

0949

DISEÑO DE ALCANTARILLADO
SANITARIO EN BASE AL
ESFUERZO CORTANTE CRITICO
DEL FLUJO

TRABAJO PREVIO A LA
OPCION DEL GRADO DE
MAESTRIA EN
INGENIERIA AMBIENTAL

JUAN MIGUEL GUZMAN
MEXICO, D.F. MAYO 1981



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



DEPFI

T. UNAM
1981
GUZ

INDICE

	Pag.
1 INTRODUCCION	1
2 OBJETIVOS Y ALCANCES	2
3 DISEÑO TRADICIONAL	3
4 DISEÑO EN BASE AL CORTANTE CRITICO DE FLUJO	6
4.1 Bases en que se fundamenta	7
4.2 Resumen	15
4.3 Secuencia de cálculo	16
5 EJEMPLO NUMERICO	18
6 ANALISIS DE RESULTADOS	24
7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	25
8 TABLAS, ABACOS Y GRAFICAS	28
9 BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS	34

1. INTRODUCCION

Aunque la construcción de sistemas de alcantarillado se remonta a la época A. C., podemos decir que las primeras investigaciones en forma científica sobre conducción de fluido empiezan con el Ing. Antoine Chezy (1775), quien partió de la hipótesis de que la velocidad dependía del material y acabado con que estaban construidas las paredes del canal que lo transportaban, lo que llamó Rugosidad, y mediante ensayos y experiencias dedujo su fórmula:

$$V = C \sqrt{RS}$$

Donde "C" es un coeficiente de rugosidad, "R" es el radio hidráulico y "S" es la pendiente del canal. Esto abrió las puertas a la investigación de los Ingenieros Girard - Prony (1803), Johan Eytelwein (1818), y en 1857 los Ingenieros Henri Darcy y Julius Weisbach hacen las primeras investigaciones de flujo dentro de tuberías creando su fórmula.

Posteriormente, Robert Mannin (1890) en base a las investigaciones en flujos en canal hechas por Ganguillet y Kutter propone la fórmula.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Donde "n" es un coeficiente que depende de la rugosidad de la tubería, el cual fue ampliamente investigado por Ganguillet Kutter, y modificado posteriormente por Horton mediante experiencias en modelos de laboratorio.

Keulegan investigó arduamente la fórmula de Manning aplicando la teoría de la capa límite y encontró que es la más idónea para los diámetros y materiales más comunes en el diseño de alcantarillados.

2. OBJETIVOS Y ALCANCES.

El principal objetivo del presente trabajo no es discutir la forma y uso de la información previa al diseño, ni discutir el método de cálculo de los gastos generados por una población en particular y que aporta al sistema de alcantarillado sanitario o pluvial, sino el de comparar las bases de diseño de dos teorías existentes en condiciones críticas de sedimentación de materia: la teoría de diseño en base a la velocidad crítica mínima y la de diseño en base al esfuerzo cortante límite que se genera en las paredes de la tubería cuando esta contiene un líquido en movimiento. Se ilustran con un ejemplo numérico sencillo, y se plantean conclusiones y recomendaciones acerca de las dos teorías.

Por comodidad llamaremos al primero, método de diseño tradicional, pues es el más conocido y el que se utiliza más comúnmente, y al segundo, método de diseño

funcional por los valores y aspectos que contempla y que serán posteriormente amplia y objetivamente explicados.

Ambas teorías tienen como principio general el lograr una autolimpieza de los conductos, ya sea considerando la acción de la velocidad sobre una partícula dentro del flujo que impida su sedimentación, la una, y algunos otros factores importantes no considerados hasta ahora, la otra.

3. METODO TRADICIONAL.

Este método involucra como único principio de autolimpieza de las tuberías (objetivo deseado) la velocidad del flujo que transita en ellas, que debe mantenerse con un valor superior a la llamada " velocidad Mínima ", la cual se asume independiente del tamaño de la tubería y para lograrla se hacen iteraciones con las pendientes de la tubería y diámetros de la misma hasta encontrar un valor de velocidad cercano superior al de la velocidad mínima normativa.

Según la referencia 13 (manual de diseño y construcción de alcantarillados sanitario y pluvial, ASCE No.37, 1966), es adecuado considerar una velocidad mínima normativa de 0.6 m/s (2.0 p/s) para alcantarillado sanitarios operando a tubo lleno y deseable una velocidad de 0.9 m/s (3.0 p/s) para pluviales en idénticas situaciones, así mismo, se recomiendan velocidades del

orden de 1.5 m/s (5 p/s) cuando el sistema es combinado y operando a tubo lleno.

Vale la pena mencionarse que en este método no se toma en cuenta la variación de los valores del coeficiente de rugosidad a diversas profundidades de flujo y que este coeficiente es tomado como valor constante y usado en la fórmula de Manning solo para efectos hidráulicos de diseño. Además en algunos países se ha tergiversado el concepto de velocidad mínima normativa, la cual no se aplica a tuberías trabajando a flujo lleno, sino que se emplea como normativa a tuberías a flujo parcialmente llenas, lo que da lugar a pendientes muy fuertes y por ende a acortar la vida útil de las tuberías o llevar a la decisión de elegir diámetros inadecuados y consecuentemente a realizar un mal diseño.

Refiriéndonos a la velocidad mínima normativa con un valor único, debemos recordar que Shields desarrolló la ecuación de velocidad mínima para evitar que una partícula sedimente, y que esta velocidad varía con la potencia un sexto del radio hidráulico por lo que la velocidad mínima debe de variar con la selección del diámetro.

$$V = \frac{c}{n} R^{1/6} \sqrt{B (s - 1) D'}$$

donde: V= velocidad mínima requerida para autolimpieza

- c = Factor de conversión de unidades (1.486 sistema ingles, 1.0 sistema métrico).
- n = Coeficiente de rugosidad de Manning.
- R = Radio Hidráulico.
- B = Constante de cada partícula que depende de sus características intrínsecas para prevenir su sedimentación (en aguas negras varía de 0.04 - 0.08)
- s = Densidad de la partícula.
- D' = Diámetro de la partícula (en aguas negras varía de 0.1 - 0.05 mm)

como ejemplo de esta variación podemos decir que la velocidad mínima de arrastre para tubería de 15 cm. de diámetro (6") es de 0.6 m/s (2.0 p/s), para 50 cm. de diámetro (20") es de 0.75 m/s (2.5 p/s), para 150 cm. - de diámetro (60") es de 0.90 m/s (3.0 p/s), asumiendo iguales condiciones y usando un coeficiente de rugosidad de 0.013 (tubería de concreto nueva).

