.00	129.00	197.76
13	0	225.00	10.00	95.00	105.00	195.81

TUBERIAS

TUBO	NODO ENTR	NODO SAL	D.MIN (MM)	D.DEF (MM)	CAUDAL (LT/SEG)	VELOCIDAD (M/SEG)	TIPO	ESP (MM)	LONG (M)	COSTO (BS)
1	1	3	100	1500	1260.00	.71	0	.0	120.00	180000.00
2	3	2	100	400	190.22	1.51	0	.0	300.00	55500.00
3	3	4	100	350	126.23	1.31	0	.0	350.00	52500.00
4	4	5	100	250	49.63	1.01	0	.0	400.00	34000.00
5	7	6	100	100	6.52	.83	0	.0	304.00	15200.00
6	7	8	100	350	110.93	1.15	0	.0	370.00	55500.00
7	8	9	100	250	50.37	1.03	0	.0	330.00	28050.00
8	11	10	100	100	3.95	.50	0	.0	310.00	15500.00
9	11	12	100	550	297.84	1.25	0	.0	400.00	134000.00
10	2	6	100	350	140.22	1.46	0	.0	280.00	42000.00
11	3	7	100	900	853.55	1.34	0	.0	320.00	270400.00
12	4	8	100	100	1.60	.20	0	.0	375.00	18750.00
13	9	5	100	100	.37	.05	0	.0	415.00	20750.00
14	10	6	100	100	3.27	.42	0	.0	320.00	16000.00
15	7	10	100	350	124.31	1.29	0	.0	410.00	61500.00
16	7	11	100	650	436.79	1.32	0	.0	350.00	159250.00
17	8	12	100	100	2.16	.27	0	.0	400.00	20000.00
18	12	13	100	450	225.00	1.41	0	.0	515.00	118450.00

```
DATOS GENERALES
NODO DE ALIMENTACION=  1
H.PIEZOMETRICA INICIAL= 200
ERROR MAXIMO CIERRE CROSS= .1          M
NUMERO DE TUBERIAS= 18
V.MAXIMA PERMITIDA= 1.5          M/SEG
NUMERO DE OPCIONES ESTUDIADAS PARA P.DINAMICA= 5
INCREMENTO DE LONGITUD POR PERDIDAS MENORES= 10    %
NUMERO DE ITERACIONES DE CROSS=  24
EL COSTO TOTAL ES= 1.29735E+06   Bs
```

DATOS FINALES

NODOS

NODO	TIPO	Q.DESCARGA (LT/SEG)	P.MINIMA (M)	COTA (M)	H.MIN (M)	H.FINAL (M)
1	1	.00	10.00	190.00	200.00	200.00
2	0	50.00	10.00	145.00	155.00	199.11
3	0	90.00	10.00	156.00	166.00	199.97
4	0	75.00	10.00	163.00	173.00	198.42
5	0	50.00	10.00	180.00	190.00	196.80
6	0	150.00	10.00	127.00	137.00	197.56
7	0	175.00	10.00	130.00	140.00	199.48
8	0	60.00	10.00	138.00	148.00	198.19
9	0	50.00	10.00	146.00	156.00	196.82
10	0	125.00	10.00	113.00	123.00	197.76
11	0	135.00	10.00	116.00	126.00	198.73
12	0	75.00	10.00	119.00	129.00	197.77
13	0	225.00	10.00	95.00	105.00	195.81

TUBERIAS

TUBO	NODO ENTR	NODO SAL	D.MIN (MM)	D.DEF (MM)	CAUDAL (LT/SEG)	VELOCIDAD (M/SEG)	TIPO	ESP (MM)	LONG (M)	COSTO (BS)
1	1	3	100	1500	1260.00	.71	0	.0	120.00	180000.00
2	3	2	100	450	192.71	1.21	0	.0	300.00	65000.00
3	3	4	100	350	126.21	1.31	0	.0	350.00	52500.00
4	4	5	100	250	49.62	1.01	0	.0	400.00	34000.00
5	7	6	100	100	5.65	.72	0	.0	304.00	15200.00
6	7	8	100	350	110.94	1.15	0	.0	370.00	55500.00
7	8	9	100	250	50.38	1.03	0	.0	330.00	28050.00
8	11	10	100	100	3.88	.49	0	.0	310.00	15500.00
9	11	12	100	550	297.84	1.25	0	.0	400.00	134000.00
10	2	6	100	350	142.71	1.48	0	.0	280.00	42000.00
11	3	7	100	900	851.07	1.34	0	.0	320.00	270400.00
12	4	8	100	100	1.59	.20	0	.0	375.00	18750.00
13	9	5	100	100	.38	.05	0	.0	415.00	20750.00
14	10	6	100	100	1.64	.21	0	.0	320.00	16000.00
15	7	10	100	350	122.76	1.28	0	.0	410.00	61500.00
16	7	11	100	650	436.73	1.32	0	.0	350.00	159250.00
17	8	12	100	100	2.16	.27	0	.0	400.00	20000.00
18	12	13	100	450	225.00	1.41	0	.0	515.00	118450.00

```
DATOS GENERALES
NODO DE ALIMENTACION=  1
H.PIEZOMETRICA INICIAL= 200
ERROR MAXIMO CIERRE CROSS= .1          M
NUMERO DE TUBERIAS= 18
V.MAXIMA PERMITIDA= 1.5          M/SEG
NUMERO DE OPCIONES ESTUDIADAS PARA P.DINAMICA= 5
INCREMENTO DE LONGITUD POR PERDIDAS MENORES= 10    %
NUMERO DE ITERACIONES DE CROSS=  12
EL COSTO TOTAL ES= 1.31085E+06   Bs
```

