AAN3/96

TESIS
IC999
G3
V.1

UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Universidad Católica Andrés Bello
BIBLIOTECA
Caracas

DISEÑO DE ESTRUCTURAS ESPECIALES DE DRENAJE PARA INSTALACIONES PETROLERAS

Tomo 1

Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: DIEZ Y OCHO (18)

JURADO EXAMINADOR

Firma: Nombre: JOSE OCHOA

Firma: Nombre: PATRICIA PEREIRA

Firma: Nombre: AHMED IRAZABAL

REALIZADO POR

Gustavo F. Galdo Azpurua
Leopoldo Henriquez Benedetti

PROFESOR GUIA

Ing. José Ochoa Iturbe

FECHA

23 de mayo de 1999

AGRADECIMIENTOS

Ante todo queremos agradecer a nuestras familias por su apoyo incondicional en todo momento, al igual que a todos aquellos que contribuyeron de una manera u otra en la realización de este trabajo de grado.

Quisiéramos expresar un especial reconocimiento a nuestro tutor, Ing. José Ochoa, por habernos dado la oportunidad de realizar esta tesis, brindándonos su dedicación, experiencia y ayuda en todo momento. A los Ingenieros Manuel Vicente Méndez y Mario Mengual, por habernos brindado su excelencia profesional y su amistad, sus conocimientos, sin los cuales habría sido imposible culminar con éxito esta Tesis de Grado. A todos ellos le estaremos siempre agradecidos, por ser personas de una calidad humana sin medida.

INDICE

AGRADECIMIENTOS ..... **I**

INDICE ..... **II**

SINOPSIS ..... **V**

INTRODUCCIÓN ..... **VII**

1. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA DE DRENAJE DE PDVSA **1**

1.1 TIPOS DE SISTEMA DE DRENAJE 1

1.1.1 Sistema de Drenaje de Aguas no Contaminadas con Hidrocarburos *1*

1.1.2 Sistema de Drenaje de Aguas Contaminadas con Hidrocarburos *2*

1.2 COMPONENTES BÁSICOS DE LOS SISTEMAS DE DRENAJE 4

1.2.1 Sumidero *5*

1.2.2 Tubería Sub-lateral de Drenaje *6*

1.2.3 Tubería Lateral de Drenaje *7*

1.2.4 Tubería Principal de Drenaje *7*

1.2.5 Canal Abierto *7*

1.2.6 Tanquilla *9*

1.2.7 Sello Hidráulico *10*

1.2.8 Orificio de Ventilación *11*

1.2.9 Trampa de Aceite *12*

1.2.10 Separador *12*

1.3 MUROS DE CONTENCIÓN 12

1.3.1 Requerimientos Necesarios Para el Diseño de Muros de Contención *13*

1.3.2 Diseño de Sistemas de Represamiento Remoto *14*

1.4 DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES DE DISEÑO 15

1.4.1 Áreas de Proceso y de Servicio *15*

1.4.2 Conducto Principal de Drenaje Externo a las Areas de Proceso *16*

1.4.3 Llenaderos de Camiones y Estaciones de Bombeo Ubicados Fuera del Area de Proceso *17*

1.4.4 Área de Tanque de Almacenamiento *18*

2. CÁLCULO DE TUBERÍAS 19

2.1 CALCULO DEL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA DE DESCARGA DEL SUMIDERO O TANQUILLA. GRÁFICO 1: CAUDAL (Q) VS PENDIENTE (SO) 19

2.1.1 Objetivo *19*

2.1.2 Base Teórica Utilizada Para los Cálculos *19*

2.1.3 Parámetros de Diseño *21*

2.1.4 Criterios Utilizados Para el Cálculo *22*

2.1.5 Descripción del Gráfico *23*

3. DISEÑO DE SUMIDEROS Y TANQUILLAS 27

3.1 DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE LA REJA DEL SUMIDERO. GRÁFICO 2: AREA DE LA REJA(A) VS. CAUDAL(Q) 27

3.1.1 Objetivo *27*

3.1.2 Base Teórica Utilizada Para los Cálculos *27*

3.1.3 Parámetros de Diseño *28*

3.1.4 Criterios Utilizados Para el Cálculo *29*

3.1.5 Descripción del Gráfico *29*

3.2 DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE ENERGÍA DEL AGUA SOBRE LA RASANTE INICIAL DE LA TUBERÍA DE DESCARGA EN UN SUMIDERO O TANQUILLA. GRÁFICOS 3 (YC/D), 4 (YO/D), 5 (EMÍN/YC), 6 (E/YO). 29

3.2.1 Objetivo *29*

3.2.2 Base Teórica Utilizada Para los Cálculos *30*

3.2.3 Parámetros de Diseño *35*

3.2.4 Criterios Utilizados Para el Cálculo *37*

3.2.5 Descripción de las Variables Utilizadas en los Gráficos *42*

3.2.6 Pasos Para la Utilización de los Gráficos 3, 4, 5, 6 en el Cálculo de la Altura del Agua sobre la Rasante Inicial de la Tubería *43*

4. DISEÑO DE LA TUBERÍA DE DRENAJE PARA LAS ÁREAS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO 50

4.1 BASE TEÓRICA NECESARIA PARA LOS CÁLCULOS 50
4.2 PASOS PARA EL DISEÑO 54

5. DISEÑO DE CANALES ABIERTOS 56

5.1 CANALES DE SECCIÓN TRAPECIAL O RECTANGULAR 57
5.2 CANALES DE SECCIÓN TRIANGULAR 57

6. EJEMPLOS 62

6.1 DISEÑO DE SUMIDERO 62
GRAFICO UNIFICADO 66
6.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO 67

CONCLUSIONES 71

RECOMENDACIONES 73

BIBLIOGRAFÍA 74

SINOPSIS

El presente trabajo especial de grado ''**DISEÑO DE ESTRUCTURAS ESPECIALES DE DRENAJE PARA INSTALACIONES PETROLERAS**'', consiste en el diseño y cálculo de estructuras de captación para aguas contaminadas con hidrocarburos, de manera que en caso de producirse un incendio se impida su propagación.

Dichas obras son especiales porque contemplan la posibilidad de transporte de fluidos inflamables, lo cual ocasionaría propagación de incendios a gran escala. Por tanto, las obras buscan evitar esta propagación, proporcionando al sistema de drenaje sellos hidráulicos. Estos son dispositivos diseñados para aislar las diversas partes de un sistema de drenaje de aguas contaminadas con hidrocarburos, con el fin de impedir el movimiento de vapores inflamables y la eventual propagación de un incendio y/o explosión.

El trabajo en su primera parte comenzó por revisar las normas existentes de PDVSA, encontrándose con unas normas escasas en contenido y detalle.

El mayor problema de las normas de PDVSA, es que no contemplan ningún tipo de dimensiones o método para obtenerlas a la hora de diseñar y/o construir un sistema de drenaje. Lo que proporcionan dichas normas son una serie de requerimientos de diseño que muchas veces se contradicen, razón por la cual se trató de buscar normas de otros países, para compararlas con las nuestras y ver su utilidad en Venezuela. Sin embargo esto no se logró, por la reticencia de las petroleras foráneas a suministrar información. A la vez, esto no afectó nuestro análisis debido a que las normas de PDVSA son copias de algunas de éstas. En consecuencia, se decidió buscar la manera de darle dimensiones a las tuberías, rejas de sumideros, sumideros y tanquillas, para lo cual se procedió a estudiar el funcionamiento de dichos elementos, a fin de crear unos gráficos de diseño que fuesen lo más fácil posible de usar. Estos gráficos van más allá del dimensionamiento de elementos para un sistema de drenaje en una petrolera, ya que también sirven para elementos de drenajes normales.

Además de los gráficos se presentan los pasos a seguir para el diseño de la tubería de drenaje para las áreas de tanques de almacenamiento. Por último, se le dedicó una sección al diseño de canales, a la cual no se le dio mucha importancia ya que partimos del principio de que por los canales no iban a escurrir aguas contaminadas con hidrocarburos por lo peligroso que esto puede llegar a ser. Su diseño será como tradicionalmente es, sin tener mayores especificaciones en el campo petrolero.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo especial de grado fue realizado con el propósito de facilitar el diseño de los elementos de un sistema de drenaje en una instalación petrolera. El trabajo se dividió en seis secciones que se mencionan a continuación:

1. **Requerimientos de Diseño Según la Norma de Drenaje de PDVSA.** Esta primera parte se obtuvo de la Norma de Sistemas de Drenaje de PDVSA. En ella se citan aspectos generales de un sistema de drenaje, sus componentes básicos, los requerimientos necesarios para su diseño y la determinación de los caudales de diseño. En esta parte se puede observar que no hay ningún tipo de método o procedimiento para el diseño y dimensionamiento de tuberías, áreas de la reja del sumidero, sumideros y tanquillas.

2. **Cálculo de Tuberías.** En esta sección se presenta un gráfico (**Gráfico 1**) que se realizó con el propósito de que una vez conocido el caudal de diseño y la pendiente a utilizar, se pueda determinar el diámetro de la tubería más apropiado para el diseño.

3. **Diseño de Sumideros y Tanquillas.** Para el diseño de Sumideros y Tanquillas se realizaron cinco gráficos con el fin de darles dimensiones a estos elementos.

- **Gráfico 2:** Determinación del Área de la Reja del Sumidero.
- **Gráficos 3, 4, 5 y 6:** Determinación del Nivel de Energía del Agua Sobre la Rasante Inicial de la Tubería.

4. **Diseño de la Tubería de Drenaje para las Áreas de Tanques de Almacenamiento.** En esta sección se presentan los pasos a seguir para el diseño de dicha tubería.

5. **Diseño de Canales Abierto.** Se llegó a la conclusión de que por los canales no iban a escurrir aguas contaminadas con hidrocarburos por lo peligroso que esto puede ser, razón por la cual el diseño de los canales será como normalmente es. Por todo esto en

esta sección se da una información básica con relación al diseño de canales, ya que ésta existe en muchos libros y textos por lo que no se justifica su repetición.

6. **Ejemplos**. Por último se realizaron dos ejemplos, el primero de un sumidero y el segundo de un sistema de drenaje para tanques de almacenamiento. Estos ejemplos sirven para facilitar la comprensión del trabajo realizado.

1. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA DE DRENAJE DE PDVSA

1.1 Tipos de Sistema de Drenaje

El proceso de tratamiento de los efluentes líquidos de una instalación petrolera, requiere generalmente de segregación de éstos desde su fuente de origen. A tal fin, las corrientes líquidas deberán separarse en diferentes sistemas de drenaje, de acuerdo a la siguiente clasificación:

- Sistema de drenaje de aguas no contaminadas con hidrocarburos.
- Sistema de drenaje de aguas contaminadas con hidrocarburos.
- Sistema de drenaje de aguas contaminadas con productos químicos.
- Sistema de drenajes de aguas negras.

Dentro del alcance del estudio realizado, sólo se considerarán los sistemas de drenaje de aguas no contaminadas con hidrocarburos y aguas contaminadas con hidrocarburos ya que la norma así lo señala. A continuación se presenta una breve descripción de estos sistemas.

1.1.1 Sistema de Drenaje de Aguas no Contaminadas con Hidrocarburos

Se considerarán dentro de esta clasificación, las aguas de lluvia y el agua contra incendios aplicadas sobre áreas tales como:

- Áreas baldías no desarrolladas.
- Vías de circulación perimetrales.
- Estacionamientos de vehículos.
- Techos de edificios.
- Áreas externas a los muros de contención en patios de tanques.

- Otras áreas donde no sea previsible la presencia de derrames de hidrocarburos.

El drenaje de aguas no contaminadas con hidrocarburos, se llevará a cabo mediante canales abiertos[1] que descarguen en sumideros[2].

No quiere decir que éste sea el único modo de evacuar las aguas no contaminadas con hidrocarburos. Frecuentemente dependiendo de la pendiente y el modo de distribución que exista en la planta, el terreno servirá como conducto hidráulico de estas aguas hacia el sumidero hasta tanto no se cope su capacidad; es decir, mientras no sean excedidos los límites de inundación permisibles que generalmente se toma de 5 centímetros. En general, puede decirse que rigen los criterios y normas usuales del diseño de drenaje urbano o vial.

1.1.2 Sistema de Drenaje de Aguas Contaminadas con Hidrocarburos

A este sistema irán las aguas de lluvia y contra incendio provenientes de áreas normalmente contaminadas con hidrocarburos, así como los derrames producidos en áreas donde se manejen este tipo de productos. Algunas de estas áreas son:

- Estaciones de servicio.
- Áreas de proceso.
- Llenadores de camiones.
- Muelles.
- Áreas internas de los muros de contención de tanques de almacenamiento.
- Otras áreas con equipos que manejen hidrocarburos.

El drenaje de estos efluentes se efectuará a través de tuberías subterráneas, en una red diseñada para que el flujo se realice por gravedad. Esta red consiste en una tubería principal de drenaje[3], comunicada con los sumideros ubicados en las áreas servidas, a

---

[1] Ver Sección 1.2.5

[2] Ver Sección 1.2.1

[3] Ver Sección 1.2.4

través de tuberías laterales[4] y sub-laterales[5]. La tubería principal de drenaje de un área en particular, deberá ser tendida en los límites de ésta última, para que los efluentes no pasen a través de otras áreas, y la misma deberá estar conectada a un separador[6] hacia un conducto principal de la instalación.

En cada área servida por este sistema, deberán existir suficientes sumideros a fin de poder evacuar el agua contra incendio y el agua de lluvia, evitando así la propagación de incendios e inundaciones.

Deberá evitarse la descarga de efluentes con temperaturas resultantes mayores que 45° C, a fin de prevenir la emisión de vapores inflamables.

El sistema no podrá estar interconectado con el sistema de aguas negras. La evacuación de las aguas negras se hará siguiendo los requerimientos establecidos para estos sistemas.

El sistema de drenaje de aguas contaminadas, se diseñará de acuerdo a la ubicación de los equipos, tomando en consideración la dirección predominante del viento para la ubicación del separador. Por lo general, la tubería principal y sus tanquillas[7] de interconexión se instalan perimetralmente al área a drenar.

La capa mínima de tierra que deberá existir sobre el nivel superior de cualquier tubería principal, lateral o sub-lateral, será 0,6 metros hasta diámetro de 12" y de 0,75 metros, para diámetros mayores, debiéndose tomar las precauciones necesarias, a fin de asegurar la integridad de las tuberías.

---

[4] Ver Sección 1.2.3

[5] Ver Sección 1.2.2

[6] Ver Sección 1.2.10

[7] Ver Sección 1.2.6

En el caso de que estas tuberías estén expuestas a cargas muy altas, la profundidad mínima será de 1,15 metros según el articulo 3.19 de las Normas del I.N.O.S.

La impermeabilidad de los sistemas de drenajes es indispensable a fin de evitar fugas que puedan desprender hidrocarburos y otros componentes, los cuales eventualmente alcanzarán el nivel freático, tras filtrarse en el suelo. Más aún, las juntas de tuberías y tanquillas que permiten filtraciones, representan un incremento de carga en las instalaciones de tratamiento de los efluentes, al permitir la infiltración de agua subterránea, especialmente en el lado aguas abajo de las tuberías de tramos rectos largos, colocados a baja inclinación.

1.2 Componentes Básicos de los Sistemas de Drenaje

Los componentes básicos de los sistemas de drenaje son:

- Sumideros.
- Tuberías sub-laterales de drenaje.
- Tuberías laterales de drenaje.
- Tuberías principales de drenaje.
- Canales abiertos.
- Tanquillas.
- Sellos hidráulicos.
- Orificios de ventilación.
- Trampas de aceite.
- Separadores.

En el ***Anexo 1*** se muestra a manera de ejemplo, el arreglo de un sistema de drenaje para un área de proceso.

1.2.1 Sumidero

Los sumideros son las estructuras que permiten captar las aguas contaminadas y no contaminadas con hidrocarburos que escurren por la superficie. Una vez captadas, las aguas son conducidas lejos de donde puedan ocasionar algún tipo de problema. Uno de los sumideros más utilizados en este tipo de sistema de drenaje son los sumideros de reja, que con su debida protección permitirán además retener los sedimentos, evitando obstrucciones en el sistema de drenaje.

1.2.1.1 Requerimientos Para la Ubicación y Diseño de Sumideros

Siguiendo lo señalado en las normas y de acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo tendríamos:

- Requerimientos que se seguirán para su ubicación:

a) No podrán ubicarse debajo de equipos, escaleras o debajo de vías de tuberías.

b) Ningún sumidero podrá estar conectado directamente a otro sumidero.

c) Cada sumidero deberá estar situado en el punto más bajo de su área individual de drenaje.

d) En áreas de proceso, la distancia máxima de desplazamiento al aire libre de un líquido hacia un sumidero, no podrá ser mayor de 15 metros.

- Requerimientos que se seguirán para su diseño:

a) Sus dimensiones internas mínimas serán 0,6 metros × 0,6 metros de lado. El fondo del sumidero deberá estar a 0,3 metros mínimo, por debajo de la tubería de descarga. Estas dimensiones deberán permitir un flujo de 114 m3/h (31,67 lps).

b) Los drenajes individuales o múltiples de tuberías de drenaje que descarguen a un sumidero, lo harán sumergiendo la boca de salida un mínimo de 0,15 metros por debajo del nivel de agua de éste.

c) El sumidero deberá contar con un sello en la descarga.

d) La cubierta del sumidero deberá instalarse al nivel de los puntos bajos del suelo.

1.2.2 Tubería Sub-lateral de Drenaje

Es la tubería a la cual se conectan los sumideros, y la cual descarga a una tubería lateral de drenaje.

1.2.2.1 Requerimientos Necesarios Para el Diseño de la Tubería Sub-lateral de Drenaje

a) El diámetro interno nominal no será menor de 150 milímetros (6")

b) Su intersección con otra tubería de drenaje, se hará a través de conexiones tipo "Y" o en tanquillas. Las tuberías se instalarán preferiblemente en línea recta. Cuando haya cambios en la dirección del tendido de la tubería, se usarán codos de 45° máximo o tanquillas.

c) El material de su construcción podrá ser acero al carbono, hierro colado o concreto.

Su selección se hará tomando en cuenta factores tales como: cargas estáticas y dinámicas, corrosividad del terreno y características y propiedades físico-químicas de los efluentes.

1.2.3 Tubería Lateral de Drenaje

Es aquella tubería que recolecta los efluentes provenientes de dos o más tuberías sub-laterales y los descarga en una tubería principal de drenaje.

El diseño de las tuberías laterales de drenaje, deberá realizarse conforme a los requerimientos indicados en la sección 1.2.2.1.

1.2.4 Tubería Principal de Drenaje

Es la tubería que recolecta los efluentes de las tuberías laterales de drenaje y los transporta hacia una planta de tratamiento de efluentes.

Las tuberías principales de drenaje, deberán cumplir con los requerimientos de diseño mencionados en la sección 1.2.2.1. puntos a) y c).

1.2.5 Canal Abierto

Es un conducto continuo, abierto en su parte superior, que descarga a un sumidero, o directamente a un separador, o a una planta de tratamiento de efluentes. Este canal podrá ser usado para drenar las aguas no contaminadas con hidrocarburos (aguas de lluvia, agua contra incendio) y aguas contaminadas con hidrocarburos, cuando la presencia de vapores inflamables, y en consecuencia el riesgo de incendio, sea muy improbable. Tal ocurre en áreas que manejan únicamente hidrocarburos con punto de inflamación superior a 65°C y donde la temperatura de cualquier derrame sea inferior a 65°C.

También se podrán usar canales abiertos en aquellas áreas, especialmente de producción, donde los volúmenes de líquido a drenar, sean tan grandes que no sea posible la utilización de tuberías. De igual manera, se podrán usar estos canales, cuando los

productos a drenar sean tan viscosos que puedan causar obstrucciones en una tubería (plantas de parafina).

No se permitirá la descarga de vapor de agua condensado, en los sistemas de canales abiertos para aguas contaminadas con hidrocarburos.

Los canales se cubrirán con rejillas únicamente donde se requiera por razones de protección del personal.

En los canales abiertos se colocarán a intervalos corta-fuegos sellados, a fin de prevenir la propagación de incendios entre áreas. Un corta-fuegos, podrá ser un cruce de caminos sobre el canal abierto, que provea una sección cerrada con una longitud mínima de 9 metros y deberá estar diseñado de forma tal que su mantenimiento y la limpieza de sedimentos y escombros, pueda ser realizado con facilidad.

1.2.5.1 Requerimientos Necesarios Para el Diseño de Canales Abiertos

a) Deberán construirse de concreto armado.

b) Las dimensiones del canal, se establecerán conforme a los cálculos hidráulicos correspondientes. En ningún caso la profundidad será mayor que el ancho.

c) El canal abierto deberá vaciarse monolíticamente, junto con el sumidero en el cual desemboque. En el caso de uniones de relleno de la base de un tanque con un canal abierto, aquellas deberán ser impermeables.

d) El piso del canal abierto, deberá tener una pendiente mínima del uno por ciento (1%) hacia el sumidero.

1.2.6 Tanquilla

Es una estructura de concreto que se utiliza como punto de unión entre tuberías subterráneas y como trampa de sedimentos. También sirve para proveer acceso para labores de inspección y mantenimiento a las tuberías que a ellas descargan.

1.2.6.1 Requerimientos Para la Ubicación y Diseño de Tanquillas

- Las tanquillas se ubicarán de acuerdo a los criterios siguientes:

a) En el extremo ciego final de una tubería principal de drenaje.

b) A intervalos no mayores de 90 metros, para tuberías principales de drenaje de diámetro menor que 600 milímetros (24''), o a intervalos no mayores de 150 metros, para tuberías principales de drenaje de diámetro igual o mayor que 600 milímetros.

c) En la unión de una tubería principal de drenaje con una tubería lateral.

d) En la unión de la tubería principal de drenaje de un área, con las tuberías principales provenientes de otras áreas.

e) En tuberías principales donde existan cambios de dirección mayores de 45°.

f) En plantas integradas, los sistemas de drenaje de cada proceso, deberán conectarse a la tubería principal de drenaje, a través de tanquillas provistas de sello hidráulico.

g) A efectos de drenar unidades grandes de proceso, éstas se subdividirán en áreas individuales de superficie no mayor de 5.000 m^2, separándose sistemas por medio de tanquillas provistas de sello hidráulico.

- Requerimientos que se seguirán para su diseño:

a) Su dimensionamiento deberá permitir la entrada de personal para labores de mantenimiento.

b) Se construirán de concreto armado.

c) Su losa superior, deberá diseñarse de forma tal que pueda ser removida para permitir las labores de mantenimiento. Está losa deberá colocarse a nivel del piso en áreas pavimentadas y como mínimo a 5 centímetros de altura en áreas sin pavimentar.

d) El punto de descarga de la tanquilla, deberá estar a un nivel inferior a la tubería más baja que conduzca efluentes a ella.

En los ***Anexos 2 y 3***, se muestran detalles de tanquillas provistas de sellos hidráulicos.

1.2.7 Sello Hidráulico

Es un sistema diseñado para aislar las diversas partes de un sistema de drenaje de aguas contaminadas con hidrocarburos, con el fin de evitar el movimiento de vapores inflamables y la eventual propagación de un incendio y/o explosión.

1.2.7.1 Requerimientos Para la Ubicación y Diseño de los Sellos Hidráulicos

- Los requerimientos para la ubicación de los sellos hidráulicos son los siguientes:

a) Donde las tuberías principales o tuberías laterales de drenaje, provenientes de áreas de tanques de almacenamiento, unidades individuales de proceso, plantas integradas o equipos ubicados fuera de las áreas de proceso, se conectan con la tubería principal de drenaje de la instalación.

b) En la descarga de cada sumidero.

c) Entre unidades de proceso.

d) En la última tanquilla conectada a una tubería principal de drenaje, antes de entrar a un separador.

- Requerimientos necesarios para el diseño de los sellos hidráulicos:

a) El sello hidráulico deberá mantenerse entre las condiciones de máximo y mínimo caudal.

b) La altura del sello será como mínimo 15 centímetros.

1.2.8 Orificio de Ventilación

Es un dispositivo utilizado sobre la tapa de la tanquilla para mantener en contacto con la atmósfera el interior de la misma y prevenir que su sello se pierda por un incremento de presión.

Los orificios de ventilación de las tanquillas, deberán cumplir con los siguientes requerimientos:

a) Se instalarán en ambos lados del sello, si la tanquilla esta equipada con un sello tipo deflector.

b) Cuando los sellos se establecen mediante la sumersión de las conexiones de entradas de las tuberías, se deberán instalar orificios de ventilación en la tanquilla con sello y en la siguiente tanquilla, aguas arriba de la tubería de drenaje.

c) En la tanquilla más elevada o el punto más alto de cada sección individual de drenaje provista de sello, deberá instalarse un orificio de ventilación.

d) Los orificios de ventilación no podrán terminar debajo de vías de tuberías u otros equipos.

e) Los orificios de ventilación no podrán estar ubicados a distancias horizontales menores de 30 metros de hornos, u otras fuentes de ignición.