De lo anteriormente expuesto, cabe pensar seriamente si la velocidad mínima normativa de 0.60 m/s (2 p/s) es la adecuada o no como parámetro apropiado de diseño, ya que se aplica independientemente del tamaño de la tubería de alcantarillado sanitario cuando opera a tubo - lleno.

Además, este método tiene dos criterios de aplicabilidad, dependiendo de los factores económicos que predomina-

minan, estos son, la excavación y el costo de la tubería.

Para el primero de los casos se escoge una velocidad cercana a la mínima, lo que da como lógica consecuencia una pendiente suave; es aplicable cuando se tienen condiciones críticas de excavación (por ejemplo, terreno con material muy duro o, muy inestable en las que el costo de la excavación es muy alto con respecto al costo de la tubería, su transporte e instalación.

Cuando rige el costo de la tubería y el transporte, se rige el criterio de diseñar con diámetro mínimo, fuerte pendiente y velocidades cercanas a los valores límites máximos para evitar la erosión de la tubería [3.05m/s (10 p/s) para alcantarillado sanitario y 3.96 m/s (13p/s) para pluvial ambas a tubo lleno, según referencia #13 para tuberías de concreto].

En el ejemplo numérico ilustrativo que se presenta se hacen los cálculos desde ambos puntos de vista para tener un panorama mas completo y apreciar mejor las conclusiones.

4. DISEÑO FUNCIONAL.

El método funcional involucra tres importantes consideraciones en su cálculo: El hidráulico, la acción de auto limpieza y las reacciones bioquímicas que se efectúan con el transporte de aguas negras en tuberías.

Respecto a la hidráulica en canales, se usan como fórmulas de cálculo las de Manning y de Kutter como las apropiadas, empleándose como coeficiente de rugosidad ("n") 0.013 (tubo nuevo) y 0.015 (tubo usado) para tuberías de concreto, quedando abierta la posibilidad de usar, un rango amplio de valores para otros tipos de tuberías.

4.1 Bases en que se fundamenta el Método

Para condiciones críticas de sedimentación de materia en alcantarillados sanitarios, el Dr. Kuan M. Yao ha desarrollado una técnica de diseño en el cual se usa el esfuerzo cortante hidrodinámico crítico (τ) en vez del criterio de velocidad mínima, basado en las numerosas experiencias e investigaciones realizadas por Lysne, el cual demostró que como el mecanismo básico de autolimpieza es el esfuerzo cortante hidrodinámico sobre las paredes de la tubería debido al flujo de las aguas negras, es más racional usar este criterio para fines de diseño, y no el de la velocidad mínima.

En ello se establecen relaciones con las condiciones mínimas necesarias para evitar se realicen reacciones químicas y biológicas que generan producción de gases indeseables como ácido sulfhídrico (H_2S), metano (CH_4) y otros.

El primero porque en presencia de oxígeno forma ácido sulfúrico (H_2SO_4) el cual es altamente corrosivo a las paredes de las tuberías de concreto, reduciendo la vida útil de los sistemas, además de que en altas concentraciones es letal para los operarios del sistema. El metano, así como otros gases que se generan en los alcantarillados sanitarios por ser inflamables al combinarse con el aire y pueden producir explosiones poniendo en peligro tanto a la comunidad como al sistema.

Estas condiciones no se toman en cuenta debidamente en el diseño, además de que en general, no se tiene un control adecuado de descargas con solventes, lo que en último de los casos altera cualquier metodología de diseño.

-Consideraciones sobre el Esfuerzo Cortante Hidrodinámico

El esfuerzo cortante hidrodinámico fue considerado por primera vez por Newton en su ley para la viscosidad de los fluidos; observó que en un fluido, hay un paso de moléculas en ambos sentidos cuando una capa de fluido se mueve a otra, la transferencia molecular, acarrea una cantidad de movimiento, de tal modo que se origina un esfuerzo cortante, que resiste al movimiento y tiende a igualar las velocidades entre las capas de los fluidos; este esfuerzo cortante es máximo en las pare-

des de las tuberías.

Este efecto lo podemos utilizar para una acción de autolimpieza, es decir mantener un esfuerzo cortante tal que evite que las partículas sedimenten, y que llamaremos esfuerzo cortante crítico o límite (τ), cuya magnitud depende principalmente de:

- a) la densidad de la partícula y el fluido
- b) el tamaño de la partícula
- c) la viscosidad del fluido

Se han realizado numerosas investigaciones y ensayos (como los de Gustefsson, Schultz, Lynse, Shields y otros) para determinar los valores del esfuerzo cortante crítico a los cuales se evita la sedimentación de partículas mas común mente encontrados en las aguas negras (arena, arcilla, materia orgánica).

También Chow y Replogle han encontrado experimentalmente que el esfuerzo cortante en canales es directamente proporcional a la pendiente, radio hidráulico y peso específico del fluido, esto es:

$$\tau = W R S$$

sustituyendo la pendiente del canal en la fórmula de Manning tendremos:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times \left(\frac{\tau}{W}\right)^{1/2}$$

Estos autores basan sus experimentos en flujos con ti-

rantes no mayores de dos tercios del diámetro del conducto. Con estas dos fórmulas podemos obtener valores de esfuerzos cortantes críticos para diferentes diámetros y coeficientes "n" que eviten la sedimentación de partículas (fig.7).

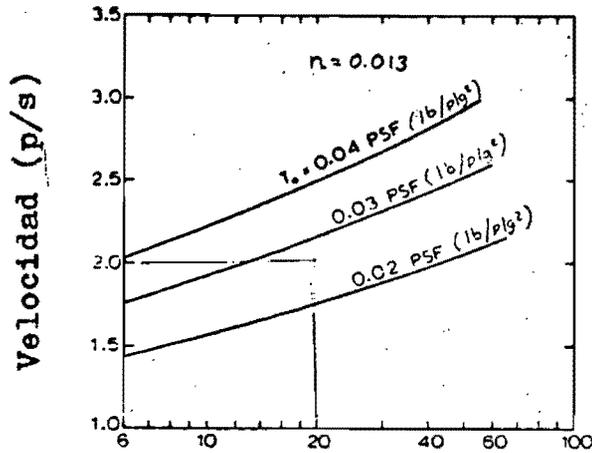
Algunos valores encontrados son:

0.1 - 0.2 Kg/m² para alcantarillado sanitario

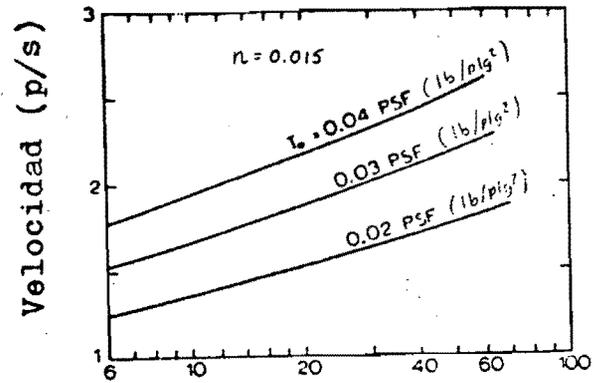
0.3 - 0.4 Kg/m² para alcantarillado pluvial

Estos valores son rangos de variación y no valores fijos debido principalmente a que para mantener un esfuerzo cortante crítico constante, es necesario incrementar la velocidad del flujo conforme se incrementa la magnitud de los diámetros, por lo que es difícil obtener los mismos esfuerzos cortantes a través de todo un sistema, y que la acción natural del tiempo y el desgaste de la tubería repercute en cambios del coeficiente de rugosidad (n) (por ejemplo de n=0.013 a 0.015 en tuberías de concreto), y por ende disminución de los valores de velocidad calculados originalmente.

Estos dos factores fueron ampliamente analizados para tuberías de concreto, nuevas y usadas, en lo que respecta a esfuerzo cortante, diámetro y velocidad, en condiciones de tubo lleno como se muestra en la siguiente figura:



Diámetro (pulg.)



Diámetro (pulg.)

Figuras 1 y 2.- Comparación entre criterio de velocidad mínima y esfuerzo cortante crítico para $n = 0.013$ y 0.015
 (p/s x 0.3048 = m/s, $\text{lb/pulg}^2 \times 4.88 = \text{kg-m}$,
 pulg x 2.54 = cm).

De la figura se puede ver que para:

$n = 0.013$, $\tau = 0.20 \text{ Kg/m}$ para $D < 15 \text{ cm}$
 $\tau = 0.15 \text{ Kg/m}$ para $15 \text{ cm} < D < 30 \text{ cm}$
 $\tau = 0.10 \text{ Kg/m}$ para $30 \text{ cm} < D < 105 \text{ cm}$
 $n = 0.015$, $\tau = 0.20 \text{ Kg/m}$ para $D < 30 \text{ cm}$
 $\tau = 0.15 \text{ Kg/m}$ para $30 \text{ cm} < D < 75 \text{ cm}$

- Consideraciones en cuanto a
las Reacciones Bioquímicas

12

El ácido sulfhídrico así como otros gases indeseables, se generan en las tuberías de alcantarillado sanitario cuando se establece un ambiente anaerobio, por lo que para evitarlos es indispensable conservar un ambiente aerobio. Se ha demostrado que el incremento de producción de tales gases está íntimamente relacionado con la acumulación de sedimentos en las tuberías; en otras palabras, un buen diseño autolimpiante traerá consigo pocos o nulos problemas con la producción de gases.

Mediante la experimentación se ha logrado establecer que una concentración de oxígeno disuelto de aproximadamente 1 mg/l es adecuada para mantener condiciones aerobias.

Para determinar las condiciones de control de gases indeseables, se han preparado gráficas, como el de la figura 3 en la cual se involucran el gasto y la pendiente efectiva de la tubería, trabajando ésta con un tirante no mayor de dos tercios del diámetro para lograr dicho objetivo eficientemente.

La curva A representa las pendientes idóneas

La curva B representa las pendientes mínimas aceptables.

Estas curvas son válidas para DBO_5 de 500 mg/l

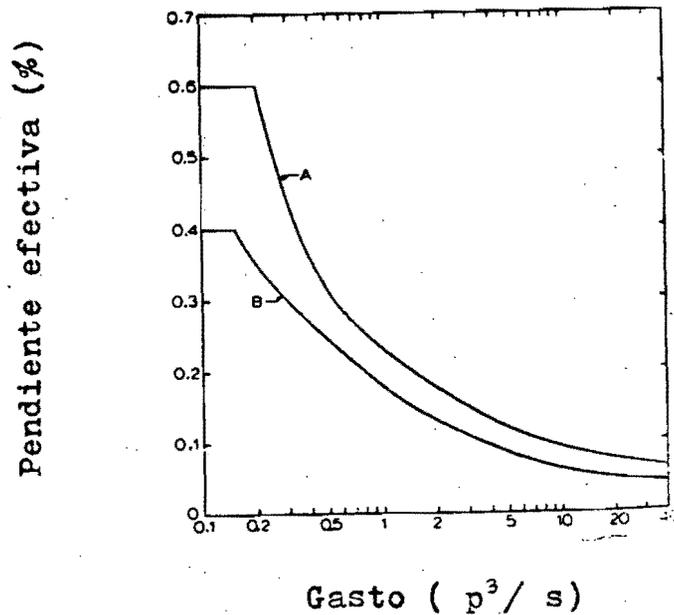


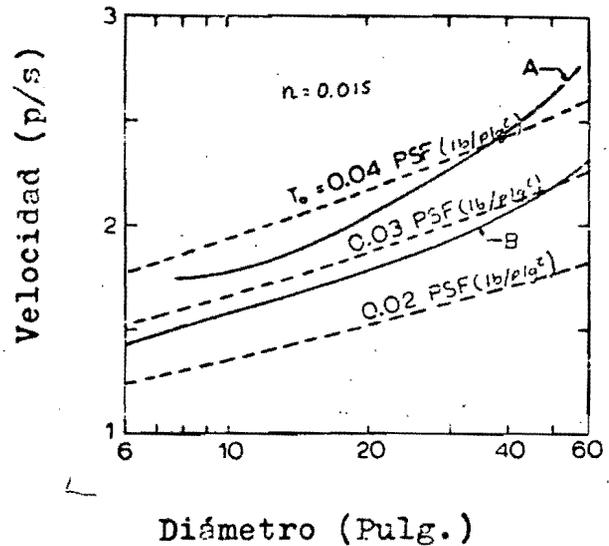
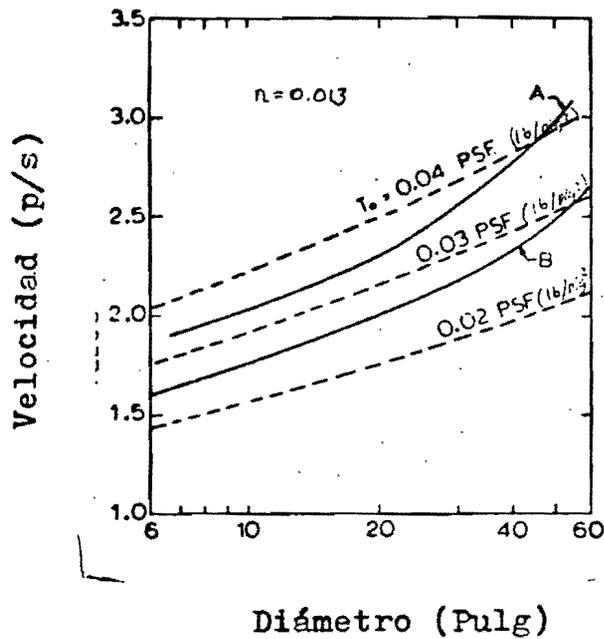
Figura 3. -

