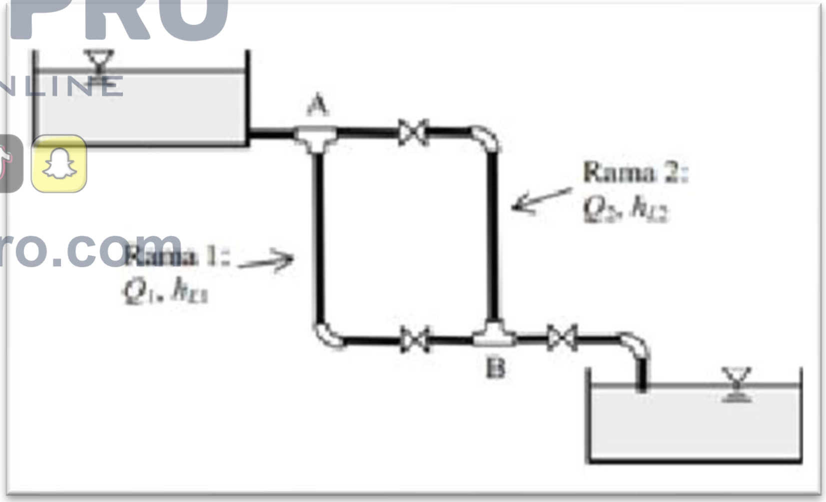
UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL - HUANCAVELICA

CURSO: MECÁNICA DE FLUIDOS II

UNIDAD II

SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CERRADA

SEMANA 08

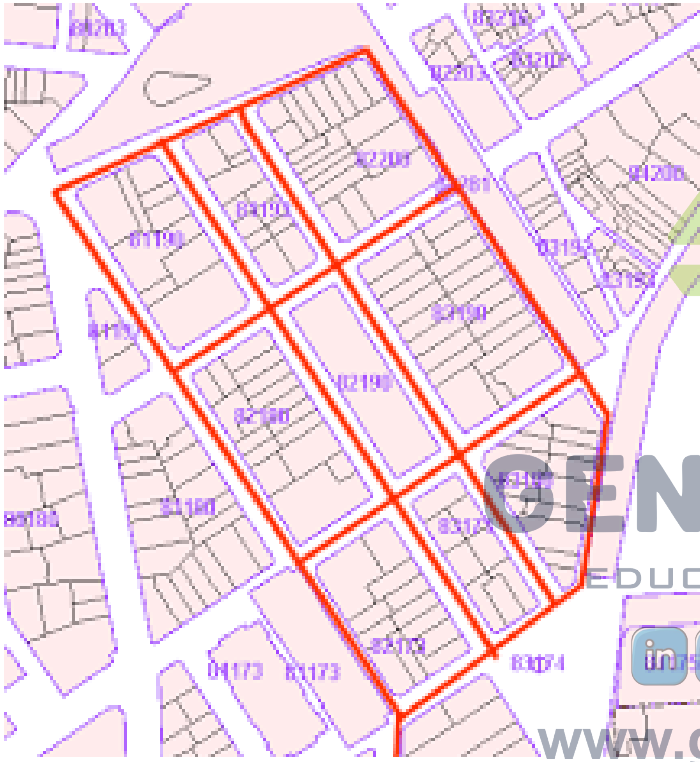


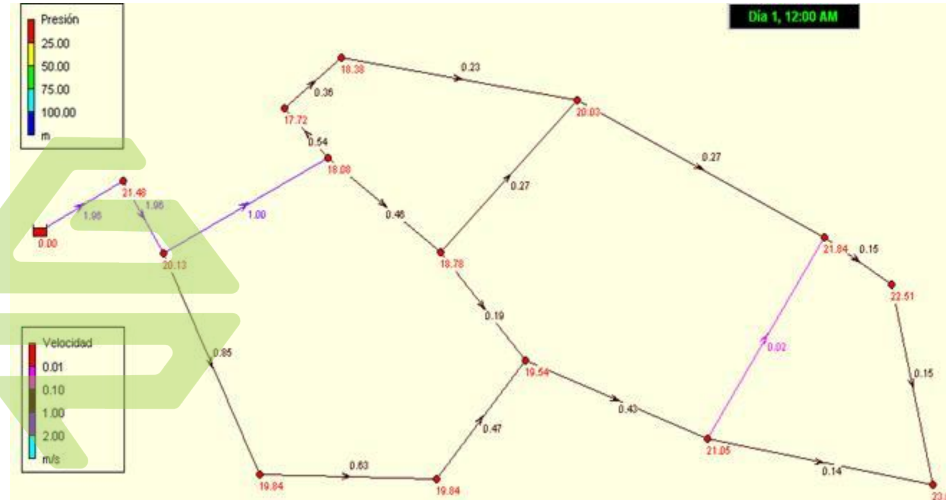
TEMAS :

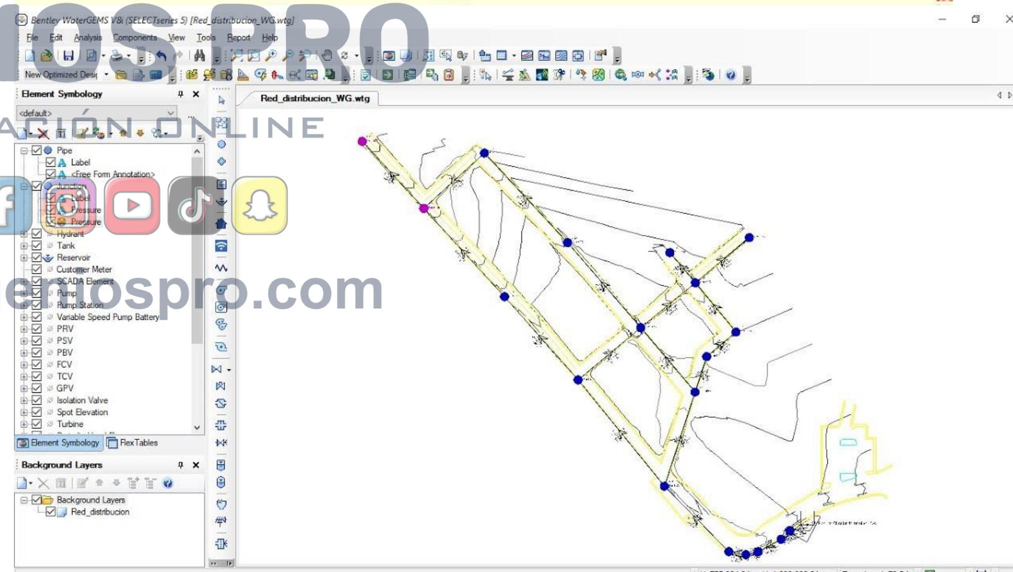
- Sistema cerrado.
- MÉTODO DE GRADIENTE HIDRÁULICO

Docente: Ing. David Requena Machuca

RED DE DISTRIBUCION







Obtener las presiones en cada nudo y los caudales en cada tubería de la red que se muestra,

MÉTODO DE GRADIENTE HIDRAULICO

El método del gradiente fue desarrollado por los profesores E. Todini y E. Pilati CTConnell en la Universidad de Newcastle upon Tyne y por R. Salgado, como parte de su **tesis doctoral** en 1982-1983. Todini y Pilati (1987) plantearon la forma definitiva del método, en el cual **las ecuaciones de energía individuales para cada tubo se combinan con las ecuaciones de masa individuales en cada unión** con el fin **de obtener una solución simultánea tanto de los caudales en las tuberías como de las alturas piezométricas en los nodos. (Saldarriaga).**

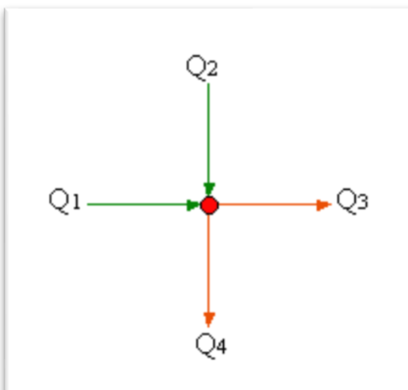
El método del gradiente linealiza las ecuaciones de energía utilizando una expansión en **series de Taylor**. Sin embargo, a diferencia de los métodos anteriores, en este caso las ecuaciones se resuelven utilizando un esquema imaginativo que se basa en la inversión de la matriz de coeficientes originales **(Saldarriaga)**

Resuelve cualquier tipo de problemas de tuberías, desde una tubería simple hasta redes complejas.

El método del gradiente para el calculo de redes de distribución de agua esta basado en el que al tenerse un flujo permanente (parámetros constante a través del tiempo) se cumpla en cada nodo **conservación de la masa** y **conservación de la energía** (La pérdida de carga entre dos nodos es siempre la misma).

