

90.26



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ingeniería

Simulación Digital de
Redes Cerradas de Distribución

Enrique Lugo Becerril

Tesis Profesional
Ingeniero Civil

México, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1990



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

SIMILRED...!

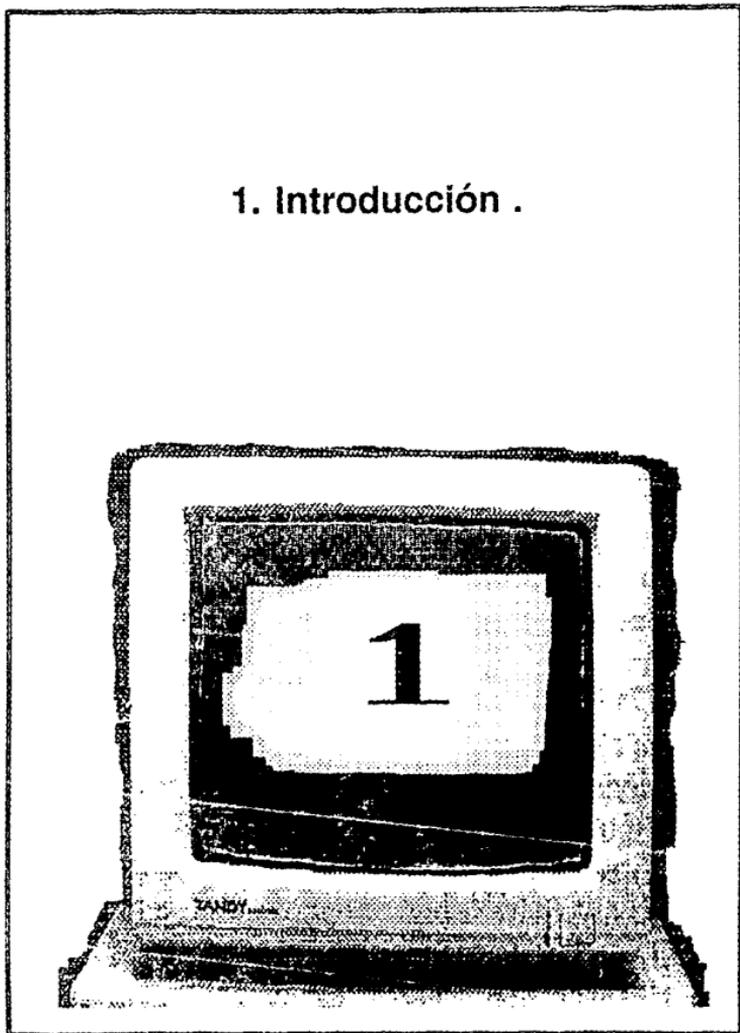
SIMULACIÓN DIGITAL DE REDES CERRADAS DE DISTRIBUCIÓN.

INDICE :

1. INTRODUCCIÓN	4
2. ANÁLISIS DE REDES CERRADAS	8
2.1 RED CERRADA DE TUBERÍAS	9
2.1.1 MÉTODO DE CROSS	11
2.1.2 TEORÍA LINEAL	15
2.2 ALGORITMO UTILIZADO	26
3. INSTALACION Y EJECUCIÓN	27
3.1 EQUIPO REQUERIDO	28
3.2 INSTALACIÓN	29
3.2.1 EN DISCOS FLEXIBLES	30
3.2.2 EN DISCO DURO	30
3.3 EJECUCIÓN	31

4. DESCRIPCIÓN DE SIMILRED...!	32
4.1 CAPTURA DE INFORMACIÓN	36
4.2 EDICIÓN	39
4.3 SOLUCIÓN	40
4.4 REPORTE	41
4.5 EJEMPLO	43
5. CONCLUSIONES	53
APÉNDICES	57
APÉNDICE A. CÁLCULO DE COEFICIENTES DE FRICCIÓN	58
APÉNDICE B. GENERACIÓN DE PROYECCIONES	62
APÉNDICE C. LISTADO BÁSICO DEL PROGRAMA SIMILRED...!	64
APÉNDICE D. BIBLIOGRAFÍA	73

1. Introducción .



1. INTRODUCCIÓN .

El dotar de agua a una población es una cadena de acciones que van desde la extracción del líquido, verificación y adecuación de las características del agua, la conducción, y por último la distribución. Para llevar a cabo un proyecto de esta naturaleza se requieren estudios y anteproyectos que se basan en información hidrológica, demográfica, económica y política.

Una red cerrada de abastecimiento de agua potable tiene el propósito de distribuir el fluido vital a la población de una comunidad. El proceso de analizar una red cerrada consiste en determinar la cantidad de agua que circulará a través de los tubos que la forman, la energía disponible en cada unión de tuberías, el diámetro de los conductos y el tipo de material de los tubos.

El propósito del presente trabajo es dar a conocer un método numérico de análisis para sistemas de redes cerradas, la Teoría Lineal, que estime con facilidad de comprensión y mayor velocidad de cálculo los valores antes mencionados que el método tradicional de relajaciones .

Como resultado se presenta un programa de computadora que servirá como apoyo a la enseñanza de hidráulica y diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable el cual tiene el nombre de SimilRed...!

Todos los métodos numéricos que se utilizan para la solución de redes de distribución tienen alguna razón de ser aplicados :

a) Los métodos de relajaciones (Cross, Cornish) tienen la ventaja de que se pueden llevar a cabo fácilmente, ya sea manualmente o mediante equipo de cómputo. Sin embargo, se tiene una velocidad de solución muy lenta.

b) La Teoría Lineal necesita resolver sistemas de ecuaciones lineales simultáneas, lo cual no es práctico si se realiza manualmente y es necesaria una computadora. En cambio, se obtiene una convergencia mayor a la solución, por lo cual es el que se toma para el desarrollo del programa SimilRed.

Aparte de utilizar SimilRed la Teoría Lineal, se presentan los resultados de manera gráfica, para que el usuario tenga una mejor comprensión de lo que sucede en una red de distribución.

Además de esta introducción, el trabajo consta de cuatro capítulos más y una serie de apéndices, cuyo contenido es :

En el segundo capítulo se explicaran : los métodos de relajaciones (enfocándose al Metodo de Cross), la Teoría Lineal y el algoritmo que se utiliza para SimilRed...!

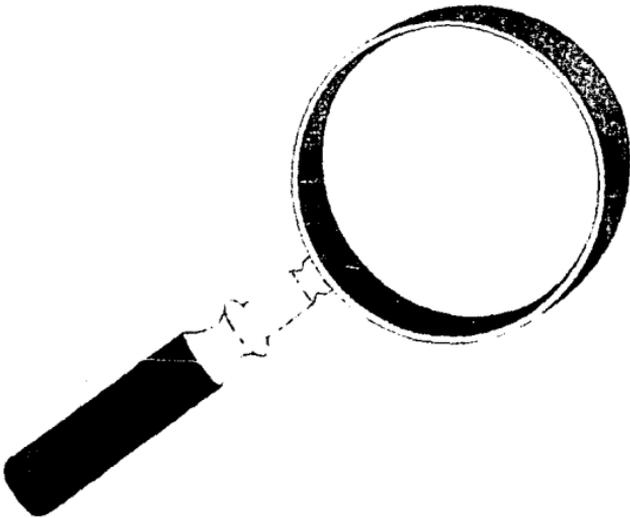
En el capítulo tercero se presentan las características que debe cumplir como mínimo el equipo de cómputo, así como la instalación y el arranque del programa.

En el capítulo cuarto se hace una descripción detallada de la manera de utilizar las opciones del programa y se desarrolla un ejemplo de aplicación.

En el capítulo quinto se dan las conclusiones del trabajo y algunas recomendaciones.

En los apéndices se localizan el listado principal del método numérico descrito, la forma en la que se calculan los coeficientes de fricción, la manera en que se realiza la graficación y la bibliografía consultada.

2. Análisis de Redes Cerradas.



2. ANÁLISIS DE REDES CERRADAS .

2.1 RED CERRADA DE TUBERÍAS.

Una red cerrada es un sistema de tuberías conectadas formando circuitos. Las uniones de las tuberías se conocen como nudos o nodos y a cada segmento de tubo que se encuentra entre dos nudos se denomina tramo.

El análisis de una red cerrada consiste en determinar los gastos que circulan a través de los tramos y la energía disponible en cada uno de los nudos, ante una demanda preestablecida y ciertas características físicas supuestas para la red; satisfaciendo las siguientes condiciones :

1) Se debe cumplir la Ecuación de Continuidad en cada uno de los nudos del sistema . Es decir que la suma de los gastos que llegan al nudo sea igual a la suma de los que salen de este.

2) Se debe cumplir la Ecuación de Continuidad en el sistema (la cantidad total de gasto aportado debe ser igual a la cantidad gasto extraído).

3) Si se recorre la red por diversos caminos y se llega a cierto nudo, la pérdida de energía acumulada deberá ser la misma para todos los distintos trayectos.

