

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE AGRONOMIA



NOMOGRAMAS BASADOS EN LA ECUACION DE  
COLEBROOK - WHITE PARA EL DISEÑO DE  
TUBERIAS FORZADAS DE DIVERSOS TIPOS  
DE MATERIALES QUE CONDUCEN AGUA  
A DIFERENTES TEMPERATURAS.

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA  
PRESENTA EL PASANTE  
JUAN ISAAC ESTRADA MEDINA

MONTERREY, N. L.

JUNIO DE 1976



7

TC174

E8

C.1



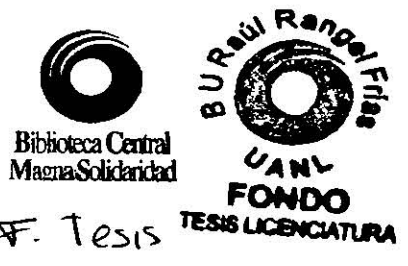
1080062569

Ing. Iscarino -  
Gracias por tu participacion  
en mi examen Profesional  
Animo

Juan Isaac  
"Olises"



T  
TC 174  
E8



A MIS PADRES

SR. OSCAR ESTRADA SANCHEZ

Y

SRA. ROMUALDA MEDINA DE ESTRADA

Con cariño y gratitud por todos los esfuerzos y sacrificios efectuados para lograr la realización personal de cada uno de nosotros; sus hijos

A MIS HERMANOS

OSCAR Y RAFAELA

LAURA ALICIA

NORA ELIA

MA. DE LOURDES

SERGIO

ANTONIA MARIBELL

Por la confianza demostrada, por ser como cada uno es, -  
por compartir unidos alegrías y tristezas...

A LA MEMORIA DE MIS ABUELOS

SR. JUAN ESTRADA GARZA Y SRA. ANTONIA SANCHEZ DE E.

SR. ISAAC MEDINA PEDRAZA Y SRA. ZOILA ZIÑIGA DE M.

A MIS TIOS

SR. JOSE ISAAC MEDINA Z. Y SRA. MA. DEL SOCORRO GARZA DE M.

Por todas las muestras de apoyo recibidas.

A LA FAMILIA GUERRA GONZALEZ

Por haberme permitido convivir con ellos y por todas las muestras de apoyo recibidas durante el transcurso de mi carrera.

A USTEDES MIS AMIGOS

Por nuestra amistad, confianza y por compartir ideales y compromisos, sigámonos adelante...

MI RECONOCIMIENTO A LA

SRITA. MARISELA PANDO MORENO

Por su cooperación en la realización inicial del presente trabajo.



MI RECONOCIMIENTO Y GRATITUD A:

ING. JORGE G. VILLARREAL GONZALEZ.

Por el apoyo y respeto demostrado a las inquietudes de investigación y superación, por la asesoría técnica, - por su participación crítica y analítica en el desarrollo del presente trabajo.

A MIS MAESTROS Y A MI ESCUELA

Por el deseo continuo de mejorar el nivel académico.

# I N D I C E

	<u>PAGINA</u>
INTRODUCCION.....	1
LITERATURA REVISADA.....	3
Generalidades de los fluidos.....	3
Principales características de las tuberías..	7
Tipos de flujos en tuberías.....	11
Ecuación de Continuidad.....	12
Ecuación de Bernoulli.....	13
Péridas de energías en tuberías.....	15
Ecuación de Darcy-Weisbach.....	17
Ecuación de Poiseuille.....	17
Ecuación de Blassius.....	18
Ecuación de Nikuradse.....	18
Ecuación de Colebrook-White.....	19
Ecuación de Manning.....	21
Ecuación de Hazen-Williams.....	23
MATERIALES Y METODOS.....	25
Diágrama de flujo.....	32
Programa en lenguaje Fortran IV .....	33
RESULTADOS Y DISCUSION.....	38
Manejo de los nomogramas (ejemplos).....	39
CONCLUSIONES.....	50
RESUMEN.....	51
BIBLIOGRAFIA.....	52

## I N D I C E D E F I G U R A S

<u>FIGURA</u>		<u>PAGINA</u>
1	Deformación de un fluido en movimiento, dentro de un contorno.	5
2	Variación de la viscosidad del agua - en función de la temperatura.	7
3	Flujo continuo a travéz de una tubería de sección variable.	13
4	Representación gráfica de los términos de la ecuación de Bernoulli.	15
5	Diágrama de Nikuradse para tubos de rugosidad uniforme.	20
6	Comparación entre las curvas en la zona de transición, para tubos comerciales y de rugosidad uniforme.	20
7	Diágrama de Moody.	22
8	Nomograma de $\sqrt{h/L}$ vs $Q$ para una viscosidad de $1.52 \times 10^{-2}$ cm <sup>2</sup> /seg.	ANEXO
9	Nomograma de $\sqrt{h/L}$ vs $Q$ para una viscosidad de $1.142 \times 10^{-2}$ cm <sup>2</sup> /seg.	ANEXO
10	Nomograma de $\sqrt{h/L}$ vs $Q$ para una viscosidad de $0.804 \times 10^{-2}$ cm <sup>2</sup> /seg.	ANEXO



## I N D I C E D E T A B L A S

<u>TABLA</u>		<u>PAGINA</u>
1	Valores de la rugosidad absoluta ( $\epsilon$ ) para diferentes tipos de tubos comerciales.	9
2	Valores del coeficiente de fricción para las ecuaciones de Manning y Hazen-Williams, en diferentes tipos de tuberías.	24
3	Diámetros internos en centímetros y en pulgadas utilizados en este trabajo.	36
4	Viscosidades cinemáticas ( $\nu$ ) en centímetros/segundo utilizados en este -- trabajo.	36
5	Rugosidades absolutas ( $\epsilon$ ) en centímetros utilizados en este trabajo.	37
6	Raíz de la pérdida de energía por fricción por unidad de longitud ( $\sqrt{h/L}$ ) en metros/metros, utilizados en este traba <u>jo</u> .	37
7	Velocidades en centímetros/segundo utilizados en este trabajo.	37

## INTRODUCCION

En la actualidad es de suma importancia hacer el mejor uso posible de los recursos hidricos existentes, ya que día a día, - se incrementa su utilización y cada vez es más difícil la obtención de nuevas fuentes a bajo costo de operación, tanto para - el abastecimiento de agua potable, como para la industria y la - agricultura, actividades básicas para el desarrollo de cuales-- quier entidad. Uno de los tipos más generalizados de conducción de agua es a base de conductos a presión ó tuberías; las cuales permiten el manejo de agua para cualquier tipo de topografía, - prácticamente sin pérdidas.

El estudio del comportamiento del agua en movimiento ha sido objeto de continuas investigaciones, desde tiempos remotos - los conocimientos adquiridos en este campo son consecuencia de de observaciones empíricas, llevadas a cabo generalmente para - casos particulares, ya que este tipo de problemas dependen de - una gran cantidad de variables como lo son: El tipo de fluido, - su temperatura, el material que constituye el conducto, longi-- tud, diámetro y gasto ó volumen de agua por unidad de tiempo -- que se desea conducir, lo que dificulta generalizar los resultados.

Hoy en día existen una gran cantidad de ecuaciones, tanto empíricas como analíticas, producto de la investigación y observación de muchos años. Sin embargo su empleo está limitado para condiciones específicas. Existen otras principalmente de origen empírico que se utilizan en la práctica y que, aunque no son --

muy exactas, son de fácil manejo; como por ejemplo: las ecuaciones de Manning y Hazen-Williams ampliamente difundidas para el diseño de tuberías que conducen específicamente agua. Existen otras ecuaciones de mayor precisión como la de Darcy-Weisbach cuyo problema principal estriba en la determinación del coeficiente de fricción, el cual depende del tipo de flujo y características de la tubería.

Para la determinación del coeficiente de fricción existen varias ecuaciones, sin embargo la de Colebrook-White permite el cálculo de este coeficiente, prácticamente para cualquier condición, el uso de esta ecuación en la práctica no está muy adoptado por el problema que representa su solución matemática, para la cual el cálculo del coeficiente de fricción es a base de aproximaciones sucesivas.

En el presente trabajo se pretende facilitar el diseño de tuberías, de diverso material que conducen agua a diferentes temperaturas, mediante la solución gráfica ó nomogramas basados en la ecuación de Colebrook-White.



## LITERATURA REVISADA

### Generalidades de los fluidos

Se considera como un fluido a un estado de la materia que se deforma continuamente cuando se somete a esfuerzos de corte, por muy pequeños que éstos sean. Tomando en cuenta esta característica física, solamente los líquidos y gases pueden considerarse como fluidos. ( 5 )

Cualquier líquido que tenga un volumen definido que varíe ligeramente con la presión y la temperatura, adoptando la forma del recipiente en el cual se coloca sin llegar a ocupar el volumen total del mismo, es considerado fluido líquido. ( 6 )

La densidad absoluta (  $\rho$  ) de un fluido líquido se define como la masa por unidad de volumen y generalmente se expresa - en kilogramos por metro cúbico ó gramos por centímetros cúbicos. Para el caso particular del agua por ejemplo, la densidad a 0°C y una atmósfera de presión es de 1000 kg/m<sup>3</sup>, a 100°C y a una atmósfera de presión es de 958 Kg/m<sup>3</sup> y a 0°C y 50 atmósferas de presión es de 1002 Kg/m<sup>3</sup>. De lo anterior se deduce que para fines prácticos, la densidad del agua se puede considerar como constante y con un valor de 1000 kg/m<sup>3</sup> ó 1 gr/cm<sup>3</sup>. ( 3 )

Generalmente para el estudio del comportamiento de los líquidos se emplea el término de peso específico y no debe confundirse con la densidad absoluta, ya que el peso específico es el peso ( masa por aceleración de gravedad ) por unidad de volumen, por lo que sus unidades son: Newtons por metro cúbico ó Dinas por centímetros cúbicos. Es importante mencionar --

que en muchos textos de hidráulica se maneja el concepto de peso específico en kilogramos por metro cúbico ó gramos por centímetros cúbicos, debido a que el análisis del flujo se hace para una localidad cuya aceleración de gravedad es constante, por lo que las diferencias de peso o fuerza se pueden expresar como diferencias de masa.

La densidad relativa ( $\rho_r$ ) de un líquido se define como la relación que existe entre la densidad absoluta ( $\rho$ ) del líquido, con respecto a la densidad absoluta del agua a 4°C, esta relación se expresa sin unidades y para el caso específico del agua tiene el valor de la unidad.

La viscosidad de un fluido representa la resistencia que opone el mismo a deformarse cuando se le somete a esfuerzos de corte, o sea, la resistencia que opone el mismo a fluir, como resultado de la interacción y cohesión de sus moléculas. ( 5 ).

Newton, citado por Sotelo ( 5 ) observó que el esfuerzo tangencial de corte que se produce entre dos láminas separadas una distancia  $dy$  figura 1, y que se desplazan con velocidades ( $V$ ) y ( $V + (dv/dy)$ ), tiene un valor de  $\tau = \mu dv/dy$ . De acuerdo con esta expresión el esfuerzo tangencial es directamente proporcional al gradiente transversal de velocidades  $dv/dy$  y la constante de proporcionalidad  $\mu$ , es una magnitud característica de la viscosidad dinámica cuyas unidades corresponden a kilogramos segundos por metros cúbicos.

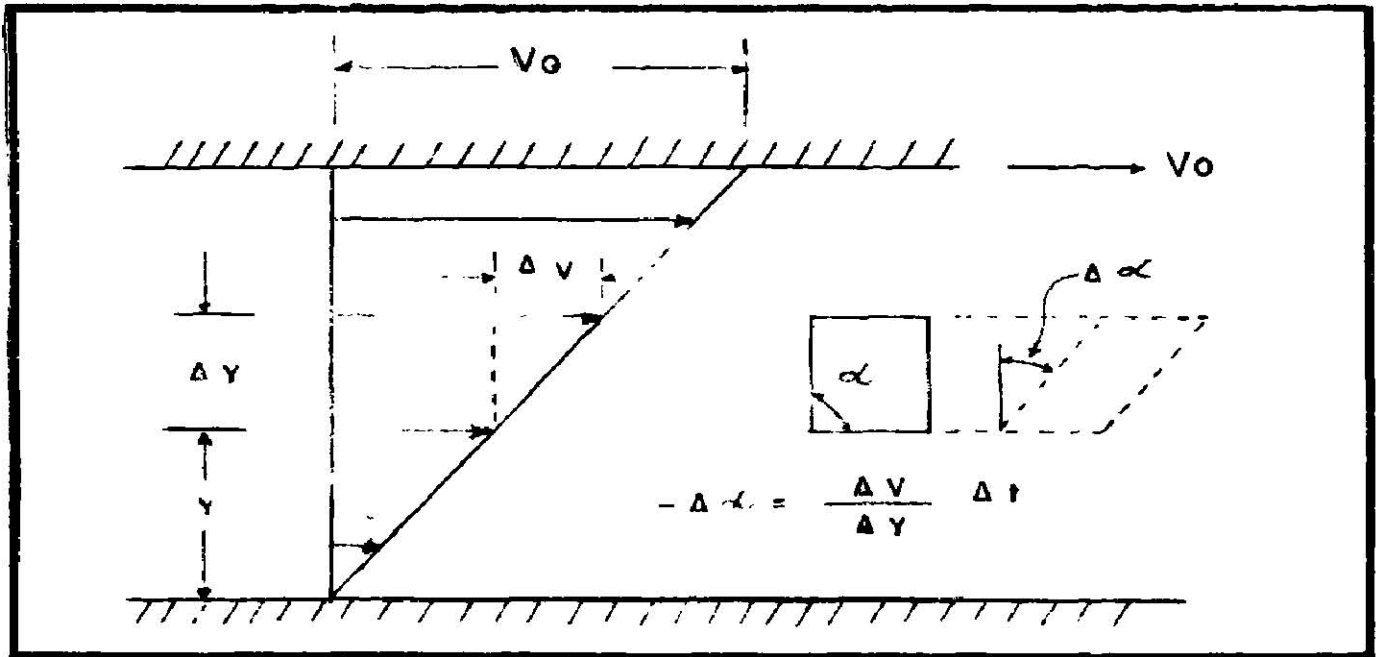


Figura 1.- Deformación de un fluido en movimiento dentro de un contorno.

Rouse ( 4 ) comenta al respecto, que la resistencia de un cuerpo sólido al esfuerzo cortante depende de su módulo elástico tangencial, mientras que para el caso de los fluidos depende de la propiedad denominada, viscosidad dinámica o absoluta. La analogía entre sólidos y fluidos finaliza al considerar que en un sólido elástico, la deformación termina cuando se alcanza un estado de equilibrio entre las fuerzas externas y la resistencia interna, mientras que en un fluido viscoso, la deformación seguirá produciéndose hasta que dejen de actuar fuerzas exteriores que la originan. De lo anterior se puede deducir -- que en un fluido, el criterio primordial de equilibrio de fuerzas, no es la magnitud sino la deformación. El esfuerzo cortante es pues, directamente proporcional a la velocidad de deformación y es precisamente la viscosidad dinámica o absoluta del

fluido, la constante de proporcionalidad.

Es interesante observar que la viscosidad en movimiento de los fluidos es el fenómeno análogo al rozamiento en el movimiento de los sólidos, ya que introduce fuerzas tangenciales entre las capas del fluido en movimiento relativo y dá lugar a pérdidas de energía mecánica.

Sotelo ( 5 ) menciona que de acuerdo a la ecuación :

$\tau = \mu \, dv/dy$ , el esfuerzo tangencial en cualquier punto del fluido puede desaparecer en alguno de los casos siguientes:

- a).- Si se desprecia la acción de la viscosidad.
- b).- Si la distribución de las velocidades es uniforme (constante) y por lo tanto  $dv/dy = 0$ , esto sucede cuando el flujo es turbulento y el efecto viscoso es despreciable.
- c).- En un líquido en reposo, donde la velocidad en cada punto vale cero.