DATOS FINALES

NODOS

NODO	TIPO	Q.DESCARGA (LT/SEG)	P.MINIMA (M)	COTA (M)	H.MIN (M)	H.FINAL (M)
1	1	.00	10.00	190.00	200.00	200.00
2	0	50.00	10.00	145.00	155.00	199.11
3	0	90.00	10.00	156.00	166.00	199.37
4	0	75.00	10.00	163.00	173.00	198.39
5	0	50.00	10.00	180.00	190.00	196.73
6	0	150.00	10.00	127.00	137.00	197.53
7	0	175.00	10.00	130.00	140.00	199.33
8	0	60.00	10.00	138.00	148.00	198.06
9	0	50.00	10.00	146.00	156.00	196.72
10	0	125.00	10.00	113.00	123.00	197.62
11	0	135.00	10.00	116.00	126.00	198.57
12	0	75.00	10.00	119.00	129.00	197.61
13	0	225.00	10.00	95.00	105.00	195.66

TUBERIAS

TUBO	NODO ENTR	NODO SAL	D.MIN (MM)	D.DEF (MM)	CAUDAL (LT/SEG)	VELOCIDAD (M/SEG)	TIPO	ESP (MM)	LONG (M)	COSTO (BS)
1	1	3	100	1500	1260.00	.71	0	.0	120.00	180000.00
2	3	2	100	450	193.54	1.22	0	.0	300.00	69000.00
3	3	4	100	350	127.31	1.32	0	.0	350.00	52500.00
4	4	5	100	250	50.32	1.03	0	.0	400.00	34000.00
5	7	6	100	100	5.45	.69	0	.0	304.00	15200.00
6	7	8	100	350	109.91	1.14	0	.0	370.00	55500.00
7	8	9	100	250	49.68	1.01	0	.0	330.00	28050.00
8	11	10	100	100	3.84	.49	0	.0	310.00	15500.00
9	11	12	100	550	297.79	1.25	0	.0	400.00	134000.00
10	2	6	100	350	143.54	1.49	0	.0	280.00	42000.00
11	3	7	100	850	849.16	1.50	0	.0	320.00	243200.00
12	4	8	100	100	1.99	.25	0	.0	375.00	18750.00
13	5	9	100	100	.32	.04	0	.0	415.00	20750.00
14	10	8	100	100	1.02	.13	0	.0	320.00	16000.00
15	7	10	100	350	122.18	1.27	0	.0	410.00	61500.00
16	7	11	100	650	436.62	1.32	0	.0	350.00	159250.00
17	8	12	100	100	2.21	.28	0	.0	400.00	20000.00
18	12	13	100	450	225.00	1.41	0	.0	515.00	118450.00

```
DATOS GENERALES
NODO DE ALIMENTACION=  1
H PIEZOMETRICA INICIAL= 200
ERROR MAXIMO CIERRE CROSS= .1          M
NUMERO DE TUBERIAS= 18
V.MAXIMA PERMITIDA= 1.5          M/SEG
NUMERO DE OPCIONES ESTUDIADAS PARA P.DINAMICA= 5
INCREMENTO DE LONGITUD POR PERDIDAS MENORES= 10    %
NUMERO DE ITERACIONES DE CROSS=  12
EL COSTO TOTAL ES= 1.28365E+06   Bs
```

DATOS FINALES

NODOS

NODO	TIPO	Q.DESCARGA (LT/SEG)	P.MINIMA (M)	COTA (M)	H.MIN (M)	H.FINAL (M)
1	1	.00	10.00	190.00	200.00	200.00
2	0	50.00	10.00	145.00	155.00	199.11
3	0	90.00	10.00	156.00	166.00	199.97
4	0	75.00	10.00	163.00	173.00	198.39
5	0	50.00	10.00	180.00	190.00	196.73
6	0	150.00	10.00	127.00	137.00	197.53
7	0	175.00	10.00	130.00	140.00	199.33
8	0	60.00	10.00	138.00	148.00	198.06
9	0	50.00	10.00	146.00	156.00	196.72
10	0	125.00	10.00	113.00	123.00	197.62
11	0	135.00	10.00	116.00	126.00	198.57
12	0	75.00	10.00	119.00	129.00	197.61
13	0	225.00	10.00	95.00	105.00	195.66