→ para obtener caudales en cada uno de las tuberías y alturas piezométricas en cada uno de los nudos.

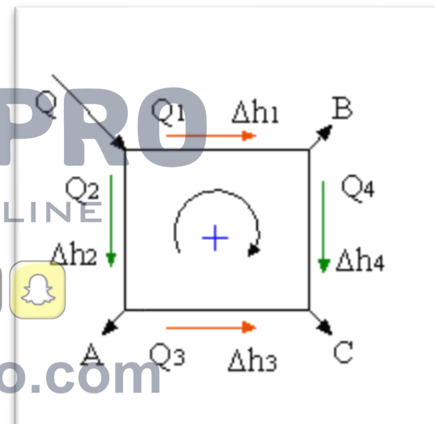
conservación de la masa



$$\boxed{\sum_{j=1}^{NT_i} Q_{ij} = \sum_{l=1}^{NT_D} Q_{DI}}$$

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4$$

conservación de la energía



$$\Delta h_1 + \Delta h_4 - \Delta h_3 - \Delta h_2 = 0$$

Generalizando la ecuación de conservación de la masa:

$$\sum Q_{ij} = \sum Q_{Di} \qquad \sum_{j=1}^{NT_i} (Q_{ij} - Q_{Di}) = 0$$

NT : numero de tuberías

Recordando las perdidas de carga primarias y secundarias en tuberías:

Perdida primaria

$$H_f = f * \frac{L * V_{ij}^2}{D * 2g}$$

Hazen - Williams

$$Hf_{loc} = \frac{10.679 \times L \times Q^{1.852}}{C^{1.852}\, D^{4.87}}$$

Perdida secundaria

$$H_m = K_m * \frac{V_{ij}^2}{2g}$$

Generalizando las perdidas de carga primarias y secundarias en tuberías:

$$H_j - H_I = f\frac{LV_{ij}^2}{D2g} + \sum K_m \frac{V_{ij}^2}{2g} \qquad H_j - H_I = \frac{V_{ij}^2}{2g}\left(f\frac{L}{D} + \sum K_m\right)$$

Generalizando las **perdidas de carga** en función del caudal:

$$H_j - H_I = \frac{V_{ij}^2}{2g}\left(f\frac{L}{D} + \sum K_m\right)$$

VELOCIDAD →

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$H_j - H_I = \frac{\boldsymbol{Q_{ij}^2}}{2g\boldsymbol{A_{ij}^2}}\left(f\frac{L}{D} + \sum K_m\right)$$

$$Q_{ij} = \left(\frac{\boldsymbol{H_j - H_I}}{\left(\boldsymbol{f\frac{L}{D} + \sum K_m}\right)}\right)^{0.5}\sqrt{2g} * A_{ij}$$

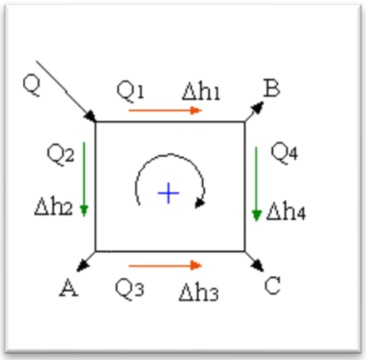
$$\sum_{j=1}^{NT_i}\left(\left(\frac{H_j - H_I}{\left(f\frac{L}{D} + \sum K_m\right)}\right)^{0.5}\sqrt{2g} * A_{ij} - Q_{Di}\right) = 0$$

ECUACION DE ALTURA PIEZOMETRICA

Nu : numero de nudos

La red tiene un total de (Nu-1) ecuaciones de este tipo, debiéndose conocer H1 o cualquier otra altura piezométrica para poder solucionar, en caso contrario suponer alguna de las altura de presiones.

A partir de los circuitos que conforma la red, se pueden plantearse "conservación de energía" en cada una de los circuitos que conforman la red de distribución:



$$\Delta h_1 + \Delta h_4 - \Delta h_3 - \Delta h_2 = 0$$

$$\sum_{j=1}^{NT_i} Hf_{ij} + \sum_{j=1}^{NTi} hm_{ij} = 0$$

$$\sum_{j=1}^{NT_i} \frac{V_{ij}^2}{2g}\left(f_{ij}\frac{L_{ij}}{D_{ij}} + \sum Km_{ij}\right) = 0$$

ECUACION DE CAUDAL DE LA RED

$$\sum_{j=1}^{NT_i} \frac{Q_{ij}^2}{2gA_{ij}^2}\left(f_{ij}\frac{L_{ij}}{D_{ij}} + \sum Km_{ij}\right) = 0$$

Establecer signo

$$\sum_{j=1}^{NT_i} \frac{Q_{ij}\left|Q_{ij}\right|}{2gA_{ij}^2}\left(f_{ij}\frac{L_{ij}}{D_{ij}} + \sum Km_{ij}\right) = 0$$

(Ecuación no lineal)

El numero de ecuaciones = NC (numero de circuitos).

Las ecuaciones de energía individual para cada tubería se combinan con las ecuaciones de masa en cada unión, con el fin de obtener una simulación simultanea **(Q (tuberías) / Nudo (altura piezométrica))**

Al tener un flujo permanente se garantiza que se cumpla las ecuaciones de conservación de masa en cada uno de los nudos y la ecuación de energía en cada uno de los circuitos.

CONDICIONES DEL MÉTODO

1.- En cada nudo se debe cumplir la ecuación de continuidad.

$$\sum_{j=1}^{NU_i} Q_{ij} - Q_{Di} + Q_{ei} = 0$$

Nu = Número de uniones (nodos)

Q_{Di} = caudal demandado en la unión i

$$V = \frac{Q}{A}$$

ÁREA

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

1.- Debe haber relación no lineal entre las pérdidas por fricción y el caudal para cada uno de los tubos que conforman la red:

$$Q=\frac{\left[-2\log\left(\frac{K_s}{3.7D}+\frac{2.51}{\frac{4D}{v}\sqrt{\frac{Hf(gD)}{8L}}}\right)\right]}{\sqrt{\frac{8L}{Hf(g\pi^2D^5)}}}$$

$$Q=-2\frac{\sqrt{2.g.D.Hf}}{\sqrt{L}}\log\left(\frac{K_s}{3.7D}+\frac{2.51v\sqrt{L}}{\sqrt{2gD^3}\sqrt{Hf}}\right)\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(\beta)$$

En la Ecuación β se ha utilizado la ecuación de Darcy-Weisbach junto con la ecuación de Colebrook-White, ya que durante el proceso de diseño de redes

Si se tienen en cuenta las pérdidas primaria, perdidas menores causadas por cualquier tipo de accesorio y la posible existencia de bombas en algunos de los tubos de la red

$$H_T = \alpha Q^n + \beta Q + \gamma$$

Donde:

n= exponente que depende de la ecuación de fricción utilizada (**2.0 para el caso de la ecuación de Darcy-Weisbach y 1.852 para H-W**).

α, β, γ = parámetros característicos del tubo, las válvulas y las bombas.

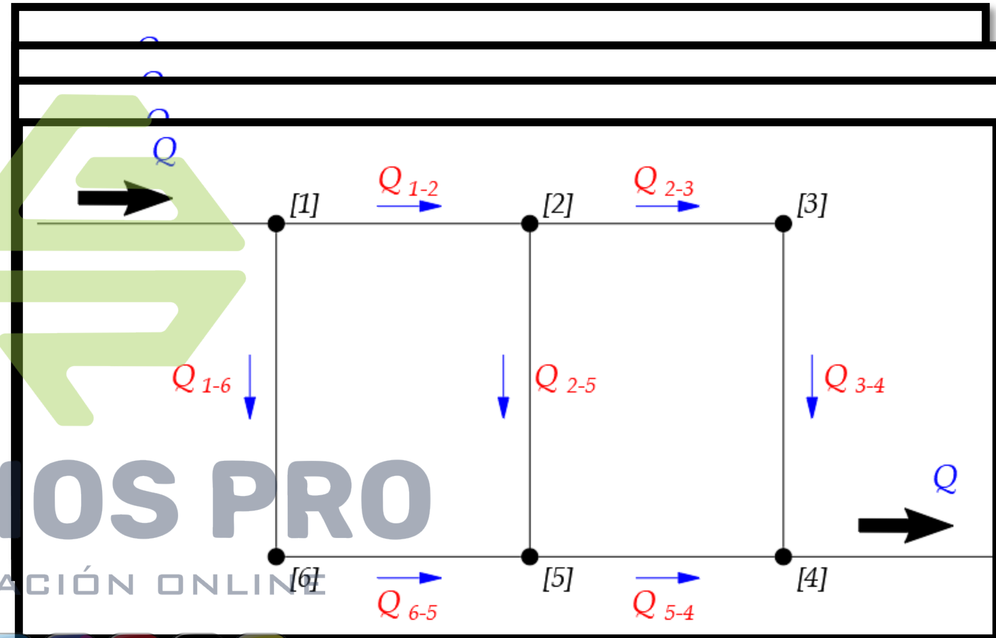
Para bombas colocadas en las tuberías se requieren los tres parámetros (α, β, γ) ya que la relación entre la altura piezométrica suministrada por la bomba es polinomial.

