

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD RAFAEL URDANETA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE QUÍMICA

CÁTEDRA: LAB. DE OPERACIONES UNITARIAS I

PRÁCTICA N° 2

DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE FRICCIÓN

EN TUBERÍAS DE DIFERENTES DIÁMETROS

REALIZADO POR:

MARACAIBO; 20 DE MAYO DE 2002

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
MARCO TEÓRICO .	2
DIAGRAMA DEL EQUIPO ..	9
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO .	10
PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL ...	11
DATOS EXPERIMENTALES .	12
RESULTADOS ..	13
GRÁFICOS ...	15
DISCUSIÓN DE RESULTADO	17
CONCLUSIÓN	18
BIBLIOGRAFÍA .	19
APÉNDICE	20

INTRODUCCION

Las experiencias en el laboratorio de operaciones unitarias nos brindan en esta oportunidad la determinación del factor de fricción en tuberías de diferentes diámetros siendo este uno de nuestros objetivos principales. El éxito de esta práctica depende un poco del cumplimiento de uno de los objetivos de la práctica pasada como lo es la construcción de las curvas de calibración, pues las gráficas construidas y corregidas en el informe anterior, nos servirán de ayuda en los cálculos a realizar en esta oportunidad.

La importancia de esta radica en que es muy necesario tomar en cuenta las pérdidas de energía por la fricción que se produce entre las paredes de las tuberías o de los diferentes accesorios que conforman determinado equipo, ya que esto se traduce en costos adicionales, y esto debe ser tomado en cuenta, ya que forma una parte esencial de la labor que cada uno de nosotros tendrá como futuros ingenieros de procesos, ya que la fricción ocasionada en la tubería puede dar como resultado daños en la misma, esto sucede por el flujo del fluido;

cuando trae en su masa sedimentos que aparte de dañar todo un sistema de tubería de cualquier empresa por efectos de corrosión podría dañar equipos e instrumentos.

Este informe se presenta bajo la estructura de un marco teórico donde desarrollaremos los puntos que se consideraron más importantes para el perfecto entendimiento de la práctica, así como también de una serie de cálculos, tablas, graficas que de una manera sencilla explican el procedimiento utilizado para la realización del experimento de laboratorio.

MARCO TEÓRICO

A continuación se definen ciertos términos necesarios para la interpretación del presente informe.

Fluido: los fluidos son sustancias capaces de "fluir" y que se adaptan a la forma de los recipientes que los contienen.

Presión de un fluido: la presión de un fluido se transmite con igual intensidad en todas direcciones y actúa normalmente a cualquier superficie plana. En el mismo plano horizontal, el valor de la presión de un líquido es igual en cualquier punto.

Viscosidad: la viscosidad de un fluido es aquella propiedad que determina la cantidad de resistencia opuesta a las fuerzas cortantes. La viscosidad se debe primordialmente a las interacciones entre las moléculas del fluido.

En un fluido newtoniano, el gradiente de velocidad es obviamente proporcional al esfuerzo constante. Esta constante de proporcionalidad es la viscosidad, y se define mediante la ecuación:

$$\tau_v = \frac{\mu}{gc} \frac{dv}{dy}$$

Efecto de la Rugosidad: se sabe desde hace mucho tiempo que, para el flujo turbulento y para un determinado número de Reynolds, una tubería rugosa, da un factor de fricción mayor que en una tubería lisa. Por consiguiente si se pulimenta una tubería rugosa, el factor de fricción disminuye y llega un momento en que si se sigue pulimentándola, no se reduce más el factor de fricción para un determinado número de Reynolds.

Principios Fundamentales que se aplican a Flujos de Fluidos

*Principio de la conservación de la masa, a partir del cual se establece la ecuación de continuidad.

*Principio de la energía cinética, a partir del cual se deducen ciertas ecuaciones aplicables al flujo.

*Principio de la cantidad de movimiento, a partir del cual se deducen ecuaciones para calcular las fuerzas dinámicas ejercidas por los fluidos en movimiento.

Flujo Laminar y Turbulento: a velocidades bajas los fluidos tienden a moverse sin mezcla lateral, y las capas contiguas se deslizan mas sobre otras. No existen corrientes transversales ni torbellinos. A este tipo de régimen se le llama flujo Laminar. En el flujo laminar las partículas fluidas se mueven según trayectorias paralelas, formando el conjunto de ellas capas o láminas. Los módulos de las velocidades de capas adyacentes no tienen el mismo valor.