TUBERIAS

TUBO	NODO ENTR	NODO SAL	D.MIN (MM)	D.DEF (MM)	CAUDAL (LT/SEG)	VELOCIDAD (M/SEG)	TIPO	ESP (MM)	LONG (M)	COSTO (BS)
1	1	3	100	1500	1260.00	.71	0	.0	120.00	180000.00
2	3	2	100	450	193.53	1.22	0	.0	300.00	69000.00
3	3	4	100	350	127.28	1.32	0	.0	350.00	52500.00
4	4	5	100	250	50.31	1.02	0	.0	400.00	34000.00
5	7	6	100	100	5.45	.69	0	.0	304.00	15200.00
6	7	8	100	350	109.94	1.14	0	.0	370.00	55500.00
7	8	9	100	250	49.69	1.01	0	.0	330.00	28050.00
8	11	10	100	100	3.83	.49	0	.0	310.00	15500.00
9	11	12	100	550	297.79	1.25	0	.0	400.00	134000.00
10	2	6	100	350	143.53	1.49	0	.0	280.00	42000.00
11	3	7	100	850	849.19	1.50	0	.0	320.00	243200.00
12	4	8	100	100	1.96	.25	0	.0	375.00	18750.00
13	5	9	100	100	.31	.04	0	.0	415.00	20750.00
14	10	6	100	100	1.02	.13	0	.0	320.00	16000.00
15	7	10	100	350	122.18	1.27	0	.0	410.00	61500.00
16	7	11	100	650	436.62	1.32	0	.0	350.00	159250.00
17	8	12	100	100	2.21	.28	0	.0	400.00	20000.00
18	12	13	100	450	225.00	1.41	0	.0	515.00	118450.00

```
DATOS GENERALES
NODO DE ALIMENTACION=  1
H.PIEZOMETRICA INICIAL= 200
ERROR MAXIMO CIERRE CROSS= .1          M
NUMERO DE TUBERIAS= 18
V.MAXIMA PERMITIDA= 1.5          M/SEG
NUMERO DE OPCIONES ESTUDIADAS PARA P.DINAMICA= 5
INCREMENTO DE LONGITUD POR PERDIDAS MENORES= 10   %
NUMERO DE ITERACIONES DE CROSS=  6
EL COSTO TOTAL ES= 1.28365E+06   Bs
```

VI. CONCLUSIONES

1- En consideración al costo apreciable que representan las tuberías en un sistema de abastecimiento de agua, y en vista a las múltiples combinaciones de sus diámetros que satisfacen las condiciones hidráulicas para suministrar las demandas en los sitios de consumo, la metodología y el programa de computación propuestos en el presente trabajo constituyen una alternativa racional para el diseño de las redes de distribución. En efecto, entre las diferentes configuraciones de diámetros de tuberías aceptables desde el punto de vista hidráulico, el método selecciona aquella de mínimo costo de acuerdo a los criterios expuestos, en un tiempo ampliamente compatible con aquel disponible para la ejecución del proyecto, siempre que se cuente con un ordenador de capacidad suficiente.

2- Para realizar el proceso iterativo de optimización, el programa requiere, además de las características geométricas de la red y de los diámetros comerciales a usarse, la identificación espacial de los consumos y puntos de alimentación asi como las presiones mínimas en los nodos y la velocidad permisible máxima en las tuberías (restricciones hidráulicas).

3- Para la determinación de la solución de mínimo costo de acuerdo a los criterios expuestos, se utilizan las técnicas de la Programación Dinámica condicionada por las restricciones hidráulicas y por la variación discreta o comercial de los diámetros.

4- El consumo en cada nodo puede satisfacerse siguiendo uno de estos dos criterios:

a.- Criterio de la Ruta más Corta de alimentación (Ver sección III.3.1)

b.- Criterio de la Ruta de Alimentación asignada por el proyectista (Ver sección III.3.2)

Se recomienda, sin embargo, el uso del criterio de las Rutas más Cortas de alimentación a los nodos por resultar más económico en la mayoría de los casos; se hace la salvedad de que en condiciones topográficas particulares un criterio de alimentación diferente puede resultar más conveniente. (Ver caso V.2.1)

5- Se observan variaciones del costo del sistema con el número de opciones o alternativas en el procedimiento de selección de diámetros por medio de la programación dinámica; tal como cabe esperar desde el punto de vista teórico se obtienen mejores resultados a-medida que aumenta el número de opciones analizadas.