Pendiente de tubería requerida, contra gastos a no mas de dos tercios del diámetro para condiciones - óptimas y mínimas de control de producción de ácido sulfhídrico y otros gases indeseables.

$$(p^3/s \times 1.7 = m^3 / \text{min}, \quad p^3/s \times 0.0283 = m^3/s)$$

Aplicando esta gráfica y la fórmula de Manning podemos obtener las gráficas 4 para $n=0.013$ y 5 para $n=0.015$, en las cuales ya relacionamos la velocidad en la tubería, los diámetros de las mismas y los esfuerzos cortantes críticos, con las curvas para control de generación de gases, en donde la velocidad es a tubo lleno, considerando ade-

más constante el coeficiente de rugosidad "n" con respecto al tirante del flujo.



Figuras 4 y 5.-

Requerimientos de control de ácido sulfhídrico en relación a la velocidad y diámetros de tubería en condiciones de flujo lleno y su relación con r

Es fácil observar que si usamos velocidades fijas de 0.61 m/s como velocidad normativa no cumplimos con los requerimientos para evitar producción de gases en

tuberías con diámetros mayores a 50 cm (20"). Además podemos observar la marcada correlación entre el diseño para dicho control y el esfuerzo cortante crítico para autolimpieza, en tanto que con el criterio convencional la velocidad se debe incrementar a medida que aumente el diámetro de la tubería.

De las gráficas obtenemos que para $n=0.013$ y valores de esfuerzo crítico entre $0.15-0.2 \text{ Kg./m}^2$ ($0.03-0.04 \text{ lb/plg.}^2$) y para $n=0.015$ y $r = 0.2 \text{ Kg./m}^2$ (0.04 lb/plg.^2), el diseño es confiable para el control de generación de gases. A partir de ensayos con diferentes valores de "n", se ha podido constatar que los valores de $0.15 - 0.20 \text{ Kg./m}^2$ son confiables para condiciones de operación con tirante no mayor de dos tercios de diámetro, hasta ciento cincuenta y dos centímetros (60"), que fue al diámetro máximo que se investigó.

4.2 RESUMEN.

- 1.- Es aplicable la ecuación de Manning para el diseño funcional.
- 2.- Se establecen rangos y valores para el esfuerzo cortante crítico que varían tanto para los diferentes valores del coeficiente de rugosidad co-

mo para los diversos diámetros comerciales de tuberías.

- 3.- Se establecen valores de pendientes tales que evitan tanto la sedimentación de materia orgánica como la producción de gases indeseables.
- 4.- Se establecen los rangos de valores de esfuerzo cortante crítico $0.15 - 0.20 \text{ Kg./m}^2$ para $n=0.013$, y 0.2 Kg./m^2 para $n=0.015$ para diámetros no mayores de 152 cm, como mas convenientes en el control de sedimentación y operación de gases.
- 5.- Con el monograma de Yao (fig.7) y la fórmula de Manning modificada por Chow y Replogle (Fig.8) se pueden diseñar un alcantarillado sanitario, bajo condiciones de sedimentación críticas.

4.3 SECUENCIA DE CALCULO.

- 1.- Cálculo de los gastos generados por la población y aportación al sistema de alcantarillado sanitario.
- 2.- Selección del coeficiente de rugosidad a usarse, Con tubería de concreto, $n=0.013$ para condiciones actuales, y $n=0.015$ para condiciones futuras.

- 3.- Análisis del gasto a tubo lleno. Con el nomograma de Yao esta hecho para flujo a no mas de dos tercios del diámetro, el gasto deberá multiplicarse por 1.25
- 4.- Entrar al nomograma de Yao (Fig.7) con el gasto - corregido y el valor de "n", para fijar un punto sobre la línea pirote.
- 5.- Se escoge un valor del esfuerzo cortante crítico dentro del rango mas apropiado, Se traza una línea desde este punto, hasta el de la línea pirote determinándose un diámetro preliminar. Si el diámetro no es comercial, trazar una línea entre el diámetro comercial próximo mayor y el esfuerzo cortante escogido para obtener finalmente la pendiente.

Estos valores satisfacen las condiciones de autolimpieza y control de generación de gases.

5. EJEMPLO NUMERICO ILUSTRATIVO.

- Planteamiento.

Se trata de comparar el método tradicional y el método funcional bajo condiciones críticas de sedimentación - de partículas.

- Condiciones:

1. Terreno plano, con una elevación general de 100 m.
2. Tubería de concreto nueva ($n=0.013$).
3. Se usará la fórmula de Manning y el nomograma de Yao.
4. Velocidad mínima normativa 0.60 m/s (2 p/s) a tubo lleno.
5. Velocidad máxima 3.05 m/s (10 p/s) a tubo lleno.
6. Se usarán valores de esfuerzo cortante crítico de:
0.20 Kg./m² para D 15 cm.
0.15 Kg./m² para 15 cm. D 150 cm.
7. Se fija la elevación únicamente en el punto A
8. Se fija como profundidad mínima 1.20 m sobre la

corona de la tubería y 4.5 como máxima.

