

123

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA
EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE QUIMICA



**EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA**

**“ DETERMINACION EXPERIMENTAL Y
ANALITICAMENTE DE CAUDALES EN RAMALES DE
TUBERIA PARA UN SISTEMA DE REDES Y MALLAS EN
EL LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA Y SE
PERSIGUE EL MEJOR ENTENDIMIENTO EN LA
CONDUCCION DE FLUIDOS A NIVEL INDUSTRIAL “**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :
PASCUAL TOVAR MENDOZA

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D. F.

1994



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

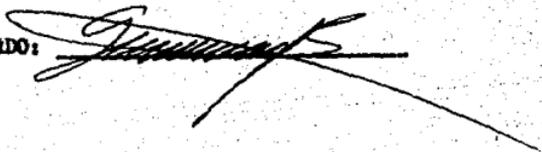
| | | |
|-----------------|----------------|-------------------------------|
| | PRESIDENTE: | MC. ANTONIO VALIENTE BARBERAS |
| | VOCAL: | I.Q. LUCILA CECILIA MENDEZ C. |
| JURADO ASIGNADO | SECRETARIO | I.Q. GENOVEVO SILVA PICHARDO |
| SEGUN EL TEMA | 1er. SUPLENTE: | I.Q. YOLANZA LOZADA GOMEZ |
| | 2do. SUPLENTE: | I.Q. HECTOR GERARDO MENDEZ P. |

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

- LAB. INGENIERIA QUIMICA,
FACULTAD DE QUIMICA, UNAM.

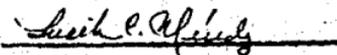
ASESOR DEL TEMA:

ING. GENOVEVO SILVA PICHARDO:



ASESOR TECNICO:

ING. LUCILA CECILIA MENDEZ C.:



SUSTENTANTE:

PASCUAL TOVAR MENDOZA:



A mis padres, maestros, amigos
y compañeros, y para todas las
personas que han tenido para -
mí, palabras de aliento, dedi-
co la siguiente tesis, con mi
más profundo cariño y gratitud.

C O N T E N I D O

| | |
|---|----|
| INTRODUCCION..... | 7 |
| CAPITULO 1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE FLUJO DE FLUIDOS. | 11 |
| 1-1 Ecuación general de energía..... | 11 |
| 1-2 Patrones de flujo..... | 19 |
| 1-3 Tuberías en paralelo..... | 20 |
| 1-4 Conducciones ramificadas..... | 20 |
| 1-5 Redes de tuberías..... | 22 |
| 1-6 Mallas de tuberías..... | 23 |
| 1-7 Métodos utilizados para la resolución de redes o mallas de tuberías..... | 24 |
| 1-8 Ecuaciones empíricas para el cálculo de tube- rías por las que circula agua..... | 25 |
| CAPITULO 2 DESARROLLO EXPERIMENTAL | |
| 2-1 Hipótesis de trabajo..... | 28 |
| 2-2 Características de la malla..... | 28 |
| 2-3 Medición de caídas de presión..... | 29 |
| 2-4 Dirección del fluido..... | 32 |
| 2-5 Instalación..... | 32 |
| 2-6 Resultados experimentales..... | 35 |
| CAPITULO 3 ANALISIS DE RESULTADOS | |
| 3-1 Análisis de los resultados del cálculo de cau- dales de las 5 tablas preliminares..... | 52 |
| 3-2 Análisis de los resultados del cálculo de cau- dales en las tablas 2.6, 2.7 y 2.8..... | 53 |

| | | |
|--|---|----|
| 3-3 | Análisis de los resultados del cálculo de caudales obtenidos en la malla del equipo diseñado..... | 53 |
| CAPITULO 4 PROPUESTA DE UNA PRACTICA DE FLUJO DE FLUIDOS EN MALLAS DE TUBERIAS | | |
| 4-1 | Propuesta de una practica de flujo de fluidos en mallas de tuberías tomando como base de cálculo los valores de los resultados obtenidos en el método de Hardy Cross..... | 55 |
| 4-2 | Propuesta de una practica de flujo de fluidos en mallas de tuberías en base a suponer valores de velocidades recomendadas por fabricantes de tuberías..... | 61 |
| 4-3 | Programa de computadora para el cálculo de caudales en mallas de tubería..... | 70 |
| CAPITULO 5 CONCLUSION GENERAL..... | | |
| | | 73 |
| BIBLIOGRAFIA..... | | |
| | | 75 |

TABLAS

| | | |
|-----|--|----|
| 1-1 | Tabla 2.1 resultados en base al ΔP tomado con un manómetro de carátula tipo C de tubo Bourdon..... | 35 |
| 1-2 | Tabla 2.2, 2.3, 2.4 y 2.5 presentan los resultados en base al ΔP tomado con manómetros diferenciales tipo U con mercurio como liquido-manométrico y la malla de experimentación está conectada a la red de agua del laboratorio. | 37 |
| 1-3 | Tablas 2.6, 2.7 y 2.8 presentan los resultados en base al ΔP tomado con manómetros diferenciales | |

| | | |
|-----|--|----|
| | les tipo U con mercurio como liquido manométrico y la malla de experimentación está conectada a través de una bomba de 1/2 HP a un deposito de agua..... | 39 |
| 1-4 | La tabla 2.9 presenta los valores de ΔP , fP/W y $fP/W/L$ de la malla del equipo diseñado..... | 40 |
| 1-5 | La tabla 2.10 presenta los valores de los caudales de las salidas de la malla del equipo diseñado estos valores experimentales son utilizados en el método de Hardy Cross..... | 44 |
| 1-6 | La tabla 2.11 presenta el resumen de todos los resultados obtenidos en la malla del equipo diseñado..... | 51 |

FIGURAS

| | | |
|-----|--|----|
| 1-1 | Las figuras 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4 presentan la colocación de los manómetros en la malla de experimentación..... | 33 |
| 1-2 | En la figura 2.4 presentamos la colocación de 9 manómetros tipo U con mercurio como liquido manométrico en la malla de experimentación.... | 33 |
| 1-3 | En la figura 2.5 se presenta el equipo diseñado para desarrollar una practica de flujo de fluidos en mallas de tuberías..... | 34 |

GRAFICAS

| | | |
|-----|---|----|
| 1-1 | Factor de fricción en función del numero de Reynolds con la rugosidad relativa como parametro.. | 17 |
| 1-2 | Rugosidad relativa en función del diámetro para tubos de varios materiales..... | 18 |
| 1-3 | Factor de fricción en función del número de Reynold..... | 18 |

INTRODUCCION

El manejo de fluidos es una de las técnicas más antiguas, ya que sus orígenes coinciden con el de la agricultura y la creación de las primeras ciudades o estados. Por ello, es posible encontrar en todas las grandes civilizaciones de antaño, desde Egipto y Mesopotamia hasta los imperios maya y azteca, canales de riego, acueductos, diques y colectores de aguas negras.

Sin embargo, no es sino hasta el siglo pasado cuando se empezó a producir tubos de hierro fundido y de otros metales capaces de resistir altas presiones y el ataque de líquidos diferentes al agua. Así mismo, es también en el siglo pasado cuando se inició el manejo industrial de gases mediante tuberías.

Hoy en día los ingenieros tienen que calcular y diseñar enormes ductos que puedan conducir desde agua y aire hasta petróleo y gas natural, para que puedan ser transportados a través de cientos o miles de kilómetros, atravesando desiertos, montañas, ríos y aun mares.

Para lograr el transporte de estos fluidos se puede aprovechar los desniveles o pendientes entre dos puntos, o usar bombas, compresores, sopladores o ventiladores para moverlos y llevarlos de una presión a otra o elevarlos unos cuantos metros o cientos de ellos.

En la actualidad la distribución de agua se realiza mediante redes de tuberías.

Al conjunto de tuberías dispuestas una tras otra formando una figura cerrada, dentro de la cuál

8

un fluido puede volver a su punto de partida después de recorrer todos sus componentes se le llama circuito.

Las redes de tuberías pueden ser cerradas cuando los conductos están conectados de modo tal que se presenta por lo menos un circuito, y pueden ser abiertas - cuando las tuberías están unidas sin formar ningún circuito.

La finalidad de éste trabajo es desarrollar un experimento para el laboratorio de Ingeniería Química sobre el tema de flujo de fluidos en mallas.

La importancia de la experimentación radica en los descubrimientos de hechos y fenómenos presentes en los experimentos y que está serie de experimentos suministran conocimientos.

Ahora bien, la naturaleza de una explicación teórica es algo más que un grupo de símbolos; así, una teoría queda expresada completamente por las ecuaciones - que relacionan a un grupo de símbolos mediante un lenguaje. - Pero el valor de la explicación no radica en la belleza o en la simplicidad de las ecuaciones, sino en el número de hechos y fenómenos presentes en los experimentos que pueden ser explicados por ellas.

El proceso mediante el cual se sistematizan los hechos y experimentos en teorías o leyes que pueden considerarse como la esencia o naturaleza de la ciencia y esto permite hacer predicciones de sucesos futuros.

El primer paso en el estudio de los fenómenos naturales es la observación de dichos fenómenos. -

Estos hechos perceptibles constituyen nuestro contacto con el mundo físico y son nuestros sentidos los que se encargan de comunicarnoslo. Así los datos experimentales que obtenemos consisten en sucesos observables y son buenos en la medida en que lo sean nuestros métodos de detección. El hombre ha aprendido, por medio de la experimentación, que sus propios sentidos están limitados de muchos modos y ha inventado instrumentos ingeniosos que le ayudan en sus observaciones (telescopio, microscopio, la celda fotoeléctrica, y para nuestro trabajo utilizamos termómetro y manómetros).

Los elementos observables fundamentales, de los que pueden derivarse todos los demás, son la longitud, la masa y el tiempo. Una vez que se ha seleccionado lo que se va a observar, deben asignarse las unidades de medición para dichos elementos.

Para el desarrollo de éste trabajo se tomo como base fundamental la ecuación general de energía y el principio de conservación de la materia así como la aplicación de estos conceptos en el flujo de fluidos a través de mallas y redes de tuberías.

En el capítulo 1 se presentan estos conceptos así como los métodos y las ecuaciones empíricas para la resolución de redes y mallas de tuberías.

Conceptos fundamentales:

- 1.- Ecuación general de energía.
- 2.- El teorema de Bernoulli modificado a un fluido en movimiento incompresible que pasa por una determinada longitud de tubería, donde el área es constante y la

presión de salida es menor a la de la entrada.

- 3.- Tuberías en paralelo.
- 4.- Conducciones ramificadas.
- 5.- Mallas de tuberías.
- 6.- Redes de tuberías.
- 7.- Caída de presión unitaria.
- 8.- Ecuaciones empíricas para el cálculo de tuberías por las que circula agua.
- 9.- Los métodos de Hazen-Williams, Von Karman, Hardy Cross y el de González y Capella que permiten determinar los caudales en redes y mallas de tuberías.

El capítulo 2 describe la forma en que se construyó el equipo y su desarrollo para la experimentación deseada a fin de lograr el objetivo planteado en el experimento. La experimentación la realizamos en una malla con variaciones en la presión, dirección del fluido, dimensiones y altura.

En el capítulo 3 se incluye una propuesta de práctica de flujo de fluidos en mallas de tuberías para resaltar la importancia que tiene la enseñanza práctica de tal manera que el alumno obtenga conocimientos en equipos reales de mallas y adquiriera la habilidad necesaria para manejar y obtener datos experimentales y a partir del análisis de estos obtenga conclusiones a cerca del funcionamiento de los equipos o para determinar las variables de diseño.

El capítulo 4 presenta la conclusión general de éste trabajo

La bibliografía comprende 8 textos básicos de Ingeniería Química relacionados con éste trabajo.

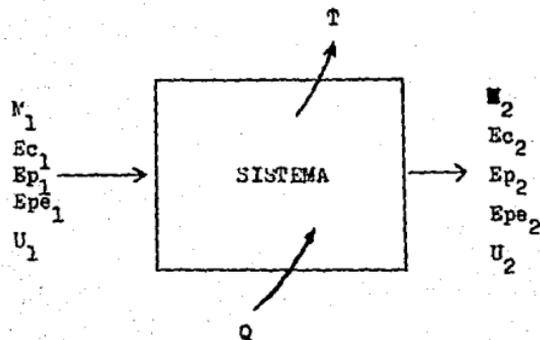
CAPITULO I

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE FLUJO DE FLUIDOS

ECUACION GENERAL DE ENERGIA

En un balance total de energía deben tomarse en cuenta las transferencias de energía a través de los límites del sistema. Algunos tipos de energía están relacionados con la masa que fluye y algunos otros, como el calor y el trabajo mecánico, sólo son formas de transmisión de energía.

En el siguiente sistema los balances de materia y energía son a régimen permanente.



Balance de materia

$$M_1 = M_2 \quad (1.1)$$

Balance de energía

$$Ep_1 + Ec_1 + Epe_1 + U_1 + Q = Ep_2 + Ec_2 + Epe_2 + U_2 + \mathcal{W} \quad (1.2)$$

$$(Ep_2 - Ep_1) + (Ec_2 - Ec_1) + (Epe_2 - Epe_1) + (U_2 - U_1) = Q - \mathcal{W} \quad (1.3)$$

Sabiendo que $H = U + PV$ y $PV = Epe$

$$(Ep_2 - Ep_1) + (Ec_2 - Ec_1) + (H_2 - H_1) = Q - \mathcal{W} \quad (1.4)$$

$$\Delta E_p + \Delta E_c + \Delta H = q - \tau \quad (1.5)$$

en donde:

Variación de energía potencial

$$\Delta E_p = (Z_2 - Z_1) \cdot g \cdot M \quad (1.6)$$

Variación de energía cinética

$$\Delta E_c = \frac{1}{2} (u_2^2 - u_1^2) M \quad (1.7)$$

Cambio de entalpía

$$\Delta H = (H_2 - H_1) M \quad (1.8)$$

Un tipo de balance de energía más útil para flujo de fluidos es el que considera la energía mecánica. Los términos de calor y energía interna no permiten una conversión simple en trabajo, tal como lo indica la segunda ley de la termodinámica, dependiendo la eficiencia de la conversión de la temperatura. Al hacer un balance de energía mecánica la parte de la energía mecánica que se convierte en calor se considera como pérdida de fricción. De acuerdo con la primera ley de la termodinámica:

$$\Delta U = q - \tau \quad (1.9)$$

$$\tau = \int_{V_1}^{V_2} F \cdot dV_0 - \Sigma F \quad (1.10)$$

τ = trabajo que realiza el fluido (=) F.L

q = calor (=) F.L

V = volumen (=) L³

ΣF = pérdidas por fricción (=) F.L.

Sustituyendo en la ecuación (1.9):

$$\Delta U = q - \int_{V_1}^{V_2} F \cdot dV_0 - \Sigma F \quad (1.11)$$

$$\text{pero } h = U + P/\rho \quad (1.12)$$

Sustituyendo la ecuación (1.11) en la (1.12);

$$\Delta H = Q - \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV + \int_{V_1}^{V_2} P dV + \int_{P_1}^{P_2} V_0 \cdot dP \quad (1.13)$$

$$\Delta H = Q + \int_{P_1}^{P_2} V_0 \cdot dP + \int P \quad (1.14)$$

Sustituyendo en la ecuación de balance de energía:

$$M(Z_2 - Z_1)g + \frac{1}{2} M (u_2^2 - u_1^2) + Q + M \int_{P_1}^{P_2} V_0 dP + \int P = Q - \mathcal{P} \quad (1.15)$$

$$(Z_2 - Z_1)g + \frac{1}{2} (u_2^2 - u_1^2) + \int_{P_1}^{P_2} V \cdot dP = \frac{-\mathcal{P} - EF}{M} \quad (1.16)$$

La ecuación anterior se conoce con el nombre de ecuación de BERNOULLI, "MODIFICADA".

