

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, Centro América

CALCULO DE REDES DE DISTRIBUCION DE AGUA.  
COMPARACION DE METODOS

TESIS

Presentada a la Junta Directiva

de la

Facultad de Ingeniería

de la

Universidad de San Carlos de Guatemala

por

JULIO MAURICIO GONZALEZ SALAZAR

Al conferírsele el título de

INGENIERO CIVIL

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Biblioteca Central

Guatemala, noviembre de 1969.

BIBLIOTECA CENTRAL-USAC

DL 08  
F(68)

JUNTA DIRECTIVA  
DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DE LA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Decano:	Ing. Amando Vides Tobar
Vocal Primero:	Ing. Marco Antonio Cuevas
Vocal Segundo:	Ing. Francisco Ubieta B.
Vocal Tercero:	Ing. Adolfo Behrens
Vocal Cuarto:	Br. Alfredo Bonatti
Vocal Quinto:	Br. Eliseo Osorio
Secretario:	Ing. Héctor Centeno B.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN  
GENERAL PRIVADO

Decano:	Ing. Amando Vides Tobar
Vocal Segundo:	Ing. Francisco Ubieta B.
Examinador:	Ing. Abel Armas
Examinador:	Ing. José Basilio Monzón
Secretario Interino:	Ing. Jorge Luis Lazo M.

TESIS DE REFERENCIA  
NO

DEDICO ESTE ACTO

A DIOS

A mis padres:

Julio González Izaguirre

Marta Salazar de González

A mis hermanos

A mis compañeros de estudio

A la Facultad de Ingeniería

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con lo establecido por la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, mi trabajo de tesis titulado:

"CALCULO DE REDES DE DISTRIBUCION DE AGUA.  
COMPARACION DE METODOS"

Tema que me fue asignado por la Junta Directiva de la

Facultad de Ingeniería

## CONTENIDO

	INTRODUCCION	i
CAPITULO 1	DESCRIPCIONES PREVIAS	1
CAPITULO 2	DESCRIPCION DE LOS METODOS DE DISEÑO	9
	2-1 Método de Hardy-Cross	9
	2-1.1 Método del Balance de Cargas	9
	2-1.2 Método del Balance de Caudales	15
	2-2 Procedimiento del Gasto Promedio por el Ing. Carlos E. Ruiz Altuna	17
	2-3 Método Gráfico de Ajuste de Gradientes Hidráulicas por el Ing. Rodrigo Bustamente V.	23
CAPITULO 3	EJEMPLOS ILUSTRATIVOS DE LOS METODOS DE DISEÑO	27

CAPITULO 4	COMPARACIONES DE LOS METODOS DE DISEÑO	73
CAPITULO 5	OTROS METODOS DE ANALISIS Y DISEÑO	77
	5-1 Método de los Tubos Equivalentes	77
	5-2 Método de Secciones	81
	5-3 Análisis Mediante Computadora Digital	83
	5-4 Método de la Analogía Eléctrica	90
	5-5 Uso de Reglas Hidráulicas	91
CAPITULO 6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
	BIBLIOGRAFIA	101

## I N T R O D U C C I O N

Día a día y con el correr de los años, nos damos cuenta que las ciudades crecen estimuladas por el acelerado desarrollo industrial; lógicamente también las ciudades acusan cada cierto período de tiempo, un incremento en la tasa de crecimiento de la población, es decir que el número de habitantes aumenta considerablemente en todo el mundo.

Por otra parte el agua, imprescindible para el mantenimiento de la vida tanto humana como vegetal, se hace indispensable en todo tiempo; es por eso que con el aumento constante de habitantes en una ciudad, que a la vez trae aumento en el aspecto industrial, el consumo de agua se hace cada vez más fuerte y por consiguiente que la demanda se intensifique más.

La demanda se calcula basándose en el consumo personal, doméstico, comercial, industrial y público; por lo tanto cada vez que se hace más necesaria el agua en cada uno de los diferentes aspectos enunciados, la reserva de las ciudades puede sufrir grandes mermas y afrontar serios problemas para proporcionarla en las cantidades requeridas.

En consecuencia, sabemos que siempre existirá la necesidad de introducir caudales adicionales a las ciudades, haciendo uso de nuevas fuentes que satisfagan la demanda existente.

Para conducir dicho elemento, se instalan conductos abiertos o cerrados, suministrándose la energía necesaria por gravedad o bombeo. Una vez el agua está acarreada, se hace pasar a plantas purificadoras y seguidamente, a tanques de almacenamiento, los cuales tendrán lista la dotación de agua para que haga uso de ella el consumidor; a éste último se le proporcionará por medio de "redes de distribución" ya sea mediante las ya existentes o por medio de otras nuevas, las cuales pueden considerarse como la última etapa del sistema global de un acueducto. En una red de distribución debe tomarse en cuenta lo siguiente: el tipo de servicio y la capacidad y presión del sistema. Se deben de ejecutar también estudios del comportamiento hidráulico y por último hacer estudios de gabinete donde se consideraran las extensiones, ampliaciones y refuerzos necesarios de las redes antiguas.

Se tendrán en cuenta también los métodos de diseño y análisis tanto para las nuevas como para las existentes.

Hemos llegado a lo que en sí son las redes de distribución que juntamente con los procedimientos de diseño es el tema a ser tratado en el presente trabajo de tesis. El objeto de éste es el contribuir a orientar a aquellos ingenieros que no estén familiarizados en este campo, y que deseen ampliar sus conocimientos en lo que se refiere al diseño de redes de distribución de agua.

En el capítulo 2, se describen los siguientes procedimientos: el método de Hardy-Cross, muy conocido en nuestro medio; el Procedimiento del Gasto Promedio, del Ing. Carlos Ruiz Altuna, de Lima-Perú, así como también el método de Ajuste de Gradientes Hidráulicos, elaborado por el Ing. Rodrigo Bustamante de San José-Costa Rica. Por otra parte en el capítulo 5, se muestran otros métodos de análisis y diseño, los cuales vendrán a comple-

mentar aun más, el trabajo que se presenta aquí.

Por último desarrollaremos y discutiremos los métodos de diseño mencionados en el capítulo 2, de tal manera que podamos dar a nuestro juicio una idea del que mejor se ajuste, tanto a problemas difíciles, como también a los que no muestren gran complicación.

También haremos referencia a los que se exponen en el capítulo 5, ya que entre ellos se encuentran algunos tales como el del análisis mediante la Computadora Digital, la cual se emplea para trabajos complicados; por otro lado explicaremos otros métodos de análisis aproximados y que particularmente son útiles para simplificar redes complejas y existentes.

## CAPITULO 1

### DESCRIPCIONES PREVIAS

#### 1-1 REDES DE DISTRIBUCION

La red de distribución de una instalación de abastecimiento de agua potable se compone de tuberías, válvulas de control, hidrantes, conexiones domiciliarias, accesorios y medidores.

El propósito fundamental de una red es el de proporcionar las cantidades adecuadas de agua a todos los usuarios, para satisfacer todas las necesidades en cualquier momento y a una razonable presión.

La capacidad de los sistemas de distribución debe comprender tanto los requerimientos de reserva o de disponibilidad inmediata para combate de incendios, como los de las fluctuaciones en las demandas domésticas, industriales y otras. Si embargo, la capacidad para servir no es solamente una función del consumo; es también función de la presión disponible. El agua debe subir hasta los pisos superiores de los edificios de altura común en nuestro medio (uno o dos pisos) y fluir a través de los hidrantes, ya sea directamente o mediante bombas.

El comportamiento hidráulico de los sistemas de distribución existentes, se determina más directamente por medio de estudios de la presión en los diferentes puntos críticos de la red a horas de consumo máximo. Las pruebas deberán cubrir todas las zonas típicas de la comuni-

dad: el distrito de alto valor, zonas residenciales, de servicio elevado y áreas industriales. Los resultados obtenidos establecerán las presiones y flujos disponibles y las deficiencias existentes. Esto puede constituir la base de los cálculos hidráulicos para ampliaciones, refuerzos y trazado de nuevas redes.

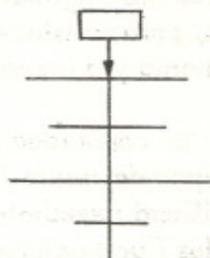
## 1-1.1 TIPOS DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION

Los tipos más comunes que se encuentran son los siguientes:

Abierto o de extremo muerto y de circuito cerrado o en parrilla.

### a) Abierto o de Extremo Muerto

Una línea principal es colocada en las calles de mayor importancia, que a su vez alimenta a otras secundarias de manera que sirvan a otras calles adyacentes.

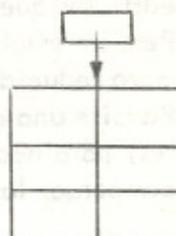


Si ocurre una rotura en uno de los tramos en medio del sistema, una gran parte de la comunidad se ve afectada por la falta de agua. Bajo ciertas circunstancias, el agua en estos sistemas puede permanecer estancada sin circular, produciendo malos sabores y olores.

Es recomendable por lo tanto, terminar los ramales abiertos en puntos de consumo, para evitar estancamientos indeseables.

## b) Circuito Cerrado o en Parrilla

Bajo el punto de vista técnico es mejor que el anterior. Este método elimina los extremos muertos y permite la circulación del agua. Si ocurre un fuerte gasto de agua en algún tramo del circuito, se establece siempre un equilibrio provocándose flujo de agua del resto de los tramos que lo conectan.



Si se hacen reparaciones en alguna línea debido a una rotura en un tubo, el área afectada por el corte de servicio que se efectúe, es más pequeña, siempre teniendo en cuenta que las válvulas estén bien localizadas.

En este sistema se establecen tuberías principales, las cuáles, forman los circuitos exteriores, tuberías secundarias, las que forma el emparrillado y por último las de servicio que abastecen a cada consumidor.

## 1-2 PRESIONES

Las diferencias en las presiones a que se mantienen en las redes de distribución de las distintas ciudades son muy amplias. Para los servicios ordinarios, se evalúan entre 1.7 y 2.8 kg/cm<sup>2</sup> en los distritos residenciales que tienen casas de altura no superior a dos pisos. En Estados Unidos se requieren presiones de 4.2 kg/cm<sup>2</sup>, aproximadamente, en los distritos residenciales donde se utilicen directamente las mangueras para extinguir los incendios; 5.3 kg/cm<sup>2</sup> para los distritos comerciales.

La American Water Works Association (A.W.W.A.) recomienda una presión estática normal de 4.2 a 5.3 kg/cm<sup>2</sup> para ofrecer las siguientes ventajas:

- a) Es suficiente para atender el consumo ordinario de edificios que tengan hasta 10 pisos de altura.
- b) Permite establecer un servicio directo desde un número reducido de bocas para mangueras.
- c) Permite una amplia fluctuación de las presiones locales, para hacer frente a repentinas demandas o para compensar las pérdidas debidas a obstrucciones.

### 1-3 FORMULA DE HAZEN-WILLIAMS

Una de las llamadas ecuaciones exponenciales en los cálculos de flujo, es la fórmula de Hazen-Williams que es la más extensamente usada en los Estados Unidos para expresar las relaciones flujo en conductos a presión o conductos que fluyen llenos.

Dicha fórmula conforme a sus autores y que fue propuesta en 1905 es la siguiente:

$$V = C R^{0.63} S^{0.54} (0.001^{-0.04}) *$$

en donde:

V = Velocidad en pies/seg

R = Radio hidráulico en pies

S = Gradiente hidráulico

C = Coeficiente de rugosidad de la tubería

el factor  $0.001^{-0.04} = 1.318$  hace a "C" conformarse en magnitud general con los valores establecidos de un coeficiente similar en la fórmula de Chezy, anterior en más de un siglo  $V = C\sqrt{RS}$

Partiendo de la fórmula de Hazen-Williams

$$V = 1.318 C R^{0.63} S^{0.54} \quad (1)$$

\* Fórmula tomada de: Hazen Williams - Hydraulic Tables - 1933.

vamos a deducir una expresión de la pérdida de carga " $h_f$ " en mts., para un tramo de tubería de longitud " $L$ " (mts.) y diámetro " $d$ " (pulgadas) en el cual fluye un caudal " $Q$ " (lts/seg).

Pondremos la fórmula (1) en términos de diámetro (pulg.) en donde

$$R = \frac{\text{Area}}{\text{perímetro mojado}} = \frac{d^2}{4 \times \pi \times d \times 12} \text{ (en pulgadas)}$$

$$R = \frac{d}{48} \text{ que sustituyendo en la fórmula (1) nos da:}$$

$$V = 1.318 C \frac{d^{0.63}}{48^{0.63}} S^{0.54}$$

$$V = 0.115 C d^{0.63} S^{0.54} \quad (2)$$

luego poniendo  $S$  en términos de  $h/L$  en la ec. (2)

$$V = 0.115 C d^{0.63} (h/L)^{0.54} \quad (3)$$

Convirtiendo la velocidad de pies/seg a mts/seg en la ec. (3)

$$V = 0.115 C d^{0.63} (h/L)^{0.54} \times \frac{1}{3.28}$$

$$\text{Luego } V = 0.0351 C d^{0.63} (h/L)^{0.54} \quad (4)$$

Ahora introduciremos  $Q$  y sabiendo que  $Q = V \cdot A$  pero el área

$$A = \frac{d^2}{4} = \frac{0.785 d^2}{1550} \text{ (área en mts}^2\text{)}$$

$$\text{ya que } 1 \text{ mt}^2 = 1550 \text{ pulg}^2$$

$$\text{Luego } Q = V \times A$$

$$Q = 0.0351 C d^{0.63} (h/L)^{0.54} \times \frac{0.785}{1550} d^2$$

$$Q = \frac{0.0351 \times 0.785}{1550} C d^{2.63} (h/L)^{0.54}$$

multiplicamos x 1000 para obtener litros

$$Q = \frac{0.0351 \times 0.785 \times 1000}{1550} C d^{2.63} (h/L)^{0.54}$$

$$Q = 0.0178 C d^{2.63} (h/L)^{0.54} \quad (5)$$

Si hacemos  $h = h_f$  y despejamos este término en la ec. (5) tendremos:

$$h_f = \frac{Q \times L^{0.54}}{0.0178 C d^{2.63}} \quad \frac{1}{0.54} = \frac{Q^{1.85} \times L}{(0.0178)^{1.85} C^{1.85} d^{4.87}}$$

$$h_f = \frac{Q^{1.85} \times L \times 1733}{C^{1.85} \times d^{4.87}} \quad (6)$$

en donde  $k' = \frac{1733000}{C^{1.85} d^{4.87}}$  y  $k = \frac{k' L}{1000}$

Luego tendremos que la fórmula (6) se reduce a la siguiente expresión general

$$\boxed{h_f = k Q^{1.85}} \quad (7)$$

A continuación mostraremos una tabla de valores de  $k'$  para el cálculo de la pérdida de carga.