- Desarrollo

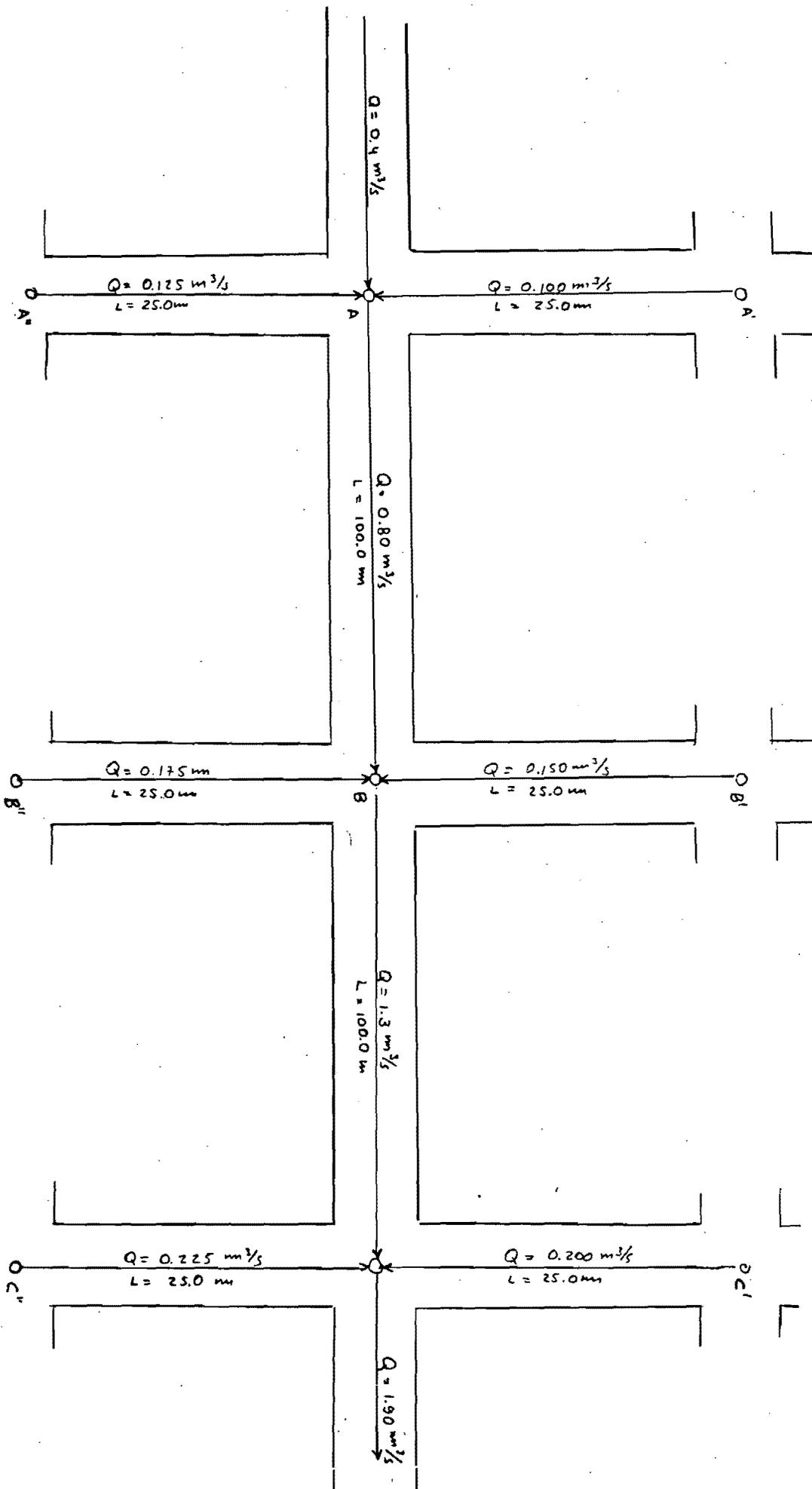
Se harán tres cálculos básicos:

- a) Por el método tradicional, criterio de velocidad y pendiente mínima, para condiciones de terreno rocoso o inestable.
- b) Por el método tradicional criterio de diámetro - mínimo, para condiciones de terreno normal pero altos costos de suministro e instalación de tubería.
- c) método de diseño funcional de Yao.

Para los cálculos se considera que previamente se han calculado los gastos de aguas negras. En el esquema adjunto aparecen estos valores y las longitudes entre tramos.

En las tablas a, b, c, aparecen los resultados para ca da uno de los métodos planteados.

ESQUEMA DEL SISTEMA A ANALIZAR



a) METODO DE DISEÑO TRADICIONAL
CRITERIO DE PENDIENTE Y VELOCIDAD MINIMA

TRAMO	(mm) LONGITUD	(m ³ /s) q	(cm) DIAMETRO	(m ³ /s) Q	(m/s) V	(%) S	m/s U	RELACION DE TIRANTES	PLANTILLA ANTERIOR	PLANTILLA POSTERIOR	PROFUNDIDAD PLANT. ANT.	PROFUNDIDAD PLANT. POST.
A'-A	25.0	0.125	61	0.175	0.61	0.083	0.58	0.63	98.19	* 98.17 96.80	1.81	* 1.83 3.20
A'-A	25.0	0.100	45	0.103	0.61	0.120	0.64	0.88	98.35	* 98.32 96.80	1.65	* 1.68 3.20
A-B	100.0	0.800	152	1.100	0.61	0.024	0.59	0.64	96.80	96.78	3.20	3.22
B'-B	25.0	0.150	61	0.175	0.61	0.083	0.62	0.70	98.19	* 98.17 96.78	1.81	* 1.83 3.22
B'-B	25.0	0.175	61	0.175	0.61	0.083	0.64	0.80	98.19	* 98.17 96.78	1.81	* 1.83 3.22
B-C	100.0	1.300	182	1.600	0.61	0.018	0.60	0.78	96.78	96.76	3.22	3.24
C'-C	25.0	0.225	76	0.275	0.61	0.06	0.61	0.79	98.04	* 98.02 96.76	1.96	* 1.98 3.24
C'-C	25.0	0.200	76	0.275	0.61	0.06	0.59	0.65	98.04	* 98.02 96.76	1.96	* 1.98 3.24

n = 0.013

Q = Gasto a tubo lleno

q = Gasto a tubo parcialmente lleno.