El valor de la integral depende de la ecuación de estado del fluido y de la trayectoria del proceso. Si el fluido es incompresible el volumen será constante, por lo que la ecuación quedaría:

$$(Z_2 - Z_1)g + \frac{1}{2} (u_2^2 - u_1^2) + (P_2 - P_1) \cdot \frac{1}{\rho} = \frac{-\mathcal{P} - EF}{M} \quad (1.17)$$

La ecuación anterior se aplica al flujo isotérmico de un fluido incompresible que fluye por un ducto, con pérdidas de fricción pero sin adición de calor.

En las ecuaciones anteriores las unidades están en $L^2 O^{-2}$. Si se hacen conversiones con el factor g_c las unidades quedarían $F.L./M$

$$g_c = 9.81 \text{ kg.m/kg.seg}^2$$

De manera que la ecuación anterior quedaría:

$$(Z_2 - Z_1) \cdot \frac{g}{g_c} + (u_2^2 - u_1^2) \cdot \frac{1}{2 \cdot g_c} + \frac{1}{\rho} (P_2 - P_1) = \frac{-\mathcal{P} - EF}{M} \quad (1.18)$$

Si se utiliza el sistema MKS absoluto en la ecuación an-

terier todos los miembros estarían dados en $\frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{kg}}$ en donde:

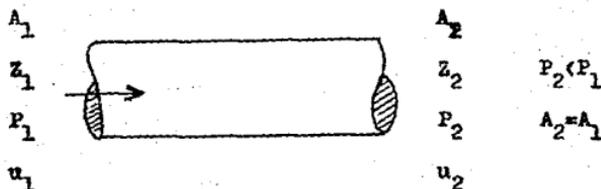
| | |
|-----------------------------------|---|
| z en m | ρ en kg/m^3 |
| $g = 9.81 \text{ m}/\text{seg}^2$ | $\frac{\rho}{\gamma}$ en $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{kg}$ |
| u en m/seg | $\frac{\Sigma P}{\gamma}$ en $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{kg}$ |
| P en kg/m^2 | |

El teorema de Bernoulli puede ser enunciado de la siguiente manera:

"A lo largo de cualquier línea de corriente la suma de las alturas cinéticas, de presión o piezométricas y potencial es constante".

El teorema de Bernoulli no es más que el principio de la conservación de la energía, ya que cada término de la ecuación representa una forma de energía. Esta ecuación puede simplificarse seleccionando los límites del sistema apropiados.

Si se aplica la ecuación de Bernoulli al siguiente sistema, donde el área es constante, la presión de salida es menor a la de entrada y el fluido en movimiento es incompresible.



$$(z_2 - z_1) \frac{\rho}{\gamma} + (u_2^2 - u_1^2) \frac{1}{2 \cdot \gamma} + (P_2 - P_1) \frac{1}{\rho} = - \frac{\rho - \Sigma P}{\gamma} \quad (1.19)$$

Si $z_2 = z_1$ por lo tanto se cancela el primer término

Si $u_2 = u_1$ por lo tanto se cancela el segundo término

y si $\rho^b = 0$

por lo que:

$$\frac{\Delta P}{\rho} = -\Sigma F/M \quad (1.20)$$

lo que significa que las pérdidas de presión son debidas a la fricción.

Para obtener la forma en que influye la fricción en la caída de presión se deben examinar las variables que influyen en el flujo de fluidos.

Entre ellas figuran: ΔP , u , D , L , μ , ρ , y Rugosidad del tubo ϵ .

Todas las variables son ya familiares, con excepción de la rugosidad del tubo; está se debe a que en general el tubo no es liso, existiendo una longitud transversal desde la pared del tubo.

Si se define la fricción en las paredes de la tubería en términos de la cantidad de momento transferido, puede deducirse que:

$$\frac{\Sigma F}{M} = f_f (\rho u^2 / 2 \cdot gc) \quad (1.21)$$

Efectuando un balance de energía sobre una longitud de tubería horizontal y recta y de diámetro D .

La fuerza requerida para sobreponerse a la fricción debe suministrarse por la presión.

$$\frac{\Sigma F_{MDL}}{M} = \Delta P \cdot \text{área de flujo} = \Delta P \cdot \frac{\pi D^2}{4} \quad (1.22)$$

La fuerza de fricción es:

$$\frac{\Sigma F}{M} \cdot \pi D \cdot L = f_f (\rho u^2 / 2gc) \pi D \cdot L \quad (1.23)$$

por lo tanto:

$$\Delta P \cdot \frac{\pi D^2}{4} = f_f (\rho u^2 / 2gc) \pi D \cdot L \quad (1.24)$$

$$\Delta P = 4 \frac{L}{D} (\rho u^2 / 2gc) f_f \quad (1.25)$$

$$\Delta P = (P_1 - P_2) = \frac{4 \cdot f_F \cdot \rho \cdot u^2}{2 \cdot g_c} \cdot \frac{L}{D} \quad (1.26)$$

La ecuación anterior es muy importante y se conoce como ecuación de Fanning y se utiliza para calcular la caída de presión que se produce cuando un fluido circula por el interior de una tubería.

El coeficiente f_F se conoce como factor de Fanning y depende del número de Reynolds y de la rugosidad de la tubería. No ha sido posible encontrar una sola ecuación que prediga los valores de f_F para todos los patrones de flujo, encontrándose las siguientes relaciones a partir de datos experimentales:

a) Para flujo laminar

$$f_F = \frac{16}{\text{NoRe}} \quad (1.27)$$

b) Para flujo turbulento. $\text{NoRe} > 10000$

En tubos lisos

$$f_F = 0.316 (\text{NoRe})^{-0.25} \quad (1.28)$$

En tubos rugosos

$$\sqrt{\frac{1}{f_F}} = 4.06 \log(D/\epsilon) + 2.16 \quad (1.29)$$

c) Para flujo transicional. $2100 < \text{NoRe} < 10000$

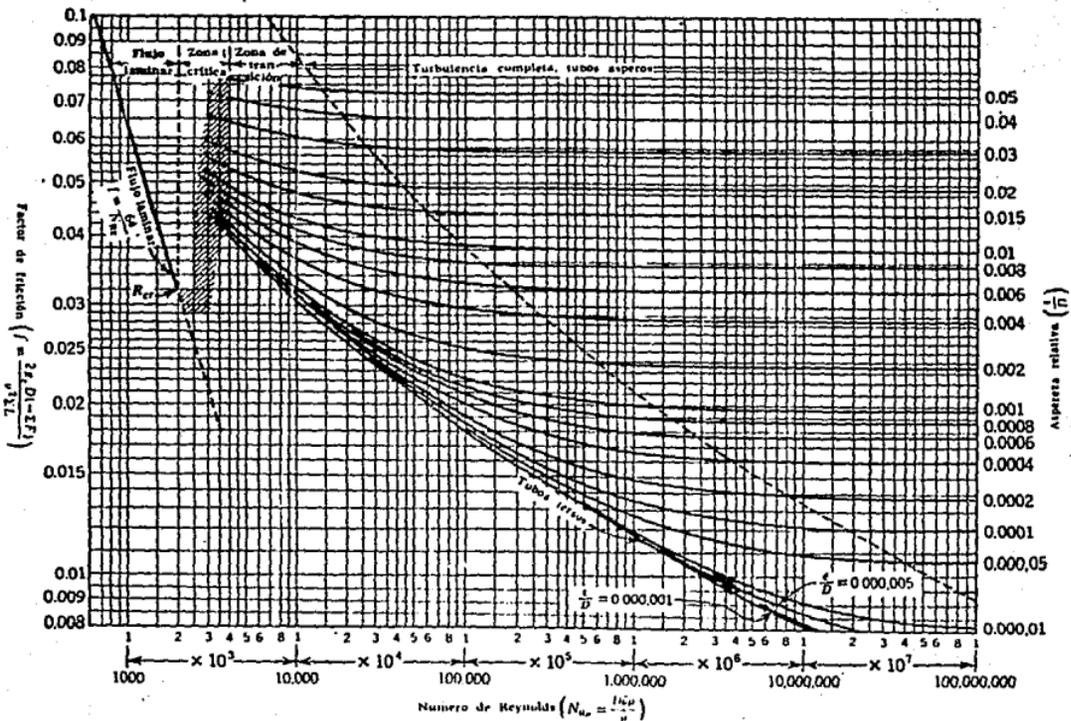
$$\frac{1}{f_F} = 4 \log(D/\epsilon) + 2.28 - 4 \log\left(4.67 \frac{D/\epsilon}{\text{NoRe} \sqrt{f_F}} + 1\right) \quad (1.30)$$

Otro factor usado con frecuencia es el factor Darcy

$$f_D = 4f_F \quad (1.31)$$

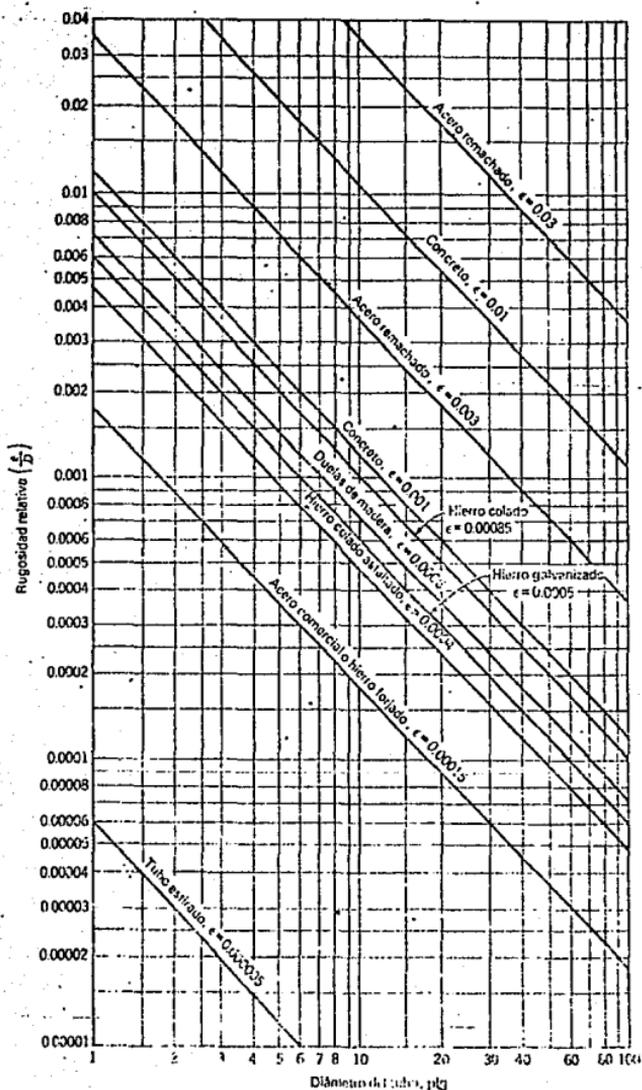
Moody presentó una gráfica basada en las correlaciones anteriores, la que permite obtener rápidamente el valor del factor de fricción f de Darcy en función del número de Reynolds y de ϵ/D .

Apéndice C-3. EL FACTOR DE FRICCIÓN COMO UNA FUNCIÓN DEL NÚMERO DE REYNOLDS CON ASPERIZAS RELATIVAS COMO PARÁMETRO.
 [Moody, L. F., *Trans. ASME*, 66, 671-84 (1944).]



GRÁFICA TOMADA DE:

- Principios de Operaciones Unitarias
 Alan S. Kouss,
 Cía. Editorial Continental, S.A.



TOMADO DEL:

- Principios de Operaciones Unitarias,
 Alan S. Foust,
 Cía. Editorial Continental, S.A.

PATRONES DE FLUJO

Dependiendo de las condiciones, un fluido se puede mover en dos tipos de patrones de flujo, llamados laminar o turbulento. La distinción entre estos patrones de flujo fue indicada por primera vez por Osborne Reynolds.

A velocidades bajas el fluido tiende a fluir sin mezclado lateral, resbalando las capas adyacentes unas sobre otras como los naipes de una baraja. En éste caso no hay corrientes cruzadas perpendicularmente a la dirección de flujo ni tampoco remolinos. A éste régimen o tipo de flujo se le llama flujo laminar.

A velocidades más altas se forman remolinos, lo que provoca un mezclado lateral; éste recibe el nombre de flujo turbulento. La velocidad a la cuál ocurre el cambio de laminar a turbulento recibe el nombre de velocidad crítica.

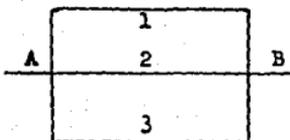
El trabajo de Osborne Reynolds mostró que el tipo de flujo en una tubería depende del diámetro de la misma, así como de la velocidad, densidad y viscosidad del fluido. El valor numérico de la combinación de estas cuatro variables se conoce como número de Reynolds, y se considera que es la relación de las fuerzas dinámicas del flujo al esfuerzo cortante debido a la viscosidad. El número de Reynolds es:

$$\text{NoRe} = \frac{D \cdot u \cdot \rho}{\mu} = \frac{D \cdot u}{\nu} \quad (1.32)$$

Para los propósitos ingenieriles se considera que el flujo en tuberías es laminar si el Reynolds es menor de 2100 y turbulento si es mayor de 10000. Entre estos dos valores se encuentra la zona de transición en donde existe el proceso de cambio de flujo laminar a turbulento.

TUBERIAS EN PARALELO

Quando dos o más tuberías, partiendo del punto A, vuelven a reunirse en otro B, se dice que el sistema constituye una condición en paralelo.



En éste caso se aplica en primer lugar el principio de conservación de la materia en la siguiente ecuación.

$$Ca = Ca_1 + Ca_2 + Ca_3$$

En efecto, el caudal Ca se reparte en todas las tuberías la presión al comienzo pA y al final pB de cada rama es la misma para todas las ramas; así, las pérdidas por fricción deberán ser las mismas.

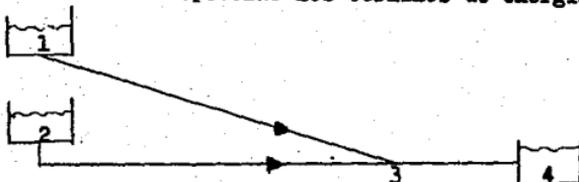
$$\frac{fF}{M}1 = \frac{fF}{M}2 = \frac{fF}{M}3$$

La resolución de estos sistemas se realiza por tanteos cuando se conoce el caudal total y las características del fluido y de la tubería correspondiente a cada uno de los brazos.

CONDUCCIONES RAMIFICADAS

Quando dos o más tuberías convergen en uno o más puntos y el fluido circula por el conducto principal y las ramificaciones, el sistema se denomina ramificado. Los problemas que se pueden presentar en éste caso son muy variados y se requie

re efectuar Bernoullis en cada una de las ramas. Para simplificarles se suelen despreciar los términos de energía cinética.



Para la figura anterior:

$$\frac{P_3 - P_1}{\rho} + (z_3 - z_1)g/gc = -\Sigma F_1/M \quad (1.35)$$

$$\frac{P_3 - P_2}{\rho} + (z_3 - z_2)g/gc = -\Sigma F_2/M \quad (1.36)$$

$$\frac{P_3 - P_4}{\rho} + z_3 \frac{g}{gc} = \Sigma F_3/M \quad (1.37)$$

Pero $P_1 = P_2 = P_4 = \text{atmósfera.}$

Si se designa a:

$$\frac{P_3 - P_{atm}}{\rho} + z_3 g/gc = h_D \quad \text{entonces} \quad (1.38)$$

$$h_D - z_1 g/gc = -\Sigma F_1/M \quad (1.39)$$

$$h_D - z_2 g/gc = -\Sigma F_2/M \quad (1.40)$$

$$h_D = \frac{\Sigma F_3}{M} \quad (1.41)$$

El problema se puede resolver por tanteos dando un valor a h_D determinando las pérdidas de fricción en cada rama y calculando los valores de C_1 , C_2 y C_3 per Karman. Para que el resultado sea el correcto se debe cumplir:

$$Ca_1 + Ca_2 = Ca_3 \quad (1.42)$$

Con lo que se cumple con la ley de conservación de la materia.

REDES DE TUBERIAS

Los sistemas de conducción de fluidos en una planta química por lo general comprenden innumerables tuberías, muchas de ellas unidas entre sí formando redes.

