

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

LABORATORIO DE HIDRÁULICA

**INFORME TÉCNICO FINAL DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TITULO:**

**“VALIDACION EXPERIMENTAL DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN “f” DE DARCY-WEISBACH Y SU COMPARACIÓN CON EL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD “n” DE MANNING EN EL ANÁLISIS DE PÉRDIDAS EN TUBERÍAS A PRESIÓN”**

**CLAVE DEL PROYECTO: REGISTRO SIP 20071423**

**DIRECTOR DEL PROYECTO: ING. RAUL MANJARREZ ANGELES**

**INVESTIGADOR PARTICIPANTE: M. EN C. MARCO ANTONIO ARIAS MORALES**

## **INDICE**

### **INTRODUCCIÓN.**

### **OBJETIVO**

## **CAPITULO I. MARCO TEÓRICO**

- 1.1.- GENERALIDADES DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN “f”.
- 1.2.- ECUACION DE BERNOULLI.
- 1.3.- PERDIDAS DE ENERGIA.
- 1.4.- COEFICIENTE DE FRICCIÓN EN TUBOS.
- 1.5.- ECUACIÓN PARA EL COEFICIENTE DE FRICCIÓN.
  - 1.5.1.- ECUACIÓN DE DARCY-WEISBACH.
  - 1.5.2.- ECUACIÓN DE COLEBROOK.
  - 1.5.3.- ECUACIÓN DE BLASIUS.
  - 1.5.4.- ECUACIÓN DE SWAMEER-WHITE.
  - 1.5.6.- DIAGRAMA D E MOODY.
    - 1.5.6.1.- VENTAJAS DEL DIAGRAMA D E MOODY.
- 1.6.- GENERALIDADES DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN “N” DE MANNING.
  - 1.6.1.- COEFICIENTE DE MANNING.
  - 1.6.2.- FORMULA DE MANNING.

## **CAPITULO II.- BANCO Y CANAL HIDRODINAMICO**

- 2.1.- INTRODUCCIÓN.
- 2.2.- GENERALIDADES DEL BANCO HIDRODINAMICO.
- 2.3.- ELEMENTOS DEL BANCO HIDRODINAMICO.
- 2.4.- SECCIONES DE MEDICIÓN (AFORADORES Y TUBERIAS).
- 2.5.- OBJETOS DE MEDICIÓN.
- 2.6.- ACCESORIOS.
  - 2.6.1.- MANOMETRO DOBLE.
    - 2.6.1.1.- CONECCIÓN Y OPERACIÓN DEL MANOMETRO.
    - 2.6.1.2.- PURGADO.
    - 2.6.1.3.- AJUSTE DE LAS POSICIONES EN CERO.

- 2.6.2.- MANOMETRO ELECTRICO.
- 2.7.- GENERALIDADES DEL CANAL HIDRODINAMICO.
  - 2.7.1.- ELEMENTOS DEL CANAL HIDRODINAMICO.
    - 2.7.1.1.- ROTAMETRO.
    - 2.7.1.2.- PEDESTAL DE INCLINACIÓN.
    - 2.7.1.3.- DEPOSITO DE ENTRADA.
    - 2.7.1.4.- CANAL DE FLUJO.
    - 2.7.1.5.- TABLERO DE CONTROL O INTERRUPTOR.
    - 2.7.1.6.- TANQUE DE SALIDA.
    - 2.7.1.7.- CICLO DEL FLUJO EN EL CANAL HIDRODINAMICO DE PENDIENTE VARIABLE.
- 2.8.- PROCEDIMIENTO EN EL CANAL DE PENDIENTE VARIABLE.

### **CAPITULO 3.- ANALISIS DE RESULTADOS (Banco Hidrodinámico)**

- 3.1.- ECUACIONES PARA TUBERIA DE FIERRO GALVANIZADO.
  - 3.1.1- ECUACIÓN DE COLEBROOK.
  - 3.1.2- ECUACIÓN DE BLASIUS.
  - 3.1.3- ECUACIÓN DE SWAWEER-JAIN.
  - 3.1.4.- ECUACIÓN DE COLEBROOK-WHITE.
  - 3.1.5.- DIAGRAMA D E MOODY.
  - 3.1.6.- RESUMEN DE RESULTADOS.
- 3.2.- ESCUACIONES PARA TUBERIA DE FIERRO GALVANIZADO.
  - 3.2.1- ECUACIÓN DE COLEBROOK.
  - 3.2.2- ECUACIÓN DE BLASIUS.
  - 3.2.3- ECUACIÓN DE SWAWEER-JAIN.
  - 3.2.4.- ECUACIÓN DE COLEBROOK-WHITE.
  - 3.2.5.- DIAGRAMA D E MOODY.

3.2.6.- RESUMEN DE RESULTADOS.

3.3.- ESCUACIONES PARA TUBERIA PVC.

3.3.1- ECUACIÓN DE COLEBROOK.

3.3.2- ECUACIÓN DE BLASIUS.

3.3.3- ECUACIÓN DE SWAWEER-JAIN.

3.3.4.- ECUACIÓN DE COLEBROOK-WHITE.

3.3.5.- DIAGRAMA D E MOODY.

3.3.6.- RESUMEN DE RESULTADOS.

3.4.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS

3.4.1. TUBERÍA DE FIERRO GALVANIZADO.

3.4.2. TUBERÍA DE COBRE.

3.4.3. TUBERÍA DE P.V.C.

3.4.4.-PERDIDAS DE ENERGIA POR LA FÓRMULA DE DARCY WEISBACH.

#### **CAPITULO 4.- ANALISIS DE DESULTADOS (Canal Hidrodinámico)**

4.1.- ECUACIÓN DE MANNING.

4.2.- PLANTILLA DE FONDO Y PARED DE ACRÍLICO

4.3.- FONDO Y PARED DE LIJA PARA METAL NO. 240

4.4.- FONDO Y PARED DE LIJA PARA MADERA NO. 100

4.5.- PLANTILLA DE PLASTICO EN LA BASE

4.6- BASE Y PARED DE ACRILICO DE LAMPARA

4.7- BASE Y PARED DE LIJA DE ESMERIL

4.8- PERDIDAS DE ENERGIA POR LA FÓRMULA DE MANNING

CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFÍA.

## INTRODUCCIÓN

En la presente propuesta de estudio se llevara a cabo el análisis experimental del comportamiento de flujo en tuberías de diferentes materiales ( fierro galvanizado, PVC y cobre) y el análisis experimental del comportamiento de flujo en canales, con plantillas de PVC y otros materiales. En los dos casos se utilizará un tablero de tuberías y un canal de pendiente variable, los cuales se encuentran ubicados en el Laboratorio de Ingeniería Hidráulica de la E.S.I.A Unidad Zacatenco.

Dentro de este marco aparecen los coeficientes de fricción y los coeficientes de Manning, que tradicionalmente son utilizados por los ingenieros en el cálculo de perdidas para el diseño de tuberías a presión. que de ser tomados con valores apropiados, se reflejan en un cálculo de las pérdidas por fricción por arriba o por debajo de lo que requiere un buen diseño de los tubos, lo cual reducirá en inversiones costosas e injustificables.

A través de la propuesta se pretende realizar una comparación de las ecuaciones de Darcy- Wesbach y de Manning en el calculo de las pérdidas por fricción en tuberías a presión y concluir, cual es la mejor aplicación.

Este trabajo persigue ofrecer una alternativa para los estudiantes de licenciatura de la carrera de ing. Civil como; pasantes e inclusive profesionales recién egresados, ya que resume en forma práctica las ecuaciones para determinar los coeficientes de fricción en tuberías utilizadas hoy en día para el diseño de los mismos, en los diversos sistemas hidráulicos , complementándolos con su uso en el banco hidrodinámico al realizar la calibración de los coeficientes de fricción de los tubos ( fierro galvanizado, cobre, y P,V.C ) , más usuales en la realidad.

También se pretende que los estudiantes de la carrera de ing. Civil tengan un mejor acercamiento hacia la experimentación con tuberías, que a veces no es práctico y parecería una materia exclusivamente teórica.

## OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es estudiar el flujo en tuberías a presión en diferentes materiales, a fin de observar el comportamiento de caudales, presiones y coeficientes de fricción. Así mismo el flujo en canales con plantillas de diferentes materiales y analizar el comportamiento del mismo; gastos, tirantes y coeficientes de rugosidad. A fin de aplicar estos análisis en el cálculos de pérdidas en tuberías a presión, utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach y de Manning y demostrar cual es la de mejor aplicación.

Otro objetivo del presente trabajo es el comparar coeficientes de fricción para tuberías de diferentes materiales (fierro galvanizado, cobre, P.V.C), y coeficientes de Manning contra los que aparecen en la bibliografía o en manuales técnicos.

## CAPITULO I. MARCO TEÓRICO

### 1.1.- GENERALIDADES DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN “f”

Cinco matemáticos geniales del siglo XVIII, Bernoulli, Clairaut, D’Alembert, Lagrange, y Euler. Habían elaborado con el naciente cálculo diferencial e integral una síntesis hidrodinámica perfecta. Pero no habían obtenido grandes resultados prácticos. Por otra parte el técnico hidráulico fue desarrollando multitud de fórmulas empíricas y experiencias en la resolución de los problemas que sus construcciones hidráulicas les presentaban, sin preocuparse de buscarle base teórica alguna. Excepcionalmente un científico llamado Reynolds, buscó base física a sus experimentos; pero Prandtl hizo la síntesis de las investigaciones teóricas de unos y las experimentales de otros.

Conviene que la hidráulica siempre constituye un campo fértil para la investigación y análisis matemático, llegando a dar lugar a estudios teóricos que frecuentemente se alejan de los resultados experimentales. Varias ecuaciones así deducidas tuvieron que ser corregidas por coeficientes prácticos, lo que contribuyó para que la hidráulica sea también denominada como: ciencia de los coeficientes.

En relación con lo anterior, los valores del coeficiente de fricción ( $\lambda$ ), varían con la velocidad media del líquido y con el diámetro de la tubería, para las mismas condiciones de temperatura y de rugosidad de las paredes. El aumento de la velocidad corresponde a la disminución de el valor de  $\lambda$ .

En los casos de los tubos más cortos, con descarga libre, la dificultad reside en la fijación del valor adecuado de  $\lambda$ , no solamente por que al procurar la determinar el caudal, la velocidad desconocida, así como también debido al hecho de no contarse con valores experimentales a las grandes cargas y velocidades elevadas.

Sin intentar hacer una historia, será interesante la siguiente lista, por orden cronológico (según fecha de muerte) de algunos hombres celebres con sus aportaciones más importantes a la hidráulica en función con el coeficiente de fricción como se muestran en la tabla 1

nombre	fecha	Aportación a la hidráulica
Bernoulli	1700-1782	Teorema de Bernoulli
Euler	1707-1783	El mayor genio matemático de la hidrodinámica. Ecuaciones diferenciales del movimiento de un fluido perfecto. Formulación del teorema de Bernoulli, teorema fundamental de las turbo máquinas.
D’Alembert	1717-1783	Ecuación diferencial de continuidad.
Poiseuille	1799-1869	Resistencia en tubos capilares.
Weisbach	1806-1871	Fórmula de resistencia en tuberías. Ecuación de vertedores.
Stokes	1819-1903	Ecuación diferencial de Navier-Stokes de movimiento de fluidos viscosos.
Reynolds	1842-1912	Distinción entre el régimen laminar y turbulento.

TABLA 1.- Hombres celebres que aportaron a la hidráulica

A Euler se deben las primeras ecuaciones generales para el movimiento de los fluidos. La investigación de Reynolds, los trabajos de Rayleigh y los experimentos de Froude constituyen la base científica para este progreso.

### 1.2.- ECUACION DE BERNOULLI.

Se demuestra matemáticamente que para que la ecuación de Bernoulli se cumpla entre dos puntos cualquiera, no situados en una misma línea de corriente de un tubo de corriente imaginario o materializado ( tubo o canal).

De acuerdo en el diagrama , y aplicando el teorema de Bernoulli se tiene:

En base a la figura se tiene siguiente expresión:

$$Z_1 + P_1 / \gamma_1 + V_1^2 / 2g = Z_2 + P_2 / \gamma_2 + V_2^2 / 2g + hf_{1-2} \text{-----} (8)$$

Donde:

- hf<sub>1-2</sub> = pérdidas de carga entre la sección 1 y la sección 2 (m).
- Z = carga de posición (m)
- P/γ = carga de presión (m)
- V<sub>1</sub><sup>2</sup>/2g = carga de velocidad ( m)
- P = presión del tubo (kg / m<sup>2</sup>)
- γ = peso específico del agua ( kg /m<sup>3</sup>)
- V = velocidad del flujo ( m/seg)
- g = aceleración de la gravedad (9.81 m/ seg<sup>2</sup>)

Las pérdidas de energía se deben a la fricción de la tubería y a los accesorios o piezas especiales, tales como: reducciones, codos, válvulas, etc.

En general:

$$hf_{1-2} = hf_{1-2} + hf_{1-2} \text{-----} (9)$$

Donde:

- hf = pérdidas por fricción (m)
- hf = pérdidas locales debido a accesorios (m)

### 1.3.- PERDIDAS DE ENERGIA.

Muchos investigadores han tratado de determinar las leyes que rigen el flujo o circulación de los fluidos en tuberías. Una de las primitivas expresiones de la pérdida de energía en una tubería fue desarrollada por Chézy en 1795.

Se han desarrollado muchas otras fórmulas empíricas a partir de datos de ensayos y la mayoría de ellas parten de la hipótesis de que la pérdida de energía solo depende de la velocidad, las dimensiones del conducto y la rugosidad de la pared

---



Los trabajos de Hagen (1939) y Poiseuille (1940), y Reynolds (1893), demostraron que la densidad y la viscosidad del fluido influyen en la pérdida de energía, y más tarde principalmente como deducción del trabajo de Nikuradse (1933), generalmente que el efecto de la rugosidad no depende del valor absoluto de esta, sino de su relación al diámetro del tubo.

De todas las fórmulas usadas para determinar la perdidas de energía en las tuberías, solamente la fórmula de Darcy- Weisbach, permite la evaluación apropiada del efecto de cada uno de los factores que afectan la pérdida.

Esto se logra transportando en coeficiente de rozamiento ( $\lambda$ ) en función del número de Reynolds (R).

Cuando la tubería es de gran longitud, esta es la perdida principal y llega hacer tan grande que a veces pueden despreciarse las demás por ser muy pequeñas comparadas con ellas.

Según al estudiar el teorema de Bernoulli, la perdida por fricción es un término homogéneo con otros términos de la ecuación, es decir está valuado en metros o pies, según sea el sistema de unidades que se usa. La representamos por hf y depende de :

1. El material de que está construido el tubo (concreto, fierro, madera, ect).
2. El estado de la tubería ( si es vieja y hay incrustaciones, el frotamiento es mayor que cuando los tubos son nuevos).
3. La longitud de la tubería.
4. El diámetro.
5. La velocidad de circulación del líquido en la tubería.

De acuerdo con lo anterior, las leyes que rigen a la pérdida de carga por fricción son:

- Proporcional a la longitud de la tubería
- Inversamente proporcional al diámetro del tubo.
- Directamente proporcional al cuadrado de la velocidad de circulación.

Estas son las leyes que se le conocen como leyes de Chézy y se engloban en una fórmula fundamental en el cálculo de tuberías. De acuerdo con estas leyes y considerando además que la pérdida por fricción depende también de estas dos cosas.

#### 1.4.- COEFICIENTE DE FRICCIÓN EN TUBOS.

POISEUILLE, en 1846, fue el primero en determinar matemáticamente el factor de fricción en flujo laminar y obtuvo una ecuación para determinar dicho factor.

La ecuación es :

$$\lambda = f = 64/R = 64/ (VD/\nu) \text{-----}(10)$$

La cual es válida par tubos lisos y rugosos, y el numero de Reynolds no rebase el valor crítico de 2300.

A partir de los resultados experimentales, acumulados hasta el año de 1913, Blasius lleo a la importante conclusión de que existen dos tipos de fricción para él flujo turbulento en tubos. El primero esta asociado con tubos lisos donde los efectos de viscosidad predominan y al factor de fricción únicamente del número de Reynolds. El segundo tipo se refiere a tubos rugosos donde la viscosidad y los efectos de rugosidad influyen en el flujo, además que el factor de fricción depende del numero de Reynolds y de la rugosidad relativa.