Si en una tubería particular solo ocurren pérdidas por fricción y pérdidas menores normales

$$H_T = \alpha Q^n \qquad h_f + \sum h_m = \alpha Q^n \qquad \left(f\frac{L}{d} + \sum K_m\right)\frac{Q^2}{2gA^2} \qquad \alpha = \frac{\left(f\frac{L}{D} + \sum K_m\right)}{2gA^2}$$

PROCEDIMIENTOS PRELIMINARES

1. Enumerar los nodos.
2. Pre-establecer el sentido del flujo.
3. Asumir gastos en tuberías.

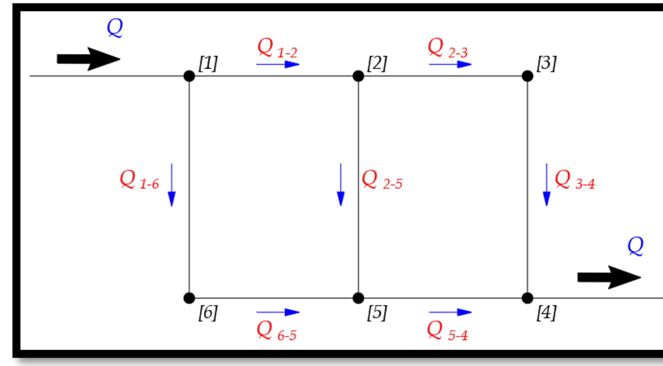


Para el método del gradiente hidráulico se hacen las siguientes definiciones adicionales, con el fin de describir la topología de la red en forma matricial:

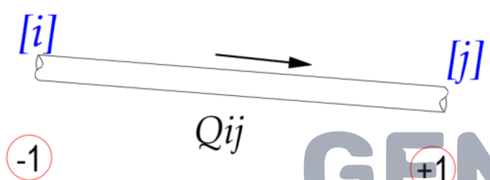
NT: *Número de tuberias.*

NN: *Número de nudos* sin *altura piezometrica*

NS: *Número de nudos con altura piezometrica*



[At] = Matriz de conectividad total de NTxNT



[A12] = Matriz de conectividad de NTxNN
[A21] = Matriz transpuesta de [A12]
[A10] = Matriz topológica de NTxNS
[N] = Matriz diagonal de NTxNT, con diagonal: D-W=2;H-W=1.852
[A11] = Matriz diagonal de NTxNT
[H0] = Vector de alturas piezométricas conocidas NSx1
[H] = Vector de alturas piezométricas desconocidas NNx1
[q] = Vector demanda y oferta(entradas y consumos) NNx1
[I] = Matriz identidad de NTxNT

La perdida de altura piezométrica en cada tramo de tubería que conecte dos nodos de la redes:

$$[A11][Q]+[A11][H]=-[A10][H_0] \qquad \text{..................(I)}$$

[A11] = Matriz diagonal de NTxNT.
[Q]=vector de caudales con dimensiones NT*1
[H]=vector de alturas piezométricas desconocidas con dimensiones NN*1
[Ho]=vector de alturas piezométricas conocidas con dimensiones NS* 1

A[11] = Matriz diagonal de NTxNT.

$$[A11]=\begin{bmatrix} \alpha_1 Q_1^{(n_1-1)}+\beta_1+\frac{\gamma_1}{Q_1} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \alpha_2 Q_2^{(n_2-1)}+\beta_2+\frac{\gamma_2}{Q_2} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_3 Q_3^{(n_3-1)}+\beta_3+\frac{\gamma_3}{Q_3} & . & 0 \\ . & . & . & . & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & \alpha_{NT} Q_{NT}^{(n_{NT}-1)}+\beta_{NT}+\frac{\gamma_{NT}}{Q_{NT}} \end{bmatrix}.$$

También conocemos la ecuación de continuidad para todos los nudos de la red:

$$[A21][Q]=[q] \quad \text{.................(II)}$$

Donde:

[A21] = matriz transpuesta de[A12]
[q] = vector de consumo (demanda) en cada nodo de la red NN*1.

Expresando en términos matriciales de las ecuaciones (I) y (II):

$$\begin{bmatrix} [A11] & [A12] \\ [A21] & [0] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [Q] \\ [H] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -[A10][H_0] \\ [q] \end{bmatrix} \quad \text{.................(III)}$$

En esta última ecuación, **la parte superior corresponde a la relación Q versus H y la parte inferior corresponde a la conservación de la masa en cada uno de los nudos**. (Saldarriaga)

Dado que la parte superior no es lineal, la ecuación (III) no puede ser resuelta en forma directa. Es necesario utilizar algún algoritmo iterativo. El método de gradiente consiste en hacer una expansión truncada de Taylor.

Al operar simultáneamente sobre el campo ([Q], [H]) y aplicar el operador gradiente se obtiene:

$$\begin{bmatrix} [N][A11] & [A12] \\ [A21] & [0] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [dQ] \\ [dH] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [dE] \\ [dq] \end{bmatrix}$$

El objetivo del MGH es solucionar esta ecuación, iterativamente:

$$[dE] = [A11][Q_i] + [A12][H_i] + [A10][H_0]$$

$$[dq] = [A21][Q_i] - [q]$$

El método del gradiente calcula y ajusta simultáneamente los caudales y las cargas de presión, reduciendo el Error.

$$[dH] = [\mathrm{QH}_{i+1}] - [H_i]$$

$$[dQ] = [Q_{i+1}] - [Q_i]$$

….La solución iterativa de esta ecuación es la siguiente:

VECTOR DE ALTURAS DE CARGA O CARGAS PIEZOMÉTRICAS

$$[H_{i+1}] = -[([A21].[N]^{-1}.[A11]^{-1}.[A12])^{-1}].[[A21].[N]^{-1}.([Q_i] + [A11]^{-1}.[A10].[Ho]) + [q] - [A21].[Q_i]]$$

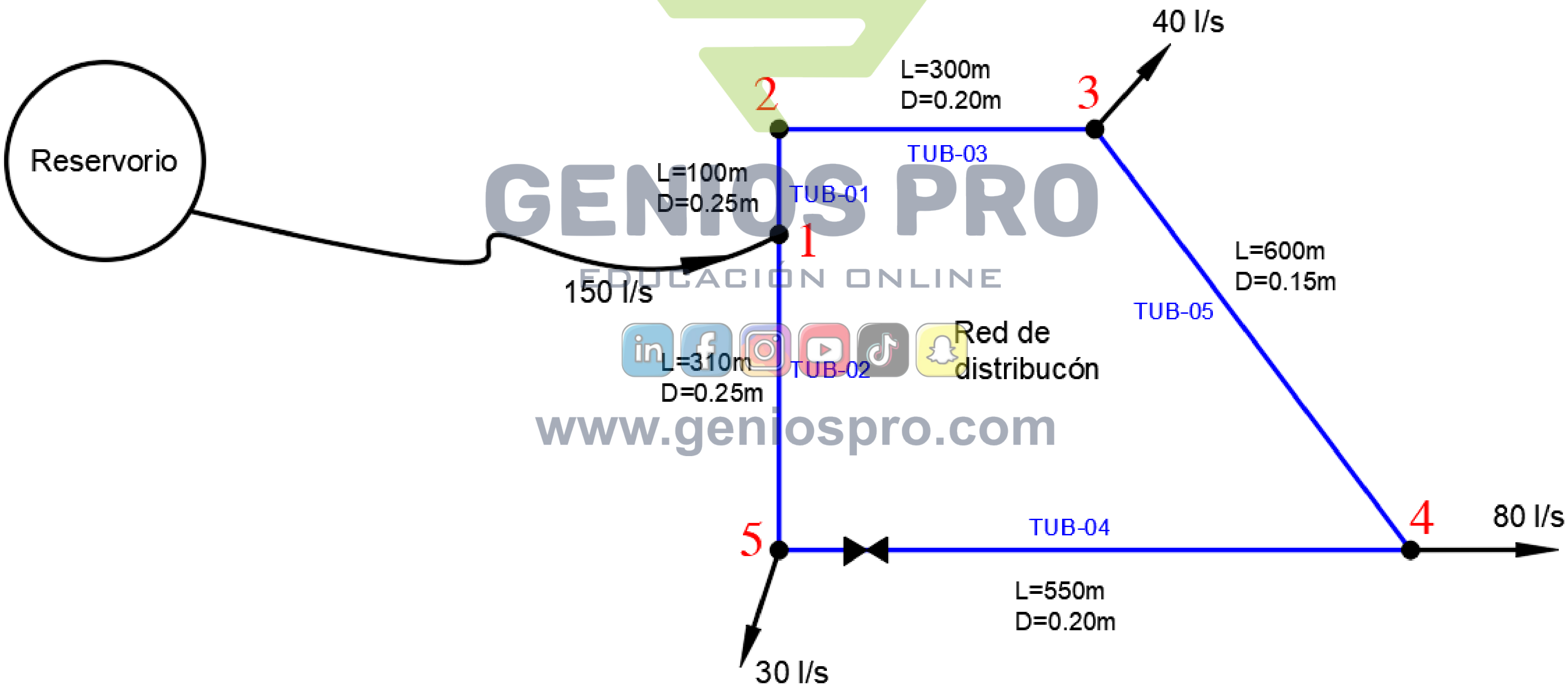
VECTOR DE CAUDALES EN CADA TUBERÍA

$$[Q_{i+1}] = ([I] - [N]^{-1}).[Q_i] - [N]^{-1}.[A11]^{-1}.([A12].[H_{i+1}] + [A10].[Ho])$$