A velocidades superiores aparece la turbulencia, formándose torbellinos. En el flujo turbulento las partículas fluidas se mueven en forma desordenada en todas las direcciones.

Ecuación General Del Flujo de Fluidos: el flujo de fluido en tuberías siempre esta acompañado del rozamiento de las partículas del fluido entre si, y consecuentemente, por la perdida de energía disponible, es decir, tiene que existir una perdida de presión en el sentido del flujo

Fórmula de Darcy-Weisbach: la fórmula de Darcy-Weisbach, es la fórmula básica para el cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías y conductos. La ecuación es la siguiente:

$$h_f = \frac{f_x L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

La ecuación de Darcy es valida tanto para flujo laminar como para flujo turbulento de cualquier líquido en una tubería. Sin embargo, puede suceder que debido a velocidades extremas, la presión corriente abajo disminuya de tal manera que llegue a igualar, la presión de vapor del líquido, apareciendo el fenómeno conocido como cavitación y los caudales. Con el debido razonamiento se puede aplicar a tubería de diámetro constante o de diferentes diámetros por la que pasa un fluido donde la densidad permanece razonablemente constante a través de una tubería recta, ya sea horizontal, vertical o inclinada. Para tuberías verticales, inclinada o de diámetros variables, el cambio de presión debido a cambios en la elevación, velocidad o densidad del fluido debe hacerse de acuerdo a la ecuación de Bernoulli.

Factor de fricción: la fórmula de Darcy puede ser deducida por el análisis dimensional con la excepción del factor de fricción f , que debe ser determinado experimentalmente. El factor de fricción para condiciones de flujo laminar es de ($Re < 2000$) es función sola del numero de Reynolds, mientras que para flujo turbulento ($Re > 4000$) es también función del tipo de pared de tubería.

Zona Crítica: la región que se conoce como la zona critica, es la que aparece entre los números de Reynolds de 200 a 4000. En esta región el flujo puede ser tanto laminar como turbulento, dependiendo de varios factores: estos incluyen cambios de la sección, de dirección del flujo y obstrucciones tales como válvulas corriente arriba de la zona considerada. El factor de Fricción en esta región es indeterminado y tiene limites mas bajos si el flujo es laminar y mas altos si el flujo es turbulento.

Para los números de Reynolds superiores a 4000, las condiciones de flujo vuelven a ser más estables y pueden establecerse factores de rozamiento definitivos. Esto es importante, ya que permite al ingeniero determinar las características del flujo de cualquier fluido que se mueva por una tubería, suponiendo conocidas la viscosidad, la densidad en las condiciones de flujo.

Factor De Fricción Flujo Laminar ($Re < 2000$)

Factor De Fricción Para Flujo Turbulento ($Re > 4000$)

Cuando el flujo es turbulento el factor de fricción no solo depende del numero de Reynolds, sino también de Rugosidad relativas de las paredes de la tubería, e/D , es decir, la rugosidad de las paredes de la tubería (e) comparadas con el diámetro de la tubería (D). Para tuberías muy lisas, como las de latón estruído o el vidrio, el factor de fricción disminuye mas rápidamente con el aumento del número de Reynolds, que para tubería con paredes más rugosas.

Como el tipo de la superficie interna de la tubería comercial es prácticamente independiente del diámetro, la rugosidad de las paredes tiene mayor efecto en el factor de fricción para diámetros pequeños. En consecuencia las tuberías de pequeño diámetro se acercan a la condición de gran rugosidad y en general tienen mayores factores de fricción que las tuberías del mismo material pero de mayores diámetros.

La información mas útil y universalmente aceptada sobre factores de fricción que se utiliza en la formula de Darcy, la presento Moody, este profesor mejoro la información en comparación con los conocidos diagramas y factores de fricción, de Pigott y Kemler, incorporando investigaciones mas recientes y aportaciones d muchos científicos de gran nivel.

Distribución de Velocidades: la distribución de velocidades en una sección recta seguirá una ley de variación parabólica en el flujo laminar. La velocidad máxima tiene lugar en el eje de la tubería y es igual al doble de la velocidad media. En los flujos turbulentos resulta una distribución de velocidades mas uniforme.

Coefficiente de Fricción: el factor o coeficiente de fricción f puede deducirse matemáticamente en el caso de régimen laminar, mas en el caso de flujo turbulento no se dispone de relaciones matemáticas sencillas para obtener la variación de f con el número de Reynolds. Todavía mas, Nikuradse y otros investigadores han encontrado que sobre el valor de f también influye la rugosidad relativa en la tubería.

a.- Para flujo Laminar la ecuación de fricción puede ordenarse como sigue.