1.2.8.1 Requerimientos Necesarios Para el Diseño del Orificio de Ventilación

El orificio de ventilación deberá tener un diámetro mínimo de 10 centímetros, y deberá ubicarse sobre la tapa de la tanquilla.

1.2.9 Trampa de Aceite

Es un dispositivo diseñado para retener solamente el aceite flotante. En principio, no se diseña para la segregación de aceite en emulsión (***Anexo 4***).

1.2.10 Separador

Es un dispositivo diseñado para eliminar pequeños glóbulos de aceite que se encuentren en suspensión. Esta separación generalmente se realiza por gravedad, limitando la velocidad de flujo y tasa de rebosamiento (***Anexo 5***).

1.3 Muros de Contención

Los muros de contención se utilizan en las áreas de tanques de almacenamiento, para contener derrames que puedan producirse en el tanque y equipos asociados.

El área encerrada por los muros de contención, podrá drenar por una tubería que atraviesa el muro y descarga a canales abiertos o a través de un sistema cerrado de drenaje. En ambos casos, se deberá instalar una válvula del tipo de vástago ascendente (OS & Y) en

el extremo aguas abajo de la tubería de drenaje, fuera del muro, a fin de controlar la salida de los efluentes.

En aquellos casos en que existan limitaciones de espacio o se quiera aprovechar la topografía del terreno, se podrá utilizar el sistema de represamiento remoto para conducir y contener los derrames de hidrocarburos.

1.3.1 Requerimientos Necesarios Para el Diseño de Muros de Contención

La construcción de muros de contención alrededor de tanques de almacenamiento, deberá cumplir con los requerimientos siguientes:

a) El área alrededor del tanque, deberá tener una pendiente mínima de uno por ciento (1%) hacia el muro de contención. Esta pendiente se extenderá hasta la base del muro, o al menos 15 metros después del tanque hasta la base del muro, tomando siempre la menor de las dos.

b) La capacidad volumétrica del área de contención, no será menor del ciento cincuenta por ciento (150%) de la capacidad del tanque ubicado dentro del área de contención, suponiendo que el mismo está completamente lleno. En caso de existir varios tanques, la capacidad volumétrica del área, será igual al 150% del volumen del tanque mayor, más el volumen ocupado por el resto de los tanques, hasta la altura del muro.

c) Las tuberías que pasen a través de los muros de contención, deberán diseñarse para prevenir los esfuerzos excesivos ocasionados por un incendio o asentamiento del terreno.

d) Las válvulas de drenaje del área de contención de los tanques, deberán colocarse fuera del área protegida por los muros.

e) La altura máxima de los muros de contención será de 3 metros.

En el ***Anexo 6***, se muestran detalles de un área de tanques de almacenamiento provista con muros de contención.

1.3.2 Diseño de Sistemas de Represamiento Remoto

El sistema de represamiento remoto, se usará cuando no sea posible la construcción de muros de contención, y se deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

a) Un sistema de represamiento remoto podrá diseñarse para servir un máximo de diez (10) tanques.

b) El volumen de todo sistema de represamiento remoto, no deberá ser menor del 110% de la capacidad del tanque más grande que drene hacia él.

c) Se deberá proveer una pendiente mínima del uno por ciento (1 %) del piso, hacia el embalse de retención.

d) La distancia mínima entre el represamiento remoto y la pared del tanque más cercano, será de treinta (30) metros.

e) El área máxima ocupada por el represamiento remoto, será de diez mil (10.000) metros cuadrados.

f) El perímetro del área donde está situado el embalse remoto de retención, deberá estar ubicado en forma tal que cuando el embalse esté lleno a su capacidad nominal, el nivel del líquido no estará a una distancia menor de 15 metros de los límites de propiedad, o de cualquier otra instalación.

g) La ruta de la vía de drenaje, deberá ubicarse de forma tal que si el líquido derramado entra en combustión, el incendio no expondrá a los tanques, o propiedad adyacente.

1.4 Determinación de los Caudales de Diseño

1.4.1 Áreas de Proceso y de Servicio

Las áreas de proceso deberán diseñarse y operarse, previniendo la descarga directa de líquidos combustibles e inflamables en aguas públicas, sistemas de drenaje municipales y/o propiedades de terceros.

El piso en una planta de proceso deberá tener una pendiente mínima del uno por ciento (1%) hacia los sumideros. Los drenajes de los hornos, grupos de bombas, bancos de intercambiadores, torres y similares, deberán fluir a sumideros para prevenir la propagación del incendio a un área adyacente. El nivel más alto del piso, deberá ir por debajo del eje longitudinal de las vías de tuberías del proceso, para evitar que fugas y derrames de líquidos inflamables y combustibles, se recolecten debajo de ellas. Las vías públicas que rodean una planta, o unidad de proceso, deberán estar elevadas 0,2 m por encima del piso más alto del piso de la planta.

Los interceptores de aceite, las trampas de aceite y los sumideros, no podrán estar ubicados a una distancia menor de 9 metros de vías de acceso, salas de control, compresores de hidrógeno, e hidrotratadores.

Las unidades del área de proceso, deberán subdividirse en áreas individuales de drenaje. Cada una de estas áreas, tendrá una superficie máxima de 280 m^2. En el caso de áreas no pavimentadas, cada área individual de drenaje, deberá tener una superficie máxima de 435 m^2. En el ***Anexo 7***, se muestra un arreglo típico de un área individual de drenaje.

El caudal a usar en los sistemas de drenaje, será el valor más alto determinado según las siguientes combinaciones:

a) Agua de lluvia más agua de proceso.
b) Agua contra incendio más agua de proceso.

El agua contra incendio se incluirá de la siguiente manera:

a) El caudal de agua contra incendio a drenar, será el sesenta por ciento (60%) del valor calculado según la sección 6.2 de la Norma PDVSA "Sistema de Agua Contra Incendio", la cual establece:

- Se utilizará una tasa de aplicación de 0,24 $m^3/h*m^2$ para secciones de proceso que cumplan con las separaciones mínimas entre equipos especificadas en la sección 7 de la Norma de PDVSA ''Separación entre Equipos e Instalaciones''. En plantas donde no se cumpla con las separaciones mínimas, o donde existan más de tres niveles de equipos superpuestos, se aplicará una tasa de 0,48 $m^3/h*m^2$, teniendo en cuenta que en ningún caso, el requerimiento total de agua contra incendio será menor de:

  1.135 m^3/h (315,28 lps) para procesos de alto riesgo de incendio/explosión (Craqueo Catalítico, Olefinas, fraccionamiento de GLP/LGN, Alquilación).

  682 m^3/h (189,44 lps) para procesos de riesgo medio (Destilación de crudo, Plantas de Amoníaco).

  455 m^3/h (126,39 lps) para procesos de bajo riesgo (Plantas de asfalto, Lubricante).

b) Por cada tubería sub-lateral: 114 m^3/h (31,67 lps) proveniente de cada sumidero.

c) Por cada tubería lateral: El flujo acumulado de los sumideros que drenen a través de ella.

d) A través de la tubería principal de drenaje, el flujo acumulado de las tuberías laterales que drenen a través de ella.

1.4.2 Conducto Principal de Drenaje Externo a las Areas de Proceso

Los conductos que reciben el flujo combinado de las áreas de tanques de almacenamiento, unidades de proceso, drenaje de vías públicas y otros, deberán dimensionarse para la cantidad total de agua de las áreas de proceso más el agua de lluvia estimada, o la cantidad total de agua de proceso más el caudal de agua contra incendio (valor no menor de 126,39 lps) requerido para el riesgo mayor de la instalación, utilizándose el flujo que resulte mayor. La cantidad de agua de lluvia estimada es acumulativa en la instalación. El caudal que se utilizará para el diseño, no incluirá aguas

contaminadas con productos químicos que no hayan sido neutralizadas, o que requieren un tratamiento diferente.

1.4.3 Llenaderos de Camiones y Estaciones de Bombeo Ubicados Fuera del Area de Proceso

El área de los llenaderos deberá estar completamente cubierto con concreto, o cualquier otro material que sea impermeable a los derrames de productos y resista el daño que pueda ocasionar un incendio. El área deberá tener una inclinación tal que permita que el derrame de hidrocarburos no fluya debajo de ningún vehículo. Además, el área deberá dividirse en áreas individuales de drenaje provistas de brocales y de canales abiertos que descarguen a sumideros, a fin de contener y limitar la extensión del derrame. En el ***Anexo 8***, se muestran detalles de este arreglo.

Los sumideros no podrán estar ubicados debajo del área de carga de los camiones. Se recomienda su colocación en el perímetro del área del llenadero, para minimizar la exposición a los camiones y equipos de carga. Debido a que el derrame normalmente se limita al área cercana a la conexión de la manguera, se deberá construir en este sitio un vertedero con sumidero. Un detalle típico de este sumidero, se muestra en el ***Anexo 9***.

Los sumideros y las tuberías conectadas a ellos, deberán estar dimensionados para permitir el desalojo rápido de los hidrocarburos derramados, el agua de lluvia y el agua contra incendio. Los sumideros deberán estar equipados con arresta-llamas y provistos de las trampas y sellos hidráulicos adecuados y podrán drenar a un embalse remoto de retención.

Las tuberías sub-laterales y laterales que sirvan estás áreas deberán diseñarse para drenar el caudal de agua de lluvia estimado, o el caudal de agua contra incendio, utilizándose el valor mayor. El agua contra incendio, será el 60 % del valor calculado según la sección 6.2 de la Norma PDVSA "Sistema de Agua Contra Incendio", donde dice que requieren un mínimo de 340 m^3/h (94,44 lps).

a) Por cada tubería sub-lateral: 110 m^3/h (30,56 lps) provenientes de cada sumidero.
b) Por cada tubería lateral: el flujo acumulado proveniente de los sumideros que drenan a ella. Esta cantidad no será menor de 227 m^3/h (63,06 lps).

1.4.4 Área de Tanque de Almacenamiento

El sistema de drenaje para áreas de tanques encerrados por muros, deberá diseñarse en base a la cantidad de agua de lluvia recogida en 24 horas, la cual deberá drenarse en un tiempo máximo de 6 horas.

El sistema deberá probarse para que con la válvula de drenaje completamente abierta, el nivel máximo de agua en el área encerrada por los diques, no exceda en 30 centímetros la altura de la base de soporte del tanque, tras 48 horas de combate continuo de incendio.

El diámetro máximo de la tubería de éste sistema de drenaje, será de 30 centímetros (12''). Los tanques atmosféricos deberán disponer de muros de contención de acuerdo a lo mencionado en la sección 1.3.

No se podrán instalar esferas de almacenamiento en lugares bajos, donde derrames de hidrocarburos puedan acumularse debajo de ellas. El suelo debajo y alrededor de estos tanques, será pavimentado e impermeable y deberá tener una pendiente mínima del dos y medio por ciento (2,5 %) hacia un sumidero, o lugar seguro. Este sumidero, deberá estar a una distancia tal que las llamas que en el se puedan originar, no afecten al tanque. Se deberá diseñar tomando en cuenta que las llamas pueden desarrollarse a un ángulo de 45° con respecto a la línea vertical y que la altura de éstas, puede ser varias veces el diámetro del sumidero. La capacidad de recolección del sumidero, deberá ser equivalente entre el cinco y diez por ciento (5 al 10%) del volumen de los recipientes ubicados dentro del muro de contención.

Los brocales que se construyan alrededor de tanques presurizados, deberán tener una altura máxima de 0,60 metros.

2. CÁLCULO DE TUBERÍAS

Esta sección presenta una metodología sencilla para calcular el diámetro de proyecto de tuberías, partiendo de parámetros de diseño establecidos con el propósito de garantizar un funcionamiento por gravedad.

A continuación se presenta el procedimiento y los parámetros utilizados para la realización del **Gráfico 1**, el cual permitirá la determinación del diámetro de la tubería a utilizar para un caudal, pendiente y Manning conocidos.

2.1 Calculo del Diámetro de la Tubería de Descarga del Sumidero o Tanquilla. Gráfico 1: Caudal (Q) vs Pendiente (So)

2.1.1 Objetivo

Determinar de manera sencilla el diámetro de la tubería que deberá ser utilizada en la descarga de un sumidero o tanquilla para un determinado caudal de diseño, pendiente y Número de Manning. El gráfico se limita a los diámetros de tuberías de acero y hierro fundido que se encuentran en el mercado.

2.1.2 Base Teórica Utilizada Para los Cálculos

Para la realización de los cálculos se utilizaron los conceptos de hidráulica de conductos para flujo a superficie libre, obtenidos de los textos de *Mecánica de Fluidos y Drenaje Urbano de J. J. Bolinaga*. A continuación se muestran todos los conceptos y fórmulas utilizadas para el diseño del **Gráfico 1**.

a) Flujo Uniforme

Es aquel flujo donde la velocidad media es constante y, en consecuencia, no existe ningún tipo de aceleración. De acuerdo con la ecuación de la continuidad, el área mojada será también constante, en razón de lo cual sucederá igual con las profundidades de agua. Lo anterior implica, entonces, que en un flujo uniforme la línea de fondo, la línea de la superficie de agua (línea piezométrica) y la línea de energía son paralelas, o sea:

$$So = Sa = S$$

donde So, Sa y S son las pendientes correspondientes a las tres líneas antes mencionadas.

El flujo uniforme no ocurre si se le considera dentro de un concepto riguroso, pero en la práctica, si So y la sección del canal son constantes, llega un momento que la variación de la profundidad de agua es tan pequeña, que no se comete error apreciable al considerarlo así.

b) Fórmula de Manning

La fórmula propuesta por el irlandés Robert Manning, se transformo en la fórmula más usada para el cálculo del *flujo uniforme* en canales. La fórmula se expresa así:

$$Q = \frac{A * R^{\frac{2}{3}} * So^{\frac{1}{2}}}{n}$$

donde A y R vienen en m^2 y m respectivamente, Q en m^3/seg, y n, denominada la n de Manning, es un coeficiente dependiente del material de los contornos del conducto.

Esta fórmula debe ser utilizada para canales largos de alineación recta y sección constante, lo cual permite, en estos casos, que dichos canales o conductos puedan ser proyectados para flujo uniforme.

c) Funcionamiento de conductos cerrados con flujo a superficie libre

"Los conductos cerrados de drenaje rara vez funcionan a plena capacidad; la mayor parte del tiempo funcionarán parcialmente llenos. Como en el caso de conductos abiertos, se fijan las dimensiones suponiendo flujo permanente, uniforme, a sección plena, para

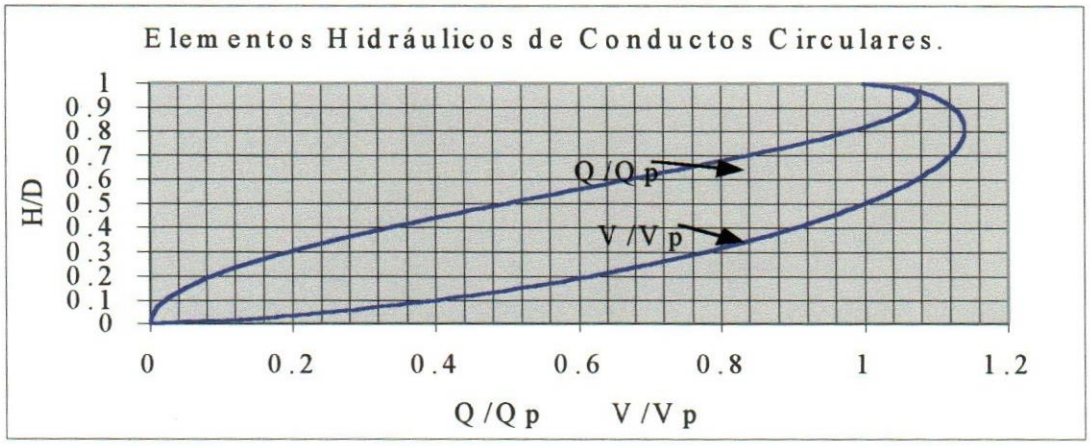


Figura 1

luego comprobarlas, al menos de acuerdo a flujo gradualmente variado."

Los elementos hidráulicos de un conducto circular, parcialmente lleno, aparecen expresados, en relación a los mismos elementos a sección plena, en la ***Figura 1***, donde: Q es el caudal de diseño, Qp el caudal a sección plena, V velocidad del flujo, Vp velocidad a sección plena, H el tirante de agua y D es el diámetro de la tubería.

2.1.3 Parámetros de Diseño

1. Se utilizó como caudal máximo o de diseño Qd, el 90% del caudal a sección plena Qp. Este parámetro de diseño fue utilizado para garantizar que la tubería no trabaje a presión, ya que de ocurrir esto se podría producir succión, acabando con la protección que el sello hidráulico le proporciona al sistema. Por otra parte, utilizando este caudal se garantizará que no exista una altura conjugada para un mismo caudal (Ver ***Figura 1***), lo que ocasionaría problemas para el análisis de los perfiles de flujo y para la determinación de los niveles normales del tirante de agua.

2. El caudal mínimo utilizado fue Qmín = 0.45*Qp. Se estableció un caudal mínimo como parámetro de limitación con el propósito de darle a la tubería un rango de trabajabilidad aprovechable, por debajo del cual el diseño sería antieconómico.

3. La velocidad máxima permitida es de 5m/s. Esta velocidad se escogió como parámetro de seguridad no importando el material o el tipo de tubería para proteger de la abrasión a piezas especiales y limitar las velocidades máximas de salida.

4. La velocidad mínima usada para el diseño fue la establecida por el INOS para alcantarillados de aguas pluviales de 0,75 m/s (Para evitar el deposito de sedimentos en la tubería).

5. Los diámetros de tuberías analizados fueron: 4", 6", 8", 10", 12", 16", 20" y 24". Estos son diámetros nominales de fabricación de tuberías y piezas especiales en acero y hierro fundido según la Norma Americana. Solo se utilizaron estos diámetros debido a que se consideró que el análisis para diámetros mayores sería innecesario ya que le corresponderían caudales muy grandes que excederían las capacidades de los sumideros utilizados en plantas petroleras, más aun con las limitaciones de áreas contribuyentes que señalan las normas. Por otra parte el diámetro mínimo estipulado por la norma de drenaje de PDVSA es de 6", lo que quiere decir que de 4" no se utilizarán para el diseño. Los ***Anexos 10, 11 y 12*** muestran otro rango de tuberías en caso de que estas sean de concreto u otro material.

2.1.4 Criterios Utilizados Para el Cálculo

1. Para el cálculo de caudales a sección plena (Qp) se utilizó la fórmula de Manning ya señalada.
2. Para el cálculo de los caudales de diseño y caudales mínimos, se utilizó la ***Figura 1*** donde están representados los parámetros hidráulicos en conductos circulares.

3. Todos los resultados obtenidos, se tabularon para cada una de las tuberías estudiadas y luego se graficaron en un solo gráfico (**Gráfico 1**).

2.1.5 Descripción del Gráfico

Se graficó en papel logarítmico y para distintos diámetros de tubería, la variación de los caudales con respecto a la pendiente de colocación para un Número específico de Manning. Cada tubería presentará dos rectas de un mismo color, la superior correspondiente a un caudal de diseño igual al 90% del caudal a sección plena (Qd = 0.9*Qp), y la inferior correspondiente a un caudal mínimo correspondiente a un 45% del caudal a sección plena (Qmín = 0,45*Qp). De igual forma estas rectas estarán limitadas por velocidades mínimas (0,75 m/s) y velocidades máximas (5 m/s). Estos parámetros les darán a cada tubería un rango de trabajabilidad razonable, que de no cumplirse para una tubería se podrá escoger otra dentro del mismo gráfico ya que en este estarán representados todos los rangos de trabajabilidad para distintos diámetros de tubería. Así mismo se realizaron los cálculos para distintas n de Manning, con el fin de considerar diferentes rugosidades (materiales).

Gráfico 1. Cálculo del Diámetro de la Tubería
(n = 0.011)

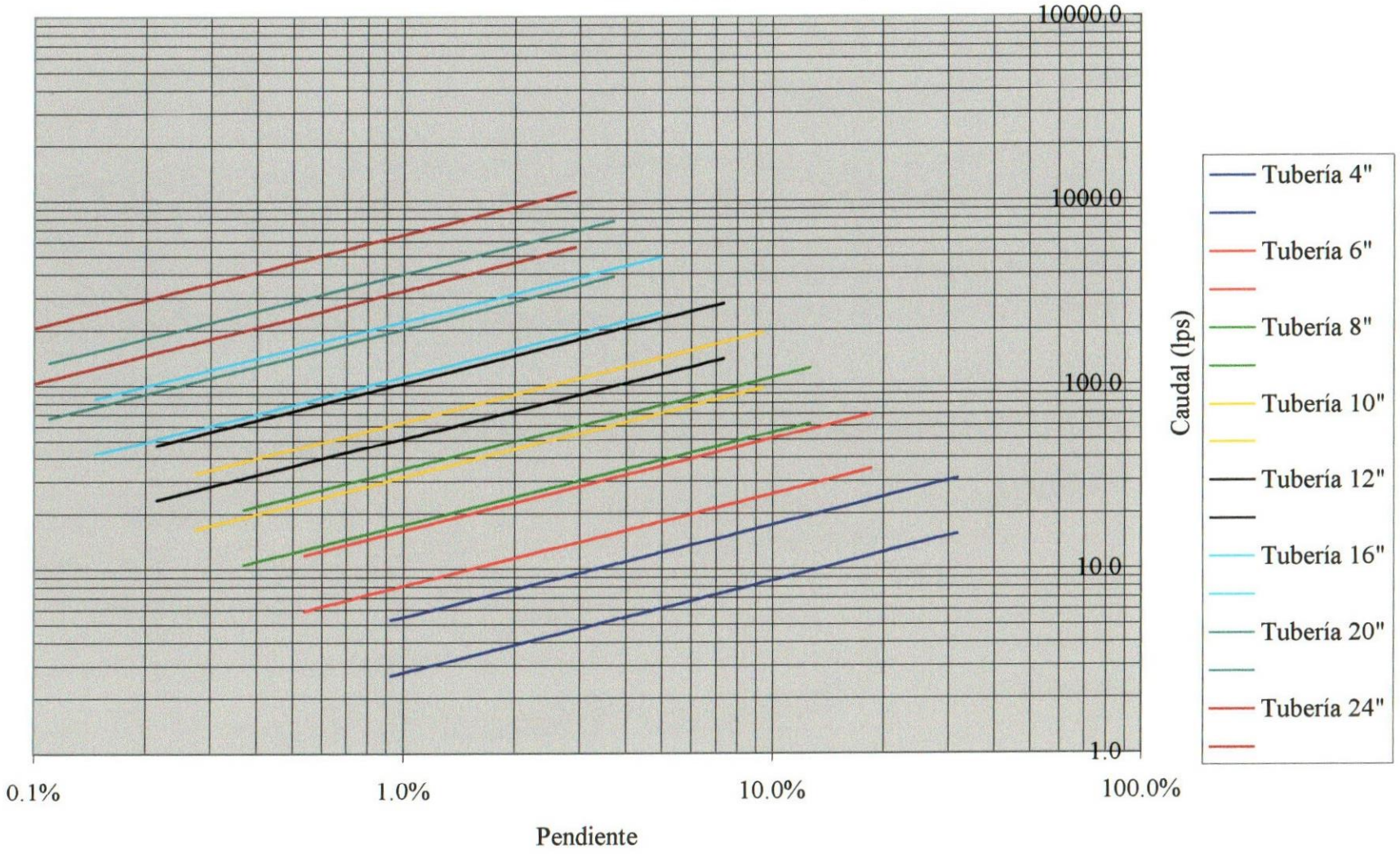


Gráfico 1.Cálculo del Diámetro de la Tubería
(n = 0.013)