- [A12] = Matriz de conectividad de NTxNN
- [A21] = Matriz transpuesta de [A12]
- [N] = Matriz diagonal de NTxNT, con diagonal: D-W=2;H-W=1.852
- [A11] = Matriz diagonal de NTxNT
- [Q] = Vector de caudales asumidos NTx1
- [A10] = Matriz topológica de NTxNS
- [H0] = Vector de alturas piezométricas conocidas NSx1
- [H] = Vector de alturas piezométricas desconocidas NNx1
- [q] = Vector demanda y oferta(entradas y consumos) NNx1
- [I] = Matriz identidad de NTxNT

8.- EJEMPLO 01

Verifique la red de distribución en el siguiente esquema hidráulico: calcule las cotas piezométricas y caudales en cada tubería, sabiendo que la altura de presión en el nodo 1 es de 100.00 mca, Km=10(válvula), considere ks = 0.00006 m y el agua a una T°=15°c.



Solución

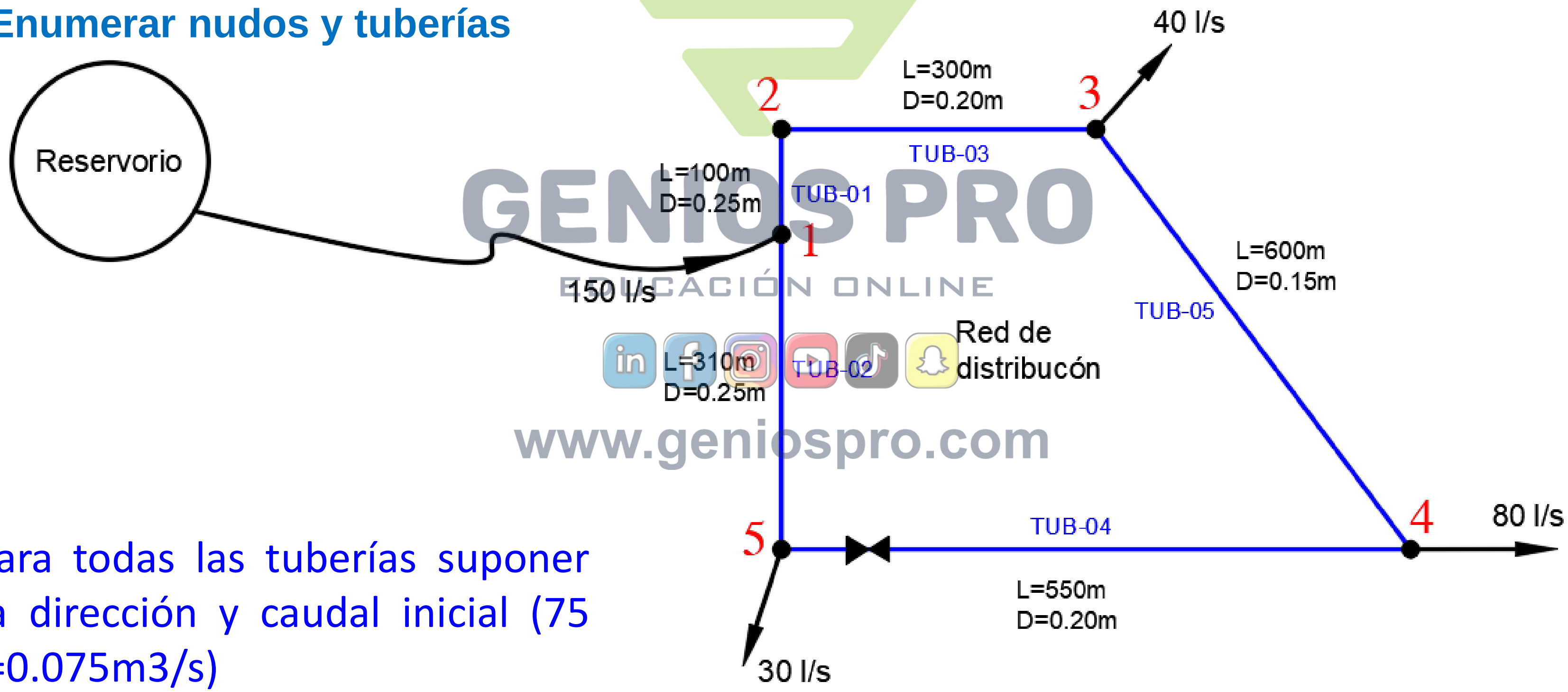
1.- Cálculos previos

Como es T=15°c → la viscosidad cinemática

- $Viscocidad\ cinematica = (1.14 - 0.031(Tº - 15) + 0.00068(Tº - 15)^2) * 10^{-6}$ m2/s

viscosidad cinemática (m2/s) *v*=1.14*10^-6 m2/s

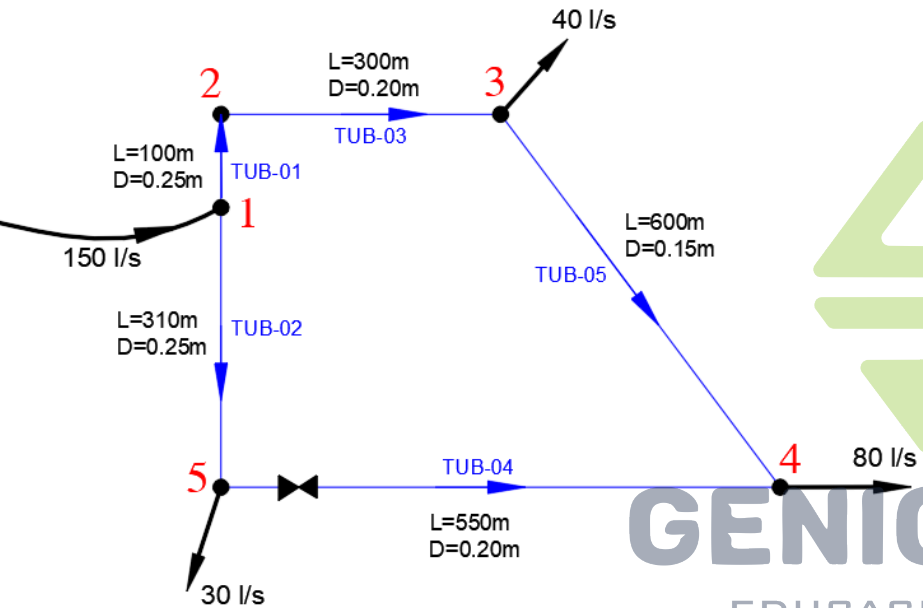
2.- Enumerar nudos y tuberías



- Para todas las tuberías suponer una dirección y caudal inicial (75 l/s=0.075m3/s)

3.- Elementos de la red

a) NT = Número de tuberías
b) NN = Número de nodos sin altura piezométrica
c) NS = Numero de nodos con altura piezométrica
d) [At] = Matriz de conectividad TOTAL de NTxNT.
e) [A12] = Matriz de conectividad de NTxNN (-1 y 1) ….verificando el sentido
f) [A21] = Matriz transpuesta de [A12]
g) [Q] = Vector de caudales asumidos NTx1
h) [A10] = Matriz topológica de NTxNS (-1 en tramos conectados a un nodo con cota piezométrica conocida)
i) [H0] = Vector de alturas piezométricas conocidas NSx1
j) [q] = Vector demanda y oferta(entradas y consumos) NNx1
k) [I] = Matriz identidad de NTxNT
l) [N] = Matriz diagonal de NTxNT, con diagonal: D-W=2;H-W=1.852
l) [A11] = Matriz diagonal de NTxNT