4) Para cada tubería se deberá mantener la relación entre pérdidas de carga y gasto (las ecuaciones de pérdidas de energía dependen del gasto y de características de la tubería).

5) Las pérdidas de energía debidas a cambios de sección, uniones, piezas especiales (conocidas como pérdidas locales) se considerarán despreciables cuando no sean mayores al 5% de las pérdidas por fricción (otro criterio es que la longitud sea 1000 veces el diámetro entre accesorios consecutivos), en caso contrario se añade una longitud equivalente (como se explica en el capítulo 8 de Hidráulica General de Gilberto Sotelo).

6) Se supone que el comportamiento es estático, por lo tanto las características son permanentes con respecto al tiempo .

Existen varios métodos de análisis :

- Métodos de secciones.
- Analogía eléctrica.
- Método de Cross (para el balance de pérdidas, relajaciones).
- Método de Cornish (para el balance de gastos, relajaciones).
- Teoría Lineal (balance de energía y continuidad).

De los métodos mencionados se explicarán el método de Cross, por ser el más usual, y la Teoría Lineal que es el método que se utiliza en el programa SimilRed ..

2.1.1 MÉTODO DE CROSS .

El método tiene un mecanismo muy simple, el cual a partir de una condición inicial supuesta de un sistema, utilizando las ecuaciones que lo definen y las condiciones que debe satisfacer, realiza correcciones que disminuyen el error de la condición inicial hasta llegar a una tolerancia predeterminada del error.

Para una red de tuberías existen tres tipos de enfoques, uno basado en la ecuación de continuidad en los nudos, otro en las pérdidas de energía en los circuitos y otro en la unión de los anteriores.

El método de relajaciones que se utiliza generalmente para análisis de redes de tuberías es el que se fundamenta en los balances de pérdidas de energía y es conocido como el Método de Cross.

Para cualquier tubería en que :

Q_i^j es una configuración inicial ;

ΔQ_k^j es la corrección del error.

donde :

i denota el tramo,

j la iteración (la inicial será cero),

k es el número de circuito,

Q es el gasto estimado en el tramo,

ΔQ factor de corrección.

Se tiene para las siguientes iteraciones :

$$Q_i^1 = Q_i^0 + \Delta Q^0 \quad (\text{para la primera iteración})$$

$$Q_i^{j+1} = Q_i^j + \Delta Q^j \quad (\text{para la siguiente iteración})$$

Para estimar las pérdidas de energía en este método suele utilizarse una expresión de tipo exponencial (por facilidad) :

$$hf = rQ^n$$

donde :

hf , pérdida de energía.

r , cuyo valor es constante para cada tubería (si se utiliza la ecuación de Hazen-Williams) y se determina antes del análisis del sistema. Depende de C (constante del material), diámetro, longitud de cada tubería¹.

Q , gasto.

n es el exponente (cuando se utiliza la ecuación de Hazen-Williams tiene un valor $n=1.852$).

¹ También es posible utilizar la ecuación de Manning

Si se sustituye Q_1^{j+1} se obtiene :

$$hf_1 = r (Q_1^j + \Delta Q^j)^n$$

al realizar la expansión de la ecuación anterior y despreciando los términos de orden superior a dos (pues se consideran muy pequeños) :

$$hf_1 = r Q_1 |Q_1|^{n-1} + r n \Delta Q |Q_1|^{n-1}$$

si se generaliza para un circuito :

$$\Sigma hf = \Sigma r Q_1 |Q_1|^{n-1} + \Delta Q \Sigma r n |Q_1|^{n-1} = 0$$

donde se supone que el factor de corrección ΔQ será común para todos los elementos del circuito.

El valor de ΔQ se puede obtener de la expresión anterior :

$$\Delta Q = - \frac{\Sigma r Q_1 |Q_1|^{n-1}}{\Sigma r n |Q_1|^{n-1}}$$

Es necesario indicar que ΔQ se suma o se resta a los gastos de los tubos según la forma en la que se presente el recorrido del circuito y de la convención de signos que se utilice.

La velocidad de convergencia del método depende de la estimación inicial del sistema (repartición inicial de gastos en los tubos), del número de tramos, del número de tramos que se unan en cada nodo y del número de circuitos.

El método de Cross para redes de tuberías se puede resumir a:

- 1) Suponer una distribución inicial, cuidando que se cumpla la ecuación de continuidad en cada nudo.
- 2) Encontrar la pérdida de energía en cada tubería, así como la pérdida de carga neta alrededor de un circuito (la cual debe ser nula para un circuito balanceado).
- 3) Encontrar el factor de corrección en cada circuito.
- 4) Calcular el nuevo gasto corregido.
- 5) Repetir el procedimiento con los gastos corregidos hasta lograr un error máximo aceptable en toda la red.

Un programa de computadora y varios ejemplos desarrollados se encuentran en el libro Mecánica de los Fluidos de Victor L. Streeter.

2.1.2 MÉTODO LINEAL .

El método lineal se basa en balances de energía entre los tramos incluyendo continuidad en los nudos para formar un sistema de solución matricial.

Si se plantea la ecuación de la energía en un tramo k delimitado en sus extremos por los nudos i y j :

$$Z_i + \frac{P_i}{\gamma} + \frac{V_i^2}{2g} = Z_j + \frac{P_j}{\gamma} + \frac{V_j^2}{2g} + hf_k \quad (2.1)$$

donde :

k tramo en cuestión.

i nudo inicial.

j nudo final.

Z carga de posición (m)

P presión (Kg / m²)

γ peso específico (Kg / m³)

V velocidad (m/s)

g gravedad (m²/s)

Considerando que se tiene un marco de referencia horizontal (es decir que las cargas de posición son iguales) y que la velocidad en el tramo es constante (porque en toda su longitud el diámetro no cambia), únicamente quedarán las cargas de presión y la pérdida de energía en el tubo :

$$H_1 = H_2 + hf_k \quad \text{y} \quad hf_k = H_1 - H_2 \quad (2.2)$$

La evaluación de la pérdida de energía se puede realizar de varias maneras (Manning, Hazen-Williams, Chézy), sin embargo la más adecuada para tuberías a presión es la ecuación de Darcy-Weisbach :

$$hf_k = f_k \frac{l_k}{D_k} \frac{V_k^2}{2g} \quad (2.3)$$

Ecuación de Darcy-Weisbach

donde :

l_k = tramo en cuestión .

hf = pérdida de energía,

f = factor de fricción,

l = longitud del tubo,

D = diámetro del tubo,

V = velocidad media en la tubería,

g = aceleración de la gravedad.

Por continuidad, reemplazando $Q = V / A$ se llega a :

$$hf_k = f_k \frac{l_k}{D_k} \frac{Q_k^2}{A_k^2} \quad (2.4)$$

Si se define a la variable auxiliar C_k :

$$C_k = \frac{f_k l_k}{D_k 2g A_k^2} \quad \text{ecuación c} \quad (2.5)$$

Sustituyendo en (2.4), la expresión de pérdidas se reduce a :

$$hf_k = C_k Q_k^2 \quad (2.6)$$

Utilizando la Ecuación de Energía (2.2) se tiene :

$$H_1 = H_2 + hf_k \quad \Rightarrow \quad H_1 - H_2 = C_k Q_k^2 \quad (2.7)$$

Entonces el gasto en la tubería se puede encontrar despejando de (2.7) :

$$Q_k = \left(\frac{H_1 - H_2}{C_k} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.8)$$

Es decir, que si se conocen las propiedades del tubo y la pérdida de energía entre sus extremos se puede determinar el gasto.

Si se aplica la ecuación (2.8) sucesivamente entre todos los nodos de una red cerrada junto con la Ecuación de Continuidad, se obtiene un sistema determinado de ecuaciones simultáneas de tipo trascendental, basado únicamente en las cargas en los nudos.

El sistema al que se llega es no lineal, por lo que no tiene una solución directa y es necesario recurrir a los métodos numéricos para poder resolver el problema :

a) Métodos de Newton-Raphson y derivados : que tienen el inconveniente de un gran tiempo de procesamiento, propagación de errores y en ocasiones de amortiguamiento numérico.

b) Métodos de Linealización : resultan ser más adecuados porque llevan a un sistema de ecuaciones lineales simultáneas que se puede resolver con cualquier método matricial . Se utilizó un criterio de linealización para el desarrollo del trabajo.