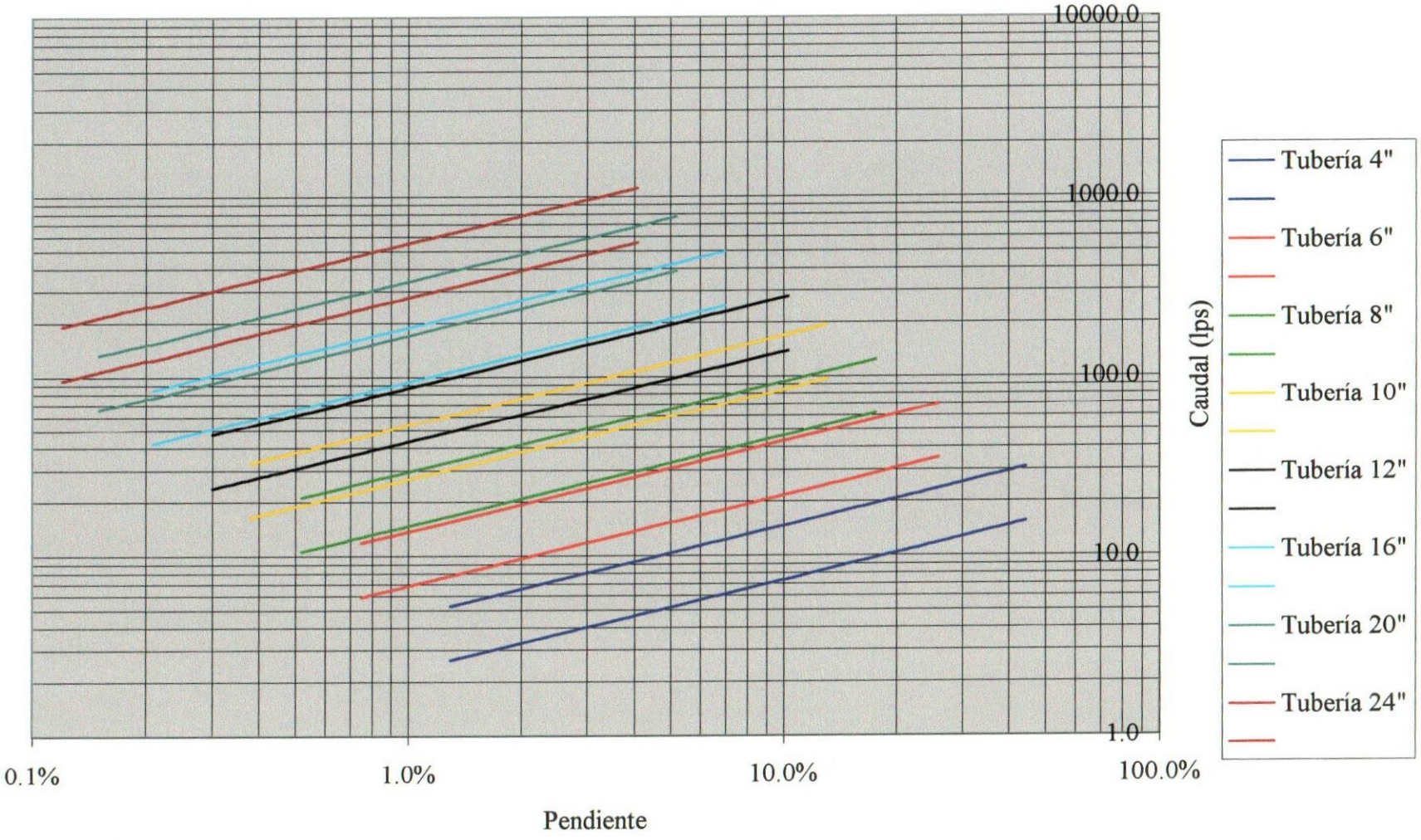
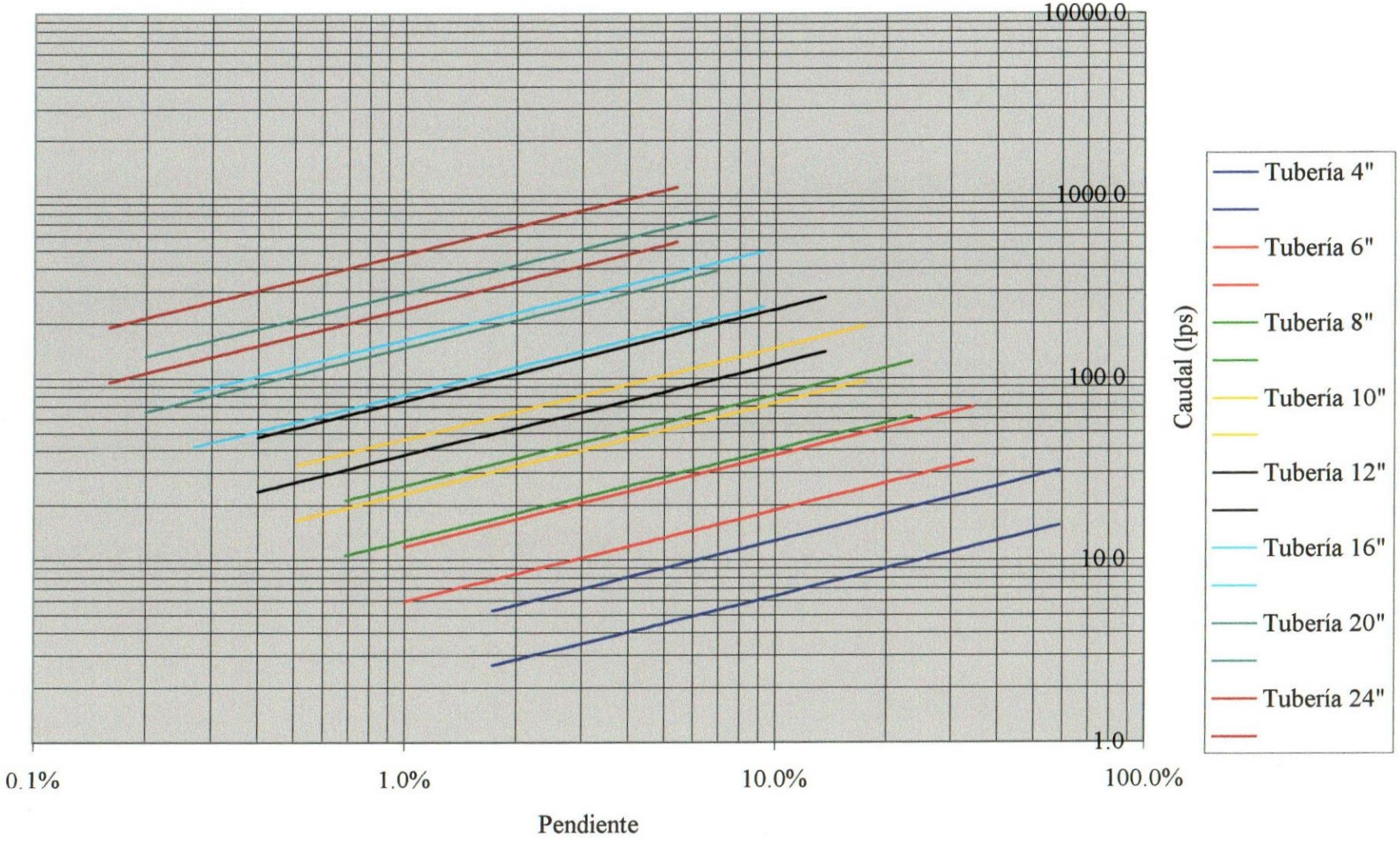


Gráfico 1. Cálculo del Diámetro de la Tubería
(n = 0.015)



3. DISEÑO DE SUMIDEROS Y TANQUILLAS

La norma de drenaje de PDVSA presenta los requerimientos mínimos para el diseño de sumideros y tanquillas sin presentar ninguna metodología para el diseño detallado de los mismos, especialmente donde se necesiten el uso de sellos hidráulicos. Por esta razón, se procedió a realizar 5 gráficos de diseño con el propósito de determinar las dimensiones de tanquillas o sumideros que posean sellos hidráulicos. Los elementos de diseño que se podrán determinar por medio de los gráficos serán:

- Área de la reja del sumidero (Gráfico 2)
- Nivel de agua sobre la rasante inicial de la tubería utilizada (Gráficos 3, 4, 5, 6 y la ecuación 29, $h_L = \frac{8 * K_L * Q^2}{g * \pi^2 * d^4}$).

Los parámetros restantes para el diseño serán los establecidos por la Norma de Drenaje de PDVSA, mencionada al inicio de este trabajo de grado.

3.1 Determinación del Área de la Reja del Sumidero. Gráfico 2: Area de la Reja(A) vs. Caudal(Q)

3.1.1 Objetivo

Determinar de manera sencilla el área de la reja a utilizar en los sumideros utilizados en las áreas de proceso y llenaderos de camiones en las plantas petroleras.

3.1.2 Base Teórica Utilizada Para los Cálculos

Para la realización de los cálculos se utilizaron los conceptos de hidráulica de sumideros, obtenidos del texto de *Drenaje Urbano de J. J. Bolinaga*. A continuación se muestran todos los conceptos y fórmulas utilizadas para el diseño del **Gráfico 2**.

a) Sumideros en puntos bajos

Un sumidero de reja de punto bajo, equivale hidráulicamente a la descarga por un orificio, dependiendo su capacidad del área del orificio y de la profundidad del área del orificio y de la profundidad o carga del agua sobre la reja.

Para estimar la capacidad de sumideros de rejas en puntos bajos, puede utilizarse la fórmula obtenida del trabajo de la *Johns Hopkins University*:

$$Qi = 600 * A * \sqrt{2 * g} * Yp$$

donde Qi (lps) es el gasto interceptado, Yp (m) la profundidad promedio del agua sobre la reja, A (m^2) al área neta útil de la apertura.

3.1.3 Parámetros de Diseño

1. El área neta mínima de la reja será de 0,36 m^2, es decir, el 72% del área total mínima de la reja, según las especificaciones de rejas tipo INOS, donde el área neta mínima de la reja será igual al área mínima del sumidero (0,36 m^2 según la Norma de Drenaje de PDVSA). Según estos requerimientos el área total mínima de la reja será igual a 0,5 m^2, por lo que solamente se graficará para valores mayores a esta área.

2. El área útil de la reja será el 50% del área total de la misma, de acuerdo a las especificaciones para rejas tipo INOS.

3. Se tomaron en cuenta tirantes de agua entre 1 y 10 cm por encima de la rejilla.

4. Para cada uno de los tirantes se graficó una recta de Caudal vs Área total.

3.2.2 Base Teórica Utilizada Para los Cálculos

Para la realización de los cálculos se utilizaron los conceptos de flujo a superficie libre y perfiles de flujo, obtenidos de los textos de *Mecánica de Fluidos y Drenaje Urbano de J. J. Bolinaga*. A continuación se muestran todos los conceptos y fórmulas utilizadas para el diseño del **Gráfico 3**.

a) Energía Específica

$$E = y + \alpha\left(\frac{V^2}{2*g}\right) = y + \alpha\left(\frac{Q^2}{2*g*A^2}\right)$$

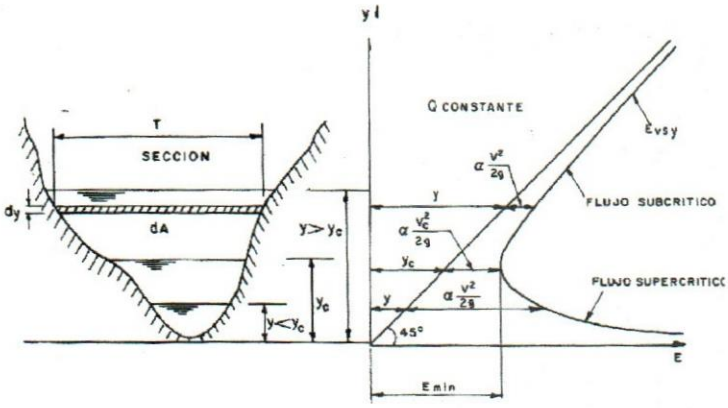
Donde A es el área del flujo correspondiente a la profundidad 'y', que será sólo función de 'y' y de la forma geométrica de la sección de flujo. La segunda igualdad, tiene tres variables E, Q e 'y'; lo cual permite, manteniendo a 'y' como variable independiente, analizar la variación de E para Q constante y viceversa.

Suponiendo Q constante y una sección dada se pueden dar valores a 'y' y calcular para cada uno de ellos la correspondiente energía específica. La curva representativa resulta invariablemente de la forma indicada en la ***Figura 2***, la cual es asintótica al eje de las E y a una recta inclinada de 45 grados; definiendo así dos ramales que se unen en el punto de energía específica mínima. La curva indica que para el valor de E existen dos profundidades (llamadas alternas) salvo para E = Emín, donde hay una sola profundidad que se denomina *profundidad crítica* yc. El valor de esta última profundidad, para un gasto constante puede calcularse derivando la ecuación de energía específica e igualándola a cero, de donde se obtiene la expresión mostrada:

$$\alpha\left(\frac{Q^2}{g}\right) = \left(\frac{Ac^3}{Tc}\right)$$

donde Ac y Tc corresponden a la profundidad crítica. (T: Ver Sección 3.2.4.1)

Los flujos cuyas profundidades son mayores que la crítica se llaman *regímenes subcríticos o tranquilos,* representados por la rama superior del diagrama de energía específica. Los flujos cuyas profundidades son menores que la crítica se denominan *regímenes supercríticos o torrenciales,* los cuales están representados por la rama inferior de la ***Figura 2***, y son de altas velocidades.

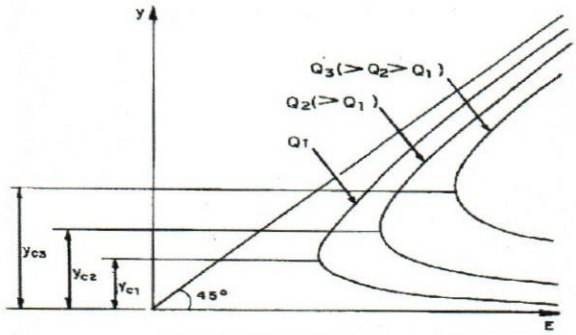


— DIAGRAMA DE ENERGIA ESPECIFICA EN FLUJO CON SUPERFICIE LIBRE

Figura 2 (Reproducida del libro Mecánica Elemental de los Fluidos, J. J. Bolinaga)

Si el gasto varía se obtendrá una curva o diagrama de energía específica diferente para cada valor del caudal, tal como se muestra en la ***Figura 3;*** en consecuencia, existirá un valor diferente de la profundidad crítica y de la energía específica mínima para cada gasto.

Un aumento de la energía específica produce efectos contrarios en las profundidades, para cada tipo de flujo; en subcrítico aumentan, mientras que en supercrítico disminuyen. La ecuación de energía y la ***Figura 2*** establecen, claramente, que un gasto determinado puede ser conducido con la misma energía específica bajo dos regímenes, uno de alta y otro de baja velocidad, con la sola excepción de la condición crítica (y = yc). Una conclusión adicional es muy importante: para que un flujo permanente pueda ocurrir, su energía específica debe ser igual o mayor que Emín.



— VARIACION DEL DIAGRAMA DE ENERGIA ESPECIFICA CON Q

Figura 3 (Reproducida del libro Mecánica Elemental de los Fluidos, J. J. Bolinaga)

b) Análisis de los Perfiles de Flujo

La ecuación que rige el flujo gradualmente variado, es decir, la variación de la profundidad para canales prismáticos, puede ser expresada:

$$\frac{dx}{dy} = \frac{So\left(1-\left(\frac{Q}{Qn}\right)^2\right)}{\left(1-\left(\frac{Q}{Qc}\right)^2\right)}$$

o sea, aquel que pasaría para una profundidad 'y', si el flujo fuese uniforme; Qc es el gasto crítico, definido como el gasto que existiría si la profundidad crítica yc fuese la real y. donde dx/dy es la pendiente de la superficie de agua; Qn el denominado gasto normal.

Puede demostrarse que, de acuerdo a la posición relativa de la profundidad normal yo y de la crítica yc, la variación de y con x, solo puede ocurrir de acuerdo a ciertas formas o perfiles de agua. Estas formas posibles se indican en la ***Figura 4***, para los siguientes tipos de pendientes:

1. *Las pronunciadas S.* Denominadas también fuertes, que son aquellas donde yc > yo; es decir, que si existiera flujo uniforme para el gasto Q, la profundidad de agua sería menor que la crítica, (Pendiente Supercrítica).

2. *Las Suave M,* donde yc < yo y sucede la situación contraria a la anterior, por lo que la pendiente será Subcrítica.

3. *La Crítica C,* que ocurre cuando yc = yo es decir, que de existir flujo uniforme, sería además crítico.

4. *La Horizontal H,* que es la pendiente nula, donde lógicamente no puede existir flujo uniforme.

5. *La adversa A,* que es la pendiente contraria al movimiento, donde el flujo uniforme sería imaginario.

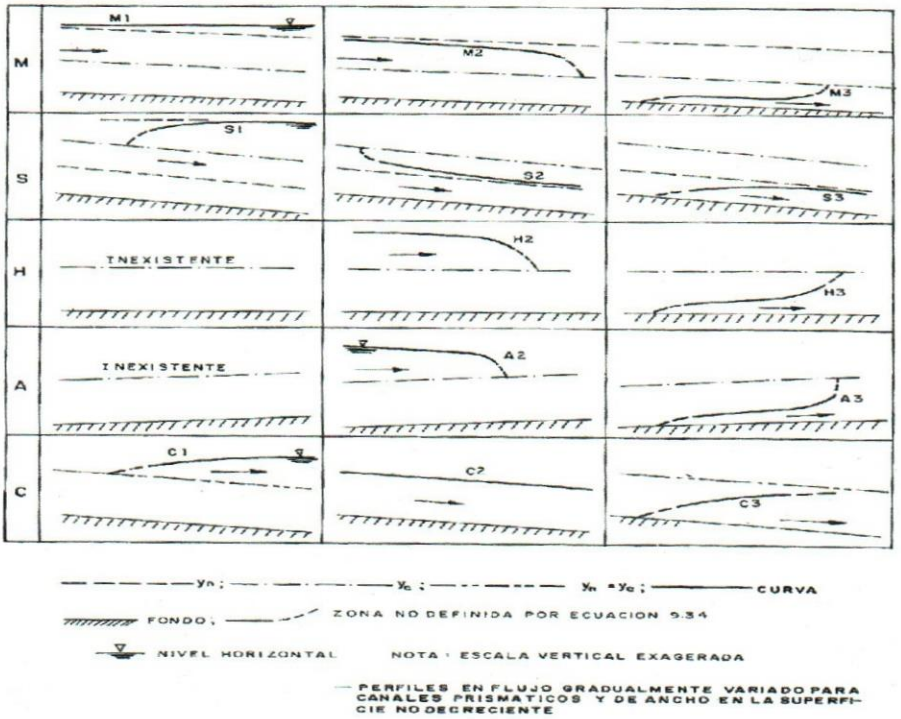


Figura 4 (Reproducida del libro Mecánica Elemental de los Fluidos, J. J. Bolinaga)

Observando la ***Figura 4***, puede verse que existen varias posibilidades para cada tipo de pendiente, y el hecho de que esta sea pronunciada, suave o crítica, no implica que el flujo sea subcrítico, supercrítico o crítico. Debe también notarse que los perfiles tienden a ser tangentes a ''yo'' y perpendiculares a ''yc''.

Cuando un conducto abierto está formado por diferentes tramos con varias pendientes y secciones, el perfil del agua estará representado por combinaciones de estos perfiles.

c) Perfiles de Flujo para Secciones Circulares.

Los perfiles posibles para las secciones circulares son diferentes, ya que el diámetro aumenta primero y luego disminuye y estos se podrán apreciar en la ***Figura 5***. Es de notar que en la figura aparecen dos profundidades normales (yo) y (yo') que corresponden a los valores de la ***Figura 1*** para el mismo Q/Qp. El valor de yo* corresponde a la altura para Qmáx.

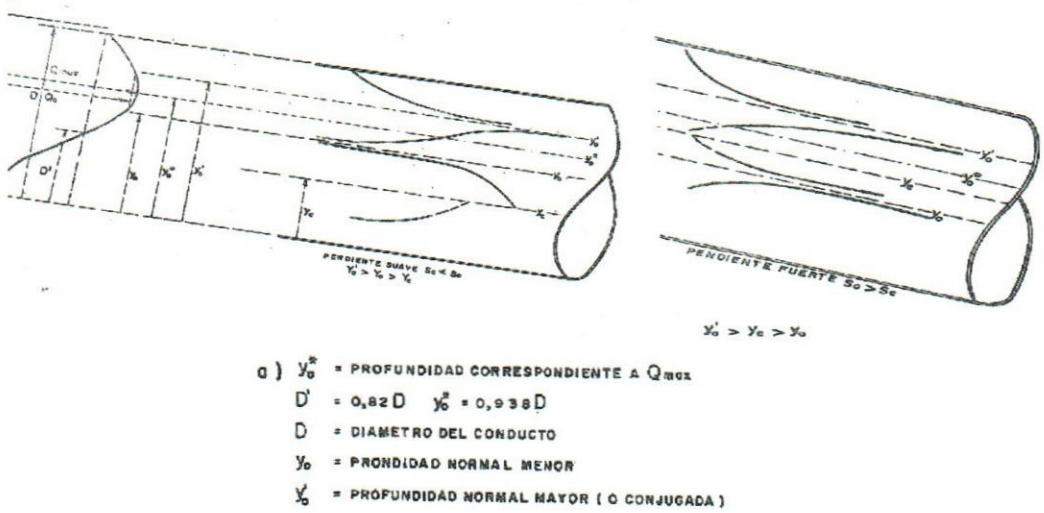


Figura 5. Perfiles de Agua en Conductos Cerrados
(Reproducida del libro Drenaje Urbano, J. J. Bolinaga)

Nota: para el caso de esta investigación Q/Qp = 0,9, por lo que se concluye que para el análisis de los perfiles de flujo no se tomarán en cuenta las profundidades normales (yo') y (yo*).

3.2.3 Parámetros de Diseño

1. El diseño se realizara para un caudal máximo de 0,9*Qp y un mínimo de 0,45*Qp lo que quiere decir que no trabajará a sección plena.

2. Tanto en la entrada como en el codo de la tubería se considerará un flujo a sección plena.

3. Por cuanto el flujo asciende a sección plena por la tubería vertical del codo el régimen del flujo en esa sección será considerado subcrítico (ver ***Figura 6a y 6b***)

4. .Si la pendiente de la tubería después del codo es menor que la pendiente crítica (So< Sc), el flujo aguas abajo será subcrítico, es decir, que el tirante normal de agua **yo** se encontrará por encima de la altura crítica **yc**, por lo que el perfil de agua solo sufrirá una pequeña transición debido a una pequeña perdida de energía justo después del codo y luego adquirirá su nivel normal energía aguas abajo (ver ***Figura 6a***).

5. Si la pendiente de la tubería después del codo es mayor que la pendiente crítica (So> Sc), el flujo aguas abajo será supercrítico, es decir, que el tirante normal de agua **yo** se encontrará por debajo de la altura crítica **yc**. Por consiguiente, para que el flujo pase de un régimen subcrítico (aguas arriba) a un régimen supercrítico (aguas abajo), ocurrirá una transición régimen a través de un perfil de flujo gradualmente variado **S2** (Ver ***Figura 4***), el cual tenderá al tirante normal de agua **yo** aguas abajo. El punto de transición entre un régimen y otro le corresponderá un nivel de energía mínima (**Emín**), con el que se determinará el nivel de energía en la rasante inicial de la tubería (ver ***Figura 6b***).