## VALORES DE $k'$ PARA EL CALCULO DE LA PERDIDA DE CARGA

(aplicación de la fórmula de Hazen-Williams a conductos circulares)

Diámetro	C = 100	C = 140
4"	0.40435	0.21698
6"	0.05613	0.03012
8"	0.01383	0.00742
10"	0.00466	0.00250
12"	0.00192	0.00103
14"	0.00091	0.00049

Q=gasto (lts/seg)

d=diámetro (pulgadas)

L=longitud (mts)

$h_f$ =pérdida de carga (mts)

## CAPITULO 2

### DESCRIPCION DE LOS METODOS DE DISEÑO

#### 2-1 METODO DE HARDY CROSS

El profesor Hardy-Cross fue catedrático de Ingeniería Civil (Estructuras), primero en la Universidad de Illinois y después en la Universidad de Yale. El método que se expone a continuación fue trasladado por él, del análisis estructural al análisis hidráulico, y presentado en el año de 1936.

Este método es el más utilizado para el cálculo de redes de distribución de agua en el cual se calculan los ajustes que deben hacerse en los valores supuestos, y de consiguiente, quedan registrados. La convergencia de los errores es en muchos casos, rápida y corrientemente, con tres ajustes puede obtenerse suficiente precisión en los resultados.

En la práctica del método se presentan las dos formas siguientes:

El Método del Balance de Cargas y el Método del Balance de Caudales.

#### 2-1.1 METODO DEL BALANCE DE CARGAS

Este consiste en lo siguiente: conocidos los puntos de entrada y de salida así como sus respectivos gastos fijos,

en una red de distribución, se asumen los gastos de tanteo que circulan por las tuberías, gastos que se corrigen por aproximaciones sucesivas hasta obtener el equilibrio de las pérdidas de carga. Las aproximaciones se elevan hasta un límite práctico, es decir, hasta que el desequilibrio en las pérdidas de carga no sea significativo para el problema en estudio.

Esta forma es la más usada puesto que son datos del problema los puntos de entrada y salida de la red y se le conoce como el "Método del Balance de Cargas".

Conociendo los diámetros, longitudes y coeficientes de rugosidad de cada tramo, en este método de "Balance de Cargas", y asumidos los gastos de cada tramo de la red en cuestión, se hace el balance de cargas corrigiendo sucesivamente los citados gastos, con la fórmula que en su expresión más general es la siguiente:

$$\text{Corrección de gasto} = \frac{\text{Suma algebraica de pérdidas de carga}}{\text{Suma de las primeras derivadas de la ecuación de la pérdida de carga.}}$$

En general, la ecuación de la pérdida de carga se expresa:

$$h = k Q^n \quad (2-1)$$

y la primera derivada

$$\frac{dh}{dQ} = n k Q^{n-1} \quad (2-2)$$

en las que "k" (llamada también resistencia de la tubería) es un factor que varía con el diámetro y el coeficiente de rugosidad de la tubería y "n" es el exponente de la fórmula que se utiliza. (En la fórmula de Hazen-Williams,  $n = 1.85$ ).

Para hallar las pérdidas de carga y sus derivadas se si

güen tres procedimientos (tomado del trabajo presentado por el Ing. Carlos Ruiz Altuna):

a.- Utilizando tablas de Potencias: Se calculan las resistencias de todos los tramos y luego con la ayuda de una tabla de las potencias  $n-1$  se hallan las primeras derivadas sobre "n" ( $k Q^{n-1}$ ), finalmente, multiplicando estas por el gasto correspondiente se hallan las pérdidas de carga ( $k Q^n$ ).

b.- Utilizando nomogramas especiales: Se hallan las resistencias o longitudes equivalentes de todos los tramos de la red, luego con el auxilio de nomogramas de las fórmulas de las pérdidas de carga y de la primera derivada, se hallan estos valores.

c.- Utilizando abacos de flujo de agua en tuberías: Con el auxilio de abacos de flujo de agua en tuberías de uso corriente, se hallan las pendientes hidráulicas de cada tramo, luego multiplicando éstas por las longitudes respectivas se hallan pérdidas de carga ( $k Q^n$ ) y finalmente dividiendo entre los gastos correspondientes se hallan las primeras derivadas sobre "n", ( $k Q^{n-1}$ ).

Este último procedimiento es el preferido por el mayor número de ingenieros, puesto que no se requiere nomogramas especiales, ni de tablas de las potencias  $n-1$ , siendo suficiente un abaco de flujo de agua en tuberías de T que siempre se dispone.

#### FUNDAMENTO Y MECANICA DE HARDY CROSS

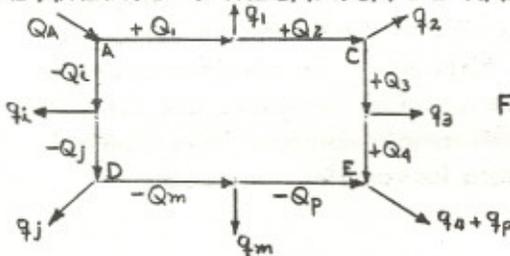


FIG. N° 1

Sea el circuito aislado de la figura, el que ingresa un gasto QA en el punto A. Elijamos un punto E de equilibrio de presiones, con lo que se determina la dirección del flujo de A a E en los dos ramales en que queda cortada la malla. Adoptemos el signo positivo para los gastos y pérdidas de carga según el sentido de las agujas del reloj y negativos para gastos y pérdidas de carga en sentido contrario.

Para el cálculo del circuito se supone conocidos en los diferentes tramos, los diámetros, longitudes, coeficientes de rugosidad, en los gastos supuestos o de tanteo con sus respectivos signos. Cuando la suma de las pérdidas de carga parciales " $h_f$ ", finales o exactas de un ramal ACE positivo es igual en valor absoluto al del otro ramal ADE negativo, su suma algebraica será cero y el cálculo estará terminado. Generalmente no se llega a este extremo despreciando pequeñas discrepancias positivas o negativas.

Sean:

$h_f$  = pérdida de carga final exacta

$h$  = pérdida de carga debida al gasto propuesto

$\Delta h$  = corrección de la pérdida de carga " $h$ "

$Q$  = gastos supuestos

$\Delta Q$  = corrección constante de los gastos de todos los tramos del mismo circuito.

$h = k Q^n$  ecuación de la pérdida de carga

Supongamos que la suma de las pérdidas de carga positivas es menor que la suma de las pérdidas de carga negativas; para producir el balance de las pérdidas de carga en los ramales, habrá que aumentar los gastos del ramal positivo y disminuir los del ramal negativo. Esta corrección  $\Delta Q$ , es constante para los ramales, en donde:

$$+h_{f1} = h_1 + \Delta h_1 = k_1(Q_1 + \Delta Q)^n = k_1 Q_1^n + n k_1 Q_1^{n-1} \cdot \Delta Q + \dots$$

$$+h_{f2} = h_2 + \Delta h_2 = k_2(Q_2 + \Delta Q)^n = k_2 Q_2^n + n k_2 Q_2^{n-1} \cdot \Delta Q + \dots$$

$$-h_{f_i} = -h_i + \Delta h_i = -k_i(Q_i - \Delta Q)^n = -k_i Q_i^n + n k_i Q_i^{n-1} \cdot \Delta Q + \dots$$

$$-h_{f_p} = -h_p + \Delta h_p = -k_p(Q_p - \Delta Q)^n = -k_p Q_p^n + n k_p Q_p^{n-1} \cdot \Delta Q + \dots$$

de donde restando tenemos:

$$0 = 0 = 0 = \sum k Q^n + n \Delta Q \sum k Q^{n-1} + \dots$$

en la que:

$\sum k Q^n$  = suma de las pérdidas de carga, teniendo en cuenta los signos positivos y negativos.

$n \sum k Q^{n-1}$  = suma de las primeras derivadas de la ecuación de la pérdida de carga sin tener en cuenta el signo o suma de los cocientes  $h/Q$  por  $n$ .

Siendo " $h_f$ " la suma de las pérdidas de carga finales o exactas, la suma es cero, luego:

$$\Delta Q = \frac{-\sum h}{n \sum h/Q} \quad (2-3)$$

Esta corrección de los gastos se cumple tanto más aproximadamente, cuanto más pequeño sea  $\Delta Q$ , porque son despreciables los demás términos del desarrollo en serie. La fórmula (2-3) es de uso general para la corrección en los gastos en las diferentes aproximaciones sucesivas, para lo que es necesario calcular además de las pérdidas de carga parciales, las primeras derivadas de éstas.

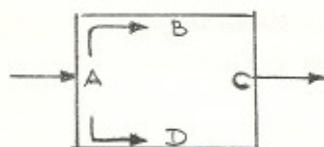
Una red de distribución consta de diferentes circuitos con tramos superpuestos o comunes, de modo que la corrección de un circuito modifica la corrección del adyacente y la de éste a su vez, influye en el primero, de mo

do que la supuesta exactitud de la fórmula (2-3) se pierde sucesivamente; sin embargo, la convergencia del método es tan rápida que estas inexactitudes se diluyen, lo que hace intuir la posibilidad de una fórmula de corrección de gastos más sencilla con análogos resultados.

Para la aplicación del método de balance de cargas de Hardy-Cross utilizamos el procedimiento (a.) para encontrar las pérdidas de carga o sea utilizando tablas de potencias.

### Desarrollo de la Fórmula de Corrección

#### Deducción Algebraica



Tomando en cuenta la expresión general de la pérdida de carga.

$$h_f = k Q^n \quad (2-4)$$

$$h_f = \sum k Q^n \quad (2-5)$$

Fig. N° 2

Si  $Q_o$  = gasto supuesto  
 $Q$  = gasto real  
 $\Delta$  = corrección

de donde cada gasto real quedará corregido de la siguiente manera:

$$Q = Q_o + \Delta$$

$$\text{tomando } Q = Q_o + \Delta \quad (2-6)$$

sustituyendo (2-6) en (2-4)

$$h = k (Q_o + \Delta)^n \text{ y desarrollando}$$

$$(2-7) \quad h = k(Q_o^n + n Q_o^{n-1} \Delta + \dots) \text{ y despreciando los últimos términos tenemos: } h = k(Q_o^n + n Q_o^{n-1} \Delta)$$

sustituyendo (2-7) en (2-5) e igualando a cero

$$\begin{aligned} \sum h &= \sum k Q^n = 0 \text{ luego} \\ \sum h &= \sum k(Q_0^n + n Q_0^{n-1} \Delta) = 0 \\ \sum k Q_0^n + \sum n Q_0^{n-1} \Delta &= 0 \\ k \sum n Q_0^{n-1} &= -\sum k Q_0^n \end{aligned}$$

luego:

$$\Delta = - \frac{\sum k Q_0^n}{n \sum k Q_0^{n-1}} \quad (2-8)$$

## 2-1.2 METODO DEL BALANCE DE CAUDALES DE HARDY CROSS

Esta otra forma del Método de Hardy Cross consiste en hallar los puntos de entrada y salidas de la red, conociendo las cotas piezométricas de carga de cada tramo.

Como ya explicamos anteriormente el método del Balance de Cargas es directamente aplicable cuando las cantidades de agua que entran y salen de la red son conocidas.

En cambio cuando las cantidades son desconocidas y hay varias entradas, la distribución del flujo puede ser determinado por este método al cual se le da el nombre de "Balance de Caudales".

En este método las cotas piezométricas a las entradas y salidas deben ser conocidas y además se convierten las fórmulas necesarias en algebraicamente consistentes cuando se asignan arbitrariamente signos positivos a los flujos hacia los nudos distintos de las de entrada y salida (para los que se conoce la elevación del nivel de agua) y signos negativos a los flujos hacia afuera de estos nudos, siendo cero la suma de los flujos balanceados en los nu-

dos.

Si la elevación del nivel de agua supuesta en un nudo se encuentra errónea por una altura  $h$ , se crean errores pequeños diferentes " $q$ " en los flujos individuales " $Q$ " que llegan y salen del nudo.

Por lo tanto para cualquier tubo

$$H + h = k(Q + q)^n = kQ^n + h$$

en donde  $H$  = pérdida de carga asociada con el flujo  $Q$

$$\text{Además como } h = nkqQ^{n-1} = nq \frac{(H)}{(Q)} \text{ luego } q = \frac{(h)(Q)}{(n)(H)}$$

debido a que  $(Q + q) = 0$  en cada nudo

$$\sum Q = \sum q \quad \text{y}$$

$$\sum q = \frac{(h)}{(n)} \sum \frac{(Q)}{(H)}$$

$$\text{luego: } \sum Q = -(h/n) \sum (Q/H)$$

Por consiguiente:

$$h = \frac{-n \sum Q}{\sum (Q/H)} \quad (2-9)$$

De acuerdo con su derivación, las correcciones " $q$ " y " $h$ " son sólo aproximadas. Después de haber sido aplicadas una vez a los flujos supuestos, la red se encuentra más cercana al balance de lo que estaba al principio, pero el proceso de corrección debe ser repetido hasta que las operaciones de balance sean perfeccionadas.

## 2-2 PROCEDIMIENTO DEL GASTO PROMEDIO

Este procedimiento es una simplificación del Método de Hardy-Cross para el cálculo de redes de distribución de agua, y fue elaborado por el Ingeniero Carlos E. Ruiz Altuna, del Servicio Especial de Salud Pública, Lima-Perú. Su autor lo presentó al VII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria en Washington D.C., Estados Unidos, en junio de 1962.

El método comunmente usado según la fórmula anteriormente vista (2-3) y que es la siguiente:

$$\Delta Q = - \frac{\sum h}{n \sum h/Q} \quad (2-3)$$

conduce al ajuste final no por la precisión de esta fórmula que es matemáticamente aproximada para un solo circuito aislado, sino, para la sistemática convergencia de las diferentes correcciones hacia el fin deseado. A falta de una visión panorámica de las diferentes correcciones simultáneamente, el método de Hardy-Cross y también la simplificación que se propone, progresa por etapas controladas.

Se propone una fórmula simplificada de la corrección del gasto que tiene más cuenta la aproximación progresiva de las correcciones, que la precisión de una de ellas aisladamente a cambio de ser de expresión más sencilla.

Sean:

$Q_0$  = gasto constante ficticio que fluye por todos y cada uno de los tramos de un circuito.

$\sum h^\#$  = suma de las pérdidas de carga de un circuito sin tener en cuenta el signo.

$\sum h^+$  = suma de las pérdidas de carga positivas (en el ramal

ACE, ver figura No. 1, Hardy-Cross).

$\sum h^-$  = suma de las pérdidas de carga negativas (en el ramal ADE, ver figura No. 1, Hardy-Cross).