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

b.- Para flujo Turbulento hay diferentes ecuaciones para cada caso:

1.- Para flujo turbulento en tuberías rugosas o lisas las leyes de resistencia universales pueden deducirse a partir de:

$$f = \frac{8\tau_0}{\rho V^2} = \frac{8V_0^2}{V^2}$$

2.- Para tuberías lisas, Blasius ha sugerido:

$$f = \frac{0.316}{Re^{0.25}}$$

3.- Para tuberías rugosas:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log(Re \sqrt{f}) - 0.8$$

4.- Para todas las tuberías, se considera la ecuación de Colebrook como la más aceptable para calcular f ; la ecuación es:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}}$$

Aunque la ecuación anterior es muy engorrosa, se dispone de diagramas que dan las relaciones existentes entre el coeficiente de fricción f

, el Re y la rugosidad relativa ϵ/D . Uno de estos diagramas se incluye el diagrama de Moody, que se utiliza normalmente cuando se conoce Q.

Formación de Capa Límite en Tubos Rectos: la formación de la capa límite se produce en una entrada brusca del tubo, en la cual se forma una vena contracta.

A la entrada del tubo recto comienza a formarse una capa límite, y a medida que el fluido se mueve a través de la primera parte de la conducción va aumentando el espesor de la capa. Durante esta etapa, la capa límite ocupa solamente parte de la sección transversal del tubo, y la corriente total consta de un núcleo central de fluido que se mueve con velocidad constante, y de una capa límite de forma anular comprendida entre el núcleo y la pared. En la capa límite la velocidad aumenta desde el valor cero en la pared, hasta la velocidad constante que existe en el núcleo. A medida que la corriente avanza por el tubo la capa límite ocupa mayor sección transversal.

Debido a esto surgen dos tipos de fricción:

1.- **Fricción de Superficie:** es la que se origina entre la pared y la corriente del fluido, h_{fs} . Las cuatro magnitudes más frecuentes para medir la fricción de superficie son: $h_{fs}, \Delta P_s, \tau_w$,

y f

, y se relacionan mediante la ecuación:

$$h_{fs} = \frac{2\tau_w \Delta L}{\rho \tau_w} = \frac{-\Delta P}{\rho} = 4f \frac{\Delta L V}{D \cdot 2gc}$$

El subíndice s indica que se trata del factor de fricción de Fanning que corresponde a la fricción de superficie.

2.- **Fricción debida a Variaciones de Velocidad o Dirección:** cuando ocurre una variación de velocidad de un fluido, tanto en dirección como en valor absoluto, a causa de un cambio de dirección o de tamaño de la conducción, se produce una fricción adicional a la fricción de superficie, debida al flujo a través de la tubería recta. Esta fricción incluye a la Fricción de Forma, que se produce como consecuencia de los vértices que se originan cuando se distorsionan las líneas de corriente normales y cuando tiene lugar la separación de capa límite. Debido a que estos efectos no se pueden calcular con exactitud, es preciso recurrir a datos empíricos.

Pérdidas por Fricción debido a una Expansión Brusca de la Sección Transversal: si se ensancha bruscamente la sección transversal de la conducción, la corriente de fluido se separa de la pared y se proyecta en forma de chorro en la sección ensanchada. Después el chorro se expansiona hasta ocupar por completo la sección transversal de la parte ancha de la conducción. El espacio que existe entre el chorro expandido y la pared de la conducción está ocupado por el fluido en movimiento de vértice, característica de la separación de la capa límite, y se produce dentro de este espacio una fricción considerable.

Las pérdidas por fricción, correspondientes a una expansión brusca de la conducción, son proporcionales a la carga de velocidad del fluido en la sección estrecha, y están dadas por:

$$h_{fe} = K_e \cdot \frac{V^2 a}{2 \cdot g c}$$

Siendo K_e un factor de proporcionalidad llamado coeficiente de pérdida por expansión y V_{2a} , la velocidad media en la parte estrecha de la conducción

Efectos del tiempo y uso en la fricción e tuberías: las pérdidas de fricción en tuberías son muy sensibles a los cambios de diámetro y rugosidad de las paredes. Para un Caudal determinado y un factor de fricción fijo, la pérdida de presión por metro de tubería varía inversamente a la quinta potencia del diámetro.