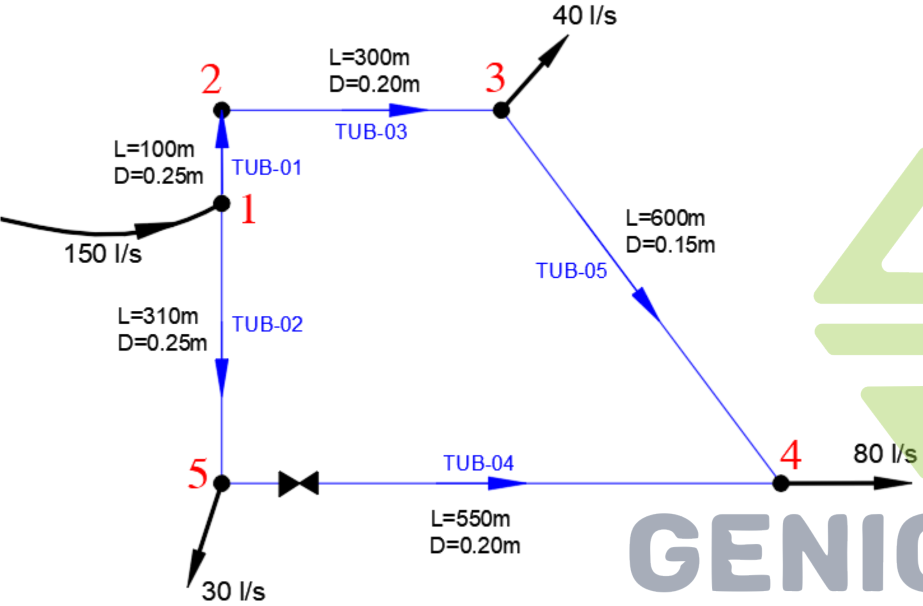
a) NT = 5

b) NN = 4

c) NS = 1

d) [At] =

	1	2	3	4	5
T-01	-1	1	0	0	0
T-02	-1	0	0	0	1
T-03	0	-1	1	0	0
T-04	0	0	0	1	-1
T-05	0	0	-1	1	0



a) NT = Número de tuberías
b) NN = Número de nodos sin altura piezométrica
c) NS = Numero de nodos con altura piezométrica.
d) [At] = Matriz de conectividad TOTAL de NTxNT.
e) [A12] = Matriz de conectividad de NTxNN (-1 y 1) ….verificando el sentido
f) [A21] = Matriz transpuesta de [A12]
g) [Q] = Vector de caudales asumidos NTx1
h) [A10] = Matriz topológica de NTxNS (-1 en tramos conectados a un nodo con cota piezométrica conocida)
i) [H0] = Vector de alturas piezométricas conocidas NSx1
j) [q] = Vector demanda y oferta(entradas y consumos) NNx1
k) [I] = Matriz identidad de NTxNT
l) [N] = Matriz diagonal de NTxNT, con diagonal: D-W=2;H-W=1.852
l) [A11] = Matriz diagonal de NTxNT

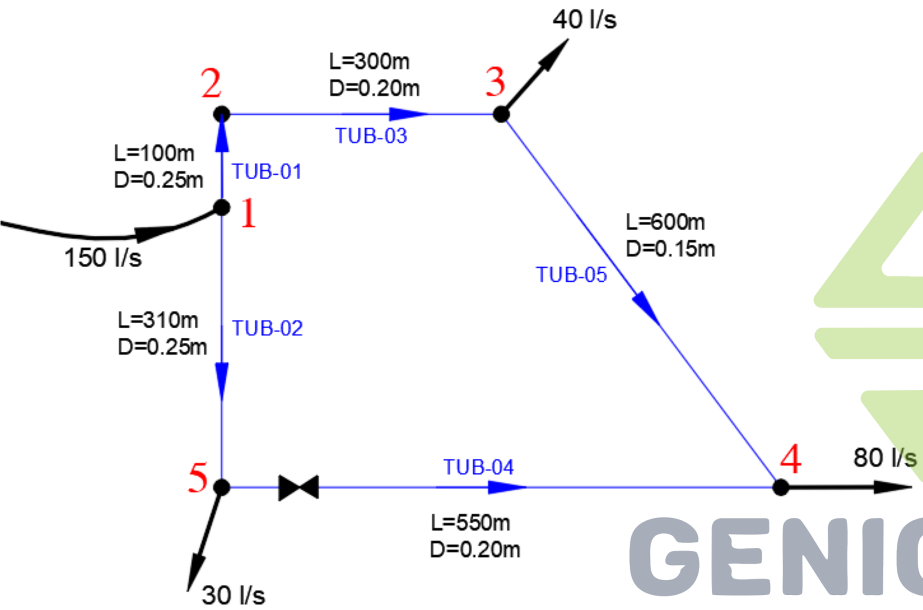
e) [A12] =

	2	3	4	5
T-01	1	0	0	0
T-02	0	0	0	1
T-03	-1	1	0	0
T-04	0	0	1	-1
T-05	0	-1	1	0

f) [A21] =

	T-01	T-02	T-03	T-04	T-05
2	1	0	-1	0	0
3	0	0	1	0	-1
4	0	0	0	1	1
5	0	1	0	-1	0

Esta matriz es resultado de eliminar la columna del nudo con altura piezométrica conocida



a) NT = Número de tuberías
b) NN = Número de nodos sin altura piezométrica
c) NS = Numero de nodos con altura piezométrica.
d) [At] = Matriz de conectividad TOTAL de NTxNT.
e) [A12] = Matriz de conectividad de NTxNN (-1 y 1) ....verificando el sentido
f) [A21] = Matriz transpuesta de [A12]
g) [Q] = Vector de caudales asumidos NTx1
h) [A10] = Matriz topológica de NTxNS (-1 en tramos conectados a un nodo con cota piezométrica conocida)
i) [H0] = Vector de alturas piezométricas conocidas NSx1
j) [q] = Vector demanda y oferta(entradas y consumos) NNx1
k) [I] = Matriz identidad de NTxNT
l) [N] = Matriz diagonal de NTxNT, con diagonal: D-W=2;H-W=1.852
l) [A11] = Matriz diagonal de NTxNT

g) [Q] =

	1
T-01	0.075
T-02	0.075
T-03	0.075
T-04	0.075
T-05	0.075

h) [A10] =

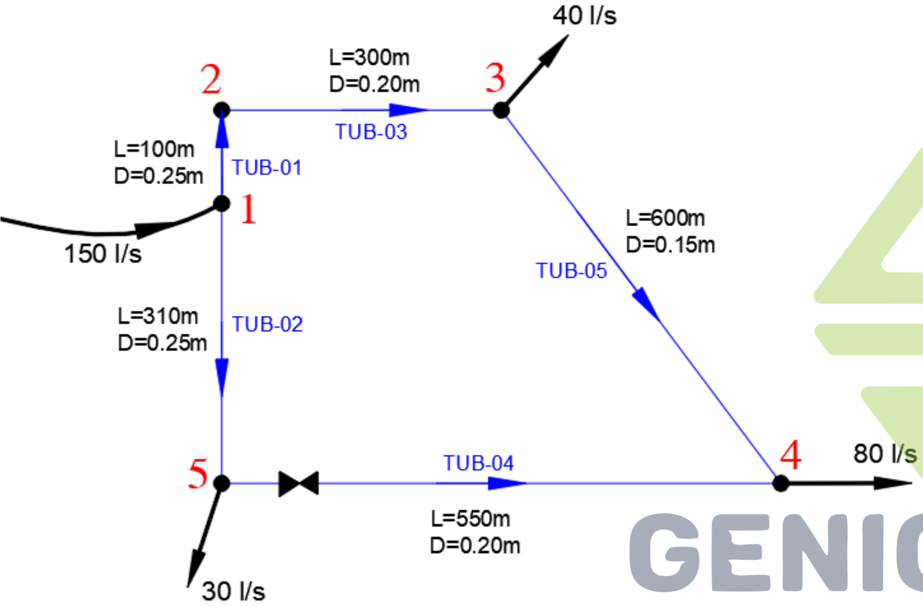
	1
T-01	-1
T-02	-1
T-03	0
T-04	0
T-05	0

i) [H0] =

	1
NS	100

j) [q] =

	1
2	0
3	0.04
4	0.08
5	0.03



a) NT = Número de tuberías
b) NN = Número de nodos sin altura piezométrica
c) NS = Numero de nodos con altura piezométrica.
d) [At] = Matriz de conectividad TOTAL de NTxNT.
e) [A12] = Matriz de conectividad de NTxNN (-1 y 1) ….verificando el sentido
f) [A21] = Matriz transpuesta de [A12]
g) [Q] = Vector de caudales asumidos NTx1
h) [A10] = Matriz topológica de NTxNS (-1 en tramos conectados a un nodo con cota piezométrica conocida)
i) [H0] = Vector de alturas piezométricas conocidas NSx1
j) [q] = Vector demanda y oferta(entradas y consumos) NNx1
k) [I] = Matriz identidad de NTxNT
l) [N] = Matriz diagonal de NTxNT, con diagonal: D-W=2;H-W=1.852
m) [A11] = Matriz diagonal de NTxNT

