



**Congreso Nacional del Medio Ambiente**  
Cumbre del Desarrollo Sostenible

**COMUNICACIÓN TÉCNICA**

# Uso y análisis de redes cerradas de distribución en un distrito de riego

Autor: Pino Durán Escamilla

Institución: Maestría en Ciencias en Hidráulica, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, U. Zacatenco, del Instituto Politécnico Nacional. México D. F.  
E-mail: pduran@ipn.mx ; ponceg\_08@yahoo.com



## **RESUMEN:**

Los sistemas de riego como se sabe generalmente fueron diseñados para operar con canales a cielo abierto, sin embargo cuando se requiere alguna modernización, ampliación o disminuir las pérdidas por filtración y de acuerdo a las condiciones de cada distrito de riego, se puede recurrir a la incorporación de redes cerradas de distribución de agua. De ahí que los principales objetivos de los distritos de riego con sistemas de redes a presión es tener distritos de riego modernos con un uso más eficiente del agua, disminuyendo las pérdidas en los canales y mejorar las condiciones actuales de la infraestructura existente y aumentar además sus áreas de cultivo, logrando al mismo tiempo que permitan al usuario evolucionar hacia una agricultura más rentable. Dentro de un distrito de riego existen diversas configuraciones de redes de distribución para el riego de los cultivos y aunque los diseños de estas redes son muy diferentes entre sí, la teoría indica que deben cumplir con ciertos requisitos generales, por lo que se presenta el análisis de una red de distribución a presión, revisando los principales factores que se consideran para su diseño hidráulico; las diversas nomenclaturas que se le dan a su configuración, las ecuaciones generales y las ecuaciones de fricción que influyen en las pérdidas de energía, en las válvulas y accesorios así como en los equipos de bombeo.



## **I.- INTRODUCCIÓN.-**

El crecimiento demográfico en nuestro País, esta generando una demanda continua y creciente de los sectores productivos; uno de los mas representativos de este crecimiento es el sector agrícola, ya que es el responsable de producir los forrajes y alimentos para el consumo animal y humano, por lo que resulta de suma importancia revisar desde varios enfoques su situación actual y su expansión.

En este sector agrícola, el agua es el elemento imprescindible e indispensable que genera las cadenas productivas de alimentación, por lo que hay que buscar que los proyectos y funcionamiento técnico de los distritos de riego sean los óptimos; esto puede lograrse mediante el mejoramiento de los métodos e instrumentos empleados, tanto en su diseño como en su operación.

Sin embargo, de acuerdo a los resultados de diferentes estudios realizados por el gobierno federal, se ha demostrado que la problemática hidráulica que se presenta hoy día en estos distritos, esta en dos vertientes generales, por un lado la disminución significativa de la capacidad en los vasos de almacenamiento y la sobreexplotación de los mantos acuíferos y por el otro las enormes pérdidas de agua en las redes de canales que conforman los sistemas de riego.

Aunado a lo anterior se tiene el fenómeno del aumento poblacional, por lo que se ha tenido y tiene que ampliar en varios casos las zonas de cultivo, que en varias ocasiones están en niveles superiores a las parcelas originales, a las cuales hay que dotarlas de agua, por lo que se tiene que recurrir a la planeación, diseño, construcción y operación de redes cerradas de distribución de agua, empleándose también este tipo de redes cuando se requiere evitar pérdidas por filtración en la conducción del agua.

De ahí que los principales objetivos de los distritos de riego con sistemas de redes a presión, es tener distritos de riego modernos con un uso más eficiente del agua, disminuyendo las pérdidas en los canales y mejorar las condiciones actuales de la infraestructura existente y aumentar además sus áreas de cultivo, logrando al mismo tiempo que permitan al usuario evolucionar hacia una agricultura más rentable.

## **II.- CARACTERÍSTICAS LAS REDES.-**

Las redes cerradas, redes de distribución de agua o circuitos de tubos interconectados, forman ramificaciones complejas que se cierran formando mallas y estas a su vez son formadas por circuitos, de forma tal que el agua puede llegar de direcciones distintas, lo que representa una ventaja para no interrumpir el suministro, aun en caso de reparaciones, por lo que en la actualidad se ha buscado a través de estas redes eficientar el agua en el riego, desde la red de conducción y distribución hasta la parcela, esto es mediante sistemas de redes a presión, a fin de reducir los volúmenes empleados en el riego y contribuir a incrementar la productividad agrícola así como preservar la calidad de los suelos o recuperar los que estén afectados por salinidad y/o falta de drenaje; de ahí que la modernización con sistemas de redes a presión, se encaminan a la realización de las obras necesarias para reducir las pérdidas de agua en la red de distribución y mejorar las condiciones para su manejo, aumentando la disponibilidad de agua y logrando el aprovechamiento de la dotación con mayor eficiencia.