Por ejemplo, si se reduce en 2% el diámetro, causa un incremento en la pérdida de la presión de un 11%; a su vez; una reducción del 5% produce un incremento del 29%. En muchos de los servicios, el interior de la tubería se va incrustando con cascarilla, tierra y otros materiales extraños; luego en la práctica prudente da margen para reducciones del diámetro de paso.

Los teóricos experimentados indican que la rugosidad puede incrementarse con el uso debido a la corrosión o incrustación, en una proporción determinada por el material de la tubería y la naturaleza del fluido.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

El equipo utilizado para realizar las experiencias en el laboratorio consta de las siguientes características:

- * **Tanque o depósito de agua (Cap. 50 lts.).** Tiene como función almacenar el fluido que se necesita para luego ser transportado a través de la red de tuberías.
- * **Bomba Centrífuga (Potencia máxima ¼ HP).** Es necesaria para poder hacer circular el fluido o transportarlo de un lugar a otro a una determinada presión, utilizando una red de tuberías.
- * **Sistema de tubería de cobre tipo L (1, 3/4, 1/2, 3/8).** Medio por el cual circula el fluido.
- * **Sistema de válvulas.** Estas nos permiten seleccionar la tubería por la cual queremos hacer circular el fluido, además de evitar o permitir que este corra por cierta fracción del sistema de tuberías.
- * **Placa de orificio (Bordes recto y biselado).** Con los medidores de diferente tecnología podemos determinar las caídas de presión y así poder medir la cantidad de flujo que circula por la tubería seleccionada.
- * **Visor.** Tiene como función poder ver el fluido que circula en el sistema y determinar si tiene burbujas de aire o algún otro factor visible que pueda afectar el resultado.
- * **Piesómetro o manómetro diferencial.** Este artefacto nos permite medir las presiones del fluido aguas arriba y aguas debajo de ambos medidores de flujo para así determinar las caídas de presión. Las unidades en las que se leen los datos viene dada en pulgadas de agua. (H₂O).

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- Inicialmente el tanque se llena de agua hasta completar su máxima capacidad.
- Se abren todas las válvulas del equipo para purgar el sistema a excepción de la válvula de desagüe.
- Se enciende la bomba y a través del visor se observa que todo el aire haya salido a través del orificio del tanque, es decir, que no hayan burbujas de aire.

- Una vez purgado completamente el equipo se cierra la válvula de control de retorno del fluido para que quede despresurizado el sistema, y con presión atmosférica.
- Se apagó la bomba. Se indicó que el fluido sería transportado a través de la tubería de $\frac{1}{2}$, por lo que se procedió a cerrar el resto de las válvulas.
- Se calibra el manómetro diferencial, llevándolo a cero mediante la utilización de los tornillos ubicados en la parte superior del mismo.
- Fueron tomados los datos de H para borde biselado de la tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada de la práctica anterior y se ordenaron de manera decreciente.
- Con la bomba encendida, cada valor (uno por uno, desde el máximo hasta el mínimo) fue llevado al manómetro diferencial en las columnas de borde biselado maniobrando la válvula de acceso al visor, y se observaron las lecturas de H1 y H2, es decir, las lecturas de presión en aguas arriba y aguas abajo para borde recto.
- Una vez finalizado el proceso, se indicó que el fluido sería transportado a través de la tubería de 1 pulgada, por lo cual se abrió la válvula para dicha tubería y cerraron todas las demás.
- Se repitieron los pasos 7 y 8 descritos anteriormente, pero esta vez para la tubería de 1 pulgada.
- Una vez tomadas todas las lecturas se procede a apagar la bomba y se cierran todas las válvulas que se encontraban abiertas.

DATOS EXPERIMENTALES

TUBERÍA DE MEDIA PULGADA (1/2)		
H(m H ₂ O) BORDE BISCELADO	H1(m H ₂ O)	H2(m H ₂ O)
0.09525	0.3333	0.1143
0.1778	0.38735	-0.0635
0.23495	0.4191	-0.18415
0.288	0.4349	-0.29845
0.2952	0.4413	-0.307975

TUBERÍA DE UNA PULGADA (1)		
H(m) BORDE BISCELADO	H1(m)	H2(m)
0.508	0.7112	-0.644525
0.4953	0.708025	0.635
0.40005	0.5905	-0.4318
0.231775	0.5305	-0.3302
0.09525	0.295275	-0.0762