REGIMEN SUBCRITICO

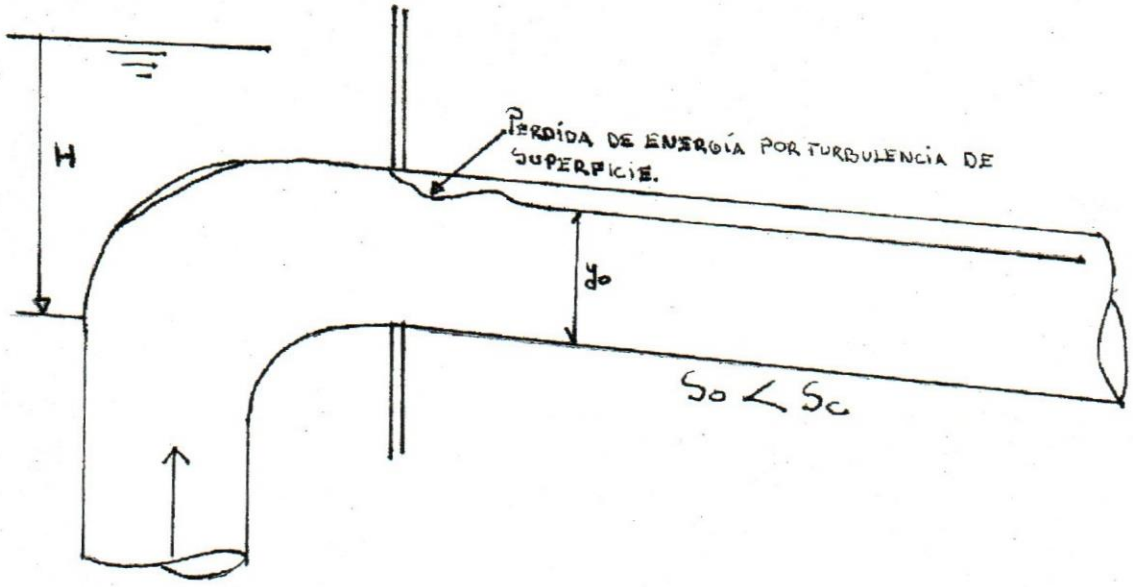


Figura 6a

REGIMEN SUPERCRITICO

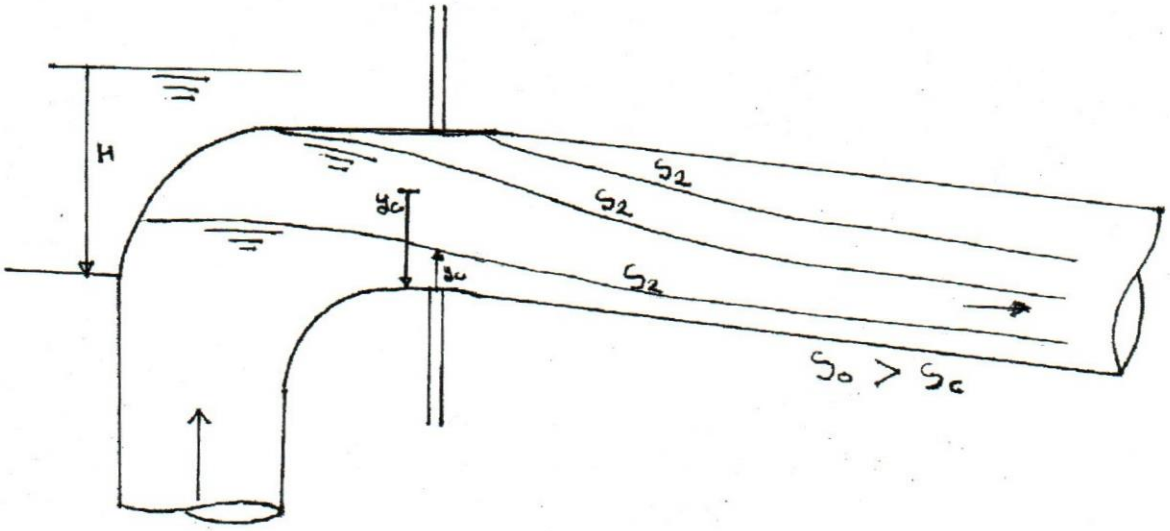
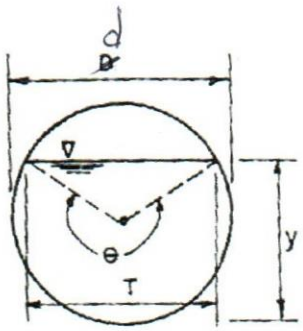


Figura 6b

3.2.4 Criterios Utilizados Para el Cálculo

3.2.4.1 Ecuaciones Geométricas



$$A = \frac{1}{8}(\theta - \operatorname{sen}\theta)d^2 \quad \text{.....(1)}$$

$$y = \frac{d}{2}\left(1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\right) \quad \text{.....(2)}$$

$$P = \frac{1}{2}\theta * d \quad \text{.....(3)}$$

$$T = d * \operatorname{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad \text{.....(4)}$$

3.2.4.2 Ecuaciones Hidráulicas

a) Régimen Uniforme: Ecuación de Manning (Gráfico 4)

$$Q = \frac{A * R^{\frac{2}{3}} * So^{\frac{1}{2}}}{n} \quad \text{.....(5)}$$

Donde $R = \frac{A}{P}$:

$$\frac{Q*n}{So^{\frac{1}{2}}} = \frac{A*A^{\frac{2}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}} \Rightarrow \frac{Q*n}{So^{\frac{1}{2}}} = \frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}} \quad \text{.....(6)}$$

Sustituyendo (1) y (3) en (6) se obtiene:

$$K = \frac{Q*n}{So^{\frac{1}{2}} * d^{\frac{8}{3}}} = \left(\frac{1}{8}\right)\frac{(\theta - \operatorname{sen}\theta)^{\frac{5}{3}}}{2^{\frac{4}{3}} * \theta^{\frac{2}{3}}} \quad \text{.....(7)}$$

Despejando θ de la ecuación (2) se obtiene:

$$\theta = 2 * ar\cos\left(1 - \frac{2*yo}{d}\right) \quad \text{.....(8)}$$

Sustituyendo (8) en (7) se obtiene:

$$K = f\left(\frac{yo}{d}\right) \quad \text{.....}\mathbf{(9)}$$

b) Flujo Crítico (Supercrítico, Gráfico 5)

$$E\,\text{mín} = yc + \frac{Q^2}{2*g*Ac^2} \quad \text{.....(10)}$$

$$\frac{E\,\text{mín}}{yc} = 1 + \frac{Q^2}{2*g*Ac^2*yc} \quad \text{.....(11)}$$

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{Ac^3}{Tc} \quad \text{.....(12)}$$

Sustituyendo (12) en (11) se obtiene:

$$\frac{E\,\text{mín}}{yc} = 1 + \frac{Ac^3}{2 * Tc * Ac^2 * yc} = 1 + \frac{Ac}{2 * Tc * yc} \quad \text{.....} (13)$$

Las ecuaciones (1) y (4) sustituidas en (13) producen:

$$\frac{E\,\text{mín}}{yc} = 1 + \frac{\frac{1}{8}(\theta c - \text{sen}\,\theta c)d^2}{2 * d * \text{sen}\left(\frac{\theta c}{2}\right)yc} = 1 + \frac{1}{16}\frac{(\theta c - \text{sen}\,\theta c)}{\text{sen}\left(\frac{\theta c}{2}\right)}\left(\frac{d}{yc}\right) \quad \text{.....} (14)$$

Para el caso de flujo crítico, de la ecuación (8) se obtiene:

$$\theta c = 2 * ar\cos\left(1 - \frac{2 * yc}{d}\right) \quad \text{.....} (15)$$

Al sustituir (15) en (14) se obtiene:

$$\frac{E\,\text{mín}}{yc} = f\left(\frac{yc}{d}\right) \quad \text{.....} \mathbf{(16)}$$

Por otra parte: (Gráfico 3)

$$Z = \frac{Q}{\sqrt{g}} \Rightarrow Q = Z\sqrt{g} \Rightarrow Q^2 = Z^2 * g \quad \text{.....} (17)$$

Sustituyendo (17), (1) y (3) en (12) se obtiene:

$$\frac{Z^2 * g}{g} = \frac{\left(\frac{1}{8}(\theta c - \text{sen}\,\theta c)d^2\right)^3}{d * \text{sen}\left(\frac{\theta c}{2}\right)} \quad \text{.....} (18)$$

Simplificando la ecuación (18) se obtiene:

$$\frac{Z}{d^{\frac{5}{2}}} = \frac{(\theta c - \operatorname{sen}\theta c)^{\frac{3}{2}}}{8^{\frac{3}{2}} * \operatorname{sen}^{\frac{1}{2}}\left(\frac{\theta c}{2}\right)} \quad \text{.....} (19)$$

Sustituyendo la ecuación (15) en la (19) se obtiene:

$$\frac{Z}{d^{\frac{5}{2}}} = f\left(\frac{yc}{d}\right) \quad \text{.....} \mathbf{(20)}$$

c) Flujo Subcrítico (Gráfico 6)

$$E = yo + \frac{Q^2}{2 * g * Ao^2} \quad \text{.....} (21)$$

$$\frac{E}{yo} = 1 + \frac{Q^2}{2 * g * Ao^2 * yo} \quad \text{.....} (22)$$

De (6) se despeja Q y se eleva al cuadrado para obtener:

$$Q^2 = \frac{A^{\frac{10}{3}}}{P^{\frac{4}{3}}} * \frac{So}{n^2} \quad \text{.....} (23)$$

Se sustituye (23) en (22) y se obtiene:

$$\frac{E}{yo} = 1 + \frac{A^{\frac{10}{3}} * So}{2 * g * A^2 * P^{\frac{4}{3}} * n^2 * yo} \quad \text{.....} (24)$$

Simplificando (24) y sustituyendo en ella (1) y (3) se obtiene:

$$\frac{E}{yo} = 1 + \left(\frac{d}{y}\right)\left(\frac{\theta - \operatorname{sen}\theta}{\theta}\right)^{\frac{4}{3}}\left(\frac{So * d^{\frac{1}{3}}}{124{,}6 * n^2}\right) \quad \text{.....(25)}$$

Donde $\left(\frac{So * d^{\frac{1}{3}}}{124{,}6 * n^2}\right) = R$

Sustituyendo (8) en (25) se obtiene:

$$\frac{E}{yo} = f\left(\frac{yo}{d}, n, So, d\right) \quad \text{.....} \mathbf{(26)}$$

3.2.4.3 Ecuación Simplificada para Perdidas Localizadas

Ecuación de perdidas:

$$h_L = K_L \frac{Q^2}{2 * g * A^2} \quad \text{.....(27)}$$

Área:

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} \quad \text{.....(28)}$$

Sustituyendo (28) en (27) se obtiene:

$$h_L = \frac{8 * K_L * Q^2}{g * \pi^2 * d^4} \quad \text{.....} \mathbf{(29)}$$

3.2.5 Descripción de las Variables Utilizadas en los Gráficos

<u>Gráfico 3</u>: $z/d^{5/2}$ vs. yc/d

Este Gráfico permite determinar la relación yc/d partiendo de la relación $z/d^{5/2}$, donde:

$z = Q/g^{1/2}$.

yc: Altura crítica (m).

d: Diámetro de la tubería (m).

Q: Caudal de diseño (m^3/s).

g: Aceleración de gravedad (m/s^2).

- **<u>Gráfico 4</u>: K vs. yo/d**

Este Gráfico permite determinar la relación yo/d partiendo de la constante K, donde:

$K = Q*n/(So^{1/2}*d^{8/3})$

yo: Altura normal del agua (m).

d: Diámetro de la tubería (m).

Q: Caudal de diseño (m^3/s).

n: Número de Manning.

So: Pendiente de la tubería.

- **<u>Gráfico 5</u>: Emín/yc vs. yc/d**

Este Gráfico permite determinar la relación Emín/yc partiendo de la relación yc/d determinada en el Gráfico 3, donde:

yc: Altura crítica (m).

d: Diámetro de la tubería (m).

Emín: Energía mínima (m).

- **<u>Gráfico 6</u>: R vs. E/yo**

Este Gráfico permite determinar la relación E/yo partiendo de la constante R y del valor yo/d determinado en el Gráfico 4, donde:

$R = So*d^{1/3} /(124.6*n^2)$

E = Nivel de energía (m).

yo: Altura normal del agua (m).

d: Diámetro de la tubería (m).

n: Número de Manning.

So: Pendiente de la tubería.

3.2.6 Pasos Para la Utilización de los Gráficos 3, 4, 5, 6 en el Cálculo de la Altura del Agua sobre la Rasante Inicial de la Tubería

1. Se deberá conocer el diámetro (d) en metros, el caudal (Q) en m^3/s, la pendiente So y el Número de Manning (n).

2. Determinar yc/d partiendo del valor de $z/d^{5/2}$ en el **Gráfico 3**.

3. Determinar yo/d a partir de la constante K en el **Gráfico 4**.

4. Comparar los valores de yc/d y yo/d determinando cual de los dos es el mayor.

5. Si yc/d > yo/d, el régimen en que se trabajará será el supercrítico, por lo que se deberá utilizar el **Gráfico 5**, en el cual se podrá determinar el valor de Emín/yc partiendo del valor yc/d obtenido del **Gráfico 3**.

Gráfico 2. Determinación del Área de la Reja del Sumidero

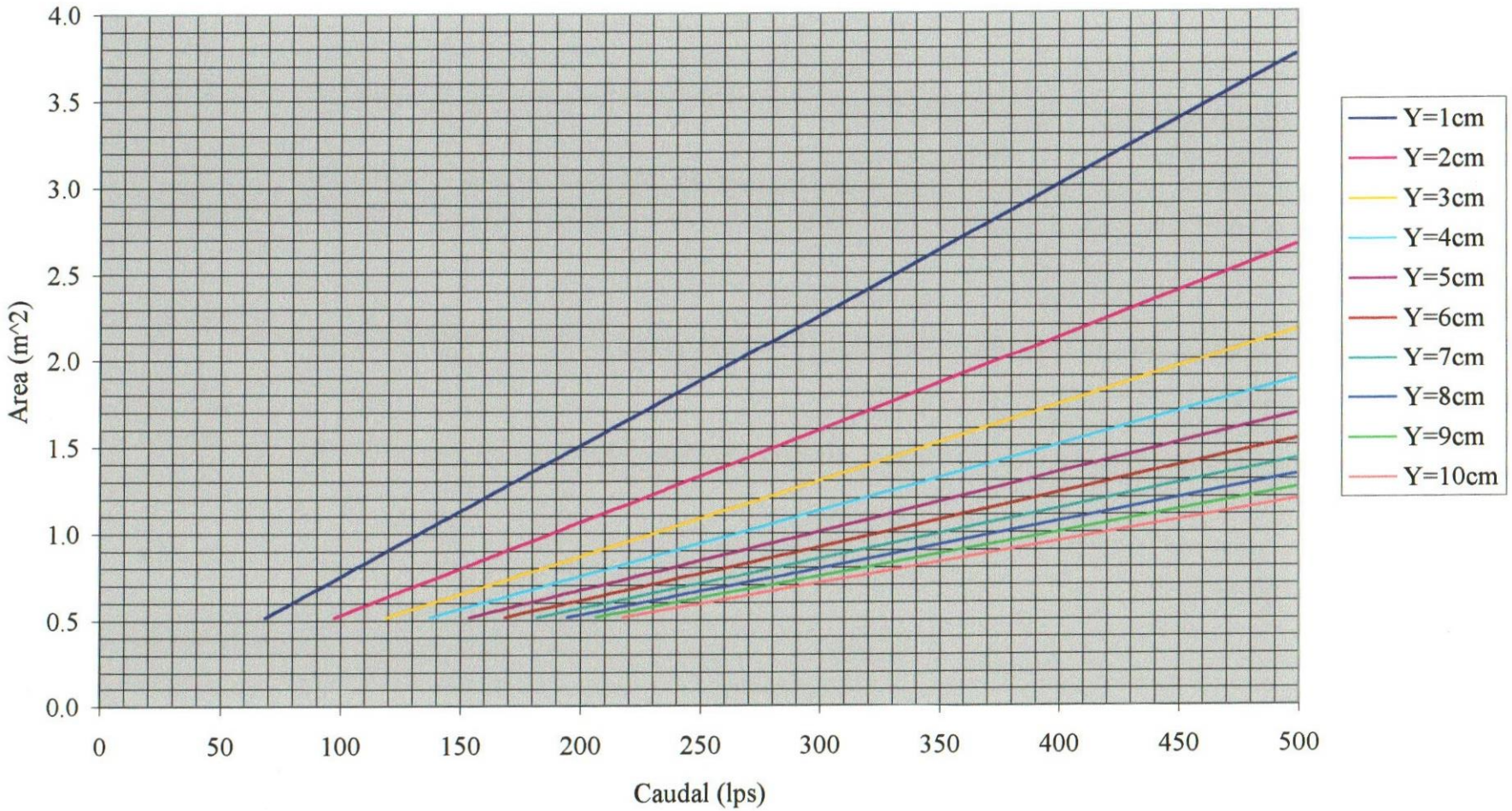


Gráfico 3. Determinación de yc/d

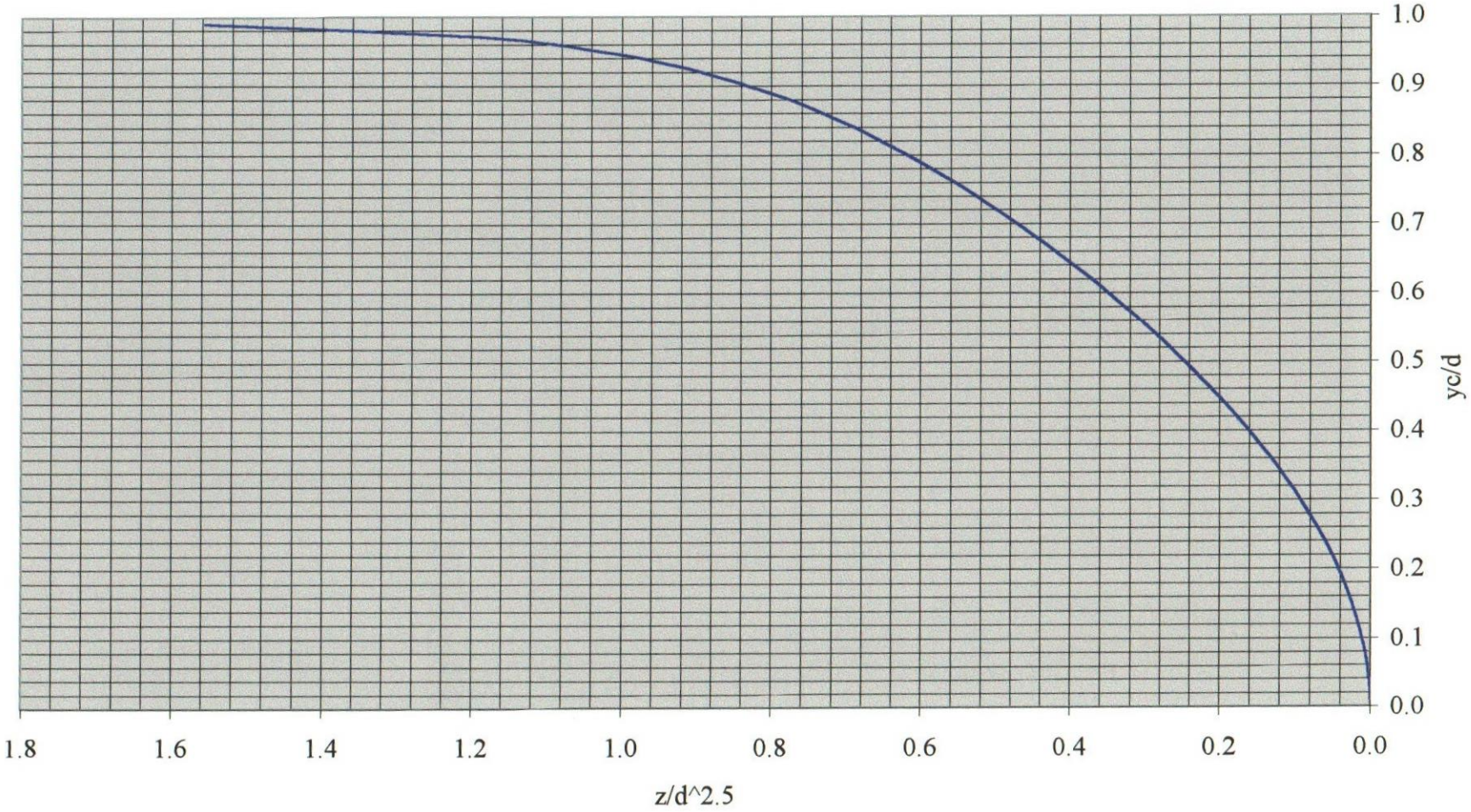
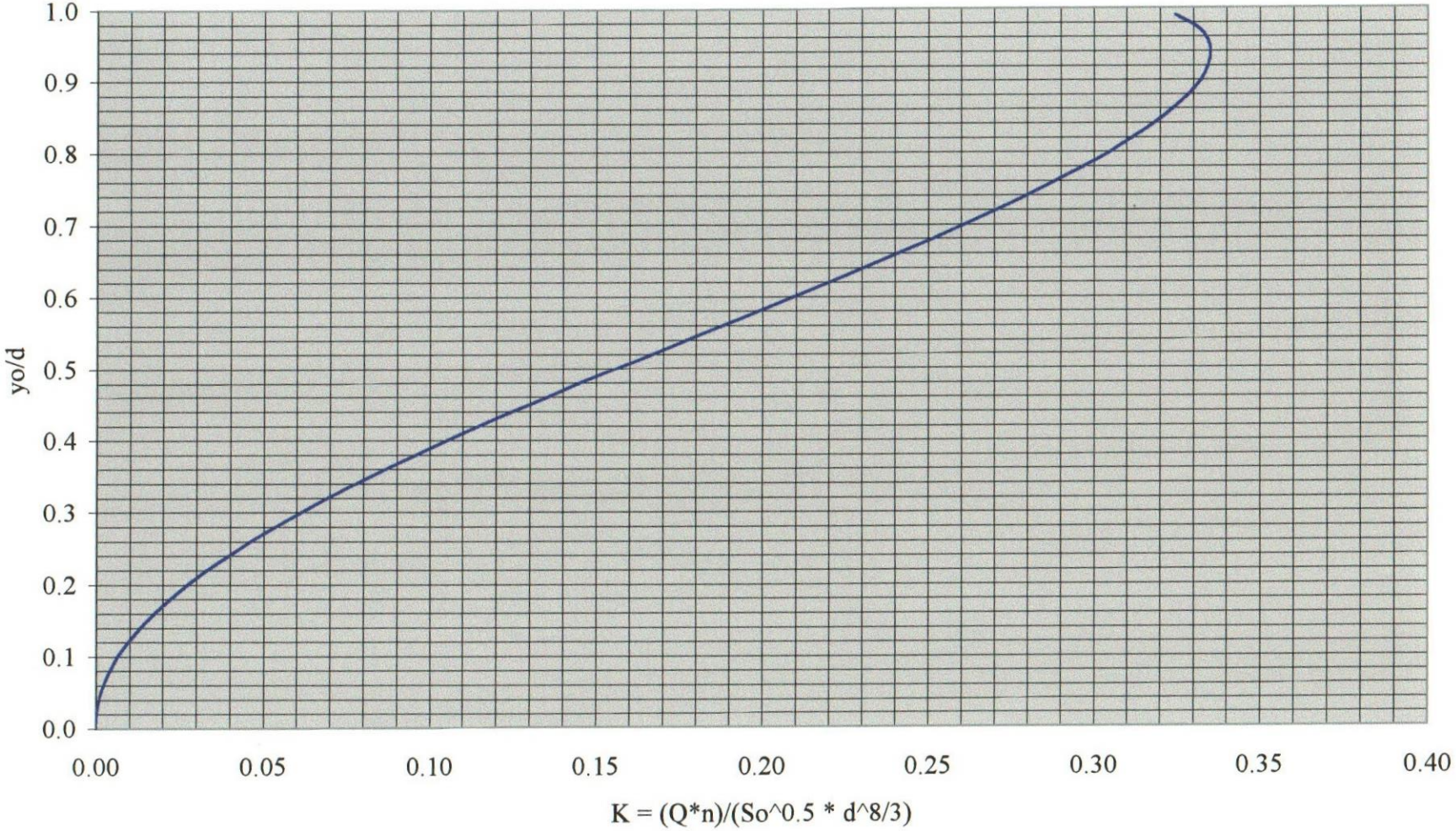
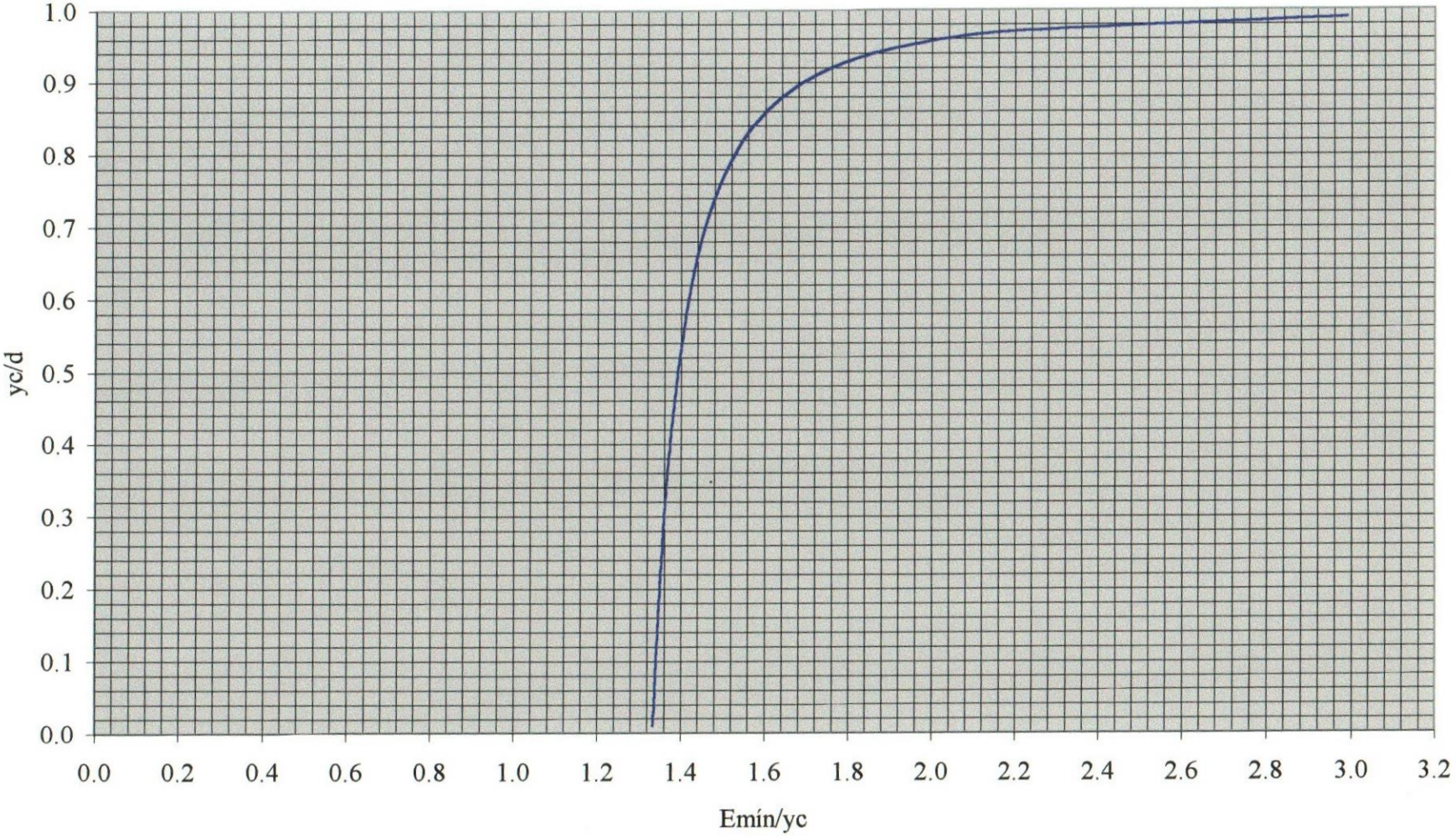