V = Velocidad a tubo lleno.

v = Velocidad a tubo parcialmente lleno

s = Pendiente de la tubería

* pozo de caída.

b) METODO DE DISEÑO TRADICIONAL
CRITERIO DE DIAMETRO MINIMO

TRAMO	(m) LONGITUD	(m ³ /s) q	(cm) DIAMETRO	(m ³ /s) Q	(m/s) V	(%) S	(m/s) U	RELACION DE TIRANTES	PLANTILLA ANTERIOR	PLANTILLA POSTERIOR	PROFUNDIDAD PLANT. ANT.	PROFUNDIDAD PLANT. POST.
A'-A	25.0	0.125	25	0.135	2.71	5.00	2.80	0.78	98.05	96.80	1.95	3.20
A'-A	25.0	0.100	25	0.165	3.20	7.00	2.94	0.57	98.55	96.80	1.45	3.20
A-B	100.0	0.800	91	0.940	1.43	0.25	1.43	0.70	96.80	96.55	3.20	3.45
B'-B	25.0	0.150	25	0.165	3.20	7.00	3.28	0.75	98.55	* 96.80 96.55	1.45	* 3.20 3.45
B'-B	25.0	0.175	30	0.225	3.08	5.00	3.02	0.65	98.50	* 97.25 96.55	1.50	* 3.75 3.45
B-C	100.0	1.300	91	1.400	2.01	0.50	2.08	0.77	96.55	96.05	3.45	3.95
C'-C	25.0	0.225	38	0.255	1.97	2.00	2.00	0.73	98.42	* 97.92 96.05	1.58	* 2.08 3.95
C'-C	25.0	0.200	30	0.275	3.20	7.00	3.26	0.72	98.50	* 96.75 96.05	1.50	* 3.25 3.95

n = 0.013

Q = Gasto a tubo lleno

q = Gasto a tubo parcialmente lleno

V = Velocidad a tubo lleno

v = Velocidad a tubo parcialmente lleno

s = Pendiente de la tubería

* Pozo de caída.

c) METODO DE DISEÑO FUNCIONAL DE YAO

TRAMO	(m) LONGITUD	(m ³ /s) q	(m ³ /s) Q	(kg/m ³) γ	(cm) DIAMETRO	(%) S	(m/s) U	(m/s) V	PLANTILLA ANTERIOR	PLANTILLA POSTERIOR	PROFUNDIDAD PLANT. ANT.	PROFUNDIDAD PLANT. POST.
A-A	25.00	0.125	0.156	0.15	61	0.100	0.69	0.70	98.19	98.17 * 96.80	1.81	* 1.83 3.20
A'-A'	25.00	0.100	0.175	0.15	51	0.120	0.68	0.69	98.29	98.26 * 96.80	1.71	* 1.74 3.20
A-B	100.00	0.800	1.000	0.15	152	0.039	0.80	0.81	96.80	96.76	3.20	3.24
B'-B'	25.00	0.150	0.188	0.15	61	0.100	0.69	0.70	98.19	98.17 * 96.76	1.81	* 1.83 3.24
B-B'	25.00	0.175	0.219	0.15	76	0.240	0.69	0.70	98.04	98.02 * 96.76	1.96	* 1.98 3.24
B-C	100.00	1.300	1.625	0.15	182	0.370	0.88	0.89	96.76	96.72	3.24	3.28
C'-C'	25.00	0.225	0.281	0.15	76	0.240	0.69	0.70	98.04	98.02 * 96.72	1.96	* 1.98 3.28
C-C'	25.00	0.200	0.250	0.15	76	0.240	0.69	0.70	98.04	98.02 * 96.72	1.96	* 1.98 3.28

n = 0.013

Q = Gasto a tubo lleno.

q = Gasto a tubo parcialmente lleno

V = Velocidad a tubo lleno

v = Velocidad a tubo parcialmente lleno

s = Pendiente de la tubería

* Pozo de caída.

6. ANALISIS DE RESULTADOS.

- Criterio de Velocidad y Pendiente Mínima:

Velocidad varió de 0.58 a 0.64 m/s

Pendiente varió de 0.018 a 0.12 %

Los diámetros variaron de 45 a 182 cm.

La altura de excavación vario de 1.81 a 3.24 m.

- Criterio de diámetro mínimo.

Velocidad varió de 1.43 a 3.28 m/s

Pendiente varió de 0.25 a 70 %

Los diámetros variaron de 25 a 91 cm.

La altura de excavación vario de 1.50 a 3.95 m.

- Criterio de Yao:

Velocidad varió de 0.69 a 0.88 m/s

Pendiente varió de 0.037 a 0.12 %

Los diámetros variaron de 51 a 182 cm

La altura de excavación varió de 1.81 a 3.28 m

Como se puede apreciar, los resultados del criterio de velocidad y pendiente mínima y el criterio de Yao dan resultados muy parecidos, con el inconveniente - el primer criterio no nos aseguran un adecuado fun-

cionamiento del sistema a largo plazo y por ende gastos extras en mantenimiento y operación del mismo, - existiendo aún la posibilidad de explosiones u otros accidentes dañinos a la salud de los operarios.

Por otro lado el criterio de Yao nos asegura - que todos estos inconvenientes no existirán durante la vida útil del sistema, ahorrándonos tanto volumen de excavación como costos de mantenimiento.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

- Conclusiones:

1. Mediante el método funcional de Yao se pueden diseñar alcantarillados sanitarios que sean autolimpiantes y que no generen gases peligrosos en condiciones críticas de sedimentación de materia.
2. El método tradicional de velocidad mínima normativa única se debe descartar, pues la velocidad mínima varía con las dimensiones del diámetro de las tuberías.
3. El nomograma de Yao es idóneo para usarse en -

terrenos planos inestables o rocosos donde la excavación es el factor predominante en el as pecto económico.

4. Para terrenos con fuerte pendiente es preferible usar el método tradicional de diseño con el criterio de diámetro mínimo, siempre que la velocidad mínima cumpla con la fórmula de Shields y la máxima con los requisitos de con trol de erosión.
5. Se deben de usar valores de esfuerzo cortante crítico del orden de 0.15 a 0.20 Kg./m² para n=0.013 o menores, y de 0.20 Kg/m² para n=0.015 o mayores.

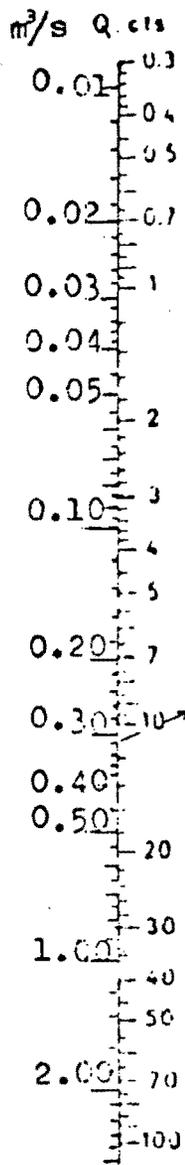
- Recomendaciones:

1. Usar el método de diseño funcional, solo para te rrenos muy planos, inestables o donde el factor económico más importante sea la excavación.
2. Aplicar el método funcional de diseño para diámetros hasta 152 cm. Para diámetros mayores se requerirá investigar en particular.