Bajo el punto de vista de flujo de fluidos destacan tres tipos de redes de distribución:

- a) Redes ramificadas, en las que puede establecerse el sentido del flujo.
- b) Redes con conducciones en paralelo, en las que puede establecerse el sentido del flujo.
- c) Redes en forma de mallas, cuyas tuberías forman circuitos y están intercomunicadas; a priori no puede establecerse el sentido del fluido. Los puntos de cruce se denominan nudos.

En el funcionamiento hidráulico de la red, generalmente interesa determinar las cargas en los extremos de sus tubos y los gastos que fluyen en los mismos cuando estos no cambian con el tiempo se tiene el caso de flujo permanente.

En una red de tubos con flujo permanente donde se conoce al menos una carga y los gastos que entran o salen de la red, es posible calcular las cargas o los gastos en toda la red. Sin embargo, para ello es necesario resolver un sistema de ecuaciones no lineales.

Aunque existen métodos para resolver estos sistemas, ya sea separándolos en sistemas asociados a circuitos como el de Cross (House, 1946) o bien trabajando con todo el sistema (Mé-

todos Jeppeson y Davis, 1976; González y Capella 1971), en ocasiones no se llega a una solución o bien se requiere de un tiempo excesivo de cálculo en la computadora, sobre todo en aquellos casos donde se desea obtener las cargas, en redes con más de 20 tuberías.

MALLAS

Se presentan con frecuencia en las plantas químicas, en la distribución de agua o de vapor.

Estas forman ramificaciones complicadas que se cierran formando mallas, de manera que el flujo en un punto puede venir de dos direcciones distintas, lo que presenta la ventaja de no interrumpir el suministro aun en el caso de reparaciones.

El cálculo de las redes es laborioso y se hace por aproximaciones sucesivas, utilizando las tres leyes siguientes:

- La ley de la pérdida de carga. En cada tubería deberá cumplirse.

$$\frac{\Sigma F}{H} = \frac{f_D u^2 (L+L_e)}{2gc D} \quad (1.43)$$

- Ley de los nudos. El caudal que entra en un nudo debe ser igual a los caudales que salen del mismo.

- Ley de las mallas. La suma algebraica de las pérdidas de carga en una malla deberá ser igual a cero.

$$\Sigma \left(\frac{\Sigma F}{H} \right) = 0 \quad (1.44)$$

**MÉTODOS UTILIZADOS PARA LA RESOLUCIÓN
DE REDES O MALLAS.**

1.- Método de Von Karman basado en su gráfica.

Para la resolución de las redes de tubería es muy útil - la gráfica de Von Karman, pues permite encontrar velocidades en las líneas cuando se conocen las pérdidas por fricción.

En donde:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{u}{\sqrt{2g \left(\frac{D}{L} \right) \frac{\Sigma F}{M}}} ; \quad Re\sqrt{f} = \frac{D\rho}{\mu} \sqrt{2g \left(\frac{D}{L} \right) \frac{\Sigma F}{M}} \quad (1.45)$$

En estos casos la determinación del caudal se hace de la siguiente manera:

- 1.- Se calcula $Re\sqrt{f}$.
- 2.- Se determina E/D .
- 3.- Se obtiene $1/\sqrt{f}$.
- 4.- Se calcula u .
- 5.- Se calcula el caudal a partir de u y D .

2.- Método de Hardy Cross.

- 2.1.- Sobre un croquis de la red se hace una distribución razonable de los caudales, dibujando con flechas los sentidos estimados.
- 2.2.- Se calcula para cada tubería las $\frac{\Sigma F}{M}$
- 2.3.- Se obtiene la suma de las pérdidas para la malla. Se escoge el sentido del movimiento de las manecillas del reloj como positivo. Los caudales que vayan en ese sentido tendrán $\frac{\Sigma F}{M}$, y caudales con signo positivo y los que vayan en sentido contrario negativo.
- 2.4.- Para cada malla de la red se obtiene:

$$Ca = \frac{-\sum \left(\frac{\Sigma F}{M} \right)}{1.85 \sum \left(\frac{\Sigma F/M}{Ca} \right)} \quad (1.46)$$

2.5.- Se corrige el caudal de las tuberías por ΔCa

$$Ca_{(1+1)} = Ca_1 + \Delta Ca \quad (1.47)$$

2.6.- Se vuelve a efectuar el cálculo hasta que la ΔCa sea lo suficientemente pequeña para ser aceptable.

CAIDA DE PRESION UNITARIA

Cuando se tratan problemas de flujo de fluidos en redes se suele utilizar el concepto de ΔP unitaria, o sea $(\Sigma F/M/L)$. La caída de presión que se obtendría al pasar un cierto caudal por un diámetro dado en un metro o pie de tubería. Para calcular el ΔP unitario se suele utilizar nomogramas o ecuaciones simplificadas para casos especiales.

ECUACIONES EMPIRICAS PARA EL CALCULO DE TUBERIAS POR LAS QUE CIRCULA AGUA

Las ecuaciones siguientes son recomendables para agua en tuberías de 2 o más pulgadas.

1.- Ecuaciones de Hazen-Williams.

$$u = 0.355 C_D^{0.63} \left(\frac{\Sigma F/M}{L} \right)^{0.54} \quad (1.48)$$

$$Ca = 0.2788 C_D^{2.63} \left(\frac{\Sigma F/M}{L} \right)^{0.54} \quad (1.49)$$

$$\frac{\Sigma F}{M} = 6.823 C^{-1.852} \frac{u^{1.852}}{D^{1.167}} \quad (1.50)$$

$$\frac{\Sigma F}{M} = 10.643 C^{-1.852} \frac{Ca^{1.852}}{D^{4.87}} \quad (1.51)$$

C = Coeficiente de Hazen-Williams

2.- Ecuación de Manning:

$$\frac{\Sigma F}{M} = 10.32 n^2 \frac{Ca^2}{D^{5.33}} \quad (1.52)$$

$$Ca = \frac{0.312}{n} D^{8/3} \left(\frac{\Sigma F/M}{L} \right)^{1/2} \quad (1.53)$$

En donde n es el coeficiente de Manning. Fórmula muy utilizada para el cálculo de alcantarillas y drenajes.

3.- Ecuación de Fair-Whipple-Hsiao:

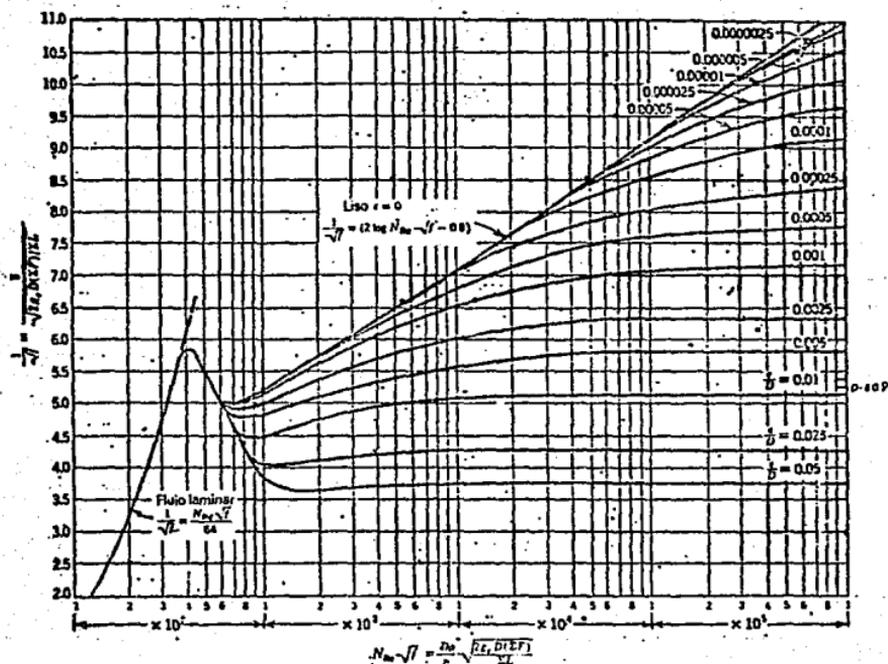
Para pequeños diámetros hasta 50 mm. Para tubos de acero galvanizado que transportan agua fría:

$$\frac{\Sigma F/M}{L} = 0.002021 \frac{Ca^{1.88}}{D^{4.88}} \quad (1.54)$$

$$Ca = 55.934 D^{2.71} \left(\frac{\Sigma F/M}{L} \right)^{0.57} \quad (1.55)$$

Para tubos de cobre o latón que transportan agua caliente:

$$Ca = 63.281 D^{2.71} \left(\frac{\Sigma F/M}{L} \right)^{0.57} \quad (1.56)$$



TOMADO DE:

Problemas de Flujo de Fluidos,
 M. G. Antonio Valiente Banderas,
 Editorial Idemsa.

CAPITULO 2

DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1.- Hipótesis de trabajo:

Como hipótesis de trabajo consideramos el comportamiento del caudal alimentado de la siguiente manera:

Al entrar el caudal en dirección al sentido de las manecillas del reloj; tendríamos la siguiente relación de caudales en la malla de experimentación.

$$A \rightarrow B > C > D \rightarrow D-A$$

Para comprobar la hipótesis de trabajo fueron cambiando en el transcurso de la experimentación las condiciones de operación ya que la presión de la red de agua del laboratorio presenta inestabilidad debido a que aumenta y disminuye bruscamente.

Para compensar estos cambios se trabajó con una bomba de 1/2 HP y se encontró una presión más estable, como se muestra en la figura (2.2) y además permitió tener un flujo turbulento en el equipo.

Con el objeto de construir el equipo para el desarrollo de la práctica de flujo de fluidos en mallas, se diseñó la malla más sencilla que cumpliera con los objetivos que nos habíamos fijado.

2.2.- Características de la malla:

La figura geométrica es de un cuadrado con una posición horizontal y una altura de 1 metro; la tubería es de hierro galvanizado de 1/2 pulgada de diámetro nominal y la malla se construyó con cuatro tramos de tubería de 2 metros de longitud unidos con 4 té; en uno de los nudos se hizo la alimen-

tación del caudal que proviene de la red de distribución de agua del laboratorio.

2.3.- Medición de caídas de presión:

Para la medición de las ΔP experimentales en cada tramo de tubería de la malla se utilizaron 2 tipos de manómetros. Uno de carátula tipo C de tubo Bourdon, en estos el fluido hace que se expanda o contraiga un tubo flexible en "C" que a su vez está conectado a un puntero. Este no fue útil debido a que no se estabilizaba en una lectura de ΔP deseada tabla 2.1. Otro fue el tipo U con mercurio como líquido manométrico; éste manómetro tiene un comportamiento más estable en una lectura determinada.

Una vez seleccionado el manómetro diferencial, las mediciones de ΔP se hicieron las mediciones preliminares: Con 1 manómetro los valores se muestran en la tabla (2.2), con 2 manómetros los valores se muestran en la tabla (2.3), con 3 manómetros los valores se muestran en la tabla (2.4) y la colocación de estos se muestra en la figura (2.1)

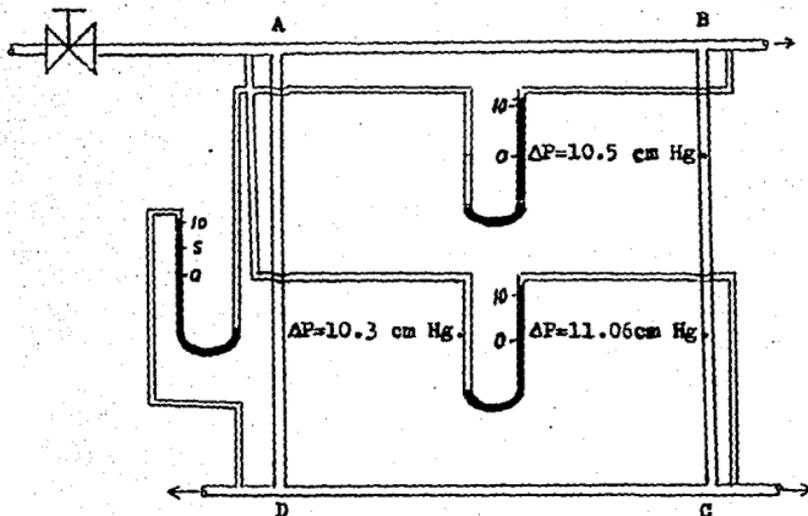


FIGURA (2.1)

Posteriormente la medición de ΔP se hizo con 4 manómetros tipo U, hicimos dos formas diferentes de colocación de manómetros.

Forma A:

El primer manómetro con un extremo en la entrada A y el otro extremo en la salida B, el segundo entre la salida B y la salida C, el tercero entre la salida C y la salida D y el cuarto entre la salida D y la entrada A del caudal; como muestra la figura (2.2)

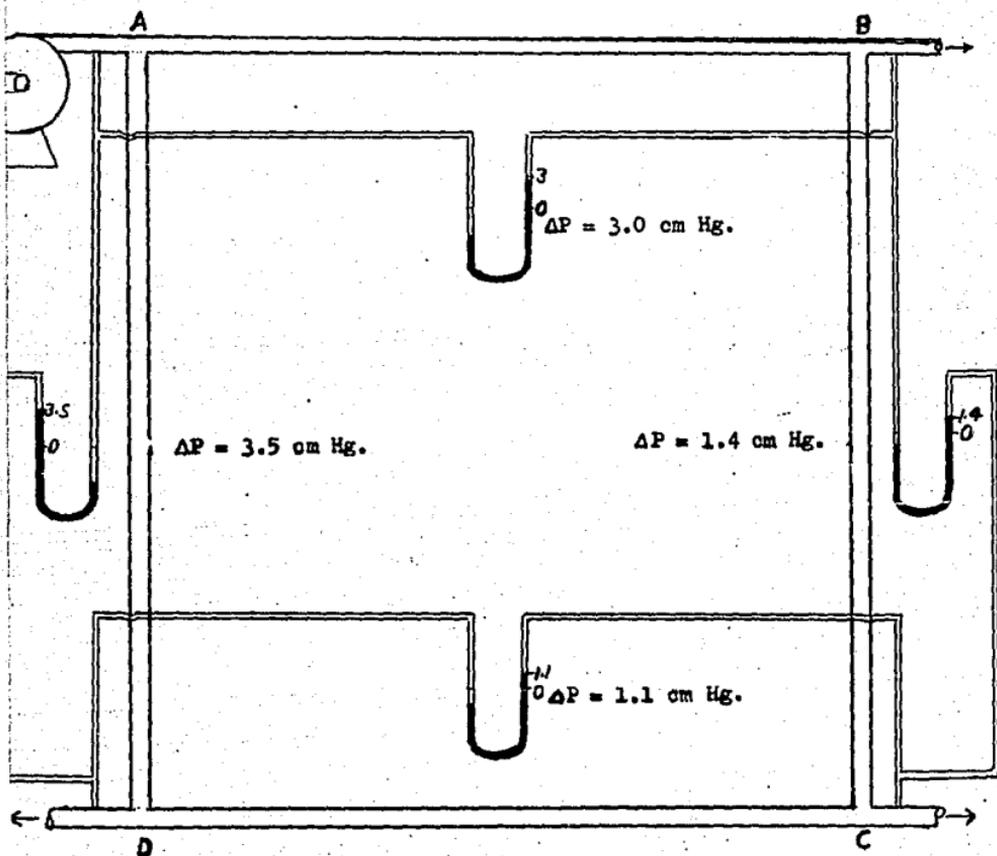
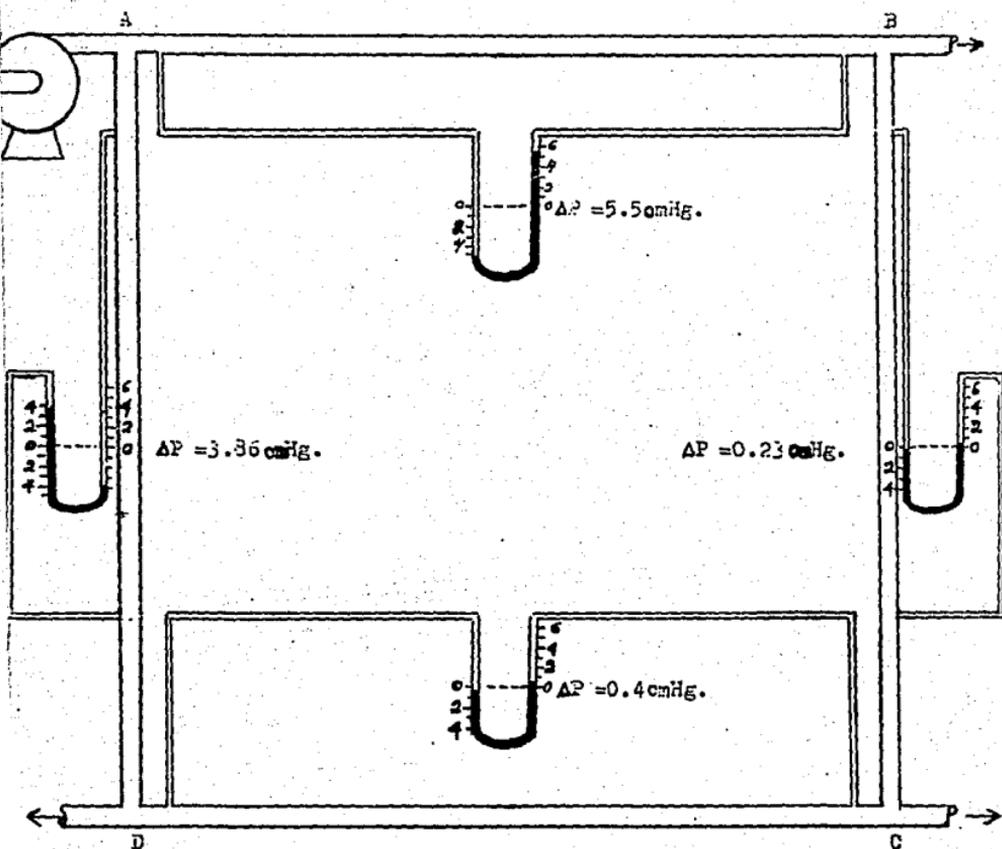


FIGURA (2.2).