Gráfico 4. Determinación de yo/d



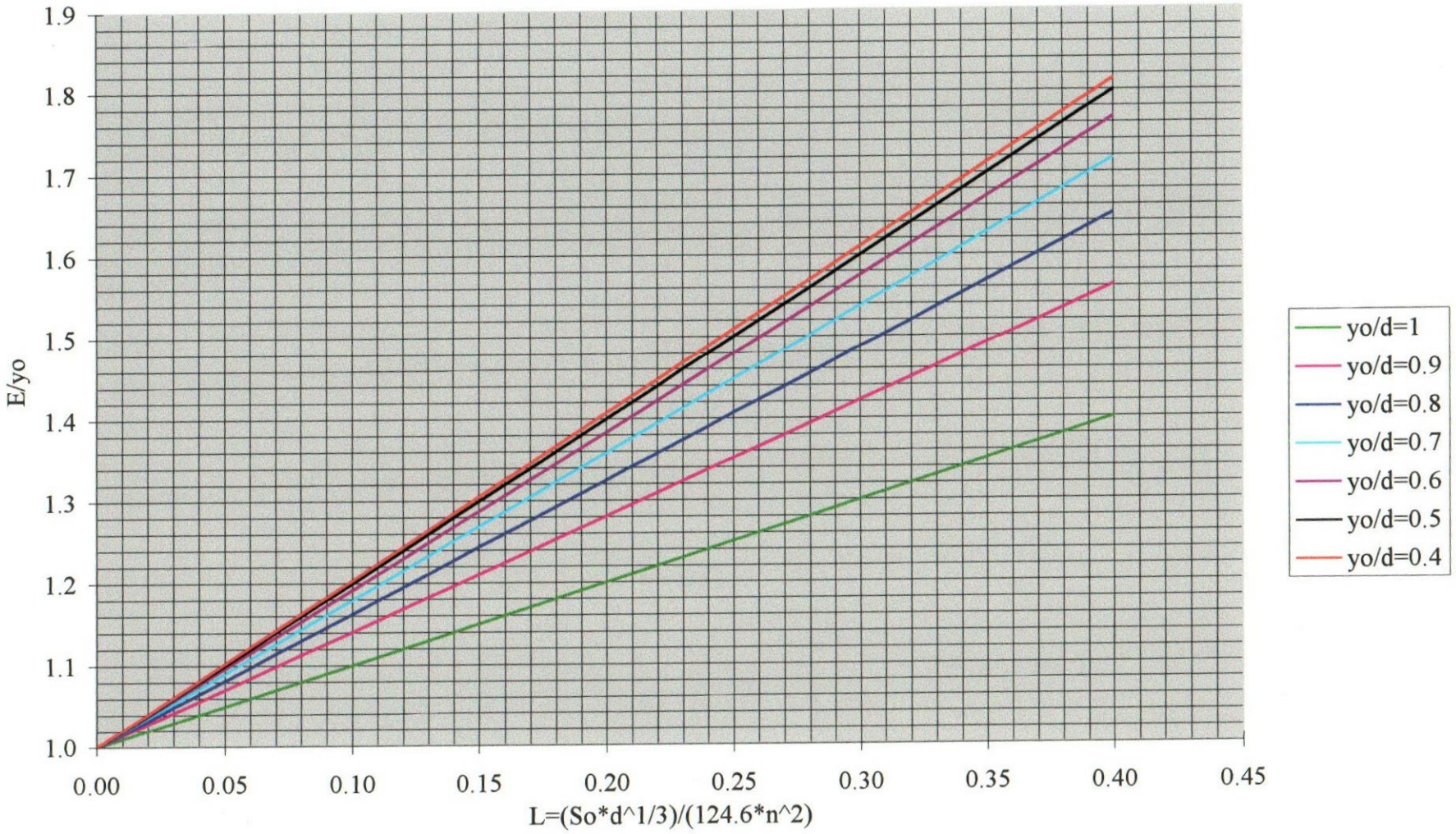
Régimen Supercrítico

Gráfico 5. Determinación de Emín/yc



Régimen Subcrítico

Gráfico 6. Determinación de E/yo



4. DISEÑO DE LA TUBERÍA DE DRENAJE PARA LAS ÁREAS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

El diseño de tuberías de drenaje en las áreas de tanques de almacenamiento dependerá de la capacidad de almacenamiento de cada tanque lo cual a su vez determinará el área encerrada dentro de los muros de contención y el volumen de agua o líquido inflamable que se podrá almacenar dentro del área estipulada. Todos estos factores más los atribuidos para el diseño de la tubería, determinarán el buen funcionamiento del sistema. Para la determinación de las áreas en los tanques de almacenamiento se usarán los requerimientos de la **Sección 1.3 (Muros de Contención),** y los parámetros de diseño de la tubería de drenaje se tomarán de la **Sección 1.4.4 (Áreas de Tanques de Almacenamiento)**.

4.1 Base Teórica Necesaria Para los Cálculos

Para la realización de los cálculos se utilizaron los conceptos de tuberías a presión y de canales abiertos, obtenidos de los textos de *Mecánica de Fluidos y Drenaje Urbano de J. J. Bolinaga*. A continuación se muestran los conceptos referentes a tuberías a presión solamente, ya que los conceptos de canales abiertos fueron mencionados anteriormente.

a) Funcionamiento a Presión

En algunos casos, para gastos mayores que el de proyecto los conductos cerrados pueden trabajar a presión. El dimensionamiento consistirá en verificar la ubicación de la línea piezométrica (nivel de agua), y comprobar que no interfiera con el normal funcionamiento del drenaje superficial.

Para el cálculo del flujo a presión, se utilizará la fórmula de Manning en la forma:

$$Q = \frac{A * R^{\frac{2}{3}} * Sf^{\frac{1}{2}}}{n}$$

donde Sf es la pendiente de la línea de energía. Puede emplearse también la fórmula de Hazen-Williams o la ecuación de Darcy-Weisbach, que para flujo en tuberías circulares llenas, puede expresarse como:

$$Sf = hf = \frac{f * V^2}{2 * g * D}$$

donde f es el coeficiente de fricción, el cual, para el caso de flujo turbulento rugoso, es solo función del valor de la rugosidad relativa k/D de acuerdo a la ***Figura*** *7*. Los valores de la rugosidad k para los materiales más comunes son:

Tabla 1. Valores de rugosidad K

MATERIAL	K
CONCRETO	0,03000 cm.
ACERO	0,00460 cm.
HIERRO FUNDIDO	0,02590 cm.
ASBESTO	0,00015 cm.

Deben también tomarse en cuenta las denominadas pérdidas menores h_L por cambios de sección, válvulas, o cambios de dirección.

La ecuación de la energía planteada entre dos puntos podrá expresarse así:

$$\frac{P_1}{Y} + z_1 + \alpha\left(\frac{V_1^2}{2 * g}\right) = \frac{P_2}{Y} + z_2 + \left(\frac{V_2^2}{2 * g}\right) + hf + h_L$$

donde los valores de α están cercanos a la unidad.

Las pérdidas de carga hf comprenden las pérdidas por resistencia de superficie, más conocidas como perdidas por fricción. El término h_L comprende las pérdidas por resistencia de forma, a veces llamadas menores. Para calcularlas se utilizará la ecuación general.

$$h_L = K_L\left(\frac{V^2}{2*g}\right)$$

donde K_L es un coeficiente de pérdida de carga que puede obtenerse de la Tabla 2.

Tabla 2. Coeficientes KL de pérdidas menores

PIEZA	*KL*
Codo normal a 90°	0,30
Codo de radio largo a 90°	0,20
TE con flujo en ramal principal	0,20
TE con flujo en ramal secundario al final	0,50
TE con flujo del ramal principal al secundario	0,80
Entrada proyectada	0,78
Entrada a ras con arista viva	0,50
Entrada acampanada	0,04
Válvula de compuerta abierta	0,20
Válvula check basculante	2,50
Válvula check de disco inclinable	0,34

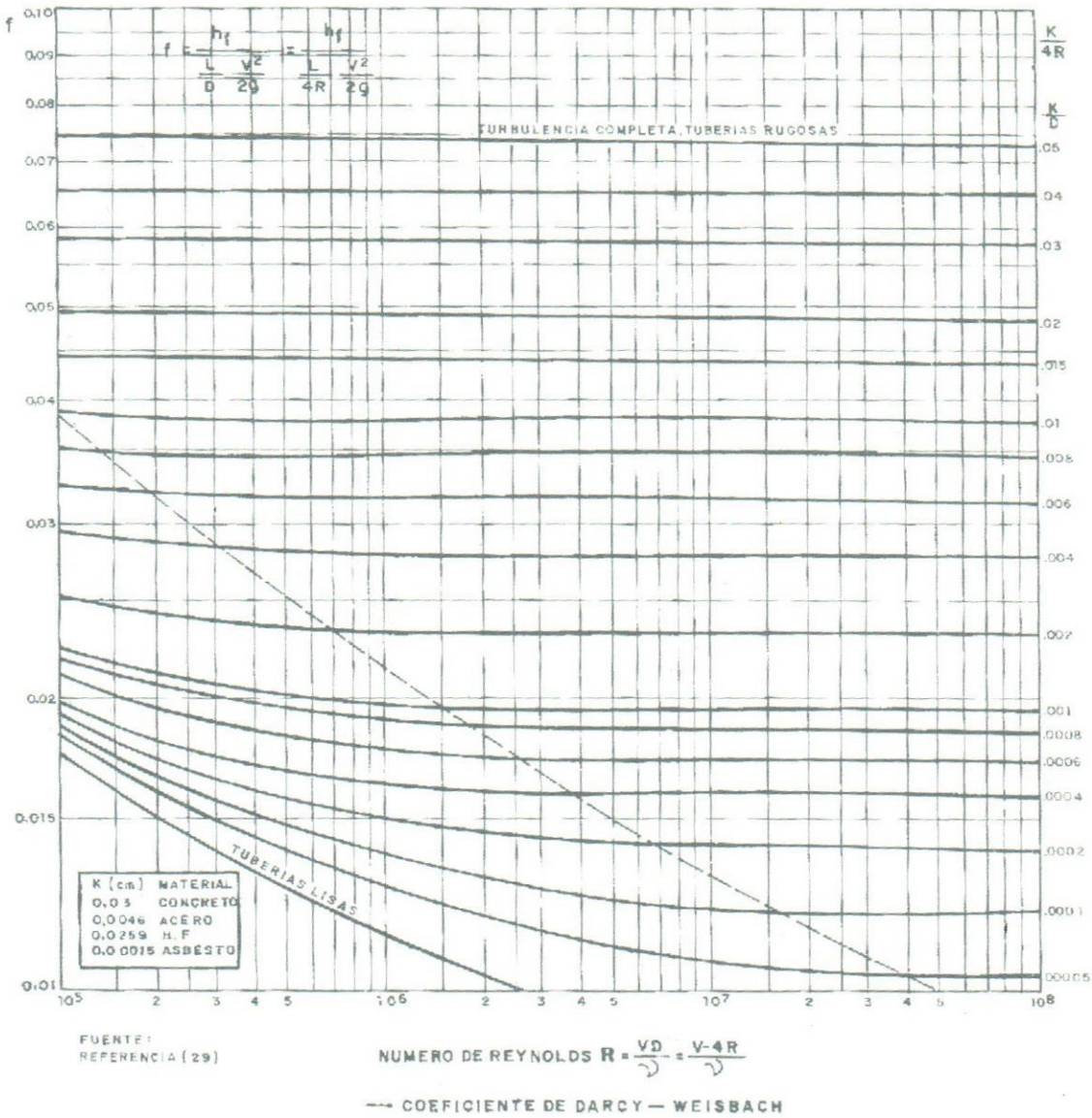


Figura 7 (Reproducida del libro Drenaje Urbano, J. J. Bolinaga)

4.2 Pasos Para el Diseño

1. Conocido el volumen del tanque de almacenamiento, se determinará el área encerrada dentro de los muros de contención según los requerimientos especificados en la **Sección 1.3 (Muros de Contención)**.

2. Según la **Sección 1.4.4 (Área de Tanque de Almacenamiento)** el sistema de drenaje tendrá que diseñarse basándose en la cantidad de agua de lluvia recogida en 24 horas y drenarse en un tiempo máximo de 6 horas. Luego de esta verificación se procederá a probarse con la válvula de agua completamente abierta, asegurando que el nivel de agua no exceda en más de 30 cm la altura de la base de soporte del tanque, tras 48 horas de combate continuo de incendio.

3. Basándose en el punto 2, se deberá determinar el volumen que generará una lluvia de 24 horas en el área rodeada por los muros de contención.

4. Se escogerá un diámetro aleatorio de tubería con el propósito de determinar si la misma tiene la capacidad de drenar el volumen almacenado en un máximo de 6 horas.

5. Se determinará cual será la altura por debajo de la cual el agua fluya por gravedad y por encima de la cual el agua fluya a presión.

6. Conocido el volumen, se determinará la altura real del agua sobre la rasante de la tubería de descarga.

7. Se determinará que porción del volumen drenará a presión y que porción drenará como canal.

8. Ya que el caudal de descarga variará con la disminución del volumen descargado, para la sección a presión se determinará el caudal para cada disminución de la altura del agua en 10 cm para la cual se hallará un caudal medio correspondiente.

9. Cuando el flujo comience a trabajar a gravedad se seguirá el mismo procedimiento del paso 8, con la diferencia de que el caudal para cada altura se hallará según la metodología de flujos por gravedad.

10. Conocidos los caudales medios para cada 10 cm, se hallará el volumen correspondiente a cada disminución de altura, simplemente multiplicando el área encerrada por los muros por 0,1 metros.

11. Se dividirán los volúmenes obtenidos entre los caudales medios correspondientes a cada sección y se sumarán con el propósito se obtener el tiempo total de evacuación de la tubería utilizada.

12. Si el tiempo obtenido es mayor de 6 horas se escogerá un diámetro mayor de tubería y se repetirán el procedimiento desde el paso 4.

13. Si el tiempo obtenido es menor de 6 horas se comprobará el funcionamiento de la tubería según los requerimientos mencionados en el paso 14.

14. Se supondrá una altura de agua de 30 cm por encima de la base del tanque de almacenamiento y se determinará si la tubería tiene la capacidad de evacuar una cantidad igual o mayor al caudal de incendio requerido.

15. Si la tubería es probada satisfactoriamente entonces el diseño será apropiado.

16. Si la tubería no cumple con la prueba se procederá a determinar el diámetro de tubería que será capaz de evacuar el caudal de incendio bajo las condiciones antes mencionadas en el paso 14.

5. DISEÑO DE CANALES ABIERTOS

Los canales sólo se usaran en áreas que no estén expuestas a líquidos inflamables; serían extremadamente peligrosos al momento de un incendio, ya que a través de ellos se propagaría el incendio a otras áreas y sería prácticamente imposible controlar el incendio.

Existen secciones típicas muy usuales para el diseño de canales abiertos. Una ecuación para régimen uniforme, como la de Manning, puede resolverse gráficamente o con la ayuda de tablas. Para canales de sección trapecial o rectangular puede usarse la ***Figura 8*** y para canales de sección triangular la ***Figura 9***.

En ningún caso la profundidad del canal será mayor que el ancho. Se considera un canal estrecho cuando la profundidad sea mayor que el ancho y un canal ancho lo contrario. En la ***Figura 10*** se presentan dos canales, uno estrecho y otro ancho. En ambos canales se midió la distribución vertical de velocidades en dos secciones: la sección A ubicada en el centro del canal y la B situada a una distancia m de la anterior. La figura muestra los resultados obtenidos, donde se puede observar que la distribución de velocidades de A y B difiere más en el canal estrecho que en el ancho; es decir, en el primer caso, la sección A es menos representativa de la B que en el segundo caso. Lo anterior se explica por el hecho de que el agua es un fluido real, por lo que, las velocidades deben ser nulas en las paredes y en el fondo de los canales, lo cual afecta la distribución de las velocidades. En el canal estrecho, como las paredes están cerca, el efecto de ellas se extiende a todo el flujo mientras que en el ancho esa alteración se mitiga hacia el centro.

Si el canal fuera considerado suficientemente ancho, las paredes no influirían y el flujo podría considerarse unidimensional, o bidimensional. Lo anterior implica que el flujo debe de ser permanente y totalmente uniforme, situación que en rigor, nunca se presenta en fluidos reales. En la mayoría de las fórmulas que son utilizadas en cálculos hidráulicos se considera al flujo, unidimensional o bidimensional (la velocidad media de una sección es representativa de otras secciones).

5.1 Canales de Sección Trapecial o Rectangular

Se debe conocer el caudal de diseño, el número de Manning del material del canal, la pendiente del terreno y suponer o determinar un ancho de fondo para poder utilizar la ***Figura 8*** a la cual se entra con el valor $Q*n/(So^{1/2}*b^{8/3})$ para cortar la curva z correspondiente al diseño (si es rectangular z = 0) y de esta manera hallar el yo/b, el cual debe dar menor que uno para que se cumpla la condición de que la profundidad sea menor que el ancho (yo < b). Posteriormente se utilizará la ***Figura 11*** para determinar la altura sobre la superficie del agua (borde libre).

Se buscarán varias relaciones de b/yo y se escogerá la relación en que el diseño sea más económico.

5.2 Canales de Sección Triangular

Se debe conocer el caudal de diseño, el número de Manning del material del canal, la pendiente del terreno y el tipo de sección triangular con que se va a diseñar el canal, para poder utilizar la ***Figura 9*** a la cual se entra con el valor $Q*n/So^{1/2}$ y se corta la curva correspondiente al tipo de cuneta escogida, para hallar la altura en la cuneta, si da mayor que la máxima para ese tipo de cuneta el diseño esta malo y habrá que cambiarlo hasta que de menor.

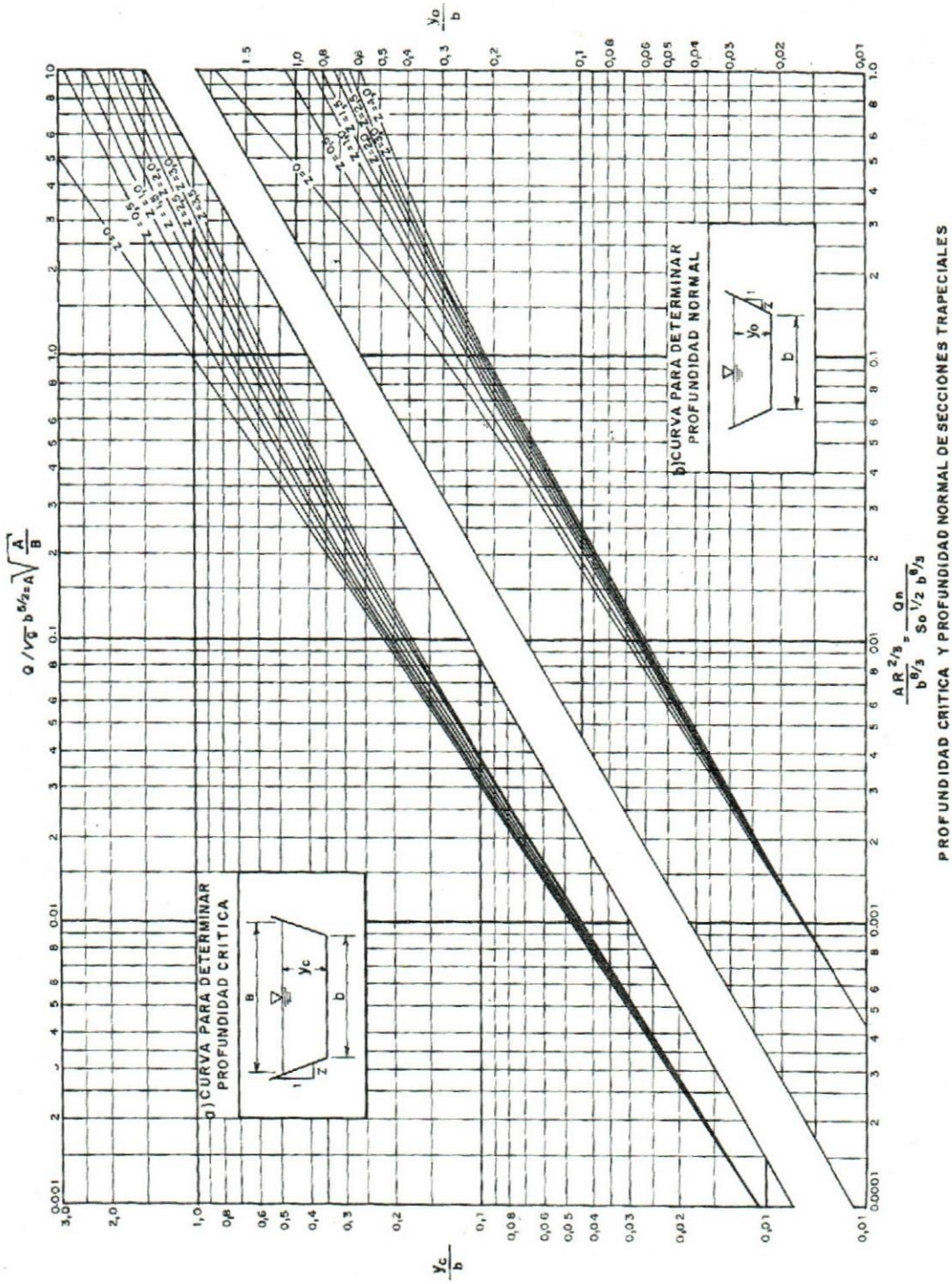


Figura 8 (Reproducida del Texto de "Drenaje Urbano" del Ingeniero J.J Bolinaga)

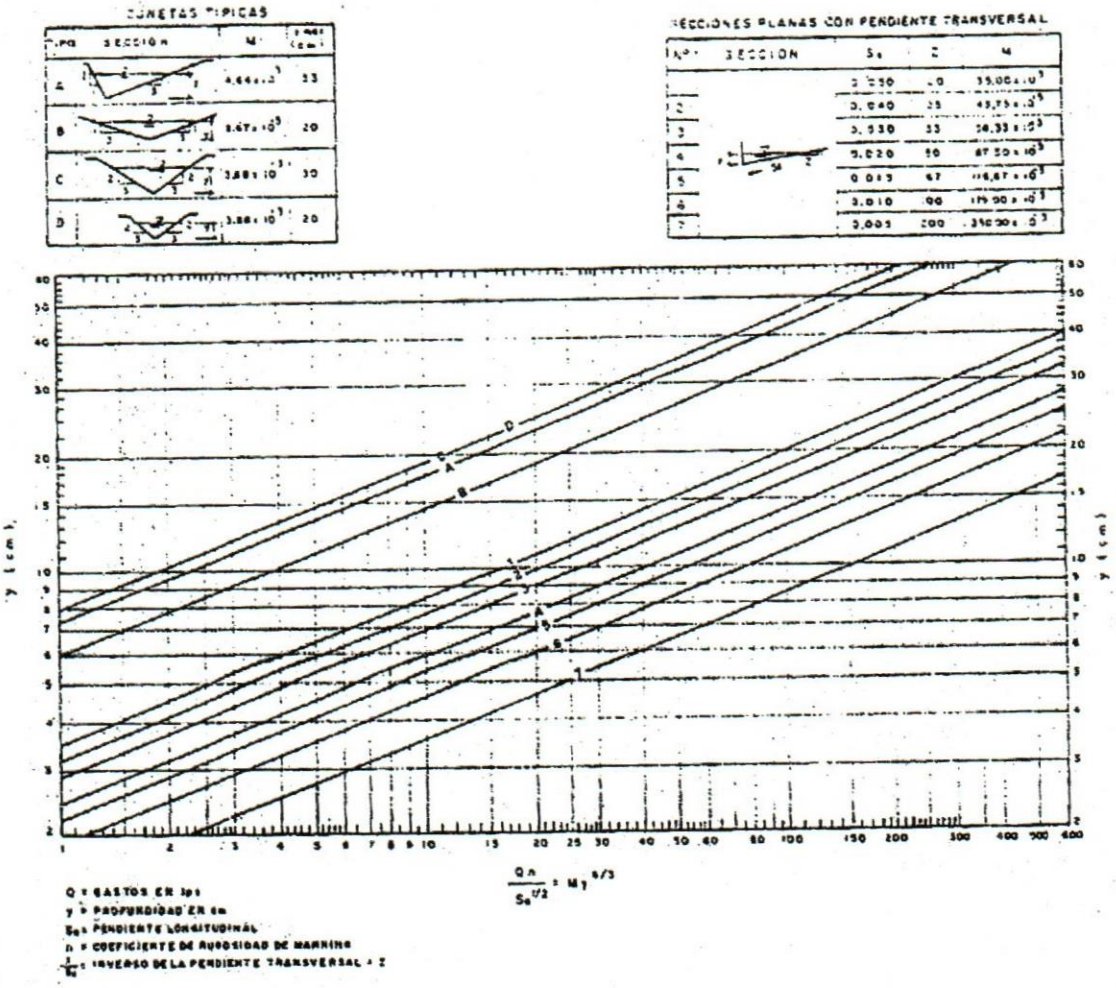


Figura 9 (Reproducida del Texto de "Drenaje Vial" del Ingeniero Luis E. Franceschi)