3. Aplicar los esfuerzos cortantes críticos recomendados cuando se tengan sustancias como arena, arcilla y materia orgánica, pero no con concentraciones altas de partículas coalescentes. Para ello se requerirá una investigación previa.

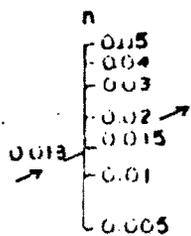
4. Se recomienda un estricto control de las descargas con solventes y otros productos químicos, - para limitar la probabilidad de explosiones en las redes de alcantarillado.

8. TABLAS, ABACOS, GRAFICAS.



$$Q = \frac{1.486}{n} A R^{1/6} \left(\frac{T_0}{W} \right)^{1/2}$$

$T_0 \cdot WRS$ (SISTEMA INGLES)



1 cfs = 0.0283 m³/s
 1 psi = 4.8824 kg/m²
 1 in. = 25.4 mm

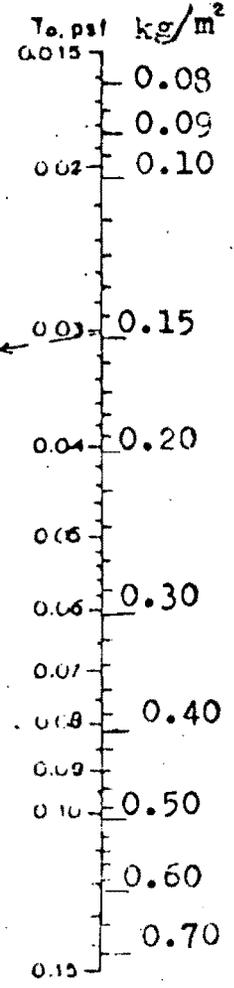
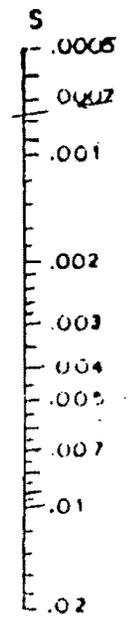
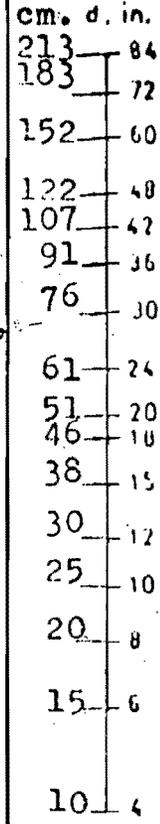
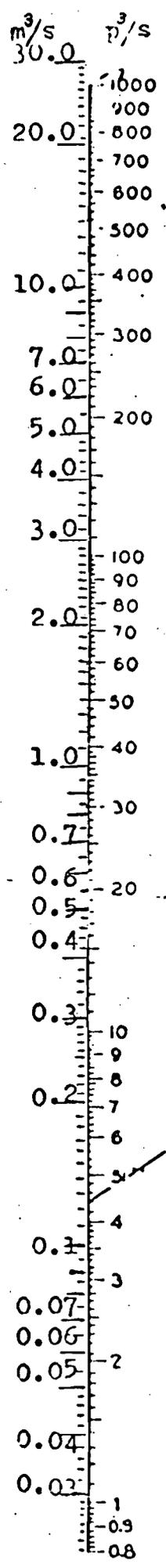


FIGURA No. 7

MONOGRAMA DE DISEÑO BASADO EN EL ESFUERZO CORTANTE CRITICO

FIGURA No.8

MONOGRAMA PARA EL COMPUTO DE CANALES CIRCULARES A TUBO ILENO USANDO LA FORMULA DE MANNING



pulg.	cm
120	305
108	274
96	244
90	229
84	213
78	198
72	183
66	168
60	152
54	137
48	122
42	107
39	91
36	91
33	84
30	76
27	69
24	61
21	53
18	46
15	38
12	30
10	25
8	20
6	15