Por lo tanto una de las obras importantes dentro del distrito de riego, es la distribución, por lo que realizar el diseño de una red de distribución es fundamental, sin embargo hay que definir el tipo de red, estas se pueden clasificar atendiendo a los siguientes criterios: tipo de conducción, modalidad de riego, topología, trazado y sistema de inyección y regulación; por lo tanto una red hidráulica de distribución a presión es un sistema encargado del transporte y distribución de un fluido, en nuestro caso, el agua, desde los puntos de producción y almacenamiento hasta los puntos de consumo.

Las redes de distribución para un sistema de riego según su estructura de la planta pueden ser:

**Redes ramificadas.** Las redes de distribución ramificadas, tienen como característica que el agua fluye siempre en el mismo sentido. Las redes ramificadas se componen esencialmente de tuberías primarias, las cuales se ramifican en conducciones secundarias y éstas a su vez en ramales terciarios.

**Redes mixtas.** Es evidente que también puede adoptarse un sistema mixto o sea, utilizar la distribución en red a presión y ramificada. El buen funcionamiento y la razonable duración de una red de distribución, obligan a que los valores de la presión queden dentro de límites recomendables

**Redes a presión o cerradas.** Las redes a presión son tuberías principales que se comunican unas con otras, formando circuitos cerrados que forman mallas y se caracterizan por el hecho de que la alimentación de las tuberías puede efectuarse por sus dos extremos indistintamente, según se comporten las tuberías adyacentes, de manera que el sentido de la corriente no es siempre forzosamente el mismo.

Desde el punto de vista de la utilidad funcional, la red de distribución está constituida por una gran variedad de elementos, pero las tuberías son el componente principal; desde el punto de vista funcional, la tubería es el elemento de la red que permite el transporte del agua y los componentes restantes actúan únicamente como auxiliares de esta función (regulación, control, medida, etc.).

Atendiendo a su aspecto topológico, una red de distribución está constituida por nodos, líneas y circuitos: los nodos se identifican con puntos determinados de la red que tienen un interés concreto por sus características, también pueden tratarse de puntos de consumo, puntos de entrada o salida de algún subsistema ó simplemente puntos de conexión de tuberías u otros elementos, o de cualquier otro elemento que implique transferencia de gasto, bien sea con aporte de energía como en el caso de las bombas o con disipación de la misma por ejemplo una válvula, de ahí que cuando un nodo recibe un aporte externo de gasto se denomina nodo fuente; inversamente, cuando un nodo aporta gasto hacia el exterior se denomina nodo de consumo;

Una línea es un segmento de la red que transporta un gasto constante y no tiene ramificaciones, mientras que una tubería es una porción de la línea que posee unas características físicas constantes, como diámetro interno y rugosidad y un circuito consiste en la representación de un conjunto de tuberías en serie o en paralelo mediante una única tubería cuyas características sean equivalentes a las del conjunto.



### III.- DISEÑO HIDRÁULICO.-

Este consiste en determinar los diámetros y longitudes de la tubería de conducción, de tal forma que las condiciones hidráulicas de funcionamiento sean satisfechas. Esto es, que el agua se distribuya en los diferentes puntos de la red con los gastos y cargas de presión seleccionados por el ingeniero.

La selección del diámetro de la red de distribución considera los siguientes factores: las velocidades máxima y mínima permisibles, los diámetros nominales disponibles comercialmente, el tipo de material y su resistencia, el tipo de sistema de riego a emplear, el costo inicial de la tubería y el costo de la energía consumida en su operación.

De acuerdo con la lógica comercial, una tubería fabricada con el mismo material y las mismas características de resistencia, su precio aumenta conforme el diámetro es mayor. Por lo que para conducir un gasto determinado, la tubería más económica será aquella que lo conduzca con la máxima velocidad permisible, porque será la de menor diámetro. Sin embargo, a mayor velocidad del flujo mayores son las pérdidas de energía en la conducción, por tanto, la red diseñada con la máxima velocidad será la más barata pero también la de mayor requerimiento de energía, es por eso que la optimización hidráulica está ligada a la optimización económica. De ahí que el diseño óptimo de una red de distribución a presión, consiste en seleccionar el diámetro de tubería de cada tramo de la red, que satisfacen las condiciones hidráulicas de funcionamiento. Esto es, que el agua sea entregada en la cantidad y con la presión hidráulica requerida, con el menor costo total de inversión en materiales y en la operación del sistema de riego.