Refiriéndonos a la misma figura No. 1 tendremos:

$$\begin{aligned} +h_1 &= k_1 Q_1^n = k_1 z_1^n Q_0^n \\ +h_2 &= k_2 Q_2^n = k_2 z_2^n Q_0^n \end{aligned} \quad (2-10)$$

$$-h_i = -k_i Q_i^n = -k_i z_i^n Q_0^n$$

$$-h_p = -k_p Q_p^n = -k_p z_p^n Q_0^n$$

$$\sum h = \sum k Q^n = Q_0^n (k_1 z_1^n + k_2 z_2^n \dots - k_i z_i^n - k_p z_p^n) \dots$$

En el paréntesis existen dos sumandos, uno de valores positivos y otro de valores negativos, que los designamos por "x" e "y" respectivamente.

$$\text{Luego: } \sum h = Q_0^n (x-y)$$

Si la sumatoria de las "h" está bien balanceada, entonces  $\sum h = 0$ , por consiguiente:  $Q_0^n x = Q_0^n y$  (2-11)

Por lo general, en el primer tanteo  $\sum h$ , no es igual a cero o lo que es lo mismo  $\sum h^+$  no es igual a  $\sum h^-$  en valor absoluto, condición que se establece mediante la siguiente desigualdad:

$$Q_0^n \cdot x \neq Q_0^n \cdot y$$

Supongamos, como en el caso anterior, que  $\sum h^+$  sea menor que  $\sum h^-$  para balancear el circuito sumemos y restemos un incremento  $\Delta Q$ :

$$\begin{aligned} (Q_0 + \Delta Q)^n \cdot x &= (Q_0 - \Delta Q)^n \text{ y desarrollando en serie hasta el segundo término} \\ (Q_0 + nQ_0^{n-1} \cdot \Delta Q)x &= (Q_0^n - nQ_0^{n-1} \cdot \Delta Q)y \end{aligned}$$

$Q_0^n(x - y) + nQ_0^{n-1} \cdot \Delta Q(x + y) = 0$  de donde:

$$\Delta Q = \frac{Q_0^n(x - y)}{nQ_0^{n-1}(x + y)} \quad (2-12)$$

y se ha denominado:  $\left. \begin{array}{l} \sum h^+ = Q_0^n \cdot x \\ \sum h^- = Q_0^n \cdot y \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{sumando y} \\ \text{restando} \end{array}$

$\sum h^\# = (\sum h^+) + (\sum h^-) = Q_0^n(x + y)$  Suma de pérdidas de carga sin tener en cuenta el signo.

$\sum h = (\sum h^+) - (\sum h^-) = Q_0^n(x - y)$  Suma algebraica de las pérdidas de carga o sea teniendo en cuenta el signo.

De donde:  $x - y = \sum h / Q_0^n$   
 $x + y = \sum h^\# / Q_0^n$

Sustituyendo estos valores en la ecuación: (2-12)

$$\Delta Q = \frac{Q_0^n \cdot \sum h / Q_0^n}{nQ_0^{n-1} \cdot \sum h^\# / Q_0^n} = \frac{-\sum h}{n \sum h^\# / Q_0}$$

$$\Delta Q = \frac{-\sum h}{n \sum h^\#} \cdot Q_0 \quad (2-13)$$

Esta es la nueva fórmula de corrección de los gastos en función de  $Q_0$  cuyo valor vamos a determinar: de las ecuaciones (2-10) tenemos:

$$\left. \begin{array}{l} Q_1 = Q_0 z_1 \\ Q_2 = Q_0 z_2 \\ \underline{Q_i = Q_0 z_i} \\ \underline{Q_p = Q_0 z_p} \end{array} \right\} \text{ecuaciones} \quad (2-14)$$

$$\underline{\underline{\sum Q = Q_0 \sum z = N Q'}} \quad (2-15)$$

En la que:

$\sum Q$  = suma de todos los gastos del circuito sin tener en cuenta el signo.

$Q'$  = gasto promedio o media aritmética

$N$  = número de tramos del circuito con gastos  $Q$ .

En la fórmula (2-15) tenemos:

$$Q_o = \frac{N}{\sum z} \cdot Q' \quad (2-16)$$

Comparando (2-3) y (2-13) obtendremos

$$Q_o = \frac{\sum h^\#}{\sum h/Q} \quad (2-17)$$

Esta fórmula dá el valor exacto de  $Q_o$ , pero no podemos usarla puesto que sería volver a la fórmula (2-3), sin embargo, es útil comparar  $Q_o$  y  $Q'$ .

### Nueva Fórmula de la Corrección de Gastos. El factor $N/\sum z$

Demostraremos que este factor se aproxima a la unidad siempre que se cumplan ciertos requisitos para hallar el gasto promedio  $Q'$ , por lo que es práctico sustituir  $Q_o$  por  $Q'$  en la fórmula (2-13), dando lugar a la fórmula simplificada siguiente:

$$\Delta Q = \frac{-\sum h}{n \sum h^\#} \cdot Q' \quad (2-18)$$

en esta fórmula:

$\Delta Q$  = corrección constante para todos los tramos del circuito, como se usa en el método de Hardy-Cross.

$\sum h$  = suma algebraica de las pérdidas de carga o sea teniendo en cuenta el signo.

$\sum h^\#$  = suma de las pérdidas de carga sin tener en cuenta el signo.

$Q'$  = gasto promedio de los gastos comparables. No se

deben promediar los gastos muy pequeños respecto de los otros.

$n$  = exponente del gasto en la fórmula de la pérdida de carga. Con la fórmula de Hazen-Williams,  $n=1.85$ .

Escribamos nuevamente las ecuaciones (2-14), hasta el último término "N":

$$Q_1 = Q_0 z_1 = Q_0(1 + \delta_1) = Q_0 + Q_0 \cdot \delta_1$$

$$Q_2 = Q_0 z_2 = Q_0(1 + \delta_2) = Q_0 + Q_0 \cdot \delta_2$$

$$Q_N = Q_0 z_N = Q_0(1 + \delta_N) = Q_0 + Q_0 \cdot \delta_N$$

$$\sum Q = Q_0 \sum z = N Q_0 + Q_0 \sum \delta = N Q' \quad (2-19)$$

$$\sum z = N + \sum \delta = \frac{N Q'}{Q_0} \quad (2-20)$$

Los valores  $\delta$  son positivos y negativos por ser diferencias por exceso o por defecto respecto de  $Q_0$ , y si los gastos son comparables mayores y menores que  $Q_0$ , entonces  $\sum \delta \rightarrow 0$ , de donde:

$$\sum z = N + 0$$

$$N / \sum z = 1 \quad Q_0 = Q'$$

Sean en general:

$Q_1 \dots \dots \dots Q_i$  = gastos muy grandes mayores que  $Q_0$

$Q_{i+1} \dots \dots \dots Q_m$  = gastos comparables, mayores, iguales y menores que  $Q_0$

$Q_{m+1} \dots \dots \dots Q_N$  = gastos muy pequeños próximos a cero.

De acuerdo con la ecuación (2-19):

$$\sum Q = Q_0 \sum_1^i 1 + Q_0 \sum_1^i \delta_i + Q_0 \sum_{i+1}^m 1 + Q_0 \sum_{i+1}^m \delta +$$

$$+ Q_0 \sum_{m+1}^N 1 - Q_0 \sum_{m+1}^N 1$$

Los  $\delta$  del último término tienden a la unidad y  $\delta$  son negativos. En el cuarto término la suma de los  $\delta$ , tiende a cero, luego:

$$\sum Q = Q_0 \left[ i + \sum_1^i \delta_i + (m-i) + \sum_{m+1}^N 1 - \sum_{m+1}^N 1 \right]$$

$$\sum Q = Q_0 \left( \sum_1^i \delta_i + m \right)$$

Llamando gastos grandes aquellos en que por lo menos  $\delta_i \geq 1$ , entonces, en el límite inferior en que  $\delta_i = 1$

$$\sum Q = Q_0 (i+m) \approx Q' (i+m) \quad (2-21)$$

Esta fórmula da una idea exacta de como hallar el promedio, pero de ninguna manera es exacta.

El gasto promedio no es igual al gasto  $Q_0$ , pero se aproxima entre 0.7 y 1.3 de él, lo que no influye mayormente en la convergencia del método ni en su precisión.

### Regla para Hallar el Gasto Promedio

- a.- Sumar todos los gastos y dividir la suma entre el número de éstos despreciando los gastos muy pequeños, con lo que se obtiene un gasto promedio suficientemente aproximado.
- b.- Si se estima que este gasto promedio no es representativo por existir gastos notoriamente más grandes que el doble de él, entonces aumentar al divisor anterior una unidad por cada gasto mayor que el doble del ci

tado promedio, dos unidades por cada gasto mayor que el triple etc. y hallar un nuevo valor del gasto promedio.

## 2-3 METODO GRAFICO DE AJUSTE DE GRADIENTES HIDRAULICAS

El autor de este método gráfico fue el Ingeniero Rodrigo Bustamente V., miembro de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria (AIDIS) de Costa Rica, método que presentó en la publicación especial con motivo del X Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria que se llevó a cabo en la ciudad de San Salvador, El Salvador, en diciembre de 1966.

Dicho autor también es Ingeniero del Servicio de Acueductos y Alcantarillados y profesor adjunto de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Costa Rica.

Por medio del método de Hardy-Cross se equilibra una red de distribución ensayando diámetros y caudales a criterio del calculista, pero el resultado final de este equilibrio no siempre satisface las exigencias piezométricas y de flujo locales.

Otras veces la dirección de flujo no es la más apropiada a las condiciones topográficas.

Al diseñar una red de distribución, se conocen los gastos locales en cada uno de los tramos de los diferentes circuitos. Al asumir arbitrariamente un conjunto de diámetros, el método de Hardy-Cross proporciona las correcciones de los gastos en los diferentes tramos para lograr un balance piezométrico, pero estas correcciones pueden variar sustancialmente los gastos asumidos, originados en

las necesidades locales, lo cual es inconveniente, ya que puede hacer insuficiente o superabundante el flujo en los diferentes tramos de la malla de tal modo que, finalmente se obtiene un equilibrio para un conjunto de gastos diferentes de los asumidos como datos del problema.

Este método de ajuste de gradientes hidráulicas orienta de inmediato al ingeniero para seguir el camino que, respetando los gastos locales, llegue a balancear la red, escogiendo los diámetros más apropiados, tomando simultáneamente en consideración las condiciones topográficas y por ende las alturas piezométricas.

Todos los calculistas que utilizan el método de Hardy Cross, al comenzar a hacer sus suposiciones preliminares, orientan sus primeros pasos haciendo que las líneas de gradiente hidráulica, que corresponde a los gastos y diámetros asumidos cierren aproximadamente en los nudos de la malla, pero esto lo llevan a cabo solamente en los primeros tramos o en las líneas principales y dejan que el ajuste se realice mediante las correcciones sucesivas de gasto originadas en la fórmula de Hardy-Cross.

$$dQ = \frac{\sum_i S - \sum_d S}{n(\sum_i \frac{S}{Q} - \sum_d \frac{S}{Q})} \quad (2-22)$$

Con este método gráfico de ajuste de gradientes hidráulicas se penetra más en la mecánica interna del equilibrio de la red, sin variar los gastos asumidos, correspondientes a las necesidades locales.

Si se observa la fórmula (2-22) anterior, se ve que para que "dQ" sea muy pequeño o nulo, hay dos caminos:

- a.- que el denominador sea suficientemente grande o
- b.- que el numerador sea pequeño o cero.

En cuanto al denominador, se ve que éste incluye al término " $Q$ ", que asumiremos constante, y que en todo caso está ligado a " $S$ " (pérdida de carga) al escoger un diámetro determinado. Con respecto al numerador, éste solamente incluye las pérdidas de carga producidas por el gasto asumido en el diámetro del tubo escogido. Si tenemos la condición:

$$\sum iS = \sum dS \quad (2-23)$$

tendremos entonces que  $dQ = 0$ , que significa que el circuito está balanceado.

El paso siguiente es pues, el de construir gráficamente, en cada circuito cerrado, una composición de líneas de gradiente hidráulica equivalente a la condición analítica.  $\sum iS = \sum dS$ . Teóricamente es infinito el número de soluciones que pueden realizar esta condición. Sin embargo estamos limitados por el hecho de que tenemos que usar diámetros de tubería comerciales, y en todo caso debemos escoger una composición de diámetros, en tal forma que nos proporcione una altura piezométrica adecuada. Cuando los diámetros comerciales no nos proporcionen un cierre aceptable, queda todavía el recurso de utilizar una combinación de diámetros en cada tramo que si nos haga que  $\sum iS = \sum dS = 0$ . De lo anterior se ve la necesidad de usar en los gráficos una escala conveniente para trabajar con más precisión.

Debe tenerse presente que, previamente, se ha asumido un gasto y una dirección de flujo en la malla, los cuales permanecerán invariables a través de nuestro cálculo. Las pendientes de las líneas de gradiente hidráulica deberán pues concordar con la dirección de flujo asumida. Debe recordarse también, que el asumir el diagrama de flujo, debe satisfacerse la condición  $\sum Q = 0$  en cada nudo.

A continuación deberá extenderse el equilibrio piezométrico a los circuitos adyacentes. Para esto se buscará una composición de gradientes hidráulicas en el nuevo circuito, que deje invariables las de los tramos que son comunes, ya calculados.

En esta forma se puede seguir extendiendo el equilibrio gráfico en todos los circuitos que forman la malla, trabajándolos uno por uno.

Para conveniencia del control de la altura piezométrica se trabaja con los perfiles del terreno de cada circuito cerrado.

De todo lo dicho anteriormente se ve la necesidad de que el ingeniero tenga una visión de conjunto clara con respecto a la topografía sobre la cual se va a desarrollar su proyecto de red de distribución.

De ser posible, la tubería de conducción debe llegar a la red en el punto de mayor elevación, para así aprovechar las gradientes del terreno y escoger en esta forma diámetros más económicos.

## CAPITULO 3

## EJEMPLO ILUSTRATIVO DE LOS METODOS DE DISEÑO

## 3-1 EJEMPLO ILUSTRATIVO DEL METODO DE HARDY CROSS DEL BALANCE DE CARGAS

Después de tener calculadas ya las demandas, las cuales han sido concentradas en cada nudo, el caudal total que va a ser suministrado a la red y de conocer las presiones que deseamos mantener en la misma, procederemos a asumir los diferentes diámetros para cada tramo y también a fijar el flujo de agua más probable que pasará por éstos.

Tomemos como ejemplo el circuito principal a,b,c,f,i, h,g,d,a, y haremos la siguiente tabulación:

a.- Tomemos el tramo a-b, tabulemos la longitud, su diámetro y el valor de "k", para el cálculo de la pérdida de carga. Para encontrar el valor de resistencia de la tubería, usaremos las siguientes fórmulas:

$$k = \frac{k' \times L}{1,000}$$

en donde

$$k' = \frac{1733000}{C 1.85 d^{4.87}}$$

En esta fórmula observamos que  $k'$  varía con el diámetro y el coeficiente de rugosidad de la tubería. Por lo consiguiente, para cada tramo de diferente diámetro será diferente "k". Luego, siguiendo el ejemplo del tramo a-b,

tendremos que

Tramo a-b Long = 600 mts. D = 12" C = 100

$$k' = \frac{1733000}{C^{1.85} \times 12^{4.87}} = 0.0019$$

$$y k = \frac{0.0019 \times 600}{1,000} = .0011$$

Por supuesto que para evitarse todo este trabajo hay tablas en donde se pueden encontrar los valores de "k'" para cada diferente coeficiente de rugosidad. Luego tabulamos el gasto supuesto para dicho tramo, en este caso, de 75 litros/seg. y ayudándonos de las tablas de valores de potencias a la .85 lo aplicamos para dicho gasto, y por último encontraremos la pérdida de carga para dicho tramo, la cual como ya sabemos viene dada por la fórmula general:

$$h_f = k Q^n = k Q^{1.85}$$

Siguiendo el ejemplo de dicho tramo tendremos que el tramo a-b:

$$Q = 75$$

$$Q^{.85} = 39.3$$

$$kQ^{.85} = 0.043$$

$$h_f = kQQ^{.85} = kQ^{1.85} = 0.043 \times 75 = 3.22$$

Seguimos haciendo lo mismo para todos los tramos restantes y al tener todas las pérdidas de carga para éstos aplicamos la fórmula de corrección para los gastos supuestos.