Para linealizar se utilizará la serie de Taylor y se despreciarán los términos de orden superior a dos:

Sea una función :

$$Z_{j+1} = Z_j + \Delta Z \quad (2.9)$$

es decir :

$$f(Z_{j+1}) = f(Z_j + \Delta Z) \quad (2.10)$$

Aplicando la Serie de Taylor :

$$f(Z_j + \Delta Z) = f(Z_j) + \frac{f'(Z_j) \Delta Z}{1!} + \frac{f''(Z_j) \Delta Z^2}{2!} + \dots \quad (2.11)$$

Si se acepta un error de segundo orden :

$$f(Z_j + \Delta Z) = f(Z_j) + f'(Z_j) \Delta Z \quad (2.12)$$

Para este problema Z representará la pérdida de energía entre dos puntos, de la ecuación (2.7):

$$Z = H_1 - H_2, \text{ o bien : } Z = CQ^2. \quad (2.13)$$

Nos interesa conocer el estado de un tramo en una siguiente aproximación

$$\therefore f(Z_j) = Q_k^j \quad \text{y} \quad f(Z_{j+1}) = Q_k^{j+1} \quad (2.14)$$

Realizando la primera derivada de Z con respecto a Q :

$$f'(Z_j) = \left(\frac{1}{2 C_k^{1/2} Z_j^{1/2}} \right) \quad (2.15)$$

Sustituyendo las ecuaciones (2.14) , (2.15) en (2.12) y en (2.10) se obtiene :

$$Q_k^{j+1} = Q_k^j + \left(\frac{1}{2 C_k^{1/2} Z_j^{1/2}} \right) (Z_{j+1} - Z_j) \quad (2.16)$$

realizando la multiplicación :

$$Q_k^{j+1} = Q_k^j + \frac{Z_{j+1}}{2 C_k^{1/2} Z_j^{1/2}} - \frac{Z_j^{1/2}}{2 C_k^{1/2}} \quad (2.17)$$

de la ecuación (2.13) se encuentra que:

$$\frac{Q_k^j}{2} = \frac{Z_j^{1/2}}{2 C_k^{1/2}} \quad (2.18)$$

sustituyendo la ecuación (2.18) en (2.17), el rectángulo es el inverso de la expresión (2.18) :

$$Q_k^{j+1} = Q_k^j + \frac{Z_{j+1} \begin{array}{|c|} \hline C_k^{1/2} \\ \hline \end{array}}{2 C_k^{1/2} \begin{array}{|c|} \hline Z_j^{1/2} \\ \hline \end{array} C_k^{1/2}} - \frac{Q_k^j}{2} \quad (2.19)$$

realizando la suma de gastos y simplificando el segundo término :

$$Q_k^{j+1} = \frac{Q_k^j}{2} + \frac{Z_{j+1}}{2 Q_k^j C_k} \quad (2.20)$$

de la ecuación (2.13)

$$Z_{j+1} = (H_i - H_j)^{j+1} \quad (2.21)$$

sustituyendo a (2.21) en (2.20)

$$Q_k^{j+1} = \frac{Q_k^j}{2} + \frac{(H_i - H_j)^j}{2 C_k |Q_k^j|} \quad (2.22)$$

definiendo una variable alfa se agrupa :

$$\alpha_k^j = \frac{1}{2 C_k |Q_k^j|} \quad \text{ecuación alfa :} \quad (2.23)$$

sustituyendo (2.23) en (2.22)

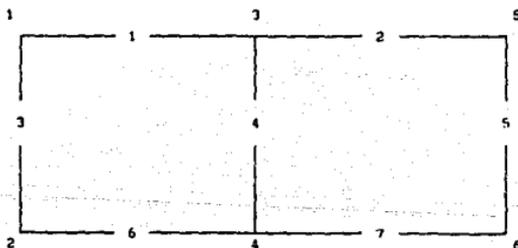
$$Q_k^{j+1} = \frac{Q_k^j}{2} + \alpha_k^j (H_i - H_j)^{j+1} \quad \text{ecuación gasto :} \quad (2.24)$$

La ecuación (2.24) permite estimar una corrección a una suposición inicial de los gastos en los tramos de tubería.

Los signos de los coeficientes alfa (ecuación (2.23)) serán negativos si salen del nudo y positivos si vienen de otro nudo. La misma convención se utilizará para los gastos en los tubos.

Agregar en el sistema los gastos de aportación y extracción, y trabajar un nudo para cumplir la ecuación de continuidad en una siguiente aproximación es el siguiente paso.

Para pasar a la expansión matricial se utilizará la siguiente red como apoyo :



Si se toma el primer nudo, se observa que concurren los tramos uno y tres. Aplicando la ecuación de Continuidad y la ecuación gasto (2.24) en el nudo :

$$\left(-\alpha - \alpha_1 \right) H_1 + \alpha_1 H_1 + \alpha_3 H_2 = \frac{Q_1 + Q_3}{2} + q_1 \quad (\text{nudo 1})$$

Si se continúa con los demás nudos :

$$\left(-\alpha_3 - \alpha_6\right) H_2 + \alpha_3 H_1 + \alpha_6 H_4 = \frac{Q_3 + Q_6}{2} + q_2 \quad (\text{nudo 2})$$

$$\left(-\alpha_1 - \alpha_2 - \alpha_3\right) H_3 + \alpha_1 H_1 + \alpha_2 H_5 + \alpha_3 H_4 = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_4}{2} + q_3 \quad (\text{nudo 3})$$

$$\left(-\alpha_4 - \alpha_6 - \alpha_7\right) H_4 + \alpha_4 H_3 + \alpha_6 H_2 + \alpha_7 H_6 = \frac{Q_4 + Q_6 + Q_7}{2} + q_4 \quad (\text{nudo 4})$$

$$\left(-\alpha_2 - \alpha_5\right) H_5 + \alpha_2 H_3 + \alpha_5 H_6 = \frac{Q_2 + Q_5}{2} + q_5 \quad (\text{nudo 5})$$

$$\left(-\alpha_5 - \alpha_7\right) H_6 + \alpha_5 H_5 + \alpha_7 H_4 = \frac{Q_5 + Q_7}{2} + q_6 \quad (\text{nudo 6})$$

Observando cada una de las ecuaciones anteriores se llega a la sistematización :

a) El coeficiente alfa de cada uno de los tramos que salen del nudo en análisis se multiplica con signo negativo a la carga de del nudo .

b) El coeficiente alfa de los tramos que llegan de otro nudo, se multiplica por la carga del nudo del que vienen.

c) Se suman la mitad de los gastos de los tramos que concurren al nudo y los gastos que se extraigan o se aporten .

Si se acomoda el anterior sistema de manera matricial :

ecuación matricial:

$$\begin{matrix} \left[\begin{matrix} & \alpha^j \end{matrix} \right] \\ \text{Matriz Alfa} \end{matrix} \begin{matrix} \left\{ H^{j+1} \right\} \\ \text{Vector} \\ \text{Cargas} \end{matrix} = \begin{matrix} \left\{ Q^j + q \right\} \\ \text{Vector} \\ \text{gastos} \end{matrix} \quad (2.25)$$

$-\alpha_1$ $-\alpha_3$	α_3	α_1			
α_3	$-\alpha_3$ $-\alpha_6$		α_6		
α_1		$-\alpha_1$ $-\alpha_2$ $-\alpha_4$	α_4	α_2	
	α_6	α_4	$-\alpha_4$ $-\alpha_6$ $-\alpha_7$		α_7
		α_2		$-\alpha_2$ $-\alpha_5$	α_5
			α_7	α_5	$-\alpha_5$ $-\alpha_7$

matriz

de

coeficientes

alfa

H_1		$\frac{Q_1 + Q_3}{2} + q_1$	
H_2		$\frac{Q_3 + Q_6}{2} + q_2$	
H_3	vector	$\frac{Q_1 + Q_2 + Q_4}{2} + q_3$	vector
	de	$\frac{Q_4 + Q_6 + Q_7}{2} + q_4$	de
H_4	cargas	$\frac{Q_2 + Q_5}{2} + q_5$	gastos
H_5		$\frac{Q_5 + Q_7}{2} + q_6$	
H_6			

Al observar la matriz de coeficientes se puede encontrar :

- Simetría , si se traspone la matriz no se tendrá ningún cambio.
- Diagonal principal Pesada, los valores alfa se acumulan con mayor frecuencia en esta posición.
- Porosidad, se observa que muchos elementos de la matriz son nulos , que no interviene ningún coeficiente alfa (espacios con valores de cero o nulos).

Se desarrolla un sistema de ecuaciones que al ser resuelto nos dará las cargas para una siguiente iteración y así poder calcular una nueva aproximación.

El proceso de formar la Matriz Alfa y el Vector Gastos se conoce como armado de la matriz de cargas y se debe repetir hasta que los gastos entre una iteración y la siguiente se encuentren en un límite máximo de tolerancia .

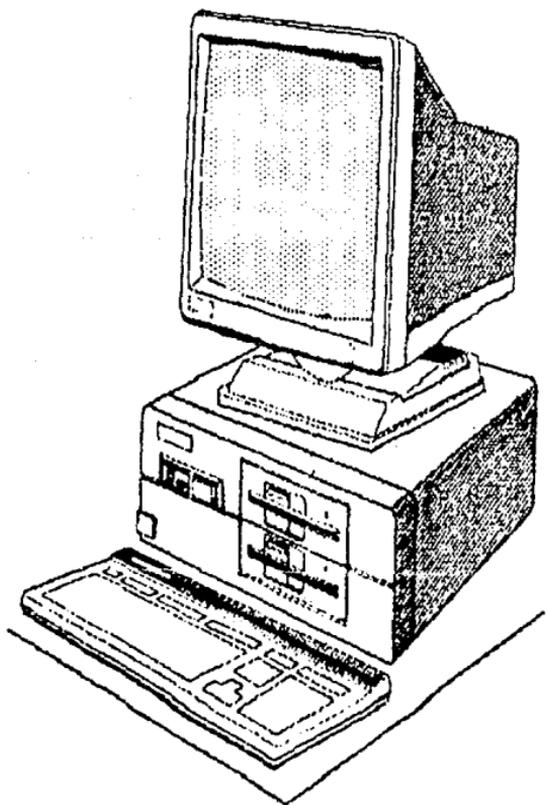
El requisito más importante para el método numérico es que se cumpla la ecuación de continuidad en el sistema (la sumatoria de los gastos de aportación debe ser igual a la sumatoria de los gastos de extracción) y en cada nudo (la suma de gastos que llegan al nudo debe ser igual a la suma de los que parten de él).