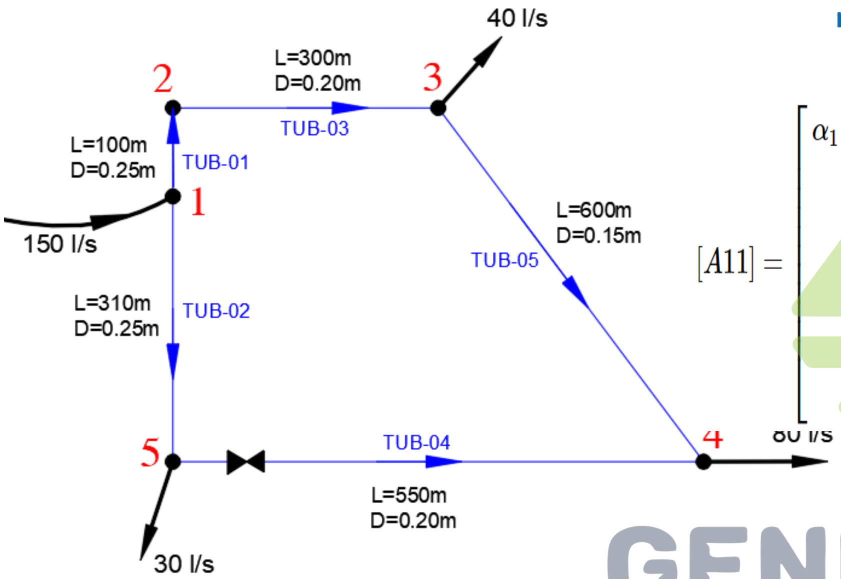
k) [I] =

	T-01	T-02	T-03	T-04	T-05
T-01	**1**	**0**	**0**	**0**	**0**
T-01	**0**	**1**	**0**	**0**	**0**
T-01	**0**	**0**	**1**	**0**	**0**
T-01	**0**	**0**	**0**	**1**	**0**
T-01	**0**	**0**	**0**	**0**	**1**

l) [N] =

	T-01	T-02	T-03	T-04	T-05
T-01	**2**	**0**	**0**	**0**	**0**
T-01	**0**	**2**	**0**	**0**	**0**
T-01	**0**	**0**	**2**	**0**	**0**
T-01	**0**	**0**	**0**	**2**	**0**
T-01	**0**	**0**	**0**	**0**	**2**

Matriz diagonal



m) **[A11]** = Matriz diagonal de NTxNT

$$[A11]=\begin{bmatrix} \alpha_1.Q_1^{n-1}+\beta_1+\frac{Y_1}{Q_1} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \alpha_2.Q_2^{n-1}+\beta_2+\frac{Y_2}{Q_2} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_3.Q_3^{n-1}+\beta_3+\frac{Y_3}{Q_3} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_n.Q_n^{n-1}+\beta_n+\frac{Y_n}{Q_n} \end{bmatrix}$$

viscosidad cinemática (m2/s)

v=1.14*10^-6 m2/s

ks = 0.00006 m

ECUACIÓN G. DE PÉRDIDAS

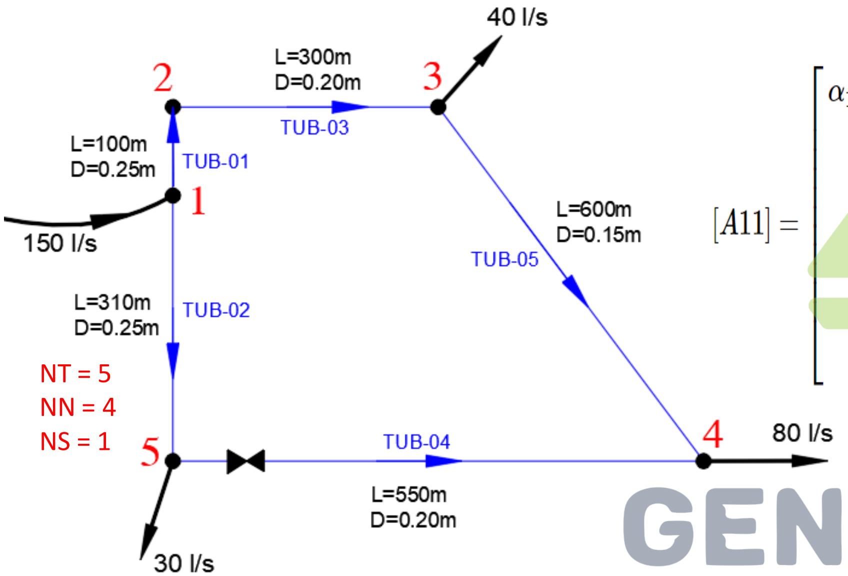
- $H_t=\alpha.Q^n+\beta.Q+Y$
- $\frac{H_t}{Q}=\alpha.Q^{n-1}+\beta+\frac{Y}{Q}$

Recordando

$EcuaciondeColebrook-W$	$Variable(NR)$
$\frac{1}{\sqrt{f}}=-2Log(\frac{K_s}{3.7D}+\frac{2.51}{Re\sqrt{f}})$	$x=\frac{1}{\sqrt{f}}$

$Re=\frac{VD}{v}$	$h_f=f\frac{LV^2}{2gD}$	$h_m=k\frac{LV^2}{2g}$

CALCULOS PREVIOS

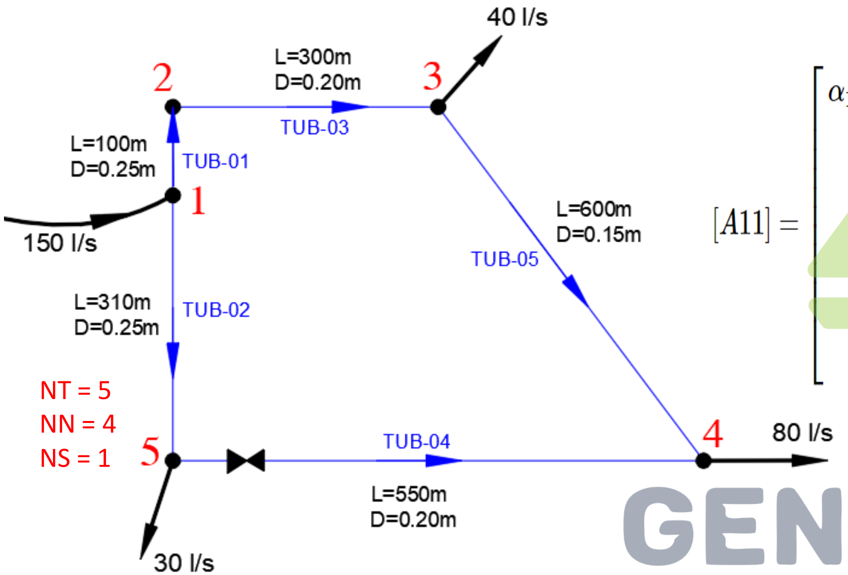


m) [A11] = Matriz diagonal de NTxNT

$$[A11] = \begin{bmatrix} \alpha_1.Q_1^{n-1}+\beta_1+\frac{Y_1}{Q_1} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \alpha_2.Q_2^{n-1}+\beta_2+\frac{Y_2}{Q_2} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_3.Q_3^{n-1}+\beta_3+\frac{Y_3}{Q_3} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_n.Q_n^{n-1}+\beta_n+\frac{Y_n}{Q_n} \end{bmatrix}$$

$Pérdidas Totales$	$Darcy-Weisbach(n=2)$	$Hazen-Williams(n=1.852)$
$h_f=\alpha.Q^n$	$\alpha_i=\frac{0.08262686.f.L_i}{D^5}$	$\alpha_i=\frac{10.6742.C^{-m}.L_i}{D^{4.871}}$
$h_v=\beta.Q$	$\beta=h_v/Q$	$\beta=h_v/Q$
$h_b=Y=AQ^2+BQ+C$	$-$	$-$
$H_t=\alpha.Q^n+\beta.Q+Y$	$-$	$-$