Forma B:

El primer manómetro se encuentra entre el nudo A de la entrada y el nudo B, el segundo entre el nudo B y el nudo C, el tercero entre el nudo C y el nudo D y el cuarto entre el nudo D y el nudo A como se muestra en la figura (2.3).



FIGUR. 2.3

Al comparar los valores de ΔP se observó que son menores los valores de ΔP encontrados en la forma A que los encontrados en la forma B esto es debido a la pérdida de presión que sufre el fluido al pasar por las "Tés" en los nudos de la malla.

Para mostrar que los tramos de tubería A-B y A-D conectados a la entrada del fluido tienen el caudal idéntico y los tramos B-C y C-D también tienen idéntico el caudal, trabajamos con nueve manómetros colocados como se muestra en la figura (2.4).

2.4.- Dirección del fluido:

En cuanto a la dirección del fluido se experimentó con dos diferentes accesorios; Tés y codos de Rincón en los nudos de la malla.

Con tés la dirección del fluido se esperaba en el sentido de las manecillas del reloj, éste arreglo no cumple con la hipótesis de trabajo es decir que el caudal $A-B > B-C > C-D > D-A$.

Con codos de Rincón la distribución del fluido en los ramales A-B y D-A tienen idéntico el caudal tabla (2.8).

2.5.- Instalación:

Con el propósito de disminuir el espacio ocupado por la malla se cambió la longitud de los tramos de tubería de dos metros a un metro, con éste cambio se observó que el ΔP disminuye y el fluido cambia de flujo turbulento a flujo laminar.

Al instalar el equipo en forma definitiva para la experimentación se cambió la altura de la malla de 1 metro a 2.20 metros esto con el propósito de que fuera más manejable para un número determinado de alumnos; ésta elevación nos provocó un flujo laminar; éste problema se corrigió conectando en la alimentación de la malla dos bombas de 1/2 HP con un arreglo en paralelo; como se muestra en la figura (2.5).

Valores de ΔP experimentales medidos con 9 manómetros de mercurio colocados simultáneamente en cada tramo de tuberías.

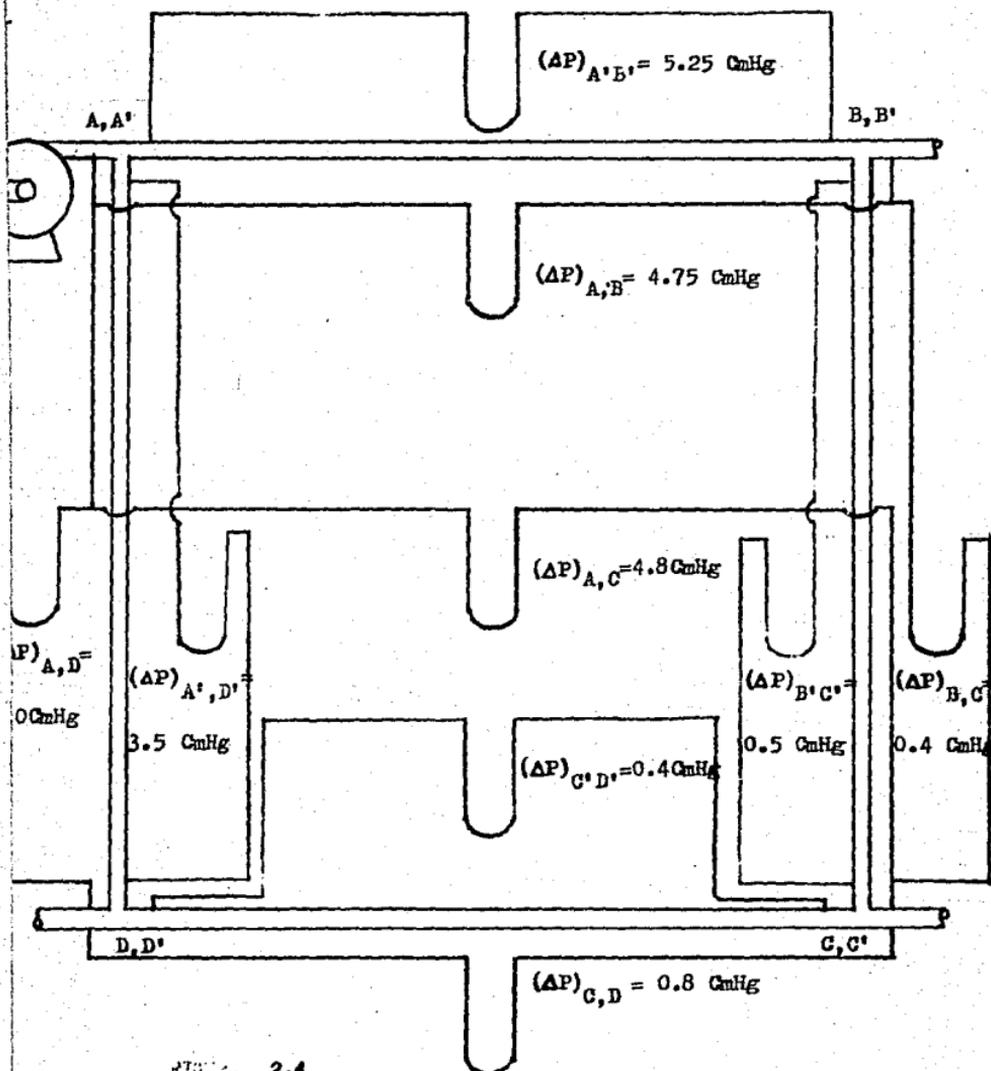


FIGURA 2.4

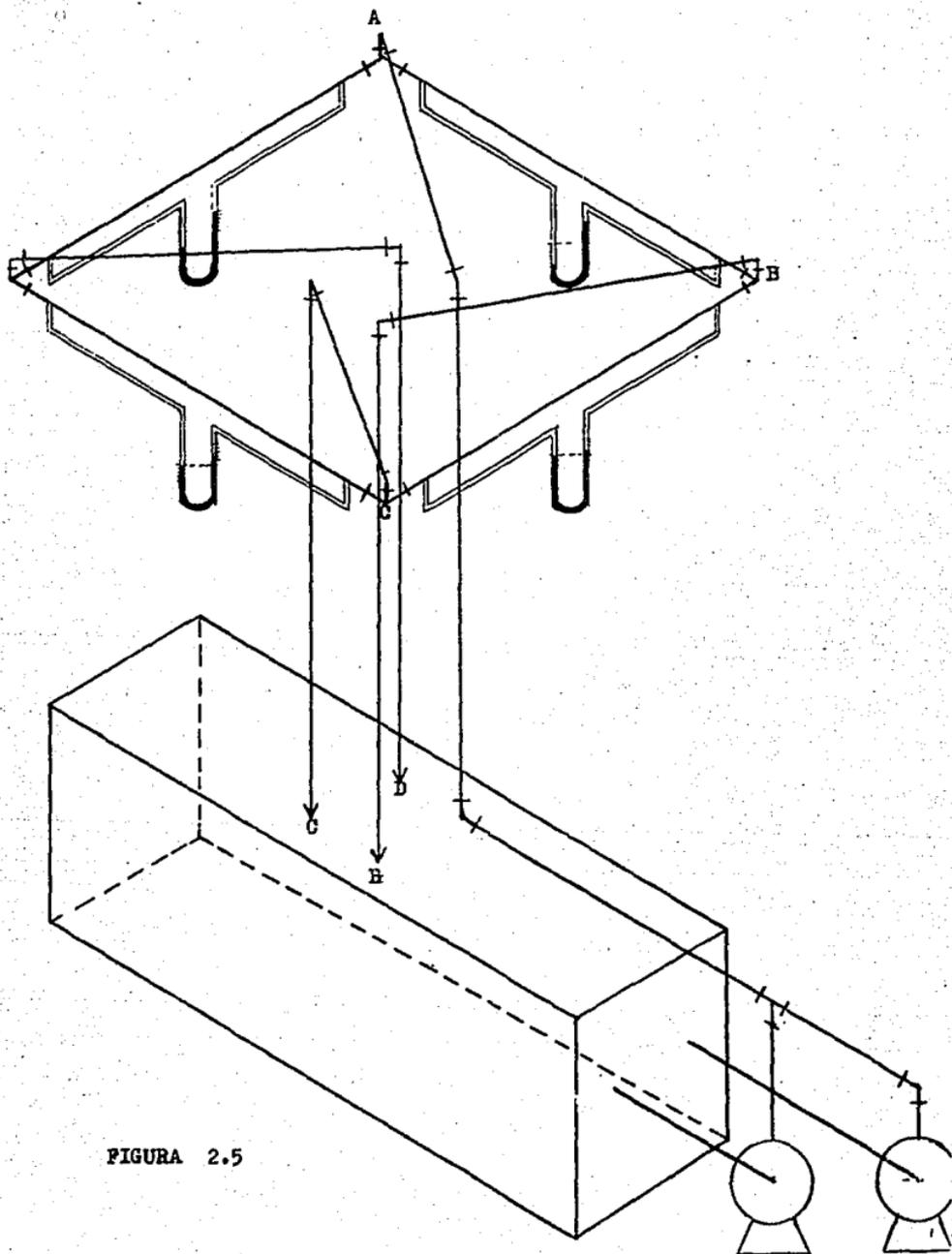


FIGURA 2.5

Para el cálculo de caudales en cada tramo de tubería se tomo como base de cálculo los valores de ΔP .

2.6.- Resultados experimentales:

Las tablas 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 y 2.5 corresponden a los resultados del trabajo preliminar que consistió en construir una malla con material otorgado por el laboratorio de Ingeniería Química; en seguida la conectamos a la red de agua del laboratorio; Al tomar lecturas de ΔP en diversos puntos de la malla encontramos inestabilidad en la presión, también observamos que era necesario más manómetros para tomar lecturas de ΔP en puntos adecuados así trabajamos con 1, 2, 3 y 4 manómetros y encontramos que 4 eran suficientes para determinar el ΔP en cada tramo de tubería de la malla; En la tabla 2.1 presentamos los valores de ΔP tomados con un manómetro de carátula tipo C de tubo Bourdon y en las siguientes tablas con manómetro diferencial tipo U con mercurio como líquido manométrico.

TABLA 2.1

CON UN MANOMETRO DE CARATULA TIPO C DE TUBO BOURDON
LA MALLA ESTA CONECTADA A LA RED DE AGUA DEL L.I.Q.

| TRAMO | ΔP | ΔP | $\Sigma F/M$ | $\frac{\Sigma F/M}{L}$ | Ca_1 | Ca_2 | Ca_3 |
|-------|------------|-------------------|--------------|------------------------|-------------------|------------|--|
| | promedio | | | | Hazen Williams | Von Karman | Hardy Cross |
| | Cm.Hg. | Kg/m ² | Kgm/Kg | Kgm/Kgm | 1/s | 1/s | 1/s |
| A-B | 25.85 | 3515.50 | 3.5155 | 1.7577 | 0.57364 | 0.45776 | ^{A-B} 0.830169 |
| A-C | 31.02 | 4218.60 | 4.2186 | 2.1093 | 0.63300 | 0.54637 | ^{B-C} 0.133269 |
| A-D | 27.92 | 3796.74 | 3.7967 | 1.8983 | 0.59792 | 0.47572 | ^{C-D} 0.269830 ^{D-A} 0.784230 |

TABLA 2.2
 CON UN MANOMETRO DIFERENCIAL TIPO U
 LA MALLA ESTA CONECTADA A LA RED DE AGUA DEL L.I.Q.

| TRAMO | ΔP | ΔP | $\frac{\Sigma F}{M}$ | $\frac{\Sigma F}{M}$ | C_{a_1} | C_{a_2} | C_{a_3} |
|-------|------------|-------------------|----------------------|----------------------|-------------------|------------|-----------------|
| | promedio | | | | Hazen Williams | Von Karman | Hardy Cross |
| | cm.Hg. | kg/m ² | kgm/kg | kgm/kgm | l/s | l/s | l/s |
| A-B | 9.03 | 1227.62 | 1.2276 | 0.2276 | 0.3250 | 0.40506 | A-B 0.830169 |
| A-C | 8.25 | 1121.17 | 1.1211 | 0.5605 | 0.3094 | 0.37993 | B-C 0.133269 |
| A-D | 6.46 | 878.72 | 0.8787 | 0.4393 | 0.2713 | 0.33318 | C-D 0.269630 |
| | | | | | | | D-A 0.784230 |

TABLA 2.3
 CON DOS MANOMETROS DIFERENCIALES TIPO U
 LA MALLA ESTA CONECTADA A LA RED DE AGUA DEL L.I.Q.

| TRAMO | ΔP | ΔP | $\frac{\Sigma F}{M}$ | $\frac{\Sigma F}{M}$ | C_{a_1} | C_{a_2} | C_{a_3} |
|-------|------------|-------------------|----------------------|----------------------|-------------------|------------|-----------------|
| | promedio | | | | Hazen Williams | Von Karman | Hardy Cross |
| | cm.Hg. | kg/m ² | kgm/kg | kgm/kgm | l/s | l/s | l/s |
| A-B | 10.50 | 1426.95 | 1.4269 | 0.7134 | 0.35252 | 0.40840 | A-B 0.830169 |
| A-C | 10.40 | 1413.36 | 1.4133 | 0.7066 | 0.35071 | 0.41047 | B-C 0.133269 |
| A-D | 10.00 | 1359.00 | 1.3590 | 0.6795 | 0.34336 | 0.40329 | C-D 0.269630 |
| | | | | | | | D-A 0.784230 |

TABLA 2.4
CON TRES MANOMETROS DIFERENCIALES TIPO U
LA MALLA ESTA CONECTADA A LA RED DE AGUA DEL L.I.Q.

| TRAMO | ΔP | ΔP | $\Sigma F/M$ | $\frac{\Sigma F/M}{L}$ | Ca_1 | Ca_2 | Ca_3 |
|-------|------------|-------------------|--------------|------------------------|-------------------|------------|--|
| | promedio | | | | Hazen Williams | Von Karman | Hardy Cross |
| | cm.Hg. | kg/m ² | kgm/kg | kgm/kgm | 1/s | 1/s | 1/s |
| A-B | 10.50 | 1426.95 | 1.4269 | 0.7134 | 0.35252 | 0.41083 | 0.830169 ^{A-B} |
| A-C | 11.06 | 1503.86 | 1.5038 | 0.7519 | 0.36266 | 0.42258 | 0.133269 ^{B-C} |
| A-D | 10.30 | 1399.77 | 1.3997 | 0.6998 | 0.34888 | 0.40850 | 0.269630 ^{C-D} 0.784230 ^{A-D} |

TABLA 2.5
CON TRES MANOMETROS DIFERENCIALES TIPO U Y LA MALLA ESTA
CONECTADA A TRAVES DE UNA BOMBA DE 1/2 HP A UN DEPOSITO DE AGUA

| TRAMO | ΔP | ΔP | $\Sigma F/M$ | $\frac{\Sigma F/M}{L}$ | Ca_1 | Ca_2 | Ca_3 |
|-------|------------|-------------------|--------------|------------------------|-------------------|------------|--|
| | promedio | | | | Hazen Williams | Von Karman | Hardy Cross |
| | cm.Hg. | kg/m ² | kgm/kg | kgm/kgm | 1/s | 1/s | 1/s |
| A-B | 2.90 | 394.11 | 0.3941 | 0.1970 | 0.17597 | 0.20825 | 0.54127 ^{A-B} |
| A-C | 4.25 | 577.57 | 0.5775 | 0.2887 | 0.21631 | 0.25815 | 0.06597 ^{B-C} |
| A-D | 3.60 | 489.24 | 0.4892 | 0.2446 | 0.19776 | 0.23676 | 0.22059 ^{C-D} 0.48961 ^{D-A} |

En las tablas 2.6 y 2.7 presentamos los resultados al trabajar con 4 manómetros; En la tabla 2.6 están distribuidos como muestra la figura 2.2 y en la tabla 2.7 están distribuidos como muestra la figura 2.3, para compensar la inexactitud de la presión de la red de agua del laboratorio -

hicimos la alimentación del caudal a través de una bomba de 1/2 HP de potencia.