La viscosidad cinemática ( $\nu$ ) se refiere a la viscosidad dinámica ó absoluta, por unidad de densidad y generalmente se expresa en centímetros cuadrados por segundo.( 6 )

En un gas la viscosidad aumenta con la temperatura mientras que en un líquido disminuye, esta diferencia de comportamiento dentro de los fluidos se puede explicar al considerarse que la resistencia de un fluido al esfuerzo cortante, depende de su cohesión y del grado de transferencia de cantidades de movimiento de sus moléculas. En un líquido las fuerzas de cohesión son mayores que en un gas, debido a que sus moléculas están mucho más cercanas, ( 6 )

Sotelo ( 5 ) comenta al respecto, que la cohesión parece

ser la causa predominante de la viscosidad en un líquido, por lo que disminuye al aumentar la temperatura. En la figura 2 se presenta la relación gráfica que existe entre la viscosidad cinemática y la temperatura para el caso del agua.

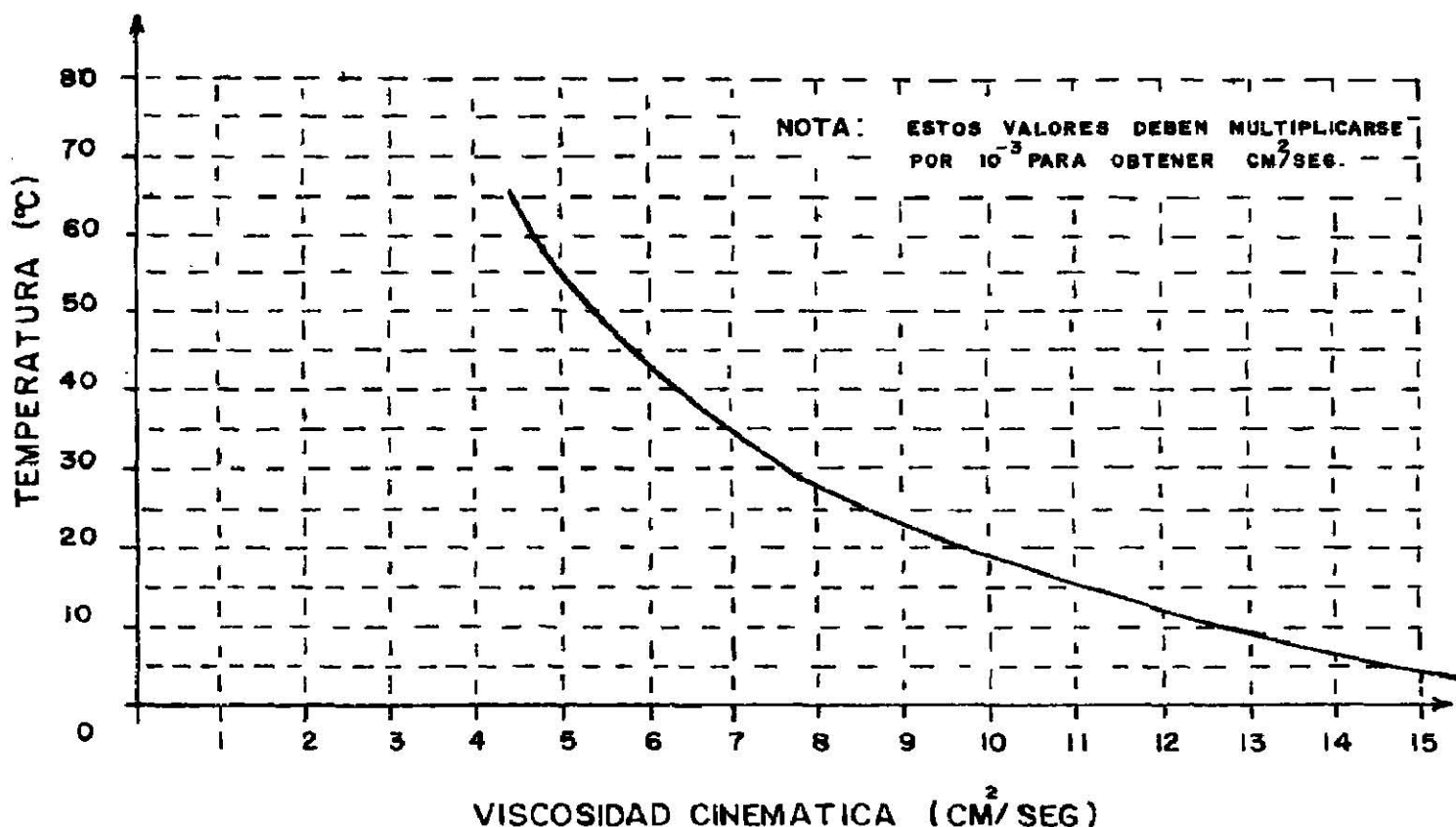


Figura 2.- Variación de la viscosidad del agua en función de la temperatura.

#### Principales características de las tuberías.

Hidráulicamente hablando, una tubería se puede definir como un conducto cerrado que transporta agua a presión. Una red de distribución de agua potable es un ejemplo de conducción de agua a base de tuberías. Un sistema de drenaje por otro lado, es un ejemplo de conducción de agua por gravedad, ya que en

el mismo conducto que transporta agua no va completamente lleno, por lo que la superficie del agua está sujeta a la presión atmosférica y prácticamente no se ejerce presión sobre las paredes del conducto. De lo anterior se deduce que el movimiento del agua en una tubería se lleva a cabo por medio de un gradiente de presión, mientras que en un canal ó conducto abierto a la presión atmosférica, por un gradiente de posiciones. ( 1 )

La rugosidad de las tuberías que depende del tipo de material, es otro factor importante para el diseño. Esta característica es difícil de definir científicamente, ya que depende de factores tales como : La altura media de las asperesas, la variación de las alturas efectivas respecto a la altura media, la distancia entre dos asperesas vecinas y la forma distribución geométrica de las mismas. ( 5 )

Se define como rugosidad absoluta (  $\xi$  ), la altura media de las asperesas, obtenida del promedio del cálculo de las características del flujo y no como la media de las alturas determinadas físicamente de la pared de cada conducto.

Considerando que el tamaño de las asperesas tendrá mayor ó menor influencia sobre el flujo según el diámetro de la tubería, generalmente la rugosidad que interesa para el diseño, es la relación que existe entre la rugosidad absoluta (  $\xi$  ) con respecto al diámetro (  $D$  ) de la tubería y se denomina rugosidad relativa  $K = \xi / D$ . En la tabla 1 aparecen los valores de rugosidad absoluta para la mayoría de los tubos comerciales. ( 5 ).

Tabla 1.- Valores de la rugosidad absoluta ( $\epsilon$ ) para diferentes tipos de tubos comerciales

MATERIAL	$\epsilon$ , en mm.	
Tubos lisos		
De vidrio, cobre, latón, madera (bien cepillada), acero nuevo soldado y con una mano interior de pintura; tubos de acero de precisión sin costura, serpentines industriales, plástico, hule.	0.0015	
Tubos industriales de latón	0.025	
Tubos de madera	0.2	a 1.0
Hierro forjado	0.05	
Fierro fundido nuevo	0.25	
Fierro fundido, con protección interior de asfalto	0.12	
Fierro fundido oxidado	1.0	a 1.5
Fierro fundido con incrustaciones	1.5	a 3.0
Fierro fundido, centrifugado	0.05	
Fierro fundido nuevo, con bridas o juntas de macho y campana	0.15	a 0.3
Fierro fundido usado, con bridas o juntas de macho y campana	2.0	a 3.5
Fierro fundido para agua potable, con bastantes incrustaciones y diámetro de 50 a 125 mm.	1.0	a 40.0
Fierro galvanizado	0.15	
Acero rolado, nuevo	0.05	
Acero laminado nuevo	0.04	a 0.1
Acero laminado con protección interior de asfalto	0.05	
Tubos de acero soldado de calidad normal		
Nuevo	0.05	a 0.10
Limpiado después de mucho uso	0.15	a 0.20
Moderadamente oxidado, con pocas incrustaciones	0.04	
Con remaches transversales en buen estado	0.1	
Con costura longitudinal y una línea transversal de remache en cada junta o bien laqueado interiormente	0.3	a 0.4
Con líneas transversales de remaches, sencilla ó doble; o tubos remachados con doble hilera longitudinal de remaches e hilera transversal sencilla sin incrustaciones	0.6	a 0.7
Acero soldado con una hilera transversal sencilla de pernos en cada junta laqueado interior, sin oxidaciones, con circulación de agua turbia.	1.0	



(CONTINUACION)

MATERIAL	$\epsilon$ , en mm.	
Acero soldado, con doble hilera transversal de pernos, agua turbia, tuberías remachadas con doble costura longitudinal de remaches y transversal sencilla	1.2	a 1.3
Acero soldado, con costura doble de remaches transversales, muy oxidado.	2.0	
Tubos remachados, con filas longitudinales y transversales.		
a).- Espesor de lámina menor de 5 mm	0.65	
b).- Espesor de lámina de 5 a 12 mm	1.95	
c).- Espesor de lámina mayor de 12 mm o entre 6 y 12 mm si las hileras de pernos tienen cubrejuntas	3.0	
d).- Espesor de lámina mayor de 12 mm con cubrejuntas	5.5	
Tubos remachados, con cuatro filas transversales y seis longitudinales con cubrejuntas interiores.	4.0	
Asbesto cemento nuevo	0.025	
Asbesto cemento nuevo con protección interior de asfalto	0.0015	
Concreto centrifugado nuevo	0.16	
Concreto centrifugado, con protección bituminosa	0.0015	a 0.125
Concreto en galerías, colado con cimbra normal de madera	1.0	a 2.0
Concreto en galerías, colado con cimbra rugosa de madera	10.0	
Concreto armado en tubos y galerías con acabado interior cuidadosamente a mano	0.01	
Concreto acabado liso	0.025	
Conducto de concreto armado, con acabado liso y varios años de uso	0.2	a 0.3
Concreto alisado interiormente con cemento	0.25	
Galerías con acabado interior de cemento	1.5	a 1.6
Concreto con acabado normal	1.0	a 3.0
Concreto con acabado rugoso	10.0	
Cemento liso	0.3	a 0.8
Cemento no pulido	1.0	a 2.0
Concreto presforzado Freyssinet	0.04	
Concreto presforzado Bona y Socoman	0.25	
Mampostería de piedra, bien juntada	1.2	a 2.5
Mampostería de piedra rugosa, sin juntar	8.0	a 15.0
Mampostería de piedra, mal acabada	1.5	a 3.0

## Tipos de flujos en tuberías

Desde el punto de vista hidráulico, el movimiento del agua ó flujo a travéz de una tubería puede clasificarse básicamente en dos tipos; Laminar y turbulento.

El número de Reynolds ( R ) es un parámetro adimensional que sirve precisamente para identificar si el flujo que se presenta en una tubería es laminar ó turbulento.

El número de Reynolds ( R ) representa básicamente la relación que existe, entre las fuerzas inerciales y las fuerzas de viscosidad y se define como :  $R = VD/\nu$  , en donde V es la velocidad del flujo en centímetros por segundo ó metros por segundo ; D es el diámetro en centímetros ó metros y  $\nu$  es la viscosidad cinemática en centímetros cuadrados por segundo ó metros cuadrados por segundo. ( 4 )

El flujo es laminar, cuando las partículas se mueven a lo largo de trayectorias perfectamente definidas, deslizandose una capa sobre la adyacente y la acción de la viscosidad frena la tendencia de la turbulencia. Se ha determinado experimentalmente que el flujo es laminar, cuando en número de Reynolds no sobrepasa un valor de 2000. ( 6 )

El flujo es turbulento cuando las partículas se mueven en trayectorias completamente erráticas sin conseguir un orden establecido, los remolinos que resultan de esta turbulencia se extienden con una gran rapidez por toda la corriente, produciendo un régimen complejo de movimiento que varía constantemente con el tiempo, un flujo es turbulento cuando el número -

de Reynolds es mayor de 4000. ( 4 )

Para números de Reynolds comprendidos entre 2000 y 4000, el flujo no es laminar ni turbulento, por lo que puede considerarse que este rango corresponde a lo que se denomina zona de transición.

#### Ecuación de Continuidad.

La ecuación de continuidad basada en el principio de conservación de la masa, expresa que el flujo de masa ( $\Delta M / \Delta T$ ) que entra ó sale de cualesquier sección transversal de un conducto, es igual al producto de la densidad ( $\rho$ ), el área ( $A$ ) de la sección transversal y la velocidad ( $V$ ) en la sección transversal, ó sea;

$$\frac{\Delta M}{\Delta T} = \rho A V$$

Para el caso de un flujo estable,  $\Delta M / \Delta T$  es constante, ó sea:

$$\frac{\Delta M}{\Delta T} = \rho A V = \text{Constante}$$

Para el caso de un fluido incompresible ( $\rho = \text{Constante}$ ), la relación toma la forma:

$$\frac{\Delta M}{\Delta T} = A V = \text{Constante}$$

La ecuación general de continuidad para un flujo estable e incompresible, se puede expresar como:

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 = A_3 V_3 = A_n V_n$$

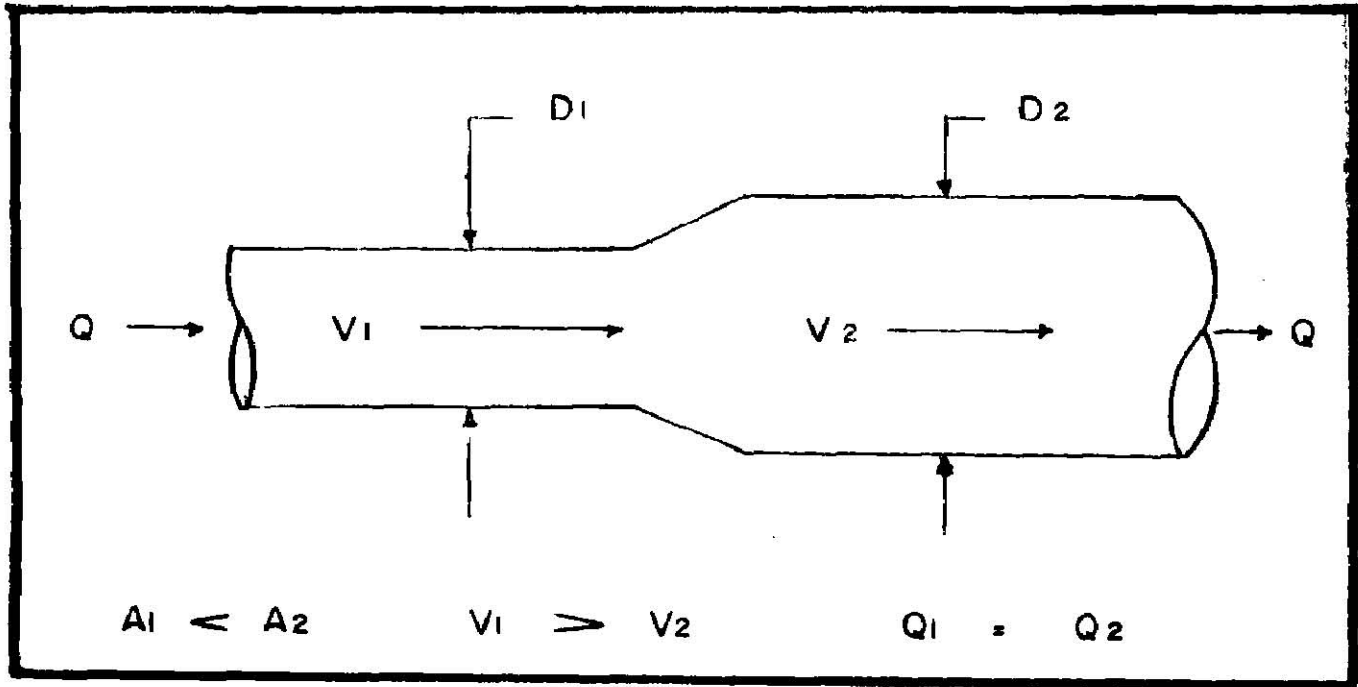


Figura 3.- Flujo continuo a través de una tubería de sección variable.