Años más tarde, Stanton y Pannell, después de investigar detalladamente el flujo del aire y del agua en tubos lisos de latón, encontraron que al llevar sus resultados sobre una gráfica, de f contra R (diagrama de Moody), los puntos se agrupaban a lo largo de una curva (zona turbulenta), que concuerda bastante con la fórmula de Blasius.

Las contribuciones más importantes las realiza Nikuradze, en Gotinga, alrededor de 1920. Este investigador obtuvo resultados de f contra R , en tubos lisos, que comprendía hasta valores de  $R = 3 \times 10^6$ .

Nikuradze trabajo con tubos de rugosidad artificial perfectamente verificados en el laboratorio.

## 1.5.- ECUACIÓN PARA EL COEFICIENTE DE FRICCIÓN.

### 1.5.1.- ECUACIÓN DE DARCY-WEISBACH.

A fines del siglo pasado, experimentos realizados con tuberías de agua de diámetro constante demostraron que la perdida de carga era directamente proporcional al cuadrado de la velocidad e inversamente proporcional al diámetro de la misma.

Una de las fórmulas más exactas para cálculos hidráulicas es la de Darcy- Weisbach, ya que para calcular el coeficiente de fricción “λ” toma en cuenta aspectos tales como: temperatura, rugosidad de la pared del conducto, diámetro y velocidad, lo cual es la siguiente:

$$hf = \lambda (L/D)(V^2/2g)-----(11)$$

Donde:

- hf= perdidas de carga entre la sección 1 y la sección 2 (m).
- V = velocidad del flujo ( m/seg)
- g = aceleración de la gravedad (9.81 m/ seg<sup>2</sup>)
- λ = coeficiente de fricción (adimensional)
- D= diámetro interior del tubo (m)
- L= longitud del tubo(m)

Si se despeja el coeficiente de fricción “λ” de la ecuación 11, se tiene:

$$\lambda = hf / ( LV^2 / D2g)-----(12)$$

### 1.5.2.- ECUACIÓN DE COLEBROOK.

En una zona de transición en que  $\lambda = f(R \text{ y } k/D)$ , se cumple

$$\lambda = [ 2\log [ (2.51/(Re\lambda^{1/2}))+ 0.27/(D/k)]]^2-----(13)$$

Donde:

- λ = coeficiente de fricción (adimensional)
- k= rugosidad absoluta ( mm)
- D= diámetro del tubo (mm)
- Re= numero de Reynolds (adimensional)

La ecuación 13 es válida para tubos lisos o rugosos en la zona de transición o turbulenta y con  $65D < Re < 1300 D/k$

### 1.5.3.- ECUACIÓN DE BLASIUS.

Cuando las tuberías son lisas λ no es función de la rugosidad relativa, k/D, ya que esta es nula (k=0), o sea:

$$\lambda = f(R)$$

En este caso se aplica la ecuación de Blasius.

$$\lambda = 0.3164/ (Re)^{1/4}-----(14)$$

Donde:

- λ = coeficiente de fricción (adimensional)
- Re= numero de Reynolds (adimensional)

La condición es:  $Re < 65 D/k$

La ecuación 14 es valida para tubos lisos en zona de transición o turbulenta.

### 1.5.4.- ECUACIÓN DE SWAMEER-JAIN

Para valores R mayores a 4000 es recomendable usar la siguiente expresión:

$$\lambda = 0.25 / [ \log [ (k/D)/3.7 + 5.74/R^{0.9}]]-----(15)$$

Donde:

- λ = coeficiente de fricción (adimensional)

k= rugosidad absoluta ( mm)  
D= diámetro del tubo (mm)  
Re= numero de Reynolds (adimensional)

La condición para aplicar la formula es: para tubos lisos y rugosos y para  $R > 4000$  en régimen turbulento.

### 1.5.5.- ECUACIÓN DE SWAMEER-WHITE.

Está ec. es válida para tubos lisos y rugosos en zona de transición y turbulenta y para  $R > 4000$ .

$$1/(\lambda)^{1/2} = -2\log [(k/D)/3.7 + (2.51/(Re\lambda^{1/2}))] \text{-----}(16)$$

Donde:

$\lambda$  = coeficiente de fricción (adimensional)  
k= rugosidad absoluta ( mm)  
D= diámetro del tubo (mm)  
Re= numero de Reynolds (adimensional)

### 1.5.6.- DIAGRAMA DE MOODY.

La ec. de Poiseuille junto a la ecuación de Colebrook-White, permite el calculo del coeficiente  $\lambda$  en todo los casos que pueden presentarse en la práctica; pero la ultima EC. es muy laboriosa. Por eso se utiliza el ábaco conocido con el nombre de *diagrama de moody*, representado en la Fig. 2

#### DIAGRAMA DE MOODY

- Esta construido en papel doblemente logarítmico;
- Es la representación gráfica de dos ecuaciones;

#### 1.5.6.1.- VENTAJAS DEL DIAGRAMA DE MOODY.

1. Resuelve todos los problemas de perdidas de carga primaria en tuberías con cualquier diámetro, cualquier material de tubería y cualquier caudal.
2. puede emplearse con tuberías de sección no circular sustituyendo el diámetro D por el radio hidráulico  $R_h = D/4$
3. se usa para determinar el coeficiente, el cual se lleva a la ec. de Darcy- Weisbach.
5. diagrama de Moody para hallar el coeficiente de fricción en tuberías.

Diagrama de Moody.

A continuación se muestra en la Tabla 2, un resumen de las diferentes ecuaciones para el coeficientes de fricción.

Tipo de tubería	Autor	Fórmula	Observaciones
Cualquier tipo de tubo y flujo	Darcy-Weisbach	$hf = \lambda (L/D)(V^2/2g)$	En la ec. 11, es tipo universal; f se obtiene del diagrama universal de Moody, de alguna de las formulas indicadas a continuación
Tubos lisos o rugosos en zona laminar.	Poiseuille	$f = 64/R$	Se aplica en la fórmula de Darcy-Weisbach y vale para $R < 2300$
Tubos lisos en zona de transición o turbulencia	Blasius	$f = 0.3164 / (Re)^{0.25}$	Es la ec. 14 y se aplica a la ec, de Darcy-Weisbach, vale para tubos de aluminio, latón, cobre, plomo, plástico, vidrio, y asbesto-cemento para $R > 10^5$
	Nikuradze	$1/(f)^{1/2} = 2 \log [Re^{1/2} / 2.51]$	Se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach, vale para $2.3 \times 10^4 \leq R \leq 3.4 \times 10^6$
	Kozeny	$f = \frac{2g}{(7.78 \log R - 5.65)^2}$	Se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach, y vale para tubos de asbesto-cemento y para $R > 4000$
	Richter	$f = \frac{0.01113 + 0.917/R^{0.4}}{1}$	Se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach, y vale para tubos de hule y para $R > 4000$
Tubos rugosos en la zona de transición o turbulenta.	Colebrook-White	$1/(\lambda)^{1/2} = 2 \log \left[ \frac{(k/D)/3.7}{(2.51/(Re\lambda^{1/2}))} \right]$	Es la ec, 16 y vale para tubos lisos o rugosos en la zona de transición o turbulenta y con $R > 4000$ , se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach.

Tubos rugosos en zona turbulenta	Nikuradze	$1/(f)^{1/2} = 2 \log [ 3.71 D / K ]$	Se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach,
	Kozeny	$f=2g/(8.86 \log D+N)^2$	Se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach, y N depende del material en la tubería según la tabla 2
	Chezy	$V= C(RhSf)^{1/2}$	El la fórmula general para el tipo de tubos y se obtiene de la fórmula de Darcy-Weisbach $D= 4Rh$
	Bazin	$C= 87/(1+ \Delta/(Rh))^{1/2}$	Se aplica a la fórmula de Chezy, donde $\Delta$ depende del material del que esta construido el tubo de acuerdo con la tabla 3
	Kutter	$C= 100(Rh)^{1/2}/(m+(Rh)^{1/2})$	Se aplica a la fórmula de Chezy, donde m depende del material del que esta construido el tubo de acuerdo con la tabla 3
	Manning	$V= (1/n)(R)^{2/3}(S)^{1/2}$	Resulta de la fórmula de Chezy, al considerar que $C= Rh^{1/2}/n$

TABLA 2.- Ecuaciones para el coeficiente de fricción

Constantes para la Tabla 2.

Material	Ch	$\Delta$	m	n	N
Acero corrugado	60	-	-	-	-
Acero con juntas lock-bar (nuevo)	135	-	-	-	-
Acero galvanizado (nuevo y usado)	125	-	-	-	-
Acero remachado (nuevo)	110	-	-	0.014	31
Acero remachado(usado)	85	-	-	0.015-0.016	28-26

Acero soldado o con remache avellanado y embutido (nuevo)	120		-	-	34
Acero soldado o con remache avellanado y embutido (usado)	90	-	-	0.012-0.013	31-27
Acero sin costuras(nuevo)	-	0.10	0.25	-	38
Acero sin costuras(usado)	-	-	0.35	-	36
Acero soldado con revestimiento especial (nuevo y usado)	130	-	-	-	-
Fierro fundido limpio	130	0.16	0.25	-	-
Fierro fundido sin incrustaciones (usado)	110	0.23	0.27 5	0.013	-
Fierro fundido sin incrustaciones (nuevo)	90	0.36	0.35	-	30
Plástico	150	-	-	-	-
Asbesto-cemento	135	0.06	-	-	-
Cobre-latón	130	-	-	-	-
Conductos con acabado inferior de cemento pulido	100	-	0.10	-	-
Concreto con acabado liso	130	-	0.20	-	38
Concreto acabado común	-	.18		-	-
Concreto monolítico, colado con cimbra deslizante ( D>1.25m)	-	-	--	0.010-0.011	-
Concreto monolítico, bien cimbrado y pulido ( D>1.25m)	-	-	---	0.011-0.0123	--
Concreto monolítico, bien cimbrado ( D>1.25m)	-	-	-	0.014-0.015	-
Concreto con acabado tosco( D>1.25m)	-	-	-	0.015-0.017	27-26
Concreto con juntas de macho y campanas ( D>0.8m)	-	-	-	0.0105-0.012	-
Concreto con juntas toscas ( D>0.5m)	-		-	0.0125-0.014	30
Concreto con juntas toscas ( D>0.5m)	-	-	-	0.014-0.017	-
Conductos para alcantarillado	-	-	-	-	28
Tubos de barro vitrificado (drenes)	110	-	-	0.011	34
Túneles perforados en roca sin revestimiento	-	-	-	0.025-0.04	-
Madera cepillada o en duelas	120	-	0.10	0.0105-0.012	-

TABLA 3.- Constantes Ch, m, n , N

## 1.6.- GENERALIDADES DEL COEFICIENTE DE FRICCION “N” DE MANNING.

En el año 1889, el ingeniero irlandés Robert Manning, presentó por primera vez la ecuación durante la lectura de un artículo en una reunión del Institute of Civil Engineers de Irlanda. El artículo fue publicado más adelante en *Transactions* del Instituto. La ecuación en principio fue dada en una

forma complicada y luego simplificada a  $V = C \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$ , donde V es la velocidad media, C el factor de resistencia al flujo, R el radio hidráulico y S la pendiente. Esta fue modificada posteriormente por otros y expresada en unidades métricas como  $V = (1/n) \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$  (siendo n el coeficiente de rugosidad Manning). Más tarde, fue convertida otra vez en unidades inglesas, resultando en  $V = (1.486/n) \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$ .

La ecuación de Manning es el resultado del proceso de un ajuste de curvas, y por tanto es completamente empírica en su naturaleza. Debido a su simplicidad de forma y a los resultados satisfactorios que arroja para aplicaciones prácticas, la fórmula Manning se ha hecho la más usada de todas las fórmulas de flujo uniforme para cálculos de escurrimiento en canal abierto.

La fórmula Manning fue sugerida para uso internacional por Lindquist en el Scandinavia Sectional Meeting del World Power Conference en 1933, en Estocolmo.

### 1.6.1.- COEFICIENTE DE MANNING.

El valor de n es muy variable y depende de una cantidad de factores. Al seleccionar un valor adecuado de n para diferentes condiciones de diseño, un conocimiento básico de estos factores debe ser considerado de gran utilidad.

#### Rugosidad de la superficie

Se representa por el tamaño y la forma de los granos del material que forma el perímetro mojado y que producen un efecto retardante sobre el flujo. En general, los granos finos resultan en un valor relativamente bajo de n y los granos gruesos dan lugar a un valor alto de n.

#### Vegetación

Puede ser vista como una clase de rugosidad superficial. Este efecto depende principalmente de la altura, densidad, distribución y tipo de vegetación, y es muy importante en el diseño de canales pequeños de drenaje, ya que por lo común éstos no reciben mantenimiento regular.

#### Irregularidad del canal

Se refiere a las variaciones en las secciones transversales de los canales, su forma y su perímetro mojado a lo largo de su eje longitudinal. En general, un cambio gradual y uniforme en la sección transversal o en su tamaño y forma no produce efectos apreciables en el valor de n, pero cambios abruptos o alteraciones de secciones pequeñas y grandes requieren el uso de un valor grande de n.

#### Alineamiento del canal

Curvas suaves con radios grandes producirán valores de n relativamente bajos, en tanto que curvas bruscas con meandros severos incrementarán el n.



□ Sedimentación y erosión

En general la sedimentación y erosión activa, dan variaciones al canal que ocasionan un incremento en el valor de  $n$ . Urquhart (1975) señaló que es importante considerar si estos dos procesos están activos y si es probable que permanezcan activos en el futuro.

□ Obstrucción

La presencia de obstrucciones tales como troncos de árbol, desechos de flujos, atascamientos, pueden tener un impacto significativo sobre el valor de  $n$ . El grado de los efectos de tales obstrucciones depende del número y tamaño de ellas.

### 1.6.2.- FORMULA DE MANNING.

Aunque lo más conveniente sería utilizar la fórmula de Hazen-Williams en conductos de flujo libre o conductos que no fluyen llenos, los Lineamientos Técnicos para la elaboración de Estudios y Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado (CNA, 1993), sugiere el uso de la fórmula de Manning en conductos que fluyen llenos.

La fórmula de Manning se escribe de la siguiente manera:

$$V = (1/n)(R)^{2/3}(S)^{1/2} \text{-----}(17)$$

$$V = (Q/A)$$

y entonces

$$Q/A = (1/n)(R)^{2/3}(S)^{1/2}$$

y por lo tanto

$$n = (A/Q)(R)^{2/3}(S)^{1/2}$$

$V$  = velocidad media del agua en m/ s.

$n$ = coeficiente de rugosidad en la tubería.

$R$  = radio hidráulico de la tubería en m

$S$ = pendiente hidráulica.

$$S = hf/L$$

$hf$ = pérdida de carga por fricción, en m.

$L$ = es la longitud e la tubería, en m.

$Q$ = es el gasto por conducir, en  $m^3/s$

$D$ = es el diámetro de la tubería, en m.

Como  $R = A/P$

En donde:

$A =$  es el área hidráulica del conducto y

$P =$  perímetro mojado, entonces,

$$R = (\pi D^2/4) / \pi D = D/4$$

sustituyendo en 2 tenemos;

$$V = (1/n)(D/4)^{2/3}(hf/L)^{1/2} \text{-----(18)}$$

Por otra parte, la ec. que define el gasto es

$$Q = AV = (\pi D^2/4) V \text{-----(19)}$$

Sustituyendo en 4 en 3,

$$Q = \pi D^2/4 (1/n)(D/4)^{2/3}(h/L)^{1/2}$$

Operando

$$Q = 0.3117 (D^{8/3} h^{1/2}) / L^{1/2} n$$

Despejando h

$$hf^{1/2} = (L^{1/2} n Q) / 0.3117 D^{8/3}$$

Elevando al cuadrado

$$hf = (10.3 n^2 Q^2 L) / D^{16/3}$$

$$D = \theta = [(10.3 n^2 Q^2 / hf) \times L]^{3/16}$$

Si  $K = 10.3 n^2 / Q^{16/3}$  , la ec. anterior queda,

$$hf = K L Q^2$$

Por las circunstancias anteriores el «n» de trabajo, es decir el utilizado en el diseño, debe incluir un margen de seguridad suficiente para tener en cuenta las circunstancias adversas que se pueden presentar durante la vida útil de los alcantarillados

En la siguiente tabla se presentan una serie de datos calculados y establecidos por manuales técnicos

En general, los productos más utilizados son el concreto, el asbesto cemento y el PVC, presentan todos ellos, bajo condiciones de laboratorio valores de «n» inferiores a 0.009. Sin embargo para las condiciones reales de trabajo el valor de «n» debe incrementarse.