Dicha fórmula, la cual ya conocemos es la siguiente:

$$\Delta = \frac{\sum k Q^n}{nkQ^{n-1}} = \frac{\sum kQ^{1.85}}{1.85 \sum kQ^{0.85}}$$

$$\Delta = \frac{\sum h_f}{1.85 \sum kQ^{0.85}}$$

Aquí tendremos en cuenta la suma algebraica de las pérdidas de carga, ya que unas serán positivas y otras negativas por la dirección del flujo que se tomó. Serán positivas las que lleven el flujo supuesto en la dirección de las agujas del reloj y negativas si el flujo va en sentido contrario.

Luego en nuestro ejemplo tendremos (para el circuito principal)

$$\sum h_f = 11.36 - 7.74 = 3.62 \text{ y } \sum kQ^{0.85} = 2.185$$

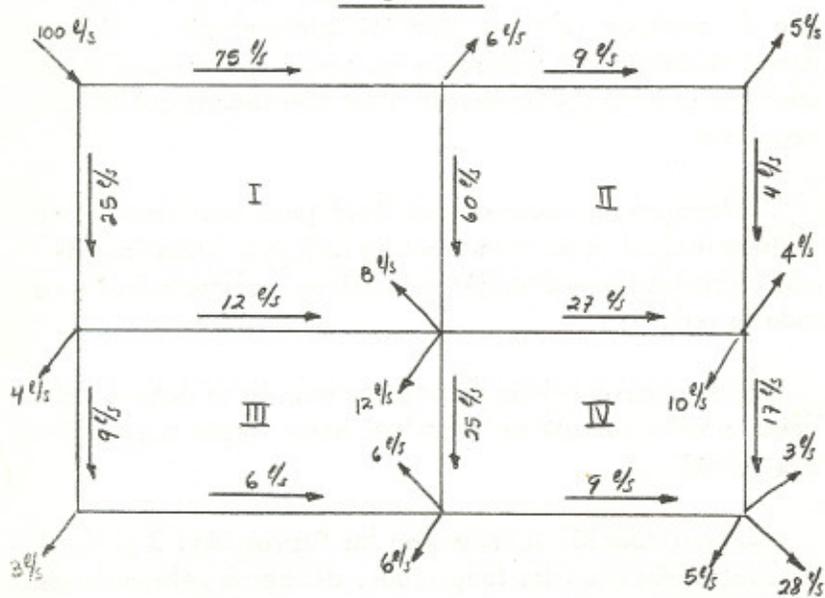
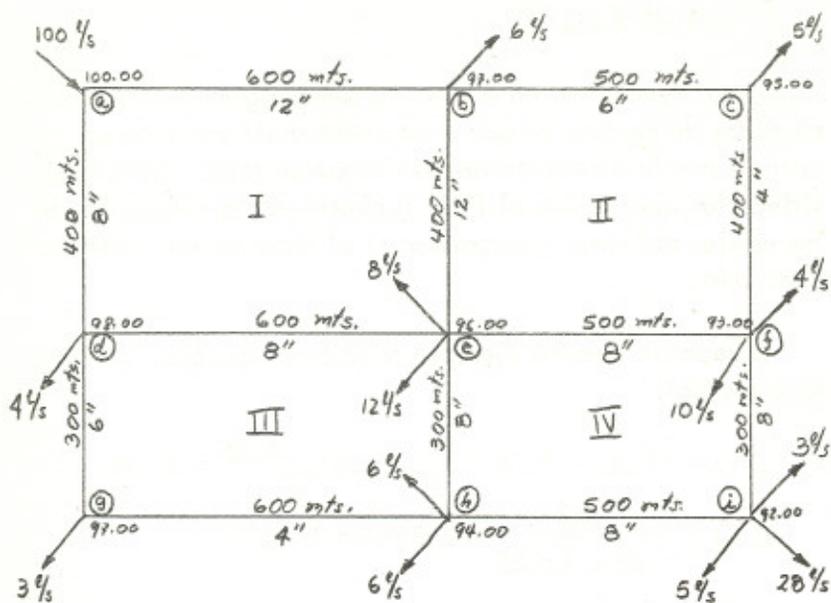
$$\Delta Q = \frac{3.62}{1.85 \times 2.185} = 0.89\% \approx 1\%$$

Como las pérdidas de carga negativas fueron mayores que las positivas significa que hay que corregir o más bien sumar la corrección hallada a los gastos que tengan las pérdidas positivas y restársela a los que tengan pérdidas negativas.

Este mismo proceso que se llevó para equilibrar el circuito principal es el mismo que se aplica a todos los demás circuitos hasta completar la primera corrección para toda la red.

Si es necesario más de una corrección se deberá de llevar a cabo las que se necesiten hasta llegar a equilibrar la red.

A continuación se muestran las figuras No. 3 y No. 4 las cuales muestran las longitudes, diámetros, elevaciones y los flujos asumidos para los diferentes tramos respectivamente.



ILUSTRACIONES Y ANEXOS, CONSULTAR  
UNICAMENTE EN TESIS FISICA

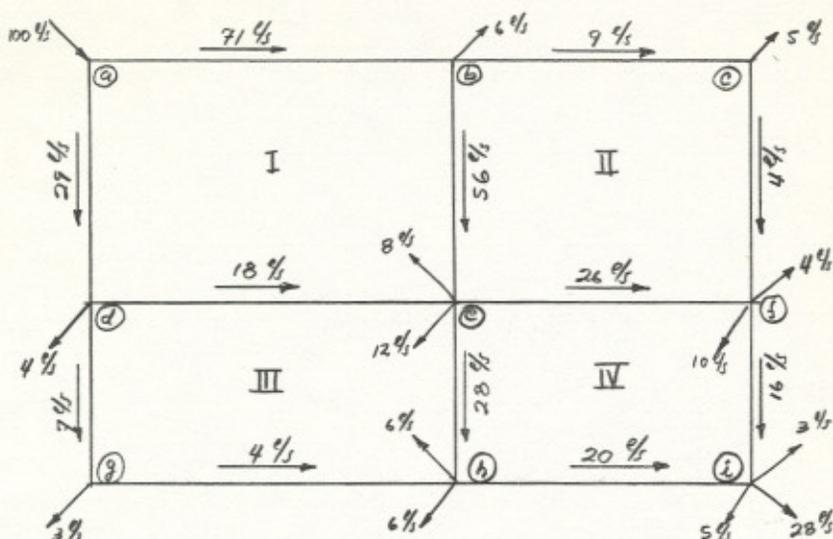


FIG. N°5 FLUJOS FINALES

PRESIONES FINALES, MET. DE H:C. BALANCE DE CARGAS

TRAMO	NUDO	DIAM.	$h_f$	COTA TERRENO (mts.)	COTA PIEZOM. (mts.)	PRESION (mts.)
	a			100.00	130.00	30.00
a-b	b	12"	2.91	97.00	127.09	30.09
b-c	c	6"	1.64	95.00	125.45	30.45
c-f	f	4"	2.10	93.00	123.35	30.35
f-i	i	8"	0.69	92.00	122.66	30.66
a-d	d	8"	2.81	98.00	127.19	29.19
d-g	g	6"	0.61	97.00	126.58	29.58
g-h	h	4"	3.10	94.00	129.48	29.48
b-e	e	12"	1.28	96.00	125.81	29.81

TABLA N°4

NOTA: SE ASUMIÓ UNA ALTURA PIEZOMETRICA DE 30.00 mts. EN EL (a)

### 3-2 EJEMPLO ILUSTRATIVO DEL METODO DE HARDY CROSS DEL BALANCE DE CAUDALES

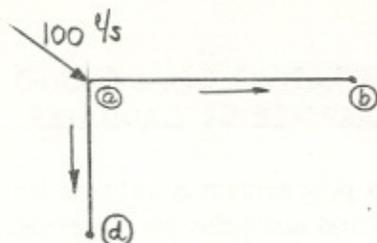
Antes que nada procedemos a colocar las alturas piezométricas en cada uno asumidas por nosotros, por supuesto comenzando en la entrada por una cota especificada que ya conozcamos de antemano.

El paso siguiente es analizar cada nudo por separado haciendo la tabulación que explicamos a continuación:

- a.- Se coloca cada tramo ya sea que llegue o salga del nudo en cuestión.
- b.- Ponemos la longitud, el diámetro y la pérdida de carga ya conocida por nosotros.
- c.- Luego con cada pérdida de carga y longitud de cada tramo encontramos la pendiente hidráulica.
- d.- Con la pendiente hidráulica y el diámetro respectivo, encontramos los gastos probables que pasarán por cada tramo los cuales se irán corrigiendo por medio de cada iteración que hagamos de cada nudo.
- e.- A continuación tabulamos la columna  $Q/H_f$  que es la relación flujo-carga, la cual necesitamos para meterla en la fórmula antes mencionada (fórmula No. 2-9) para poder encontrar la corrección de carga "h". Además de esta corrección hay que encontrar otra corrección subsidiaria para los tramos compartidos.

Tomemos como ejemplo el nudo "a" en su primera corrección aquí tabulamos los siguientes tramos: el a-b y el a-d, que salen de él con sus respectivas longitudes, diámetros y pérdidas de carga.

A continuación hallamos las pendientes y los gastos. Nótese en el siguiente diagrama,



que hay que tomar en cuenta el gasto fijo que entra y que es de 100 l.p.s. y lleva el signo positivo ya que está llegando al nudo, luego los otros gastos que entran y que salen llevan el signo negativo.

Todos los gastos fijos que se encuentren en los nudos y que representan las demandas hay que tomarlos en cuenta para el procedimiento de cálculo.

Luego hallamos la columna  $Q/H_f$  y aplicamos la fórmula en nuestro ejemplo tenemos que para el nudo (a)

$$h_{f_0} = - \frac{\sum Q}{\sum (Q/H)} = \frac{-1.85 (+0.30)}{35.30} = -0.01 \approx 0$$

en este caso la corrección es cero.

Este mismo procedimiento se lleva a cabo para todos los nudos hasta completar la 1ª corrección y así seguir adelante hasta que la suma de los gastos que entran y salen del nudo sea cero, es decir que estén equilibrados por medio de las pérdidas de carga de los tramos que converjan al nudo.

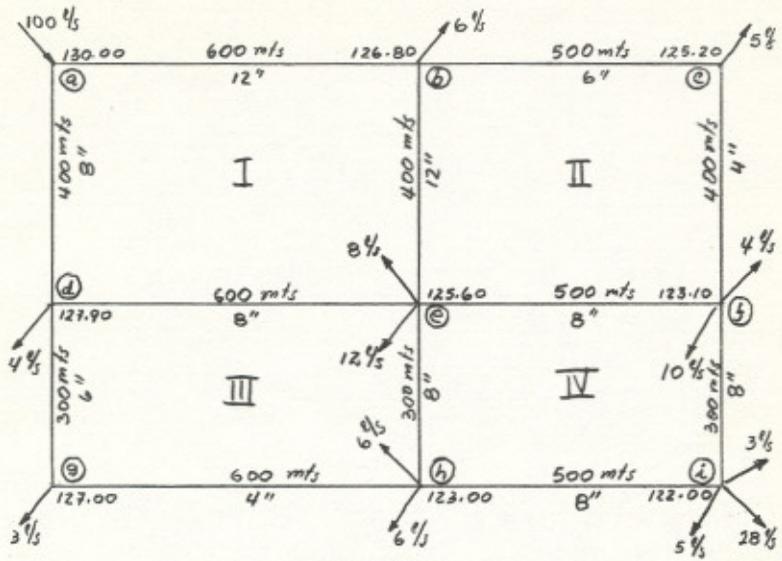


FIG. N° 6

NOTA: LAS COTAS PIEZOMÉTRICAS QUE SE ENCUENTRAN EN LOS NUDOS SON ASUMIDAS PARA LUEGO CORREGIRLAS POR MEDIO DEL MÉTODO.

ILUSTRACIONES Y ANEXOS, CONSULTAR  
UNICAMENTE EN TESIS FISICA

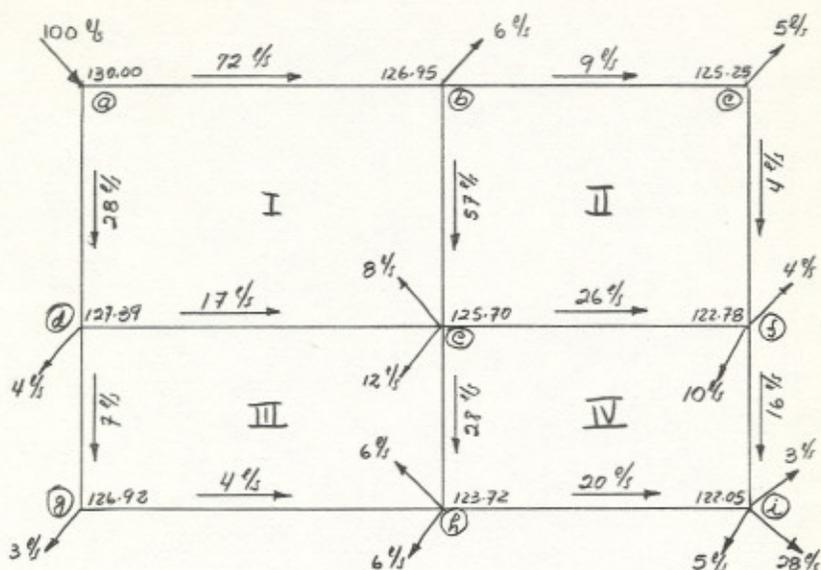


FIG. N° 7

RESULTADO FINAL DE COTAS PIEZOMETRICAS Y FLUJOS

## PRESIONES FINALES

NUDO	COTA TERRENO (mts.)	COTA PIEZOMETRICA (mts.)	PRESION (en mts. de altura)
a	100.00	130.00	30.00
b	97.00	126.95	29.95
c	95.00	125.25	30.25
d	98.00	127.39	29.39
e	96.00	125.70	29.70
f	93.00	122.78	29.78
g	97.00	126.92	29.92
h	94.00	123.72	29.72
i	92.00	122.05	30.05

TABLA N° 8

f) Y por último aplicamos la fórmula de la corrección

$$\Delta Q = \frac{(+3.67)16.4}{1.85 \times 18.71} = +2$$

y se corrigen los gastos supuestos.

Este procedimiento para este circuito es el mismo que se lleva a cabo con los demás circuitos, teniendo siempre el cuidado de tomar los gastos que ya han sido corregidos. Con esto se llegaría al final de la primera corrección, quedando nada más que seguir con las demás correcciones hasta llegar a balancear la red.

Con 3 ó 4 correcciones se llega a tener buenos resultados.

Las operaciones se han hecho con regla de cálculo y para obtener el gasto promedio se ha despreciado los gastos muy pequeños solamente.