Generalmente en los problemas de ingeniería interesa más el concepto de flujo de volumen ó gasto hidráulico en vez del flujo de masa, lo cual se puede expresar matemáticamente de la manera siguiente:

$$Q = \frac{\Delta M}{\rho \cdot \Delta T} = \frac{Vol}{\Delta T} = A V = \text{Constante}$$

De esta manera el gasto hidráulico ó caudal ( Q ), se define como el volumen de agua que pasa a través de una sección transversal por unidad de tiempo y generalmente se expresa en litros por segundo ó metros cúbicos por segundo. ( 3 )

#### Ecuación de Bernoulli.

La ecuación de Bernoulli es una relación fundamental de la mecánica de los fluidos, que se deriva de las leyes funda-

mentales de la mecánica Newtoniana y básicamente es un enunciado del teorema del trabajo y la energía para el flujo de los fluidos. La ecuación de Bernoulli representa el balance de energía entre dos puntos del flujo y la expresión matemática característica es la siguiente:

$$\rho g h_1 + P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = \rho g h_2 + P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + h_f$$

Esta ecuación expresada por unidad de peso específico --- ( W ) toma la forma:

$$h_1 + \frac{P_1}{W} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{P_2}{W} + \frac{v_2^2}{2g} + h_f$$

en donde:

$h_1$  y  $h_2$  .- Representa la energía por posición correspondiente a las secciones 1 y 2 respectivamente en metros.

$\frac{P_1}{W}$  y  $\frac{P_2}{W}$  .- Representa la energía por presión correspondientes a las secciones 1 y 2 respectivamente en metros.

$\frac{v_1^2}{2g}$  y  $\frac{v_2^2}{2g}$  .- Representa la energía por velocidad en las secciones 1 y 2 respectivamente, en metros.

$h_f$  .- Representa las pérdidas de energía por fricción, en metros, que se suscitan al ser transportado el fluido de la sección 1 a la sección dos. ( 7 )

Aunque esta ecuación se puede presentar en otras formas, la anterior es quizás la más conveniente para fines prácticos

ya que cada uno de los términos representan las energías por unidad de peso específico de fluido, por lo que sus unidades corresponderán a las de una carga hidráulica equivalente en metros.

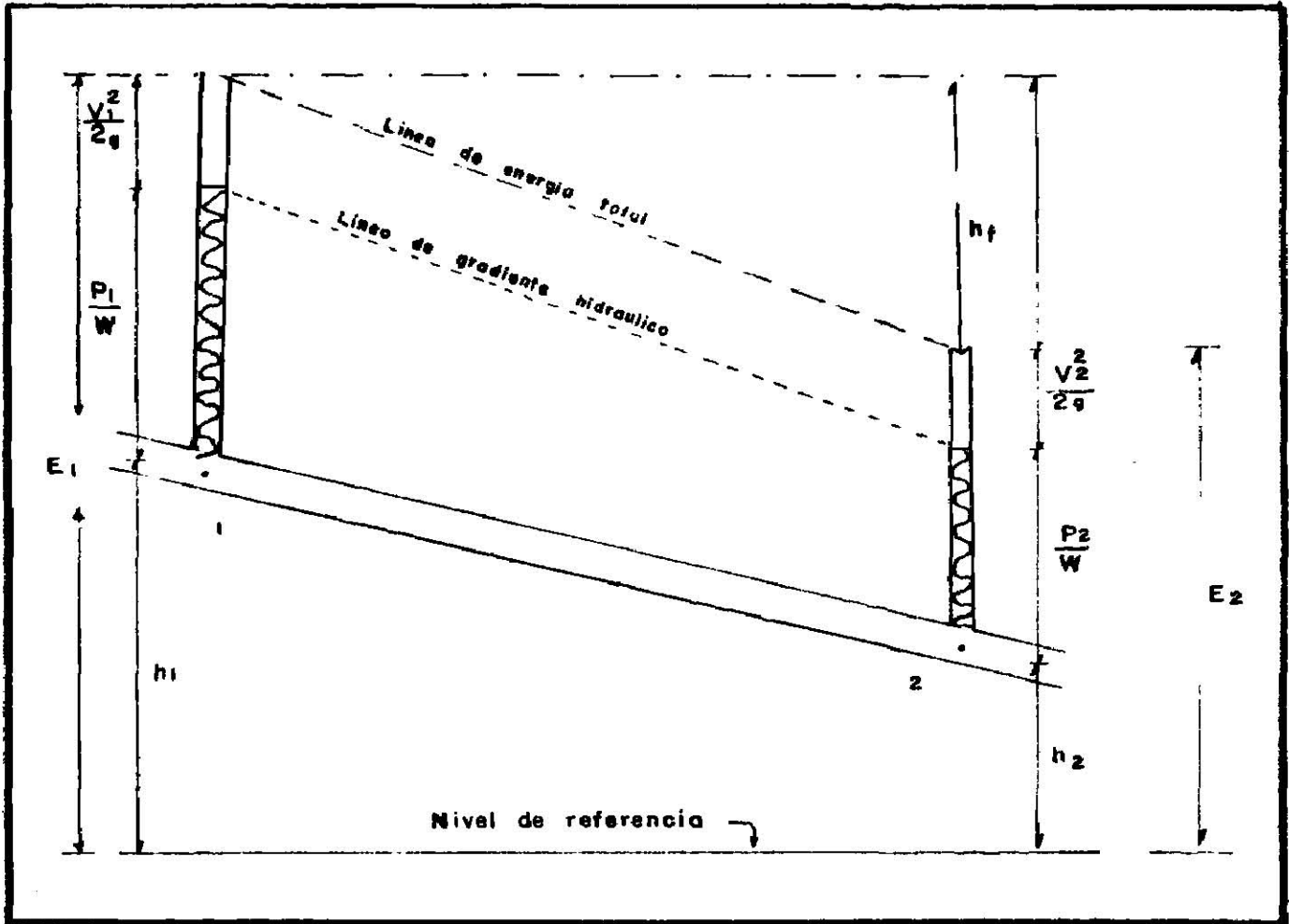


Figura 4.- Representación gráfica de los términos de la ecuación de Bernoulli.

#### Pérdidas de energía en las tuberías.

Las pérdidas de energía que se suscitan en una tubería durante la conducción de un fluido líquido, pueden quedar agrupadas en pérdidas menores ó locales y pérdidas mayores ó de fricción. Las primeras se presentan en una parte determinada del

conducto y son originadas principalmente por válvulas, cambios de dirección, ensanchamiento ó reducciones de la sección y tipos de entradas ó salidas del conducto. Las de fricción se deben al rozamiento de las partículas del fluido entre sí y con las paredes de la tubería.

La magnitud de las pérdidas locales, generalmente se determina por medio de expresiones que están en función de la carga de velocidad (  $V^2 / 2g$  ), ó sea;

$$h_s = K \frac{V^2}{2g}$$

en donde:

$h_s$  .- Representa la pérdida de energía por fricción en metros.

$K$  .- Coeficiente, cuyo valor depende del tipo de pérdida que se desea determinar.

$\frac{V^2}{2g}$  .- Representa la carga de velocidad en metros.

La magnitud de las pérdidas por fricción (  $h_f$  ), depende principalmente de los siguientes factores:

a).- La magnitud de la tubería.

b).- La velocidad de circulación del fluido en la tubería.

c).- El material de que está construido el tubo.

d).- El estado en que se encuentra la tubería.

e).- El tipo de fluido que transporta.

f).- Es importante mencionar que aunque la alineación de la tubería no es una característica física propia de la misma, puede llegar en un momento dado a influir sobre el comportamiento del flujo, por lo que deberá tomarse en cuenta durante el diseño. ( 7, 6 )



Para la evaluación de las pérdidas por fricción existen diferentes ecuaciones tanto empíricas como analíticas. Sin embargo las más usuales en la práctica son las que más adelante se describen.

#### Ecuación de Darcy-Weisbach.

Una de las ecuaciones más usadas para el diseño de tuberías es la ecuación de Darcy-Weisbach, cuya expresión matemática es la siguiente:

$$H_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

en donde:

$H_f$  .- Representa la pérdida de energía por fricción, en metros

$L$  .- Representa la longitud de la tubería, en metros.

$D$  .- Representa el diámetro de la tubería, en metros.

$\frac{v^2}{2g}$  .- Representa la carga de velocidad, en metros.

$f$  .- Representa el coeficiente de fricción, cuya magnitud -- sin unidades, depende principalmente del tipo de material de la tubería y del tipo de flujo caracterizado -- por el número de Reynolds (  $R$  ). ( 1, 5 )

Para determinar el coeficiente de fricción (  $F$  ) existen diferentes ecuaciones, siendo las principales las de Poiseuille, Blassius, Nikuradse Y Colebrook-White, que se describen a continuación.

#### Ecuación de Poiseuille.

Poiseuille fué el primero en determinar matemáticamente el coeficiente de fricción (  $f$  ) para un flujo laminar. La ecuación que obtuvo fué:

$$f = 64 / R$$

Esta ecuación es válida para tubos lisos ó rugosos cuyo número de Reynolds ( R ), no rebasa el valor crítico de 2300. Esta expresión es típica de un flujo en el cual, la viscosidad es la única característica del fluido que tiene influencia en el movimiento, siendo la disminución de la presión en la dirección longitudinal, directamente proporcional a la velocidad media y la viscosidad dinámica. Es necesario observar que al no haber aceleración, la densidad del fluido no participa en el fenómeno. ( 2, 6 )

#### Ecuación de Blassius

En base a sus propias experiencias, Blassius formuló la siguiente expresión para tubos lisos en la zona de transición ó turbulenta :

$$f = \frac{0.3164}{R^{1/4}}$$

Esta expresión al ser sustituida en la ecuación de Darcy-Weisbach, dá por resultado que;  $H_f \sim V^{1.75}$  y es válida para tubos de aluminio, latón, cobre, plástico, vidrio y asbesto-cemento, para números de Reynolds mayores de  $10^5$ . ( 5 )

#### Ecuación de Nikuradse.

Nikuradse investigando la zona turbulenta de tubos lisos obtuvo resultados de f en contra de R que comprenden valores hasta de  $R = 3 \times 10^6$ , cuya expresión matemática es :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log R \sqrt{f} - 0.8 \quad \text{ó bien} \quad \frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{R \sqrt{f}}{2.51}$$

También realizó mediciones de la distribución de velocidades en secciones transversales del tubo, que tuvieron gran va-

lor en el desarrollo de la teoría semiempírica del flujo turbu-  
lento, principalmente en tubos rugosos. Sus trabajos fueron --  
rugosidad artificial perfectamente verificada en el laboratorio,  
mediante granos uniformes de arena adheridos con diferente dis-  
tribución sobre la superficie interna del tubo. Una combinación  
juiciosa de  $\epsilon$  y D permitieron establecer seis valores distin-  
tos de rugosidad relativa (  $K = \epsilon/D$  ) que van desde 1/30 hasta  
1/1014. Además obtuvo la ecuación que lleva su nombre, válida  
para tubos rugosos en la zona turbulenta, cuya expresión mate-  
mática es la siguiente : ( 5 )

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{D}{2\epsilon} + 1.74 \quad \text{ó bien} \quad \frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{3.71 D}{\epsilon}$$

#### Ecuación de Colebrook-White

Colebrook-White comprobaron los mismos resultados de Niku-  
radse para la zona laminar y turbulenta en tubos de rugosidad  
comercial, lo cual permite extender la validéz de las ecuacio-  
nes  $f = 64/R$  y  $\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{D}{2\epsilon} + 1.74$  a tubos comerciales, sin  
embargo encontraron discrepancias de acuerdo al diágrama de Ni-  
kuradse figura 5 para tubos de rugosidad uniforme, resultados  
que se muestran comparativamente en la figura 6.

Para la zona de transición de flujo laminar a turbulento  
en tubos comerciales, Colebrook-White nos presentan la siguien-  
te fórmula empírica y que dá resultados muy apegados a la rea-  
lidad:

Zona de transición;

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = - 2 \log \frac{\epsilon/D}{3.71} + \frac{2.51}{R \sqrt{f}}$$

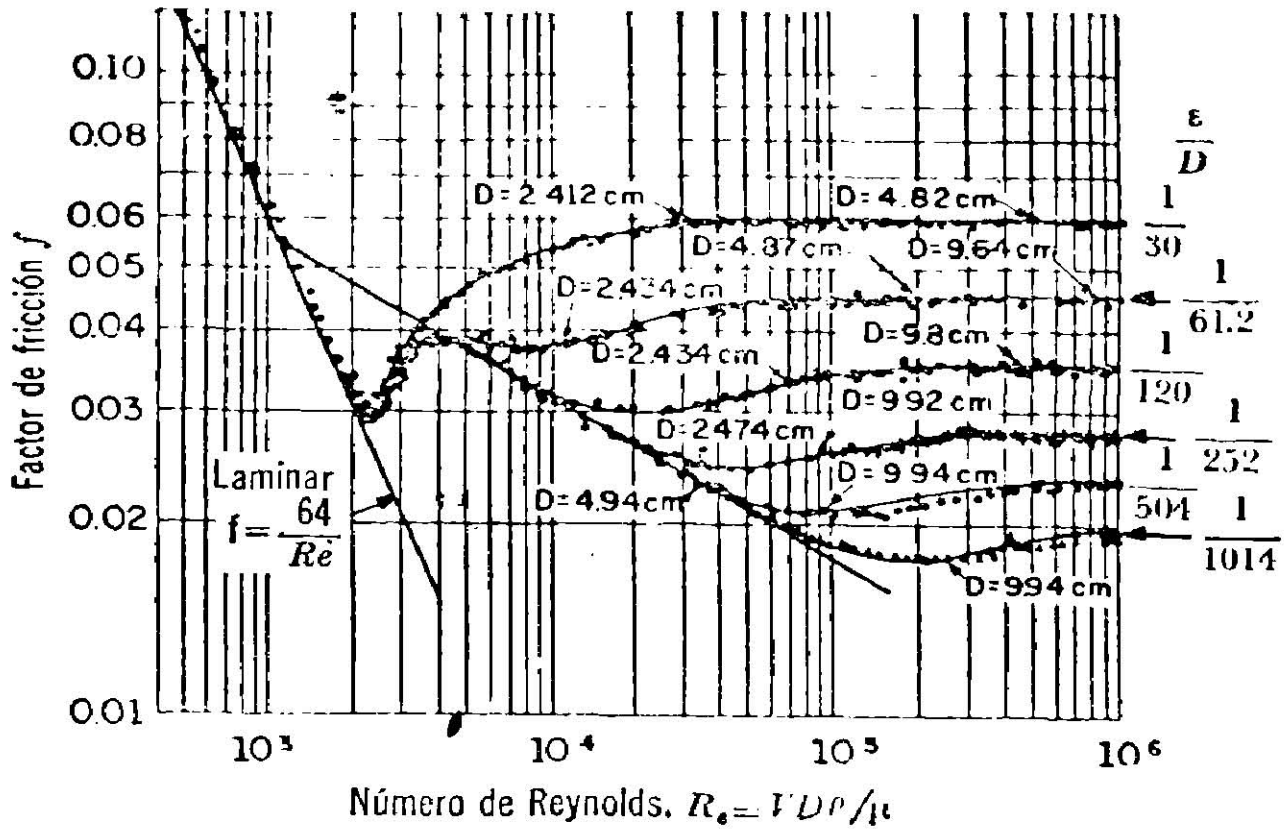


Figura 5.- Diálogo de Nikuradse para tubos de rugosidad uniforme

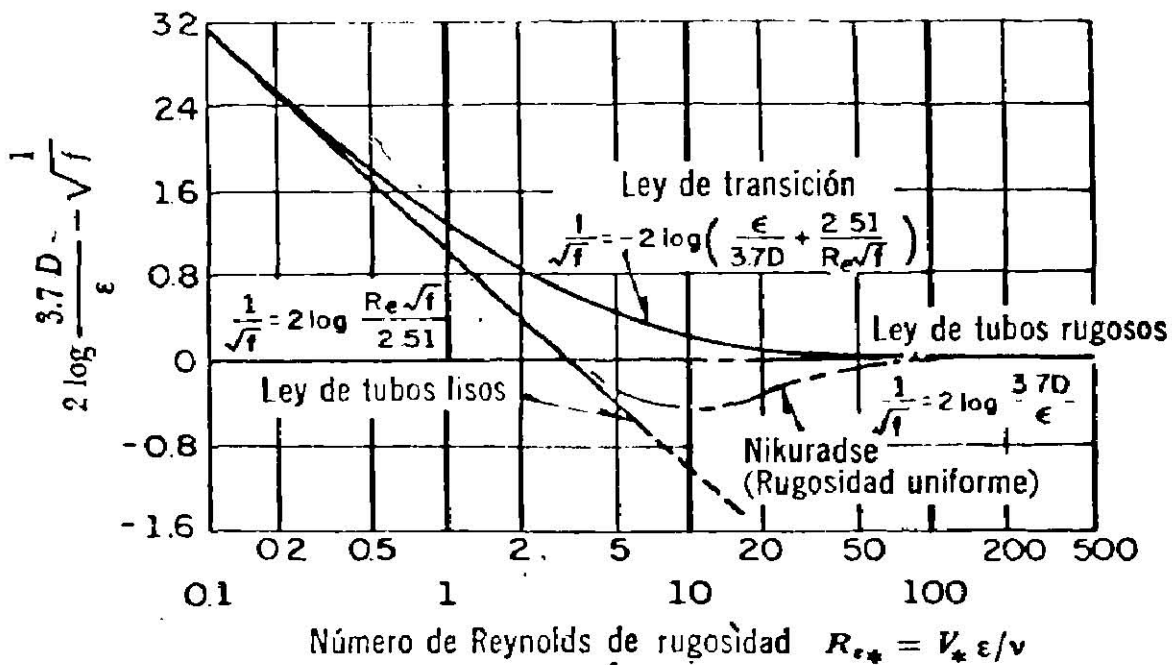


Figura 6.- Comparación entre las curvas, en la zona de transición, para tubos comerciales y de rugosidad uniforme