TABLA 2.6

CON CUATRO MANOMETROS DIFERENCIALES TIPO U Y LA MALLA ESTA CONECTADA A TRAVES DE UNA BOMBA DE 1/2 HP A UN DEPOSITO DE AGUA.

| TRAMO | ΔP | ΔP | $\Sigma F/M$ | $\frac{\Sigma F/M}{L}$ | Ca_1 | Ca_2 | Ca_3 |
|-------|------------|------------|---------------------|------------------------|-------------------|------------|-------------|
| | promedio | | | | Hazen Williams | Von Karman | Hardy Cross |
| | cm.Hg. | kg/m^2 | $\overline{kgm/kg}$ | $\overline{kgm/kgm}$ | 1/s | 1/s | 1/s |
| A-B | 3.00 | 407.70 | 0.4077 | 0.2038 | 0.17922 | 0.21614 | 0.54127 |
| B-C | 1.40 | 190.26 | 0.1902 | 0.0951 | 0.11875 | 0.14469 | 0.06597 |
| C-D | 1.10 | 149.49 | 0.1494 | 0.0747 | 0.10425 | 0.12800 | 0.22069 |
| D-A | 3.50 | 475.65 | 0.4756 | 0.2378 | 0.19478 | 0.23345 | 0.48961 |

TABLA 2.7

CON CUATRO MANOMETROS DIFERENCIALES TIPO U Y LA MALLA ESTA CONECTADA A TRAVES DE UNA BOMBA DE 1/2 HP A UN DEPOSITO DE AGUA.

| TRAMO | ΔP | ΔP | $\Sigma F/M$ | $\frac{\Sigma F/M}{L}$ | Ca_1 | Ca_2 | Ca_3 |
|-------|------------|------------|---------------------|------------------------|-------------------|------------|-------------|
| | promedio | | | | Hazen Williams | Von Karman | Hardy Cross |
| | cm.Hg. | kg/m^2 | $\overline{kgm/kg}$ | $\overline{kgm/kgm}$ | 1/s | 1/s | 1/s |
| A-B | 5.50 | 747.45 | 0.7474 | 0.3737 | 0.24862 | 0.29850 | 0.54118 |
| B-C | 0.23 | 31.70 | 0.0317 | 0.0158 | 0.04512 | 0.06136 | 0.06590 |
| C-D | 0.40 | 54.36 | 0.0543 | 0.0271 | 0.06037 | 0.07339 | 0.22074 |
| D-A | 3.86 | 525.47 | 0.5254 | 0.2627 | 0.20554 | 0.24538 | 0.48963 |

En la tabla 2.8 presentamos los resultados al trabajar con un cambio en los nudos de la malla.

En los nudos de la malla cambiamos las tés por codos de Rincón, esto hace que la distribución del fluido sea igual en el tramo de tubería A-B y el tramo D-A.

Los 4 manómetros tipo U están conectados cómo muestra - la figura (2.3).

La alimentación del caudal en la malla es a través de - una bomba de 1/2 HP de potencia.

TABLA 2.8

CON CUATRO MANOMETROS DIFERENCIALES TIPO U Y LA MALLA ESTA CONECTADA A TRAVES DE UNA BOMBA DE 1/2 HP A UN DEPOSITO DE AGUA.

| TRAMO | ΔP promedio cm.Hg. | ΔP kg/m ² | $\Sigma P/M$ kgm/kg | $\frac{\Sigma P/M}{L}$ kgm/kgm | Ca_1 Hazen Williams l/s | Ca_2 Von Karman l/s | Ca_3 Hardy Cross l/s |
|-------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| A-B | 4.16 | 565.34 | 0.5653 | 0.2826 | 0.21382 | 0.25452 | 0.451899 |
| B-C | 0.40 | 54.36 | 0.0543 | 0.0271 | 0.06037 | 0.07260 | 0.119799 |
| C-D | 0.50 | 67.95 | 0.0679 | 0.0339 | 0.06810 | 0.08294 | 0.169500 |
| D-A | 3.30 | 448.47 | 0.4484 | 0.2242 | 0.18869 | 0.22669 | 0.432500 |

APLICACION DE LOS METODOS DE CALCULO DE CAUDALES
EN LA MALLA DEL EQUIPO DISEÑADO

2.5.- Presentamos la aplicación de la ecuación de Hazen - Williams, la grafica de las ecuaciones de Von Karman y el método de Hardy Cross en el cálculo de caudales de cada tramo de tubería en la malla del equipo diseñado.

2.5.2.- La ecuación de Hazen-Williams, y la grafica de las ecuaciones de Von Karman utilizan como base de cálculo los valores de ΔP encontrados en cada tramo de tubería.

2.5.3.- En el método de Hardy Cross se requiere para su aplicación los valores de los caudales de la entrada de la malla y el caudal de las tres salidas de la malla como se muestra en la tabla (2.10).

2.5.4.- A continuación se describe el desarrollo de los cálculos en la malla del equipo diseñado.

2.5.5.- Descripción del equipo.

La alimentación es a través de dos bombas de 1/2 HP de potencia con un arreglo en paralelo y los accesorios son: La tubería es de 1/2 pulgada de diametro nominal, los nudos de la malla tienen codos de Rincón y el caudal es agua a 20°C, las lecturas de ΔP son obtenidas con 4 manómetros diferenciales - tipo U y los valores de ΔP , $\Sigma F/M$, $\Sigma F/M/L$ se presentan en la tabla siguiente.

TABLA (2.9)

| TRAMO | ΔP Cm.Hg. | ΔP Kg/m ² | $\Sigma F/M$ Kg/Kg | $\Sigma F/M$ Kg/Kg |
|-------|----------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| A-B | 3.00 | 407.70 | 0.4077 | 0.2038 |
| B-C | 0.43 | 58.43 | 0.0584 | 0.0292 |
| C-D | 0.90 | 122.31 | 0.1223 | 0.0611 |
| D-A | 4.00 | 543.60 | 0.5436 | 0.2718 |

Determinación de caudales en los cuatro tramos de la malla del equipo diseñado por medio de la ecuación de Hazen-Williams.

$$C_a = 0.2786 C D^{2.63} \frac{V/M}{L}^{0.54}$$

$$\begin{aligned} \text{A-B } C_a &= 0.2786(130)(0.01332)^{2.63}(0.20385)^{0.54} \\ &= 1.79224 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = 0.179224 \frac{\text{l}}{\text{s}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{B-C } C_a &= 0.2786(130)(0.01332)^{2.63}(0.0292185)^{0.54} \\ &= 6.27805 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = 0.0627805 \frac{\text{l}}{\text{s}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{C-D } C_a &= 0.2786(130)(0.01332)^{2.63}(0.061155)^{0.54} \\ &= 9.35499 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = 0.0935499 \frac{\text{l}}{\text{s}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{D-A } C_a &= 0.2786(130)(0.01332)^{2.63}(0.2718)^{0.54} \\ &= 2.09346 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = 0.209346 \frac{\text{l}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Resultados de caudales obtenidos con la ecuación de Hazen Williams en la malla del equipo diseñado.

| TRAMO | Caudal l/s |
|-------|------------|
| A-B | 0.179224 |
| B-C | 0.062780 |
| C-D | 0.093549 |
| D-A | 0.209346 |

Determinación de caudales en los cuatro tramos de tubería de la malla del equipo diseñado por medio de la gráfica de Von Karman.

A - B

$$\text{NRe} \sqrt{f} = \frac{D \rho}{\mu} \sqrt{2gc \frac{D}{L} \frac{\Sigma F}{M}}$$

$$\text{NRe} \sqrt{f} = \frac{0.0158(999)}{1.14 \times 10^{-3}} \sqrt{(2)(9.81) \frac{0.0158}{2} (0.4077)} = 3480.5759$$

$$\text{NRe} \sqrt{f} = 3.4805759 \times 10^3 \quad E/D = 0.009 \quad \frac{1}{\sqrt{f}} = 5.0$$

$$5.0 = \frac{u}{\sqrt{2(9.81) \frac{0.0158}{2} (0.4077)}} = \frac{u}{0.2513815}$$

$$u = 1.2569077 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \text{Ca} &= \frac{(3.1416)(1.2569077)(0.0158)^2}{4} = 2.46438 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \\ &= 2.46438 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{1000 \text{ l}}{\text{m}^3} = 0.2464384 \text{ l/s} \end{aligned}$$

B - C

$$\text{NRe} \sqrt{f} = 13845.789 \times \sqrt{2(9.81) \frac{0.0158}{2} (0.058437)} = 1317.7247$$

$$\text{NRe} \sqrt{f} = 1.3177247 \times 10^3 \quad E/D = 0.009 \quad \frac{1}{\sqrt{f}} = 4.565$$

$$4.565 = \frac{u}{\sqrt{2(9.81) \frac{0.0158}{2} (0.058437)}} = \frac{u}{0.0951715}$$

$$u = 0.4344578 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \text{Ca} &= \frac{(3.1416)(0.4344578)(0.0158)^2}{4} = 8.51829 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \\ &= 8.51829 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{1000 \text{ l}}{\text{m}^3} = 0.0851829 \text{ l/s} \end{aligned}$$

C - D

$$NRe \sqrt{f} = 13845.789 \sqrt{2(9.81) \frac{0.0158}{2} (0.12231)} = 1.90638 \times 10^3$$

$$NRe \sqrt{f} = 1.90638 \times 10^3 \quad E/D = 0.009 \quad \frac{1}{\sqrt{f}} = 4.58$$

$$4.58 = \frac{u}{\sqrt{2(9.81) \frac{0.0158}{2} (0.12231)}} = \frac{u}{0.1376873}$$

$$u = 0.6306078 \text{ m/s}$$

$$Ca = \frac{3.1416(0.6306078)(0.0158)^2}{4} = 1.23641 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$= 1.23641 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{1000 \text{ l}}{\text{m}^3} = 0.1236415 \text{ l/s}$$

D - A

$$NRe \sqrt{f} = 13845.789 \sqrt{2(9.81) \frac{0.0158}{2} (0.5436)} = 4019.0228$$

$$NRe \sqrt{f} = 4.019022 \times 10^3 \quad E/D = 0.009 \quad \frac{1}{\sqrt{f}} = 5.05$$

$$5.05 = \frac{u}{\sqrt{2(9.81) \frac{0.0158}{2} (0.5436)}} = \frac{u}{0.2902704}$$

$$u = 1.4658655 \text{ m/s}$$

$$Ca = \frac{(3.1416)(1.465865)(0.0158)^2}{4} = 2.87408 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$= 2.87408 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = 0.2874082 \text{ l/s}$$

Resultados de caudales obtenidos con la ayuda de la gráfica de Von Karman en la malla del equipo diseñado.

| TRAMO | CAUDAL l/s |
|-------|------------|
| A-B | 0.24643 |
| B-C | 0.08518 |
| C-D | 0.12364 |
| D-A | 0.28740 |

El método de Hardy Cross requiere para su aplicación los valores de los caudales en la entrada de la malla y el de las tres salidas de la malla estos valores los presentamos en la siguiente tabla que son los valores encontrados en la malla - del equipo diseñado.

Valores de caudales observados en el equipo de experimentación. La alimentación es a través de dos bombas de 1/2 HP - en paralelo y los accesorios de la malla son: Tramos de tubo de 1/2 pulgada, unidos con codos de Rincón y el caudal es agua a una temperatura de 20°C.

TABLA 2.10

| Salida | Tiempo | Volúmen | Caudal | Caudal promedio |
|--------|--------|---------|--------|-----------------|
| | s | l | l/s | l/s |
| B | 8.45 | 1.870 | 0.2213 | 0.2238 |
| | 8.33 | 1.865 | 0.2238 | |
| | 8.21 | 1.860 | 0.2265 | |
| C | 7.94 | 1.820 | 0.2292 | 0.2298 |
| | 7.99 | 1.840 | 0.2302 | |
| | 7.65 | 1.760 | 0.2300 | |
| D | 7.43 | 1.960 | 0.2637 | 0.2634 |
| | 7.36 | 1.940 | 0.2635 | |
| | 7.30 | 1.920 | 0.2630 | |

Determinación de caudales en los cuatro tramos de la malla por medio del método de Hardy Cross en la malla del equipo diseñado.

METODO DE HARDY CROSS

1.- Planteamiento:

1.1.- Discusión

Para resolver la malla se requiere la aplicación de las leyes de las redes.

$$\sum \left(\frac{IF}{R} \right) = 0$$

$$\left(\frac{IF}{R} \right) = 10.643 \left(\frac{Ca}{C} \right)^{1.852} \left(\frac{1}{D} \right)^{4.87}$$

Para cada tubería.

Ca entrante = Ca saliente para cada nudo.