RESULTADOS

TUBERÍA DE MEDIA PULGADA (1/2)					
H BISCELADO	H1	H2	P RECTO	Q	RE
0.09525	0.3333	0.1143	2138.1088	2.7683 X 10 ⁻⁴	31901.62
0.1778	0.38735	-0.0635	4401.6728	3.18761 X 10 ⁻⁴	36732.65
0.23495	0.4191	-0.18415	5889.5623	3.64467 X 10 ⁻⁴	41999.469
0.288	0.4349	-0.29845	7159.7356	4.0033 X 10 ⁻⁴	46132.3184
0.2952	0.4413	-0.307975	7315.2122	4.0447 X 10 ⁻⁴	46609.3943

TUBERÍA DE UNA PULGADA (1)					
H BISCELADO	H1	H2	P RECTO	Q	RE
0.508	0.7112	-0.644525	13236.016	5.44812 X 10 ⁻⁴	62781.57
0.4953	0.708025	-0.635	13112.025	5.3248 X 10 ⁻⁴	61360.71
0.4005	0.5905	-0.4318	9980.770	4.8036 X 10 ⁻⁴	55354.63
0.231775	0.5302	-0.3302	8400.1316	4.3021 X 10 ⁻⁴	495750.56
0.09525	0.295275	-0.0762	3626.7304	2.9254 X 10 ⁻⁴	33711.05

TUBERÍA DE MEDIA PULGADA (1/2)					
FD	FF	4FF	LOG FD	LOG FF	LOG 4FF
3.0855 X 10 ⁻²	5.9257 X 10 ⁻³	-2.370297 X10 ⁻²	-2.227260	-2.2272	-1.625197
3.0477 X 10 ⁻²	5.7260 X 10 ⁻³	2.29042 X10 ⁻²	-2.242186	-2.242143	-1.640084
3.0155 X 10 ⁻²	5.5444 X 10 ⁻³	2.21779 X10 ⁻²	-2.256145	-2.256137	-1.654079
2.9948 X 10 ⁻²	5.42187 X 10 ⁻³	2.168749 X10 ⁻²	2.265850	-2.265850	-1.663790
2.9927 X 10 ⁻²	5.408653 X 10 ⁻³	2.163461 X10 ⁻²	-2.266910	-2.266910	-1.664850

TUBERÍA DE UNA PULGADA (1)					
FD	FF	4FF	LOG FD	LOG FF	LOG 4FF
2.577 X 10 ⁻²	5.0442 X 10 ⁻³	0.021768	-1.588885	-2.297207	-1.695147
0.025822	5.0710 X 10 ⁻³	0.020284	-1.588010	-2.294906	-1.692846
0.026065	5.1940 X 10 ⁻³	0.02776	-1.583942	-2.284498	-1.682438
2.6346 X 10 ⁻²	5.3302 X 10 ⁻³	0.0213208	-1.579285	-2.273256	-1.671196
0.0275170	5.8465 X 10 ⁻³	0.023386	-1.560398	-2.2310	-1.631044

GRAFICOS

GRAFICO #1 Log Re Vs. Log Factores de fricción

Tubería de 1/2"

Factor Darcy Factor Fanning Factor 4.Ff

GRAFICO #2 Log Re Vs. Log Factores de fricción

Tubería de 1"

Factor Darcy Factor Fanning Factor 4.Ff

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se observó que P para la tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada es menor que el P para la tubería de 1 pulgada, esto es debido a que los H para la tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada son muchos más pequeños comparados con los H de la tubería de 1 pulgada.

Los valores de P calculados con los datos experimentales para ambas tuberías, están dentro del rango de P calculados en la práctica pasada. Esto debía ser así, pues de lo contrario hubiese sido imposible encontrar el caudal a través de la gráfica de P Vs. Q .

De acuerdo a los resultados obtenidos del cálculo del número de Reynolds, puede decirse que el régimen establecido por el fluido es un régimen turbulento para todos los casos, ya que todos los valores están muy por encima de 2100.

A través de las tablas de resultados podemos observar que para la mayoría de los casos, a medida que disminuye el caudal, aumenta el factor de fricción, esto se debe al rozamiento, resistencia al deslizamiento, rodadura o flujo de un cuerpo en relación a otro con el que está en contacto, en este caso el fluido y la tubería. La fuerza de rozamiento es directamente proporcional a la fuerza que comprime un objeto contra el otro, e inversamente proporcional a la velocidad; y aquí hemos visto que la velocidad disminuye a medida que disminuye el caudal.