### IV.- ECUACIONES GENERALES.-

Como es sabido, la energía específica de un fluido en un sistema de conducciones se cuantifica habitualmente como energía por unidad de peso, en metros de columna de agua. Suponiendo la incompresibilidad del fluido, la energía total específica de un fluido en una tubería se cuantifica como:

$$H_n = z_n + \frac{P_n}{\gamma} + \frac{v_n^2}{2g} \quad [1]$$

Donde:  $z$  = Carga o energía de posición, representa el término de la energía potencial que posee el mismo por el hecho de estar elevado sobre una cota de referencia,  $P/\gamma$  = Carga o energía de presión,  $v^2/2g$  = Carga de velocidad, correspondiente a la energía cinética específica del fluido en movimiento,  $\gamma$  = Peso específico del fluido &  $g$  = Aceleración de la gravedad.

El teorema de Bernoulli demuestra que la energía total del fluido, dada por la ecuación anterior, considerado a éste como incompresible y admitiendo que no existen pérdidas por fricción ni aportes de energía, se mantiene constante a lo largo de una línea de corriente. Si se añade la hipótesis adicional, ya mencionada en el apartado anterior, de que los valores de presión y velocidad son uniformes en cualquier sección transversal de la conducción, el teorema se generaliza fácilmente para toda la conducción en lugar de una línea de corriente.

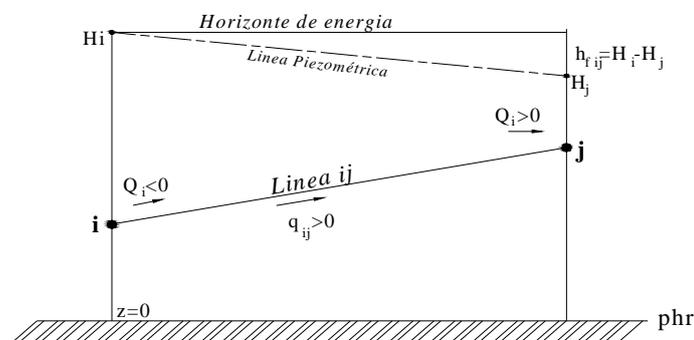
Ello significa que la energía del fluido puede sufrir transformaciones de una forma a otra a lo largo de la conducción, pero permaneciendo la energía total constante. Cuando entre dos secciones 1 y 2 de la conducción existen pérdidas por fricción o un aporte de energía, la ecuación de Bernoulli se escribe como:

$$H_1 = H_2 \quad \text{ó} \quad z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + hf_{12} \quad [2]$$

El término  $hf_{12}$  de la ecuación [2] cuando consiste en una pérdida de energía, suele referirse como pérdida de carga, pudiendo distinguirse dos tipos: pérdidas de carga continuas o por fricción ( $h_f$ ), que representan la disipación energética que se produce por la circulación del fluido en la conducción, y de otro lado, las pérdidas localizadas o menores ( $h_m$ ), que se desarrollan en discontinuidades localizadas de la conducción, como cambios de diámetro, derivaciones, válvulas, etc. (accesorios)

El calificativo de "pérdidas menores" nada tiene que ver con la magnitud de este tipo de pérdidas, puesto que ocasionalmente la suma total de todas ellas pueden ser incluso superiores a las pérdidas de carga continuas. La pérdida de carga unitaria o pendiente hidráulica ( $S$ ) se define como la pérdida de carga continua por metro de longitud de la conducción  $S = h_f/L$

Al aplicar el T. de Bernoulli entre dos nodos de una red de distribución, podría conceptualizarse así:



**Figura 1.** Representación gráfica del teorema de Bernoulli

Donde:  $q_{ij}$  = Gasto que circula entre los nodos i y j, considerando como positivo en el caso de la figura cuando circula del nodo i al nodo j;  $Q_i$  = Gasto inyectado en el nodo i, se considera si es entrante (aporte) y negativo si es saliente (consumo);  $H_i$  = Altura piezométrica en el nodo i;  $hf_{ij}$  = Pérdidas de carga en la línea ij & phr= Plano horizontal de referencia.