TABLA 4.- Coeficientes de Manning.

MATERIAL	coeficiente de Manning
Asbesto Cemento	0.011
Asfalto	0.016
Latón	0.011
Ladrillo	0.015
Arbustos - Aislados	0.05
Arbustos - Densos	0.075
Hierro Fundido, nuevo	0.012
Concreto - Encofrado de Acero	0.011
Concreto - Encofrado de Madera	0.015
Concrete - Hecho Centrifugado	0.013
Cobre	0.011
Metal Acanalado	0.022
Hierro Galvanizado (HG)	0.016
Plomo	0.011
Pasturas, Cultivos	0.035
Polietileno, con paredes internas lisas	0.009 - 0.015
Polietileno, con paredes internas acanaladas	0.018 - 0.025
PVC, con paredes internas lisas	0.009
Acero - esmalte de alquitrán de hulla	0.01
Acero - Nuevo	0.011
Acero - Rolado	0.019
Árboles	0.15
Bastón de madera	0.012
<b>Cunetas y canales sin revestir</b>	
En tierra ordinaria, superficie uniforme y lisa	0.020-0.025
En tierra ordinaria, superficie irregular	0.025-0.035
En tierra con ligera vegetación	0.035-0.045
En tierra con vegetación espesa	0.040-0.050
En tierra excavada mecánicamente	0.028-0.033
En roca, superficie uniforme y lisa	0.030-0.035
En roca, superficie con aristas e irregularidades	0.035-0.045

## **CAPITULO II.- BANCO Y CANAL HIDRODINÁMICO**

---

## 2.1.- INTRODUCCIÓN.

El Banco Hidrodinámico, permite experimentar con la medición de flujos y presiones, determinar pérdidas en los sistemas de tuberías y en ciertos elementos, además permite medir y observar los siguientes aspectos:

- » Diferentes técnicas de medición de flujos y presiones.
- » La función de venturímetros, diafragmas, tubo pitot, válvulas, etc.
- » La influencia de diferentes materiales y grados de aspereza de la superficie.
- » La influencia de baja velocidad, en el coeficiente de pérdida de energía.
- » Perdidas debidas a curvas y codos en la tubería, cambios en el área de sección, y dispositivos de cerrado o apertura.
- » La determinación de coeficientes de niveles de resistencia y pérdida.
- » La comparación entre los experimentos y cálculos.
- » Observación de influencia de defectos, en accesorios.

Cabe mencionar que dicho modulo, debido a que esta equipado con ciclo de agua cerrado, el banco de pruebas es independiente del suministro de agua, y por lo tanto se puede utilizar en diferentes ubicaciones del Laboratorio de Hidráulica de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura (E.S.I.A.), (Foto 1).

FIGURA 1.- Banco hidrodinámico.

## 2.2.- GENERALIDADES DEL BANCO HIDRODINAMICO.

A continuación se mencionan las características generales del Banco hidrodinámico:

- Toda la distribución de los experimentos se acomoda claramente en un carrito de laboratorio.
- Movilidad y facilidad de maniobrar el modelo de pruebas, gracias a cuatro ruedas giratorias.
- Debido a su ciclo de agua cerrado, la unidad puede operarse independientemente del suministro de agua.
- Medición del flujo por medio del sensor de impulso eléctrico con carátula digital.
- Cinco sistemas de medición de la presión independiente para calcular el coeficiente de fricción.
- Conexión rápida y fácil entre los puntos de medición y los medidores de presión por medio de tubos con uniones de manguera de acción rápida.
- Accesorios de medición de flujo.
- Las secciones de tubería son intercambiables, lo que permite el uso de secciones de tubería individual.

## 2.3.- ELEMENTOS DEL BANCO HIDRODINAMICO.

En la obtención de los coeficientes de fricción se emplean diferentes métodos con diferentes bancos en todo el mundo. A continuación se lleva a cabo la explicación de cómo obtener los coeficientes de fricción en el Banco Hidrodinámico, pero antes, se definirá el equipo y los materiales que conforman el Banco hidrodinámico, como se muestra en la (Figura 1).

FIGURA 1.2.- Banco Hidrodinámico.

1. Carrito de laboratorio.
2. Tanque de agua con mirilla de inspección.
3. Bomba sumergible.
4. Caja de interruptores con APAGADO DE EMERGENCIA.
5. Gabinete de interruptor con carátula digital.
6. Manómetro de tubos.
7. Manómetro de 6 tubos.
8. Sensores eléctricos de la presión.
9. Termómetro.
10. Sensor de flujo del impulsor.
11. Llave de descarga.
12. Objetos de medición intercambiables.
13. Diversas secciones de medición.
14. Llave de descarga al tanque.

## 2.4.- SECCIONES DE MEDICIÓN (AFORADORES Y TUBERIAS).

En el punto 12 de la descripción del Banco Hidrodinámico las diversas secciones de medición son de: Fierro Galvanizado, Cobre, P.V.C. Con características diferentes como se muestra en la (Figura 2).

FIGURA 2.- Secciones de tuberías instaladas permanentemente.

## 2.5.- OBJETOS DE MEDICIÓN.

Los objetos de medición que se utilizaron son los tres tubos de diferente material (Fierro Galvanizado, Cobre, P. V.C.), que vienen en el Banco Hidrodinámico ver (Figura 3).

FIGURA 3.- Tubos de diferentes materiales

Para obtener el coeficiente de fricción de los tres tubos de diferentes materiales ya mencionados anteriormente, del Banco Hidrodinámico, se realizaron con 3 diferentes métodos.

- MANÓMETRO DOBLE
- SENSOR DE PRESION DIFERENCIAL y DEL FLUJOMETRO

- DIAGRAMA DE MOODY
- 

Los dos primeros se emplean con el BANCO HIDRODINAMICO y el tercero como se menciona, con el Diagrama de Moody.

## 2.6.- ACCESORIOS DEL BANCO HIDRODINAMICO.

A continuación se da una descripción de los accesorios que se utilizan para la calibración de los dispositivos de medición.

### 2.6.1.- MANOMETRO DOBLE.

El Manómetro Doble permite medir la presión en milímetros de agua como la presión diferencial o que es lo mismo pérdida o nivel de carga por fricción (Figura 4).

FIGURA 4.- Manómetro doble.

Las características principales del manómetro son las siguientes:

- » El manómetro consiste en dos tubos de nivel de vidrio con una escala milimétrica de metal atrás de ellos.
- » El campo de medición es de 0.689 mm de agua.
- » Ambos tubos de nivel se conectan entre sí en la parte superior y tienen una válvula de purgado.
- » La presión diferencial se mide con la válvula cerrada, mientras que la sobre presión se mide con la válvula de purgado
- » Los puntos de medición se conectan a los extremos inferiores de los tubos de nivel con uniones de manguera de acción rápida.
- » Cada tubo de nivel tiene una válvula de descarga en su extremo inferior.

#### 2.6.1.1.- CONEXIÓN Y OPERACIÓN DEL MANOMETRO.

Para la conexión y operación del Manómetro hay que:

- » Conectar las mangueras de entrada y de salida a la sección de tubería que se va a medir.
- » Abrir la llave de bola en la salida.
- » Conectar el manómetro a la sección de tubería que se va a medir utilizando los tubos de conexión.
- » Sellar todas las glándulas de medición con tapones provisionales.

» Encender la bomba de circulación.

### 2.6.1.2.- PURGADO.

La mecánica correcta de realizar la acción de purgado es la siguiente:

- Cerrar la válvula de purgado en la parte superior.
- Abrir ambas válvulas de descarga en el fondo.
- Abrir lentamente la llave de bola en la entrada de la sección de tubería que se va a medir.
- La sección de tubería y los tubos de conexión se ventilan por el flujo de agua.
- Cerrar la llave de descarga de la sección de la tubería.
- Cerrar lentamente ambas válvulas de descarga en el fondo simultáneamente.

### 2.6.1.3.- AJUSTE DE LAS POSICIONES EN CERO.

- Cerrar La descarga de la sección de tubería.
- El nivel es igual a ambos tubos de medición.
- Fijar el nivel en el centro de la escala utilizando la válvula de purgado.

NOTA: Se utiliza el manómetro eléctrico solamente para ajustar el gasto.

### 2.6.2.- MANOMETRO ELECTRICO.

La unidad electrónica de medición de la presión permite determinar la sobre presión y la presión diferencial, las cuales se muestran en las carátulas digitales y/o en el monitor. La unidad tiene siete conexiones (marcadas como p1- p7), para las líneas de medición, además. Se mide una medición diferencial de 0- 200 milibares entre las conexiones p1 y p2, por lo que la presión más alta debe estar en p1 ver (Figura 5 y 6).

FIGURA 5. Medición electrónica de la presión

FIGURA 6.- Gabinete de interruptor.

### 2.7.- GENERALIDADES DEL CANAL HIDRODINAMICO

Para poder desarrollar las pruebas que finalmente proporcionen los datos característicos del fluido, y a partir de estos, es el Canal hidrodinámico de pendiente variable, donde se realizan los ensayos (Foto 2.)

## FOTO 2.- Vista general del Canal de flujo de pendiente variable.

De manera general la unidad consta de un canal de 2.5 m. de largo con la posibilidad de alargarlo a 5 m., montado sobre un pedestal de inclinación y un pedestal de soporte fijo, donde se encuentran el tablero central de accionamiento o interruptor, una bomba centrífuga, y el medidor de flujo (rotámetro).

El equipo permite una vista completa a lo largo del canal, por la transparencia de las paredes, en el que se puede observar la circulación del flujo suministrado adecuadamente por el conjunto de la bomba centrífuga, una válvula de control de gasto y el rotámetro.

Si se utiliza toda la sección transversal del canal como efectiva, circula un caudal de 4.83 lt/s y alcanza una velocidad de 0.187 m/s. El pedestal de inclinación lo podemos ajustar desde un 3% hasta un -5% en dirección longitudinal a través de un volante, así se puede encauzar el flujo o se puede simular un gradiente natural.

### 2.7.1.- ELEMENTOS DEL CANAL HIDRODINAMICO.

Los diferentes elementos que hacen posible la circulación, regulación y medición del flujo son los siguientes (Figura 7).

FIGURA 7.-Elementos del Canal de flujo de pendiente variable.

1. Canal de flujo.
2. Depósito de entrada.
3. Rejilla disipadora de energía.
4. Tanque de salida.
5. Tanque almacenador.
6. Rotámetro.
7. Válvula de control de gasto.
8. Pedestal de soporte fijo.
9. Tubería.
10. Válvula de desfogue.
11. Pedestal de inclinación.

Las funciones y características que realizan algunos de estos elementos son:

#### Bomba centrífuga.

Es la bomba que se encarga de impulsar el flujo del tanque almacenador al canal hidrodinámico, por medio del sistema eléctrico a través de la tubería. Se encuentra en el pedestal de soporte fijo (Fotos 2 y 3).



FOTO 2.- Bomba en el pedestal de soporte fijo.

FOTO 3.- Bomba centrífuga, motor (120 VAC, 60Hz).

#### 2.7.1.1.- ROTAMETRO.

Ubicado en el pedestal de soporte fijo, este mide el caudal en un rango de 0 m<sup>3</sup>/Hr (0%) a 10 m<sup>3</sup>/hr (100%), o flujo máximo. La cantidad de flujo se registra con la parte superior del cono que está dentro del rotámetro (Foto 4).

FOTO 4.- Medidor de flujo (rotámetro).

#### 2.7.1.2.- PEDESTAL DE INCLINACIÓN.

Funge como soporte en el otro extremo del canal y es el que otorga la inclinación a pendientes o gradientes (3% a -5%), consiste de una base trapezoidal de la cual se levanta un vástago, por medio de un volante (Fotos 5 y 6).

FOTO 5.- Pedestal de inclinación.

FOTO 6.- Vernier de pendientes.

#### 2.7.1.3.- DEPÓSITO DE ENTRADA.

La entrada del flujo se realiza bajo condiciones de vorticidad nula, es decir que el flujo entra de manera tranquila; aunado a la conservación de la sección hidráulica, se mantiene un perfil de velocidad constante y se desarrolla entonces en un curso plano a través de todo el canal permaneciendo el mismo nivel de agua y presión atmosférica. (Fotos 7 y 8).

FOTO 7.- Acercamiento al depósito de entrada.

FOTO 8.- Vista superior del depósito de entrada con control de nivel.

#### 2.7.1.4.- CANAL DE FLUJO.

Cuenta con una sección transversal de 8.6 cm de ancho y 30 cm de profundidad, a lo largo del canal se encuentran 8 válvulas que trabajan como sujeciones a los accesorios del equipo como es el caso de las compuertas, y también como bases para sensores que al estar instalados debajo del canal

evitan las pérdidas de agua que se lleguen a generar, cuando se termine alguna operación con el canal (Foto 9).

FOTO 9.- Vista longitudinal del canal de flujo.

#### 2.7.1.5.- TABLERO DE CONTROL O INTERRUPTOR.

Este se encuentra en el soporte fijo del canal, alojando a todos los componentes necesarios para operar el sistema eléctrico y accionar el motor de la bomba (Figura 8 y Foto 10).

FIGURA 8.-Esquema del tablero de control.

FOTO 10.- Localización del tablero en el pedestal de soporte.

#### 2.7.1.6.- TANQUE DE SALIDA.

La salida de flujo, conduce al flujo que emerge del canal al tanque almacenador para su posterior recirculamiento (Foto 11).

FOTO 11.- Vista general del tanque de salida.

El flujo se retiene en la salida gracias a un prototipo de represa en el arribo a esta, que evita un reflujo hacia el canal (Foto 12).

FOTO 12.- Vista superior del tanque de salida y componentes.

#### 2.7.1.7.-CICLO DEL FLUJO EN EL CANAL HIDRODINAMICO DE PENDIENTE VARIABLE.

Una vez suministrado el fluido en el tanque que almacena 2 veces la capacidad de canal, se inicia un circuito cerrado de flujo, que se genera al encender con el interruptor el motor de la bomba misma que impulsa al flujo fuera del tanque y este pasa a través del rotámetro donde es medido una vez regulado por la válvula de control (Figura 9).

### FIGURA 9.-Ubicación de la bomba, válvula y rotámetro.

El flujo circula por la tubería (Foto 13) hasta llegar al depósito de entrada, fluye por todo el canal y finalmente arriba a la pantalla disipadora donde se drena en el tanque de salida hasta llegar al tanque almacenador para su recirculamiento mientras el interruptor se mantenga en encendido.

FOTO 13.- Tubería que accesa al depósito de entrada.

El flujo puede ser regulado por una válvula de control de gasto (Foto 14) y medirse a través del rotámetro. Para impedir que el agua se eleve al máximo nivel de 25 cm. existen unos controles de nivel en el depósito de la entrada y en el tanque de salida de flujo que interrumpen la circulación antes del desbordamiento.

En cualquier sitio del canal, se pueden instalar el limnómetro, siempre y cuando se respete la dirección del flujo.

El flujo puede ser regulado por una válvula de control de gasto (Foto 15) y medirse a través del rotámetro. Para impedir que el agua se eleve al máximo nivel de 25 cm. existen unos controles de nivel en el depósito de la entrada y en el tanque de salida de flujo que interrumpen la circulación antes del desbordamiento.

FOTO 14.- Válvula de control.

## 2.8.- PROCEDIMIENTO EN EL CANAL DE PENDIENTE VARIABLE.

En este capítulo se describe el procedimiento de como se llevan a cabo los ensayos. En donde la parte interna del canal se cubren con materiales de diferentes rugosidades, y así determinar el coeficiente de Manning (Foto 16).

FOTO 16.- Canal hidrodinámico.

Al realizar las pruebas, el canal hidrodinámico se mantiene con una pendiente al uno por ciento ( 1 % ). Esta medida se toma para todos los ensayos hechos a lo largo de todo el proyecto.

### PROCEDIMIENTO

1.- Cubrir una sección del canal con el material rugoso, verificando que

---

este no se desprenda a la hora de que fluya el agua.

2.- Conectar Bomba centrífuga, motor (120 VAC, 60Hz) a corriente.

2.- Verificar que el canal hidrodinámico se encuentra con pendiente al 1%

3.- Encender el tablero de control.