Con  $\epsilon = 0$ , esta ecuación se reduce a la de tubos lisos. Para valores de  $R$  muy grandes, el tubo se comporta como rugoso y la ecuación se transforma en la correspondiente a ese tipo de tubos. ( 5 )

#### Diagrama de Moody.

En base a los resultados anteriores, Moody preparó el diagrama universal que lleva su nombre para determinar el coeficiente de fricción  $f$  en tuberías de rugosidad comercial que transportan cualesquier líquido. Tanto en el diagrama de Moody figura 7, como en el diagrama de Nikuradse figura 5, se comprueban los mismos aspectos para tuberías de rugosidad comercial. La precisión del uso del diagrama de Moody, depende de la selección de la rugosidad absoluta ( $\epsilon$ ) del material de que está construido el tubo. ( 5 )

Aunque la ecuación de Darcy-Weisbach y el diagrama de Moody dan la solución parcial a los problemas de tuberías, existen otras fórmulas de gran aplicación práctica, para tubos que conducen exclusivamente agua entre  $10^{\circ}\text{C}$  y  $20^{\circ}\text{C}$ . En estas ecuaciones no se consideran las variaciones de temperaturas, viscosidad y coeficiente de fricción ( $f$ ), por ser para un régimen de flujo turbulento, las más empleadas son las de Manning y la de Hazen-Williams, cuya descripción se presenta enseguida:

#### Ecuación de Manning.

La ecuación de Manning es utilizada para el diseño de canales y tubos rugosos en la zona turbulenta, su expresión matemática es la siguiente:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad \text{ó} \quad Q = \frac{0.3117 D^{8/3} S^{1/2}}{n}$$



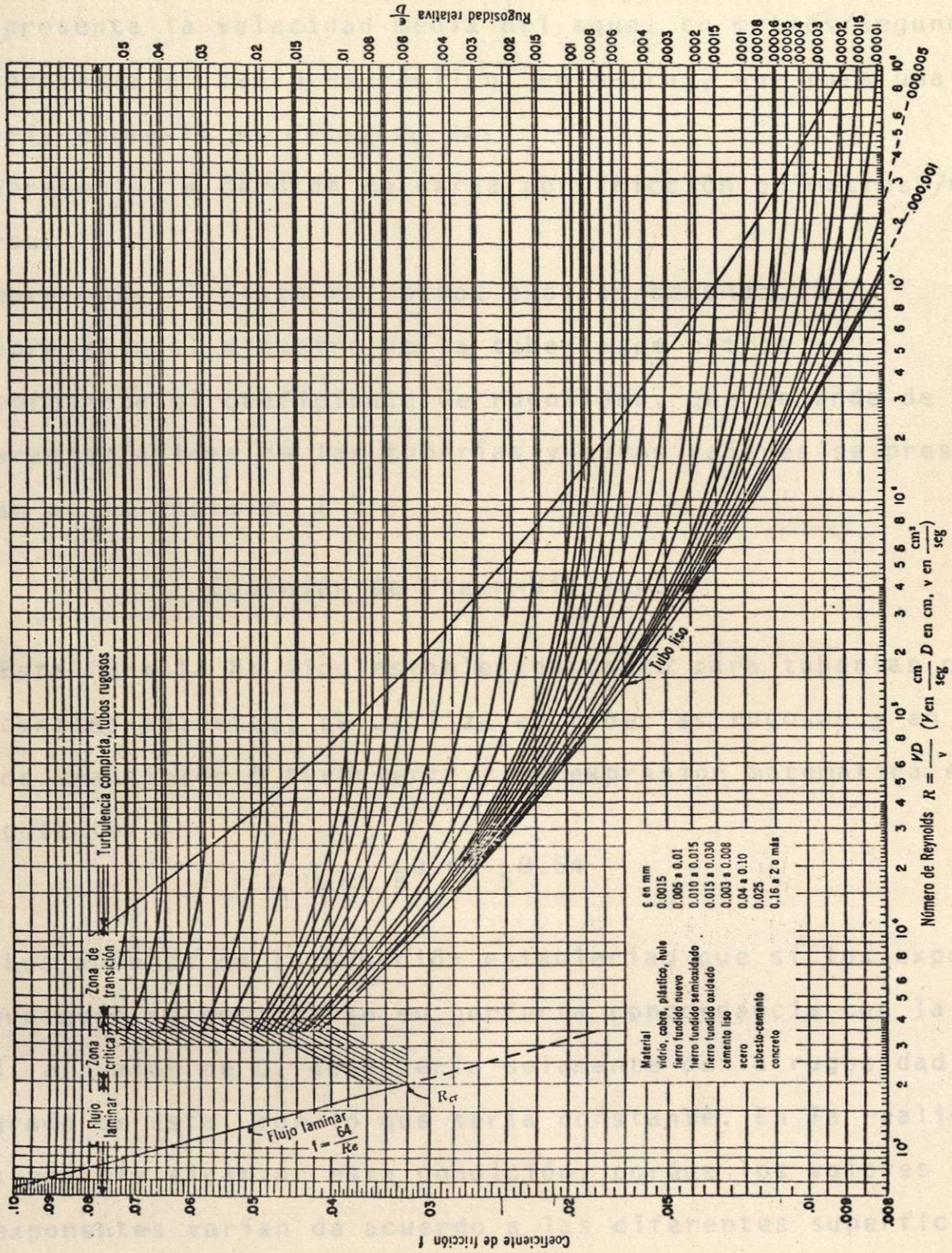


Figura 7.- Diagrama de Moody.



en donde :

- V.- Representa la velocidad media del agua, en metros/segundo.
- R.- Representa el radio hidráulico, en metros, que para una tubería equivale al diámetro /4.
- S.- Representa la pérdida de carga por fricción en metros /metros.
- Q.- Representa el gasto en metros cúbicos/segundo.
- D.- Representa el diámetro de la tubería, en metros
- n.- Representa el coeficiente de rugosidad, que depende de las características de las tuberías y cuyos valores se presentan en la tabla 2. ( 2 )

#### Ecuación de Hazen-Williams.

Esta fórmula ha sido establecida tanto para tuberías como para canales abiertos, se utiliza en tuberías rugosas y en la zona de transición ó turbulenta y su expresión matemática es - la siguiente:

$$V = C 0.85 R^{0.63} S^{0.54}$$

Los autores de la ecuación establecían que si los exponentes pudiesen seleccionarse en perfecta concordancia con la realidad, el valor de  $C_1$  dependería solamente de la rugosidad y - del grado de ésta, por lo que sería constante. En la realidad no es posible alcanzar esta condición, porque los valores de - los exponentes varían de acuerdo a las diferentes superficies y además porque no son exactamente los mismos en diámetros --- grandes que pequeños, ni para las diferentes inclinaciones. -- Sin embargo pueden elegirse exponentes que representen aproxi-



madamente condiciones medias, de tal manera que los valores de  $C_1$  para una condición dada varíe tan poco que pueda considerarse prácticamente constante. ( 2 )

Tabla 2.- Valores del coeficiente de fricción para las ecuaciones de Manning y Hazen-Williams en diversos tipos de tuberías.

TIPO DE TUBERIAS	MANNING "n"	HAZEN-WILLIAMS "C"
Plástico, cobre, cemento	.009*	145
Asbesto-cemento	.010*	140
Aluminio	.012	120*
Fierro fundido (nuevo)	.011	130*
Fierro fundido((usado)	.013	100*
Acero galvanizado (usado)	.013	100*
Acero soldado (usado)	.012	120*
Concreto aspero	.015*	90
Concreto común	.013*	100
Concreto liso	.011*	130
Concreto muy liso	.010*	140
Lámina corrugada	.024*	60
Barro vitrficado	.015*	90

\* Valores usados comunmente en el diseño.

## MATERIALES Y METODOS

La elaboración de los nomogramas para el diseño de tuberías forzadas que se presentan en este trabajo, está basada en la ecuación de Colebrook-White cuya expresión matemática es la siguiente:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} \frac{D}{2k} + 1.74 - 2 \log_{10} \left( 1 + 18.7 \frac{D/2k}{R \sqrt{f}} \right)$$

en donde:

f.- Es el coeficiente de fricción.

D.- Es el diámetro interno de la tubería en metros.

K.- Es la rugosidad relativa.

R.- Es el número de Reynolds.

Se ha tomado como base esta ecuación, debido a que los resultados que se obtienen en tubos de rugosidad comercial -- tanto en la zona de flujo laminar como turbulento, son básicamente iguales a los obtenidos por Nikuradse para este tipo de tuberías, además de que, para la zona de transición de flujo laminar a turbulento en tubos de rugosidad comercial se considera como la más apegada a la realidad, por lo que puede considerarse que para fines prácticos, es la ecuación que mejor representa la relación que existe entre los diferentes factores que influyen en el comportamiento del agua en movimiento, dentro de las tuberías ó conductos a presión.

El empleo de esta ecuación en la práctica es bastante limitado, por el problema que representa su manejo matemático -- que implica el cálculo del coeficiente de fricción (f), por --

medio de aproximaciones sucesivas, por lo que generalmente se hace uso de ecuaciones como la de Manning, Hazen-Williams y -- otras, que aunque no son muy exactas proporcionan resultados -- bastante aceptables desde el punto de vista práctico,

El objetivo del presente trabajo ha sido la obtención de la solución gráfica de la ecuación de Colebrook-White por medio de computación electrónica, de tal manera que el diseño de tuberías forzadas pueda ser realizado por personas que incluso no estén familiarizadas con este tipo de cálculos.

Para la realización de este trabajo se utilizaron los siguientes materiales:

Computadora electrónica Cyber 70 Control Data, del Centro de Cálculo de la Universidad Autónoma de Nuevo León, equipo de dibujo consistente en; reglas, pistola de curvas, papel logarítmico, papel calca y equipo leroy.

La metodología seguida para la realización de este trabajo fué la siguiente:

- 1.- Obtención de la expresión matemática correspondiente a -- los parámetros de la raíz cuadrada de la pérdida de energía por fricción por unidad de longitud ( $\sqrt{h/L}$ ), y de gasto hidráulico (Q), que corresponden en los nomogramas a -- los ejes de las abscisas y ordenadas respectivamente.
- 2.- Elaboración del diágrama de flujo.
- 3.- Elaboración del programa de computadora en lenguaje Fortran IV.
- 4.- Perforación de las tarjetas.

- 5.- Procesamiento del programa en la computadora electrónica.
- 6.- Verificación de los resultados obtenidos en el programa.
- 7.- Elaboración de los nomogramas.

La obtención de los parámetros  $\sqrt{h/L}$  y Q se hizo de la siguiente manera:

A partir de la ecuación de Darcy-Weisbach se obtuvo una expresión del parámetro  $\sqrt{h/L}$ .

$$h = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

$$f = \frac{h \times D \times 2g}{L \times v^2}$$

$$\sqrt{f} = \frac{\sqrt{2gh} \times D^{0.5}}{v \sqrt{L}}$$

$$R \sqrt{f} = \frac{\sqrt{2gh} \times D^{0.5}}{v \sqrt{L}} \times R$$

$$R \sqrt{f} = \sqrt{2g} \times \sqrt{h/L} \times D^{0.5} \times \frac{RD}{v} \times \frac{1}{v}$$

$$R \sqrt{f} = \frac{\sqrt{2g}}{\sqrt{v}} \times \sqrt{h/L} \times D^{0.5}$$

$$\sqrt{h/L} = \frac{\sqrt{f}}{\sqrt{2g}} \times \frac{1}{D^{1.5}} \times R\sqrt{f}$$

En base a la misma ecuación de Darcy-Weisbach, se obtuvo una ecuación del parámetro  $Q/\sqrt{h/L}$ .

(Ec. de Darcy - W)

$$h = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

$$v^2 = \frac{Q^2}{A^2}$$

$$h = f \frac{L}{D} \frac{Q^2}{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)^2 \times 2g}$$

$$f = \frac{h D \left(\frac{\pi D^2}{4}\right)^2 \times 2g}{L Q^2}$$

$$\sqrt{f} = \frac{\sqrt{2gh} \times D^{0.5} \left(\frac{\pi D^2}{4}\right)}{Q \sqrt{L}}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{Q \sqrt{L}}{\sqrt{2gh} D^{0.5}} \times \left(\frac{\pi D^2}{4}\right)$$

$$\frac{1}{V_f} = \frac{4}{\pi \sqrt{2g}} \times \frac{Q}{V_{h/L}} \times \frac{1}{D^{2.5}}$$

$$\frac{Q}{V_{h/L}} = \frac{D^{2.5}}{V_f} \times \frac{\pi \sqrt{2g}}{4}$$

De acuerdo con la ecuación de Colebrook-White que se aplica tanto a tubos lisos como rugosos y cubre además el rango de transición entre uno y otro, se obtuvo una expresión simplificada de la **ecuación original**:

$$\frac{1}{V_f} = 2 \log_{10} \frac{D}{2k} + 1.74 - 2 \log_{10} \left( 1 + 18.7 \frac{D/2k}{R V_f} \right)$$

$$\frac{1}{V_f} = 2 \log_{10} D - (2 \log_{10} 2 + 2 \log_{10} k) + 1.74 - 2 \log_{10} \left( 1 + 9.35 \frac{D/k}{R V_f} \right)$$

$$\frac{1}{V_f} = 2 \log_{10} \frac{D}{k} - 0.60 + 1.74 - 2 \log_{10} \left( 1 + 9.35 \frac{D/k}{R V_f} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} \frac{D}{k} + 1.14 - 2 \log_{10} \left( 1 + 9.35 \frac{D/k}{R\sqrt{f}} \right)$$

$$\frac{Q}{\sqrt{h/L}} = \frac{D^{2.5}}{\sqrt{f}} \times \frac{\pi \sqrt{2g}}{4}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{4}{\pi \sqrt{2g}} \times \frac{Q}{\sqrt{h/L}} \times \frac{1}{D^{2.5}}$$

Esta ecuación sustituida en la de Colebrook-White toma la siguiente forma:

$$\frac{4}{\pi \sqrt{2g}} \times \frac{Q}{\sqrt{h/L}} \times \frac{1}{D^{2.5}} = 2 \log_{10} \frac{D}{k} + 1.14 - 2 \log_{10} \left( 1 + 9.35 \frac{D/k}{R\sqrt{f}} \right)$$