D

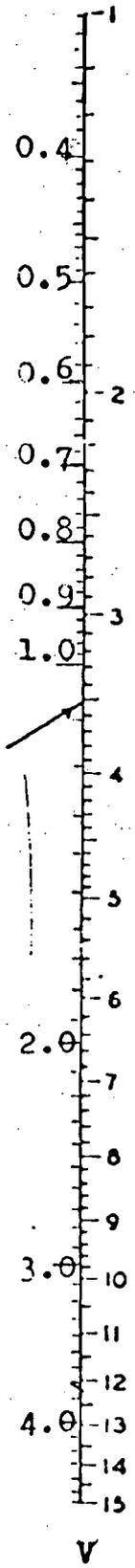
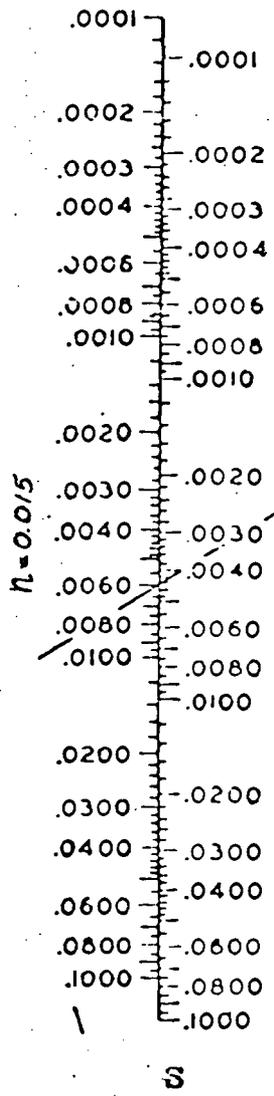
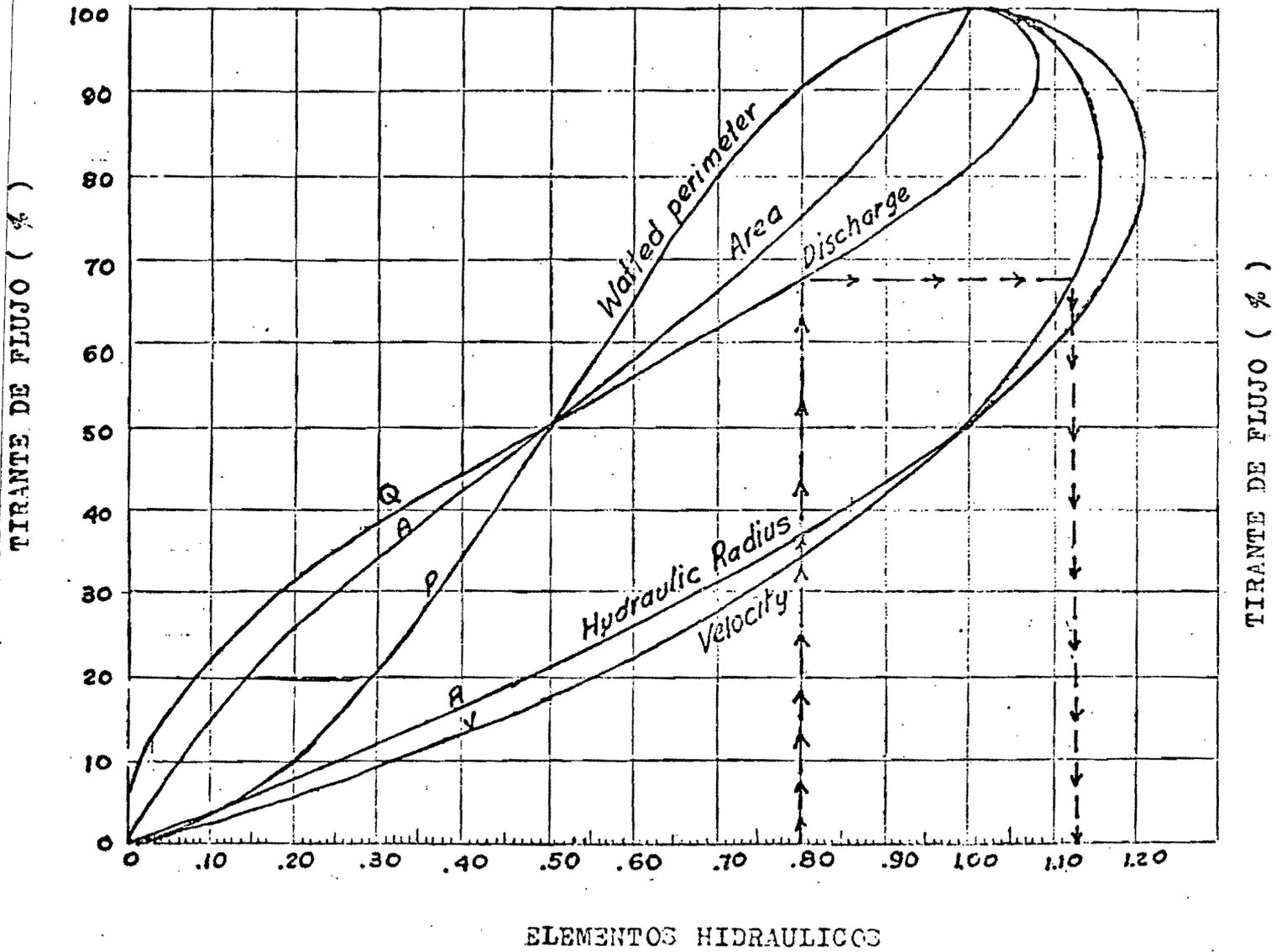


FIGURA DE CARACTERISTICAS HIDRAULICAS EN CANALES



NOMENCLATURA Y NOTACIONES.

- B = Constante de sedimentación característica de cada partícula para prevenir su sedimentación
- C = Coeficiente de rugosidad de Chezy
- c = Factor de conversión de unidades para velocidad (1.486 sistema ingles, 1.0 sistema métrico.)
- D = Diámetro de la tubería.
- D' = Diámetro de la partícula.
- f = Coeficiente de rugosidad de Darcy-Weisbach
- g = Aceleración de la gravedad.
- h = Pérdida de carga por fricción.
- k = Coeficiente de fricción original de Manning
($K = 1/n$).
- l = Longitud de la tubería a canal

- n = Coeficiente de rugosidad de Manning.
- Q = Gasto a tubo lleno
- q = Gasto a tubo parcialmente lleno.
- R = Radio hidráulico.
- s = Pendiente del canal o tubería.
- S = Gravedad específica de una partícula.
- r = Esfuerzo cortante Hidrodinámico.
- τ = Esfuerzo cortante Hidrodinámico crítico.
- V = Velocidad a tubo lleno.
- v = Velocidad a tubo parcialmente lleno.
- w = Peso específico de las aguas negras (1.001)

9. BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

1. Dagfinn K Lysne, "Hidraulic Design of Self-Cleaning Sewage Tunnels" ASCE, Journal Sanitary Engineering Division, Febrero 1969, Vol.95 Pag.-No.17
2. Elliot Flaxman, David Barr, John Herbertson, - Ronald Rathbun, Atul Goswani, A. J. Ravolkivi, Alex Sutherlan, "Sediment Transportation Mechanics: Initraton of Motion", ASCE, Journal Hydraulics Division, Nov. 1966, Vol. 92, Pag. 245
3. Kuan M. Yao, " Sewer Line Disign Based on Critical Shear Stress", ASCE, Journal of the Environmental Engineering Division, Abr. 1974, Vol. 100 Pag. 507
4. Comite de Trabajo para la Preparación del Manual de Sedimentación, " Sediment Transportation Mechanics: Initration of Motion", ASCE, Journal Hydraulics Division, Marzo 1966, Vol.92, Pag.291
5. Kuan M. Yao, " Functional Design of Sanitary Sewers", WPCF, Journal, Julio 1976, Vol.48 No.7 Pag. 1772
6. Victor streeter, "Mecanica de Fluidos", E. Benjamin Wyle ediciones, M^C Graw Hill, sexta edición Abril 1980.
7. Linvil G. Rich, " Enviromental Systems Engineering", M^C Graw Hill editores, 1973

8. King, Wisler, Woodbur, "Hydraulics", John Wiley and Sons editores, 5 edicion.
9. Fair, Geyer, Okun, " Abastecimiento de Agua y Remocion de Aguas Residuales; editorial Limusa, tercera edicion, 1979.
10. Dr. Raul Cuellar ch, apuntes tomados en clase de Aplicaciones de la Mecánica de Fluidos en Ingeniería Ambiental, DEPFI.
11. M. en C. Francisco Montejano, apuntes tomados en clase de Plantas de Tratamiento de Aguas Negras, DEPFI.
12. M. en C. Merio Solano, apuntes tomados en clase de Sistemas de Alcantarillado, DEPFI.
13. "Manual de diseño de Construcción de Alcantarillados Sanitario y Pluvial" ASCE, 1966, No.37