2.2 ALGORITMO UTILIZADO.

El programa SimilRed...! utiliza la teoría lineal para su funcionamiento numérico , la cual se puede sintetizar en el siguiente pseudocódigo :

- Conocer propiedades de cada tramo (longitud, diámetro, rugosidad, gasto estimado, nudo inicial y nudo final) y de cada nudo (gasto aportado, gasto extraído, coordenadas).
- Determinar área de los tubos, ajustar unidades métricas.
- Repetir
 - Calcular coeficientes de fricción² (mediante un método recursivo que se basa en la ecuación de Colebrook y White).
 - Calcular coeficientes C y Alfa (ecuaciones c (2.5) y alfa (2.23)).
 - Armar sistema de ecuaciones aplicando la ecuación desarrollada (llegar a la ecuación matricial, aplicando la ecuación de continuidad y la ecuación gasto en cada nudo).
 - Resolver sistema de ecuaciones (se utiliza un método de Gauss-Jordan modificado para diagonales pesadas).
 - Encontrar nuevos gastos en los tramos (aplicando ecuación gasto (2.24)).
 - Verificar tolerancia (diferencia máxima aceptable entre los gastos de dos iteraciones consecutivas).
- Hasta cumplir tolerancia.
- Presentar resultados.

3. Instalación y Ejecución .



3. INSTALACIÓN Y EJECUCIÓN.

3.1. EQUIPO REQUERIDO.

Para poder utilizar el programa se requiere el siguiente equipo :

- a) Computadora compatible con IBM PC, XT, AT, o PS/2.
- b) Memoria RAM minima de 512 Kb.
- c) Por lo menos una unidad de disco .
- d) Tarjeta de gráficas y monitor compatibles con CGA, EGA, MCGA, VGA, Hercules, ATT-6300, PC-3270, IBM-8514.
- e) Sistema Operativo DOS 2.11 a 3.30.
- f) Opcional . Impresora compatible con los formatos EPSON o IBM (Electron JR, Electrón 100, Citizen MSP, Delta 15, etc.).

3.2. INSTALACIÓN.

La instalación del paquete SimilRed...! requiere que en el disco de Sistema Operativo o en el directorio raíz del disco duro, exista un archivo de configuración³ (CONFIG.SYS) que tenga por lo menos los comandos de configuración para control de archivos :

```
FILES = 20
```

```
BUFFERS = 20
```

Es recomendable que se efectúe un respaldo del disco de SimilRed. Por ejemplo en una computadora con dos unidades de discos flexibles, el respaldo se puede realizar con el comando interno de sistema operativo COPY, del siguiente modo :

```
COPY A:*. * B: /V
```

¡ Jamás trabajar en el disco original, siempre respalde !

³ Consultar manual de sistema operativo para mayores detalles.

3.2.1. EN DISCOS FLEXIBLES.

Los siguientes archivos deben estar presentes en el disco de trabajo :

COMMAND.COM .- Del sistema operativo que se utilice.

REDES.EXE .- Programa maestro de SimilRed...!

EJEMPLO.DAT

3.2.2 EN DISCO DURO

Se debe crear un subdirectorio (el programa lo buscará), que lleve el nombre del sistema :

MD C:\SIMILRED

Posteriormente se copian los archivos del disco original .

Se recomienda tener un subdirectorio de datos y resultados, al cual se registraran los datos y resultados del paquete, por ejemplo : C:\SIMILRED\DATOS, C:\DATOS.

3.3. EJECUCIÓN.

Para ejecutar SimilRed...! desde un disco flexible, simplemente teclear :

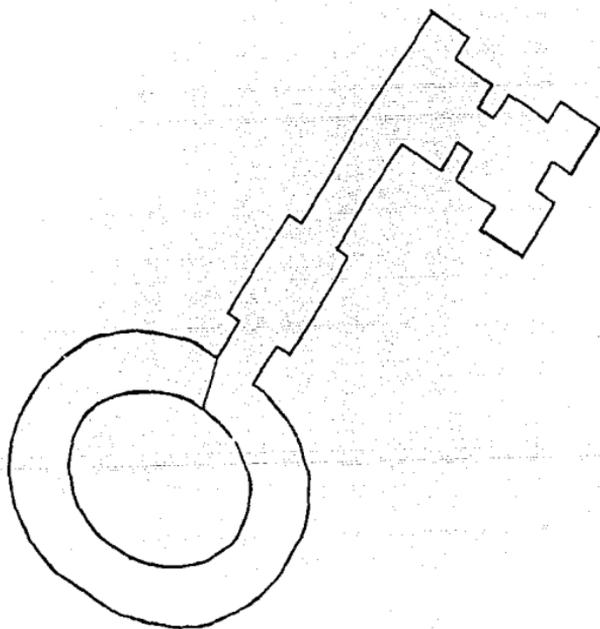
REDES y presionar la tecla Enter (o equivalente).

Para un usuario de disco duro, primero debe colocarse en el subdirectorio correcto :

CD C:\SIMILRED ;

y a continuación se pone en marcha igual que para disco flexible (REDES y Enter).

4. Descripción de SimilRed...!



4. DESCRIPCIÓN DE SIMILRED...!

El programa comienza con una pantalla de presentación, que al terminar o presionar una tecla despliega el menú principal.

El programa necesita de ciertos archivos, tanto para los datos del problema como para los resultados. Por esta razón se tienen en el menú las opciones de : Creación y Edición, con los que se puede crear archivos de datos y modificarlos; Solución y Reporte, que utilizando los archivos resuelven el problema y generan un reporte de lo que se obtiene.

Se tiene una opción de SimilRed, donde se dan referencias del programa, así como las fuentes de información que se consultaron para crearlo. También se cuenta con una opción Comandos que permite ejecutar comandos de sistema operativo, interrumpiendo momentáneamente la ejecución del programa. Por último se cuenta con la opción para finalizar una sesión : Terminar.

Para seleccionar cualquiera de las opciones descritas se utilizan las teclas de cursor, que cambiarán de color el título de la opción que puede ejecutarse, al encontrar la que se desea efectuar se debe presionar la tecla de enter. Simultáneamente al movimiento del cursor aparecerán comentarios sobre la opción que se encuentre de color diferente.

Si se presiona alguna de las primeras siete teclas de función (en el menú se indica cual tecla corresponde a cada opción) se realizará inmediatamente la opción asignada a la tecla presionada.

Si se cometió un error en la selección es posible interrumpirla y regresar al menú principal, si es presionada la tecla Esc.

En las opciones que involucren el manejo de archivos (Creación, Edición, Solución, Reporte) es necesario dar los siguientes datos :

- a) Unidad de disco, únicamente la letra de la unidad en la que se desea manejará la información.
- b) Subdirectorios, ruta a partir de la raíz del directorio que se debe recorrer para llegar a la información.

c) Nombre del Archivo, el cual tendrá siempre la extensión .DAT (el programa busca los archivos con esa extensión).

d) Se pregunta si los datos son correctos, en caso de ser erróneos se pueden ingresar nuevos datos (volver al paso a), si no se cometió ningún error se continúa con el programa.

Para ingresar los datos se debe activar el reconocimiento entrada de datos presionando la barra espaciadora, ingresar el dato y por último la tecla Enter. Si se ha utilizado anteriormente alguna opción se conservarán los datos mencionados y si se desea usar alguno de ellos, únicamente se presiona la tecla enter, o bien si se quiere modificar el dato primero se debe presionar la barra espaciadora.

4.1. CAPTURA DE INFORMACIÓN.

Los datos que se piden inicialmente son el número de nudos y tramos que forman el sistema, cuidando que siempre el número de nudos se encuentre en el intervalo [2..51], y que los tramos se encuentren en el intervalo [1..50].

A continuación se pedirán las características del sistema, comenzando por el tipo de materiales que se utilizarán en la red con el propósito de asignar coeficientes de rugosidad⁴. Se tienen las siguientes opciones :

- 1.- Automático, si el diámetro es menor o igual a 4 pulgadas se elige la rugosidad del PVC ($e=0.0015$ mm), si es mayor se utiliza la del asbesto cemento ($e=0.0250$ mm).
- 2.- PVC ($e=0.0015$ mm).
- 3.- Asbesto cemento ($e=0.0250$ mm)
- 4.- Cobre ($e=0.0015$ mm)
- 5.- Fierro fundido ($e=0.2500$ mm)
- 6.- Individual, el usuario elige rugosidad para cada tubo.