4.- El limnómetro de punta se coloca sobre los bordes del canal, se procede a calibrarlo de la siguiente manera:

FIGURA 10.- Esquema del limnómetro de punta.

De la figura 3.4.a.

- a) Se toca el fondo del canal con la punta del limnómetro, por medio del tornillo A y lo ajustamos.
- b) Se hace coincidir el cero de la regleta pequeña con el cero de la regleta fija.
- c) Cuando ambas regletas coinciden en cero, se apretará el tornillo C. (Foto 17).

FOTO 17.- Regletas del limnómetro en ceros ó calibrado.

El procedimiento del ensayo generalmente consistió en que se prueba con diferentes gastos para ciertas alturas y toma la lectura del limnómetro, se comienza con la capacidad mínima de caudal ( $1 \text{ m}^3/\text{hr}$ ), cuyos valores fueron registrados hasta que el caudal estuviera estable, y partiendo de ello, se hizo lo mismo aumentando el gasto cada ( $0.5 \text{ m}^3/\text{hr}$ ), hasta el gasto máximo ( $10 \text{ m}^3/\text{hr}$ ), midiendo con el limnómetro los niveles de tirante correspondiente a cada gasto (Foto 18).

FOTO 18.- Caso de descarga sumergida ( $S = 0$ ,  $Q = 9 \text{ m}^3/\text{hr}$ ,  $a = 4 \text{ cm}$ ).

5.- Se acciona el interruptor, a fin de encender la bomba, permitiendo así el flujo del agua del tanque hacia el rotámetro.

6.- Se regula el gasto abriendo o cerrando la válvula de paso, esto se logra cuando la parte superior del cono metálico coincidió con la regleta graduada como se muestra en la (Foto 19); Dando tiempo a que el flujo se estabilizara.

FOTO 19.- Cantidad de gasto registrado.

7.- Con el flujo estabilizado se realiza las lecturas del tirante o en el embalse de la forma siguiente (Foto 10):

FOTO 20.- Altura del tirante, producida por las magnitudes de apertura y gasto.

- a) Desajustamos el tornillo A del limnómetro y deslizamos la barra a que la punta tocara sensiblemente el nivel del embalse.
- b) Precisamos el contacto de la punta con la superficie del agua y se cerró el tornillo B.

8.- Registramos los datos de aforo: gasto (Q), y tirante en el embalse (Y<sub>1</sub>).

9.- Este procedimiento lo realizamos con diferentes gastos por cada abertura.

### CAPITULO 3.- ANALISIS DE RESULTADOS (B.H.)

Con la finalidad de comparar y realizar los análisis de los coeficientes de fricción obtenidos en los ensayos realizados en el Banco Hidrodinámico para las tuberías de (Fierro Galvanizado, Cobre y P. V .C), mostramos los coeficientes de fricción obtenidos a través de ecuaciones ya conocidas y probadas experimentalmente en el diseño de tuberías.

#### 3.1.- ECUACIONES PARA TUBERIA DE FIERRO GALVANIZADO.

##### 3.1.1- ECUACIÓN DE COLEBROOK.

En base a la ecuación (13), vista en él (Capítulo 1.5.2., pagina 13), obtenemos los siguientes coeficientes de fricción.  $\lambda = [ 2\log[(2.51/Re \lambda^{1/2}) + (0.27/D/k) ] ]^{-2}$

Prueba	Gasto (Q)		Diámetro (D)	Área (A)	Velocidad (V)	Temperatura	Rugosidad Absoluta (k)	Viscosidad Cinemática (ν)	Número de Reynolds (Re)	Coeficiente de Fricción Propuesto (λ')	√λ'
	LPM	m <sup>3</sup> /seg									
1	21	0.00035	0.016	2.01E-04	1.741	13	0.1500	1.19E-06	2.3327E+04	0.03960	0.198997
2	18	0.00030	0.016	2.01E-04	1.492	13	0.1500	1.19E-06	1.9994E+04	0.04000	0.200000
3	15	0.00025	0.016	2.01E-04	1.243	13	0.1500	1.19E-06	1.6662E+04	0.04050	0.201246
4	12	0.00020	0.016	2.01E-04	0.995	13	0.1500	1.19E-06	1.3330E+04	0.04120	0.202978
5	9	0.00015	0.016	2.01E-04	0.746	13	0.1500	1.19E-06	9.9972E+03	0.04240	0.205913

Re·√λ'	D/k	$\frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda'}}$	$\frac{0.27}{D/k}$	$\frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda'}} + \frac{0.27}{D/k}$	$\log \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda'}} + \frac{0.27}{D/k}$	$2 \left( \log \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda'}} + \frac{0.27}{D/k} \right)$	$\left[ 2 \left( \log \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda'}} + \frac{0.27}{D/k} \right) \right]^{-2}$
							Coeficiente de fricción
4.6420E+03	106.666667	5.4072E-04	0.0025313	0.003072	-2.51258306	-5.02516612	<b>0.0396</b>
3.9989E+03	106.666667	6.2768E-04	0.0025313	0.003159	-2.50046032	-5.00092064	<b>0.0400</b>
3.3532E+03	106.666667	7.4855E-04	0.0025313	0.003280	-2.48415273	-4.96830547	<b>0.0405</b>
2.7056E+03	106.666667	9.2770E-04	0.0025313	0.003459	-2.46105525	-4.92211049	<b>0.0413</b>
2.0585E+03	106.666667	1.2193E-03	0.0025313	0.003751	-2.42590402	-4.85180803	<b>0.0425</b>

TABLA IV.1.- Coeficiente de fricción – Ecuación de Colebrook

Nota: El coeficiente de fricción ( $\lambda'$ ) propuesto debe ser igual o parecido al coeficiente de fricción final, por lo cual se recomienda realizar algunas iteraciones para encontrar el valor mas exacto.

### 3.1.2- ECUACIÓN DE BLASIUS.

En base a la ecuación (14), vista en él (Capítulo 1.5.3., pagina 13), obtenemos los siguientes coeficientes de fricción:

$$\lambda = (0.3164/Re^{1/4})$$

La condición establecida en él (Capítulo 1.5.3., Pág. 13), aplicándola a esta ecuación, no cumple dicha condición como se muestra a continuación:

La condición es:  $Re < 65D/k$ , y los resultados son:

prueba	Re	<	65D/k
1	2.3327E+04	>	6933.33
2	1.9990E+04	>	6933.33
3	1.6662E+04	>	6933.33
4	1.3330E+04	>	6933.33
5	9.9972E+03	>	6933.33

Tabla IV.2.- La condición para la ecuación de Blasius, **No cumple.**

Nota: La ecuación de Blasius cumple con todos los datos, pero no cumple con la condición, no se podrá resolver dicha ecuación

### 3.1.3- ECUACIÓN DE SWAMEE-JAIN.

Prueba	Gasto (Q)		Diámetro (D)	Área (A)	Velocidad (V)	Temperatura	Rugosidad Absoluta (k)	Viscosidad Cinemática (ν)	Número de Reynolds (Re)	k/D	$\frac{k/D}{3.7}$
	LPM	$m^3 / seg$									
1	21	0.00035	0.016	2.01E-04	1.741	13	0.1500	1.19E-06	2.3327E+04	0.0025	8532.34619
2	18	0.00030	0.016	2.01E-04	1.492	13	0.1500	1.19E-06	1.9994E+04	0.0025	7427.05017
3	15	0.00025	0.016	2.01E-04	1.243	13	0.1500	1.19E-06	1.6662E+04	0.0025	6303.08605
4	12	0.00020	0.016	2.01E-04	0.995	13	0.1500	1.19E-06	1.3330E+04	0.0025	5156.25307
5	9	0.00015	0.016	2.01E-04	0.746	13	0.1500	1.19E-06	9.9972E+03	0.0025	3980.05764

$Re^{0.9}$	$\frac{5.74}{Re^{0.9}}$	$\frac{k/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}$	$\log \frac{k/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}$	$\left( \log \frac{k/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right)^2$	$\frac{0.25}{\left( \log \frac{k/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right)^2}$
					<b>Coefficiente de fricción</b>
9.375E-03	6.73E-04	3.173E-03	-2.49853	6.24265	<b>0.0400</b>
9.375E-03	7.74E-04	3.274E-03	-2.48492	6.17483	<b>0.0404</b>
9.375E-03	9.13E-04	3.413E-03	-2.46686	6.08540	<b>0.0410</b>
9.375E-03	1.11E-04	3.619E-03	-2.44141	5.96048	<b>0.0419</b>
9.375E-03	1.43E-04	3.928E-03	-2.40583	5.78802	<b>0.0431</b>

TABLA IV.3.- Coeficientes de fricción – Ecuación de Swamee-Jain

### 3.1.4.- ECUACIÓN DE COLEBROOK-WHITE.

Prueba	Gasto (Q)		Diámetro (D)	Área (A)	Velocidad (V)	Temperatura	Rugosidad Absoluta (k)	Viscosidad Cinemática (ν)	Número de Reynolds (Re)	k/D	$\frac{k/D}{3.71}$
	LPM	$m^3 / seg$									
1	21	0.00035	0.016	2.01E-04	1.741	13	0.1500	1.19E-06	2.3327E+04	9.375E-03	0.00253
2	18	0.00030	0.016	2.01E-04	1.492	13	0.1500	1.19E-06	1.9994E+04	9.375E-03	0.00253
3	15	0.00025	0.016	2.01E-04	1.243	13	0.1500	1.19E-06	1.6662E+04	9.375E-03	0.00253
4	12	0.00020	0.016	2.01E-04	0.995	13	0.1500	1.19E-06	1.3330E+04	9.375E-03	0.00253
5	9	0.00015	0.016	2.01E-04	0.746	13	0.1500	1.19E-06	9.9972E+03	9.375E-03	0.00253

Coefficiente de fricción propuesto ( $\lambda'$ )	$\sqrt{\lambda'}$	$Re \cdot \sqrt{\lambda'}$	$\frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda'}}$	$\frac{k/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda'}}$	$\log \frac{k/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda'}}$	$-2 \cdot (A)$	=	$\frac{1}{\sqrt{\lambda'}}$	Coefficiente de fricción. ( $\lambda'$ )
0.03958	0.198997	4.6420E+03	5.4072E-04	3.06809E-03	-2.5131315	5.0263	=	5.0264	<b>0.03958</b>
0.04000	0.200000	3.9989E+03	6.2768E-04	3.15655E-03	-2.5009200	5.002	=	5.000	<b>0.04000</b>
0.04050	0.201246	3.3532E+03	7.4855E-04	3.2776E-03	-2.4844400	4.969	=	4.969	<b>0.04050</b>
0.04130	0.202978	2.7056E+03	9.2770E-04	3.4589E-03	-2.4610600	4.922	=	4.921	<b>0.04130</b>
0.04250	0.205913	2.0585E+03	1.2193E-03	3.7548E-03	-2.4254120	4.851	=	4.851	<b>0.04250</b>

TABLA IV.4.- Coeficientes de fricción – Ecuación de Colebrook-White

Nota: Si en la igualdad de la ecuación, los 2 terminos son iguales o parecidos, el coeficiente de fricción propuesto será el coeficiente de fricción final.

### 3.1.5.- DIAGRAMA D E MOODY.

Basándose en la (Figura 1.12), vista en él (Capítulo 1.5.6., pagina 14), se hace mención del diagrama de Moody. El cual está en función de la rugosidad relativa (k/D) y el Número de Reynolds (Re), obtenemos los siguientes coeficientes de fricción.

Prueba	Re	k/D	Coefficiente de fricción
1	2.3327E+04	9.375E-03	<b>0.0389</b>
2	1.9994E+04	9.375E-03	<b>0.0390</b>
3	1.6662E+04	9.375E-03	<b>0.0395</b>
4	1.3330E+04	9.375E-03	<b>0.0400</b>
5	9.9972E+03	9.375E-03	<b>0.0410</b>

TABLA IV.5.- Coeficientes de fricción del diagrama de Moody

### 3.1.6.- RESUMEN DE RESULTADOS.

A continuación mostramos un resumen de resultados de los coeficientes de fricción, obtenidos por las ecuaciones ya existentes para la tubería de Fierro Galvanizado.

Número de Ensayo	Gasto <i>m<sup>3</sup> / seg</i>	Número de Reynolds (Re)	COEFICIENTES DE FRICCIÓN					Promedio (λ')
			Colebrook (λ')	Blasius (λ')	Swamee-Jain (λ')	Colebrook-White (λ')	Diagrama de Moody (λ')	
1	0.00035	2.3327E+04	0.0396	0.0395	0.0400	0.03958	0.0389	<b>0.03952</b>
2	0.00030	1.9994E+04	0.0400	0.0399	0.0404	0.04000	0.0390	<b>0.03985</b>
3	0.00025	1.6662E+04	0.0405	0.0404	0.0410	0.04050	0.0395	<b>0.040375</b>
4	0.00020	1.3330E+04	0.0413	0.0411	0.0419	0.04130	0.0400	<b>0.041125</b>
5	0.00015	9.9972E+03	0.0425	0.0423	0.0431	0.04250	0.0410	<b>0.042275</b>

TABLA IV.6.- Resumen de los resultados de la tubería de fierro galvanizado.

Enseguida presentamos la gráfica correspondiente a los valores del coeficiente de fricción en función del Número de Reynolds, obtenidos de las ecuaciones anteriores (Gráfica IV .1).

### 3.2.- ECUACIONES PARA TUBERIA DE COBRE.

#### 3.2.1- ECUACIÓN DE COLEBROOK.

Prueba	Gasto (Q)		Diámetro (D)	Área (A)	Velocidad (V)	Temperatura	Rugosidad Absoluta (k)	Viscosidad Cinemática (ν)	Número de Reynolds (Re)	Coeficiente de Fricción Propuesto (λ')	√λ'
	LPM	<i>m<sup>3</sup> / seg</i>									
1	21	0.00035	0.016	2.01E-04	1.741	13	0.0015	1.19E-06	2.3327E+04	0.02510	3694.04100
2	18	0.00030	0.016	2.01E-04	1.492	13	0.0015	1.19E-06	1.9994E+04	0.02610	3225.68700
3	15	0.00025	0.016	2.01E-04	1.243	13	0.0015	1.19E-06	1.6662E+04	0.02720	2740.45020
4	12	0.00020	0.016	2.01E-04	0.995	13	0.0015	1.19E-06	1.3330E+04	0.02890	2252.99810
5	9	0.00015	0.016	2.01E-04	0.746	13	0.0015	1.19E-06	9.9972E+03	0.03110	1748.74574



$Re \cdot \sqrt{\lambda'}$	$D/k$	$\frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda'}}$	$\frac{0.27}{D/k}$	$\frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda'}} + \frac{0.27}{D/k}$	$\log \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda'}} + \frac{0.27}{D/k}$	$2 \left( \log \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda'}} + \frac{0.27}{D/k} \right)$	$\left[ 2 \left( \log \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda'}} + \frac{0.27}{D/k} \right) \right]^{-2}$
							<b>Coefficiente de fricción</b>
0.158430	10666.67	6.7947E-04	2.5313E-05	7.04785E-04	-3.15194	-6.30389	<b>0.02510</b>
0.161555	10666.67	7.7813E-04	2.5313E-05	8.03441E-04	-3.09504	-6.19009	<b>0.02610</b>
0.164924	10666.67	4.1591E-04	2.5313E-05	9.41220E-04	-3.02631	-6.05262	<b>0.02730</b>
0.170000	10666.67	1.1141E-03	2.5313E-05	1.13938E-04	-2.94333	-5.88666	<b>0.02890</b>
0.176352	10666.67	1.4353E-03	2.5313E-05	1.46062E-04	-2.83546	-5.67092	<b>0.03110</b>

TABLA IV.7.- Coeficiente de fricción – Ecuación de Colebrook

Nota: El coeficiente de fricción ( $\lambda'$ ) propuesto debe ser igual o parecido al coeficiente de fricción final, por lo cual se recomienda realizar algunas iteraciones para encontrar el valor mas exacto.