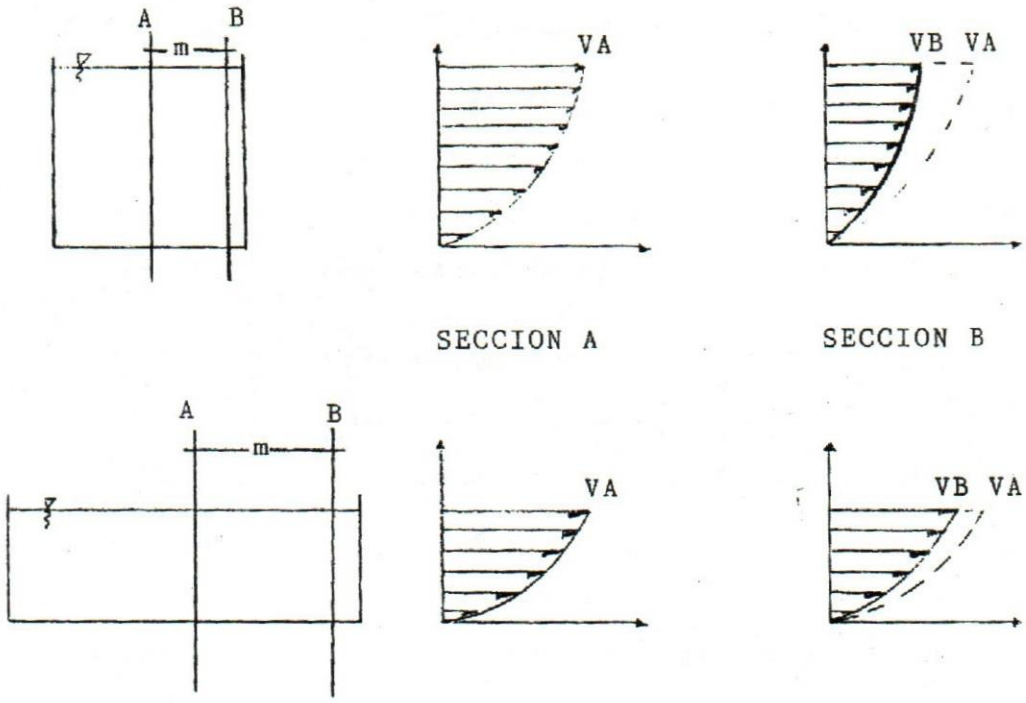


Figura 10 (Reproducida del Texto de "Mecánica elemental de los Fluidos" de J.J Bolinaga)

6. EJEMPLOS

6.1 Diseño de Sumidero

En una refinería situada en el estado Anzoategui se desea diseñar un sumidero con sello hidráulico para una unidad de drenaje en un área de proceso pavimentada. Según las condiciones topográficas se determinó que la tubería de descarga deberá tener una pendiente So=1,2%. El gasto de proceso Qc será igual a 3 lps.

Solución:

Según la **Sección 1.4 (Areas de Proceso y de servicio)**, las unidades de drenaje de las áreas de proceso pavimentadas no serán mayores de 280 m^2, y la tasa de aplicación de agua contra incendio será de 0,24 $m^3/h \times m^2$.

De los estudios hidrológicos de la zona se determinó que para una lluvia de 24 horas de duración, la lámina de agua acumulada será de 82 mm, donde la intensidad máxima durante 1 hora fue de 44 mm/hr.

El caudal de incendio Q_{INC} será igual al área de drenaje multiplicado por la tasa de aplicación de agua contra incendio:

$$\mathbf{Q_{INC} = (280 \times 0{,}24 \times 1000)/3600 = 18{,}67\ lps}$$

El caudal por lluvias Q_{LI} se obtendrá mediante la fórmula Q = C×I×A/360, donde ''Q'' es el gasto máximo en m^3/seg; ''I'' la intensidad de la lluvia en mm/hr; ''A'' el área tributaria en hectáreas; y ''C'' el coeficiente de escorrentía (el cual será aproximadamente 0,85 en áreas pavimentadas).

$$\mathbf{Q_{LI} = 1000 \times (0{,}85 \times 44 \times 0{,}028) / 360 = 2{,}91\ lps}$$

El caudal $\mathbf{Q_{INC} + Qc > Q_{LI} + Qc}$ por lo que se concluye que el caudal de diseño Qd será:

$$\mathbf{Qd = Q_{INC}}^{1} \mathbf{+ Qc = 21{,}67\ lps}^{2}$$

- Partiendo de los datos conocidos, So = 1,2%; Qd = 21,67 lps; n = 0,013, se determinará el diámetro de la tubería de descarga utilizando el **Gráfico 1** para el coeficiente de Manning correspondiente. El diámetro obtenido en el gráfico fue de:

$$\mathbf{D = 8''(0{,}2\ m)}$$

- Utilizando el **Gráfico 2** se determinó el área de la reja atribuida al caudal de diseño y a un tirante de agua de 5 cm. El área total obtenida fue de **0,5 m²** ya que para el respectivo caudal de diseño Qd, no se interceptó con la recta del tirante de agua correspondiente (5 cm). Es importante mencionar que área de la reja podrá ser igual o mayor al área obtenida, ya que las dimensiones del sumidero podrán ser modificadas con el propósito de mejor operabilidad.

- Para determinar la altura del agua sobre la rasante inicial de la tubería se utilizará un **Gráfico Unificado** mostrado al final de este ejemplo, donde se encontrarán los Gráficos 3, 4, 5, 6 en una sola hoja tamaño doble carta con los respectivos pasos para su utilización.

---

[1] Según la Sección 1.4.1, el Caudal de Incendio (Q_{INC}) a drenar será igual al 60% del caudal correspondiente a la tasa de aplicación de agua contra incendio de $0{,}48 m^3/s \times m^2$. Este criterio fue considerado incorrecto debido a que el agua tiene que ser drenada en su totalidad (100%).

[2] En la Sección 1.4.1 se establece que el caudal correspondiente a las tuberías sub-laterales será 31,67 lps, lo que fue omitido debido a que se consideró como un error de la Norma ya que la misma muestra parámetros de diseño dependientes de la lluvia, de caudales de proceso y de caudales de incendio, por lo que sería ilógico establecer un caudal fijo de 31,67 lps para la elección de las tuberías sub-laterales.

Determinación de la altura de agua sobre la rasante inicial de la tubería por medio del Gráfico Unificado:

1. Hallando el valor de $z/d^{5/2} = 0{,}387$, se obtuvo por medio de la **Curva 1** un valor de **yc/d = 0,63.**

2. Hallando el valor de $K = Q*n/(So^{0,5}*d^{8/3}) = 0{,}188$, se obtuvo por medio de la **Curva 3** un valor de **yo/d = 0,56.**

3. El valor de **yc/d > yo/d**, por lo que se utilizó la **Curva 2** para determinar el valor de Emín/yc partiendo del valor de yc/d. El valor de Emín/yc será: **Emín/yc = 1,43**

4. El valor de **yc** será: **yc = 0,63*d => yc = 0,63*0,2 = 0,126**

5. El valor de Emín será: **Emín = 1,43*yc → Emín = 1,43*0,126 = 0,1802**

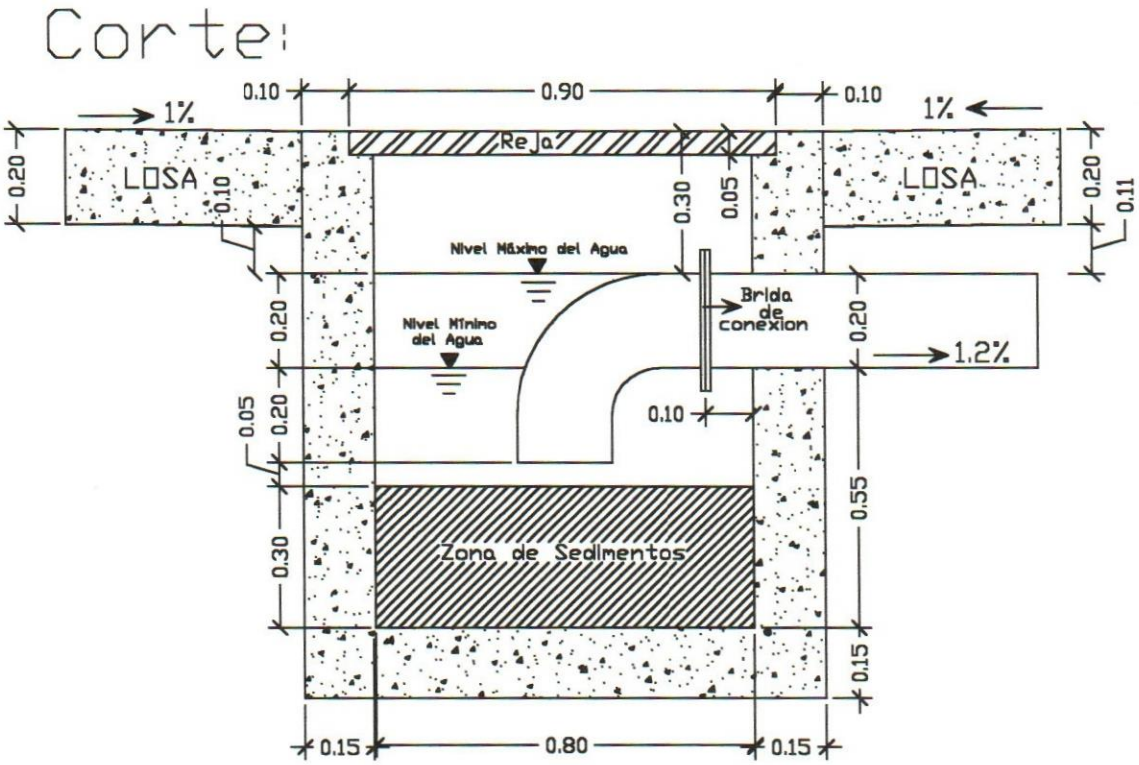
6. La perdida local h_L obtenida será: $h_L = 8*K_L*Q^2 / g*\pi^2*d^4 = 0{,}026$ **m,** donde el valor de $K_L = 1{,}08$ se obtiene de la **Tabla 2**, al sumar el coeficiente de perdida del codo de radio normal a 90° ($K_L = 0{,}3$) y el de una entrada proyectada ($K_L = 0{,}78$).

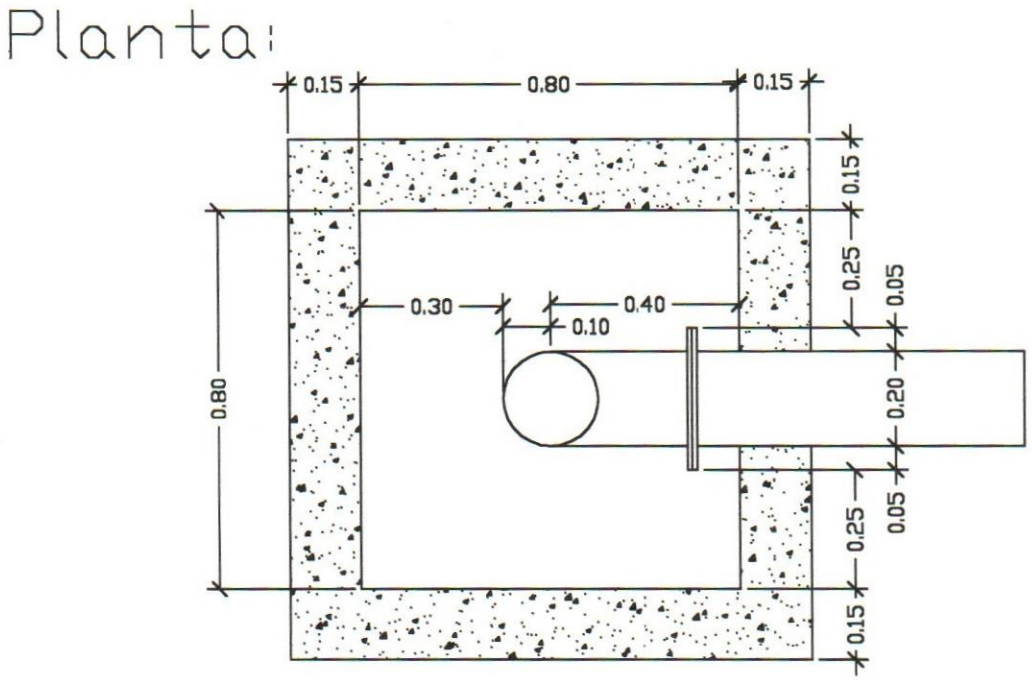
7. La altura H sobre la rasante inicial de la tubería será:

$$H = h_L + Emín = 0{,}026 + 0{,}1806 = 0{,}206 \text{ m} \approx 0{,}20 \text{ m}$$

Nota: El valor de H obtenido deberá ser comparado con las dimensiones mínimas estipuladas para mejor operabilidad de construcción y mantenimiento que se muestran en el ***Anexo 14***. Se deberá cumplir que la distancia entre el máximo nivel de agua obtenido en la tanquilla y la superficie superior de la reja sea mayor o igual a 15 cm.
El diseño del sumidero realizado en este ejemplo se puede observar en la ***Figura 12***.

Figura 12. Diseño de Sumidero





Dimensiones en metros

GRAFICO UNIFICADO

6.2 Diseño del Sistema de Drenaje para Tanques de Almacenamiento

Se desea diseñar el sistema de drenaje para un tanque de almacenamiento de crudo, con un diámetro de 70 pies (21,33 m), altura de 32 pies (9,75 m) y capacidad de almacenamiento de 921200 galones (3487 m^3). El tanque se encontrará ubicado en una refinería del estado Zulia, donde se estimó una lluvia con una lámina de 160 mm en 24 horas. Se tomará una pendiente de 1% en el área alrededor del tanque con el propósito de que el agua escurra hacia un sumidero. La tubería de descarga del sistema deberá tener una pendiente de 0,9 % y una longitud de 15 metros.

Solución:

Determinación del Área de Contención

Según la **Sección 1.3.1 (Muros de Contención)**, la capacidad volumétrica encerrada por los muros de contención deberá ser igual al 150 % la capacidad del tanque. Por lo tanto el volumen de contención (**Vc**) será igual:

$$\mathbf{Vc = (Vol.\ de\ Tanque)*1{,}5 = 3487*1{,}5 = 5230{,}5\ m^3}$$

La altura del muro no deberá ser mayor de 3 metros según la **Sección 1.3.1**, por lo que se escogió una altura de muro (**hm**) de 2 metros de altura.

Para hallar el área encerrada por los muros (**Am**), se dividirá el Volumen **Vc,** entre la altura (**hm**) del muro.

$$\mathbf{Am = Vc\ /\ hm = 5230{,}5\ /\ 2 = 2616{,}25\ m^2}$$

Se desea que el área encerrada por los muros sea cuadrada, lo quiere decir que cada lado **L** será igual:

$$\mathbf{L = Am^{1/2} = 2616{,}25^{\,1/2} = 51\ metros}$$

Diseño de Tubería

- Se escogerá una tubería con cualquier diámetro, con el propósito de determinar por medio de iteraciones cual es la tubería más conveniente. La tubería escogida es de 8" (20 cm).

- Las características del sistema se muestran en la ***Figura 13***

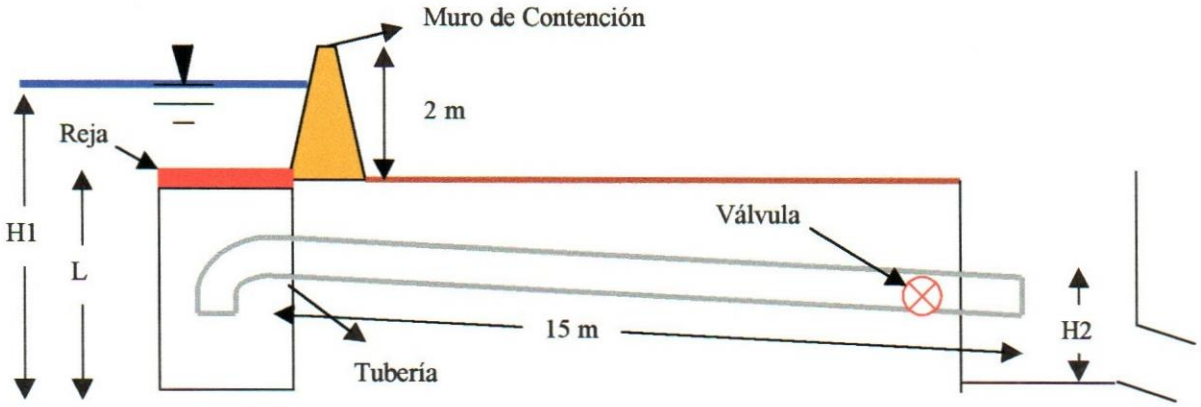


Figura 13 (Diagrama de tubería de Drenaje en Tanques de Almacenamiento)

Ecuaciones usadas para el análisis

El nivel de energía variará según la siguiente ecuación:

- $H1 - h_L - hf = H2$

Sustituyendo los h_L y hf en la ecuación se obtiene:

- $H1 - (8*K_L*Q^2 / g*\pi^2*d^4) - (8*f*Q^2 / g*\pi^2*d^5) = H2$

Despejando Q de la ecuación se obtiene:

- $Q = (g*\pi^2*(H1 - H2) / 8*(K_L/d^4 - f/d^5))^{0,5}$

Las variables K_L, f, se hallarán por medio de la **Tabla 2** y la ***Figura 7*** respectivamente.

- El volumen de lluvia **VLl** se hallará multiplicando la lámina (0,16 m) de agua en 24 horas por el área **Am**

$$\mathbf{VLl = 0{,}16 * \overbrace{2616{,}25}^{\mathbf{Am}} = 418{,}6\ m^3}$$

- La altura del agua sobre la reja se hallará por medio de relaciones de triángulos basándose en la pendiente de 1% en el terreno. La altura del agua sobre la rejilla obtenida fue de **0,322** metros.

- Para determinar a que altura sobre la rasante inicial de la tubería de descarga el sistema empezará a trabajar por gravedad, se usarán el **Gráfico 1** y el **Gráfico Unificado**, utilizando los siguientes datos:

$$So = 0{,}9\%;\ n = 0{,}013$$

De las gráficas, se obtuvo un caudal Q = 25 lps y una altura H sobre la rasante inicial de la tubería de 23 cm, con lo que se concluye que el análisis de la tubería se hará a presión, ya que el Volumen que fluirá por gravedad será despreciable.

- Para determinar el tiempo de evacuación del volumen **VLl,** se realizó la **Tabla 3**. En esta tabla cada columna representará lo siguiente:

Columna 1: Número de filas.

Columna 2: Altura H1. En la fila 1, H1 será igual a la suma de la distancia L, y la altura del agua sobre la reja (ver **figura 13**), en la fila 2, **H1** será igual a **H1-0.1** y así sucesivamente para cada fila, hasta llegar al valor de L. El valor de L será igual a 0,9 metros para este ejemplo.

Columna 3: Q, representa el caudal para cada una de las alturas H1, hallado por medio de la ecuación de caudal despejada anteriormente ($Q = (g*\pi^2*(H1 - H2) / 8*(K_L/d^4 - f/d^5))^{0,5}$).

Columna 4: Q medio, representa el caudal medio de los valores de la columna 3 → (Q1-Q2)/2.

Columna 5: Volumen evacuado, para una disminución de la altura del agua de 0,1m correspondiente a cada altura H1.

Columna 6: Tiempo de evacuación obtenido de la división entre el caudal medio (Columna 4) y el Volumen evacuado (Columna 5)

Tabla 3. Tiempo de evacuación

Num.	H1(m)	Q(m^3/s)	Qmedio(m^3/s)	Vol(m^3)	Tiempo(horas)
1	1.22	0.062	0.057	130.8	0.6
2	1.12	0.051	0.045	130.8	0.8
3	1.02	0.038	0.027	130.8	1.4
4	0.92	0.015	0.008	26.2	0.9
5	0.90	0.000			

La suma de los tiempos obtenidos da 3,8 h < 6 h.

Después de que verifique la tubería por lluvia se comprobará que esta es capaz de evacuar un caudal mayor a la tasa de aplicación por incendio, estando el nivel de agua 30 cm por encima de la base del tanque de almacenamiento. Por medio de relaciones geométricas se determinó que la altura H1 inicial será 1,41 m, a la cual le corresponderá un caudal de descarga de 78 lps. El caudal de incendio será 0,48 $m^3/h \times m^2$, considerando que solo deberá enfriarse un cincuenta por ciento (50%) del área total de las paredes del tanque, es decir, 505 m^2, con lo que se obtendrá un caudal de incendio de 67 lps. Como se puede observar el caudal de descarga obtenido (78 lps) es mayor que el caudal de incendio (67 lps), lo que quiere decir que la tubería escogida cumple con todos los requerimientos de diseño.

CONCLUSIONES

a) Las obras de drenaje en las instalaciones de la Industria Petrolera Nacional, no se rigen por una regla específica, razón por la cual no tienen definidos todos los parámetros de diseño para los diferentes tipos de casos que se pudieran presentar. La Norma de Drenaje de PDVSA, referencia de este trabajo de grado, sólo presenta unos requerimientos mínimos para el diseño de estructuras de drenaje en sus instalaciones.

b) Como resultado de la presente investigación, se obtuvo un método de cálculo sencillo por monogramas, para el diseño de estructuras especiales de drenaje contra incendio, basados en los requerimientos mínimos estipulados en la Norma de Drenaje de PDVSA; muy especialmente para el diseño de sumideros y tanquillas provistos de sellos hidráulicos. En la realización del trabajo se diseñaron finalmente seis gráficos los cuales permiten el cálculo de tanquillas y sumideros, logrando dimensionarlos. Estos gráficos serán de gran ayuda para el Ingeniero proyectista de este tipo de obras.

Con los gráficos realizados, se podrá determinar:

1. El diámetro de la tubería a utilizar, conociendo la pendiente del terreno y el caudal de diseño.

2. Para el caso de los sumideros, el área total de la reja a utilizar, conociendo la lámina de agua sobre la reja y el caudal de diseño.

3. La altura del agua sobre la rasante inicial de la tubería, que servirá para determinar la altura de reja del sumidero o de la tapa de la tanquilla.

El utilizar este método de diseño asegura además que las soluciones resultantes cumplan con los parámetros siguientes:

1. Los flujos de agua trabajarán siempre por gravedad.

RECOMENDACIONES

Del trabajo realizado se consideran las siguientes recomendaciones:

a) Construir unos modelos hidráulicos de los sumideros y tanquillas presentados con la finalidad de verificar físicamente los gráficos de diseño creados en este trabajo de grado.

b) Entregar una copia del trabajo realizado a PDVSA para su revisión e inclusión en sus normas, de considerarlo apropiado.