CALCULOS PREVIOS



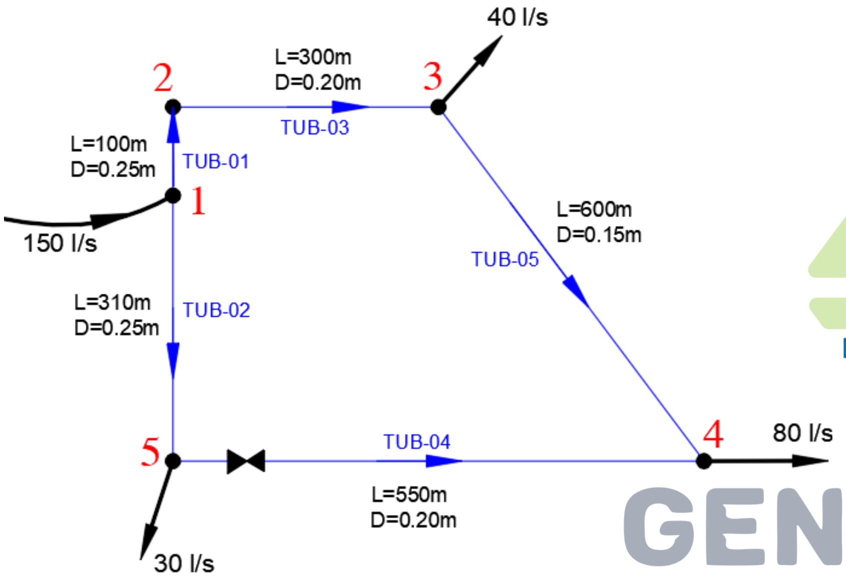
NT = 5
NN = 4
NS = 1

m) [A11] = Matriz diagonal de NTxNT

$$[A11] = \begin{bmatrix} \alpha_1 . Q_1^{n-1} + \beta_1 + \frac{Y_1}{Q_1} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \alpha_2 . Q_2^{n-1} + \beta_2 + \frac{Y_2}{Q_2} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_3 . Q_3^{n-1} + \beta_3 + \frac{Y_3}{Q_3} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_n . Q_n^{n-1} + \beta_n + \frac{Y_n}{Q_n} \end{bmatrix}$$

	Q m3/s	D m	L m	v m2/s	Ks m	V m/s	f	hf m	hm m	hb m	Ht m	Ht/Q
T-01	0.075	0.25	100	1.14 E^6	0.000006	1.5279	0.0164	0.7789	0.0000	0	0.7789	10.3853
T-02	0.075	0.25	310	1.14 E^6	0.000006	1.5279	0.0164	2.4146	0.0000	0	2.4146	32.1944
T-03	0.075	0.20	300	1.14 E^6	0.000006	2.3873	0.0165	7.1858	0.0000	0	7.1858	95.8102
T-04	0.075	0.20	550	1.14 E^6	0.000006	2.3873	0.0165	13.1739	2.9049	0	16.0788	214.3834
T-05	0.075	0.15	600	1.14 E^6	0.000006	4.2441	0.0169	62.0813	0.0000	0	62.0813	827.7512

CALCULOS PREVIOS



m) [A11] = Matriz diagonal de NTxNT

m) [A11] =

$$\begin{bmatrix} 10.3853 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 32.1944 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 95.8102 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 214.3834 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 827.7511 \end{bmatrix}$$

	Q m3/s	D m	L m	v m2/s	Ks m	V m/s	f	hf m	hm m	hb m	Ht m	Ht/Q
T-01	0.075	0.25	100	1.14 E^6	0.000006	**1.5279**	**0.0164**	**0.7789**	**0.0000**	**0**	**0.7789**	**10.3853**
T-02	0.075	0.25	310	1.14 E^6	0.000006	**1.5279**	**0.0164**	**2.4146**	**0.0000**	**0**	**2.4146**	**32.1944**
T-03	0.075	0.20	300	1.14 E^6	0.000006	**2.3873**	**0.0165**	**7.1858**	**0.0000**	**0**	**7.1858**	**95.8102**
T-04	0.075	0.20	550	1.14 E^6	0.000006	**2.3873**	**0.0165**	**13.1739**	**2.9049**	**0**	**16.0788**	**214.3834**
T-05	0.075	0.15	600	1.14 E^6	0.000006	**4.2441**	**0.0169**	**62.0813**	**0.0000**	**0**	**62.0813**	**827.7512**

4.- Iniciando los procesos iterativos

VECTOR DE ALTURAS DE CARGA O CARGAS PIEZOMÉTRICAS

$$\boxed{[H_{i+1}] = -[([A21].[N]^{-1}.[A11]^{-1}.[A12])^{-1}].\left[[A21].[N]^{-1}.([Q_i] + [A11]^{-1}.[A10].[Ho]) + [q] - [A21].[Q_i]\right]}$$

VECTOR DE CAUDALES EN CADA TUBERÍA

$$\boxed{[Q_{i+1}] = ([I] - [N]^{-1}).[Q_i] - [N]^{-1}.[A11]^{-1}.([A12].[H_{i+1}] + [A10].[Ho])}$$

1ra ITERACIÓN

	>	Hi
NODO	[2,]	99.20523
NODO	[3,]	91.87302
NODO	[4,]	94.74656
NODO	[5,]	97.63463

	>	Qi
TUB-01	[1,]	0.07576425
TUB-02	[2,]	0.07423575
TUB-03	[3,]	0.07576425
TUB-04	[4,]	0.04423575
TUB-05	[5,]	0.03576425

REEMPLAZAMOS Qi

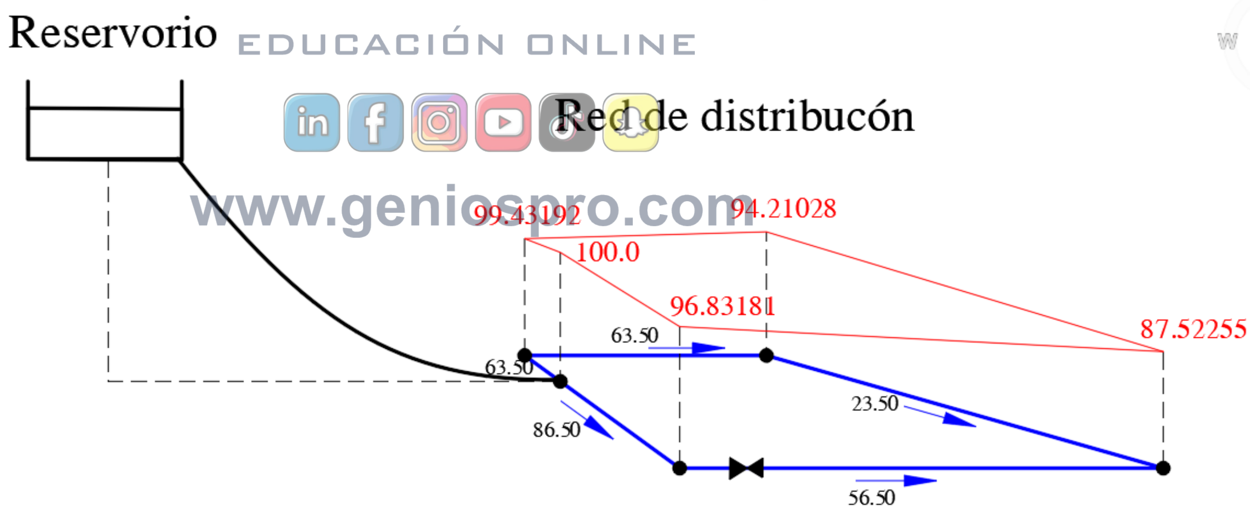
$$[dQ] = [Q_{i+1}] - [Q_i]$$

	Q m3/s	D m	L m	v m2/s	Ks m	V m/s	f	hf m	hm m	hb m	Ht m	Ht/Q
T-01	**0.07576**	0.25	100	1.14E-06	6.00E-05	1.54346	0.01635	0.79405	0	0	0.7940	10.4805
T-02	**0.07424**	0.25	310	1.14E-06	6.00E-05	1.51232	0.01638	2.36806	0	0	2.3681	31.8991
T-03	**0.07576**	0.20	300	1.14E-06	6.00E-05	2.41165	0.01648	7.32715	0	0	7.3272	96.7099
T-04	**0.04424**	0.20	550	1.14E-06	6.00E-05	1.40807	0.01731	4.81042	1.0105	0	5.8209	131.589
T-05	**0.03576**	0.15	600	1.14E-06	6.00E-05	2.02384	0.01780	14.8644	0	0	14.8645	415.624