Una expresión para Q se obtiene despejando la ecuación anterior ó sea:

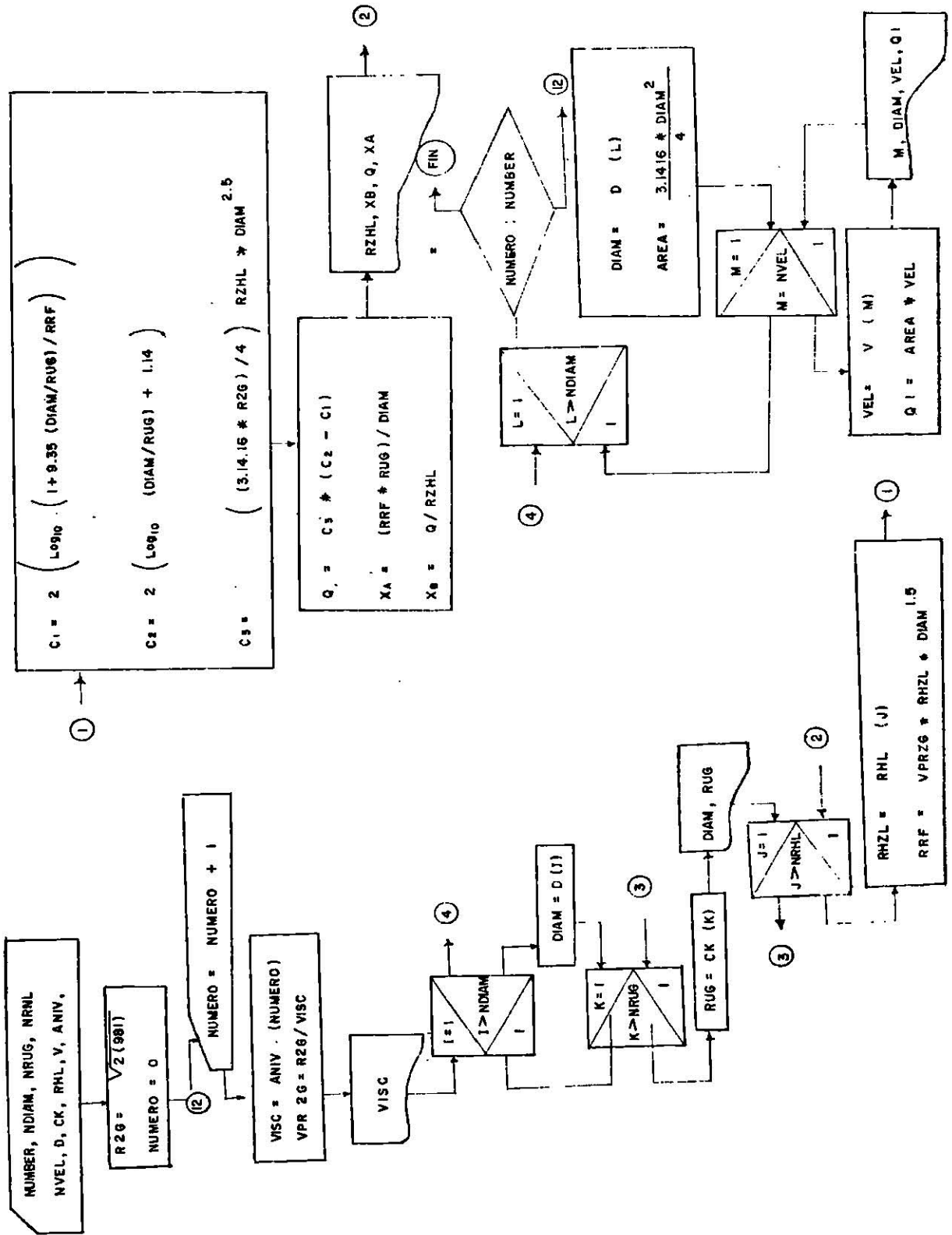
$$Q = \frac{D^{2.5} \times \pi \times \sqrt{2g} \times \sqrt{h/L}}{4} \times \left( 2 \log_{10} \frac{D}{k} + 1.14 - 2 \log_{10} \left( 1 + 9.35 \frac{D/k}{R\sqrt{f}} \right) \right)$$



El diagrama de flujo se presenta en la página 32 y la programación en lenguaje Fortran IV utilizada en este trabajo aparece en las páginas 33, 34 y 35

Los diámetros internos, Viscosidades cinemáticas, rugosidades, raíz de la pérdida de energía por unidad de longitud y velocidades que se utilizaron para la elaboración del presente trabajo, aparecen en las tablas 3,4,5,6 y 7 respectivamente.

DIAGRAMA DE FLUJO



PROGRAMACION EN LENGUAJE FORTRAN IV.

---

MS FORTRAN (4.3) / MSOS 5.0

06/28/75

Page 001

PROGRAM TESIS

FACULTAD DE AGRONOMIA UANL  
PROGRAMA DE TESIS PROFESIONAL  
JUAN ISAAC ESTRADA MEDINA

PROGRAMA PARA EL CALCULO DE NOMOGRAMAS BASADOS  
EN LA ECUACION DE COLEBROOK-WHITE PARA EL DISE  
ÑO DE TUBERIAS FORZADAS EN DIVERSOS TIPOS DE -  
MATERIAL QUE CONDUCEN AGUA A DIFERENTES TEMPE-  
RATURAS.

NOMENCLATURAS DE VARIABLES EMPLEADAS COMO DATOS

D SON LOS VALORES DE LOS DIAMETROS DE LA TUBERIA EN CMS.

CK SON LOS VALORES DE LA RUGOSIDAD ABSOLUTA EN CMS.

RHL SON LOS VALORES DE LA RAIZ CUADRADA DE LA PERDIDA DE  
ENERGIA POR UNIDAD DE LONGITUD SIN UNIDADES.

V SON LOS VALORES DE LA VELOCIDAD DEL AGUA EN LA TUBERIA  
EN CENTIMETROS POR SEGUNDO.

ANIU SON LOS VALORES DE LA VISCOCIDAD CINEMATICA DEL AGUA  
EN CENTIMETROS CUADRADOS POR SEGUNDO.

DIMENSION D(16), CK(5), RHL(13), V(16), ANIU(6).

READ 1. NUMBER. NDIAM, NRUG, NRHL, D, CK, RHL, V, ANIU

1 FORMAT (514616F5.0/5F10.0/13F6.0/16F5.0/6F10.0)

R2G = SQRT (2.\*981)

NUMERO = 1

12 VISC = ANIU (NUMERO)

VPR2G = R2G/VISC

(CONTINUACION)

```
PRINT 2, VISC
2 FORMAT (1H1////40X, # CALCULO DEL GASTO VS RAIZ H/L PARA UNA
1VISCOSIDAD #, 3x, E11,5)
DO 10 I=1, NDIAM
DIAM = D(I)
DO 20 K = 1, NRUG
RUG CK(K)
PRINT 3
3 FORMAT (//30X, # DIAMETRO#, 7X, #RUGOSIDAD# /)
PRINT 5, DIAM,RUG
5 FORMAT (26X, 2E 15.7)
PRINT 4
4 FORMAT (21X.#NRHL# ,5X,#RAIZ H/L?4X,# Q/RAIZ DE H/L,8X,#Q#,
1 7X,#R*(F)***0.5/DIAM/RUG.#,//)
DO 30 J=1, NRHL
RZHL = RHL(J)
RRF = VPR2G*RZHL*DIAM**1.5
C1=2. * (ALOG10(DIAM/RUG )) + 1.14
C2=2. (ALOG10(1.+9.35 (DIAM/RUG) /RRF))
C3 = ( )3.1414*R2G)/4.)* RZHL*DIAM**2.5
Q = C3*(C2 - C1)
XA = (RRF RUG) /DIAM
XB = Q/RZHL
PRINT 6, J, RZHL, XB, Q, XA
6 FORMAT (21X,12,X5,4E15.7)
30 CONTINUE
20 CONTINUE
10 CONTINUE
```

```
7 FORMAT (1H1,///,45X,≠CALCULO DEL GASTO PARA VELOCIDAD
CONSTANTE,/1/)
DO 40 L=i, NDIAM
DIAM = D(L)
AREA = 3.1414*DIAM**2/4
PRINT 8
8 FORMAT ( 35X, ≠ DIAMETRO≠, 12X,≠VELOCIDAD≠,11X, ≠GASTO≠//)
DO 5 M=1, NVEL
VEL = V(M)
Q1 = AREA*VEL
PRINT 9, M, DIAM, VEL, Q1
9 FORMAT ( 26X,12,3E20.7)
50 CONTINUE
40 CONTINUE
IF ( NUMERO.EQ.NUMBER ) GO TO 11
NUMERO = NUMERO + 1
GO TO 12
11 STOP
END
```

Tabla 3.- Diámetros internos en centímetros y en pulgadas

Diámetros	Diámetros
1.- 1.27 cm, (1/2" )	9.- 7.62 cm, ( 3" )
2.- 1.90 cm, (3/4" )	10.- 10.16 cm, ( 4" )
3.- 2.54 cm, ( 1" )	11.- 15.24 cm, ( 6" )
4.- 3.18 cm, (1 <sup>1</sup> /4")	12.- 20.32 cm, ( 8" )
5.- 3.81 cm, (1 <sup>1</sup> /2")	13.- 25.40 cm, (10" )
6.- 4.44 cm, (1 <sup>3</sup> /4")	14.- 30.48 cm, (12" )
7.- 5.08 cm, ( 2" )	15.- 35.56 cm, (14" )
8.- 6.35 cm, (2 <sup>1</sup> /2")	16.- 40.64 cm, (16" )

Tabla 4.- Viscosidades cinemáticas (✓) en centímetros cuadrados/segundo.

Temperatura	Viscosidad
1.- 5°C	1.520 x 10 <sup>-2</sup>
2.- 10°C	1.308 x 10 <sup>-2</sup>
3.- 15°C	1.142 x 10 <sup>-2</sup>
4.- 20°C	1.007 x 10 <sup>-2</sup>
5.- 25°C	0.897 x 10 <sup>-2</sup>
6.- 30°C	0.804 x 10 <sup>-2</sup>

Tabla 5.- Rugosidad absoluta ( $\epsilon$ ) en centímetros.

1.- 0.00015	latón, bronce, cobre, plástico ó hule
2.- 0.00024	fierro fundido, revestido de concreto
3.- 0.015	fierro galvanizado
4.- 0.012	concreto, fierro fundido bañado de asfalto
5.- 0.18	acero roblonado

Tabla 6.- Raíz de la pérdida de energía por fricción por unidad de longitud ( $\sqrt{h/L}$ ), en metros/metros.

0.001	0.01	0.1	1.0
0.002	0.02	0.2	
0.004	0.04	0.4	
0.008	0.08	0.8	

Tabla 7.- Velocidades en centímetros por segundo

1.- 25 cm/seg	9.- 400 cm/seg
2.- 50 cm/seg	10.- 450 cm/seg
3.- 100 cm/seg	11.- 500 cm/seg
4.- 150 cm/seg	12.- 600 cm/seg
5.- 200 cm/seg	13.- 700 cm/seg
6.- 250 cm/seg	14.- 800 cm/seg
7.- 300 cm/seg	15.- 900 cm/seg
8.- 350 cm/seg	16.- 1000cm/seg

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos después del procesamiento de datos, se graficaron en papel logarítmico de acuerdo con el siguiente criterio: Sobre el eje de las abscisas el parámetro de la raíz de la pérdida de energía por unidad de longitud  $\sqrt{h/L}$  en metros/metros y sobre el eje de las ordenadas, el parámetro de gastos Q en litros/segundo. Tomando como referencia los parámetros anteriores, se proyectaron las curvas correspondientes a cada diámetro, con sus respectivas rugosidades. Es importante señalar que en los nomogramas solo aparecen cuatro curvas en vez de cinco, debido a que la diferencia gráfica entre las curvas correspondientes a las rugosidades de latón, cobre, bronce, plástico ó hule. (.00015 cm) y de fierro fundido, revestido de concreto. (.00024 cm) es mínima, ó sea, que prácticamente se yuxtaponen.

Las curvas correspondientes a diferentes velocidades de flujo en la tubería, se trazaron de acuerdo a los valores medios de gasto y diámetro. El objetivo de estas curvas es de presentar un panorama de conjunto al diseñador, cuando desee seleccionar diámetros de tubería en donde la velocidad es un factor importante, como por ejemplo; en el caso en que se desee una velocidad mínima para evitar sedimentación de partículas en la tubería.

Originalmente se prepararon seis nomogramas para las viscosidades cinamáticas correspondientes a 5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C y 30°C de temperatura. Sin embargo solo se presentan los



nomogramas de 5°C, 15° C y 30°C, debido a que, los nomogramas intermedios no presentan variaciones significativas, con respecto a éstos.

En los nomogramas se puede observar, que la curva de mayor rugosidad, ó sea la de acero roblonado (0.18 cm) en algunos casos se cruza con la de 0.00015 cm del diámetro anterior. Esto se debe a que la pérdida de energía por fricción se hace mayor a medida que el tubo es más rugoso y el número de Reynolds aumenta.

El cambio de pendiente que se presenta a cada una de las curvas del nomograma, se debe a que la pérdida de energía por fricción aumenta en forma exponencial a medida que el número de Reynolds se hace mayor. Para números de Reynolds bajos la pendiente es casi una línea recta, sin embargo a medida que aumenta, la curva tiende a la horizontalidad.

#### Manejo de los nomogramas. ( Ejemplos )

##### Ejemplo 1.-

Cálcular la pérdida de carga que se produce en una tubería de asbesto-cemento de 0.305 metros ( 12" ) de diámetro y 600 metros de longitud, cuando circulan 90 lts/seg de agua a 15°C, -- siendo su viscosidad cinemática (  $\nu$  ) igual a 0.011 cm<sup>2</sup>/seg. Para  $Q = 0.090$  m<sup>3</sup>/seg, la velocidad vale;

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.090}{0.785 \times 0.30^2} = 1.23 \text{ metros/segundo.}$$

El número de Reynolds es;

$$R = \frac{VD}{\nu} = \frac{1.23 \times 0.30}{0.0000011} = 335,454;$$

y con una rugosidad relativa

$$\epsilon/D = \frac{0.000025}{0.30} = 0.000083$$

en el diágrama de Moody se toma una vertical por  $R = 335,454$  - hasta la curva correspondiente  $\epsilon/D = 0.000083$ , leemos en la escala de la izquierda  $f = 0.0148$  y la pérdida de carga será:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = \frac{0.0151 \times 600 \times 1.23^2}{0.305 \times 19.6}$$

$$h_f = 2.29 \text{ metros.}$$

Solución del problema utilizando los nomogramas.

1).- Se utiliza el nomograma de la figura 9 correspondiente a una temperatura de  $15^\circ\text{C}$ , cuya viscosidad cinemática es de  $1.142 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{seg}$ .

2).- Se proyecta una línea horizontal a partir del eje de las ordenadas en el punto correspondiente a un gasto ( Q ) de 90 lts/seg.; hasta intersectar la curva de diámetro de 30.48 cm - (12") y una rugosidad absoluta (  $\epsilon$  ) de 0.0025 cm. A partir de esta intersección se proyecta una línea perpendicular al eje de las abscisas, en donde se obtiene el valor correspondiente - del parámetro  $\sqrt{h/L}$ , que para este caso tiene un valor de .063 ; ó sea:

$$\sqrt{h/L} = 0.063$$

$$h/L = ( 0.063 )^2$$

$$h/L = 0.003969$$

$$h = 0.003969 \times L = 0.003969 \times 600$$

$$h = 2.38 \text{ metros.}$$

Ejemplo 2.-

Determinar la cantidad de agua a 20°C que lleva un tubo de acero comercial de 1200 metros de longitud y 20.3 cm (8") de diámetro, si la pérdida por fricción permitida es de 6.00 metros, la rugosidad absoluta ( $\epsilon$ ) es igual a 0.000046 metros

Tomando en cuenta la ecuación de Darcy-Weisbach;

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

V y f son desconocidas, se requiere un metodo de tanteos, para la solución del problema como se explica enseguida:

- 1.- Se supone un valor a f entre 0.02 y 0.04
- 2.- Se calcula V y también R
- 3.- Con R y  $\epsilon/D$  se obtiene en el diagrama de Moody un nuevo valor de f
- 4.- Con este nuevo valor de f se repite el proceso
- 5.- Cuando el valor de f no cambie, el valor correspondiente de V es buscado, determinando el gasto por la ecuación de continuidad  $Q = V A$

Para el primer tanteo, tomamos  $f = 0.02$  y despejamos V

$$6 = 0.02 \times \frac{1200 \times V^2}{0.203 \times 19.6} \quad \text{y } V = 1 \text{ metro/seg. además}$$

$$R = \frac{VD}{\sqrt{f}} = \frac{1 \times 0.20}{0.000001} = 200,000 \quad \text{y}$$

$$\epsilon/D = 0.000046/0.203 = 0.00023$$

Con estos valores de R y  $\epsilon/D$  el diagrama de Moody dá  $f = .0175$  como  $0.0175 \neq 0.020$ , se repite el proceso con este valor de f.