El valor que se tiene por omisión corresponde a la selección automática de material (opción 1).

⁴ Se puede consultar una lista muy completa en Hidráulica General de Gilberto Hoteiro

El siguiente dato que se solicita sirve para indicar si se realiza un ajuste automático de los diámetros de las tuberías de acuerdo a los gastos que se proporcionarán, o si el usuario prefiere ingresar sus estimaciones de diámetros.

El valor por omisión corresponde al de ajuste automático de diámetros.

Las características de los tramos , que siempre deben ser diferentes de cero o valores negativos, se piden a continuación :

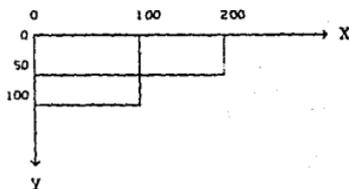
- a) Gasto .
- b) Longitud .
- c) Diámetro, si se utiliza la opción de automático pasará a pedir el siguiente dato.
- d) Rugosidad, si se utiliza una opción de material diferente a la número 6, se pasa a pedir el siguiente dato.
- e) Nudo inicial, indica el punto de partida del tubo.
- f) Nudo final, indica donde termina el tubo.

El sentido del flujo se obtiene con el nudo inicial (de donde parte) y el nudo final (a donde va).

El siguiente grupo de datos corresponde a las características de los nudos :

- a) Gasto de aportación.
- b) Gasto de extracción.
- c) Coordenada en eje x.
- d) Coordenada en eje y.

El sistema de referencia que se utiliza para las coordenadas requiere que sean enteras, positivas y que el desarrollo de los ejes sea el siguiente :



Si la suma de gastos de aportación es diferente a la suma de gastos de extracción (condición de continuidad en el sistema), se vuelven a pedir las características de todos los nudos.

Por último se generan las gráficas de la planta de la red y de una proyección (para verificar que las coordenadas sean correctas) y se regresa al menú inicial.

4.2. EDICIÓN.

La secuencia es similar a la del proceso de creación : inicialmente se puede aumentar o reducir el número de tramos y nudos del sistema, así como los modos de selección de material y de ajuste de diámetro.

La diferencia se presenta cuando se llega a las características de las tuberías, porque se tienen las opciones de efectuar revisión de todos los tramos (Revisar), de editar un tramo en particular (Editar), o terminar de modificar las características de la tubería (Terminar), las cuales se seleccionan si se presiona la inicial de la opción. El proceso de modificación de los datos es similar al de creación.

Se tiene el mismo caso para las características de los nudos.

Al terminar la edición se grafican la planta y una proyección de la red y por último se pregunta si se desea crear un nuevo archivo con los datos modificados o si se conserva el nombre.

4.3. SOLUCIÓN.

Al entrar a la opción se piden los datos necesarios para saber que archivo de datos se utilizará.

A continuación se tendrá un tiempo de espera en lo que se resuelve el problema, si todo marcha bien, al terminar el análisis se desplegarán los resultados y una gráfica en proyección de la red con las cargas de energía en los nudos, y el gradiente de energía.

Se crea un archivo de resultados con el mismo nombre del archivo de datos, pero con la extensión .RES.

Al terminar se pregunta si se desea un archivo donde se realice un ajuste de diámetro de acuerdo a la distribución de gastos resultante.

En el caso de que llegue a tenerse un problema numérico (por ejemplo : una división entre cero, manejo de números muy grandes, o un error de la computadora), o particularidades de la red (dependencia entre tramos, dependencia entre nudos) el proceso de solución se interrumpe y se vuelve al menú inicial; se recomienda revisar las características del sistema.

4.4. REPORTE.

Para realizar un reporte es necesario que exista el archivo con la extensión .DAT y el archivo con la extensión .RES.

Si se cumple únicamente la primera condición (archivo con extensión .DAT) el programa tratará de utilizar la impresora para dar un reporte de los datos iniciales.

Si las dos condiciones se cumplen se presentan los datos de manera similar a como se manejan en la solución. Al terminar de efectuar la presentación de resultados se tratará de usar la impresora.

Antes de mandar al puerto de impresión la información, se da un reporte del estado de la impresora :

- a) Preventivos : desconectada, fuera de línea, sin papel .
- b) Lista para imprimir.

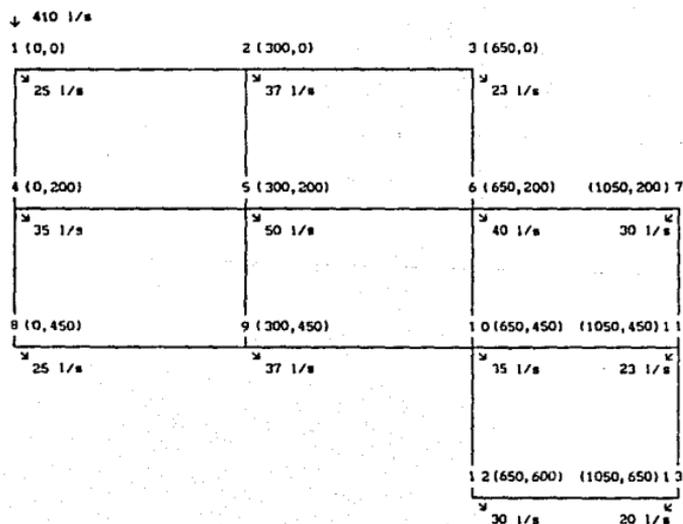
Para pasar del estado preventivo al de impresión, se debe corregir el error y presionar la opción de Continuar (letra C) e inmediatamente se dará el reporte de la impresora.

Para imprimir se debe tener el mensaje de que la impresora esta lista y presionar la letra C (Continuar).

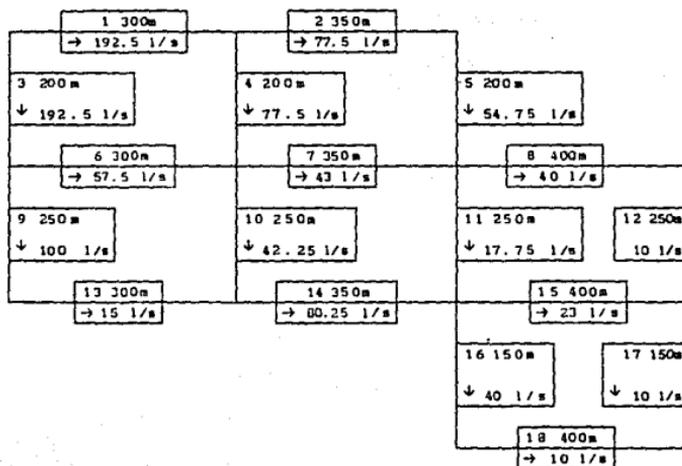
En caso de que no se desee imprimir o que no se tenga impresora, se utiliza la opción de Abandonar (letra A).

4.5. EJEMPLO.

La mejor manera de poder entender los conceptos es el aplicarlos de manera controlada y para ello se recurre al análisis de la siguiente red, de la cual se conoce su geometría (coordenadas de los nudos), y los gastos que se demandan en cada nudo :



A continuación se efectuará una distribución inicial de gastos (poniendo también el sentido del flujo), y se proporcionan las longitudes de cada tramo :



Ahora que ya se tiene los datos necesarios para que SimilRed funcione, se procederá a ejecutar el programa, de acuerdo a las instrucciones de captura de información, se utilizará la opción de CREACION (se supone que se trabaja en disco duro) :

a) Se pide la opción de creación del archivo y se da la información básica para la existencia del archivo.

a.1) Se da el disco donde se trabajará.

C:

a.2) Se da el nombre del subdirectorío a utilizar, siguiendo todo el camino desde la raíz.

\WORKING!\VARIOS

a.3) Se da el nombre del archivo en el que se conservarán los datos.

ALF

b) Se dan los datos básicos de la red.

b.1) Número de tramos.

18

b.2) Número de nudos.

13

c) Se comienza a dar de manera ordenada las características generales del sistema de tuberías.

c.1) Tipo de materiales.

3 (Todas las tuberías son de asbesto cemento)

c.2) Ajuste de diámetros.

Automático.

d) De manera ordenada se ingresan los datos para cada tubería .

d.1) Gasto estimado.

d.2) Longitud.

d.3) Nudo inicial.

d.4) Nudo final.

e) Así mismo se darán los datos propios de cada nudo.

e.1) Gasto de aportación.

e.2) Gasto de extracción.

e.3) Coordenada en eje X.

e.4) Coordenada en eje Y.

f) Al terminar, si todos los datos de nudos se dieron correctamente, se continua con la presentación de las gráficas de la planta y de la proyección de la red.

g) Se guardan todos los datos en el archivo y se regresa al menú principal.