1.2.- Caudales.

$$\text{Nudo A} \quad Ca_{AD} = Ca_A + Ca_{AB}$$

$$\text{Nudo B} \quad Ca_{AB} = Ca_{BC} + Ca_B$$

$$\text{Nudo C} \quad Ca_{CD} = Ca_{BC} + Ca_C$$

$$\text{Nudo D} \quad Ca_D = Ca_{AD} + Ca_{DC}$$

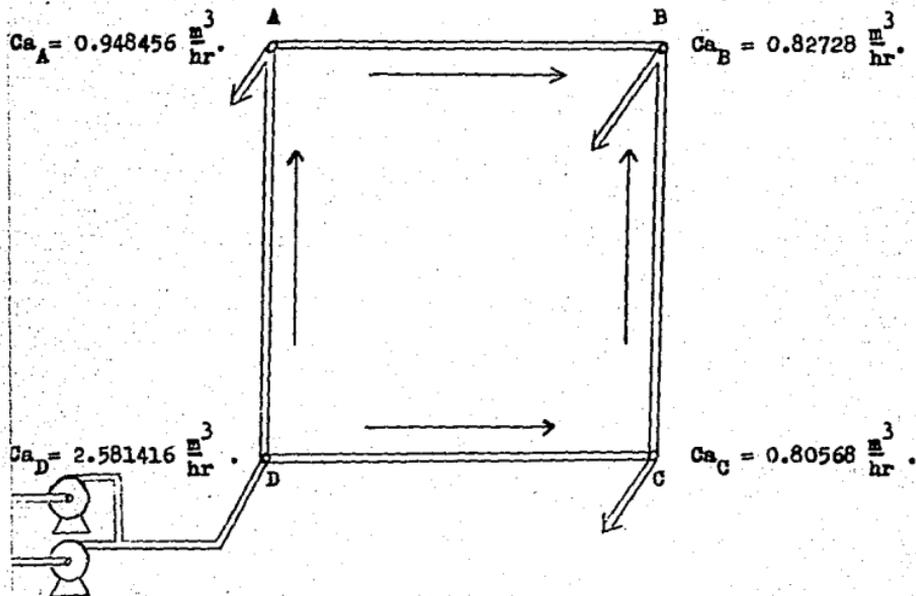
Para la malla

$$\Delta Ca = \frac{-\sum \left(\frac{IF}{R} \right)}{1.85 \sum \left(\frac{IF}{Ca} \right)}$$

$$Ca_{I+1} = Ca_I + \Delta Ca$$

2.- Cálculos

2.1.- Primer tanteo.



Suponiendo $Ca_{AB} = 0.7295523 \text{ m}^3/\text{hr}$.

$$\text{Nudo A } Ca_{AB} = 0.948456 \text{ m}^3/\text{hr} + 0.7295523 \text{ m}^3/\text{hr} = 1.6780083 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Nudo B } 0.7295523 + Ca_{BC} = 0.82728 \dots Ca_{BC} = 0.0977277 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Nudo C } Ca_{CD} = 0.0977277 \text{ m}^3/\text{hr} + 0.80568 \text{ m}^3/\text{hr} = 0.9034077 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Nudo D } 2.581416 = 1.6780083 + 0.9034077 = 2.581416$$

$$\dots Ca_{AB} = 2.02653 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}; Ca_{BC} = 2.71465 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Ca_{CD} = 2.50946 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}; Ca_{AD} = 4.66113 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Sea $C = 130$

$$\left(\frac{\Sigma F}{M}\right)_{AB} = 10.643 \left(\frac{2.02653 \times 10^{-4}}{130}\right)^{1.852} \left(\frac{1}{0.0158}\right)^{4.87} \times 2 = 0.2216746 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg}}$$

$$\left(\frac{\Sigma F}{M}\right)_{BC} = 10.643 \left(\frac{2.71465 \times 10^{-5}}{130}\right)^{1.852} \left(\frac{1}{0.0158}\right)^{4.87} \times 2 = 5.35607 \times 10^{-3} \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg}}$$

$$\left(\frac{\Sigma F}{M}\right)_{CD} = 10.643 \left(\frac{2.50946 \times 10^{-4}}{130}\right)^{1.852} \left(\frac{1}{0.0158}\right)^{4.87} \times 2 = 0.3293305 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg}}$$

$$\left(\frac{\Sigma F}{M}\right)_{AD} = 10.643 \left(\frac{4.66113 \times 10^{-4}}{130}\right)^{1.852} \left(\frac{1}{0.0158}\right)^{4.87} \times 2 = 1.0367047 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg}}$$

Dando como positivo el sentido de las manecillas del reloj.

$$\sum \left(\frac{\Sigma F}{M}\right) = 0.2216746 - 5.35607 \times 10^{-3} - 0.3293305 + 1.0367047 = 0.9236928 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg}}$$

$$\left(\frac{\Sigma F}{Ca}\right) = \frac{0.2216746}{2.02653 \times 10^{-4}} + \frac{-5.35607 \times 10^{-3}}{-2.71465 \times 10^{-5}} + \frac{-0.3293305}{-2.50946 \times 10^{-4}} + \frac{1.0367047}{4.66113 \times 10^{-4}} =$$

4827.6701

$$\Delta Ca = \frac{-(0.9236928)}{1.85 (4827.6701)} = -1.03423 \times 10^{-4}$$

2.- Segundo tanteo.

$$Ca_{AB} = (2.02653 \times 10^{-4}) + (-1.03423 \times 10^{-4}) = 9.923 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Ca_{BC} = (-2.71465 \times 10^{-5}) + (-1.03423 \times 10^{-4}) = 1.30569 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Ca_{CD} = (-2.50946 \times 10^{-4}) + (-1.03423 \times 10^{-4}) = 3.54369 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Ca_{AD} = (4.66113 \times 10^{-4}) + (-1.03423 \times 10^{-4}) = 3.6269 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\left(\frac{\Sigma F}{H}\right)_{AB} = 10.643 \left(\frac{9.923 \times 10^{-5}}{130}\right)^{1.852} \left(\frac{1}{0.0158}\right)^{4.87} \times 2 = 0.0590734 \frac{\text{Kgm}}{\text{Kg}}$$

$$\left(\frac{\Sigma F}{H}\right)_{BC} = 10.643 \left(\frac{1.30569 \times 10^{-4}}{130}\right)^{1.852} \left(\frac{1}{0.0158}\right)^{4.87} \times 2 = 0.0982076 \frac{\text{Kgm}}{\text{Kg}}$$

$$\left(\frac{\Sigma F}{H}\right)_{CD} = 10.643 \left(\frac{3.54369 \times 10^{-4}}{130}\right)^{1.852} \left(\frac{1}{0.0158}\right)^{4.87} \times 2 = 0.624024 \frac{\text{Kgm}}{\text{Kg}}$$

$$\left(\frac{\Sigma F}{H}\right)_{AD} = 10.643 \left(\frac{3.6269 \times 10^{-4}}{130}\right)^{1.852} \left(\frac{1}{0.0158}\right)^{4.87} \times 2 = 0.6514322 \frac{\text{Kgm}}{\text{Kg}}$$

$$\Sigma \left(\frac{\Sigma F}{H}\right) = 0.0590734 - 0.0982076 - 0.624024 + 0.6514322 = -0.011726$$

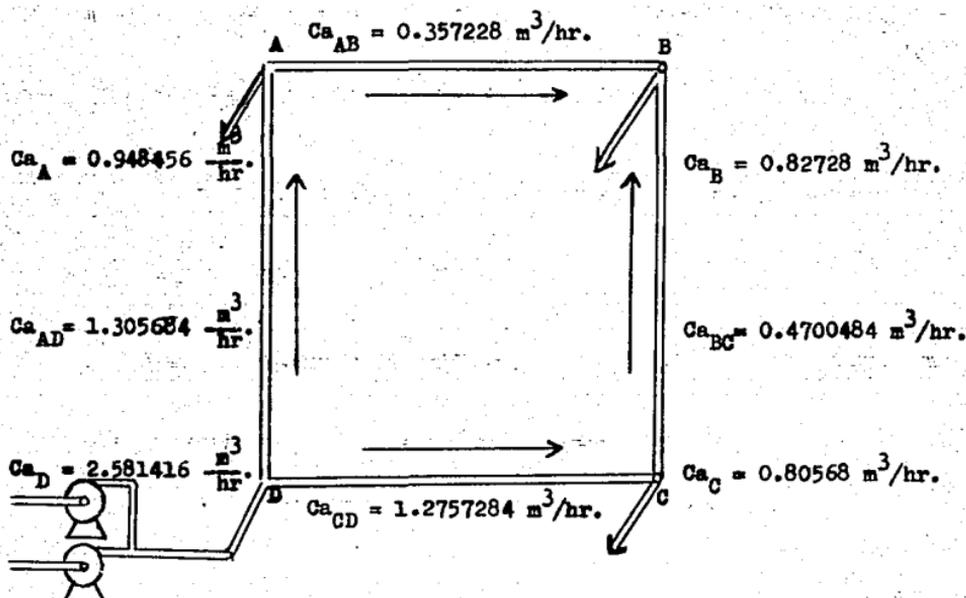
$$\left(\frac{\Sigma F}{Ca}\right) = \frac{0.0590734}{9.923 \times 10^{-5}} + \frac{-0.0982076}{-1.30569 \times 10^{-4}} + \frac{-0.624024}{-3.54369 \times 10^{-4}} + \frac{0.6514322}{3.6269 \times 10^{-4}} =$$

4904.5259

$$\Delta Ca = -\left(\frac{-0.011726}{1.85 (4904.5259)}\right) = 1.29235 \times 10^{-6}$$

Por lo tanto los caudales son los calculados.

3.- Resultados



Resultados de caudales obtenidos con el método de Hardy Cross en la malla del equipo diseñado.

| TRAMO | CAUDAL l/s |
|-------|------------|
| A-B | 0.354369 |
| B-C | 0.130569 |
| C-D | 0.099230 |
| A-D | 0.362690 |

**COMPROBACION DE RESULTADOS
DEL METODO DE HARDY CROSS**

En la comprobación de resultados de caudales obtenidos con el método de Hardy Cross en la malla del equipo diseñado - se debe de cumplir con el principio de la conservación de la - materia, en cada uno de los nudos de la malla.

Ademas se debe de cumplir con las tres leyes siguientes:

A).- Ley de la pérdida de carga. En cada tubería deberá - cumplirse.

$$\frac{fP}{M} = f_D \frac{u^2 (L+L_e)}{2gCD}$$

Para facilitar los cálculos se acostumbra poner la - ecuación de otra forma, de manera que

$$Ca = (fP/M)$$

B).- Ley de los nudos. El caudal que entra en un nudo de - be ser igual a los caudales que salen del mismo.

C).- Ley de las mallas. La suma algebraica de las pérdi - das de carga en la malla deberá ser igual a cero.

$$\frac{\sum fP}{M} = 0$$

Realizando un balance de materia en cada nudo de la malla encontramos los siguientes resultados.

Para el nudo A.

$$Ca_A = Ca_{AB} + Ca_{AD}$$

$$2.581416 \text{ m}^3/\text{hr} = 1.275728 \text{ m}^3/\text{hr} + 1.305684 \text{ m}^3/\text{hr}.$$

Para el nudo B.

$$Ca_{AB} = Ca_C + Ca_{BC}$$

$$1.2757284 \text{ m}^3/\text{hr} = 0.80568 \text{ m}^3/\text{hr} + 0.4700484 \text{ m}^3/\text{hr}.$$

Para el nudo C.

$$Ca_C = Ca_{BC} + Ca_{CD}$$

$$0.82728 \text{ m}^3/\text{hr} = 0.4700484 \text{ m}^3/\text{hr} + 0.357228 \text{ m}^3/\text{hr}.$$

Para el mudo D

$$Ca_{AD} = Ca_D + Ca_{CD}$$

$$1.305684 \text{ m}^3/\text{hr} = 0.948456 \text{ m}^3/\text{hr} + 0.357228 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Con lo que se cumple con el principio de la conservación de la materia.

La ley de las mallas se cumplen al observar que

$$Ca = \varphi(\Sigma F/M).$$

y tambien se observa que $(\Sigma F/M) = 0$

A continuación se presenta la tabla 2.11 que resume todos los resultados obtenidos en la malla del equipo diseñado.

TABLA 2.11

| TRAMO | ΔP promedio cm.Hg. | ΔP kg/m^2 | $\Sigma F/M$ $\vec{\text{kgm/kg}}$ | $\frac{\Sigma F/M}{L}$ $\vec{\text{kgm/kgm}}$ | Ca_1 Hazen Williams 1/s | Ca_2 Von Karman 1/s | Ca_3 Hardy Cross 1/s |
|-------|----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|--|------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| A-B | 3.00 | 407.70 | 0.4077 | 0.2038 | 0.17922 | 0.24643 | 0.354369 |
| B-C | 0.43 | 58.43 | 0.0584 | 0.0292 | 0.06278 | 0.08518 | 0.130569 |
| C-D | 0.90 | 122.31 | 0.1223 | 0.0611 | 0.09354 | 0.12364 | 0.099230 |
| A-D | 4.00 | 543.60 | 0.5436 | 0.2718 | 0.20934 | 0.28740 | 0.362690 |

ANALISIS DE LOS RESULTADOS DEL CALCULO DE CAUDALES DE LAS 5 TABLAS PRELIMINARES

3.1.1.- Al hacer un análisis de los resultados de las pruebas preliminares encontramos lo siguiente:

3.1.2.- En la tabla 2.1 se observó que los resultados obtenidos en base a las lecturas de ΔP tomadas con un manómetro de carátula tipo C de tubo Bourdon son aproximadamente el triple de los valores encontrados con manómetro diferencial tipo U además encontramos que para nuestras condiciones de operación el manómetro de carátula tipo C de tubo Bourdon no es útil ya que presenta inestabilidad en determinada lectura; Para el cálculo de caudales en cada tramo de tubería se tomo como base de cálculo los valores de ΔP ; Los caudales obtenidos con la ecuación de Hazen-Williams tienen un aumento del 120% con relación a los valores de los caudales de las salidas de la malla de experimentación; y los caudales obtenidos con el método de Von Karman tienen un aumento del 105 % con relación a los valores de los caudales de las salidas de la malla.

La alimentación de la malla es a través de una valvula de la red de agua del laboratorio.

3.1.3.- En las tablas 2.2, 2.3, 2.4 y 2.5 las lecturas de ΔP fueron tomadas con manómetros diferenciales tipo U colocados como muestra la figura 2.1 .

Para el cálculo de caudales en cada tramo de tubería se tomo como base de cálculo los valores de ΔP .

Los caudales obtenidos con la ecuación de Hazen-Williams tienen un acercamiento del 68 % con relación a los valores de los caudales de las salidas de la malla de experimentación.

Los caudales obtenidos con el método de Von Karman tienen un acercamiento del 77 % con relación a los valores de los caudales de las salidas de la malla de experimentación.

Los caudales obtenidos con el método de Hardy Cross no pueden ser relacionados con los valores de los caudales de las salidas de la malla por ser caudales de cada tramo de tubería de la malla de experimentación.

La alimentación de la malla es a través de una válvula de la red de agua del laboratorio.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL CÁLCULO DE CAUDALES EN LAS TABLAS 2.6, 2.7 Y 2.8

3.2.1.- En el análisis de los resultados de las tablas 2.6, 2.7 y 2.8 donde se trabajó la malla conectada a través de una bomba de 1/2 HP a un depósito de agua, se encontró que los valores de los caudales calculados con la ecuación de Hazen-Williams, con el método de Von Karman y con el método de Hardy Cross al aplicar el principio de la conservación de la materia en cada nudo de la malla de experimentación, el método de Hardy Cross cumple en un 100 %, el método de Von Karman en un 65 % y el de la ecuación de Hazen-Williams en un 45 %.

3.2.2.- También se observó que la hipótesis del comportamiento del fluido propuesta en la que se supone que A-B)B-C)C-D)D-A no se cumple y el comportamiento del fluido en la malla es el siguiente; A-B)A-D)C-D)B-C éste comportamiento se manifiesta en la malla que en los nudos tiene térs y en la malla que en los nudos tiene codos de Rincón el comportamiento es el siguiente A-D)A-B)B-C)C-D.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL CÁLCULO DE CAUDALES OBTENIDOS EN LA MALLA DEL EQUIPO DISEÑADO.

3.3.1.- En el análisis de los resultados de la tabla 2.11 donde se trabajó en la malla del equipo diseñado se encontró que los valores de los caudales calculados con la ecuación de Hazen-Williams, con el método de Von Karman y con el método de

Hardy Cross al aplicar el principio de la conservación de la materia en cada nudo de la malla del equipo de experimentación el método de Hardy Cross cumple en un 100 % con el principio, el método de Von Karman en un 85 % y el de la ecuación de Hazen-Williams en un 63 %.

También se observó que la hipótesis del comportamiento del fluido propuesta en la que se esperaba que el fluido tendría el sentido del movimiento de las manecillas del reloj esto es que $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ no se cumple y el comportamiento del fluido en esta malla del equipo de experimentación que en los nudos tiene codos de Rincón el comportamiento del fluido es el siguiente: $A \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$.