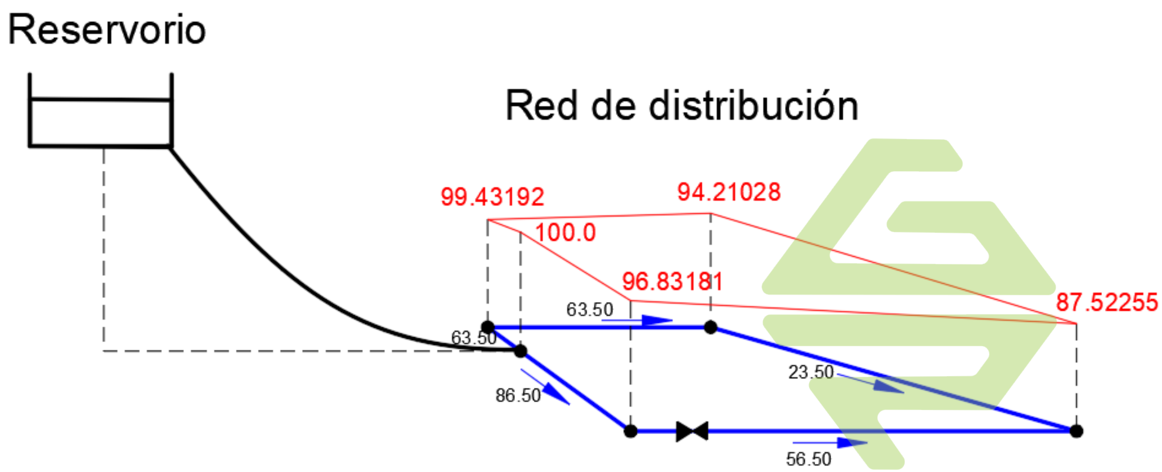
2da → 5ta ITERACIÓN

		1ERA	2DA	3ERA	4ETA	5TA	
	>	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	ERROR
NODO	[2,]	99.20523	99.43191	99.43206	99.43193	99.43192	1.00E-05
NODO	[3,]	91.87302	94.18982	94.20904	94.21022	94.21028	6.00E-05
NODO	[4,]	94.74656	88.28619	87.54001	87.52287	87.52255	3.20E-04
NODO	[5,]	97.63463	96.9442	96.8339	96.83183	96.83181	2.00E-05
	>	Qi	Qi	Qi	Qi	Qi	
TUB-01	[1,]	0.07576425	0.06498425	0.06358314	0.0635002	0.06349616	4.04E-06
TUB-02	[2,]	0.07423575	0.08501575	0.08641686	0.0864998	0.08650384	4.04E-06
TUB-03	[3,]	0.07576425	0.06498425	0.06358314	0.0635002	0.06349616	4.04E-06
TUB-04	[4,]	0.04423575	0.05501575	0.05641686	0.0564998	0.05650384	4.04E-06
TUB-05	[5,]	0.03576425	0.02498425	0.02358314	0.0235002	0.02349616	4.04E-06

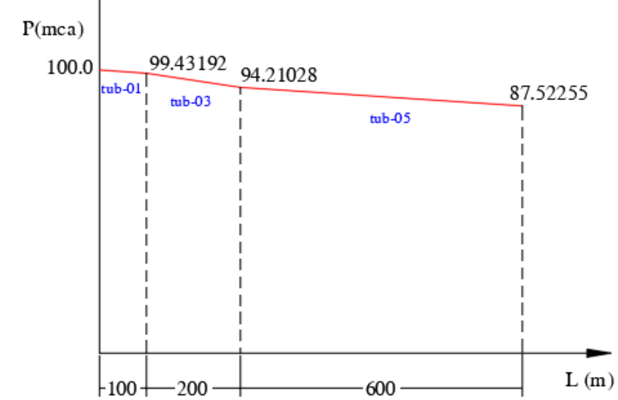
RESULTADOS

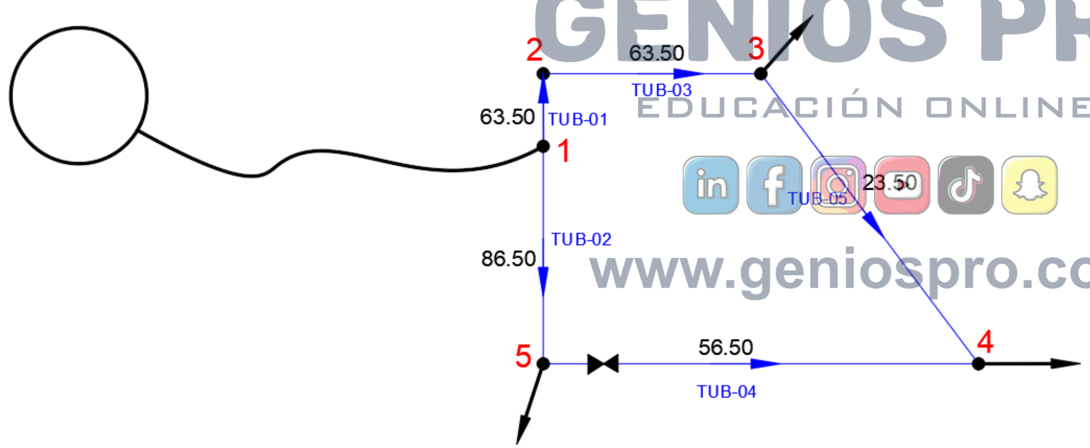


RESULTADOS

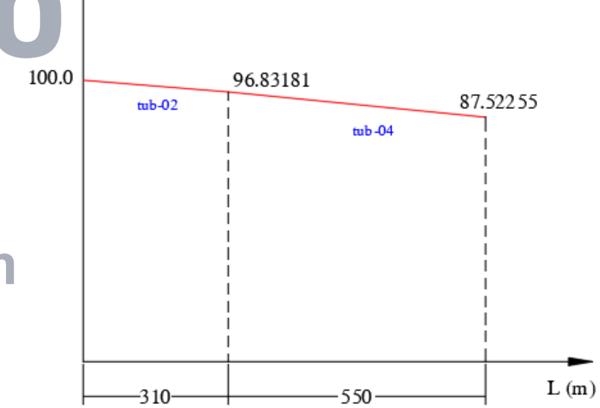


PERFIL: 1-2-3-4

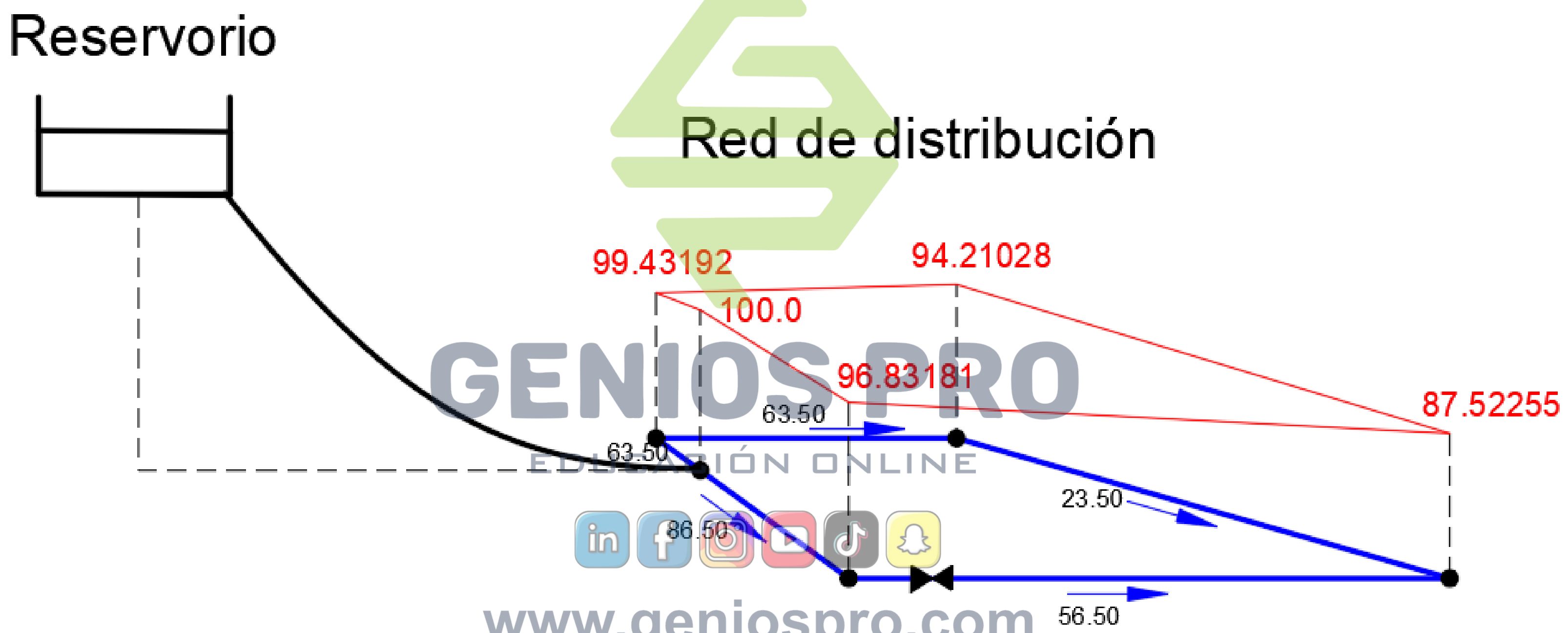




PERFIL: 1-5-4



NIVEL DE REFERENCIA CERO



...GRACIAS