Para ilustrar el ejemplo haremos uso de las figuras No. 3 y No. 4 que se usaron en el método de Hardy Cross del balance de carga ver página No. 30

ILUSTRACIONES Y ANEXOS, CONSULTAR  
UNICAMENTE EN TESIS FISICA

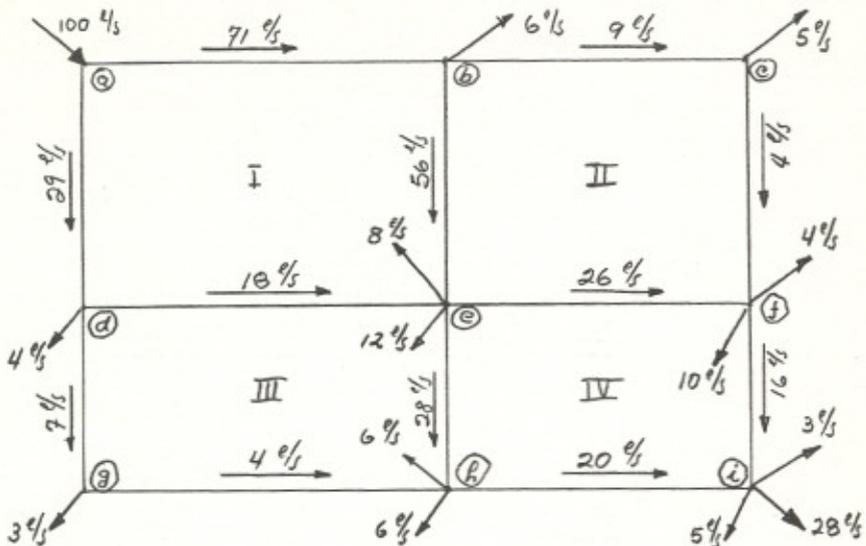


FIG. N° 8 RESULTADO FINAL DE FLUJOS

PRESIONES FINALES EN EL METODO DEL GASTO PROMEDIO

TRAMO	NUDO	DIAM. (pulg.)	$h_f$	COTA TERRENO (mts)	COTA PIEZOM. (mts)	PRESION (en mts. de altura)
	a			100.00	130.00	30.00
a-b	b	12	2.94	97.00	127.06	30.06
b-c	c	6	1.50	95.00	125.56	30.56
c-f	f	4	2.00	93.00	123.56	30.56
f-i	i	8	0.69	92.00	122.87	30.87
a-d	d	8	2.72	98.00	127.28	29.28
d-g	g	6	0.57	97.00	126.71	29.71
g-h	h	4	3.00	94.00	123.71	29.71
b-e	e	12	1.22	96.00	125.84	29.84

TABLA N° 12

NOTA: SE ASUMIÓ UNA COTA PIEZOMETRICA DE  
30.00 MTS. EN EL NUDO (a)

### 3-4 EJEMPLO ILUSTRATIVO DEL METODO DE AJUSTE DE GRADIENTES HIDRAULICAS (Del Ing. Rodrigo Bustamante)

Se trata de diseñar los diámetros de tubería que satisfagan los consumos o gastos locales de la red mostrada en la figura (No. 9). En dicha red entran 100 l.p.s en el nudo (a) y salen 28 l.p.s en el nudo (i). Hay libertad para escoger el diagrama de flujo, siempre que éste respete los consumos locales, pues este es el objeto del diseño. Debe también respetarse la condición  $\sum Q = 0$  en todos los nudos. Sin embargo, la libertad de escoger los caminos está restringida por el factor económico, que en este caso señalaría la conveniencia de aprovechar las mayores gradientes del terreno para conducir por estas líneas la mayor cantidad de agua, sin dejar de lado satisfacer gastos locales.

Como primer paso se escoge un diagrama de flujo que satisface la condición  $\sum Q = 0$  en los nudos (Ver Fig. N<sup>o</sup> 9)

Segundo paso: dibujaremos los perfiles del terreno de cada uno de los circuitos cerrados, para lo cual utilizaremos las elevaciones de cada nudo en su respectivo circuito y las cuales se muestran en la Fig. N<sup>o</sup> 9. Si a lo largo de un tramo cualquiera existiesen puntos críticos, éstos deben ser tomados en cuenta.

Para comenzar nuestro diseño podemos hacerlo arbitrariamente con cualquiera de los circuitos. Hemos escogido el circuito IV (ver figura N<sup>o</sup> 9) por pura conveniencia, ya que en él se encuentra el nudo (i), que es el punto más bajo de la topografía, y nos interesa que la altura piezométrica con que llegemos al nudo sea adecuada. Luego se ha dibujado el perfil del terreno correspondiente al circuito IV saliendo del nudo (e) y recorriéndolo des

de (e), (f), (i), (h) y llegar de nuevo a (e). Ver figura N<sup>o</sup>10.

Luego a continuación hemos establecido sobre el nudo (e) una altura piezométrica arbitraria de 30 mts., pues queremos que la presión se mantenga en nuestro diseño al rededor de ese valor.

Luego, de acuerdo con el gasto y dirección de flujo prefijados en el tramo (e) - (f) (fig N<sup>o</sup> 9), se ha escogido un diámetro de tubería de  $\varnothing 8''$  que con el gasto de 27 l. p.s. produce una pendiente hidráulica de  $S = 0.00605$  m/m y que mantenga aproximadamente en la distancia de 500 mts., la altura piezométrica de 30 mts. En la fig. N<sup>o</sup> 10, se observa que hemos pasado de la cota piezométrica 126.00 en (e) a la 122.98 en (f). En este último nudo la elevación del terreno es de 93.00 por consiguiente la diferencia es de  $122.98 - 93.00 = 29.98$  mts., o sea aproximadamente la altura piezométrica buscada.

Se ha seguido en forma análoga del nudo (f) al (i). Se ha escogido un diámetro de tubería de  $\varnothing 8''$  que con un  $Q = 17$  l.p.s. produce una pérdida de  $S = 0.0025$  m/m y que en 300 mts. lleva nuestra gradiente hidráulica a la cota de 122.23 mts. La diferencia con respecto al terreno es  $122.23 - 92.00 = 30.23$  mts. El cálculo efectuado en el trayecto (e), (f) (i) corresponde al flujo en el sentido de las agujas del reloj del circuito IV. Corresponde ahora hacer nuestros cálculos en la parte del circuito, cuyo flujo va en el sentido contrario de las agujas del reloj, o sea el trayecto (e), (h), (i).

Al nudo (e) ya le hemos asignado una cota piezométrica de 126.00 mts. Partiendo de este nudo con una tubería de  $\varnothing 8''$  y  $Q = 25$  l.p.s. obtenemos una pérdida de carga de  $S = 0.0053$  que en 300 mts. eleva nuestra gradiente

te hidráulica a una cota de 124.41 sobre el nudo (h). Corresponde ahora cerrar nuestra líneas de gradiente hidráulica en el nudo (i). Disponemos de una pérdida de carga de  $124.41 - 122.23 = 2.18$  mts. Luego con un tubo de  $\varnothing 8''$  y  $Q = 19$  l.p.s obtenemos una pérdida de  $S = 0.003$  que en una longitud de 500 mts. nos baja nuestra cota piezométrica a 122.91 mts. mayor que 122.23, o sea que tenemos un desajuste de 68 cms.

Para corregir dicho desajuste y para obtener un cierre a cero simplemente se hace lo siguiente: usando siempre el tramo (h), (i):

Tomamos primero una longitud de 430 mts. que con un  $\varnothing = 8''$  y el  $Q = 19$  l.p.s. nos dá una pérdida  $S = 0.003$  que nos baja la cota piezométrica desde 124.41 a 123.12 y finalmente tomando el resto de la longitud de 500 mts. o sean 70 metros que con un  $\varnothing = 6''$  y el mismo gasto nos da una pérdida  $S = 0.0129$  que nos baja la cota piezométrica de 123.12 a 122.22, que es casi igual que la de 122.23 hallada desde (f) a (i). Todavía hemos hecho una comparación por Hardy Cross para encontrar el gasto correctivo que sería necesario aplicar.

Habiendo finalizado con el cálculo de este circuito, seguiríamos extendiendo nuestro equilibrio a los circuitos adyacentes, o sea con circuitos que tengan tramos comunes con el ya calculado, esto por supuesto no es absolutamente necesario.

En forma análoga al cálculo del circuito IV ya elaborado, se procedería a hacer lo mismo con el resto de los circuitos restantes.

Si se ha planeado bien la red de distribución y se ha tomado en cuenta la topografía para elaborar el diagrama

de flujo, se pueden obtener resultados satisfactorios en cuanto uniformidad de presión en la malla, con muy poco trabajo de cálculo.

En la figura No. 15 están indicados los diámetro de cada tramo de la malla que deben usarse para obtener un flujo igual al de la figura No. 9.

Finalmente, debemos decir que el autor ha aplicado el método descrito, en un sinnúmero de casos reales, en las condiciones más diversas de topografía y de flujo, obteniendo siempre resultados adecuados, con menos trabajo de cálculo y por consiguiente en un tiempo mucho menor que al usar el método de Hardy Cross convencional. Al mismo tiempo se ha obtenido una circulación del agua más racional y más ajustada a la realidad.

Usando siempre el mismo ejemplo que se uso en los métodos anteriores tendremos:

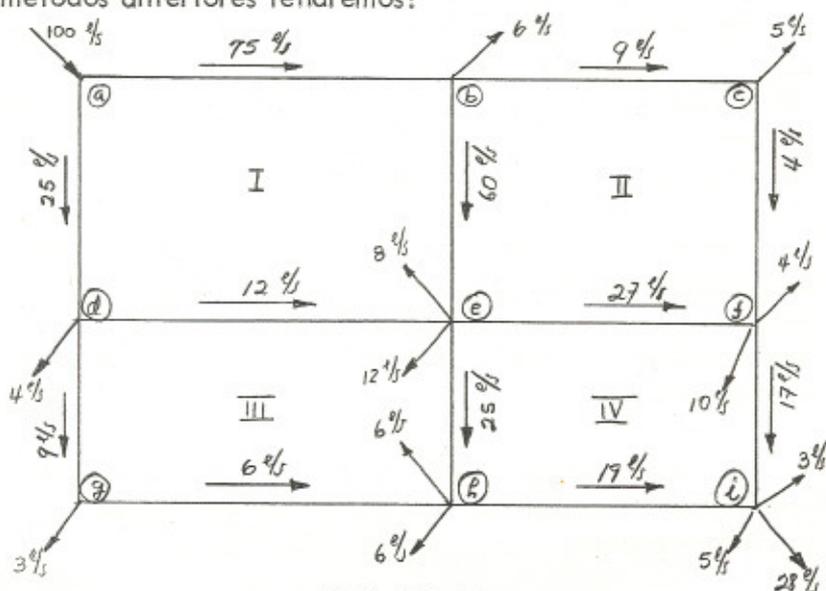


FIG N° 9

CIRCUITO IV

Asumimos en el nudo (e) una cota piezométrica=126.00

luego:cota piezométrica = 126.00

cota terreno = 96.00

30.00 mts. de altura

presión que queremos mantener

Luego tramo e-f

Con tubo  $\phi = 8''$

y  $Q = 27 \frac{1}{s}$

$S = 0.00605$  m/m que en 500 mts.  
baja la cota de  
 $126.00 - 3.02 = 122.98$  (co  
ta en (f) )

tramo f-i

$\phi = 8''$

$Q = 17 \frac{1}{s}$

$S = 0.0025$  m/m  $h = 0.0025 \times 300 = .75$  mts.  
luego  $122.98 - .75 = 122.23$  (cota en i)

Tramo e-h

Con  $\phi = 8''$

$Q = 25 \frac{1}{s}$

$S = 0.0053$

$h = 0.0053 \times 300$  mts. = 1.59

luego  $126.00 - 1.59 = 124.41$  (cota en h)

Tramo h-i

Con  $\phi = 8''$

$Q = 19 \frac{1}{s}$

$S = 0.003$   $h = 0.003 \times 500 = 1.50$  mts.

$124.41 - 1.50 = 122.91$  (cota en i)

diferencia en nudo (i) =  $122.91 - 122.23 = 0.68$

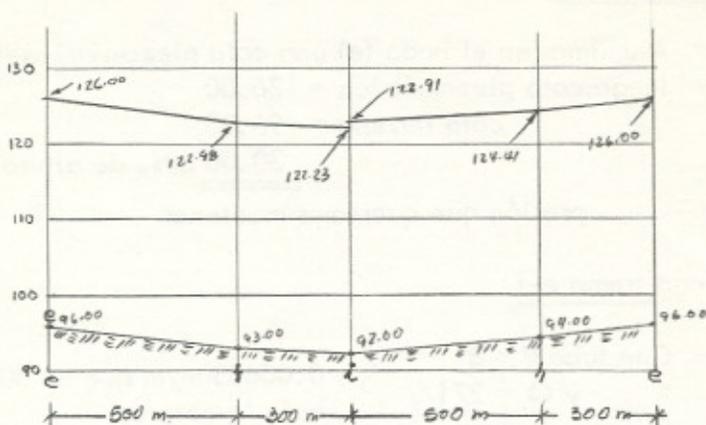


FIG. N° 10

## COMPROBACION POR HARDY-CROSS

TRAMO	Ø	S m/m	S <sub>TOT</sub>	Q (l.p.s)	S/Q
e-f	8"	.00605	3.02	27	.112
f-i	8"	.0025	.75	17	.044
			3.77		
e-h	8"	.0053	1.59	25	.016
h-i	8"	.003	1.50	19	.079
			3.09		.251

TABLA N° 13

$$\Delta Q = \frac{3.77 - 3.09}{1.85 \times .251} = + 1.46 \text{ l/s}$$

Para corregir la diferencia en el nudo (i) haremos lo siguiente:

Tramo h-i

$$\begin{aligned} \phi &= 8'' \\ Q &= 19 \text{ c/s} \quad S = 0.003 \quad h = .003 \times 430 = 123.12 \\ &\text{luego } 124.41 - 1.29 = 123.12 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{y } \phi &= 6'' \\ Q &= 19 \text{ l/s} \quad S = .0129 \quad h = .0129 \times 70 = 0.90 \\ &123.12 - .90 = \underline{122.22 \text{ (cota en i)}} \end{aligned}$$

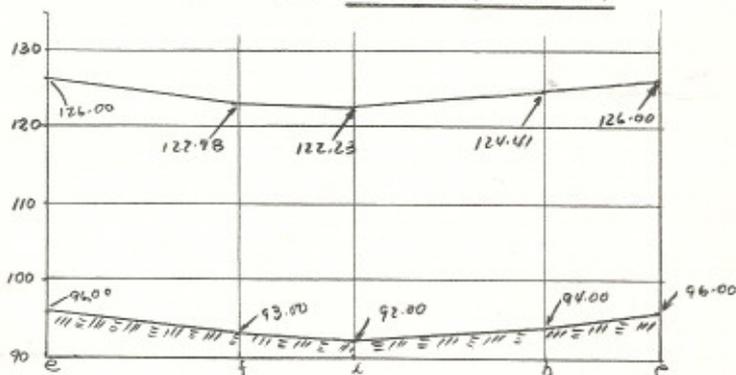


FIG. N° II

NUEVA COMPROBACION POR HARDY-CROSS

TRAMO	$\phi$	$\frac{S}{m}$	$S_{TOT.}$	$Q$ l.p.s.	$\frac{S}{Q}$
e-f	8"	.00605	3.02	27	.112
f-i	8"	.0025	.75	18	.044
			3.77		
e-h	8"	.0053	1.59	25	.0157
h-i	8"	.003	1.29	19	.068
	6"	.0129	.90	19	.047
			3.78		.2867