**PROPUESTA DE UNA PRACTICA DE-FLUJO DE FLUIDOS
EN LA MALLA DEL EQUIPO DISEÑADO.**

El objetivo es la determinación de los caudales en cada tramo de tubería de la malla de experimentación.

Tomando como base los valores de los resultados del cálculo de caudales en el método de Hardy Cross se presenta la siguiente propuesta de práctica de flujo de fluidos en la malla del equipo diseñado.

Sin embargo también se puede resolver a partir de una velocidad supuesta en base a las velocidades recomendadas por los fabricantes de tuberías esta velocidad permite determinar un NRe , E/D y f_D para poder utilizar la ecuación de Darcy's y calcular un valor de $\Delta P/\rho$ que debe ser idéntico al $\Delta P/\rho$ observado en cada tramo de tubería de la malla del equipo diseñado.

El desarrollo de esta práctica esta basada en la siguiente metodología.

1.- Suponiendo una velocidad en base a los resultados de los caudales obtenidos en el método de Hardy Cross encontramos un número de Reynolds.

$$NRe = \frac{D v \rho}{\mu}$$

2.- Relacionando el factor de rugosidad relativa E/D y el número de Reynolds; utilizando las gráficas de MOODY obtenemos un valor de factor de fricción f_D .

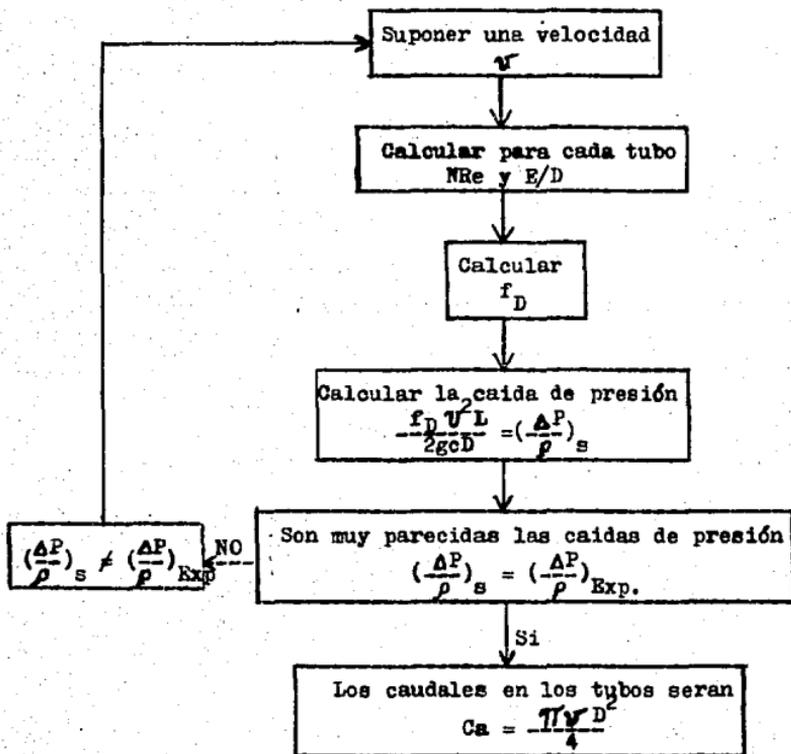
3.- Se aplica la ecuación de Darcy's para cada tramo de tubería de la malla de experimentación.

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{f_D v^2 L}{2g_c D}$$

El resultado correcto será el que más se acerque al $\frac{\Delta P}{\rho}$ observado en cada tramo de tubería de la malla del equipo diseñado.

Los valores supuestos serán marcados con un asterisco.

Sucesión de pasos para encontrar el caudal en cada uno de los tramos de tubería de la malla de experimentación.



Los valores de $\Delta P/\rho$ obtenidos en la malla de experimentación del equipo diseñado son:

| TRAMO | $(\Delta P/\rho)_{Exp.}$ |
|-------|--------------------------|
| A-B | 0.407700 Kgm/Kg |
| B-C | 0.058437 Kgm/Kg |
| C-D | 0.122310 Kgm/Kg |
| D-A | 0.543600 Kgm/Kg |

Por una tubería de 1.58cm de diámetro interno fluye agua a una velocidad de 1.8073849 m/s a 20°C. Calcular el número de Reynolds.

$$NRe = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu}$$

$$\mu \text{ H}_2\text{O a } 20^\circ\text{C} = 1.005 \text{ CPS}$$

$$NRe = \frac{(0.0158)(1.8073849)(998.2)}{1.005 \times 10^{-3}} \quad \rho \text{ H}_2\text{O a } 20^\circ\text{C} = 998.2 \text{ Kg/m}^3$$

$$Di = 1.58 \text{ cm} = 0.0158 \text{ m.}$$

$$v = 1.8073849 \text{ m/s.}$$

$$g_c = 9.81 \text{ Kg m/Kg s}^2$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$NRe = 2.8363462 \times 10^4$$

El flujo en éste tramo A - B de la malla es turbulento - ya que tenemos un NRe 10 000.

El E/D es el factor de rugosidad relativa para acero comercial.

El f_D es el factor de fricción que es función de NRe y E/D .

Tenemos los siguientes valores $E/D = 0.009$ y $f_D = 0.041$ estos valores se encuentran en las gráficas 1-1 y 1-2.

Al aplicar esta velocidad obtenida con el método de Hardy Cross en la ecuación de Darcy's tenemos: Tramo A - B.

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{f_D v^2 L}{2g_c D} = \frac{(0.041)(1.8073849)^2(2)}{2(9.81)(0.0158)} = 0.8640901 \frac{\text{Kg m}}{\text{Kg}}$$

Segundo tanteo.

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{f_D v^2 L}{2g_c D} = \frac{(0.041)(1.5244359)^2(2)}{2(9.81)(0.0158)} = 0.6147182 \frac{\text{Kg m}}{\text{Kg}}$$

Después de haber supuesto varios valores de velocidades próximas al valor correcto encontramos que $\left(\frac{\Delta P}{\rho}\right)_{\text{Supuesto}} = \left(\frac{\Delta P}{\rho}\right)_{\text{Exp.}}$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{f_D v^2 L}{2g_c D} = \frac{(0.041)(1.2414869)^2(2)}{2(9.81)(0.0158)} = 0.4077012 \frac{\text{Kg m}}{\text{Kg}}$$

Para esta velocidad correcta tenemos un caudal de

$$Ca = \frac{\pi v D^2}{4} = \frac{(3.1416)(1.2414869)(0.0158)^2}{4}$$

$$= 2.43414 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} \times \frac{1000 l}{m^3} = 0.2434149 l/s$$

TRAMO B - C

Tenemos los siguientes valores de $E/D = 0.009$ y $f_D = 0.044$ estos valores se encuentran en las gráficas 1-1 y 1-2.

Al aplicar esta velocidad obtenida con el método de Hardy Cross en la ecuación de Darcy's tenemos: Tramo B - C.

Primer tanteo.

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{f_D v^2 L}{2gc D} = \frac{(0.044)(0.665939)^2(2)}{2(9.81)(0.0158)} = 0.1258909 \frac{Kg/m}{Kg}$$

Segundo tanteo.

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{(0.044)(0.55982)^2(2)}{2(9.81)(0.0158)} = 0.0889658 \frac{Kg/m}{Kg}$$

Después de haber supuesto varios valores de velocidades próximas al valor correcto encontramos $\left(\frac{\Delta P}{\rho}\right)_s = \left(\frac{\Delta P}{\rho}\right)_{Exp.}$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{f_D v^2 L}{2gc D} = \frac{(0.0413)(0.4537018)^2(2)}{2(9.81)(0.0158)} = 0.0584342 \frac{Kg/m}{Kg}$$

Para la velocidad correcta en el tramo B - C tenemos un caudal de:

$$Ca = \frac{\pi v D^2}{4} = \frac{(3.1416)(0.4537018)(0.0158)^2}{4} = 8.8956 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$$

$$= 8.8956 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s} \times \frac{1000 l}{m^3} = 0.088956 l/s$$

TRAMO C - D

Tenemos los siguientes valores de $E/D = 0.009$ y $f_D = 0.041$ estos valores se encuentran en las gráficas 1-1 y 1-2.

Al aplicar esta velocidad obtenida con el método de Har-

dy Cross en la ecuación de Darcy's tenemos: Tramo C - D.

Primer tanteo.

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{f_D v^2 L}{2gc D} = \frac{(0.0413)(0.5061018)^2(2)}{2(9.81)(0.0158)} = 0.0682495 \frac{\text{Kg m}}{\text{Kg}}$$

Segundo tanteo.

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{(0.0413)(0.5918132)^2(2)}{2(9.81)(0.0158)} = 0.0933239 \frac{\text{Kg m}}{\text{Kg}}$$

Después de haber supuesto varios valores de velocidades próximas al valor correcto encontramos $\left(\frac{\Delta P}{\rho}\right)_s = \left(\frac{\Delta P}{\rho}\right)_{\text{Exp.}}$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{f_D v^2 L}{2gc D} = \frac{(0.0413)(0.6775246)^2(2)}{2(9.81)(0.0158)} = 0.1223134 \frac{\text{Kg m}}{\text{Kg}}$$

Para la velocidad correcta tenemos un caudal de:

$$Q_a = \frac{\pi v D^2}{4} = \frac{(3.1416)(0.6775246)(0.0158)^2}{4} \\ = 1.3284 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{1000 \text{ l}}{\text{m}^3} = 0.1328403 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

TRAMO D - A

Tenemos los siguientes valores de $E/D = 0.009$ y $f_D = 0.039$ estos valores se encuentran en las gráficas 1-1 y 1-2.

Al aplicar esta velocidad obtenida con el método de Hardy Cross en la ecuación de Darcy's tenemos: Tramo D - A.

Primer tanteo.

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{f_D v^2 L}{2gc D} = \frac{(0.039)(1.8498244)^2(2)}{2(9.81)(0.0158)} = 0.8609928 \frac{\text{Kg m}}{\text{Kg}}$$

Segundo tanteo.

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{(0.039)(1.6598459)^2(2)}{2(9.81)(0.0158)} = 0.6932247 \frac{\text{Kg m}}{\text{Kg}}$$

Después de haber supuesto varios valores de velocidades próximas al valor correcto encontramos $\left(\frac{\Delta P}{\rho}\right)_s = \left(\frac{\Delta P}{\rho}\right)_{\text{Exp.}}$

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{f_D V^2 L}{2gc D} = \frac{(0.039)(1.4698675)^2(2)}{2(9.81)(0.0158)} = 0.5436193 \frac{\text{Kgm}}{\text{Kg}}$$

Para esta velocidad correcta tenemos un caudal de:

$$\begin{aligned} Q_a &= \frac{\pi V D^2}{4} = \frac{(3.1416)(1.4698675)(0.0158)^2}{4} \\ &= 2.88192 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{1000 \text{ l}}{\text{m}^3} = 0.2881928 \frac{\text{l}}{\text{s}} \end{aligned}$$

PROPUESTA DE UNA PRACTICA DE FLUJO DE FLUIDOS EN MALLAS
EN BASE A VELOCIDADES RECOMENDADAS POR FABRICANTES.

El objetivo es la determinación de los caudales en cada tramo de tubería de la malla del equipo de experimentación.

El desarrollo de esta práctica esta basada en la siguiente metodología.

- 1.- Suponiendo una velocidad en base a velocidades recomendadas por fabricantes de tuberías encontramos un número de Reynolds.

$$NRe = \frac{D \bar{U} \rho}{\mu}$$

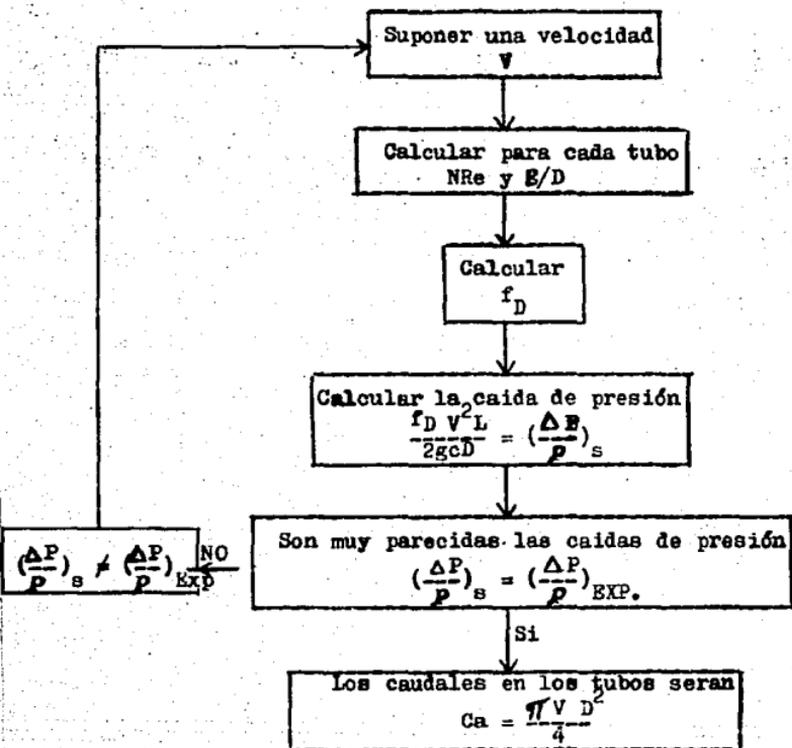
- 2.- Relacionando el factor de rugosidad relativa ϵ/D y el número de Reynolds; utilizando las gráficas de WOODY obtenemos un valor de factor de fricción f_D .
- 3.- Se aplica la ecuación de Darcy's para cada tramo de tubería de la malla del equipo de experimentación.

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{f_D v^2 L}{2gCB}$$

El resultado correcto será el que más se acerque al $\frac{\Delta P}{\rho}$ observado en cada tramo de tubería de la malla del equipo de experimentación.

Los valores supuestos serán marcados con un asterisco.

Secuencia de pasos para encontrar el caudal en cada uno de los tramos de tubería de la malla de experimentación.



Los valores de $\Delta P/p$ obtenidos en la malla de experimentación del equipo diseñado son:

| TRAMO | $(\Delta P/p)_{Exp.}$ |
|-------|-----------------------|
| A-B | 0.407700 Kgm/Kg. |
| B-C | 0.058437 Kgm/Kg. |
| C-D | 0.122310 Kgm/Kg. |
| D-A | 0.543600 Kgm/Kg. |

Valores encontrados en el equipo alimentado por medio de 2 bombas en paralelo: Los $\frac{\Delta P}{\rho}$ obtenidos en la malla de experimentación son:

| | $\frac{\Delta P}{\rho}$ | |
|-------|-------------------------|--------------------------------|
| A - B | 0.4077 | $\frac{\text{kgm}}{\text{kg}}$ |
| B - C | 0.058437 | $\frac{\text{kgm}}{\text{kg}}$ |
| C - D | 0.12231 | $\frac{\text{kgm}}{\text{kg}}$ |
| D - A | 0.5436 | $\frac{\text{kgm}}{\text{kg}}$ |

Por una tubería de 1.58cm de diámetro interno fluye agua a una velocidad de 1.2414869 m/s a 20°C. Calcular el número de Reynolds.

$$NRe = \frac{D u \rho}{\mu}$$

$$\mu \text{ H}_2\text{O a } 20^\circ\text{C} = 1.005 \text{ CGS.}$$

$$NRe = \frac{(0.0158)(1.2414869)(998.2)}{1.005 \times 10^{-3}} \quad \rho \text{ H}_2\text{O a } 20^\circ\text{C} = 998.2 \text{ kg/m}^3$$

$$D_i = 1.58 \text{ cm} = 0.0158 \text{ m.}$$

$$u = 1.4989515 \text{ m/s}$$

$$g_c = 9.81 \text{ kgm/kg s}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}$$

$$NRe = 1.9482772 \times 10^4$$

El flujo en éste tramo A - B de la malla es turbulento ya que tenemos un $NRe > 10,000$.