Ahora lo mejor es que se proceda a revisar que los datos sean correctos, para lo cual se utiliza la opción de EDICION. El programa recuerda los datos anteriores, por lo cual se aceptarán y se continuará hasta llegar a un menú para los tramos, que cuenta con las opciones de Revisar, Editar, Terminar. Primero se usará la opción de Revisión. Si algún dato es erróneo, se arregla regresando a la opción anterior, se pide la opción de editar y se corrige el error. Si no hay errores se continua hasta regresar al menú principal.

Si en este momento se pide un reporte, únicamente se imprimirán los datos iniciales (como se ilustra a continuación).

T R A M O S

(- - - - - Datos Iniciales - - - - -)

Tramo	Diámetro (in)	Rugosidad (mm)	Longitud (m)	Nudo Ini Fin	Gasto Estimado (l/s)
1	19.69	0.025000	300.00	1 2	192.5000
2	13.78	0.025000	350.00	2 3	77.5000
3	19.69	0.025000	200.00	1 4	192.5000
4	13.78	0.025000	200.00	2 5	77.7500
5	11.81	0.025000	200.00	3 6	54.7500
6	11.81	0.025000	300.00	4 5	57.5000
7	9.84	0.025000	350.00	5 6	43.0000
8	9.84	0.025000	400.00	6 7	40.0000
9	13.78	0.025000	250.00	4 8	100.0000
10	9.84	0.025000	250.00	5 9	42.2500
11	5.91	0.025000	250.00	6 10	17.7500
12	5.91	0.025000	250.00	7 11	10.0000
13	5.91	0.025000	300.00	8 9	15.0000
14	13.78	0.025000	350.00	9 10	80.2500
15	7.87	0.025000	400.00	10 11	23.0000
16	9.84	0.025000	150.00	10 12	40.0000
17	5.91	0.025000	150.00	11 13	10.0000
18	5.91	0.025000	400.00	12 13	10.0000

N U D O S

(- - - - - Datos Iniciales - - - - -)				
Nudo	Gasto Entrada (1/s)	Gasto Salida (1/s)	Coordenadas	
			X	Y
1	410.0000	25.0000	0	0
2	0.0000	37.0000	300	0
3	0.0000	23.0000	650	0
4	0.0000	35.0000	0	200
5	0.0000	50.0000	300	200
6	0.0000	40.0000	650	200
7	0.0000	30.0000	1050	200
8	0.0000	25.0000	0	450
9	0.0000	37.0000	300	450
10	0.0000	35.0000	650	450
11	0.0000	23.0000	1050	450
12	0.0000	30.0000	650	600
13	0.0000	20.0000	1050	600

Una vez que los datos son correctos se procede a encontrar la respuesta al problema con la opción de SOLUCION. Como los datos básicos ya los tiene en memoria, se aceptan. Después de un instante, se presenta la solución. No se creará un nuevo archivo con los diámetros ajustados.

Ahora ya es posible pedir un reporte para impresión, lo cual se logra con la opción de REPORTE.

A continuación se presenta el reporte que incluye los datos iniciales, la solución del problema y la gráfica resultante.

T R A M O S

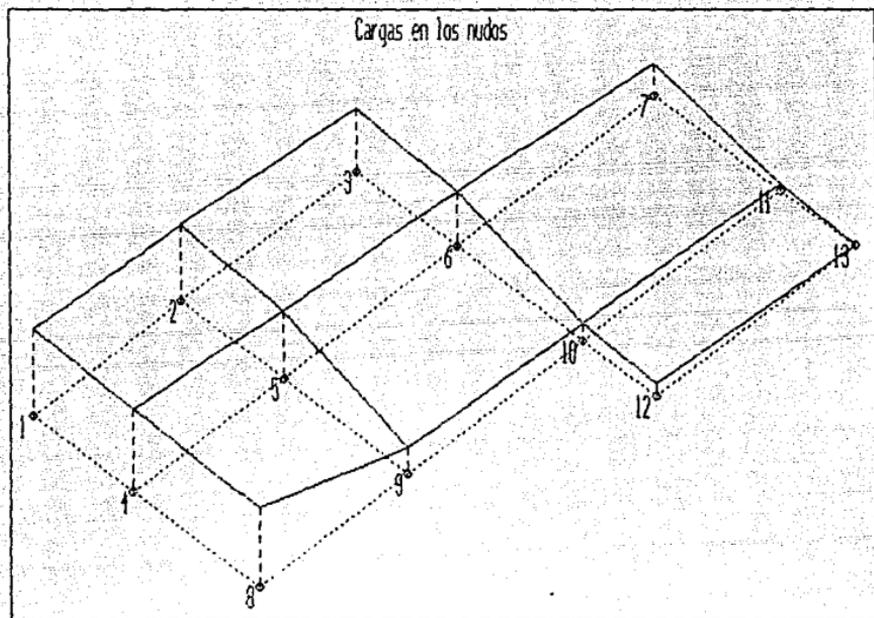
(----- Datos Iniciales -----) (----- Resultados -----)

Tramo	Díámetro (in)	Rugosidad (aa)	Longitud (m)	Nudo Ini Fin	Gasto Estimado (l/s)	Pérdida (m)	Factor Fricción	Velocidad (m/s)	Gasto (l/s)	Tramo
1	19.69	0.025000	300.00	1 2	192.5000	0.5713	0.013799	1.1636	220.4785	1
2	13.78	0.025000	350.00	2 3	77.5000	0.7034	0.015200	0.9527	91.6592	2
3	19.69	0.025000	200.00	1 4	192.5000	0.1099	0.014577	0.7972	156.5295	3
4	13.78	0.025000	200.00	2 5	77.5000	0.4707	0.015010	1.0374	99.8113	4
5	11.81	0.025000	200.00	3 6	54.7500	0.5011	0.015633	0.9713	60.6592	5
6	11.81	0.025000	300.00	4 5	57.5000	0.0532	0.015475	1.0401	73.5191	6
7	9.84	0.025000	350.00	5 6	43.0000	0.7320	0.016771	0.7831	38.4419	7
8	9.84	0.025000	400.00	6 7	40.0000	1.2011	0.016266	0.9516	46.7137	8
9	13.78	0.025000	250.00	4 8	100.0000	0.1531	0.016084	0.4990	40.0104	9
10	9.84	0.025000	250.00	5 9	42.2500	2.2015	0.014966	1.7293	04.8885	10
11	5.91	0.025000	250.00	6 10	17.7500	1.9045	0.017350	1.1537	20.3074	11
12	5.91	0.025000	250.00	7 11	10.0000	1.3751	0.018103	0.9450	16.7137	12
13	5.91	0.025000	300.00	8 9	15.0000	2.9015	0.017250	1.3021	23.0104	13
14	13.78	0.025000	350.00	9 10	00.2500	0.4300	0.015022	0.7369	70.0909	14
15	7.07	0.025000	400.00	10 11	23.0000	0.5921	0.010600	0.5506	17.5479	15
16	7.04	0.025000	150.00	10 12	40.0000	0.3190	0.016750	0.7092	30.7304	16
17	5.91	0.025000	150.00	11 13	10.0000	0.4005	0.019342	0.6373	11.2616	17
18	5.91	0.025000	400.00	12 13	10.0000	0.6729	0.020253	0.4945	0.7304	18

N U D O S

(----- Datos Iniciales -----)				(----- Resultados -----)		
Nudo	Gasto Entrada (l/s)	Gasto Salida (l/s)	Coordenadas		Carga (m)	Nudo
			X	Y		
1	410.0000	25.0000	0	0	14.7533	1
2	0.0000	37.0000	700	0	14.1819	2
3	0.0000	23.0000	650	0	13.4784	3
4	0.0000	35.0000	0	200	14.5644	4
5	0.0000	50.0000	300	200	13.7112	5
6	0.0000	40.0000	650	200	12.9773	6
7	0.0000	30.0000	1050	200	11.7760	7
8	0.0000	25.0000	0	450	14.4114	8
9	0.0000	37.0000	700	450	11.4300	9
10	0.0000	35.0000	650	450	10.9921	10
11	0.0000	23.0000	1050	450	10.4004	11
12	0.0000	30.0000	650	600	10.6751	12
13	0.0000	20.0000	1050	600	10.0000	13

Gráfica



Línea Segmentada → Energía
 Línea Continua → Gradiente
 Línea Punteada → Proyección de la Red

Iteraciones : 4
 Tolerancia (1/s) : 0.0100
 Tiempo de Solución (s) : 8.73
 Material : Diferente en cada tramo .

NOTA : La mínima carga en la gráfica es de 10%. La Solución debe ser analizada cuidadosamente !

5. Conclusiones .



5. CONCLUSIONES.

El proceso de diseño de una red de distribución tiene que ser iterativo, pues de una estimación inicial de diámetros, es posible ajustarlos hasta obtener un rango óptimo de funcionamiento. Para lograr esto es necesario un método de solución para las estimaciones realizadas que sea rápido, preciso, comprensible y de fácil uso. El modo en que trabaja SimilRed trata de cumplir con esas necesidades es con su manejo de datos a base de archivos, el método de numérico con el que se resuelve el problema, y el despliegue gráfico.