TABLA N° 14

$$\Delta Q = \frac{3.78 - 3.77}{1.85 \times .29} = -.0186 \text{ l/s}$$

CIRCUITO IITramo e-b

$$\begin{array}{l} \text{Con } \emptyset = 12'' \\ Q = 60 \text{ l/s} \end{array} \quad S = .00365 \quad h = .00365 \times 400 = 1.46 \text{ mts.}$$

luego cota en (e) = 126.00 (conocida)

luego  $126.00 + 1.46 = \underline{127.46}$  (cota en e)

Tramo e-f

$$\begin{array}{l} \text{Con } \emptyset = 8'' \\ Q = 27 \text{ l/s} \end{array} \quad S = .00605 \quad h = .00605 \times 500 = 3.02 \text{ mts.}$$

$$126.00 - 3.02 = \underline{122.98} \text{ (cota en f)}$$

Tramo b-c

$$\begin{array}{l} \text{Con } \emptyset = 6'' \\ Q = 9 \text{ l/s} \end{array} \quad S = .0031 \quad h = .0031 \times 500 = 1.55$$

$$127.46 - 1.55 = \underline{125.91} \text{ (cota en c)}$$

Tramo c-f

$$\begin{array}{l} \text{Con } \emptyset = 4'' \\ Q = 4 \text{ l/s} \end{array} \quad S = .00525 \quad h = .00525 \times 400 = 2.10$$

$$125.91 - 2.10 = \underline{123.81} \text{ (cota en f)}$$

diferencia en el nudo (f) =  $123.81 - \underline{122.98} = 0.83 \text{ mts.}$

corrigiendo la diferencia tendremos:

Tramos b-c

$$\begin{array}{l} \text{Con } \emptyset = 6'' \\ Q = 9 \text{ l/s} \end{array} \quad S = .0031 \quad h = .0031 \times 460 = 1.43$$

$$127.46 - 1.43 = 126.03$$

$$\begin{array}{l} \text{Con } \emptyset = 4'' \\ Q = 9 \text{ l/s} \end{array} \quad S = .024 \quad h = .024 \times 40 = .96$$

$$126.03 - .96 = \underline{125.07} \text{ (cota en c)}$$

Tramo c-f

$$\begin{aligned} \text{Con } \phi &= 4'' \\ Q &= 4 \frac{1}{s} \quad S = .00525 \quad h = .00525 \times 400 = 2.10 \\ & \quad \quad \quad 125.07 - 2.10 = \underline{122.97} \text{ (cota en f)} \end{aligned}$$

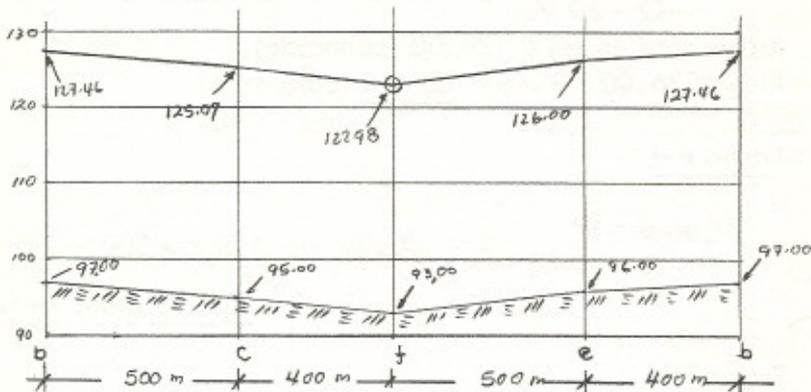


FIG N° 12

## COMPROBACION POR HARDY-CROSS

TRAMO	$\phi$	$S$ m/m	$S$ TOTAL	$Q$ l.p.s.	$S/Q$
b-c	6"	.0031	1.43	9	.158
	4"	.0024	.96	9	.107
c-f	4"	.00525	2.10	4	.525
			4.49		
b-e	12"	.00365	1.46	60	.024
e-f	8"	.00605	3.02	29	.112
			4.48		.926

TABLA N° 15

$$\Delta Q = \frac{4.49 - 4.48}{1.85 \times .93} = +.0058 \frac{l}{s}$$

CIRCUITO IIITramo e-h

$$\begin{aligned} \text{Con } \varnothing &= 8'' & S &= .0053 & h &= .0053 \times 300 = 1.59 \text{ mts.} \\ Q &= 25 \text{ l/s} & & & & 126.00 - 1.59 = \underline{124.41} \text{ (cota en h)} \end{aligned}$$

Tramo d-e

$$\begin{aligned} \text{Con } \varnothing &= 8'' & S &= .0013 & h &= .0013 \times 600 = .78 \text{ mts.} \\ Q &= 12 \text{ l/s} & & & & 126.00 + .78 = \underline{126.78} \text{ (cota en d)} \end{aligned}$$

Tramo d-g

$$\begin{aligned} \text{Con } \varnothing &= 6'' & S &= .0031 & h &= .0031 \times 300 = .93 \text{ mts.} \\ Q &= 9 \text{ l/s} & & & & 126.78 - .93 = \underline{125.85} \text{ (cota en g)} \end{aligned}$$

Tramo h-g

$$\begin{aligned} \text{Con } \varnothing &= 4'' & S &= .011 & h &= .011 \times 60 = .66 \\ Q &= 6 \text{ l/s} & & & & \\ \\ \text{Con } \varnothing &= 6'' & S &= .00142 & h &= .00142 \times 540 = .77 \\ Q &= 6 \text{ l/s} & & & & \\ 125.85 - .77 &= 125.08 \\ 125.08 - .66 &= \underline{124.42} \text{ (cota en h)} \end{aligned}$$

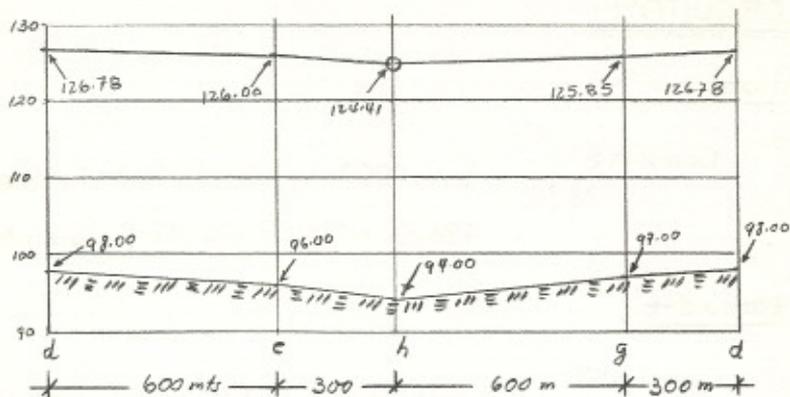


FIG. N° 13

COMPROBACION POR HARDY-CROSS

TRAMO	$\phi$	$S$ m/m	$S$ TOTAL	$Q$ (l.p.s.)	$s/q$
d-e	8"	.0013	.78	12	.065
e-h	8"	.0053	1.59	25	.064
			2.37		
d-g	6"	.0031	.93	9	.103
h-g	6"	.00142	.77	6	.128
	4"	.011	.66	6	.110
			2.36		.470

TABLA N° 16

$$\Delta Q = \frac{2.37 - 2.36}{1.85 \times .47} = +0.011 \frac{l/s}{ft}$$

CIRCUITO ITramo e-b

$$\begin{aligned} \text{Con } \emptyset &= 12'' \\ Q &= 60 \frac{1}{s} \end{aligned} \quad \begin{aligned} S &= .00365 \quad h = .00365 \times 400 = 1.46 \text{ mts.} \\ 126.00 + 1.46 &= \underline{127.46 \text{ mts}} \text{ (cota en b)} \end{aligned}$$

Tramo e-d

$$\begin{aligned} \text{Con } \emptyset &= 8'' \\ Q &= 12 \frac{1}{s} \end{aligned} \quad \begin{aligned} S &= .0013 \quad h = .0013 \times 600 = .78 \text{ mts.} \\ 126.00 + .78 &= \underline{126.78 \text{ mts}} \text{ (cota en d)} \end{aligned}$$

Tramo b-a

$$\begin{aligned} \text{Con } \emptyset &= 12'' \\ Q &= 75 \frac{1}{s} \end{aligned} \quad \begin{aligned} S &= .0054 \quad h = .0054 \times 600 = 3.24 \text{ mts.} \\ 127.46 + 3.24 &= \underline{130.70} \text{ (cota en a)} \end{aligned}$$

Tramo a-d

$$\begin{aligned} \text{Con } \emptyset &= 8'' \\ Q &= 25 \frac{1}{s} \end{aligned} \quad \begin{aligned} S &= .0053 \quad h = .0053 \times 290 = 1.54 \text{ mts.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Con } \emptyset &= 6'' \\ Q &= 25 \frac{1}{s} \end{aligned} \quad \begin{aligned} S &= .022 \quad h = .022 \times 110 = 2.42 \text{ mts.} \end{aligned}$$

$$130.70 - 1.54 = 129.16 \text{ mts.}$$

$$129.16 - 2.42 = \underline{126.74} \text{ (cota en d)}$$

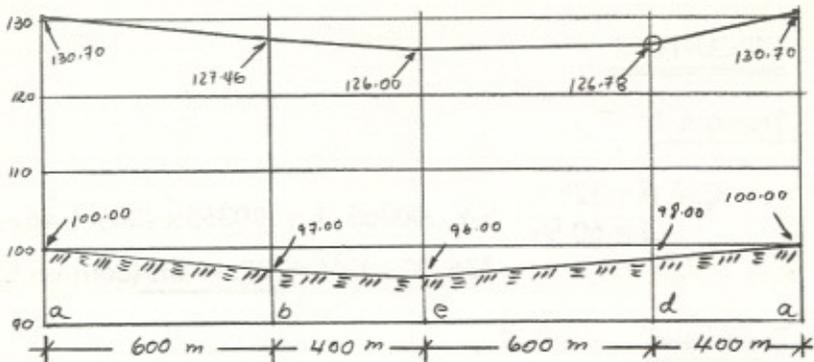


FIG. N° 14

TABLAN' 17 COMPROBACION POR HARDY-CROSS

TRAMO	$\phi$	$S_{m/m}$	$S_{TOTAL}$	$Q$ (l.p.s.)	$S/Q$
a-b	12"	.0054	3.24	75	.043
e-b	12"	.00365	1.46	60	.024
			4.70		
a-d	8"	.0053	1.54	25	.062
	6"	.022	2.42	25	.096
d-e	8"	.0013	.78	12	.065
			4.74		.290

$$\Delta Q = \frac{4.74 - 4.70}{1.85 \times .29} = - .074 \text{ \%/s}$$

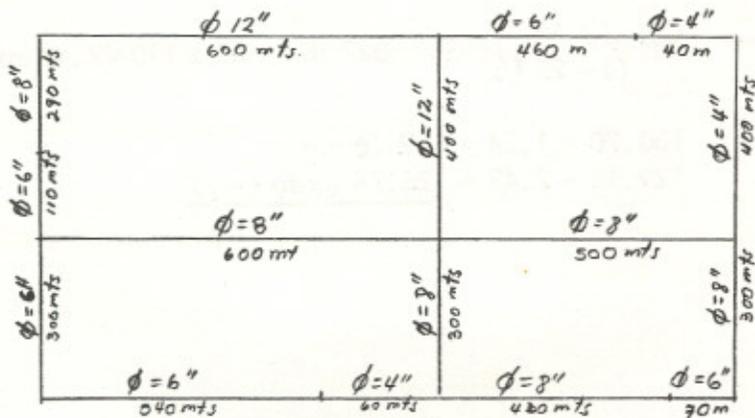


FIG. N° 15

RESULTADO FINAL DE DIAMETROS

## CAPITULO 4

### 4-1 COMPARACIONES DE LOS METODOS DE DISEÑO

A continuación haremos una comparación de los cuatro métodos de diseño enunciados en los capítulos anteriores, la cual estará basada por medio del tiempo que impli que cada método como también de su laboriosidad.

Supongamos que solo sea necesario una corrección o tanteo y veamos cuantos pasos entre lecturas de tabla, abacos, nomogramas y operaciones se requieren por cada tramo según el procedimiento utilizado.

**4-1.1 HARDY-CROSS, BALANCE DE CARGAS** (Usando tablas de potencias para encontrar las pérdidas de carga y sus derivadas).

- a) Una lectura en tabla para encontrar valor de  $k'$
- b) Una multiplicación para hallar la resistencia de la tubería " $k$ "
- c) Una lectura en la tabla de potencias, o uso de la regla de cálculo para el mismo efecto.
- d) Una multiplicación de " $k$ " por las potencias.
- e) Otra multiplicación por el gasto para hallar pérdida de carga.

Total: 2 lecturas en tabla y  
3 multiplicaciones

**4-1.2 HARDY-CROSS, BALANCE DE CAUDALES**

- a) Una multiplicación para encontrar la pendiente hidráulica.
- b) Una lectura en abaco para encontrar gasto.
- c) Una división para encontrar relación gasto-carga.

Total: 1 lectura en abaco  
1 multiplicación  
1 división

**4-1.3 PROCEDIMIENTO DEL GASTO PROMEDIO (de l  
Ing. Ruiz Altuna)**

- a) Una lectura de abaco para encontrar pendiente.
- b) Una multiplicación para obtener pérdida de carga.

Total: 1 lectura de abaco  
1 multiplicación

**4-1.4 METODO DE LAS GRADIENTES HIDRAULICAS  
(del Ing. Bustamante)**

- a) Una lectura en abaco para pendiente hidráulica.
- b) Una multiplicación para encontrar pérdida de carga.
- c) Una resta para encontrar altura piezométrica.

Total: 1 lectura de abaco  
1 multiplicación  
1 resta

## RESUMEN

OPERACIONES	PROCEDIMIENTO			
	4-1.1	4-1.2	4-1.3	4-1.4
MULTIPLICACIONES DIVISIONES O RESTAS	3	2	1	2
LECTURAS EN TABLA	2	-	-	-
LECTURAS EN ABACO	-	1	1	1
	5	3	2	3

TABLA N° 18

**Nota:** Hemos tomado en cuenta que el número de operaciones se refieren a una sola corrección y que por lo general se efectúan como mínimo 3 correcciones, excepto en el método de las Gradientes Hidráulicas donde solo es necesario de una o a lo sumo de dos correcciones.

## CAPITULO 5

### OTROS METODOS DE ANALISIS Y DISEÑO

#### 5-1 METODO DE LOS TUBOS EQUIVALENTES

En este método se reemplaza un sistema complejo de tubos por una línea sencilla hidráulicamente equivalente. Particularmente es útil para simplificar redes complejas existentes, que se analizarán por el método de Cross.