Con respecto a los valores tabulados de factor de fricción podemos decir en primer lugar que la diferencia entre valores calculados a través de $4F_f$ y los extraídos del diagrama de Moody, es menor que 0.001 en la mayoría de los casos. Esto demuestra la relación y veracidad que existe entre las dos.

Asimismo, se puede comprobar la estrecha relación que existe entre el factor de fricción Fanning y Darcy a través del casi paralelismo que existe entre las curvas de $\log F_f$ Vs. $\log Re$, y $\log F_d$ Vs. $\log Re$, para ambas tuberías.

CONCLUSIÓN

Una vez más, los objetivos trazados para esta práctica número dos fueron alcanzados ya que aprendimos cómo se llevan a cabo los cálculos para la determinación del factor de fricción en tuberías de diferentes diámetros a través de los datos obtenidos de las experiencias en el laboratorio.

Al realizar las graduaciones del manómetro con los H de bordes biselados, aumentaban progresivamente los nuevos H de bordes rectos, se puede decir haciendo referencia a la práctica anterior que a medida que se fue abriendo la válvula de acceso al visor, la capacidad del paso del fluido era mayor, por lo tanto aumentaba el Q y en consecuencia de ello los H.

Existen relaciones muy estrechas entre un factor de fricción y otro y eso se vio reflejado especialmente en las gráficas de Log Factor de Fricción y Log de Reynolds.

El cálculo de la rugosidad relativa de la tubería fue necesario pues, el factor de fricción de Darcy está en función sólo del número de Reynolds cuando el fluido está en régimen laminar, pero en este caso $NRe \gg 2100$, es decir, fluido completamente desarrollado o en régimen turbulento, por tanto el factor de fricción de Darcy depende de la rugosidad relativa de la tubería y del Número de Reynolds. Por esto en el Diagrama de Moody aparecen las líneas de rugosidad relativa a partir de la zona de transición en adelante.

BIBLIOGRAFÍA

- * PERRY, Robert H. Manual del Ingeniero Químico. McGraw Hill. 6ta. Edición.
- * McCABE, W. Operaciones Básicas de Ingeniería Química.
- * CRANE, Co. Flujo de fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías. McGraw Hill.
- * STREETER, Víctor L. Mecánica de los Fluidos. McGraw Hill. 8va. Edición.
- * FOX, Robert W. y McDonald, Alan T. Introducción a la mecánica de los fluidos. McGraw Hill. 4ta. Edición.

APÉNDICE

Los cálculos mostrados a continuación son un ejemplo tipo del trabajo efectuado para hallar los valores mostrados en la tabla de resultados con respecto a diferencial de presión ("P"), diferencial de alturas ("H"),

caudal (Q), velocidad (V), factores de fricción Fanning y Darcy, y otros valores requeridos en las expresiones matemáticas correspondientes. Este ejemplo se muestra con los datos de H1 y H2 (aguas arriba y aguas abajo en orificio borde recto) arrojados por el equipo cuando se llevó al manómetro diferencial el máximo "H Biselado obtenido en la práctica anterior .

Cálculos

Cálculo del Diferencial de Altura ("H)

Biselado = 0.09525 mts.

H1= 0.3333

H2 = 0.1143

H = 0.219 mts.

Cálculo del Diferencial de Presión ("P)

Cálculo del Caudal (Q)

Se buscó ese valor de "P en el eje Y, en la gráfica de "P Vs. Q en borde recto para tubería de 1 pulgada, y donde cortó la línea de tendencia, se llevo hasta el eje X y se tomo ese valor. El resultado fue:

Q= 2.7683×10^{-4}

Cálculo de la Velocidad (V)

Cálculo del Número de Reynolds (Re)

NRe= 31901.62

Cálculo del Factor de fricción de Fanning (Ff)

Ff= 5.9257×10^{-3}

Cálculo del Factor de fricción de Darcy (Fd)

Fd= 4 Ff

Fd= 3.0855×10^{-2}

Cálculo de la Rugosidad Relativa ("D)

Rugosidad absoluta del cobre tipo L:

.....

Rugosidad relativa:

e/d= $9,4482 \times 10^{-5}$

Con la rugosidad relativa y el número de Reynolds, se consigue el Factor Darcy en el diagrama de Moody. El resultado fue:

$$F_d = 2,4956 \times 10^{-2}$$

DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE FRICCIÓN EN TUBERÍAS DE DIFERENTES DIÁMETROS

1