### 3.2.2- ECUACIÓN DE BLASIUS.

Prueba	Gasto (Q)		Diámetro (D)	Área (A)	Velocidad (V)	Temperatura	Rugosidad Absoluta (k)	Viscosidad Cinemática (ν)	Número de Reynolds (Re)	$\sqrt[4]{Re}$	$\frac{0.3164}{\sqrt[4]{Re}}$
	LPM	m <sup>3</sup> /seg								m	m <sup>2</sup>
1	21	0.00035	0.016	2.01E-04	1.741	13	0.0015	1.19E-06	2.3327E+04	<b>0.02560</b>	12.35709008
2	18	0.00030	0.016	2.01E-04	1.492	13	0.0015	1.19E-06	1.9994E+04	<b>0.02660</b>	11.88708821
3	15	0.00025	0.016	2.01E-04	1.243	13	0.0015	1.19E-06	1.6662E+04	<b>0.02790</b>	11.35362028
4	12	0.00020	0.016	2.01E-04	0.995	13	0.0015	1.19E-06	1.3330E+04	<b>0.02950</b>	10.72946274
5	9	0.00015	0.016	2.01E-04	0.746	13	0.0015	1.19E-06	9.9972E+03	<b>0.03170</b>	9.97899642

TABLA IV.8.- Coeficiente de fricción – Ecuación de Blasius

### 3.2.3- ECUACIÓN DE SWAMEE-JAIN.

Prueba	Gasto (Q)		Diámetro (D)	Área (A)	Velocidad (V)	Temperatura	Rugosidad Absoluta (k)	Viscosidad Cinemática (ν)	Número de Reynolds (Re)	k/D	$\frac{k/D}{3.7}$
	LPM	m <sup>3</sup> /seg									m
1	21	0.00035	0.016	2.01E-04	1.741	13	0.0015	1.19E-06	2.3327E+04	2.534E-05	8532.34619
2	18	0.00030	0.016	2.01E-04	1.492	13	0.0015	1.19E-06	1.9994E+04	2.534E-05	7427.05017
3	15	0.00025	0.016	2.01E-04	1.243	13	0.0015	1.19E-06	1.6662E+04	2.534E-05	6303.08605
4	12	0.00020	0.016	2.01E-04	0.995	13	0.0015	1.19E-06	1.3330E+04	2.534E-05	5156.25307
5	9	0.00015	0.016	2.01E-04	0.746	13	0.0015	1.19E-06	9.9972E+03	2.534E-05	3980.05764

$Re^{0.9}$	$\frac{5.74}{Re^{0.9}}$	$\frac{k/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}$	$\log \frac{k/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}$	$\left( \log \frac{k/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right)^2$	$\frac{0.25}{\left( \log \frac{k/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right)^2}$
------------	-------------------------	-------------------------------------------	------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------

					<b>Coefficiente de fricción</b>
9.375E-05	6.73E-04	6.9834E-04	-3.1559331	9.959913732	<b>0.02510</b>
9.375E-05	7.74E-04	7.9916E-04	-3.0973663	9.593677996	<b>0.02610</b>
9.375E-05	9.13E-04	9.3825E-04	-3.0276814	9.166854660	<b>0.02730</b>
9.375E-05	1.11E-04	1.14434E-03	-2.9414450	8.652098690	<b>0.02890</b>
9.375E-05	1.43E-04	1.47814E-03	-2.8302840	8.010507521	<b>0.03120</b>

TABLA IV.9.- Coeficientes de fricción – Ecuación de Swamee-Jain

### 3.2.4.- ECUACIÓN DE COLEBROOK-WHITE.

Prueba	Gasto (Q)		Diámetro (D)	Área (A)	Velocidad (V)	Temperatura	Rugosidad Absoluta (k)	Viscosidad Cinemática (ν)	Número de Reynolds (Re)	k/D	$\frac{k/D}{3.71}$
	LPM	$m^3/seg$	m	$m^2$	$m/seg$	°C	mm	$m^2/seg$			
1	21	0.00035	0.016	2.01E-04	1.741	13	0.0015	1.19E-06	2.3327E+04	9.375E-05	2.527E-05
2	18	0.00030	0.016	2.01E-04	1.492	13	0.0015	1.19E-06	1.9994E+04	9.375E-05	2.527E-05
3	15	0.00025	0.016	2.01E-04	1.243	13	0.0015	1.19E-06	1.6662E+04	9.375E-05	2.527E-05
4	12	0.00020	0.016	2.01E-04	0.995	13	0.0015	1.19E-06	1.3330E+04	9.375E-05	2.527E-05
5	9	0.00015	0.016	2.01E-04	0.746	13	0.0015	1.19E-06	9.9972E+03	9.375E-05	2.527E-05

Coeficiente de fricción propuesto ( $\lambda'$ )	$\sqrt{\lambda'}$	$Re \cdot \sqrt{\lambda'}$	$\frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda'}}$	$\frac{k/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda'}}$	$\log \frac{k/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda'}}$	$-2 \cdot (A)$	=	$\frac{1}{\sqrt{\lambda'}}$	Coeficiente de fricción. ( $\lambda'$ )
					(A)	<b>IGUALDAD</b>			
0.02515	0.158590	3697.7185	6.78797E-04	7.04066E-04	-3.1523864	6.305	=	6.305	<b>0.02515</b>
0.02610	0.161555	3225.6868	7.78129E-04	8.03398E-04	-3.0950691	6.190	=	6.190	<b>0.02610</b>
0.02728	0.165167	2744.4773	9.14564E-04	9.39833E-04	-3.0269491	6.054	=	6.054	<b>0.02728</b>
0.02886	0.169882	2251.4384	1.11484E-04	1.140112E-03	-2.9430524	5.886	=	5.886	<b>0.02886</b>
0.03110	0.176352	1748.7497	1.43531E-04	1.460581E-03	-2.8354740	5.670	=	5.670	<b>0.03110</b>

TABLA IV.10.- Coeficientes de fricción – Ecuación de Colebrook-White

Nota: Si en la igualdad de la ecuación, los 2 terminos son iguales o parecidos, el coeficiente de fricción propuesto será el coeficiente de fricción final.

### 3.2.5.- DIAGRAMA DE MOODY.

Basándose en la (Figura 1.12), vista en él (Capítulo 1.5.6., página 14), se hace mención del diagrama de Moody. El cual está en función de la rugosidad relativa (k/D) y el Número de Reynolds (Re), obtenemos los siguientes coeficientes de fricción.

Prueba	Re	k/D	Coeficiente de fricción
1	2.3327E+04	9.375E-05	<b>0.0255</b>
2	1.9994E+04	9.375E-05	<b>0.0260</b>
3	1.6662E+04	9.375E-05	<b>0.0270</b>
4	1.3330E+04	9.375E-05	<b>0.0275</b>
5	9.9972E+03	9.375E-05	<b>0.0283</b>

TABLA IV.11.- Coeficientes de fricción del diagrama de Moody

### 3.2.6.- RESUMEN DE RESULTADOS.

A continuación mostramos un resumen de resultados de los coeficientes de fricción, obtenidos por las ecuaciones ya existentes para la tubería de Cobre.

Número de Ensayo	Gasto $m^3 / seg$	Número de Reynolds (Re)	COEFICIENTES DE FRICCIÓN					Promedio ( $\lambda'$ )
			Colebrook ( $\lambda'$ )	Blasius ( $\lambda'$ )	Swamee-Jain ( $\lambda'$ )	Colebrook-White ( $\lambda'$ )	Diagrama de Moody ( $\lambda'$ )	
1	0.00035	2.3327E+04	0.02510	0.02560	0.02510	0.02515	0.0255	<b>0.025290</b>
2	0.00030	1.9994E+04	0.02610	0.02660	0.02610	0.02610	0.0260	<b>0.026180</b>
3	0.00025	1.6662E+04	0.02730	0.02790	0.02730	0.02728	0.0270	<b>0.027356</b>
4	0.00020	1.3330E+04	0.02890	0.02950	0.02890	0.02886	0.0275	<b>0.028732</b>
5	0.00015	9.9972E+03	0.03110	0.03170	0.03120	0.03110	0.0283	<b>0.030680</b>

TABLA IV.12.- Resumen de los resultados de la tubería de Cobre.

Enseguida presentamos la gráfica correspondiente a los valores del coeficiente de fricción en función del Número de Reynolds, obtenidos de las ecuaciones anteriores (Grafica IV.2).

(Tabla IV. 2). Coeficientes de fricción para tuberías de Cobre

### 3.3.- ECUACIONES PARA TUBERIA DE PVC.

#### 3.3.1- ECUACIÓN DE COLEBROOK.

Prueba	Gasto (Q)		Diámetro (D) m	Área (A) $m^2$	Velocidad (V) m/seg	Temperatura °C	Rugosidad Absoluta (k) mm	Viscosidad Cinemática ( $\nu$ ) $m^2 / seg$	Número de Reynolds (Re)	Coeficiente de Fricción Propuesto ( $\lambda'$ )	$\sqrt{\lambda'}$
	LPM	$m^3 / seg$									
1	21	0.00035	.017	2.270E-04	1.542	13	0.0015	1.19E-06	21954.569	0.0255	0.1597
2	18	0.00030	.017	2.270E-04	1.322	13	0.0015	1.19E-06	18818.202	0.0265	0.1628
3	15	0.00025	.017	2.270E-04	1.101	13	0.0015	1.19E-06	15681.835	0.0277	0.1664
4	12	0.00020	.017	2.270E-04	0.881	13	0.0015	1.19E-06	12545.468	0.0293	0.1712
5	9	0.00015	.017	2.270E-04	0.661	13	0.0015	1.19E-06	9409.101	0.0315	0.1775

$Re \cdot \sqrt{\lambda'}$	$D/k$	$\frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda'}}$	$\frac{0.27}{D/k}$	$\frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda'}} + \frac{0.27}{D/k}$	$\log \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda'}} + \frac{0.27}{D/k}$	$2 \left( \log \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda'}} + \frac{0.27}{D/k} \right)$	$\left[ 2 \left( \log \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda'}} + \frac{0.27}{D/k} \right) \right]^{-2}$	Coeficiente de fricción
3505.864	11333.333	7.159E-04	2.3824E-05	7.39767E-04	-3.130905062	-6.261810123	<b>0.0255</b>	
3063.381	11333.333	8.194E-04	2.3824E-05	8.43180E-04	-3.074079925	-6.148159851	<b>0.0265</b>	
2609.978	11333.333	9.617E-04	2.3824E-05	9.85518E-04	-3.006335596	-6.012671193	<b>0.0277</b>	
2147.438	11333.333	1.169E-03	2.3824E-05	1.19266E-03	-2.923484041	-5.846968082	<b>0.0293</b>	

1669.950	11333.333	1.503E-03	2.3824E-05	1.52686E-03	-2.816199998	-5.632399997	<b>0.0315</b>
----------	-----------	-----------	------------	-------------	--------------	--------------	---------------

TABLA IV.13.- Coeficiente de fricción – Ecuación de Colebrook

Nota: El coeficiente de fricción ( $\lambda'$ ) propuesto debe ser igual o parecido al coeficiente de fricción final, por lo cual se recomienda realizar algunas iteraciones para encontrar el valor mas exacto.

### 3.3.2- ECUACIÓN DE BLASIUS.

Prueba	Gasto (Q)		Diámetro (D)	Área (A)	Velocidad (V)	Temperatura	Rugosidad Absoluta (k)	Viscosidad Cinemática (v)	Número de Reynolds (Re)	$\sqrt[4]{Re}$	$\frac{0.3164}{\sqrt[4]{Re}}$
	LPM	m <sup>3</sup> /seg								m	m <sup>2</sup>
1	21	0.00035	.017	2.270E-04	1.542	13	0.0015	1.19E-06	21954.569	<b>0.0260</b>	12.17254051
2	18	0.00030	.017	2.270E-04	1.322	13	0.0015	1.19E-06	18818.202	<b>0.0270</b>	11.71236320
3	15	0.00025	.017	2.270E-04	1.101	13	0.0015	1.19E-06	15681.835	<b>0.0283</b>	11.19049300
4	12	0.00020	.017	2.270E-04	0.881	13	0.0015	1.19E-06	12545.468	<b>0.0299</b>	10.58331485
5	9	0.00015	.017	2.270E-04	0.661	13	0.0015	1.19E-06	9409.101	<b>0.0321</b>	9.84888423

TABLA IV.14.- Coeficiente de fricción – Ecuación de Blasius

### 3.3.3- ECUACIÓN DE SWAMEE-JAIN.

Prueba	Gasto (Q)		Diámetro (D)	Área (A)	Velocidad (V)	Temperatura	Rugosidad Absoluta (k)	Viscosidad Cinemática (v)	Número de Reynolds (Re)	k/D	$\frac{k/D}{3.7}$
	LPM	m <sup>3</sup> /seg									m
1	21	0.00035	.017	2.270E-04	1.542	13	0.0015	1.19E-06	21954.569	2.385E-05	8079.275606
2	18	0.00030	.017	2.270E-04	1.322	13	0.0015	1.19E-06	18818.202	2.385E-05	7032.671191
3	15	0.00025	.017	2.270E-04	1.101	13	0.0015	1.19E-06	15681.835	2.385E-05	5968.389961
4	12	0.00020	.017	2.270E-04	0.881	13	0.0015	1.19E-06	12545.468	2.385E-05	4882.454216
5	9	0.00015	.017	2.270E-04	0.661	13	0.0015	1.19E-06	9409.101	2.385E-05	3768.715177

Re <sup>0.9</sup>	$\frac{5.74}{Re^{0.9}}$	$\frac{k/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}$	$\log \frac{k/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}$	$\left( \log \frac{k/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right)^2$	$\frac{0.25}{\left( \log \frac{k/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right)^2}$
					<b>Coefficiente de fricción</b>
8.824E-05	7.105E-04	7.343E-04	-3.134122266	9.822722379	<b>0.0255</b>
8.824E-05	8.162E-04	8.400E-04	-3.075701088	9.459937186	<b>0.0264</b>
8.824E-05	9.617E-04	9.856E-04	-3.006307774	9.037886429	<b>0.0277</b>
8.824E-05	1.176E-03	1.199E-03	-2.921004947	8.532269898	<b>0.0293</b>
8.824E-05	1.523E-03	1.547E-03	-2.81053415	7.899102209	<b>0.0316</b>

TABLA IV.15.- Coeficientes de fricción – Ecuación de Swamee-Jain

### 3.3.4.- ECUACIÓN DE COLEBROOK-WHITE.

Prueba	Gasto (Q)		Diámetro (D)	Área (A)	Velocidad (V)	Temperatura	Rugosidad Absoluta (k)	Viscosidad Cinemática (v)	Número de Reynolds (Re)	k/D	$\frac{k/D}{3.71}$
	LPM	m <sup>3</sup> /seg									m

1	21	0.00035	.017	2.270E-04	1.542	13	0.0015	1.19E-06	21954.569	8.824E-05	2.378E-05
2	18	0.00030	.017	2.270E-04	1.322	13	0.0015	1.19E-06	18818.202	8.824E-05	2.378E-05
3	15	0.00025	.017	2.270E-04	1.101	13	0.0015	1.19E-06	15681.835	8.824E-05	2.378E-05
4	12	0.00020	.017	2.270E-04	0.881	13	0.0015	1.19E-06	12545.468	8.824E-05	2.378E-05
5	9	0.00015	.017	2.270E-04	0.661	13	0.0015	1.19E-06	9409.101	8.824E-05	2.378E-05

Coeficiente de fricción propuesto	$\sqrt{\lambda'}$	$Re \cdot \sqrt{\lambda'}$	$\frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda'}}$	$\frac{k/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda'}}$	$\log \frac{k/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda'}}$	$-2 \cdot (A)$	=	$\frac{1}{\sqrt{\lambda'}}$	Coeficiente de fricción.
$(\lambda')$					(A)	IGUALDAD			$(\lambda')$
0.0255	0.159687194	3505.863517	7.159E-04	7.397E-04	-3.130928798	6.262	=	6.262	<b>0.0255</b>
0.02646	0.162665301	3061.068478	8.200E-04	8.438E-04	-3.073781983	6.148	=	6.148	<b>0.02646</b>
0.02766	0.166312958	2608.09236	9.624E-04	9.862E-04	-3.006047188	6.012	=	6.013	<b>0.02766</b>
0.02925	0.171026314	2145.605142	1.170E-03	1.194E-03	-2.923135282	5.846	=	5.847	<b>0.02925</b>
0.03151	0.177510563	1670.214813	1.503E-03	1.527E-03	-2.816279349	5.633	=	5.633	<b>0.03151</b>

TABLA IV.16.- Coeficientes de fricción – Ecuación de Colebrook-White

Nota: Si en la igualdad de la ecuación, los 2 terminos son iguales o parecidos, el coeficiente de fricción propuesto será el coeficiente de fricción final.