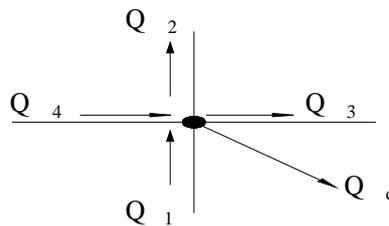
## V.- METODOS DE SOLUCION.-

Al respecto diferentes investigadores han colaborado en el tiempo con sus investigaciones para la solución de este tipo de redes, tales como: Darcy, Kirchoff, Kutter, Hazen-Williams o Cornish entre otros, sin embargo el método más usual es el propuesto por Hardy Cross, sustentado en que por aproximaciones sucesivas se va arribando al valor final de los gastos que circulan por cada tramo de las red; y se trata de un proceso de pruebas directas en que los valores de los gastos se estiman previamente. La convergencia de los errores es muy rápida, de modo que, por lo regular, después de tres pruebas se logra una precisión satisfactoria.

La exactitud de los valores dependerá de los coeficientes empleados en evaluar las perdidas de carga; no obstante que estos se suponen constantes se obtienen buenas concordancias con la realidad, en virtud de que generalmente el movimiento que se obtiene en cada tramo es completamente turbulento y así las perdidas por energía son función únicamente de la rugosidad relativa del conducto en cuestión.

Para el ajuste de los gastos, el método se fundamenta en los siguientes aspectos:

**a)** En cada nodo o nudo de la red (convergencia de tres o más tuberías) la suma algebraica de los gastos es nula, bajo la consideración de que los gastos que llegan al nudo tienen signo positivo y los que salen signo negativo, como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 2.-** Nodo

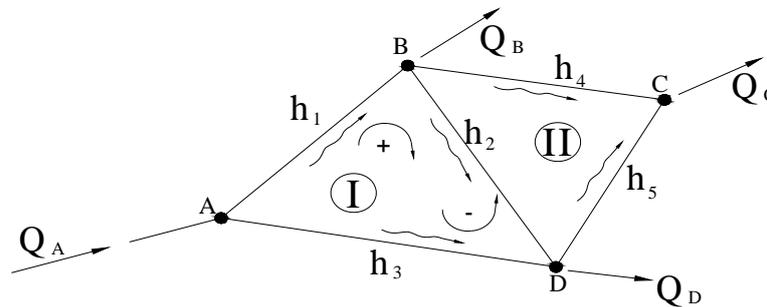
$$Q_1 + Q_4 - Q_2 - Q_3 - Q_d = 0$$

$$\sum Q = 0 \text{ (en cada nudo)} \quad [3]$$

**b)** En un circuito cerrado (circuito) cualquiera de la red, la Suma algebraica de las pérdidas de carga es nula, esto es:

$$\sum h = 0 \text{ (en cada circuito)} \quad [4]$$

Estos aspectos pueden ampliarse al analizar una red básica, como la indicada en la figura siguiente.



**Figura 3.- Circuitos I & II**

La base de partida del método consiste en suponer que hay equilibrio de perdidas de carga en el circuito o sea en cada nudo de la red la pérdida sufrida por una de las ramas debe de ser igual a la que se tienen cuando se llega al mismo nudo pero por otra de las ramas.

También se le fija un signo determinado al escurrimiento en cada sentido dentro de cada circuito, así, se llamara escurrimiento positivo al que circule en sentido de las manecillas del reloj y negativo en caso contrario.

Para el caso indicado en la figura anterior se tiene entonces:

$$Q_A = Q_B + Q_C + Q_D \quad [5]$$

Para el circuito A,B,C,A; cuando el agua este circulando lógico será suponer un escurrimiento como el ahí indicado; además, llamando  $h_i$  a la pérdida de carga sufrida para el tramo "i" la cual tendrá el mismo signo que el gasto correspondiente, se tendrá:

$$\text{Circuito I: } h_1 + h_2 - h_3 = 0 \quad [6]$$

La pérdida de carga, es proporcional al gasto al cuadrado (Darcy) puesto que:

$$h_i = \lambda_i \frac{v_i^2}{2g} L_i \frac{1}{D_i} = \frac{\lambda_i L_i}{2g} \frac{1}{D_i} \frac{Q_i^2}{A_i^2} \quad [7]$$

Como  $\lambda_i$  (coeficiente de fricción),  $L_i$ ,  $D_i$ ,  $2g$ , &  $A_i$  son constantes para cada tramo dado, se puede agrupar en una sola  $k_i$  con lo cual quedaría:

$$k_i = \lambda_i \frac{L_i}{D_i} \frac{1}{2g} \frac{1}{A_i^2} \quad \text{y entonces:} \\ h_i = k_i Q_i^2 \quad [8]$$

Donde:

$Q_i$  = Gasto en cada tramo de la red.