Segundo tanteo:

Con  $f = 0.0175$  en lugar del anterior de  $0.020$

$$6 = 0.0175 \times \frac{1200 \times V^2}{.203 \times 19.6}, \quad V = 0.92 \text{ mts/seg.}$$

$$R = \frac{VD}{\sqrt{}} = \frac{0.92 \times 0.203}{0.000001} = 186,760$$

$$\epsilon/D = 0.00023$$

Dando el diágrama de Moody  $f = 0.0175$ , valor que coincide con el supuesto para el segundo tanteo, siendo entonces la velocidad  $V = 0.92$  mts/seg y el gasto  $Q = V A = 0.92 \times 0.0324 = .030$  metros cúbicos/segundo ó sea 30 lts/seg.

Solución del problema utilizando los nomogramas.

- 1).- Se utiliza el nomograma de la figura 9, correspondiente a una temperatura de  $15^\circ\text{C}$ , cuya viscosidad cinamática es de  $1.142 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{seg.}$ , por ser la más próxima a la de  $20^\circ\text{C}$  de temperatura.
- 2).- Se proyecta una línea vertical a partir del eje de las abscisas, en el punto correspondiente al parámetro  $\sqrt{h/L}$  igual a  $\sqrt{.005}$  ó sea  $0.07$ ; hasta intersectar la curva de diámetro  $20.32 \text{ cm}$  (8") y una rugosidad absoluta de  $0.00046$ . A partir de esta intersección se proyecta una línea horizontal al eje de las ordenadas en donde se obtiene el valor correspondiente al gasto  $Q$  igual a 30 lts/segundo.

Ejemplo 3.-

Cuál será el diámetro de un tubo galvanizado de 750 metros de longitud para que circulen 7 lts/seg de agua a  $30^\circ\text{C}$ , con una

pérdida de carga máxima de 36 metros, una rugosidad absoluta - ( $\epsilon$ ) de 0.00015 metros y una viscosidad cinemática ( $\nu$ ) de -- 0.000001 m<sup>2</sup>/seg.

Partiendo de la ecuación de continuidad  $Q = V A$  y reemplazando la velocidad por  $V = Q/A = \frac{Q}{\pi D^2 / 4}$  en la fórmula de --

$$\text{Darcy-Weisbach dá: } h_f = f \frac{L Q^2}{D^5 8g}$$

$$\text{y despejando el diámetro: } D^5 = \frac{8 f L Q^2}{h_f g}$$

en esta igualdad tenemos dos incógnitas,  $f$  y  $D$

Tanto este problema como el anterior de determinar el gas to se resuelven por tanteos; con el procedimiento siguiente:

- 1.- Se supone a  $f$  un valor entre 0.02 y 0.04
- 2.- Se determina el valor de  $D$
- 3.- Se calcula Reynolds
- 4.- Se encuentra  $\epsilon/D$
- 5.- Con  $\epsilon/D$  y  $R$  se busca en el diagrama de Moody un nuevo valor de  $f$
- 6.- Con este nuevo valor de  $f$  se repite el proceso.
- 7.- Cuando el valor de  $f$  no cambie, el problema está resuelto.

Primer Tanteo con  $f = 0.02$  y sustituyendo los datos conocidos.

$$D^5 = \frac{8 \times 0.02 \times 750 \times 0.000049}{36 \times 9.86 \times 9.81} = 0.0000017; \text{ y } D = 0.07 \text{ metros}$$

$$\text{Para } D = 0.07 \text{ metros } A = \frac{\pi \times 0.07^2}{4} = 0.0038 \text{ metros}^2 \text{ y}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.007}{0.0038} = 1.85 \text{ mts/seg}$$

$$R = \frac{VD}{\sqrt{\quad}} = \frac{1.85 \times 0.07}{0.0000008} = 161,875$$

$$\epsilon/D = 0.00015/0.07 = 0.0021$$

Con estos datos el diágrama de Moody dá  $f = 0.024$ , como el valor de  $f = 0.024 \neq 0.020$  es necesario repetir el proceso.

Segundo tanteo con  $f = 0.024$

$$D^5 = \frac{8 \times 0.024 \times 750 \times 0.000049}{36 \times 9.81 \times 9.86} = 0.0000020$$

$$D = 0.0729 \text{ metros}$$

$$A = 0.0042 \text{ mts}^2,$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.007}{0.0042} = 1.65 \text{ mts/seg.}$$

$$R = \frac{VD}{\sqrt{\quad}} = \frac{1.65 \times 0.00729}{0.0000008} = 150,562$$

$$\epsilon/D = 0.002$$

El diágrama de Moody dá  $f = 0.024$ , coincidiendo con el valor supuesto, por lo tanto  $D = 0.073$ ; el diámetro comercial será  $D = 7.6 \text{ cm ( 3" )}$

Solución del problema utilizando los nomogramas.

- 1.- Se utiliza el nomograma de la figura 10 correspondiente a una temperatura de  $30^\circ\text{C}$ , cuya viscosidad cinemática es de  $0.804 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{seg}$ .
- 2.- Se proyecta una línea horizontal a partir del eje de las ordenadas en el punto correspondiente a un gast  $Q = 7 \text{ litros / segundo}$ ; hasta intersectar con una línea vertical -

trazada desde el eje de las abscisas correspondiente al parámetro  $\sqrt{h/L}$  igual a  $\sqrt{.048}$  ó sea 0.22. El valor de la intersección obtenida es para un diámetro de 7.6 cm (3").

Ejemplo 4.-

Un tubo en servicio de fierro fundido con una rugosidad - ( $\epsilon$ ) de 0.001 metros, y un diámetro de 20.3 cm (8") conduce - 32.5 lts/seg de agua. Cuál es la pérdida por fricción en una longitud de 600 metros usando: a) La fórmula de Hazen-Williams y el nomograma, b).- La fórmula de Manning y el nomograma y c) La fórmula de Darcy-Weisbach.

a).- De la fórmula de Hazen-Williams  $Q = 0.2785 C D^{2.63} S^{0.54}$ , se despeja el valor de S, sustituyendo los siguientes datos:

$$S = \left[ \frac{Q}{.2785 C D^{2.63}} \right]^{1.85} = \left[ \frac{0.0325}{27.85 \times 0.01513} \right]^{1.85} = \underline{0.0089}$$

Siendo la pérdida por fricción;  $h_f = S L = 0.0089 \times 600$

$$h_f = 5.34 \text{ metros}$$

En el nomograma de Hazen-Williams para  $C = 100$ , se une el gasto  $Q = 32,5$  lts/seg con  $D = 20.3$  cm (8") y se obtiene directamente  $S = 9$  Mts/mil mts. ó sea  $S = 9/1000 = 0.009$  y  $h_f = S L = 0.009 \times 600 = 5.40$  metros.

b).- De la fórmula de Manning  $Q = \frac{0.3117 D^{8/3} S^{1/2}}{n}$ , se obtiene con  $Q = 0.0325 \text{ m}^3/\text{seg}$ ,  $D = 0.203 \text{ mts}$  y  $n = 0.013$  (para fierro fundido).

$$S = \left[ \frac{Qn}{0.3117 \times D^{8/3}} \right]^2 = \frac{0.0325 \times 0.013}{0.3117 \times 0.0143} = 0.009$$

La pérdida por fricción es :  $h_f = S L = 0.009 \times 600 = 5.40$  metros. Usando el nomograma  $n = 0.010$ , se une  $Q = 32.5 \text{ lts/seg}$  con  $D = 20.3 \text{ cm}$ ., se obtiene  $S_{0.010} = 5.4 \text{ mts/mil mts}$ . ó sea;  $5.4/1000 = 0.0054$  y para  $n = 0.013$   $S_{0.010} = 0.0054 (.013/.010)^2 = 0.0091$  y para  $h_f = S L = 0.0091 \times 600 = 5.46$  metros.

S se puede obtener directamente del nomograma para  $n=.013$

c).- En la fórmula de Darcy-Weisbach  $h_f = f \frac{L V^2}{D 2g}$ , para una velocidad

$$V = Q/A = 0.325/0.0324 = 1 \text{ mto/seg.}$$

$$R = \frac{VD}{4} = \frac{1 \times 20}{0.000001} = 200,00, \text{ el diágrama de Moody dá;}$$

$$f = 0.031 \text{ y entonces } h_f = 0.031 \frac{600 \times 1^2}{0.203 \times 19.6} = 4.84 \text{ mts.}$$

Solución del problema utilizando los nomogramas.

- 1).- Se utiliza el nomograma de la figura 9 que corresponde a una temperatura de  $15^\circ\text{C}$ , pues las ecuaciones de Manning y Hazen-Williams son para usarse cuando la conducción del agua está comprendida entre los  $10^\circ\text{C}$  y  $20^\circ\text{C}$  de temperatura.
- 2).- Se proyecta una línea horizontal a partir del eje de las ordenadas, en el punto correspondiente a un gasto  $Q$  de  $32.5 \text{ lts/seg}$ ; hasta intersectar la curva de diámetro  $20.32 \text{ cm}$  ó sea (8"), con una rugosidad absoluta de  $0.1 \text{ cm}$ ; a partir -



de esta intersección se proyecta una línea perpendicular al eje de las abscisas, de donde se obtiene el valor del parámetro  $\sqrt{h/L}$ , que en este caso es de 0.09 ó sea

$$\sqrt{h/L} = 0.09$$

$$h/L = (0.09)^2 = 0.0081$$

$$h = .0081 \times L = 0.0081 \times 600$$

$$h = 4.86 \text{ metros.}$$

Ejemplo 5.-

Qué diámetro debe tener un tubo de asbesto cemento para llevar 100 lts/seg, con una pérdida por fricción de 7.7 metros en 500 metros.

Solución:

Se conoce  $Q = 100 \text{ lts/seg}$  ó  $0.100 \text{ m}^3/\text{seg}$ ,  $S = 7.7/500 = 0.0154$  y para un tubo de asbesto cemento  $n = 0.010$ ,  $C = 140$  y  $\mathcal{E} = .000025$

$$\text{Manning dá: } D^{8/3} = \frac{Q n}{0.3117 S^{1/2}} = D^{8/3} = \frac{0.100 \times 0.010}{0.3117 \times 0.0154^{1/2}} =$$

$$D^{8/3} = 0.026$$

$$D = 0.25 \text{ metros.}$$

En el nomograma de Manning para  $n = 0.010$ , uniendo  $Q = 100$  litros/segundo con  $S = 15.4 \text{ mts/mil mts.}$  nos dá  $D = 25 \text{ cm. (10"}$  comercial.

$$\text{Con Hazen-Williams; } D = \left[ \frac{Q}{0.2785 C S^{0.54}} \right]^{1/2.63} =$$
$$D = \left[ \frac{0.100}{0.2785 \times 140 \times 0.105} \right]^{1/2.63} =$$
$$D = 25 \text{ cm.} = 10''$$

Para usar el nomograma de Hazen-Williams  $C = 100$ , se cambia el gasto de  $C = 140$  a  $C = 100$ , es decir  $Q_{100} = 100 ( 100/140 ) = 70$  litros/segundo y se une con el valor de  $S = 15.4$  mts/mil mts dando  $D = 25$  cm ( $10''$ ).

La fórmula de Darcy, con  $V = Q/A = Q/.785D^2$  dá;

$$D^5 = \frac{f L Q^2}{h_f \times 12.09} ; \text{ y suponemos } f = 0.02, \text{ para el primer tanteo:}$$

$$D^5 = \frac{0.02 \times 500 \times 0.100}{7.7 \times 12.09} = 0.00107 ;$$

$$D = 0.25 \text{ metros}$$

Para comprobar  $f$  encontramos  $V = Q/A = 0.100/0.0506 = 2$  metros/segundo,

$$R = \frac{VD}{\sqrt{f}} = \frac{2 \times 0.25}{\sqrt{0.000001}} = 500,000 \text{ y}$$

$$\epsilon/D = 0.000025/0.25 = 0.0001$$

Usando el diágrama de Moody  $f = 0.0154 \neq 0.02$  que fué supuesto repitiendose el proceso.

$$D^5 = \frac{0.0154 \times 500 \times 0.01}{7.7 \times 12.09} = 0.00075$$

$D = 0.24$  metros,  $V = 2.20$  mts/seg,  $R = 528,000$  y con  $\epsilon/D$  igual a  $0.000104$ , Moody dá el valor de  $f = 0.0143$ ; valor muy aproximado al supuesto de  $f = 0.0145$ ; aceptandose como solución de  $D = 0.254$  mts. ( $10''$ ), que es el diámetro comercial inmediato superior.

Solución del problema utilizando los nomogramas.

1).- Se utiliza el nomograma de la figura 9 correspondiente a

una temperatura de 15°C, pues las ecuaciones de Manning y Hazen-Williams son para usarse cuando la conducción del agua está comprendida entre los 10°C y 20°C de temperatura

2).- Se proyecta una línea vertical a partir del eje de las abscisas en el punto correspondiente al parámetro  $\sqrt{h/L}$  igual a  $\sqrt{.015}$ , ó dea 0.16; hasta intersectar la línea horizontal proyectada desde el eje de las ordenadas para un gasto Q de 100 lts/seg., el valor de la intersección obtenida es para un diámetro de 25.40 cm (10").

## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en los nomogramas se concluye lo siguiente:

- 1.- En base a los ejemplos desarrollados en la sección de resultados, se concluye; que para fines prácticos no existe diferencia entre los valores obtenidos utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach con el diagrama de Moody; las de Hazen-Williams y Manning con sus respectivos nomogramas -- con los resultados que se obtienen cuando se utilizan los nomogramas que se realizaron en el presente trabajo.
- 2.- Debido a que la solución por medio de los nomogramas es -- gráfica, la posibilidad de error numérico es mínima, permitiendo al diseñador comprobar los resultados obtenidos - - cuantas veces lo desee.
- 3.- La facilidad de manejo de los nomogramas permite el diseño de tuberías en menos tiempo que utilizando las ecuaciones convencionales.
- 4.- La facilidad de manejo de los monogramas permite al diseñador probar diferentes alternativas, en menos tiempo, para seleccionar la más adecuada.

## RESUMEN

En el presente trabajo se obtuvieron tres nomogramas para el diseño de tuberías ó conductos a presión básados en la ecuación de Colebrook-White, correspondientes a 5°C, 15°C y 30°C - de temperatura.

Los diámetros y rugosidades absolutas para cada nomograma fueron los siguientes:

- a).- Diámetros comerciales; 1.27, 1.90, 2.54, 3.18, 3.91, 4.44, 5.08, 6.35, 7.62, 10.16, 15.24, 20.32, 25.40, 30.48, 35.56 y 40.64 centímetros
- b).- Rugosidades absolutas para; latón, cobre, bronce, plástico ó hule 0.00015 centímetros, para fierro fundido, revestido de concreto 0.00024 centímetros; para concreto, fierro fundido bañado de asfalto 0.012; para fierro galvanizado .015 centímetros y para acero roblonado 0.18 centímetros.