### 3.3.5.- DIAGRAMA DE MOODY.

Basándose en la (Figura 1.5.6.1), vista en él (Capítulo 1.5.6.1 pagina 14), se hace mención del diagrama de Moody. El cual está en función de la rugosidad relativa ( $k/D$ ) y el Número de Reynolds ( $Re$ ), obtenemos los siguientes coeficientes de fricción.

Prueba	Re	k/D	Coeficiente de fricción
1	21954.569	8.824E-05	<b>0.0256</b>
2	18818.202	8.824E-05	<b>0.0268</b>
3	15681.835	8.824E-05	<b>0.0270</b>
4	12545.468	8.824E-05	<b>0.0272</b>
5	9409.101	8.824E-05	<b>0.0280</b>

TABLA IV.17.- Coeficientes de fricción del diagrama de Moody

### 3.3.6.- RESUMEN DE RESULTADOS.

A continuación mostramos un resumen de resultados de los coeficientes de fricción, obtenidos por las ecuaciones ya existentes para la tubería de P. V. C.

Número de Ensayo	Gasto $m^3 / seg$	Número de Reynolds (Re)	COEFICIENTES DE FRICCION					Promedio $(\lambda')$
			Colebrook $(\lambda')$	Blasius $(\lambda')$	Swamee-Jain $(\lambda')$	Colebrook-White $(\lambda')$	Diagrama de Moody $(\lambda')$	
1	0.00035	21954.569	0.0255	0.0260	0.0255	0.0255	0.0256	<b>0.0256</b>
2	0.00030	18818.202	0.0265	0.0270	0.0264	0.02646	0.0268	<b>0.0266</b>
3	0.00025	15681.835	0.0277	0.0283	0.0277	0.02766	0.0270	<b>0.0277</b>
4	0.00020	12545.468	0.0293	0.0299	0.0293	0.02925	0.0272	<b>0.0290</b>
5	0.00015	9409.101	0.0315	0.0321	0.0316	0.03151	0.0280	<b>0.0309</b>

TABLA IV.18.- Resumen de los resultados de la tubería de PVC.

Enseguida presentamos la gráfica correspondiente a los valores del coeficiente de fricción en función del Número de Reynolds, obtenidos de las ecuaciones anteriores (Figura).

### 3.4.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS

#### 3.4.1. TUBERÍA DE FIERRO GALVANIZADO.

A continuación mostramos los resultados obtenidos por medio del Banco Hidrodinámico (Capítulo III.4) y las ecuaciones aplicadas en él (Capítulo IV).

Ensayos	Gastos		Banco Hidrodinamico	Ecuaciones existentes de la tabla IV.6
	LPM	m <sup>3</sup> /seg		
Numero	LPM	m <sup>3</sup> /seg	coeficiente de fricción promedio ( $\lambda$ )	Coefficientes de fricción calculado ( $\lambda$ )
1	21	0.00035	0.03945	0.03952
2	18	0.0003	0.03975	0.03985
3	15	0.00025	0.04955	0.040375
4	12	0.0002	0.0411	0.041125
5	9	0.00015	0.0451	0.042275

TABLA IV.19.- Coeficientes de fricción de la tubería de fierro galvanizado.

#### 3.4.2. TUBERÍA DE COBRE.

Ensayos	Gastos		Banco Hidrodinamico	Ecuaciones existentes de la tabla IV.6
	LPM	m <sup>3</sup> /seg		
Numero	LPM	m <sup>3</sup> /seg	coeficiente de fricción promedio ( $\lambda$ )	Coefficientes de fricción calculado ( $\lambda$ )
1	21	0.00035	0.0252	0.02529
2	18	0.0003	0.0261	0.02618
3	15	0.00025	0.0268	0.027356
4	12	0.0002	0.0298	0.028732
5	9	0.00015	0.0301	0.03068

TABLA IV.20.- Coeficientes de fricción de la tubería de cobre.

### 3.4.3. TUBERÍA DE P.V.C.

Ensayos	Gastos		Banco Hidrodinamico	Ecuaciones existentes de la tabla IV.6
	Numero	LPM	m <sup>3</sup> /seg	coeficiente de fricción promedio (λ)
1	21	0.00035	0.0242	0.0256
2	18	0.0003	0.0277	0.0266
3	15	0.00025	0.029	0.0277
4	12	0.0002	0.0314	0.029
5	9	0.00015	0.0344	0.0309

TABLA IV.21.- Coeficientes de fricción de la tubería de P.V.C.

Los resultados son bastante aproximados o casi iguales, con lo cual podemos utilizar cualquiera de los dos coeficientes de fricción para un calculo de diseño.

Con lo anterior se logra el objetivo planteado al inicio del presente estudio, que consistió en la determinación de los coeficientes de fricción, mediante el Banco Hidrodinámico, con el cual cuenta el laboratorio de Ing. Hidráulica de la E.S.I.A., Zacatenco.

### 3.4.4.-PERDIDAS DE ENERGIA POR LA FÓRMULA DE DARCY WEISBACH.

A continuación se calcula la pérdida hf para un metro de tubería de P.V.C. por la fórmula de Darcy-weisbach .

de la ec. 11 se tiene que:

$$hf = \lambda (L/D)(V^2/2g) \text{-----}(11)$$

donde :

- hf= pérdidas de carga entre la sección 1 y la sección 2 (m).
- V = velocidad del flujo ( m/seg)
- g = aceleración de la gravedad (9.81 m/ seg<sup>2</sup>)
- λ = coeficiente de fricción (adimensional)
- D= diámetro interior del tubo (m)
- L= longitud del tubo(m)

Datos para el cálculo de las pérdidas:

- L = 1 m
- D = 6” = 0.1524m
- g = 9.81 m/ seg<sup>2</sup>
- V = 2 m/seg

De esta ecuación  $hf = \lambda (L/D)(V^2/2g)$  el único dato que falta es  $\lambda$  por lo cual se tendrá que buscar su valor:

Según Blasius:

$$\lambda = 0.3164 / (\text{Re})^{0.25}$$

donde:

$$\text{Re} = VD/v$$

Si :

V = velocidad

D = diámetro de la tubería

v = viscosidad cinemática

y  $v = 1.007 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{seg}$  ( a una temperatura de 20°C)

por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{Re} &= (2 \text{ m/seg})(0.1524\text{m})(1.007 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{seg}) \\ \text{Re} &= 306933.6 \end{aligned}$$

Por consiguiente se tiene que:

$$\begin{aligned} \lambda &= 0.3164 / (306933.6)^{0.25} \\ \lambda &= 0.3164 / 23.5375 = 0.0134 \end{aligned}$$

sustituyendo valores en la ec. 11 se tiene :

$$hf = \lambda (L/D)(V^2/2g)$$

$$hf = 0.0134 (1\text{m}/0.1524\text{m})(2^2/289.81\text{m/seg}^2)$$

$$hf = 0.0134 (6.562)(0.2039)$$

$$hf = 0.01784\text{m}$$

## CAPITULO 4.- ANALISIS DE DE RESULTADOS

Con la finalidad de comparar y realizar los análisis del coeficiente de Manning obtenidos en los ensayos realizados en el canal hidrodinámico con pared de diferentes rugosidades (lija para metal del no. 240, lija para madera no. 100, lija esmeril, acrílico lámpara rugoso, plantilla plástico), mostramos los coeficientes de fricción obtenidos a través de la ecuación de Manning ya conocida y probada experimentalmente para rugosidades en materiales.

### 4.1.- Ecuación de Manning.

Partimos de la siguiente ecuación:

$$V = (1/n)(R)^{2/3}(S)^{1/2}$$

Donde:

n: coeficiente de rugosidad de manning

---



V: velocidad

R= radio hidráulico

S= pendiente

## 4.2.- PLANTILLA DE FONDO Y PARED DE ACRÍLICO

### ENSAYE 1

En la siguiente tabla se muestran los valores para un canal con plantilla de plástico en el fondo.

#### Plantilla de fondo y pared de acrílico (ensaye 1 y 2)

**CALCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD “n”**

**FONDO Y PARED DE ACRILICO ENSAYO 1**

ENSAYO	Q(m3/hr)	Q(m3/s)	Q(l/s)	d(m)	Ah (m2)	Pm (m)	Rh (m)	RhE(2/3)	SE1/2	n
1	1.0	0.00028	0.2778	0.0213	0.0018	0.1277	0.0142	0.05862	0.03162	0.01210
2	1.5	0.00042	0.4167	0.0259	0.0022	0.1369	0.0161	0.06376	0.03162	0.01067
3	2.0	0.00056	0.5556	0.0295	0.0025	0.1441	0.0174	0.06720	0.03162	0.00960
4	2.5	0.00069	0.6944	0.0332	0.0028	0.1515	0.0186	0.07032	0.03162	0.00905
5	3.0	0.00083	0.8333	0.0356	0.0030	0.1563	0.0194	0.07216	0.03162	0.00830
6	3.5	0.00097	0.9722	0.0391	0.0033	0.1633	0.0204	0.07460	0.03162	0.00807
7	4.0	0.00111	1.1111	0.0414	0.0035	0.1679	0.0210	0.07608	0.03162	0.00763
8	4.5	0.00125	1.2500	0.0442	0.0038	0.1735	0.0217	0.07775	0.03162	0.00740
9	5.0	0.00139	1.3889	0.0471	0.0040	0.1793	0.0224	0.07936	0.03162	0.00724
10	5.5	0.00153	1.5278	0.0492	0.0042	0.1835	0.0228	0.08045	0.03162	0.00697
11	6.0	0.00167	1.6667	0.0525	0.0045	0.1901	0.0235	0.08205	0.03162	0.00696
12	6.5	0.00181	1.8056	0.0541	0.0046	0.1933	0.0238	0.08278	0.03162	0.00667
13	7.0	0.00194	1.9444	0.0561	0.0048	0.1973	0.0242	0.08366	0.03162	0.00650
14	7.5	0.00208	2.0833	0.0588	0.0050	0.2027	0.0247	0.08478	0.03162	0.00644
15	8.0	0.00222	2.2222	0.0609	0.0052	0.2069	0.0250	0.08561	0.03162	0.00631
16	8.5	0.00236	2.3611	0.0628	0.0053	0.2107	0.0254	0.08633	0.03162	0.00618
17	9.0	0.00250	2.5000	0.0654	0.0056	0.2159	0.0258	0.08726	0.03162	0.00614
18	9.5	0.00264	2.6389	0.0672	0.0057	0.2195	0.0261	0.08788	0.03162	0.00602
19	10.0	0.00278	2.7778	0.0699	0.0059	0.2249	0.0264	0.08877	0.03162	0.00601
<b>PROMEDIO</b>										<b>0.00759</b>

### PLANTILLA DE PLASTICO EN LA BASE (ensaye 1).

En el siguiente grafica se muestra el comportamiento del “n”

### PLANTILLA DE PLASTICO EN LA BASE (ensaye 1).

### ENSAYE 2

En la siguiente tabla se observan los valores para un canal con plantilla de plástico en el fondo (regreso):

**CALCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD**

**FONDO Y PARED DE ACRILICO ENSAYO 2**

"n"

ENSAYO	Q(m3/hr)	Q(m3/s)	Q(l/s)	d(m)	Ah (m2)	Pm (m)	Rh (m)	RhE(2/3)	SE1/2	n	
19	10.0	0.00278	2.7778	0.0699	0.0059	0.2249	0.0264	0.08877	0.03162	0.00601	
18	9.5	0.00264	2.6389	0.0674	0.0057	0.2199	0.0261	0.08795	0.03162	0.00605	
17	9.0	0.00250	2.5000	0.0655	0.0056	0.2161	0.0258	0.08730	0.03162	0.00616	
16	8.5	0.00236	2.3611	0.0628	0.0053	0.2107	0.0254	0.08633	0.03162	0.00618	
15	8.0	0.00222	2.2222	0.0607	0.0052	0.2065	0.0250	0.08553	0.03162	0.00629	
14	7.5	0.00208	2.0833	0.0585	0.0050	0.2021	0.0246	0.08466	0.03162	0.00640	
13	7.0	0.00194	1.9444	0.0567	0.0048	0.1985	0.0243	0.08391	0.03162	0.00658	
12	6.5	0.00181	1.8056	0.0541	0.0046	0.1933	0.0238	0.08278	0.03162	0.00667	
11	6.0	0.00167	1.6667	0.0522	0.0044	0.1895	0.0234	0.08191	0.03162	0.00690	
10	5.5	0.00153	1.5278	0.0492	0.0042	0.1835	0.0228	0.08045	0.03162	0.00697	
9	5.0	0.00139	1.3889	0.0469	0.0040	0.1789	0.0223	0.07925	0.03162	0.00720	
8	4.5	0.00125	1.2500	0.0445	0.0038	0.1741	0.0218	0.07792	0.03162	0.00747	
7	4.0	0.00111	1.1111	0.0416	0.0035	0.1683	0.0210	0.07620	0.03162	0.00768	
6	3.5	0.00097	0.9722	0.0389	0.0033	0.1629	0.0203	0.07447	0.03162	0.00802	
5	3.0	0.00083	0.8333	0.0358	0.0030	0.1567	0.0194	0.07230	0.03162	0.00836	
4	2.5	0.00069	0.6944	0.0329	0.0028	0.1509	0.0186	0.07008	0.03162	0.00894	
3	2.0	0.00056	0.5556	0.0294	0.0025	0.1439	0.0174	0.06711	0.03162	0.00956	
2	1.5	0.00042	0.4167	0.0257	0.0022	0.1365	0.0160	0.06356	0.03162	0.01055	
1	1.0	0.00028	0.2778	0.0215	0.0018	0.1281	0.0143	0.05887	0.03162	0.01226	
<b>FONDO Y PARED DE ACRILICO (ensayo 2)</b>										<b>PROMEDIO</b>	<b>0.00759</b>

En el siguiente grafico se muestra el comportamiento del "n"

**FONDO Y PARED DE ACRILICO (ensayo 2)**

**4.3.- FONDO Y PARED DE LIJA PARA METAL NO. 240**

**ENSAYO 1**

a continuación se muestra un resumen de los resultados obtenidos cada gasto:

**FONDO Y PARED DE LIJA PARA METAL NO. 240 (ensayo 1)**

**CALCULO DEL COEFICIENTE DE FONDO Y PARED DE LIJA PARA METAL NO. 240 RUGOSIDAD "n" ENSAYO 1**

ENSAYO	Q(m3/hr)	Q(m3/s)	Q(l/s)	d(m)	Ah (m2)	Pm (m)	Rh (m)	RhE(2/3)	SE1/2	n
1	1.0	0.00028	0.2778	0.0168	0.0014	0.1187	0.0120	0.05254	0.03162	0.00855
2	1.5	0.00042	0.4167	0.0228	0.0019	0.1307	0.0148	0.06040	0.03162	0.00889
3	2.0	0.00056	0.5556	0.0237	0.0020	0.1325	0.0152	0.06142	0.03162	0.00705
4	2.5	0.00069	0.6944	0.0260	0.0022	0.1371	0.0161	0.06386	0.03162	0.00643
5	3.0	0.00083	0.8333	0.0264	0.0022	0.1379	0.0163	0.06427	0.03162	0.00548

6	3.5	0.00097	0.9722	0.0360	0.0031	0.1571	0.0195	0.07245	0.03162	0.00722
7	4.0	0.00111	1.1111	0.0384	0.0033	0.1619	0.0202	0.07413	0.03162	0.00689
8	4.5	0.00125	1.2500	0.0411	0.0035	0.1673	0.0209	0.07589	0.03162	0.00671
9	5.0	0.00139	1.3889	0.0442	0.0038	0.1735	0.0217	0.07775	0.03162	0.00666
10	5.5	0.00153	1.5278	0.0491	0.0042	0.1833	0.0228	0.08040	0.03162	0.00695
11	6.0	0.00167	1.6667	0.0502	0.0043	0.1855	0.0230	0.08095	0.03162	0.00656
12	6.5	0.00181	1.8056	0.0513	0.0044	0.1877	0.0233	0.08148	0.03162	0.00623
13	7.0	0.00194	1.9444	0.0570	0.0049	0.1991	0.0244	0.08404	0.03162	0.00663
14	7.5	0.00208	2.0833	0.0571	0.0049	0.1993	0.0244	0.08408	0.03162	0.00620
15	8.0	0.00222	2.2222	0.0594	0.0051	0.2039	0.0248	0.08502	0.03162	0.00612
16	8.5	0.00236	2.3611	0.0600	0.0051	0.2051	0.0249	0.08526	0.03162	0.00583
17	9.0	0.00250	2.5000	0.0608	0.0052	0.2067	0.0250	0.08557	0.03162	0.00560
18	9.5	0.00264	2.6389	0.0678	0.0058	0.2207	0.0261	0.08809	0.03162	0.00609
19	10.0	0.00278	2.7778	0.0680	0.0058	0.2211	0.0262	0.08815	0.03162	0.00581

**FONDO Y PARED DE LIJA PARA METAL NO. 240 (ensayo 1)**

**PROMEDIO 0.00663**

En seguida se presenta la grafica correspondiente a la tabla anterior.