Se puede considerar a  $h_i$  como si estuviera formada por dos partes:

$h_i = h_i' + \Delta h_i$ ; y también al gasto en cada tramo:

$Q_i = Q_i' + \Delta Q_i$ ; con lo que la expresión [8] quedara:

$$(h_i' + \Delta h_i) = k_i(Q_i' + \Delta Q_i)^2 = k_i Q_i'^2 + 2k_i \Delta Q_i Q_i' + k(\Delta Q_i)^2 \quad [9]$$

Si se obliga que  $\Delta h_i$  sea pequeña al igual que  $\Delta Q_i$ , lo sería más todavía  $(\Delta Q_i)^2$  al grado de ser despreciable comparado con los demás valores, por lo que la ecuación [9] se puede poner de manera aproximada como sigue:

$$h_i = (h_i' + \Delta Q_i) = k_i Q_i'^2 + 2k_i \Delta Q_i Q_i' \quad [10]$$

Sustituyendo este valor en la ecuación [6]:

$$(k_1 Q_i'^2 + 2k_1 \Delta Q_i Q_i') + (k_2 Q_2'^2 + 2k_2 \Delta Q_2 Q_2') - (k_3 Q_3'^2 + 2k_3 \Delta Q_3 Q_3') = 0 \quad [11]$$

Puesto que de antemano se admitió que  $h_i$  estará formada por dos partes seleccionadas arbitrariamente, lo más probable que los valores de  $h_i'$  no se cumplan en la ecuación [6], en caso de que si se cumpliera dicha ecuación, con los valores de  $h_i'$  quiere decir que los valores de  $Q_i'$  son los que verdaderamente circulan por la red y que los valores de  $\Delta h_i$  deberán ser nulos forzosamente, así las  $h_i$  serán iguales a  $h_i'$  y como se partió de los valores supuestos de los gastos  $Q_i'$  en cada tramo, esos serán los correctos.

Suponiendo que en general los valores de  $h_i'$  no satisfacen la ecuación [6] y haciendo la hipótesis de que existe un valor medio, de los diferentes  $\Delta Q_i$  que aproximadamente fuese igual a este último, se tiene:

$$\Delta Q_m \approx \Delta Q_i \quad [12]$$

Se puede admitir esto en virtud de que  $\Delta Q_i$  será pequeño comparado con  $Q_i$  y las diferencias entre los diversos  $\Delta Q_i$  serán pequeñas también, por lo que su valor no diferirá grandemente del valor medio  $\Delta Q_m$  sustituyendo este valor en la ecuación [11]:

$$(k_1 Q_i'^2 + 2k_1 Q_i' \Delta Q_m) + (k_2 Q_2'^2 + 2k_2 Q_2' \Delta Q_m) - (k_3 Q_3'^2 + 2k_3 Q_3' \Delta Q_m) = 0 = k_1 Q_i'^2 + k_2 Q_2'^2 - k_3 Q_3'^2 + 2\Delta Q_m (k_1 Q_i' + k_2 Q_2' - k_3 Q_3'); \text{ y despejando de aquí a } \Delta Q_m, \text{ se tendrá:}$$

$$\Delta Q_m = -\frac{k_1 Q_i'^2 + k_2 Q_2'^2 - k_3 Q_3'^2}{2(k_1 Q_i' + k_2 Q_2' - k_3 Q_3')} \quad [13]$$

Se observa que el numerador de esta expresión es la suma algebraica de las cargas supuestas y conduce a comprobar si es que satisface o no la ecuación [6]. Si esta se satisface, el numerador en [13] deberá ser cero y entonces el sistema supuesto está en equilibrio.



El valor de  $\Delta Q_m$  al cual se le llama corrección, tiene signo e indica que mientras más grande sea su valor mas alejado se estará de la condición de equilibrio y los valores supuestos  $Q_i'$  no serán los correctos por lo que deberán corregirse en un valor igual al de  $\Delta Q_m$ .