Dado que no representa un incremento importante en el tiempo de-CPU el uso de mayor número de opciones, se recomienda usar un mínimo de tres (3) o mejor aún el número máximo de cinco (5).

No se observaron variaciones del costo del sistema con el error máximo de cierre de alturas piezométricas en el Cross; se recomienda usar el valor dado en las Normas de 5 centímetros.

6- En el caso de la ampliación de una red, las tuberías existentes son aprovechadas en el nuevo diseño siempre y cuando permitan satisfacer todos los requerimientos hidráulicos establecidos y den-como resultado un diseño más económico. Se considera que el costo de una tubería existente es cero.

7- El Programa de computación desarrollado está constituido por una-serie de subprogramas que realizan funciones específicas y procurando la mayor independencia para cada uno de ellos. Esto con el fin de dar la máxima flexibilidad y versatilidad en la operación-y mantenimiento del programa.

Esta concepción modular, permite sustituir el procedimiento usado en cualquiera de los subprogramas por otro que resulte más eficiente (en tiempo de máquina, por ejemplo) pero que cumpla la misma función que el original.

8- El procedimiento mostrado y el programa desarrollado ha sido probado no sólo en los ejemplos ilustrados en el texto de este trabajo, sino también en el diseño de la red de matrices de distribución de agua para el núcleo ACARIGUA-ARAURE con una población de-diseño en el año 2010 de 400.000 habitantes.

Se estudiaron dos alternativas fundamentales:

a) Estudio de un solo sistema: con 148 tuberías y 103 nodos.
b) Estudio de una red alta y una red baja: con 115 tuberías, 84 nodos y 56 tuberías, 33 nodos, respectivamente.

El tiempo total de CPU utilizado fue de unos 15 minutos.
La aplicación del programa en el diseño de este sistema de abastecimiento resultó altamente satisfactoria dado el número de opciones estudiadas, la gran economía lograda en el tiempo de proyecto y por la solución definitiva de la red, la cual, comparada con diseños similares, resultó ser más económica.

9- A fin de mejorar el sistema descrito en este Trabajo Especial se propone:

a.- Modificar el tratamiento de la restricción de la velocidad máxima permisible a fin de que esta sea función del diámetro propuesto para una tubería.

b.- Desarrollar un subprograma que permita considerar el caso de estanques de alimentación con distinta cota piezométrica.

c.- Desarrollar un subprograma que permita la entrada de datos por tarjetas perforadas.

d.- Desarrollar un subprograma que permita dibujar el plano de la solución seleccionada. Los únicos datos adicionales requeridos serían las coordenadas de los nodos.

VII.- BIBLIOGRAFIA

1- CEMBROWICZ, Ralf y HARRINGTON, Joseph
"Capital-Cost Minimization of Hydraulic Network"
ASCE J - Vol. 99 - HY3 Marzo 73. Pags 431-440.

2- LAM, Chan
"Discrete Gradient Optimization of Water Systems"
ASCE J - Vol 99 - HY6 junio 73. Pags 863-872.

3- WATANATADA, Thawat
"Least-Cost Design of Wator Distribution Systems"
ASCE J - Vol 99 - HY9 sept 73. Pags 1497-1513.

4- NAKAJIMA, Shigeki
"Improved Design of Distribution Networks by Minimum Route"
Journal AWWA - Julio 75. Pags 390-395.

5- KALLY, Elisha
"Computarized Planning of the Least Cost Water Distribution Network"
W&SW - Reference Number 1972. Pags 121-127.

6- DEB, Arun
"Optimization of Water Distribution Network Systems"
ASCE J - EE4 - Agosto 76. Pags 837-851.

7- DONACHIE, Roger
"Digital Program for Water Network Analysis"
ASCE J - Vol 100 - HY3 Marzo 74. Pags 393-403.

8- ROBINSON, Robert y AUSTIN, Tom
"Cost Optimization of Rural Water Systems"
ASCE J - Vol 102 - HY8 Agosto 76. Pags 1119-1134.

9- HILLIER, Frederick y LIEBERMAN, Gerald
"Introduction to Operations Research"
Holden-Day, INC 1972.

10- WAGNER, Harvey
"Principles of Operations Research"
Prentice-Hall 1969.

11- SHAMBLIN, James y STEVENS G. T
"Investigacion de Operaciones, un enfoque fundamental"
Mc Graw-Hill 1975.

12- RASMUSEN, Hans Jørgen
"Simplified Optimization of Water Supply Systems"
ASCE J - Vol 102 - EE2 Abril 76. Pags 313-327.

Universidad Católica Andrés Bello
BIBLIOTECA
Caracas