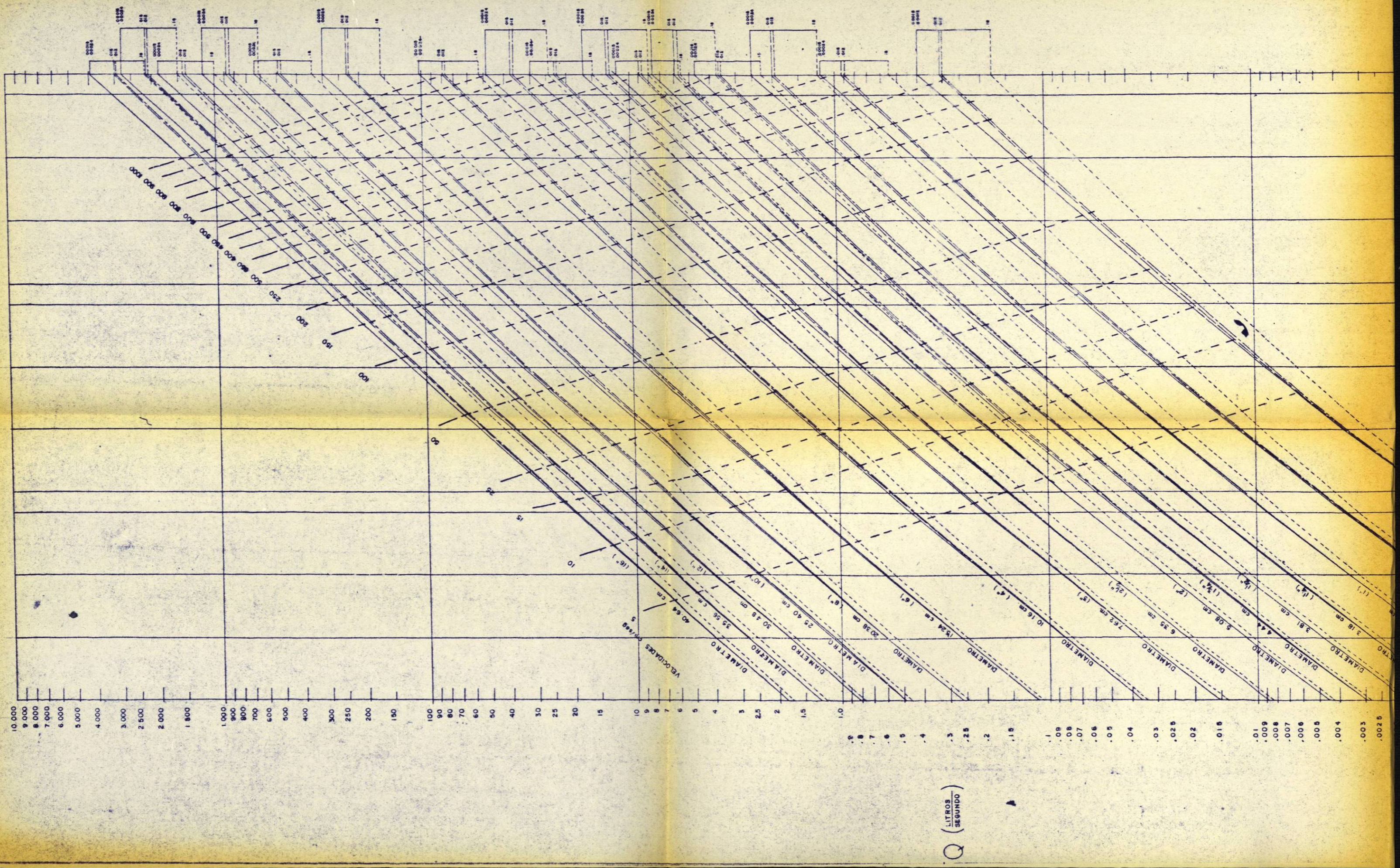
La obtención de los valores necesarios para la elaboración de los nomogramas se hizo mediante computación electrónica.

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que la - facilidad de manejo de los nomogramas permite el diseño de tube - rías en menos tiempo que utilizando las ecuaciones convenciona - les, que se pueden probar varias alternativas en menor tiempo - para seleccionar la más adecuada y que la posibilidad de error numérico es mínima.

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

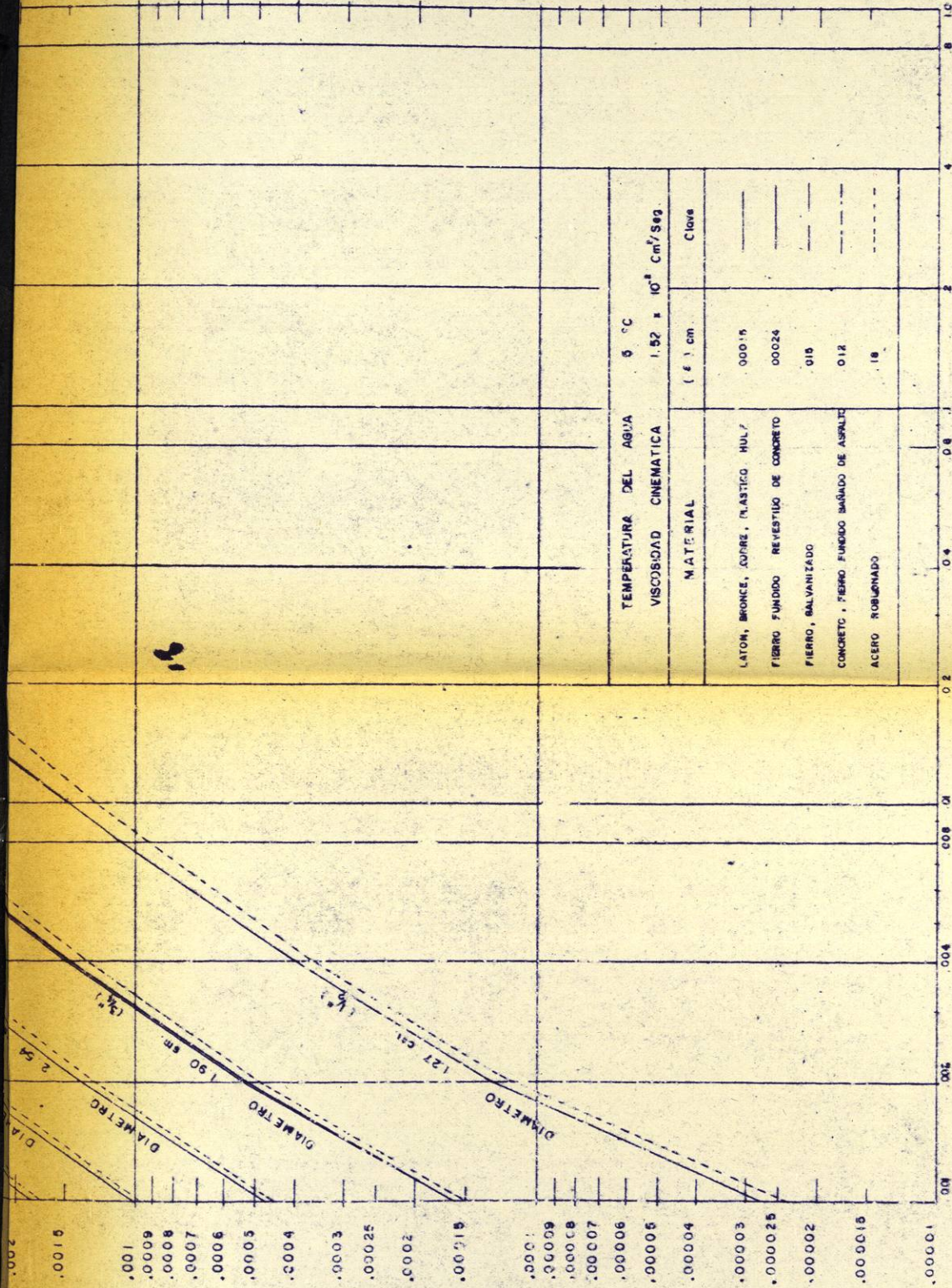
- 1.- Gómez, Leal Arturo, 1973, Apuntes de Hidráulica, Facultad de Ingeniería Civil Universidad Autónoma de Nuevo León, Mexico.
- 2.- King, A.W. y E.F. Brater, 1962, Manual de Hidráulica, Editorial Hispanoamericana, México.
- 3.- Resnik, Robert y David Holliday, 1968, Física para estudiantes de Ciencias e Ingeniería, Parte primera, - Editorial C.E.C.S.A., México.
- 4.- Rouse, Hunter, 1960, Hidráulica Mecánica Elemental de los Fluidos, Editorial Dessart, S.A., Madrid.
- 5.- Sotelo, Avila, 1974, Hidráulica General, Primera Edición, Editorial Limusa, S.A., México.
- 6.- Streeter, Victor, 1966, Mecánica de los Fluidos, Cuarta Edición, Libros Mc. Graw Hill de México, S.A. de C.V., México.
- 7.- Trueba Coronel, 1970, Hidráulica, Decima Edición, Editorial C.E.C.S.A., de México.





$Q$  (LITROS SEGUNDO)





RAIZ DE LA PERDIDA DE ENERGIA POR FRICCION POR UNIDAD DE LONGITUD  $\sqrt{h_f}$  mts/mts

TEMPERATURA DEL AGUA $t$ °C	1.52 x 10 <sup>3</sup> Cm <sup>2</sup> /seg	0
VISCOSIDAD CINEMATICA	( $\epsilon$ ) cm	Clove
LATON, BRONCE, COPRE, PLASTICO, HUL	0.0015	---
FIERRO FUNDIDO REVESTIDO DE CONCRETO	0.0024	---
FIERRO, GALVANIZADO	0.015	---
CONCRETO, FIERRO FUNDIDO BAÑADO DE ASPHALT	0.12	---
ACERO ROBORNADO	1.0	---

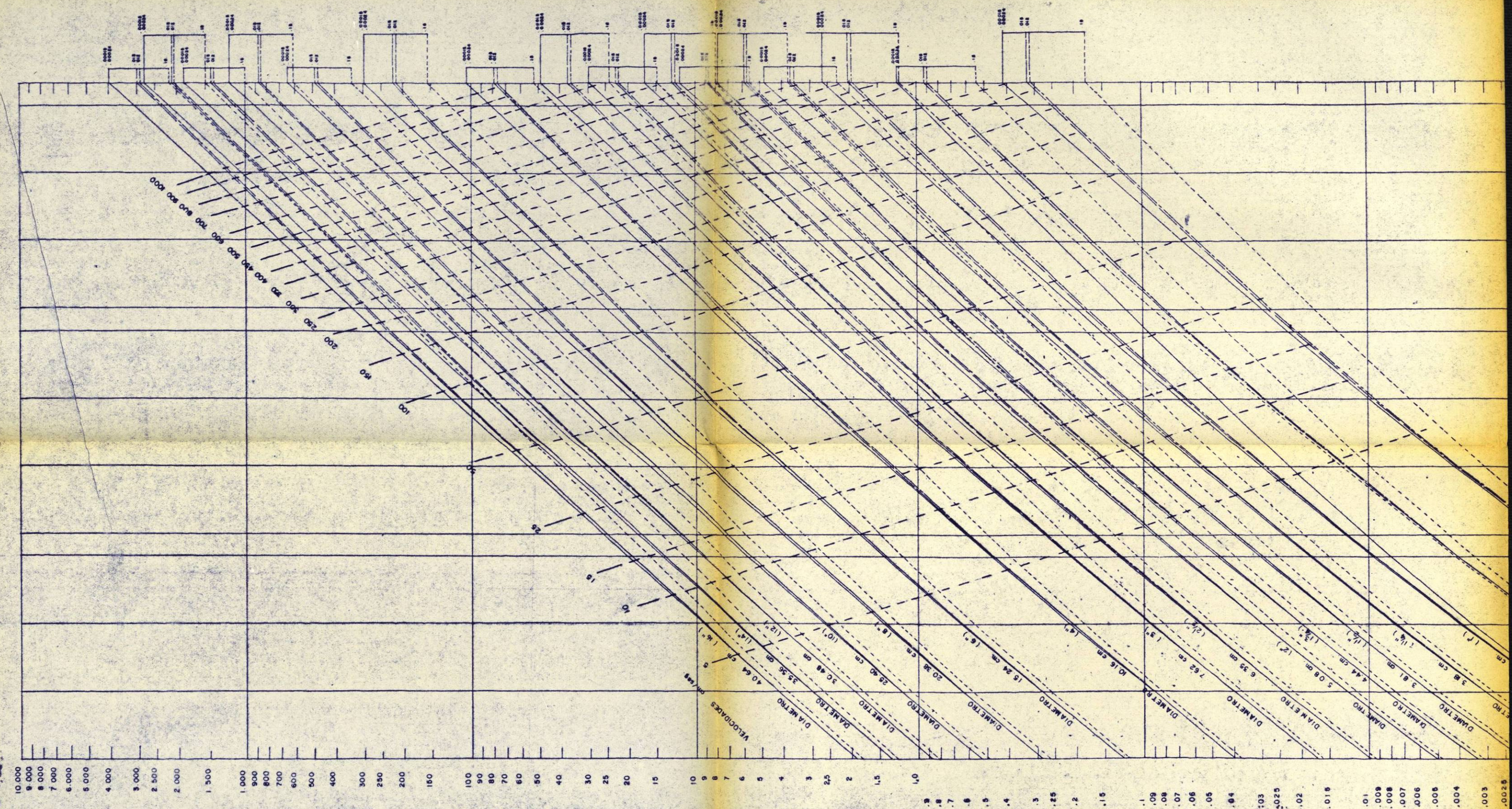
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
 AREA DE INGENIERIA AGRICOLA  
 FACULTAD DE AGRONOMIA

HONORARIOS BASADOS EN LA EJECUCION DE COLEBROOK-  
 WHITE PARA EL DISEÑO DE TUBERIAS FORZADAS DE  
 DIVERSOS TIPOS DE MATERIALES QUE CONDUCCEN AGUA  
 A DIFERENTES TEMPERATURAS

TESIS PROFESIONAL JUAN ISAAC ESTRADA MEDINA  
 MAYO DE 1976 FISUPA No. 0



Q (LITROS SEGUNDO)



10,000  
9,000  
8,000  
7,000  
6,000  
5,000  
4,000  
3,000  
2,500  
2,000  
1,500  
1,000  
900  
800  
700  
600  
500  
400  
300  
250  
200  
150  
100  
90  
80  
70  
60  
50  
40  
30  
25  
20  
15  
10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2.5  
2  
1.5  
1.0  
0.8  
0.7  
0.6  
0.5  
0.4  
0.3  
0.25  
0.2  
0.15  
0.1  
0.08  
0.07  
0.06  
0.05  
0.04  
0.03  
0.025