A comparación con el método de Cross el método de Teoría Lineal parece ser de difícil implantación y comprensión, sin embargo resulta más fácil en su manejo si se trata de entender las ecuaciones que definen el problema.

El método de la Teoría Lineal resulta ser cada vez más rápido en sistemas que tengan muchos circuitos y tramos, mientras que el de Cross es eficiente con pocos circuitos y tramos. La eficiencia depende en el método de Cross de lo atinada que sea la distribución inicial de gastos y que los recorridos de circuitos

individuales no afecten demasiado a otros. El método de la Teoría Lineal depende únicamente de la velocidad con que se pueda armar y resolver un sistema de ecuaciones y no de la distribución inicial de gastos.

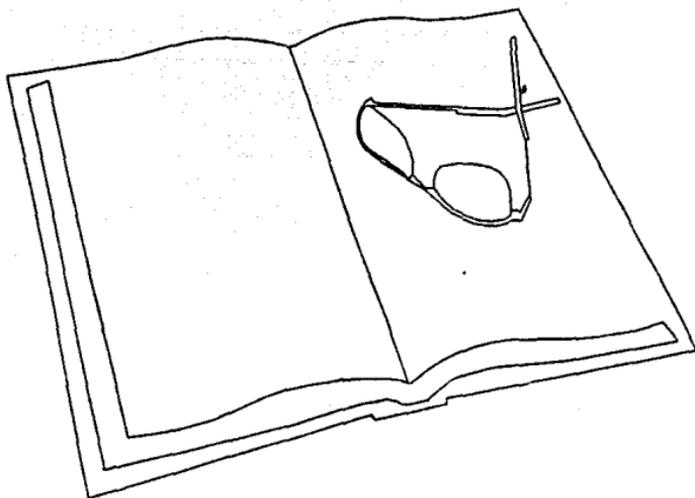
Además existen métodos numéricos muy veloces para resolver sistemas de ecuaciones como los de Gauss especial para matriz simétrica, para matriz con diagonal pesada, Crout, Choleski (modificado), etc.; en cuanto al armado de ecuaciones se puede desarrollar un esquema que recuerde que ecuaciones se utilizan para formar la Matriz Alfa y el vector gastos. El método de la Teoría Lineal es sensible a la presencia de tramos innecesarios, por lo que también se podría implementar una metodología que los detecte y los pueda eliminar.

El contar con mayor eficiencia en el proceso de solución resulta en un mejor diseño, puesto que se podrá poner mayor atención a los detalles que se deben analizar : costos, materiales, proyectos alternativos, etc.

Aunque el método de Teoría Lineal tiene las ventajas comentadas, su aplicación se ha limitado a medios especializados y técnicos, mientras que para la docencia y análisis tradicionales solo existen los métodos de relajaciones y dificultad cuando desean encontrar otros enfoques. Otro de los propósitos de este trabajo es poner al alcance el método numérico y un programa que puede ser ejecutable en casi cualquier computadora personal.

Algo que se debe recordar es que aunque varios métodos numéricos nos den resultados muy parecidos, no significa que la naturaleza se comportará de esa manera. El usuario debe tener en cuenta que para estudiar un fenómeno siempre se simplifican las ecuaciones que lo gobiernan, con los métodos numéricos existen problemas con la precisión de los números, propagación de errores en los cálculos. Lo único que nos queda es advertir que el criterio y la experiencia son necesarios porque las computadoras realizan lo que les indique.

Apéndices .



APÉNDICE A. CÁLCULO DE COEFICIENTES DE FRICCIÓN.

El modelo matemático empleado requiere que las pérdidas de energía se evalúen utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach :

$$hf_k = f_k \frac{l_k V_k^2}{D_k 2g} \quad (A.1)$$

donde :

hf = pérdida de energía,

f = factor e fricción,

l = longitu del tubo,

D = diámetr del tubo,

V = velocid d media en la tubería,

g = acelera ión de la gravedad.

k = tramo en cuestión .

El factor de fricción, según investigaciones de Nikuradse, Blausius , Saph, Schoder, y otros, es una función del número de Reynolds, de la rugosidad del material y del diámetro del conducto.

El número de Reynolds sirve para determinar la relación de las fuerzas de inercia y viscosidad, y distinguir características del flujo :

$$Re = \frac{\text{Fuerza de inercia}}{\text{Fuerza viscosa}} \quad \text{número de Reynolds} \quad (A.2)$$

Para un conducto circular se expresa :

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad \text{número de Reynolds} \quad (A.3)$$

donde :

V, es la velocidad media,

D, es el diámetro del conducto,

ν , es la viscosidad cinemática del fluido.

De acuerdo al valor de Re se tiene la clasificación del tipo de flujo :

- Laminar, si $Re \in (0, 2000)$.
- Transición, si $Re \in (2000, 4000)$.
- Turbulento, si $Re \in (4000, \infty)$.

Basándose en los resultados de Nikuradse et al, Colebrook y White encontraron una fórmula que permite encontrar el coeficiente de fricción cuando el flujo esta en transición :

Fórmula de Colebrook y White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \operatorname{Log} \left(\frac{c/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (\text{A.4})$$

Esta misma Ecuación servirá para determinar el flujo turbulento si se elimina el segundo elemento en el paréntesis (si el número de Reynolds es muy grande la expresión se vuelve innecesaria). Para relaciones c/D muy pequeñas (Diámetro grande), se obtendría la ecuación de tubos lisos.

Debido a esto se eligió la expresión de Colebrook y White para determinar los coeficientes de fricción, puesto que generalmente el número de Reynolds y el diámetro son grandes. Sin embargo la ecuación tiene el inconveniente de ser implícita, (el valor del coeficiente no se puede despejar), por lo que se aplica un método numérico recursivo :

- Se da un valor inicial (f_1)

- Repetir

$$- f_0 = f_1$$

(A.5)

$$- \text{se evalua } f_1 = \frac{1}{2 \operatorname{Log} \left(\frac{c/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f_0}} \right)}$$

- Hasta que la diferencia en valor absoluto entre f_0 y f_1 se encuentre dentro de una tolerancia.

- $f = f_1$

El procedimiento requiere de pocas repeticiones para lograr un valor aceptable para f .

Se han encontrado también fórmulas que tienen un comportamiento muy parecido a la ecuación de Colebrook y White, sin embargo son varias las que se deben utilizar, ya que solo son válidas bajo ciertas características. Por ejemplo Don J. Wood⁵ encontró que :

si $Re > 10000$ y $10^{-5} < \epsilon/D < 0.04$

entonces se puede aplicar :

$$f = a + b Re^{-c} , K = \epsilon/D$$

donde :

$$a = 0.094 K^{0.225} + 0.53 K ,$$

$$b = 88 K^{0.44} ,$$

$$c = 1.62 K^{0.134}$$

A pesar de que las expresiones como la de Wood son de aplicación rápida tienen muchas limitaciones. Por eso se optó por utilizar la expresión recursiva desarrollada a partir de la fórmula de Colebrook y White.

⁵

Streeter/Mecánica de los fluidos/sexta edición/pag 318

APÉNDICE B. GENERACIÓN DE PROYECCIONES.

Una de las características de SimilRed es el despliegue gráfico de la distribución de cargas de energía y del gradiente en la red.

El problema consiste en pasar de un marco plano de referencia a simular un plano tridimensional en un plano (tal como se procede en una proyección isométrica en dibujo técnico o geometría descriptiva).

La transformación de un universo de tres dimensiones a uno de dos se lleva a cabo aplicando el siguiente criterio :

$$X, Y, Z \longrightarrow \begin{cases} X' = (Y + X) \cos \theta \\ Y' = (Y - X) \sin \theta - Z \end{cases}$$

(Recordar el desarrollo que tienen los ejes en SimilRed)

El siguiente paso es afectar a X' y Y' por coeficientes y translaciones de manera que los puntos que generan las gráficas queden dentro de la pantalla. Si el mínimo valor resulta ser negativo, se suma ese valor en valor absoluto a todos los puntos

de la gráfica, Si el mínimo valor resulta ser positivo, ese valor se resta a todos los puntos de la gráfica. Posteriormente, de acuerdo al máximo valor que resulte se fuerza a que la gráfica quede totalmente en la pantalla, mediante un coeficiente que se encuentra dividiendo la resolución posible entre el máximo valor encontrado y multiplicando por coeficiente a todos los puntos de la gráfica.

APÉNDICE C.- LISTADO BÁSICO DEL PROGRAMA SIMILRED..!

Se presenta el listado del programa en sus partes más importantes para que pueda ser implementado el método de Teoría Lineal en cualquier otro lenguaje de programación.

El listado esta escrito en lenguaje Pascal (específicamente Turbo Pascal 5.5), puesto que es un lenguaje estructurado y que se puede trasladar cómodamente a cualquier otro.