**FONDO Y PARED DE LIJA PARA METAL NO. 240 (ensayo 1)**

**ENSAYO 2**

En la siguiente tabla se muestra los datos del aforo.

**CALCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD LIJA PARA METAL No. 240 RUGOSIDAD "n" ENSAYO 2**

ENSAYO	Q(m3/hr)	Q(m3/s)	Q(l/s)	d(m)	Ah (m2)	Pm (m)	Rh (m)	RhE(2/3)	SE1/2	n
19	10.0	0.00278	2.7778	0.0671	0.0057	0.2193	0.0260	0.08785	0.03162	0.00571
18	9.5	0.00264	2.6389	0.0671	0.0057	0.2193	0.0260	0.08785	0.03162	0.00601
17	9.0	0.00250	2.5000	0.0653	0.0056	0.2157	0.0258	0.08723	0.03162	0.00613
16	8.5	0.00236	2.3611	0.0630	0.0054	0.2111	0.0254	0.08640	0.03162	0.00620
15	8.0	0.00222	2.2222	0.0611	0.0052	0.2073	0.0251	0.08569	0.03162	0.00634
14	7.5	0.00208	2.0833	0.0586	0.0050	0.2023	0.0247	0.08470	0.03162	0.00641
13	7.0	0.00194	1.9444	0.0540	0.0046	0.1931	0.0238	0.08274	0.03162	0.00618
12	6.5	0.00181	1.8056	0.0475	0.0040	0.1801	0.0224	0.07957	0.03162	0.00563
11	6.0	0.00167	1.6667	0.0454	0.0039	0.1759	0.0220	0.07843	0.03162	0.00575
10	5.5	0.00153	1.5278	0.0453	0.0039	0.1757	0.0219	0.07837	0.03162	0.00625
9	5.0	0.00139	1.3889	0.0423	0.0036	0.1697	0.0212	0.07663	0.03162	0.00628
8	4.5	0.00125	1.2500	0.0372	0.0032	0.1595	0.0198	0.07331	0.03162	0.00587
7	4.0	0.00111	1.1111	0.0350	0.0030	0.1551	0.0192	0.07171	0.03162	0.00608
6	3.5	0.00097	0.9722	0.0349	0.0030	0.1549	0.0192	0.07164	0.03162	0.00692
5	3.0	0.00083	0.8333	0.0312	0.0027	0.1475	0.0180	0.06868	0.03162	0.00692
4	2.5	0.00069	0.6944	0.0273	0.0023	0.1397	0.0166	0.06515	0.03162	0.00689
3	2.0	0.00056	0.5556	0.0241	0.0021	0.1333	0.0154	0.06186	0.03162	0.00722
2	1.5	0.00042	0.4167	0.0228	0.0019	0.1307	0.0148	0.06040	0.03162	0.00889
1	1.0	0.00028	0.2778	0.0189	0.0016	0.1229	0.0131	0.05553	0.03162	0.01017

<b>FONDO Y PARED DE LIJA PARA METAL NO. 240 (ensayo 2)</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>0.00663</b>
------------------------------------------------------------	-----------------	----------------

En la siguiente grafica se muestra el comportamiento de la tabla anterior.

**FONDO Y PARED DE LIJA PARA METAL NO. 240 (ensayo 2)**

**4.4.- FONDO Y PARED DE LIJA PARA MADERA NO. 100**

**ENSAYO 1**

En la siguiente tabla se muestran los valores para un canal con plantilla fondo pared de lija para madera no. 100 :

**FONDO Y PARED DE LIJA PARA MADERA NO. 100 (ensayo 1)**

**CALCULO DEL COEFICIENTE DE FONDO Y PARED DE LIJA PARA MADERA NO. 100 RUGOSIDAD "n" ENSAYO 1**

ENSAYO	Q(m3/hr)	Q(m3/s)	Q(l/s)	d(m)	Ah (m <sup>2</sup> )	Pm (m)	Rh (m)	RhE(2/3)	SE1/2	n
1	1.0	0.00028	0.2778	0.0216	0.0018	0.1283	0.0143	0.05899	0.03162	0.01234
2	1.5	0.00042	0.4167	0.0264	0.0022	0.1379	0.0163	0.06427	0.03162	0.01096
3	2.0	0.00056	0.5556	0.0291	0.0025	0.1433	0.0173	0.06684	0.03162	0.00942
4	2.5	0.00069	0.6944	0.0305	0.0026	0.1461	0.0178	0.06809	0.03162	0.00805
5	3.0	0.00083	0.8333	0.0340	0.0029	0.1531	0.0189	0.07095	0.03162	0.00779
6	3.5	0.00097	0.9722	0.0387	0.0033	0.1625	0.0203	0.07433	0.03162	0.00796
7	4.0	0.00111	1.1111	0.0412	0.0035	0.1675	0.0209	0.07595	0.03162	0.00758
8	4.5	0.00125	1.2500	0.0458	0.0039	0.1767	0.0221	0.07865	0.03162	0.00776
9	5.0	0.00139	1.3889	0.0467	0.0040	0.1785	0.0223	0.07914	0.03162	0.00716
10	5.5	0.00153	1.5278	0.0489	0.0042	0.1829	0.0228	0.08029	0.03162	0.00692
11	6.0	0.00167	1.6667	0.0510	0.0043	0.1871	0.0232	0.08134	0.03162	0.00670
12	6.5	0.00181	1.8056	0.0543	0.0046	0.1937	0.0239	0.08287	0.03162	0.00671
13	7.0	0.00194	1.9444	0.0556	0.0047	0.1963	0.0241	0.08344	0.03162	0.00642
14	7.5	0.00208	2.0833	0.0600	0.0051	0.2051	0.0249	0.08526	0.03162	0.00661
15	8.0	0.00222	2.2222	0.0639	0.0054	0.2129	0.0255	0.08673	0.03162	0.00671
16	8.5	0.00236	2.3611	0.0651	0.0055	0.2153	0.0257	0.08716	0.03162	0.00647
17	9.0	0.00250	2.5000	0.0670	0.0057	0.2191	0.0260	0.08782	0.03162	0.00633
18	9.5	0.00264	2.6389	0.0687	0.0058	0.2225	0.0263	0.08838	0.03162	0.00619
19	10.0	0.00278	2.7778	0.0708	0.0060	0.2267	0.0266	0.08906	0.03162	0.00611

<b>FONDO Y PARED DE LIJA PARA MADERA NO. 100 (ensayo 1)</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>0.00759</b>
-------------------------------------------------------------	-----------------	----------------

En el gráfico se observa el comportamiento de la tabla anterior.

### FONDO Y PARED DE LIJA PARA MADERA NO. 100 (ensayo 1)

#### ENSAYO 2

En la siguiente tabla se muestra los resultados:

#### CALCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD LIJA PARA MADERA No. 100 RUGOSIDAD "n" ENSAYO 2

ENSAYO	Q(m3/hr)	Q(m3/s)	Q(l/s)	d(m)	Ah (m2)	Pm (m)	Rh (m)	RhE(2/3)	SE1/2	n	
19	10.0	0.00278	2.7778	0.0709	0.0060	0.2269	0.0266	0.08909	0.03162	0.00612	
18	9.5	0.00264	2.6389	0.0687	0.0058	0.2225	0.0263	0.08838	0.03162	0.00619	
17	9.0	0.00250	2.5000	0.0673	0.0057	0.2197	0.0261	0.08792	0.03162	0.00637	
16	8.5	0.00236	2.3611	0.0650	0.0055	0.2151	0.0257	0.08712	0.03162	0.00645	
15	8.0	0.00222	2.2222	0.0633	0.0054	0.2117	0.0254	0.08651	0.03162	0.00663	
14	7.5	0.00208	2.0833	0.0597	0.0051	0.2045	0.0248	0.08514	0.03162	0.00657	
13	7.0	0.00194	1.9444	0.0564	0.0048	0.1979	0.0243	0.08379	0.03162	0.00654	
12	6.5	0.00181	1.8056	0.0542	0.0046	0.1935	0.0238	0.08283	0.03162	0.00669	
11	6.0	0.00167	1.6667	0.0519	0.0044	0.1889	0.0234	0.08177	0.03162	0.00685	
10	5.5	0.00153	1.5278	0.0489	0.0042	0.1829	0.0228	0.08029	0.03162	0.00692	
9	5.0	0.00139	1.3889	0.0462	0.0039	0.1775	0.0221	0.07887	0.03162	0.00706	
8	4.5	0.00125	1.2500	0.0455	0.0039	0.1761	0.0220	0.07849	0.03162	0.00769	
7	4.0	0.00111	1.1111	0.0412	0.0035	0.1675	0.0209	0.07595	0.03162	0.00758	
6	3.5	0.00097	0.9722	0.0380	0.0032	0.1611	0.0201	0.07386	0.03162	0.00777	
5	3.0	0.00083	0.8333	0.0339	0.0029	0.1529	0.0189	0.07087	0.03162	0.00776	
4	2.5	0.00069	0.6944	0.0303	0.0026	0.1457	0.0177	0.06791	0.03162	0.00797	
3	2.0	0.00056	0.5556	0.0287	0.0024	0.1425	0.0171	0.06648	0.03162	0.00924	
2	1.5	0.00042	0.4167	0.0258	0.0022	0.1367	0.0161	0.06366	0.03162	0.01061	
1	1.0	0.00028	0.2778	0.0212	0.0018	0.1275	0.0141	0.05850	0.03162	0.01202	
<b>FONDO Y PARED DE LIJA PARA MADERA NO. 100 (ensayo 2)</b>										<b>PROMEDIO</b>	<b>0.00753</b>

En la gráfica se representan el comportamiento de la tabla anterior.

### FONDO Y PARED DE LIJA PARA MADERA NO. 100 (ensayo 2)

#### 4.5.- PLANTILLA DE PLASTICO EN LA BASE

#### ENSAYO 1

Usando esta ecuación, nos proporciona los siguientes datos:

#### FOTO.- PLANTILLA DE PLÁSTICO EN LA BASE

#### CALCULO DEL COEFICIENTE DE PLANTILLA DE PLASTICO EN LA RUGOSIDAD "n" BASE ENSAYO 1

ENSAYO	Q(m3/hr)	Q(m3/s)	Q(l/s)	d(m)	Ah (m2)	Pm (m)	Rh (m)	RhE(2/3)	SE1/2	n
1	1.0	0.00028	0.2778	0.0283	0.0024	0.1417	0.0170	0.06610	0.03162	0.01812
2	1.5	0.00042	0.4167	0.0322	0.0027	0.1495	0.0183	0.06952	0.03162	0.01446
3	2.0	0.00056	0.5556	0.0356	0.0030	0.1563	0.0194	0.07216	0.03162	0.01244

4	2.5	0.00069	0.6944	0.0393	0.0033	0.1637	0.0204	0.07473	0.03162	0.01138
5	3.0	0.00083	0.8333	0.0422	0.0036	0.1695	0.0212	0.07657	0.03162	0.01043
6	3.5	0.00097	0.9722	0.0449	0.0038	0.1749	0.0218	0.07815	0.03162	0.00971
7	4.0	0.00111	1.1111	0.0484	0.0041	0.1819	0.0226	0.08004	0.03162	0.00938
8	4.5	0.00125	1.2500	0.0511	0.0043	0.1873	0.0232	0.08138	0.03162	0.00895
9	5.0	0.00139	1.3889	0.0535	0.0046	0.1921	0.0237	0.08251	0.03162	0.00855
10	5.5	0.00153	1.5278	0.0563	0.0048	0.1977	0.0242	0.08374	0.03162	0.00830
11	6.0	0.00167	1.6667	0.0586	0.0050	0.2023	0.0247	0.08470	0.03162	0.00801
12	6.5	0.00181	1.8056	0.0608	0.0052	0.2067	0.0250	0.08557	0.03162	0.00775
13	7.0	0.00194	1.9444	0.0640	0.0054	0.2131	0.0256	0.08677	0.03162	0.00769
14	7.5	0.00208	2.0833	0.0652	0.0055	0.2155	0.0257	0.08719	0.03162	0.00734
15	8.0	0.00222	2.2222	0.0674	0.0057	0.2199	0.0261	0.08795	0.03162	0.00718
16	8.5	0.00236	2.3611	0.0694	0.0059	0.2239	0.0264	0.08861	0.03162	0.00701
17	9.0	0.00250	2.5000	0.0718	0.0061	0.2287	0.0267	0.08937	0.03162	0.00691
18	9.5	0.00264	2.6389	0.0744	0.0063	0.2339	0.0271	0.09015	0.03162	0.00684
19	10.0	0.00278	2.7778	0.0757	0.0064	0.2365	0.0272	0.09053	0.03162	0.00664

**PLANTILLA DE PLASTICO EN LA BASE (ensayo 1)**

**PROMEDIO** 0.00932

Enseguida presentamos la gráfica correspondiente a los valores del coeficiente de fricción en función del coeficiente de Manning, obtenidos de la ecuación anterior (Figura).

**PLANTILLA DE PLASTICO EN LA BASE (ensayo 1)**

**ENSAYE 2**

a continuación se muestra un resumen de los resultados obtenidos cada gasto:

**CALCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD "n"**

**PLANTILLA DE PLASTICO EN LA BASE**

ENSAYO	Q(m3/hr)	Q(m3/s)	Q(l/s)	d(m)	Ah (m2)	Pm (m)	Rh (m)	RhE(2/3)	SE1/2	n
1	10.0	0.00278	2.7778	0.0757	0.0064	0.2365	0.0272	0.09053	0.03162	0.00664
2	9.5	0.00264	2.6389	0.0740	0.0063	0.2331	0.0270	0.09004	0.03162	0.00679
3	9.0	0.00250	2.5000	0.0717	0.0061	0.2285	0.0267	0.08934	0.03162	0.00690
4	8.5	0.00236	2.3611	0.0695	0.0059	0.2241	0.0264	0.08864	0.03162	0.00702
5	8.0	0.00222	2.2222	0.0673	0.0057	0.2197	0.0261	0.08792	0.03162	0.00717
6	7.5	0.00208	2.0833	0.0656	0.0056	0.2163	0.0258	0.08733	0.03162	0.00740
7	7.0	0.00194	1.9444	0.0632	0.0054	0.2115	0.0254	0.08648	0.03162	0.00756
8	6.5	0.00181	1.8056	0.0607	0.0052	0.2065	0.0250	0.08553	0.03162	0.00774
9	6.0	0.00167	1.6667	0.0585	0.0050	0.2021	0.0246	0.08466	0.03162	0.00800
10	5.5	0.00153	1.5278	0.0562	0.0048	0.1975	0.0242	0.08370	0.03162	0.00829
11	5.0	0.00139	1.3889	0.0535	0.0046	0.1921	0.0237	0.08251	0.03162	0.00855
12	4.5	0.00125	1.2500	0.0501	0.0043	0.1853	0.0230	0.08090	0.03162	0.00873
13	4.0	0.00111	1.1111	0.0485	0.0041	0.1821	0.0227	0.08009	0.03162	0.00941
14	3.5	0.00097	0.9722	0.0451	0.0038	0.1753	0.0219	0.07826	0.03162	0.00977
15	3.0	0.00083	0.8333	0.0425	0.0036	0.1701	0.0213	0.07675	0.03162	0.01053
16	2.5	0.00069	0.6944	0.0394	0.0034	0.1639	0.0205	0.07480	0.03162	0.01142
17	2.0	0.00056	0.5556	0.0361	0.0031	0.1573	0.0195	0.07252	0.03162	0.01268
18	1.5	0.00042	0.4167	0.0322	0.0027	0.1495	0.0183	0.06952	0.03162	0.01446

19	1.0	0.00028	0.2778	0.0284	0.0024	0.1419	0.0170	0.06620	0.03162	0.01821	
<b>PLANTILLA DE PLASTICO EN LA BASE (ensayo 2)</b>										<b>PROMEDIO</b>	<b>0.00933</b>

**PLANTILLA DE PLASTICO EN LA BASE (ensayo 2)**

**4.6- BASE Y PARED DE ACRILICO DE LAMPARA**

**ENSAYO 1**

En la tabla siguiente se muestran los datos obtenidos.

**CALCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD "n" BASE DE ACRILICO RUGOSO LAMPARA ENSAYO 1**

ENSAYO	Q(m3/hr)	Q(m3/s)	Q(l/s)	d(m)	Ah (m2)	Pm (m)	Rh (m)	RhE(2/3)	SE1/2	n
1	1.0	0.00028	0.2778	0.0163	0.0014	0.1177	0.0118	0.05179	0.03162	0.00818
2	1.5	0.00042	0.4167	0.0200	0.0017	0.1251	0.0136	0.05699	0.03162	0.00736
3	2.0	0.00056	0.5556	0.0233	0.0020	0.1317	0.0151	0.06097	0.03162	0.00688
4	2.5	0.00069	0.6944	0.0268	0.0023	0.1387	0.0164	0.06466	0.03162	0.00672
5	3.0	0.00083	0.8333	0.0288	0.0025	0.1427	0.0172	0.06657	0.03162	0.00619
6	3.5	0.00097	0.9722	0.0326	0.0028	0.1503	0.0185	0.06984	0.03162	0.00630
7	4.0	0.00111	1.1111	0.0351	0.0030	0.1553	0.0192	0.07179	0.03162	0.00610
8	4.5	0.00125	1.2500	0.0369	0.0031	0.1589	0.0198	0.07310	0.03162	0.00581
9	5.0	0.00139	1.3889	0.0396	0.0034	0.1643	0.0205	0.07493	0.03162	0.00575
10	5.5	0.00153	1.5278	0.0425	0.0036	0.1701	0.0213	0.07675	0.03162	0.00575
11	6.0	0.00167	1.6667	0.0452	0.0038	0.1755	0.0219	0.07832	0.03162	0.00572
12	6.5	0.00181	1.8056	0.0466	0.0040	0.1783	0.0222	0.07909	0.03162	0.00549
13	7.0	0.00194	1.9444	0.0487	0.0041	0.1825	0.0227	0.08019	0.03162	0.00540
14	7.5	0.00208	2.0833	0.0508	0.0043	0.1867	0.0232	0.08124	0.03162	0.00533
15	8.0	0.00222	2.2222	0.0530	0.0045	0.1911	0.0236	0.08228	0.03162	0.00528
16	8.5	0.00236	2.3611	0.0550	0.0047	0.1951	0.0240	0.08318	0.03162	0.00521
17	9.0	0.00250	2.5000	0.0578	0.0049	0.2007	0.0245	0.08437	0.03162	0.00525
18	9.5	0.00264	2.6389	0.0597	0.0051	0.2045	0.0248	0.08514	0.03162	0.00518
19	10.0	0.00278	2.7778	0.0615	0.0052	0.2081	0.0251	0.08584	0.03162	0.00511

**BASE Y PARED DE ACRILICO DE LAMPARA (ENSAYO 1)** **PROMEDIO** **0.00595**

A continuación se muestra su gráfica.

**PLANTILLA DE PLASTICO EN LA BASE (ENSAYE 1)**

**ENSAYO 2**

En la siguiente tabla se muestra el coeficiente de Manning en un canal con plantilla de plástico en la base: como se muestra en la siguiente fotografía y en la siguiente tabla.

**CALCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD "n" FONDO PARED DE ACRILICO DE LAMPARA ENSAYE 2**

ENSAYO	Q(m3/hr)	Q(m3/s)	Q(l/s)	d(m)	Ah (m2)	Pm (m)	Rh (m)	RhE(2/3)	SE1/2	n
1	10.0	0.00278	2.7778	0.0615	0.0052	0.2081	0.0251	0.08584	0.03162	0.00511



2	9.5	0.00264	2.6389	0.0598	0.0051	0.2047	0.0249	0.08518	0.03162	0.00519
3	9.0	0.00250	2.5000	0.0574	0.0049	0.1999	0.0244	0.08421	0.03162	0.00520
4	8.5	0.00236	2.3611	0.0540	0.0046	0.1931	0.0238	0.08274	0.03162	0.00509
5	8.0	0.00222	2.2222	0.0528	0.0045	0.1907	0.0236	0.08219	0.03162	0.00526
6	7.5	0.00208	2.0833	0.0504	0.0043	0.1859	0.0231	0.08104	0.03162	0.00528
7	7.0	0.00194	1.9444	0.0488	0.0042	0.1827	0.0227	0.08024	0.03162	0.00542
8	6.5	0.00181	1.8056	0.0466	0.0040	0.1783	0.0222	0.07909	0.03162	0.00549
9	6.0	0.00167	1.6667	0.0446	0.0038	0.1743	0.0218	0.07798	0.03162	0.00562
10	5.5	0.00153	1.5278	0.0423	0.0036	0.1697	0.0212	0.07663	0.03162	0.00571
11	5.0	0.00139	1.3889	0.0394	0.0034	0.1639	0.0205	0.07480	0.03162	0.00571
12	4.5	0.00125	1.2500	0.0364	0.0031	0.1579	0.0196	0.07274	0.03162	0.00570
13	4.0	0.00111	1.1111	0.0350	0.0030	0.1551	0.0192	0.07171	0.03162	0.00608
14	3.5	0.00097	0.9722	0.0324	0.0028	0.1499	0.0184	0.06968	0.03162	0.00625
15	3.0	0.00083	0.8333	0.0279	0.0024	0.1409	0.0169	0.06573	0.03162	0.00592
16	2.5	0.00069	0.6944	0.0259	0.0022	0.1369	0.0161	0.06376	0.03162	0.00640
17	2.0	0.00056	0.5556	0.0225	0.0019	0.1301	0.0147	0.06006	0.03162	0.00655
18	1.5	0.00042	0.4167	0.0199	0.0017	0.1249	0.0136	0.05686	0.03162	0.00731
19	1.0	0.00028	0.2778	0.0168	0.0014	0.1187	0.0120	0.05254	0.03162	0.00855

**BASE Y PARED DE ACRILICO DE LAMPARA (ENSAYO 2) PROMEDIO 0.00589**

A continuación se muestra su gráfica.

**BASE Y PARED DE ACRILICO DE LAMPARA (ENSAYO 2)**

**4.7- BASE Y PARED DE LIJA DE ESMERIL**

A continuación se muestra la tabla obtenida de los ensayos.

**CALCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD "n" FONDO PARED LIJA DE ESMERIL ENSAYE 1**

ENSAYO	Q(m3/hr)	Q(m3/s)	Q(l/s)	d(m)	Ah (m2)	Pm (m)	Rh (m)	RhE(2/3)	SE1/2	n
19	1.0	0.00028	0.2778	0.0162	0.0014	0.1175	0.0117	0.05163	0.03162	0.00810
18	1.5	0.00042	0.4167	0.0199	0.0017	0.1249	0.0136	0.05686	0.03162	0.00731
17	2.0	0.00056	0.5556	0.0223	0.0019	0.1297	0.0146	0.05982	0.03162	0.00646
16	2.5	0.00069	0.6944	0.0258	0.0022	0.1367	0.0161	0.06366	0.03162	0.00636
15	3.0	0.00083	0.8333	0.0281	0.0024	0.1413	0.0169	0.06592	0.03162	0.00598
14	3.5	0.00097	0.9722	0.0312	0.0027	0.1475	0.0180	0.06868	0.03162	0.00593
13	4.0	0.00111	1.1111	0.0340	0.0029	0.1531	0.0189	0.07095	0.03162	0.00584
12	4.5	0.00125	1.2500	0.0363	0.0031	0.1577	0.0196	0.07267	0.03162	0.00568
11	5.0	0.00139	1.3889	0.0382	0.0033	0.1615	0.0201	0.07400	0.03162	0.00548
10	5.5	0.00153	1.5278	0.0399	0.0034	0.1649	0.0206	0.07513	0.03162	0.00528
9	6.0	0.00167	1.6667	0.0419	0.0036	0.1689	0.0211	0.07639	0.03162	0.00517
8	6.5	0.00181	1.8056	0.0438	0.0037	0.1727	0.0216	0.07752	0.03162	0.00506
7	7.0	0.00194	1.9444	0.0456	0.0039	0.1763	0.0220	0.07854	0.03162	0.00496
6	7.5	0.00208	2.0833	0.0481	0.0041	0.1813	0.0226	0.07988	0.03162	0.00496
5	8.0	0.00222	2.2222	0.0512	0.0044	0.1877	0.0233	0.08148	0.03162	0.00506



4	8.5	0.00236	2.3611	0.0537	0.0046	0.1925	0.0237	0.08260	0.03162	0.00506
3	9.0	0.00250	2.5000	0.0582	0.0050	0.2015	0.0246	0.08454	0.03162	0.00530
2	9.5	0.00264	2.6389	0.0612	0.0052	0.2075	0.0251	0.08573	0.03162	0.00535
1	10.0	0.00278	2.7778	0.0635	0.0054	0.2121	0.0255	0.08658	0.03162	0.00533
<b>FONDO PARED LIJA DE ESMERIL(ENSAYO 1)</b>									<b>PROMEDIO</b>	<b>0.00572</b>

La grafica de la tabla anterior se puede observar a continuación.

**FONDO PARED LIJA DE ESMERIL (ENSAYO 1)**

**ENSAYO 2**

Por ultimo se muestra a continuación el ultimo aforo, dando como resultado los siguientes datos:

**CALCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD "n"**

**FONDO PARED LIJA DE ESMERIL  
ENSAYE 2**

ENSAYO	Q(m3/hr)	Q(m3/s)	Q(l/s)	d(m)	Ah (m2)	Pm (m)	Rh (m)	RhE(2/3)	SE1/2	n
1	10.0	0.00278	2.7778	0.0644	0.0055	0.2139	0.0256	0.08691	0.03162	0.00542
2	9.5	0.00264	2.6389	0.0623	0.0053	0.2097	0.0253	0.08614	0.03162	0.00547
3	9.0	0.00250	2.5000	0.0606	0.0052	0.2063	0.0250	0.08549	0.03162	0.00558
4	8.5	0.00236	2.3611	0.0589	0.0050	0.2029	0.0247	0.08482	0.03162	0.00569
5	8.0	0.00222	2.2222	0.0572	0.0049	0.1995	0.0244	0.08412	0.03162	0.00583
6	7.5	0.00208	2.0833	0.0554	0.0047	0.1959	0.0241	0.08336	0.03162	0.00597
7	7.0	0.00194	1.9444	0.0535	0.0046	0.1921	0.0237	0.08251	0.03162	0.00611
8	6.5	0.00181	1.8056	0.0511	0.0043	0.1873	0.0232	0.08138	0.03162	0.00620
9	6.0	0.00167	1.6667	0.0478	0.0041	0.1807	0.0225	0.07973	0.03162	0.00615
10	5.5	0.00153	1.5278	0.0445	0.0038	0.1741	0.0218	0.07792	0.03162	0.00611
11	5.0	0.00139	1.3889	0.0420	0.0036	0.1691	0.0211	0.07645	0.03162	0.00622
12	4.5	0.00125	1.2500	0.0414	0.0035	0.1679	0.0210	0.07608	0.03162	0.00678
13	4.0	0.00111	1.1111	0.0391	0.0033	0.1633	0.0204	0.07460	0.03162	0.00706
14	3.5	0.00097	0.9722	0.0335	0.0029	0.1521	0.0187	0.07056	0.03162	0.00654
15	3.0	0.00083	0.8333	0.0311	0.0026	0.1473	0.0180	0.06860	0.03162	0.00689
16	2.5	0.00069	0.6944	0.0301	0.0026	0.1453	0.0176	0.06774	0.03162	0.00790
17	2.0	0.00056	0.5556	0.0254	0.0022	0.1359	0.0159	0.06325	0.03162	0.00778
18	1.5	0.00042	0.4167	0.0205	0.0017	0.1261	0.0138	0.05763	0.03162	0.00763
19	1.0	0.00028	0.2778	0.0184	0.0016	0.1219	0.0128	0.05485	0.03162	0.00978
<b>FONDO PARED LIJA DE ESMERIL (ENSAYO 2)</b>									<b>PROMEDIO</b>	<b>0.00659</b>

A su vez se obtiene observamos su grafico enseguida.

**FONDO PARED LIJA DE ESMERIL (ENSAYO 2)**

**4.8- PERDIDAS DE ENERGIA POR LA FÓRMULA DE MANNING**

A continuación se calcula la pérdida hf para un metro de tubería de P.V.C. por la fórmula de Manning.

De la ec. 17 se tiene que:

$$V = (1/n)(R)^{2/3}(S)^{1/2} \dots\dots\dots(17)$$

Donde:

- V = velocidad media del agua en m/ s.
- n= coeficiente de rugosidad en la tubería.
- R = radio hidráulico de la tubería en m
- S= pendiente hidráulica.
- S= hf/L
- R= D/4

Por lo tanto:

$$V = (1/n)(D/4)^{2/3} (hf/L)^{1/2}$$

Despejando hf se tiene que:

$$hf = [(Vn)/(D/4)^{2/3}]^2(L)$$

Datos:

- L = 1 m
- D = 6” = 0.1524m
- n = 0.00932 ( obtenido del subtema 4.5 )
- V = 2 m/seg

Sustituyendo valores en la en  $hf = [(Vn)/(D/4)^{2/3}]^2(L)$  se tiene:

$$hf = [((2 \text{ m/seg}) \times (0.00932)) / (0.1524\text{m}/4)^{2/3}]^2(1\text{m})$$
$$hf = 0.0271\text{m}$$

## CONCLUSIONES.

En el presente trabajo se efectuó la determinación de los coeficientes de fricción de las tuberías y canales, con diferentes materiales, a través del Banco y Canal Hidrodinámico, lo cual nos muestra en forma objetiva el funcionamiento de las tuberías y canales, variando el gasto que pasa por ellos y midiendo la variación de presiones, se obtuvo la información necesaria para la determinación de los coeficientes de fricción en cada ensayo.

En base al análisis de las pérdidas y utilizando los coeficientes “n” y “f” obtenidos en este trabajo, se puede demostrar que la ecuación de Darcy-Weisbach arroja pérdidas menores que la de la ecuación de Manning, en el orden de un 33% . También se puede demostrar que conforme disminuye el diámetro de una tubería, se incrementan las pérdidas. Y cuando el caudal disminuye en los canales, el coeficiente “n” tiende a aumentar y las pérdidas disminuyen.

Hay que hacer notar que los conceptos y fundamentos que se manejan en este trabajo son la base para la comprensión, el análisis y la obtención de coeficientes de fricción y rugosidad, tanto en tuberías y canales; por medio del cual se facilita el comportamiento hidráulico de los fenómenos que suceden en estos conductos.

El desarrollo que se presenta en este estudio, permite mostrar un panorama más amplio del estudio de la Hidráulica de las Tuberías y los canales, no cerrándose a un solo criterio o punto de vista, ya que es la pauta para continuar con mas estudios y/o ensayos que proporcionen información para el análisis de otros proyectos, y que sirvan a los alumnos de Ingeniería Civil, con la finalidad de lograr una mayor comprensión de los mismos.

## BIBLIOGRAFIA

### **1.- HIDRÁULICA GENERAL FUNDAMENTOS VOL. 1,**

GILBERTO SOTELO AVILA  
EDITORIAL LIMUSA  
PRIMERA EDICIÓN  
562 PAGINAS  
MEXICO1987

### **2.- FLUJO EN TUBOS A PRESIÓN**

DARIO GUAYCOCHE GUGLIELMI  
FUNDACIÒN ICA  
PRIMERA EDICIÒN  
116 PAGINAS  
MÉXICO 1997

**3.- MECÀNICA DE FLUIDOS, FUNDAMENTOS Y APLICACIONES**

JOHN M. CIMBALA  
EDITORIAL MAC-GRAW HILL  
PRIMERA EDICIÓN  
958 PAGINAS  
MEXICO 2006

**4.- HIDRÁULICA DE TUBERIAS**

JUAN G. SALDARRIAGA V.  
EDITORIAL MC GRAW HILL  
PRIMERA EDICIÓN  
564 PAGINAS  
COLOMBIA 1998

**5.- HIDRAULICA DE CANALES (DISEÑO DE ESTRUCTURAS)**

EDUARD NAUDASHER  
EDITORIAL LIMUSA  
PRIMERA EDICIÓN  
381 PÁGINAS  
MÉXICO 2002.