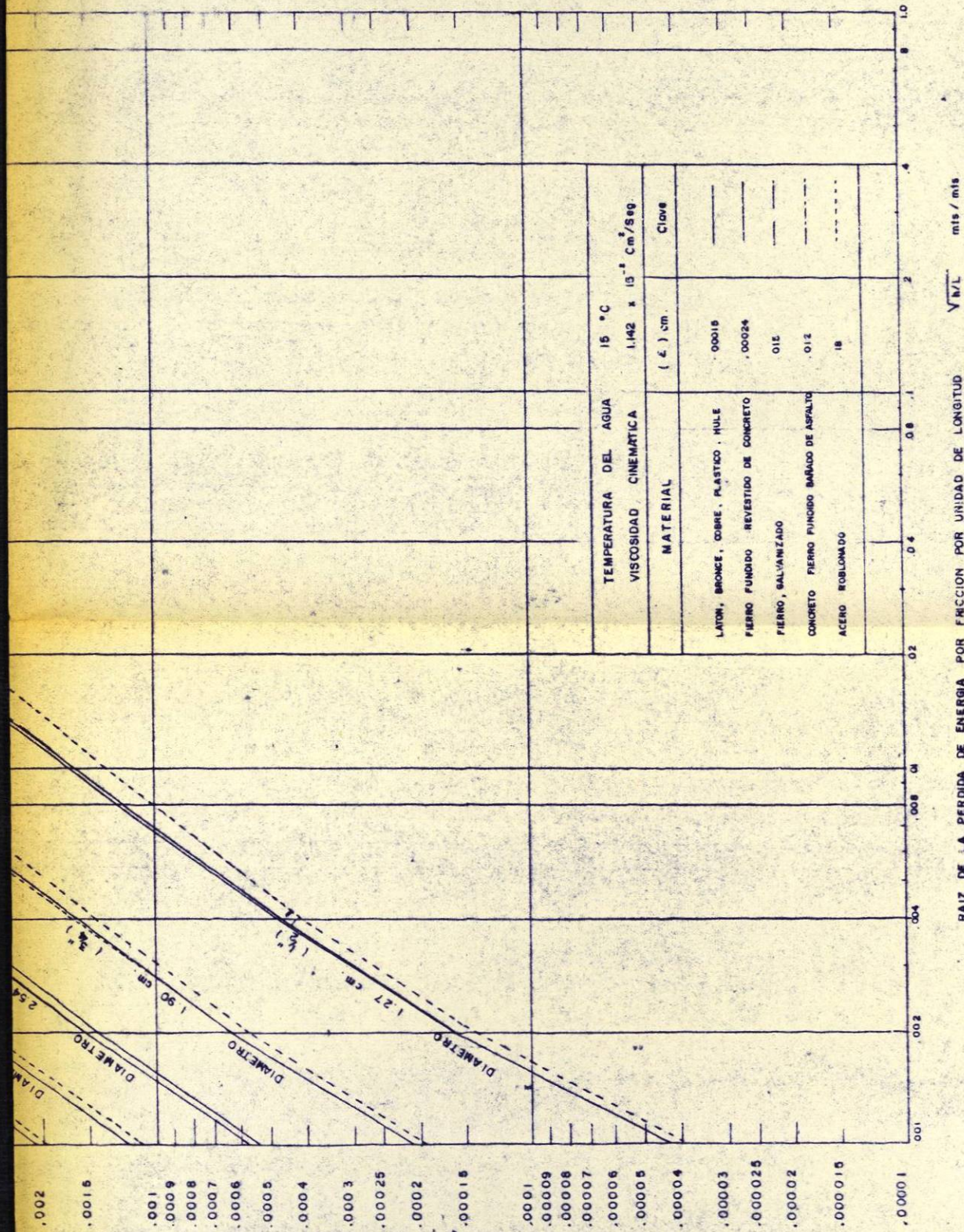
VELOCIDADES (M/SEG)  
DIAMETRO (CM)  
1.0  
1.5  
2.0  
2.5  
3.0  
4.0  
5.0  
6.0  
7.0  
8.0  
9.0  
10.0  
12.0  
14.0  
16.0  
18.0  
20.0  
24.0  
28.0  
30.48  
35.36  
40.64  
48.0  
56.0  
64.0  
72.0  
80.0  
90.0  
100.0

1.0  
1.5  
2.0  
2.5  
3.0  
4.0  
5.0  
6.0  
7.0  
8.0  
9.0  
10.0  
12.0  
14.0  
16.0  
18.0  
20.0  
24.0  
28.0  
30.48  
35.36  
40.64  
48.0  
56.0  
64.0  
72.0  
80.0  
90.0  
100.0

100  
200  
300  
400  
500  
600  
700  
800  
900  
1000  
1500  
2000  
3000  
4000  
5000  
6000  
7000  
8000  
9000  
10000

0.025  
0.03  
0.04  
0.05  
0.06  
0.07  
0.08  
0.09  
0.1  
0.15  
0.2  
0.25  
0.3  
0.4  
0.5  
0.6  
0.7  
0.8  
0.9  
1.0  
1.5  
2.0  
2.5  
3.0  
4.0  
5.0  
6.0  
7.0  
8.0  
9.0  
10.0  
12.0  
14.0  
16.0  
18.0  
20.0  
24.0  
28.0  
30.48  
35.36  
40.64  
48.0  
56.0  
64.0  
72.0  
80.0  
90.0  
100.0





TEMPERATURA DEL AGUA 15 °C  
 VISCOSIDAD CINEMATICA  $1.142 \times 10^{-3}$  Cm<sup>2</sup>/Seg.

MATERIAL	( $\epsilon$ ) cm.	Ciave
LATON, BRONCE, COBRE, PLASTICO, NILE	.00018	---
PIERO FUNDIDO REVESTIDO DE CONCRETO	.00024	---
PIERO, GALVANIZADO	.012	---
CONCRETO FIERRO PUNCHO BARRO DE ASFALTO	.012	---
ACERO ROBLONADO	.18	---

RAIZ DE LA PERDIDA DE ENERGIA POR FRICCION POR UNIDAD DE LONGITUD  $\sqrt{h/L}$  mts / mis

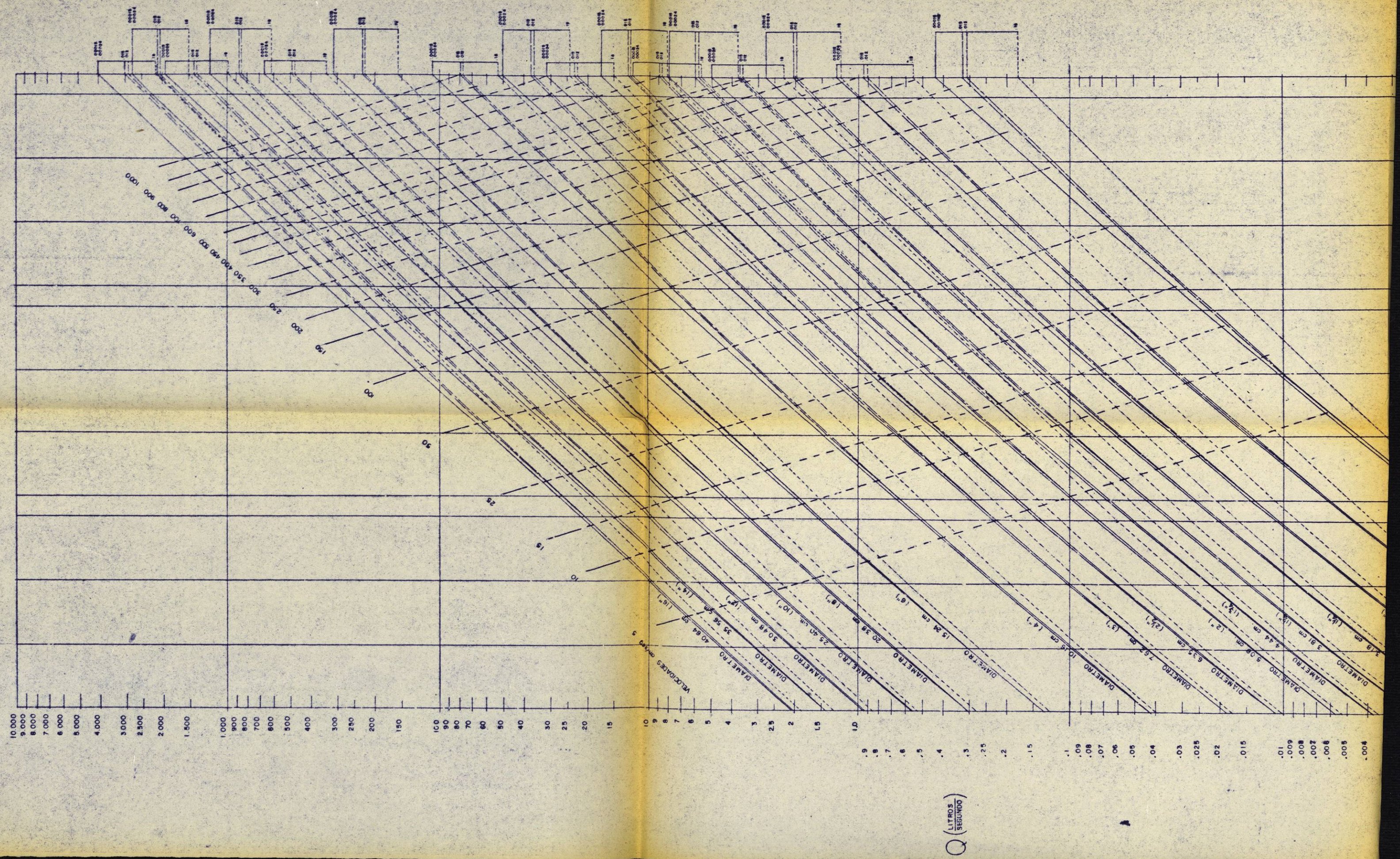
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
 AREA DE INGENIERIA AGRICOLA  
 FACULTAD DE AGRONOMIA

HOMOGRAFAS BASADOS EN LA ECUACION DE COLEBROOK-  
 WHITE PARA EL DISEÑO DE TUBERIAS FORZADAS DE  
 DIVERSOS TIPOS DE MATERIALES QUE CONDUJEN AGUA  
 A DIFERENTES TEMPERATURAS

TESIS PROFESIONAL JUAN ISAAC ESTRADA MEDINA

MAYO DE 1976 FIGURA No. 9





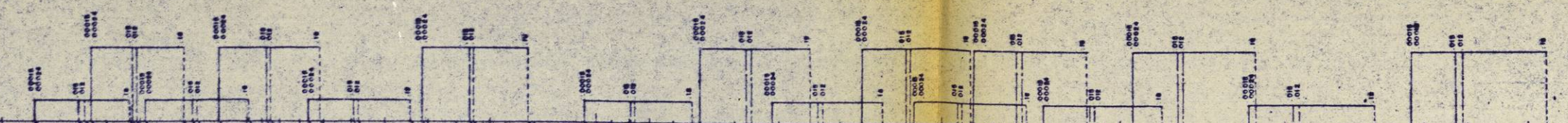
Q  
(LITROS  
SEGUNDO)

10,000  
9,000  
8,000  
7,000  
6,000  
5,000  
4,000  
3,000  
2,500  
2,000  
1,500  
1,000  
900  
800  
700  
600  
500  
400  
300  
280  
200  
150  
100  
90  
80  
70  
60  
50  
40  
30  
25  
20  
15  
10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2.5  
2  
1.5  
1.0  
0.9  
0.8  
0.7  
0.6  
0.5  
0.4  
0.3  
0.25  
0.2  
0.15  
0.1  
0.09  
0.08  
0.07  
0.06  
0.05  
0.04  
0.03  
0.025  
0.02  
0.015  
0.01  
0.008  
0.006  
0.004

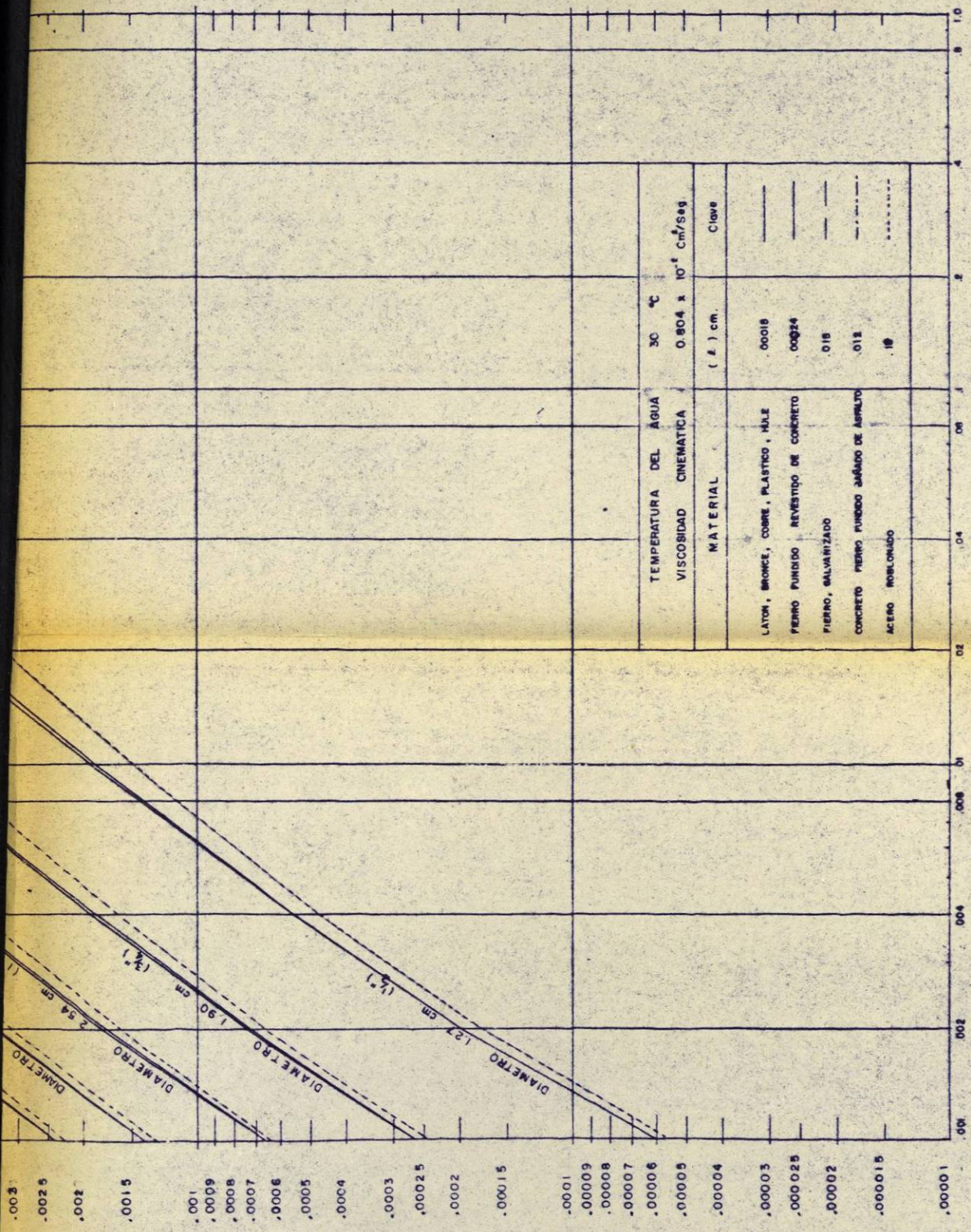
DIAMETRO 2.18 cm (1/2")  
DIAMETRO 3.81 cm (1 1/2")  
DIAMETRO 4.44 cm (1 3/4")  
DIAMETRO 5.08 cm (2")  
DIAMETRO 6.35 cm (2 1/2")  
DIAMETRO 7.62 cm (3")  
DIAMETRO 10.16 cm (4")  
DIAMETRO 15.24 cm (6")  
DIAMETRO 20.32 cm (8")  
DIAMETRO 25.40 cm (10")  
DIAMETRO 30.48 cm (1 1/4")  
DIAMETRO 35.56 cm (1 3/8")  
DIAMETRO 40.64 cm (1 5/8")

VELOCIDADES en m/s

1.5  
2.5  
5  
10  
20  
50  
100  
200  
300  
400  
500  
600  
700  
800  
900  
1000  
1500  
2000  
3000  
4000  
5000  
6000  
7000  
8000  
9000  
10000







TEMPERATURA DEL AGUA	30 °C
VISCOSIDAD CINEMATICA	$0.804 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{seg.}$
MATERIAL	( f ) cm.
LATON, BRONCE, COBRE, PLASTICO, HULE	.00018
PIERRO PUNIDO REVESTIDO DE CONCRETO	.00024
PIERRO, GALVANIZADO	.018
CONCRETO PIERRO PUNIDO SÁBUDO DE ASFALTO	.012
ACERO ROBLONADO	.18

RAIZ DE LA PÉRDIDA DE ENERGIA POR FRICCIÓN POR UNIDAD DE LONGITUD  $\sqrt{h_f}$  mts/mts.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
 ÁREA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA  
 FACULTAD DE AGRONOMÍA

HONORARIAS BASADOS EN LA ECUACION DE COLEBROOK-  
 WHITE PARA EL DISEÑO DE TUBERIAS FORZADAS DE  
 DIVERSOS TIPOS DE MATERIALES QUE CONDUCCEN AGUA  
 A DIFERENTES TEMPERATURAS

TESIS PROFESIONAL JUAN ISAAC ESTRADA MEDINA  
 MAYO DE 1976 FIGURA N.º. 80