El programa ejecutable se encuentra disponible en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería, cuyo código fuente es (en sus aspectos principales) :

Program Redes;

Type Real = Extended;

Const

```
Nu      : Real = 1.0E-06; {Viscosidad Cinemática}
Tolerancia : Real = 1.0E-05;
{Pi : Real = 3.1415...      (*Constante Geométrica*)}
MaximoTramos = 50;
MaximoNudos  = 55;
CargaMinima  : Integer = 10;
```

Type

Tramos = Array [1..MaximoTramos] of Real;
 Nudos = Array [1..MaximoNudos] of Real;
 TramoNudo = Array [1..MaximoTramos] of Byte;
 NudoGrafica = Array [1..MaximoNudos] of PointType;

Var

i,j,k,l,m,n : Byte;
 Iteracion : Byte;
 NumTramos,
 NumNudos : Byte;
 Diametro,
 Area,
 Longitud,
 Rugosidad,
 RugDivDiam,
 Reynolds,
 F,
 Ck,
 Alfa,
 Gasto,
 GastoAjustado,
 Velocidad,
 Perdidas : Tramos;
 NudoInicial,
 NudoFinal : TramoNudo;
 GastoSalida,
 GastoEntrada : Nudos;
 MatrizAmpliada : Array [1..MaximoNudos+1] of Nudos;
 Maximo,
 Minimo : Real;

```
Function X_Pot_Y ( Base, Exponente : Real) : Real ;
Begin
  X_pot_Y := Exp( Exponente * Ln(Base));
End;
```

```
Procedure CapturaDatos;
Begin
End;
```

```
Procedure Prepara;
Begin
  For i:= 1 To NumTramos Do Begin
    Diametro[i] := Diametro[i] * 0.0254;
    Rugosidad[i]:= Rugosidad[i]/1000;
    Gasto[i] := Gasto[i]/1000;
  End;
  For I:= 1 to NumNudos Do Begin
    GastoEntrada[i] := GastoEntrada[i]/1000;
    GastoSalida[i] := GastoSalida[i]/1000;
  End;
End; (Procedure Prepara)
```

```
Procedure PreCalculo;
Begin
  For j:= 1 to NumTramos Do Begin
    RugDivDiam[j]:= Rugosidad[j]/Diametro[j];
    Area [j] := Pi*Diametro[j]*Diametro[j]/4;
    F[j] := 0.01;
  End; ( For j )
End; (Procedure PreCalculo)
```

```
Procedure Friccion;
```

```
Const
```

```
  tol =1.0E-4;
```

```
Var
```

```
  f0,
```

```
  f1 : Real;
```

```
Begin
```

```
  For i:=1 To Numtramos Do Begin
```

```
    Reynolds[i] := Abs(Gasto[i])*Diametro[i]/Nu/Area[i];
```

```
    f0 := F[i];
```

```
    f1 := f0;
```

```
    Repeat
```

```
      f0 :=f1;
```

```
      f1:= 1/Sqr(0.86*Ln(RugDivDiam[i] /3.7 +  
        2.51/Reynolds[i]/Sqrt(f0)));
```

```
    Until (Abs(f0-f1) < Tol);
```

```
    F[i] := f1;
```

```
  End; (for i)
```

```
End; ( Procedure Friccion )
```

```
Procedure CalculoAlfas; .
```

```
Begin
```

```
  For j:= 1 To NumTramos Do Begin
```

```
    ck[j] :=
```

```
    F[j] * Longitud[j]/Diametro[j]/19.62/Area[j]/Area[j];
```

```
    Alfa[j] := 1/2/ ck[j]/Abs(Gasto[j]);
```

```
  End; (For j)
```

```
End; (Procedure CalculoAlfas)
```

```

Procedure ArmaSistemaEcuaciones;
Begin
    FillChar(MatrizAmpliada,SizeOf(MatrizAmpliada),0);
    For i:= 1 To NumNudos Do
        MatrizAmpliada [i,NumNudos+1]:=
            GastoSalida[i] - GastoEntrada[i];
    (End For i)
    For i:= 1 To NumNudos Do
        For j:= 1 To NumTramos Do
            If (NudoInicial[j] = i) Then Begin
                MatrizAmpliada[i,i]:=
                    MatrizAmpliada[i,i] - Alfa[j];
                MatrizAmpliada[i,NudoFinal[j]] := Alfa[j];
                MatrizAmpliada[i,NumNudos+1] :=
                    MatrizAmpliada[i,NumNudos+1] + Gasto[j]/2;
            End
            Else If (NudoFinal[j] = i) Then Begin
                MatrizAmpliada[i,i]:=
                    MatrizAmpliada[i,i] - Alfa[j];
                MatrizAmpliada[i,NudoInicial[j]] := Alfa[j];
                MatrizAmpliada[i,NumNudos+1] :=
                    MatrizAmpliada[i,NumNudos+1] - Gasto[j]/2;
            End; (If )
        (End For j)
    (End For i)
End; (Procedure ArmaSistemaEcuaciones)

```

Procedure SolucionSistemaEcuaciones;

Var

Pivote,
Cero : Real;

Begin

For i:= 1 To NumNudos Do Begin

Pivote := MatrizAmpliada [i,i];

For j:= 1 To (NumNudos + 1) Do

MatrizAmpliada [i,j] := MatrizAmpliada [i,j] / Pivote;

For k:= 1 To NumNudos Do Begin

If (k <> i) Then Begin

Cero := MatrizAmpliada[k,i];

For j := 1 to (NumNudos+1) do

MatrizAmpliada[k, j] := MatrizAmpliada[k,j]

- Cero*MatrizAmpliada[i,j];

{End; For j}

End; {If}

End; {For k}

End; {For i}

End; (SolucionSistemaEcuaciones)

Procedure AjustaGastos;

Var

NI,
NF : Byte;

Begin

For j:= 1 To NumTramos Do Begin

NI := NudoInicial[j];

NF := NudoFinal [j];

GastoAjustado[j] :=

Alfa [j] * (MatrizAmpliada[NI,NumNudos+1] -

MatrizAmpliada[NF,NumNudos+1])+ Gasto[j]/2;

End; {For j}

End; (Procedure AjustaGastos)

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Function SatisfacerTolerancia : Boolean;

Var

Romper : Boolean;

Begin

Romper := False;

i:= 0;

Repeat

i:=Succ(i) ;

If (Abs(GastoAjustado[i] - Gasto[i])) > Tolerancia Then

Begin

For j:= 1 To NumTramos Do

Gasto[j] := GastoAjustado[j];

(End; For)

Romper := True;

End; (If)

Until (Romper) or (i = NumTramos) ;

If Romper Then

SatisfacerTolerancia := False

Else

SatisfacerTolerancia := True;

(End; If)

End; (Function SatisfacerTolerancia)

Procedure CalcularPerdidas;

Begin

For j:= 1 To NumTramos Do Begin

ck[j] :=

F[j]* Longitud[j]/Diametro[j]/19.62/Area[j]/Area[j];

Perdidas[j] := ck[j]*Gasto[j]*Abs(Gasto[j]);

End; (for j)

End; (CalcularPerdidas)

Procedure Minimovalor;

Begin

 Minimo := MatrizAmpliada [1 , NumNudos+1];

 For i:=2 To NumNudos Do

 If (MatrizAmpliada [i , NumNudos+1] < Minimo) Then

 Minimo := MatrizAmpliada [i , NumNudos+1];

 (End; If)

 (End; For)

End; (Procedure Minimo)

Procedure Maximovalor;

Begin

 Maximo := MatrizAmpliada [1 , NumNudos+1];

 For i:= 2 To NumNudos Do

 If (MatrizAmpliada [i , NumNudos+1] > Maximo) Then

 Maximo := MatrizAmpliada [i , NumNudos+1];

 (End; If)

 (End; For)

End; (Procedure Maximovalor)

Procedure EncontrarCargas;

Begin

 Minimovalor;

 For i:= 1 to NumNudos Do

 MatrizAmpliada[i,NumNudos+1] :=

 MatrizAmpliada[i,NumNudos+1] + CargaMinima + -Minimo;

 (End; For)

End; (EncontrarCargas)

Procedure PreparaResultados;

Begin

End;

```
Procedure Resultados;  
Begin  
End;
```

```
(* Principal *)  
Begin  
  CapturaDatos;  
  Prepara;  
  PreCalculo;  
  Iteracion := 0;  
  Repeat  
    Friccion;  
    CalculoAlfas;  
    ArmaSistemaEcuaciones;  
    SolucionSistemaEcuaciones;  
    AjustaGastos;  
    Iteracion:=Succ(Iteracion);  
  Until SatisfacerTolerancia;  
  CalcularPerdidas;  
  EncontrarCargas;  
  PreparaResultados;  
  Resultados;  
End.
```

APÉNDICE D. BIBLIOGRAFÍA.

- Sotelo Avila, Gilberto.
Hidráulica General.
Limusa.

- Streeter, Victor .
Mecánica de los fluidos.
Mc Graw-Hill.

- Fuentes Mariles, Oscar y Martínez Austria, Polioptro.
Introducción a los métodos numéricos aplicados a la
hidráulica.
IMTA.

- Luthe , Rodolfo ,et al.
Métodos Numéricos.
Limusa.

- Hearn, Donald.
Computer Graphics.
Prentice-Hall.