Para efectuar los cálculos es conveniente seguir la secuencia descrita a continuación, además de ir vaciando los cálculos obtenidos en una tabla.

- a) Numerar los tramos y los nudos de la red, así como los circuitos que se tengan.
- b) Suponer arbitrariamente los gastos  $Q_i'$  en cada tramo de la red, con la condición de satisfacer la ecuación de continuidad en cada nudo (o sea que el gasto que llega a cada nudo sea igual a la suma de los que salen o viceversa), y atribuir un signo al gasto en cada tramo según el sentido supuesto.
- c) Calcular para cada tramo de la red los valores  $k_1 Q_i'^2 + k_2 Q_i'$ , en función de los gastos supuestos y de sus características físicas.
- d) En cada circuito se deberá efectuar la suma aritmética de  $k_1 Q_i'$  (sin signo) y la de  $k_2 Q_i'^2$  algebraicamente según el signo atribuido al escurrimiento en el paso (b)
- e) Determinar en cada circuito el valor de la corrección  $\Delta Q_m$  según la expresión [13]. Si es cero, los gastos supuestos serán correctos y el problema esta resuelto, en caso contrario deberá realizarse los siguientes pasos adicionales.
- f) Sumar algebraicamente la corrección de  $\Delta Q_m$  de cada circuito a cada uno de los tramos que lo integran, obteniendo a los nuevos  $Q_i$  de cada tramo con los cuales deberá repetirse, el proceso a partir del inciso c.
- g) Repetir el proceso cuantas veces sea necesario, hasta que el valor de la corrección sea lo suficientemente pequeño para que no varíen los gastos supuestos.

## VI.- FACTOR DE FRICCIÓN.-

Para evitar el problema del cálculo iterativo, numerosos autores han propuesto expresiones explícitas del factor de fricción, de las cuales sobresalen: Blasius 1911, Von Karman y Prandtl 1930, Nikuradse 1933, Colebrook 1938, Poiseuille & Moody 1944

Por otro lado, las experiencias de Nikuradse confirman plenamente la fórmula de Poiseuille, válida en régimen laminar ( $Re \leq 2000$ ):

$$f = \frac{64}{Re}$$

[14]

Colebrook presentó en 1938 una fórmula conocida como la ecuación de Colebrook-White que se ajustaba bastante bien a los valores del factor de fricción  $f$  observados



experimentalmente para tubos comerciales, en función del número de Reynolds  $Re$  y la rugosidad relativa  $\varepsilon_r$ , obteniendo:

$$\frac{1}{\sqrt{F}} = -2 \log_{10} \left[ \frac{\varepsilon_r}{3.7} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right]$$

[15]

La cual engloba a las expresiones de Von Karman y Nikuradse con la única limitación de que el flujo sea en régimen turbulento ( $Re \geq 4000$ ).

En 1944, L.F. Moody tras ensayar con nuevos materiales publicó sus resultados, esta vez en forma gráfica, en un ábaco que se conoce como diagrama universal de Moody.

## VII.-VÁLVULAS Y ACCESORIOS.-

Los elementos accesorios (Elementos disipadores) son imprescindibles en toda red, y entre ellos se incluyen aquellos que permiten acomodar el trazado de la red a los accidentes topográficos del terreno (codos, juntas), otros que permiten empalmar y derivar tuberías (tes, collarines, uniones en Y), o bien acoplar los cambios de geometría en la sección (conos) y también los dispositivos de control del flujo (válvulas de compuerta, de lenteja o mariposa, estrechamientos).

Los elementos mencionados producen pérdidas de carga que, al estar originadas por dispositivos concretos se conocen con el nombre de pérdidas localizadas, singulares o menores, y que usualmente se evalúan como el producto de la altura cinética multiplicada por un coeficiente de pérdidas  $k$ , en la forma:

$$h = k \frac{v^2}{2g} = \left( \frac{8k}{\pi^2 g D^4} \right) q^2$$

[16]

En la cual  $v$  es la velocidad del fluido y  $D$  el diámetro del elemento, referidas ambas variables normalmente al valor aguas abajo de la zona de alteración del flujo salvo indicación en contra, y  $k$  es un coeficiente adimensional que depende de  $Re$ , pero sobre todo, de las características del elemento accesorio.