Este método no puede ser aplicado directamente a sistemas con tubería de cruces o salidas. Sin embargo, es posible con frecuencia, mediante una estructuración juiciosa de la red, obtener información eficiente sobre la cantidad y presión del agua disponible en los puntos importantes, o reducir el número de circuitos para ser considerados. Al reducir el sistema a un esqueleto operable, el analista puede ser guiado por el hecho de que los tubos contribuyen poco al flujo:

- a.- Cuando son pequeños o sea de 6" y menores en la mayoría de los sistemas y tan grandes como 8" ó 10" en los sistemas grandes.
- b.- Cuando los tubos se encuentran en ángulos rectos a la dirección general del flujo y no existe una diferencial de presión apreciable entre sus uniones en el sistema.

El método de los tubos equivalentes emplea dos axiomas hidráulicos:



Tubo BD             $L = 1,400 \text{ mts}$     $D = 16''$     $Q = 40 \text{ l.p.s.}$

$$\left. \begin{array}{l} Q = 40 \text{ l.p.s.} \\ D = 16'' \end{array} \right\} \begin{array}{l} S = 0.425 \text{ ‰} \quad H = 0.425 \times 1.4 = 0.59 \text{ m.} \\ H \text{ total} = 1.70 + 0.59 = 2.29 \text{ m.} \end{array}$$

Se multiplican las pendientes hidráulicas por las longitudes de cada tubo para obtener la pérdida de carga.

Se suman las dos pérdidas de carga para obtener la total que es de  $H \text{ total} = 2.29 \text{ mts.}$  (todo esto hecho con anterioridad).

Luego la línea ABD por consiguiente, debe conducir 40 l.p.s. con una pérdida de carga total de 2.29 mts. Cualquier tubo que haga esto, es equivalente.

Debido a que un tubo de 12'' tiene una  $S = 1.7 \%$  cuando conduce 40 l.p.s. de agua, para ser equivalente, debe tener una longitud de:

$$L_{12} = 1,000 \times \frac{2.29}{1.7} = 1,347 \text{ mts. (tubo equivalente de ABD)}$$

Segundo Paso: se procede en la misma forma general con la línea ACD. Supongamos un gasto de 20 l.p.s.

Tubo AC             $L = 1,400 \text{ mts.}$     $D = 10''$     $Q = 20 \text{ l.p.s.}$

$$\left. \begin{array}{l} Q = 20 \text{ l.p.s.} \\ D = 10'' \end{array} \right\} S = 1.1 \text{ ‰} \quad H = 1.1 \times 1.4 = 1.54 \text{ mts.}$$

Tubo CD             $L = 1,000 \text{ mts.}$

$$\left. \begin{array}{l} Q = 20 \text{ l.p.s.} \\ D = 8'' \end{array} \right\} \begin{array}{l} S = 3.4 \text{ ‰} \quad H = 3.4 \times 1.0 = \underline{3.40 \text{ mts.}} \\ H \text{ total} = \dots\dots\dots = 4.94 \text{ mts.} \end{array}$$

$$L_8 = 1,000 \times \frac{4.94}{3.40} = 1,452 \text{ mts. (tubo equivalente de ACD) de diámetro = 8"}$$

Tercer Paso: porque ABD y ACD, constituyen en conjunto dos líneas en paralelo, los flujos a través de ellas a una pérdida de carga dada, son aditivos. Si se supone alguna pérdida de carga conveniente, tal como la calculada anteriormente para una de las líneas, puede encontrarse el flujo compañero faltante a partir del diagrama de Hazen-Williams.

Suponiendo una pérdida de carga  $H = 2.29$ , que se encuentra asociada a un flujo a través de ABD de 40 l.p.s. es solo necesario encontrar, a partir del diagrama, que la cantidad de agua que fluirá a través del tubo equivalente ACD será:

Línea equivalente AD suponer  $H = 2.29$  mts.

$$\begin{aligned} \text{Línea ABD} \quad L &= 1,347 \text{ mts} \quad D = 12'' \\ S &= \frac{2.29}{1,347} = 1.7 \text{ ‰} \quad Q = 40 \text{ l.p.s.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Línea ACD} \quad L &= 1,452 \quad D = 8'' \\ S &= \frac{2.29}{1,452} = 1.58 \text{ ‰} \quad \underline{Q = 13.30 \text{ l.p.s.}} \\ Q \text{ total} &= 53.30 \text{ l.p.s.} \end{aligned}$$

Luego la línea AD, por consiguiente debe conducir  $Q = 53.30$  l.p.s. con una pérdida de carga de 2.29 mts.

Si suponemos el tubo equivalente final de  $\varnothing = 14''$ , descargará 53.30 l.p.s. con una  $S = 1.37 \text{ ‰}$  y su longitud deberá ser de:

$$L_{14} = 1,000 \times \frac{2.29}{1.37} = 1,670 \text{ mts.}$$

De donde se deduce que podemos reemplazar la red por un tubo sencillo de 14" con una longitud de 1,670 mts.

Independientemente de las suposiciones originales sobre cantidad, diámetro y pérdida de carga, el tubo equivalente calculado se comportará hidráulicamente siempre en la misma forma que la red a que reemplaza.

## 5-2 METODO DE SECCIONES

Este es un método aproximado, y, en cierto sentido exploratorio, simple en concepto y aplicación y ampliamente útil, siempre que sus limitaciones se comprendan claramente. Allen Hazen lo desarrolló como una rápida comprobación de los sistemas de distribución.

El método desarrollado por Pardoe es algo similar al de Hazen, y es aplicable a redes grandes existentes, y permite el proyecto de los alimentadores, la investigación de los tubos existentes, o la determinación del efecto obtenido al alargar ciertos alimentadores. Considera también el efecto de la capacidad de transporte de las pequeñas tuberías.

El método de secciones lo ilustramos en la fig. N<sup>o</sup> 17 y enunciaremos nada más los pasos necesarios para llevarlo a cabo.

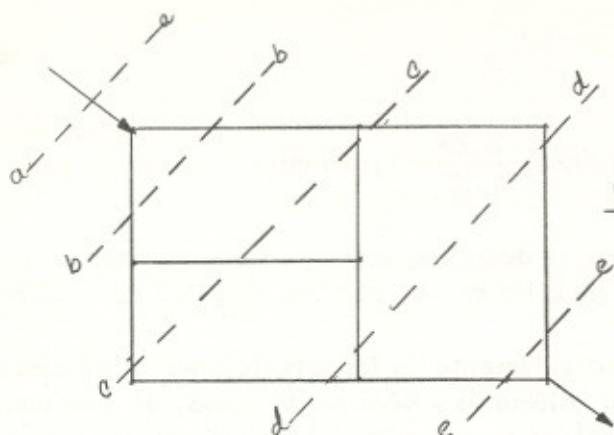


FIG. N° 17

- (1) Córtese la red mediante una serie de líneas, (no necesariamente rectas o regularmente espaciadas) escogidas con la debida relación a la secuencia variable de los tamaños de los tubos y características del distrito. Una primera serie de líneas puede cortar la tubería de distribución sustancialmente a ángulos rectos respecto a la dirección general del flujo. Para más de un conducto de suministro, las secciones pueden ser curvadas para interceptar al flujo de cada conducto.
- (2) Estimar cuanta agua debe de ser alimentada a las áreas "más allá" de cada sección. Basar las estimaciones sobre un conocimiento de la densidad de población y las características generales de las zonas, residencial, comercial e industrial.
- (3) Estimar la capacidad del sistema de distribución en cada sección a través de la tubería. Para hacer esto:
  - a) Tabular el número de tubos cortados en cada tamaño. Contar los tubos que alimentan agua en la dirección general de flujo.
  - b) Determinar el gradiente hidráulico disponible o resistencia por fricción. Esto depende de:
    - I) La presión que debe mantenerse en el sistema y
    - II) La velocidad permisible en la tubería.

- (4) Determinar la capacidad de los tubos existentes para el gradiente disponible o deseable y sùmense, para obtener la capacidad total ( $Q_t$ ).
- (5) Por ùltimo, comparamos el gasto que pasa por los tubos ( $Q_t$ ) y lo comparamos con la estimaci3n hecha para el área que va a ser alimentada "más allá" de cada secci3n ( $Q_p$ ).

Si  $Q_t > Q_p$ , no se refuerza el sistema.

Si  $Q_t < Q_p$ , sí hay necesidad de reforzarlo.

Ejemplo: Supongamos la secci3n d-d que corta 3 tubos (ver Fig. N<sup>o</sup> 17):

- a) Suponemos nuestro gradiente deseable ( $S$ )
- b) Con el gradiente  $S$  y el diámetro de cada tubo encontramos los correspondientes gastos de cada tubo, que al sumarlos nos da el gasto total ( $Q_t$ ).
- c) Este  $Q_t$  lo comparamos con la cantidad de agua ( $Q_p$ ) que debe de alimentar el área más allá de la secci3n d-d o sea entre las secciones d-d y e-e.
- d) Por ùltimo tendremos que, si  
 $Q_t > Q_p$ , no se refuerza el sistema, y si  
 $Q_p > Q_t$ , sí hay necesidad de refuerzo, es decir, que hay que agregar otro tubo que lleve el gasto necesario con el gradiente ( $S$ ) para hacer más grande el gasto total ( $Q_t$ ).

### 5-3 ANALISIS MEDIANTE COMPUTADORA DIGITAL

El computador digital electrónico es esencialmente una calculadora digital con dos innovaciones importantes: utiliza circuitos electrónicos para obedecer las reglas precisas de cálculo y es capaz de "recordar" informaci3n, es

decir, tiene "memoria".

La primera innovación introduce una velocidad de cálculo muy alta; la segunda hace que esta velocidad se pueda aprovechar eficientemente al máximo. En lugar de operar como con una calculadora de escritorio, con un operador que decide después de cada operación cuál debe ser la próxima. Al trabajar con el computador crea "un plan de cálculo" detallado antes de iniciar el proceso, el cual se guarda en la memoria del computador, junto con los números necesarios para efectuar las operaciones; una vez que se inicia el proceso en el computador, - el "plan de cálculo" elaborado se ejecuta automáticamente, sin intervención del operador, a altísimas velocidades. Este "plan de cálculo" representado por "instrucciones" que el computador obedece, se llama "programa".

A continuación daremos una descripción de los pasos que se efectúan para elaborar un programa para Análisis Hidráulico de Redes de Tuberías, basado en el método de Hardy-Cross de "Balance de Cargas", y que es usado en "El Centro de Cálculo" de la Facultad de Ingeniería aplicado a la computadora I.B.M. 1620 de dicho centro.

### 5-3.1 PROGRAMA PARA ANALISIS HIDRAULICO DE REDES DE TUBERIAS

#### Descripción

Dada cualquier red de tubería con todas las características de sus líneas, este programa encuentra los caudales que corren por cada línea y luego calcula las presiones en cada nudo.

Capacidad

Número máximo de líneas-----	400
Número máximo de circuitos-----	200

Fórmulas Básicas

$$F = \frac{10.43 \times S}{C^{1.85} \times D^{4.87}} \quad \left\{ \begin{array}{l} F = \text{Resist. relativa} \\ S = \text{Longitud de la línea} \\ C = \text{Coeficiente Hazen Williams} \\ D = \text{Diámetro de la tubería} \end{array} \right.$$

$$AQ = \frac{\sum (F \times Q_A^{1.85}) + H_c}{\sum (1.85 \times F \times Q_A^{0.85})} \quad \left\{ \begin{array}{l} AQ = \text{Corrección de flujo} \\ F = \text{Resistencia relativa} \\ Q_A = \text{Caudal asumido} \\ H_c = \text{Carga constante} \end{array} \right.$$

$$P_J = P_I - \left[ (H_c + AY) + H \right] 0.433$$

$P_J = \text{Presión en J}$   
 $P_I = \text{Presión en I}$   
 $AY = \text{Diferencia altura entre J é I}$   
 $H = \text{Pérdida de carga}$   
 $H_c = \text{Carga constante}$

Definiciones:

Línea: La unión de dos nudos mediante una tubería

Circuito: Una serie de líneas que forman un contorno cerrado

Nudo: Es un punto en un circuito donde, existe una intersección de líneas, donde las características de la línea cambian o donde el agua entra o sale del sistema.

Preparación

1.- Dibujar un esquema general de la red, indicando en

ella todas las características respectivas de:

D-----	Diámetro del tubo-----	pulgadas
S-----	Longitud de cada línea---	pies
C-----	Coefficiente de línea-----	Hazen Williams
ELN---	Cotas de cada nudo-----	pies
CHLN-	Cargas adicionales (Bom bas, turbinas)-----	pies de carga
Q-----	Caudales de entrada y de salida-----	Gal/Mit.
CH----	Punto de carga constante -	pies de carga

2.- Numerar los circuitos, líneas y nudos de acuerdo a las siguientes reglas.

- A. Si existen puntos de carga constante, conecte cada par de ellos mediante líneas punteadas para formar circuitos de carga constante. (Cada circuito de carga constante deberá contener al menos 2 líneas).
- B. Número los circuitos empezando con el número "1" donde la presión es conocida y luego continúe numerando circuitos en cualquier orden pero sin omitir ningún número hasta llegar a LPS, donde LPS es el número total de circuitos.
- C. Numere las líneas en cualquier orden pero empezando con "1" y terminando con LNS, donde LNS es el número total de líneas.
- D. Empiece con el circuito "1" y marque a cada línea su dirección. La dirección estará dada por la misma en que giran las agujas del reloj.

Luego continúe con los siguientes circuitos pero nunca reasigne nueva dirección a una línea que ya tenía dirección asignada en un circuito previo.

- E. Numerar los nudos, circuito por circuito en secuencia, empezando con "O" donde la presión es conocida hasta JNS, donde JNS es el número total de nudos. Cada nudo debe estar conectado a otro en tal forma que la dirección de la línea que los conecta va de un nudo JP a otro JJ pero de tal forma que  $JP < JJ$  para cada circuito (excepto la última línea que cierra el circuito).
- F. Asumir un caudal supuesto a cada línea de modo que sea congruente con las condiciones impuestas o sea:
- Suma de caudales que entran a un nudo es igual a la suma de caudales que salen de ese nudo.

### Entrada de Datos:

Perforar tarjetas según:

#### TIPO I (DATOS GENERALES)

Una sola tarjeta

LNS, LPS, JNS, MAXCY, TESTQ, P

LNS----Número de líneas de la red

LPS----Número de circuitos

JNS----Número de nudos, excepto el "O"

MAXCY--Máximo número de iteraciones

TESTQ --Máxima diferencia tolerable entre flujos

P-----Presión en el nudo "O"

TIPO II (CARACTERISTICAS DE LINEA)

Una tarjeta por cada línea

D, S, C, DELV, CHLN

D----- Diámetro del tubo en PLG.

S----- Longitud de la línea en pies

C----- Coeficiente de Hazen Williams

DELV-- Cambio de altura (Positivo si en la dirección de la línea se sube)

CHLN - Carga adicional en pies (bombas, etc.) si no existe se pone O.O

TIPO III (FLUJOS SUPUESTOS)

Se puede perforar hasta seis pares de datos en cada tarjeta.