TESIS
IC999
G3
v.2

UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DISEÑO DE ESTRUCTURAS ESPECIALES DE DRENAJE PARA INSTALACIONES PETROLERAS

Tomo 2: Anexos

Universidad Católica Andrés Bello
BIBLIOTECA
Caracas

REALIZADO POR

Gustavo F. Galdo Azpurua
Leopoldo Henriquez Benedetti

PROFESOR GUIA

Ing. José Ochoa Iturbe

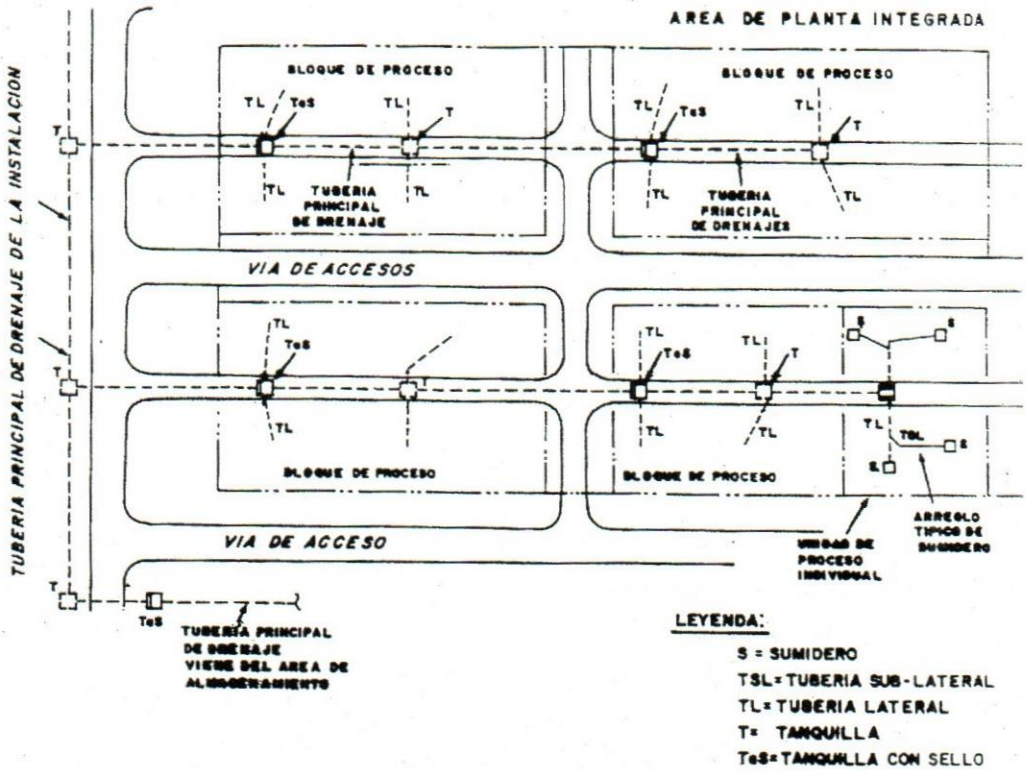
FECHA

23 de mayo de 1999

INDICE DE ANEXOS

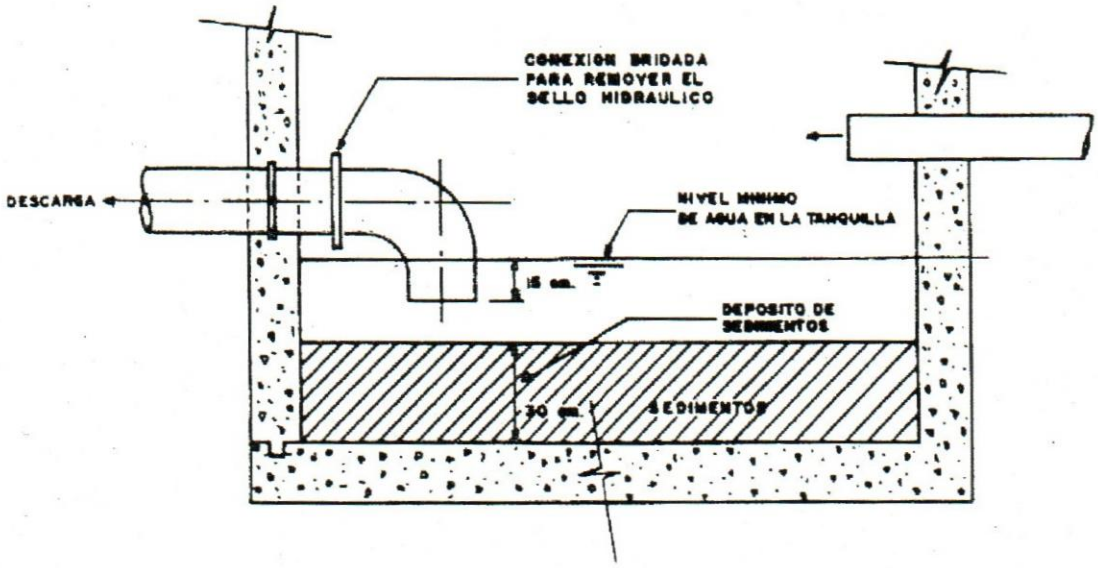
INDICE DE ANEXOS 1
Anexo 1. Área de Proceso – Sistema Típico de Drenaje 2
Anexo 2. Tanquilla Provista de Sello 3
Anexo 3. Tanquillas Provistas de Sellos Hidráulicos 4
Anexo 4. Trampa de Aceite – Modelo en un Separador 5
Anexo 5. Modelo de un Separador 6
Anexo 6. Área de Tanques con Muros de Contención 7
Anexo 7. Área de Proceso – Arreglo Típico en un Área Individual de Drenaje 8
Anexo 8. Llenadero de Camiones – Sistema de Drenaje 9
Anexo 9. Llenaderos de Camiones – Sumideros en el Área de las Mangueras de Carga ... 10
Anexo 10. Gráfico para Calcular el Diámetro de la Tubería (Concreto, n = 0,011) 11
Anexo 11. Gráfico para Calcular el Diámetro de la Tubería (Concreto, n = 0,013) 12
Anexo 12. Gráfico para Calcular el Diámetro de la Tubería (Concreto, n = 0,015) 13
Anexo 13. Gráficos para la Verificación de Régimen de Flujo 14
Anexo 14. Dimensiones Mínimas de Sumideros 18
Anexo 15. Dimensiones Mínimas de Tanquillas 19

ANEXO 1



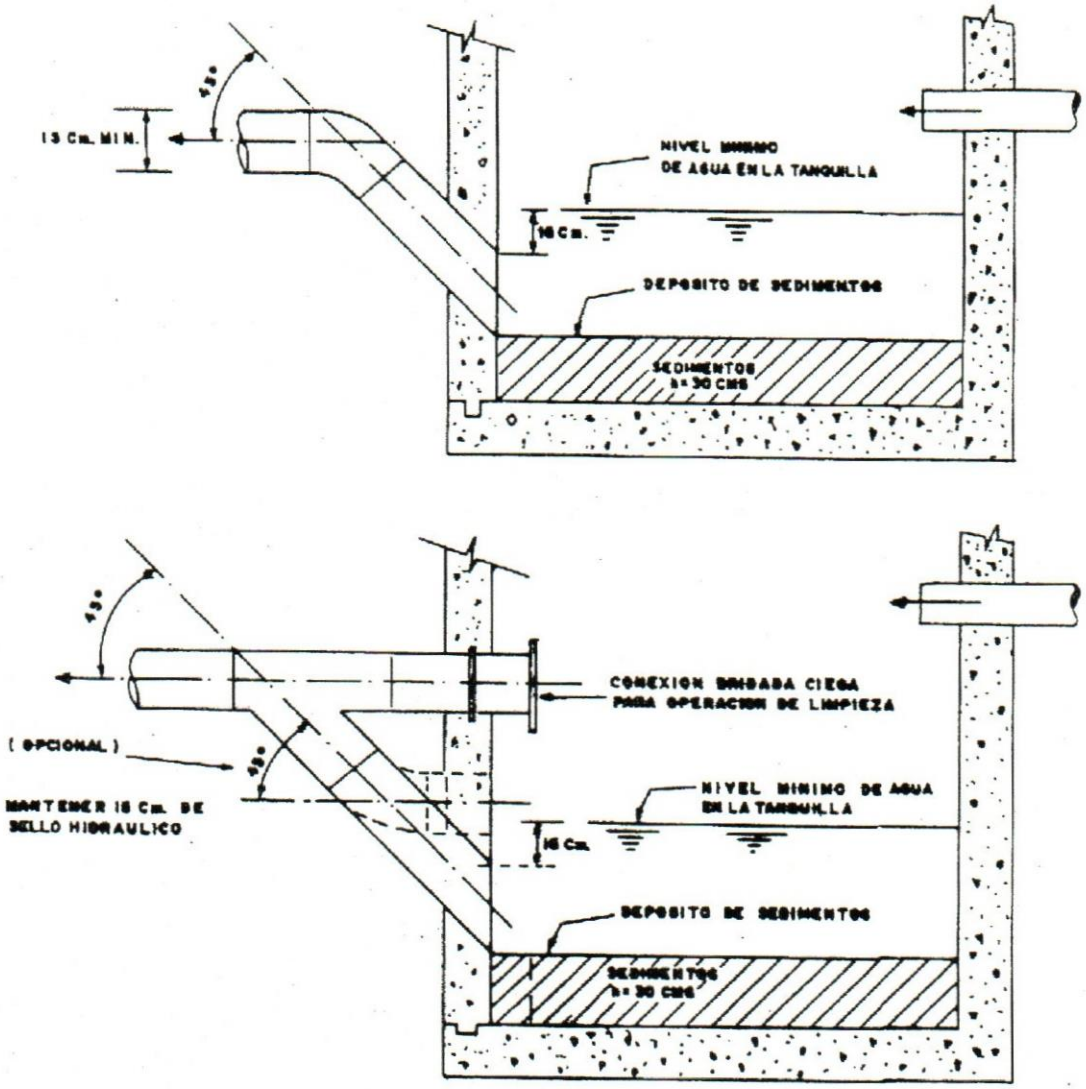
AREA DE PROCESO – SISTEMA TIPICO DE DRENAJE

ANEXO 2



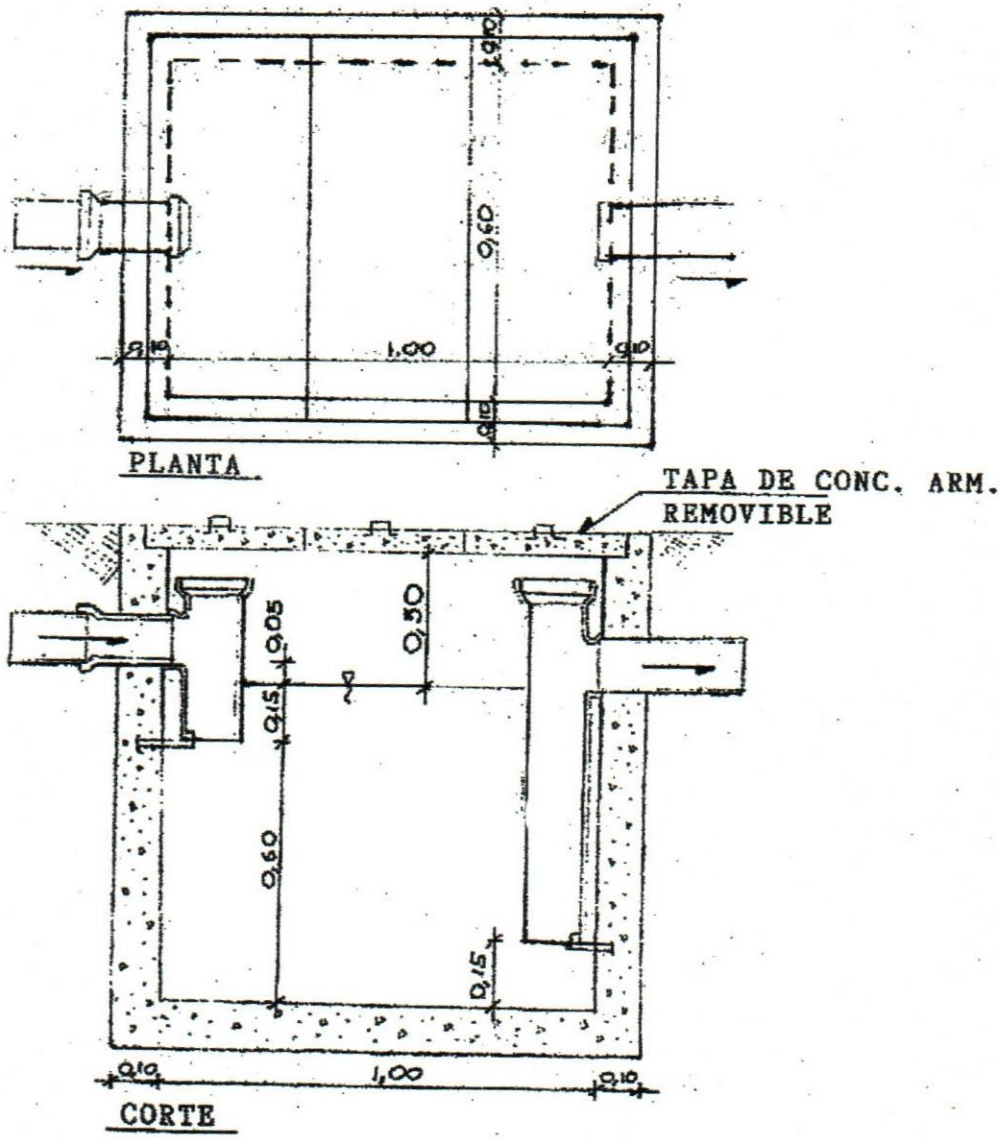
TANQUILLA PROVISTA DE SELLO

ANEXO 3



TANQUILLAS PROVISTAS DE SELLOS HIDRAULICOS

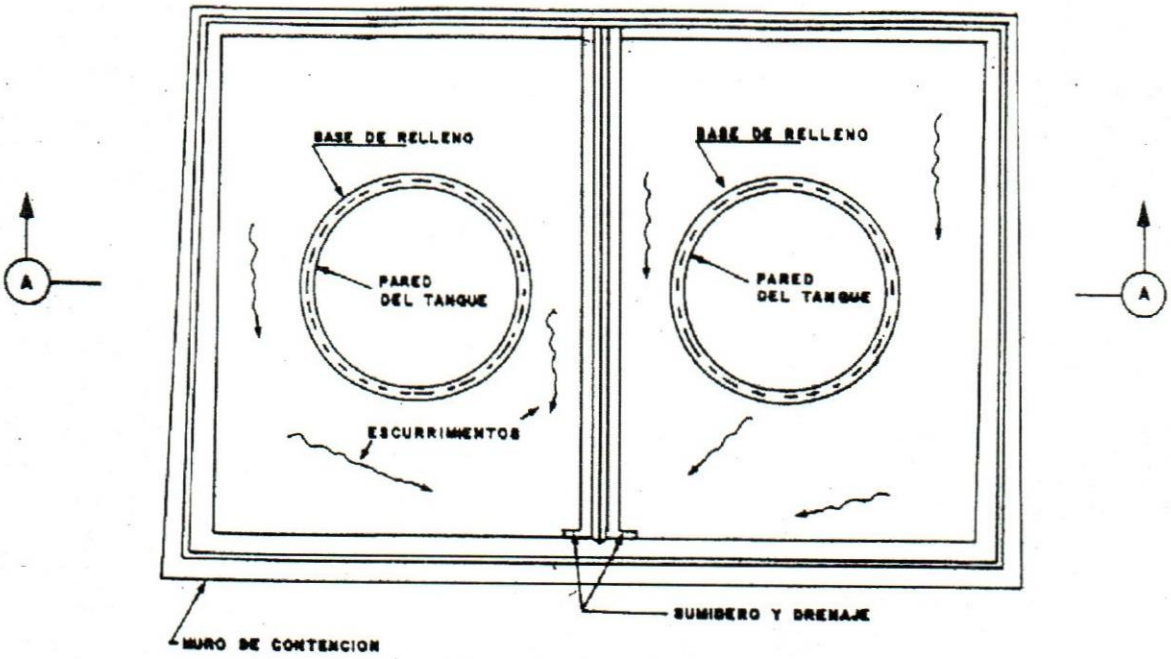
ANEXO 5

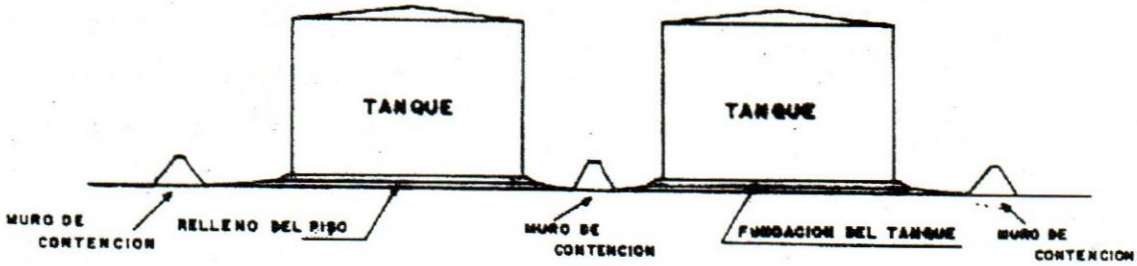


MODELO DE UN SEPARADOR

(Gaceta Oficial de la República de Venezuela, MSAS)

ANEXO 6

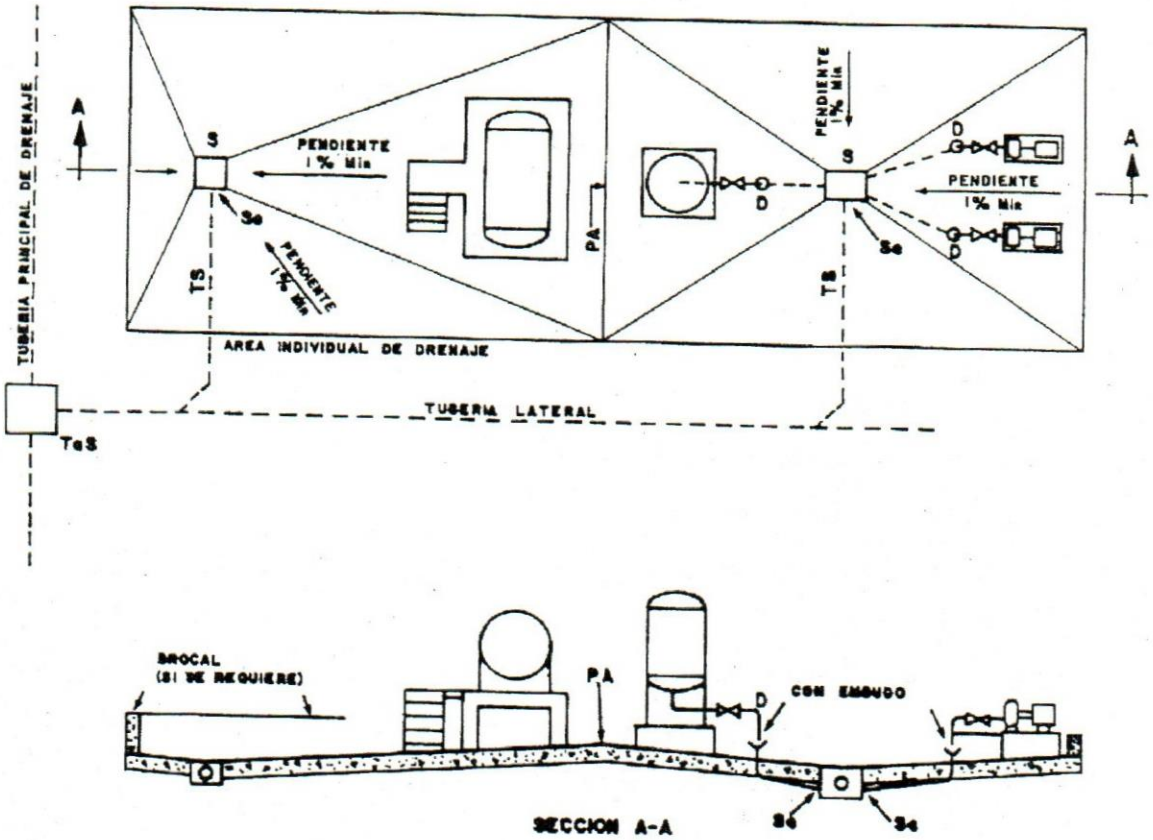




SECCION 'A-A'

AREA DE TANQUES CON MUROS DE CONTENCION

ANEXO 7

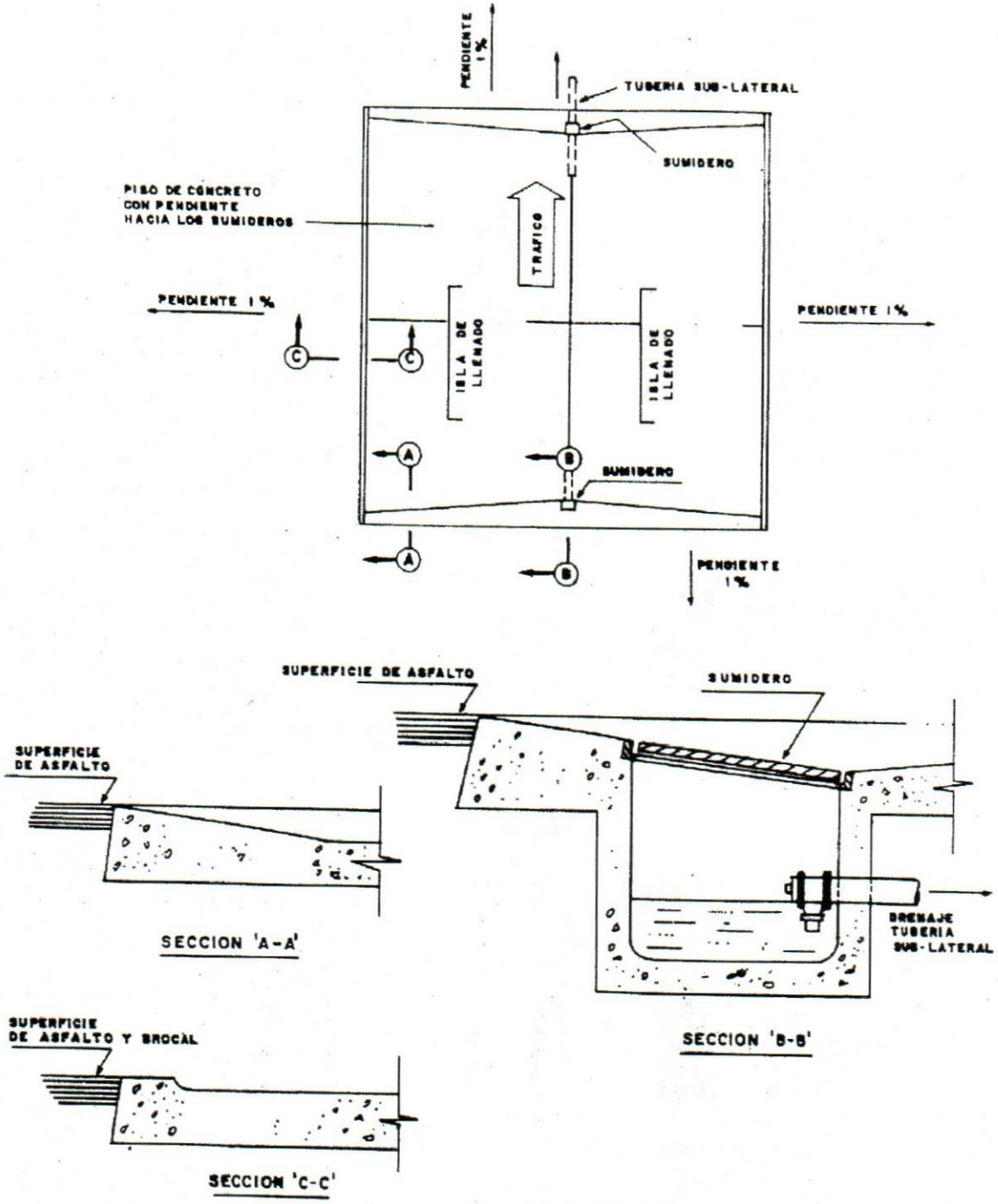


LEYENDA:

D = DRENAJE
Se = SELLO
S = SUMIDERO
TaS = TANQUILLA PROVISTA DE SELLO
TS = TUBERIA SUB LATERAL
PA = PUNTO MAS ELEVADO DEL PAVIMENTO