Las pérdidas localizadas se pueden expresar también en función de la longitud equivalente de tubería  $L_e$ , que se define como la longitud de tubería que produciría la misma pérdida de carga que el accesorio interpuesto, esto es:

$$f \frac{L_e}{D} \frac{v^2}{2g} = k \frac{v^2}{2g}$$

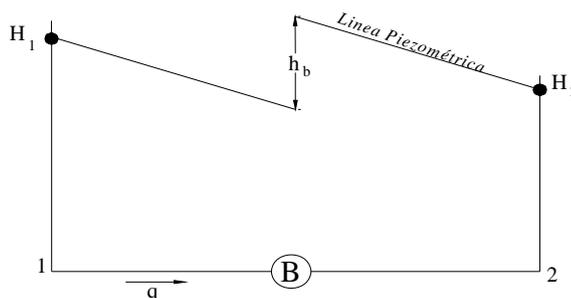
[17]

## VIII.- EQUIPOS DE BOMBEO.-

Las bombas son elementos motrices cuya misión consiste en proporcionar energía de presión adicional al fluido. Presentan la particularidad de que la diferencia de alturas entre

el punto de entrada y el de salida del flujo tiene ahora signo contrario al gasto, puesto que se trata de un aporte de energía en lugar de una pérdida de carga.

Las bombas utilizadas normalmente en los sistemas de distribución presentan además una curva característica fundamentalmente decreciente, esto es, la altura que proporcionan disminuye con el gasto, y consecuentemente, la curva incluye una constante que responde al valor de la ordenada en el origen, o lo que es lo mismo, la altura de la bomba a gasto nulo.



**Figura 4.-** Diagrama energético por bombeo.

La relación entre la altura de bombeo  $h_b$  y el gasto trasladado  $q$ ,  $h_b = f(q)$ , se conoce como curva característica de la bomba y en la mayoría de los casos se puede ajustar a una expresión general del tipo:

$$h_b = H_0 - A^2 q^2 + Bq \quad [18]$$

Donde  $H_0$  es el valor de  $h_b$  a gasto nulo, mientras que A y B son otros dos coeficientes de la curva característica. No obstante, en las bombas que trasiegan mucho gasto con poca altura de elevación puede ser necesario un ajuste de tercer orden o superior. La validez de la curva característica está restringida únicamente para los valores  $h_b \geq 0$  y  $q \geq 0$ .

## IX.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.-

Realizar el análisis de una red de distribución a presión, dentro de un distrito de riego requiere considerar todas las variables que intervienen y sobre todo aplicar las ecuaciones de la ingeniería hidráulica a fin de garantizar un diseño y operación correctos. Como las ecuaciones de Bernoulli, Kirchoff, Chezy, Darcy-Weisbach, Colebrook, el diagrama de Moody, para calcular el factor de fricción, pérdidas de energía, diámetros y gastos.

También y como datos no menos importantes se requiere hacer una revisión de las pérdidas o incrementos de energía producto de los accesorios disipadores principalmente las válvulas y de los equipos de bombeo.

Actualmente y dados los avances tecnológicos, se recomienda el empleo de algún modelo matemático que permita mayor rapidez y exactitud en los cálculos, así como la simulación de la red de distribución, para revisar su operación y corregir en su caso errores.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Martínez, E. R.** (1991), *“Riego localizado, diseño y evaluación en redes”*, Universidad Autónoma Chapingo, México,
- Manual** de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento. (1994), *“Redes de distribución”*, Vol. II., Comisión Nacional del Agua, México,
- Moreno, B., J. Eduardo.** (1997), Tópicos especiales del diseño de sistemas de riego. *“Diseño de sistemas de riego a presión en redes”*, Jiutepec, México.
- Ojeda, W., Carrillo M., Herrera, J. C. y Ángeles, V.,** (2000) *“El riego por pivote central en una red”*, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, México.
- Ojeda, W., Carrillo M.,** (2002), *“Diseño de redes”*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, México.
- Pacheco H. P., Ángeles H. J. M.,** (, 2000). *“Operación y evaluación de sistemas de riego por gravedad”*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, México
- Pérez, R.,** (1993), tesis doctoral *“Dimensionado optimo de redes de distribución de agua”* Universidad politécnica de valencia, España.
- Trejo, O.** 1980, *“Hidráulica”*, IPN-México.
- Villamil, J. T.,** (1999), *“Análisis de las características de diseño de redes de conducción de agua para riego”*, Tesis Profesional, Universidad Autónoma Chapingo, México.