El E/D es el factor de rugosidad relativa para acero comercial.

El f_D es el factor de fricción que es función del NRe y E/D .

Tenemos los siguientes valores $E/D = 0.009$ y $f_D = 0.039$.
 estos valores se encuentran en las gráficas (1.1) y (1.2).

Al aplicar esta velocidad supuesta en la ecuación de Darcy's tenemos: Tramo A - B.

Después de haber supuesto 12 valores de velocidad próximas al valor óptimo encontramos que $(\Delta P/P)_{\text{Supuesto}} = (\Delta P/P)_{\text{Observado}}$.

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{f D v^2 L}{2 g c D} = \frac{(0.041)(1.2414869)^2 (2)}{2(9.81)(0.0158)} = 0.4077012 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$$

Para esta velocidad optima tenemos un caudal de

$$Ca = \frac{\pi v D^2}{4} = \frac{(3.1416)(0.0158)^2 (1.2414869)}{4} = 2.43414 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\times \frac{1000 \text{ l}}{\text{m}^3} = 0.2434149 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

TRAMO B - C

Para la velocidad óptima que es 0.4537018 m/s tenemos

$$NRe = 7119.9852 \quad E/D = 0.009 \quad fD = 0.044$$

Después de haber supuesto 7 valores de velocidades próximas al valor óptimo encontramos que $\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta P}{P}$ sup. Obser-

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{f D v^2 L}{2 g c D} = \frac{(0.0413)(0.4537018)^2 (2)}{2(9.81)(0.0158)} = 0.0584342 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$$

Para la velocidad optima en el tramo B - C tenemos un caudal de:

$$Ca = \frac{77V D^2}{4} = \frac{(3.1416)(0.4537018)(0.0158)^2}{4} = 8.8956 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s} \times$$

$$\frac{1000 \text{ l}}{m^3} = 0.088956 \frac{\text{l}}{s}$$

TRAMO C - D

Para éste tramo C - D de la malla tenemos una velocidad óptima de $v=0.6775246$ m/s y tenemos los siguientes valores de:

$$NRe = 10632.457 \quad E/D = 0.009 \quad fD = 0.0413$$

Después de haber supuesto 6 valores de velocidades próximas al valor óptimo encontramos que $(\Delta P/P)_{SUP.} = (\Delta P/P)_{OBSERV.}$

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{fD V^2 L}{2gc D} = \frac{(0.0413)(0.6775246)(2)}{2(9.81)(0.0158)} = 0.1223134$$

Para la velocidad óptima tenemos un caudal de:

$$Ca = \frac{77V D^2}{4} = \frac{(3.1416)(0.6775246)(0.0158)^2}{4} = 1.3284 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} \times$$

$$\frac{1000 \text{ l}}{m^3} = 0.1328403 \frac{\text{l}}{s}$$

TRAMO D - A

Para este tramo D - A de la malla tenemos una velocidad óptima $V=1.4698675$ s/s y tenemos los siguientes valores de:

$$NRe = 23066.769 \quad E/D = 0.009 \quad fD = 0.039$$

Después de haber supuesto 5 valores de velocidades próximas al valor óptimo encontramos que $(\Delta P/P)_{Sup.} = (\Delta P/P)_{Observ.}$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{fDV^2 L}{2gcD} = \frac{(0.0390)(1.4698675)^2 2}{2(9.81)(0.0158)} = 0.5436193 \frac{\text{Kgm}}{\text{Kg}}$$

Para esta velocidad óptima en éste tramo de la malla tenemos un caudal calculado con la siguiente ecuación.

$$Ca = \frac{97VD^2}{4} = \frac{(3.1416)(1.4698675)\text{m/s}(0.0158)^2}{4} = 2.88192 \times 10^{-4}$$

$$\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{1000\text{L}}{\text{m}^3} = 0.2881928 \text{ L/s}$$

A continuación se presenta la tabla que resume todos los resultados obtenidos en el algoritmo seguido en la propuesta de una practica de flujo de fluidos en la malla del equipo diseñado.

| TRAMO | V M/S | FD | NRe | $(\Delta P/\rho)$ Supuesto $\frac{\text{Kgm}}{\text{Kg}}$ |
|-------|-----------|--------|-----------|---|
| A-B | 1.2414869 | 0.041 | 19482.772 | 0.4077012 |
| B-C | 0.4537018 | 0.044 | 7119.9852 | 0.0584342 |
| C-D | 0.6775246 | 0.0413 | 10632.457 | 0.1223134 |
| D-A | 1.4698675 | 0.039 | 23066.679 | 0.5436193 |

| $(\Delta P/\rho)$ Observador $\frac{\text{Kgm}}{\text{Kg}}$ | Ca = l/s |
|---|-----------|
| 0.4077 | 0.2434149 |
| 0.058437 | 0.088956 |
| 0.12231 | 0.1328403 |
| 0.5436 | 0.2881928 |

Determinación experimental de caudales en ramales de tubería para un sistema de redes y mallas.

OBJETIVO: A partir de la diferencia de presión observada en cada tramo de tubería de la malla determinar sus gastos.

PROCEDIMIENTO:

El desarrollo de esta práctica esta basada en la siguiente metodología.

1. Suponiendo una velocidad encontramos un número de Reynolds.

$$NRe = \frac{DVP}{\mu}$$

2. Relacionando el factor de rugosidad relativa E/D y el número de Reynolds; utilizando las gráficas de Moody obtenemos un valor de factor de fricción fD .
3. Se aplica la ecuación de Darcy's para cada tramo de tubería de la malla de experimentación:

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{fD U^2 L}{2gc D}$$

El resultado óptimo será el que más se acerque al $\Delta P/\rho$ observado en el equipo.

Guía Para El Estudiante

A. Revisar los Conceptos:

1. Rugosidad y rugosidad relativa.
2. No. de orificios y cuantas existen para las tuberías.
3. Longitudes equivalentes de accesorios.
4. El patrón de flujo (laminar o turbulento) de un fluido en una tubería.

5. Métodos de cálculo de caudales.
6. El uso de tablas en la determinación del factor de Darcy's.
7. El Coeficiente de frotamiento en función del número de Karman.

La elaboración de éste trabajo enseña al estudiante:

- A. El manejo de los diferentes métodos de cálculo que se han desarrollado en la determinación de caudales en redes y mallas.
 1. Dimensiones de tubería de acero normalizadas.
 2. Valores de C para Hazen y Williams.
 3. Longitudes equivalentes de accesorios.
 4. Rugosidad relativa para tubería de diferentes materiales y factor de fricción para turbulencia completa.
 5. Diagrama de Moody en la determinación del factor de Darcy's.
 6. Coeficiente de frotamiento en función del número de Karman.

INDICACIONES.

Manejo del Equipo.

1. Llenar el tanque de almacenamiento con agua limpia aproximadamente al 50% abajo del nivel superior.
2. Colocar mangueras en cada uno de los tramos de la malla y conectarlos al tanque de almacenamiento.
3. Conectar las bombas al suministro de corriente.
4. Se conectan los manómetros a cada tramo de la malla.

PRECAUCION.

Cuando termine cada serie de pruebas apague las bombas, esto evitará la entrada de aire a las tuberías.

Pruebas Experimentales.

1. Una vez que el sistema de éste listo para operar - (sin burbujas de aire) proceda a tomar lecturas de ΔP donde indique el profesor.
2. El gasto en las salidas B, C y D serán determinadas por medio de una prueba de probeta de 2 litros y un cronómetro.
3. Calcule correctamente el gasto que le corresponde a cada ΔP fijada.

```

CLS
N = 1
M = 79
O = 23
F = 176
FOR J = 1 TO 3
  FOR I = N TO M
    LOCATE N, I: PRINT CHR$(F)
  NEXT I
  FOR I = N TO O
    LOCATE I, M: PRINT CHR$(F)
  NEXT I
  FOR I = M TO N STEP -1
    LOCATE O, I: PRINT CHR$(F)
  NEXT I
  FOR I = O TO N STEP -1
    LOCATE I, N: PRINT CHR$(F)
  NEXT I
  N = N + 1
  M = M - 1
  O = O - 1
  F = F + 1
NEXT J
FOR J = 4 TO 24
  LOCATE 6, J: PRINT "  UU  UU  UU  UU  UUUUUU  UUUUUUU"
  LOCATE 7, J: PRINT "  UU  UU  UUU  UU  UU  UU  UU  U UU"
  LOCATE 8, J: PRINT "  UU  UU  UU  U UU  UUUUUU  UU  U UU"
  LOCATE 9, J: PRINT "  UU  UU  UU  UU  UU  UU  UU  UU"
  LOCATE 10, J: PRINT "  UUUUUU  UU  UU  UU  UU  UU  UU"
NEXT J
FOR J = 4 TO 57 STEP .2
  COLOR 0, 7
  LOCATE 12, J: PRINT " FACULTAD DE QUIMICA"
NEXT J
FOR J = 57 TO 32 STEP -.2
  LOCATE 12, J: PRINT " FACULTAD DE QUIMICA "
NEXT J
COLOR 16, 7
LOCATE 14, 17: PRINT "  CALCULO DE CAUDALES EN MALLAS DE TUBERIA  "
COLOR 7, 0
LOCATE 16, 26: PRINT "TRABAJO DE TESIS PRESENTADO POR: "
COLOR 0, 7
LOCATE 17, 31: PRINT "PASCUAL TOVAR MENDOZA"
COLOR 7, 0
LOCATE 20, 30: PRINT "PULSA UNA TECLA PARA CONTINUAR... "
A$ = INPUT$(1)
CLS
FOR I = 1 TO 4
  CLS
FOR K = 1 TO 79
  LOCATE 1, K: PRINT "U"
NEXT K
FOR K = 1 TO 23
  LOCATE K, 79: PRINT "UU"
NEXT K
FOR K = 79 TO 1 STEP -1
  LOCATE 23, K: PRINT "U"
NEXT K
FOR K = 23 TO 1 STEP -1
  LOCATE K, 1: PRINT "UU"

```

```

NEXT K
LOCATE 4, 10: PRINT "FACTOR DE FRICCION PARA EL TRAMO "; I; " "; 71
INPUT F#
COLOR 0, 7
LOCATE 6, 10: PRINT "CAIDA DE PRESION EXPERIMENTAL PARA EL TRAMO "; I; " ";
INPUT CPE#
COLOR 7, 0
CP# = 0
H = 0
R = 8
WHILE CPE# <> CP# AND H <> 3
  LOCATE R, 10: INPUT "PULSE EL VALOR DE UNA VELOCIDAD CUALQUIERA "; V#
  E# = .009
  L = 2
  GC# = 9.81
  D# = .0158
  CP# = (F# * V# ^ 2 * L) / (2 * GC# * D#)
  LOCATE R + 1, 10: PRINT "VALOR DE LA CAIDA DE PRESION SUPUESTA ES "; C
  IF CPE# <> CP# AND H <> 2 THEN
    LOCATE R + 2, 10: PRINT "VUELVE A INTENTARLO PORQUE LAS CAIDAS DE P
  END IF
  H = H + 1
  R = R + 3
WEND
IF CPE# <> CP# THEN
  LOCATE 18, 10: PRINT "NO PUDISTE HACERLO EN TRES INTENTOS, MEJOR TE LO DI
  V# = ((CPE# * 2 * GC# * D#) / (F# * L)) ^ .5
  LOCATE 19, 10: PRINT "LA VELOCIDAD EN EL TRAMO "; I; " DEBE SER ";
  COLOR 0, 7
  PRINT USING "##.#####"; V#;
  COLOR 7, 0
  ELSE
  LOCATE 18, 10: PRINT "ESA ERA LA PRESION REQUERIDA"
END IF
CA# = (3.1416 * V# * .0158 ^ 2) / 4
LOCATE 20, 10: PRINT "EL CAUDAL EN EL TRAMO "; I; " ES ";
PRINT USING "###.#####"; CA#;
PRINT "m. CUBICOS/s"
LOCATE 21, 10: PRINT "CONVERTIDOS A LITROS/SEGUNDO SON ";
CA1# = CA# * 1000
PRINT USING "#####.#####"; CA1#
LOCATE 22, 30: PRINT "PULSA UNA TECLA PARA CONTINUAR..."
A$ = INPUT$(1)
NEXT I
CLS
FOR K = 1 TO 79
  LOCATE 1, K: PRINT "Ú"
NEXT K
FOR K = 1 TO 23
  LOCATE K, 79: PRINT "ÚÚ"
NEXT K
FOR K = 79 TO 1 STEP -1
  LOCATE 23, K: PRINT "Ú"
NEXT K
FOR K = 23 TO 1 STEP -1
  LOCATE K, 1: PRINT "ÚÚ"
NEXT K
COLOR 23, 0
LOCATE 12, 30: PRINT "FIN DEL PROGRAMA "
COLOR 7, 0

```

```
FOR I = 1 TO 79  
  FOR J = 1 TO 23  
    LOCATE J, I: PRINT "."  
  NEXT J  
NEXT I  
CLS  
END
```

CONCLUSION GENERAL

El trabajo realizado en la determinación experimental de caudales en un sistema de mallas de tuberías nos condujo a elaborar un equipo en el cual encontramos todas las variables involucradas en el proyecto.

La cuantificación nos condujo a utilizar diversos métodos para el cálculo de caudales en cada tramo de tubería de la malla del equipo diseñado, los métodos para éste trabajo son:

El de la ecuación de Hazen-Williams.

El método de Von Karman basado en su grafica.

El método de Hardy Cross.

Los dos primeros desarrollados a partir de las caídas de presión (ΔP) encontradas en cada tramo de tubería de la malla de experimentación y el de Hardy Cross, parte de una suposición de un caudal en un tramo de tubería de la malla tomando en cuenta los caudales de la entrada y el de las tres salidas de la malla del equipo diseñado.

De todo éste trabajo concluimos que la ecuación de Hazen-Williams no es útil para la determinación de caudales en los tramos de tubería de la malla de experimentación ya que estos resultados no satisfacen el balance de materia realizado en cada uno de los nudos de la malla de experimentación por lo que se observa que no se cumple con el principio de la conservación de la materia.

En el método de Von Karman ay un acercamiento de un 85 % a los valores encontrados en el método de Hardy Cross.

Por lo que podemos concluir que el método más confiable para determinar los caudales en los tramos de tubería en la malla de experimentación es el propuesto por Hardy Cross ya que éste método si cumple con el principio de la conservación

de la materia en cada uno de los nudos de la malla de experimentación.

Tomando como base los valores de los resultados del cálculo de caudales del método de Hardy Cross presentamos una propuesta de práctica de flujo de fluidos en mallas.

Sin embargo también se puede resolver a partir de una velocidad supuesta en base a las velocidades recomendadas por los fabricantes de tuberías esta velocidad permite determinar un N_{Re} , ϵ/D y f_D para poder utilizar la ecuación de Darcy's y calcular un valor de $\Delta P/\rho$ que debe ser idéntico al $\Delta P/\rho$ observado en cada tramo de tubería de la malla del equipo diseñado.

B I B L I O G R A F I A

1. Principios de Operaciones Unitarias,
Alan S. Foust,
Cía. Editorial Continental, S.A.,
México.
2. Problemas de Flujo de Fluidos,
M. C. Antonio Valiente Barderas,
Editorial Limusa.
3. Flow of Fluids,
Grane Co., Executive Office 300 park Avenue,
New York, N.Y. 10022.
4. Elementos of Food Engineering, Segunda Edición,
Ernest L. Watson, John C. Harper
Reinhold Company,
New York.
5. Modelos para análisis de redes de abastecimiento de
Agua Potable,
González, y F. Capella. A.,
Instituto de Ingeniería UNAM No. 286 (Jun 1971)
6. Chemical Engineers' Hand Book,
J.H. Perry, Ed 3rd Ed, Mc Graw-Hill Book Co.,
New York, 1950.
7. Brown, G.C., and Associates, Unit Operations,
John Wiley and Sons,
New York, 1950.
8. Operaciones Básicas de Ingeniería Química,
Mc Cabel Smith,
Editorial Reverté, S.A.