II, A

II----- Número de una línea

A----- Caudal supuesto en esa línea en G.P.M. (Positivo si el caudal supuesto corre en la misma dirección de la línea)

TIPO IV (DIRECTORIO DE CIRCUITOS)

Una tarjeta por cada circuito

K, CH, L, L, .....

K----- Número de líneas en el circuito

CH---- Si se trata de un circuito formado porque había cargas constantes, entonces se coloca aquí la diferencia entre esas cargas constantes y será positivo (+), si al ir en la dirección de la línea punteada se baja. Y será negativa (-), si al ir en la dirección de la línea punteada se sube. (Si no existe carga se pone O.O).

L----- Número de línea, que será (+) si dentro del circuito se está de acuerdo con la dirección según el sentido en que giran las agujas del reloj, se deberán perforar tantos datos "L" como líneas tiene el circuito. (Las líneas punteadas no se nu-

meran ni se perforan).

#### TIPO V (DIRECTORIO DE LINEAS)

Una línea en cada tarjeta

JP, JJ, I

Nota: esto sirve para cálculo de presiones así, que no hay necesidad de colocar la última línea de cada circuito.

JP---- Número de nudo

JJ---- Número de nudo

I----- Número de línea que va de JJ a JP

#### Análisis de los Resultados:

El programa imprime o perfora:

Caudal----- Gal/Mit.

Pérdida total----- Pies de carga

Pérdida/100----- Pies de carga/100 pies de tubería

Presiones----- LBS/PLG<sup>2</sup>

Se determina la dirección del caudal según el signo de la pérdida de carga si el signo es positivo (+), el caudal va en la dirección de la línea, si el signo es negativo (-) el caudal va en dirección contraria al de la línea.

### INSTRUCCIONES DE OPERACION

#### PARTE I-A

A.- Cargar en la lectora parte I-A

B.- A continuación cargar datos en el orden siguiente:

Tarjetas tipo I

Tarjetas tipo II

trico diseñado específicamente para el análisis hidráulico de sistemas de distribución de aguas. Los analizadores eléctricos utilizan resistores no lineales, llamados fluistores en el analizador de McIlroy, para simular resistencias de tubos. Este analizador mencionado es una computadora de tipo análoga y está basada en el hecho de que el flujo de electricidad en un circuito, procede de la misma manera como el flujo de un fluido en un tubo y es posible establecerlo en una red eléctrica, usando los resistores, los cuales causarán una caída de voltaje análoga a la pérdida de carga, causada por la fricción en una tubería. El equivalente del flujo de agua y la presión en cualquier punto puede ser leída en el analizador.

Para cada tramo del sistema, la ecuación del tubo  $H = kQ^{1.85}$ , por ejemplo, se reemplaza por una ecuación eléctrica  $V = Ke I^{1.85}$ , en donde  $V$  es la caída de voltaje en el ramal,  $I$  es la corriente y  $Ke$  el coeficiente del resistor no lineal adecuado al coeficiente  $k$  del tubo, para las relaciones de escalas seleccionadas para la caída de voltaje (pérdida de carga) y el amperaje (flujo de agua).

Si las entradas y salidas de corriente se hacen proporcionales al agua que fluye hacia el interior y exterior del sistema, las pérdidas de carga serán proporcionales a las caídas de voltaje medidas.

Algunas comunidades grandes, de rápido desarrollo, han encontrado económico adquirir analizadores eléctricos adecuados a su propio sistema.

## 5-5 USO DE REGLAS HIDRAULICAS

Generalmente esta clase de reglas hidráulicas son obsequios que hacen las compañías manufactureras de tube-

ría como propaganda a sus productos y que trabajan como una regla de cálculo común y corriente; la única diferencia que existe es que las escalas que se refieren al cálculo hidráulico tienen un parecido con los abacos para tuberías en su modo de usarlos.

Como ejemplo de estas reglas hemos tomado las que obsequia la CIPRA (Cast Iron Pipe Research Association). Hay dos clases de estas reglas calculadoras:

- a.- Las que sirven para encontrar pérdidas por fricción y
- b.- Las que se usan para resolver redes de tubos.

#### Escalas que usan dichas reglas calculadoras:

Las reglas "a" tienen las siguientes escalas:

- (1) diámetros contra velocidades (pies/seg)
- (2) diámetros (pulg) contra gasto (en m.g.d)
- y (3) pérdida de carga (pies/1000 pies) contra valor de "C"

Las reglas "b" tienen las siguientes escalas:

- (I) diámetros contra valor de "C" y a la vez contra valor de "k"
- (II) y los factores A contra % del flujo total y B contra % del flujo total.

5-5.1 A continuación daremos un ejemplo del método de "Tuberías Equivalentes" usando la regla calculadora - de "pérdidas por fricción"

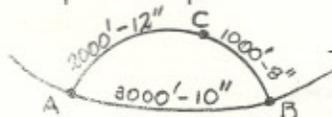


FIG. N° 19

USANDO C=140 PARA

TODOS LOS TRAMOS

Reducir tramos AC y CB a uno equivalente ACB asumiendo flujo conveniente  $Q = 0.50 \text{ m.g.d.}$

Se fija el flujo en escala (2) para cada tramo y se encuentra la pérdida por fricción en escala (3)

$$\text{pérdida en AC} = 0.32 \times 2 = 0.6 \text{ pies}$$

$$\text{pérdida en CB} = 2.30 \times 1 = 2.3 \text{ pies}$$

$$\text{pérdida en AB} = 2.9 \text{ pies}$$

Luego el tubo equivalente ACB será:

$$\text{de } 8'' \text{ y con una longitud } l_{8''} = \frac{2.9}{2.3} \times 1000 = 1,260 \text{ pies}$$

Ahora reducimos el sistema ACB y AB en paralelo a un tubo equivalente que nosotros queremos que tenga 12'' de diámetro. Escogemos una pérdida por fricción conveniente entre los puntos A y B (ver fig. N<sup>o</sup> 19)  $h = 3 \text{ pies}$

$$\text{en tubo de } 10'' \quad h/L = \frac{3}{3000} = 1 \text{ pie}/1000 \text{ pies} \rightarrow Q = 0.57 \text{ m.g.d.}$$

$$\text{en tubo de } 8'' \quad h/L = \frac{3}{2.38} = 2.38 \text{ pies}/1000 \text{ pies} \rightarrow Q = 0.51 \text{ m.g.d.}$$

Para encontrar los gastos de c/tubo usamos las escalas (2) y (3), fijando en la escala (3) la pérdida de carga y encontrando en la (2) los gastos.

Como queremos un tubo de 12'' que con  $C = 140$  lleve 1.08 m.g.d., por medio de las mismas escalas vamos a encontrar la pérdida de carga = 1.33 pies/1000 pies.

Luego el sistema será sustituido por un tubo equivalente de 12'' con una longitud

$$l_{12} = \frac{3}{1.33} \times 1000 = 2,250 \text{ pies}$$

5-5.2 Como ejemplo para utilizar la regla calculadora de redes de tubos, expondremos la siguiente red la cual calcularemos por el método de Hardy-Cross.

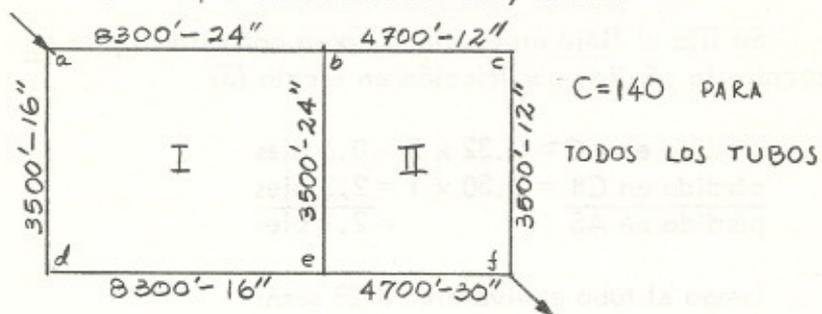


FIG. N° 20

### Primer paso

Hacer un bosquejo de la red a calcularse, mostrando todas las entradas y, salidas y longitud de los tramos. Numerar cada nudo y cada circuito (ver fig. N° 20).

### Segundo paso

Preparar una tabla (ver tabla No. 19) y colocar las columnas 1, 2, 3 y 4 que representan el No. del circuito, el tramo, diámetro y coeficiente "C" respectivamente.

En la columna 5 va el valor  $k$  por 1000 pies este valor es leído directamente de la escala "k" de la regla después de haber colocado el diámetro debajo del valor de  $T$  coeficiente "C". El valor de "k" para cada tramo de la red (columna 7) es hallado multiplicando la columna (5) por la 6.

### Tercer paso

Asumir cualquier distribución de flujo; cada flujo expresado como porcentaje del flujo total (ver columna 8).

#### Cuarto paso

Tomar un circuito cerrado y colocar los valores de los factores A y B en las columnas 9 y 10 respectivamente. Con el valor de k de la columna 7, se coloca sobre la marca índice, y los factores A y B pueden ser leídos directamente debajo, en la escala del % del flujo total. Los valores de A son registrados haciendo uso de la siguiente convención de signos: pérdidas de carga teniendo flujos en el sentido de las agujas del reloj son positivas, y en sentido contrario son negativas. Los valores de B están registrados sin tener en cuenta el signo.

#### Quinto paso

Los valores de los factores A y B en cada circuito son sumados algebraicamente. La corrección para cada circuito ( $\Delta$ ) es calculada dividiendo la suma de los valores de los factores A entre la suma de los valores de los factores B.

#### Sexto paso

Aplicar la corrección  $\Delta$  (% del flujo total) a cada tramo en el circuito (columna 11) para llegar a la primera corrección calculada (columna 12). Nótese en la tabla N° 19 que los tramos comunes a dos circuitos reciben dos correcciones, una de cada circuito.

TABLA N° 19

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CIR- CUITO N°	TRAMO	DIAM. (pulg)	C	K por 1000	L (1000)	K	Q <sub>o</sub> %	A	B	Δ	Q <sub>i</sub> %
I	a-b	24	140	.022	8.3	.183	+70	+470	13	+4	+74
	b-e	24	/	.022	3.5	.077	+65	+173	5	+4-5	+64
	e-d	16	/	.155	8.3	1.29	-30	-690	43	+4	-26
	d-a	16	/	.155	3.5	.54	-30	-290	18	+4	-26
								Σ = -237	79		
								Δ = -(-237/79) = +4.3			
II	b-c	12	/	.62	4.7	2.91	+5	+57	21	+5	+10
	c-f	12	/	.62	3.5	2.17	+5	+42	16	+5	+10
	f-e	30	/	.0073	4.7	.0343	-95	-157	3	+5	-90
	e-b	24	/	.022	3.5	.077	-65	-173	5	+5-4	-64
								Σ = -231	45		
								Δ = -(-231/45) = +5.1			

## CAPITULO 6

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 6-1 CONCLUSIONES

- a.- Los resultados obtenidos por los métodos de diseño enunciados en el capítulo N<sup>o</sup> 2 son básicamente iguales dando una exactitud buena, aunque se haya hecho uso de la regla de cálculo y de nomogramas en los cuales la apreciación de cada operador es siempre diferente.
- b.- Tomando la comparación que se hizo de los métodos de diseño en el capítulo 4 nos damos cuenta que el método de Ajuste de Gradientes Hidráulicos del Ing. Bustamante es más rápido por su facilidad de operación y ahorro de tiempo y además que sus resultados son excelentes, aunque se haya hecho uso de la regla de cálculo.
- c.- El procedimiento del Gasto Promedio (del Ing. Ruiz Altuna) basado en el de Hardy-Cross es mejor que éste, en el sentido de que se ahorran operaciones y tiempo como se vió en la comparación hecha en el capítulo 4.
- d.- Refiriéndonos al procedimiento enunciado en el inciso "c" diremos que para determinar en sí el gasto promedio no hay que hacer un análisis detenido para obtenerlo, ya que basta con una estimación rápida y el error que se cometa se compensa con las correcciones

necesarias.

- e.- El método de las Tuberías Equivalentes se aplica más que todo a redes complejas y existentes, que más tarde se analizarán por los diferentes métodos de diseño.

Su propósito es dejar una red lo más sencilla posible antes de someterla al cálculo.

- f.- El método de secciones es de gran aplicación para redes complejas y existentes. Permite la investigación de posibles refuerzos en la red cuando la demanda de agua aumenta considerablemente.
- g.- El uso de la computadora es mejor aplicarlo a redes sustancialmente grandes que pequeñas ya que si la usamos en éstas últimas, lleva más tiempo e laborar su programa que efectuar el cálculo sin necesidad de éste.

## 6-2 RECOMENDACIONES

- a.- Se recomienda para redes medianas y pequeñas, usar el método de Ajuste de Gradientes Hidráulicas del Ing. Bustamante, pues se obtienen resultados satisfactorios en cuanto a uniformidad de presión en la malla, además de como ya vimos antes, un ahorro de tiempo y facilidad de operación.
- b.- Para redes grandes y complicadas indiscutiblemente la computadora electrónica da soluciones exactas, ahorrándose mucho tiempo y una gran cantidad de operaciones. El único trabajo largo que se tiene que ejecutar es la preparación de los datos de entrada a la máquina.

- c.- Con respecto a los métodos aproximados de análisis es recomendable usar el de Secciones ya que nos es útil como una comprobación sobre otros métodos de análisis y también como una base para investigaciones adicionales y cálculos más exactos.

## BIBLIOGRAFIA

1. BABBITT, DOLAND AND CLEASBY. Water Supply Engineering. Editorial Mc Graw Hill, 6a. edición. Estados Unidos, 1962.
2. BUSTAMANTE V., RODRIGO. Método Gráfico de Ajustes de Gradientes Hidráulicas. Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillado. San José, Costa Rica, 1966.
3. CENTRO DE CALCULO, FACULTAD DE INGENIERIA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA. Programa para Análisis Hidráulico de Redes de Tuberías. Guatemala, 1969.
4. DAVIS, CALVIN VICTOR. Tratado de Hidráulica Aplicada. Editorial Labor, S.A. Traducción de la 2a. edición norteamericana. Barcelona, 1956.
5. FAIR, GEYER AND OKUN. Abastecimiento de Aguas y Remoción de Aguas Residuales. Editorial Limusa-Wiley S.A. Volumen 1, 1a. edición, México, 1968.
6. RUIZ ALTUNA, CARLOS E. Procedimiento del Gasto Promedio. Servicio Especial de Salud Pública, Lima, Perú.
7. STEEL, ERNEST W. Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado. Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona, 1958.

8. STEEL, ERNEST W. Water Supply and Sewerage. Editorial Mc Graw Hill, 4a. edición. Estados Unidos, 1960.
9. YEPES, GUILLERMO. Aplicación de Computadoras Electrónicas a Problemas de Ingeniería Sanitaria. Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia, 1965.

TESIS DE REFERENCIA

NO  
BIBLIOTECA CENTRAL - USAC  
DE PLANTAS DE LA BIBLIOTECA

Julio Mauricio González Salazar

Vo. Bo.

Ing. Gustavo Cáceres  
ASESOR

Vo. Bo.

Ing. Rodolfo González M.  
Director de la Escuela Regional  
de Ingeniería Sanitaria

IMPRIMASE:

Ing. Amando Vides Tobar  
DECANO  
Facultad de Ingeniería