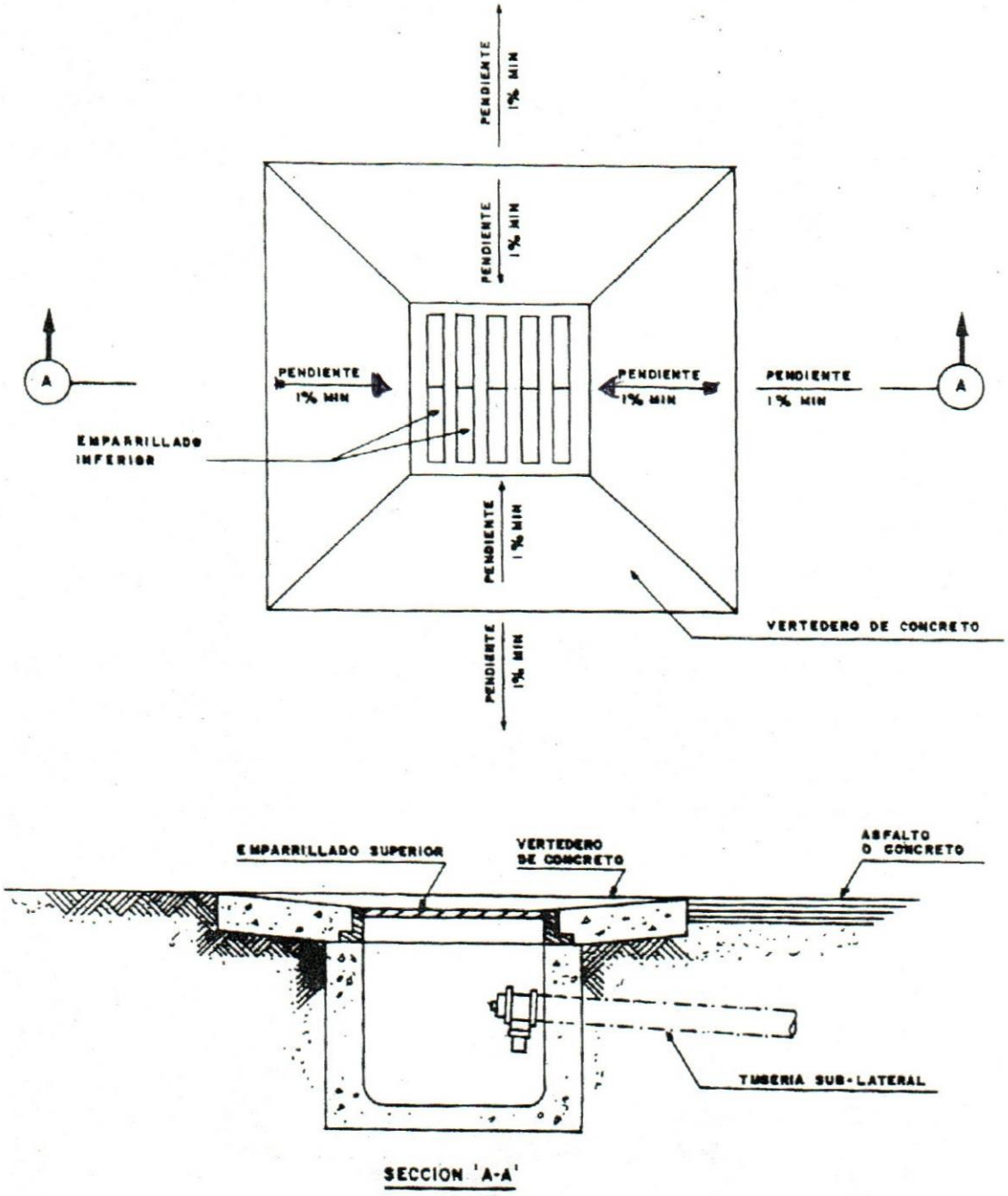
AREA DE PROCESO - ARREGLO TIPICO EN UN AREA INDIVIDUAL DE DRENAJE

ANEXO 8



LLENADERO DE CAMIONES - SISTEMA DE DRENAJE

ANEXO 9



LLENADEROS DE CAMIONES - SUMIDEROS EN EL AREA DE LAS MAGUERAS DE CARGA

Gráfico para Calcular el Diámetro de la Tubería
(n = 0.011)

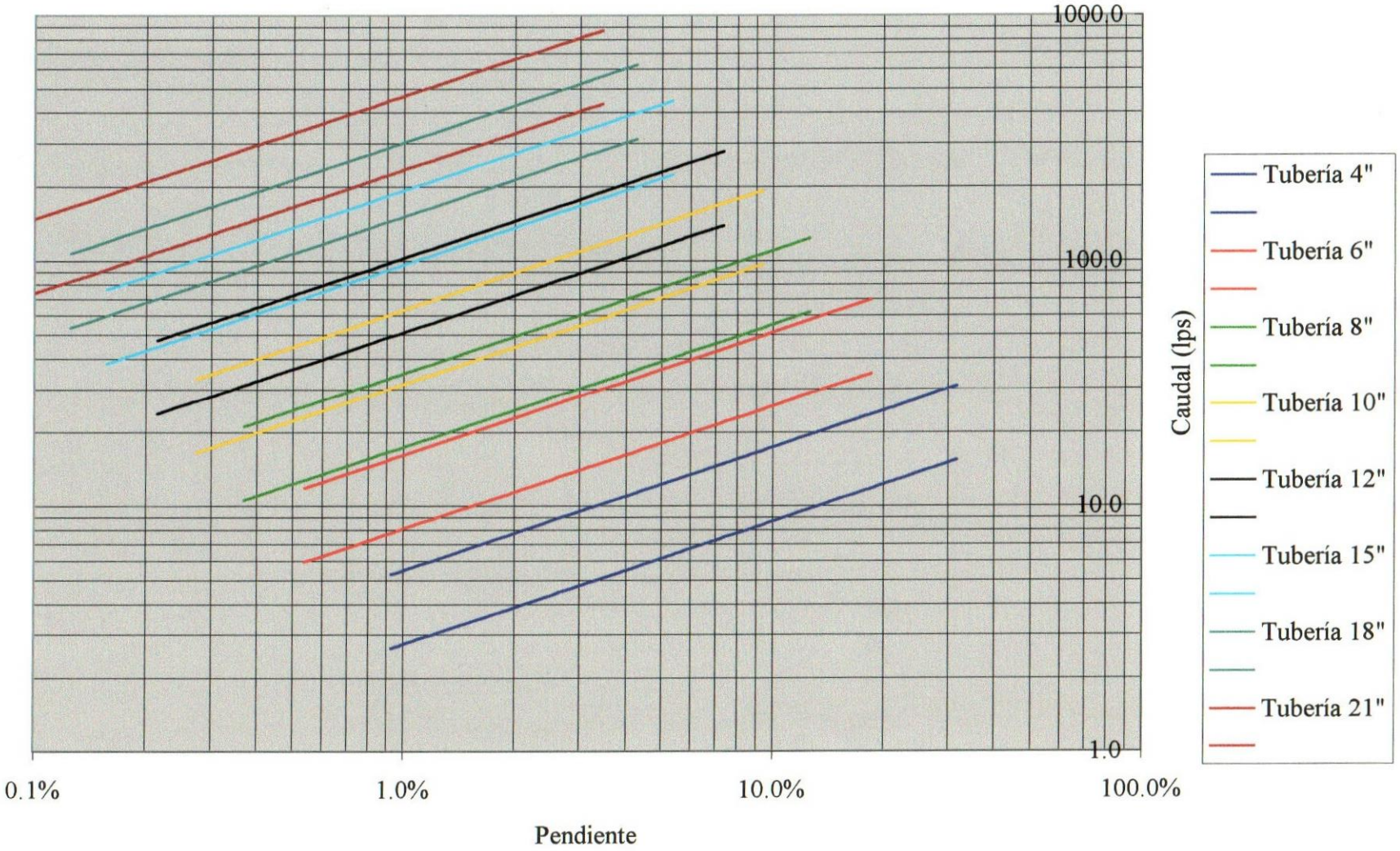


Gráfico para Calcular el Diámetro de la Tubería
(n = 0.013)

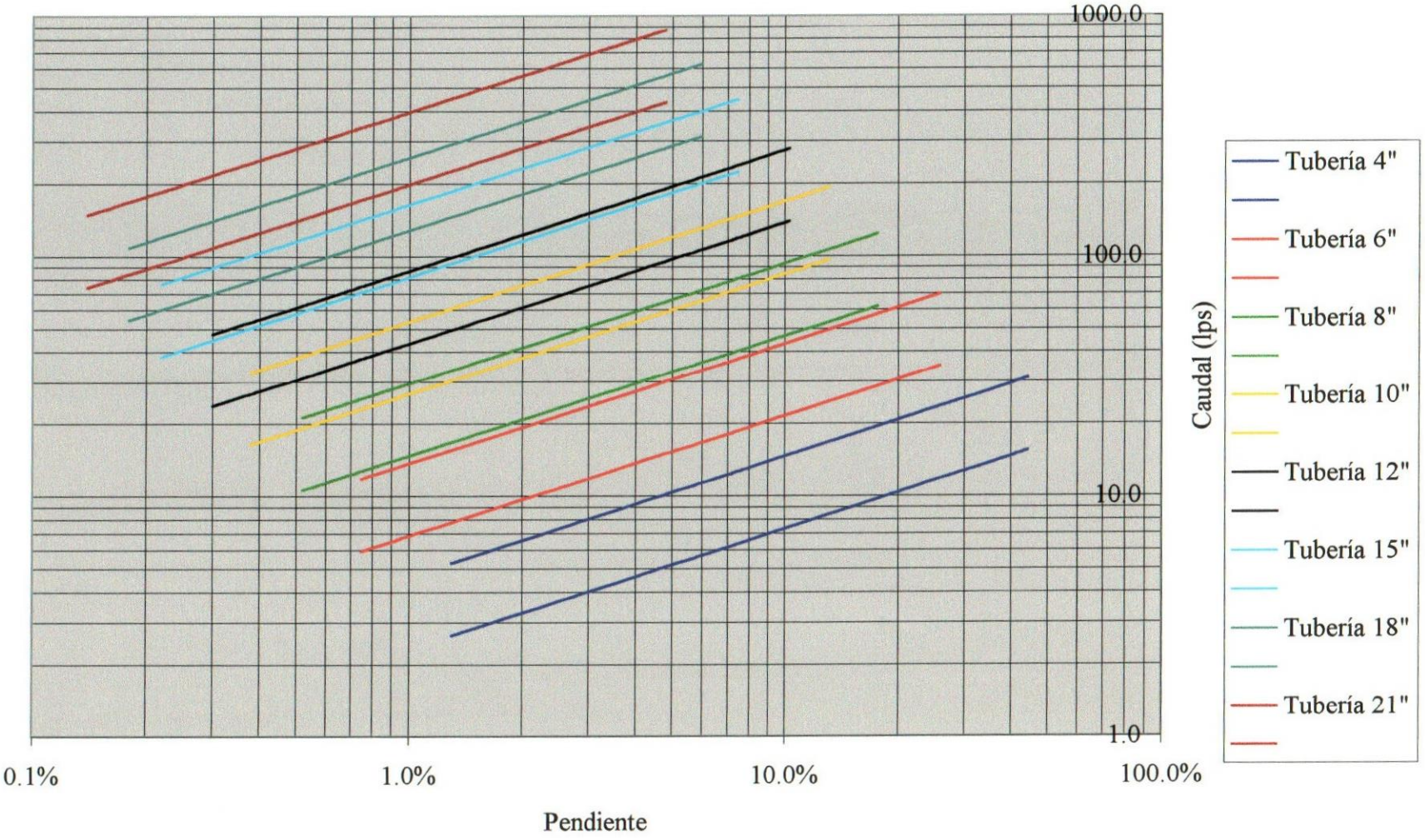
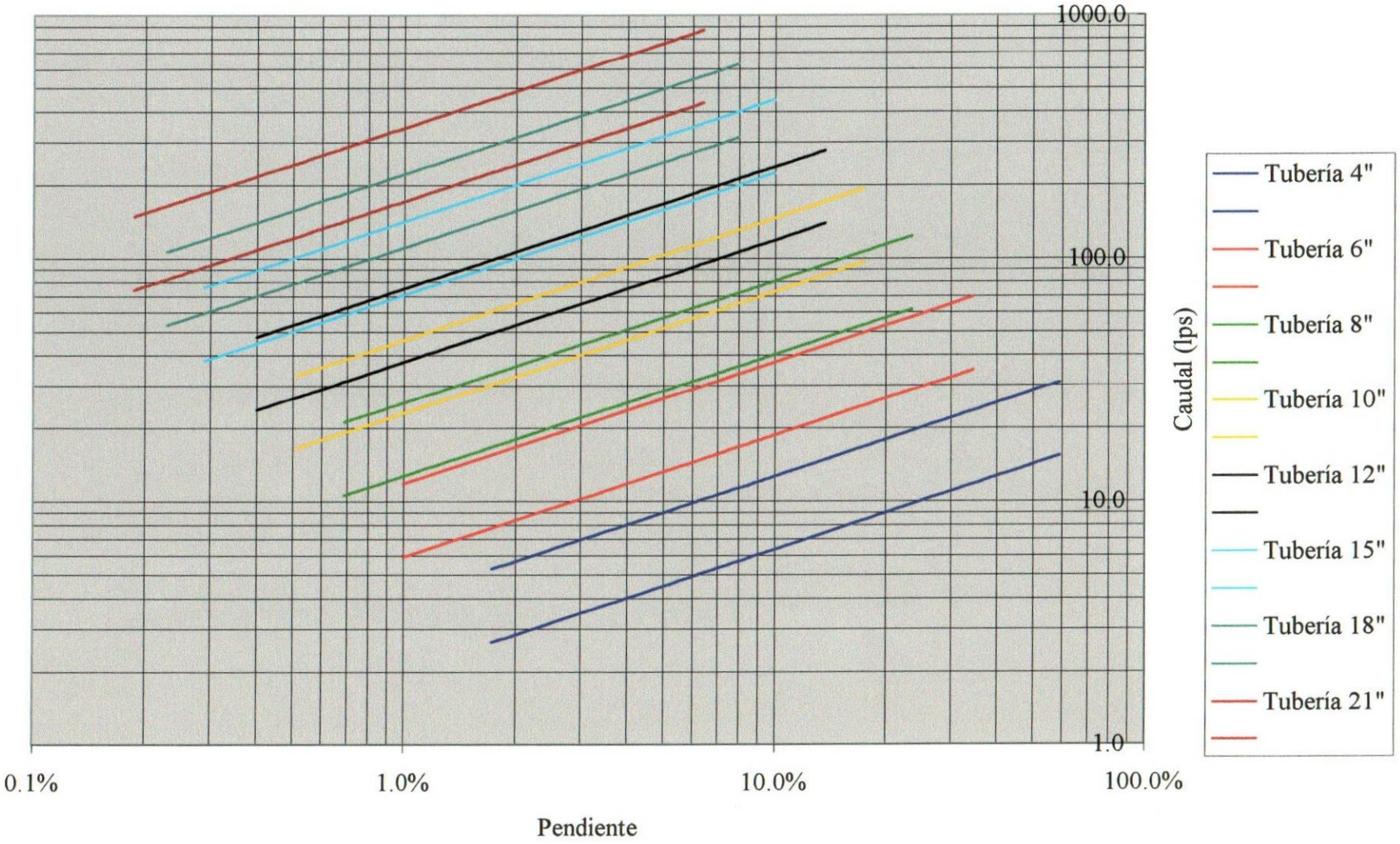


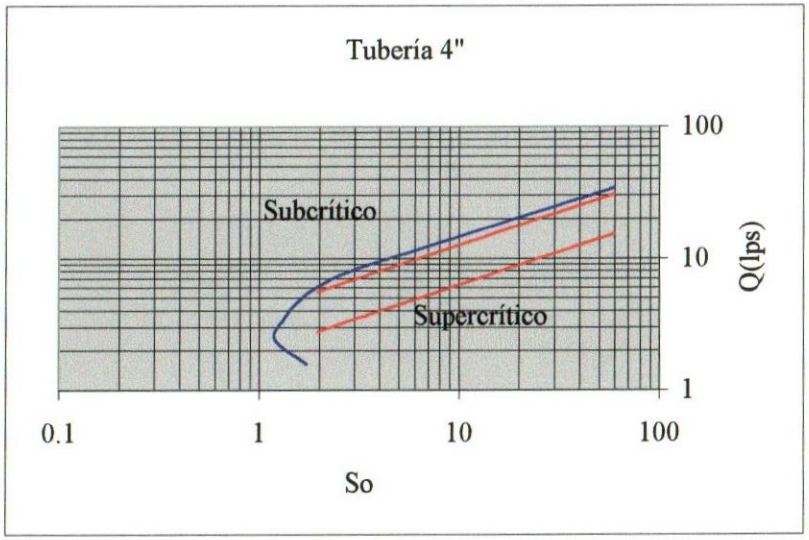
Gráfico para Calcular el Diámetro de la Tubería
(n = 0.015)

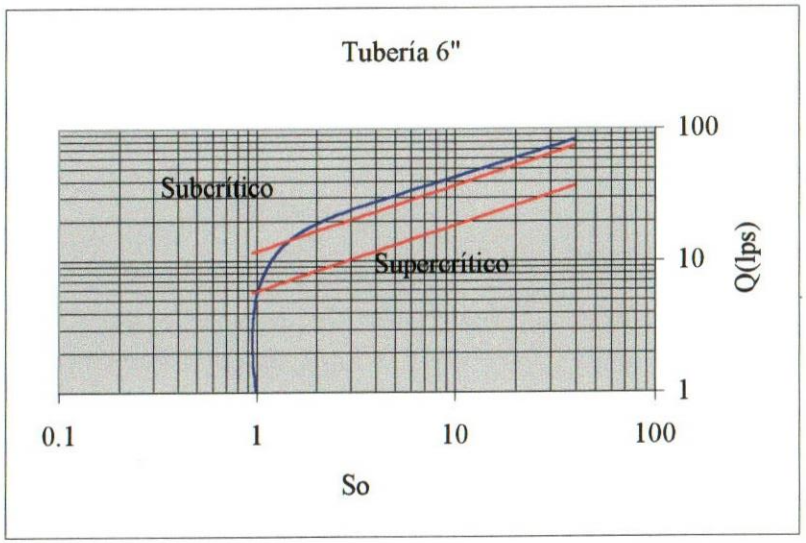


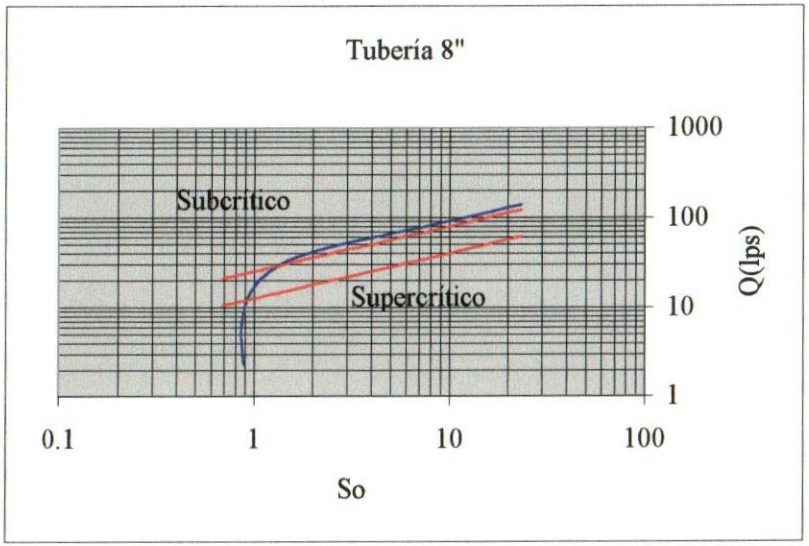
Anexo 13. Gráficos para la Verificación de Régimen de Flujo

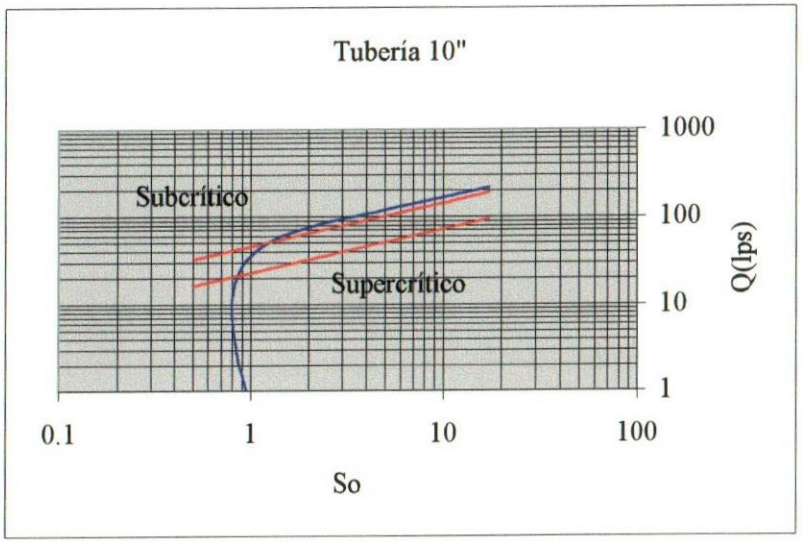
Los gráficos mostrados a continuación, tienen como propósito la verificación del régimen de flujo para cada diámetro de tubería. Cada gráfico esta constituido por tres curvas; las de color rojo representan la variación del caudal con respecto a la pendiente, donde la línea superior representa un 90% del caudal a sección plena y la inferior representa el 45% del caudal a sección plena, la curva de color azul representa la pendiente crítica para cada caudal, la cual delimitará el tipo de régimen. Todos los valores de caudales que se encuentren al lado izquierdo de esta curva pertenecerán a un régimen subcrítico y todos los valores que se encuentren del lado derecho de la curva pertenecerán a un régimen supercrítico.

GRÁFICOS PARA LA VERIFICACIÓN DE RÉGIMEN DE FLUJO

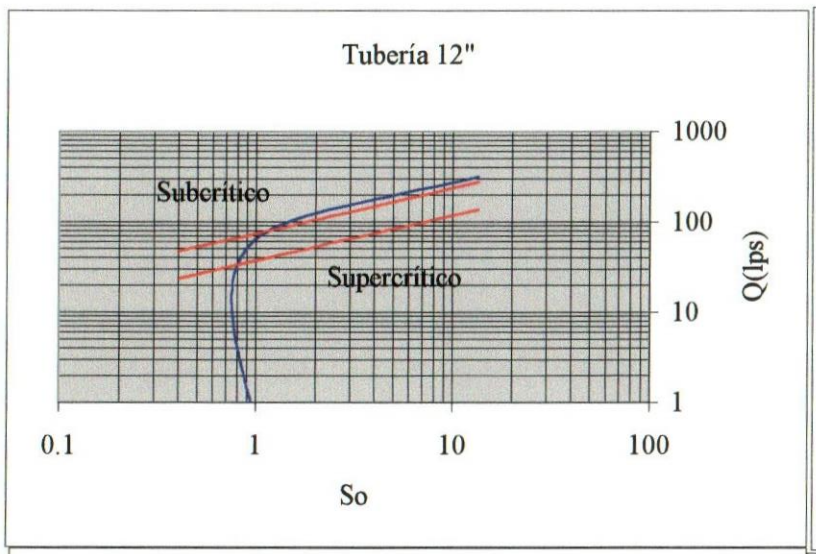


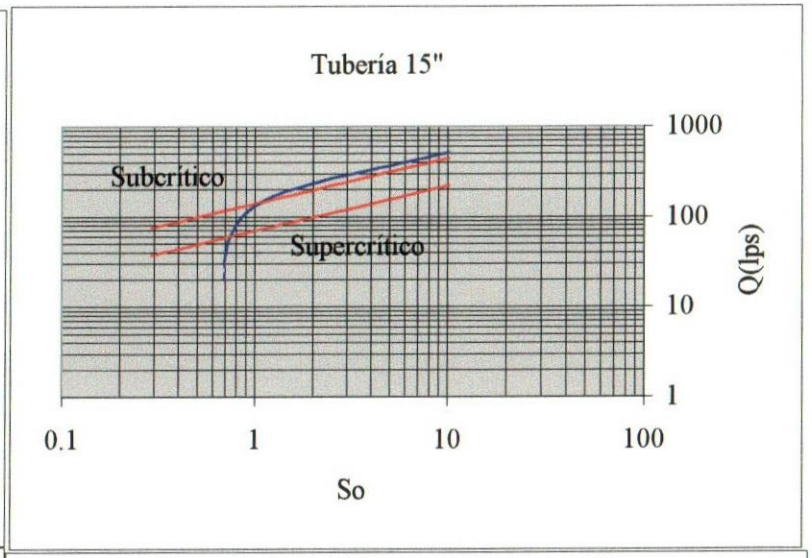


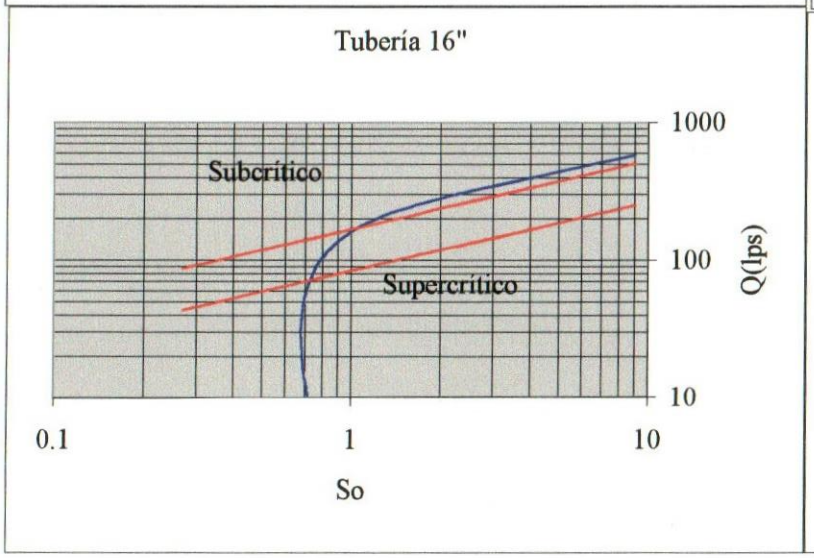


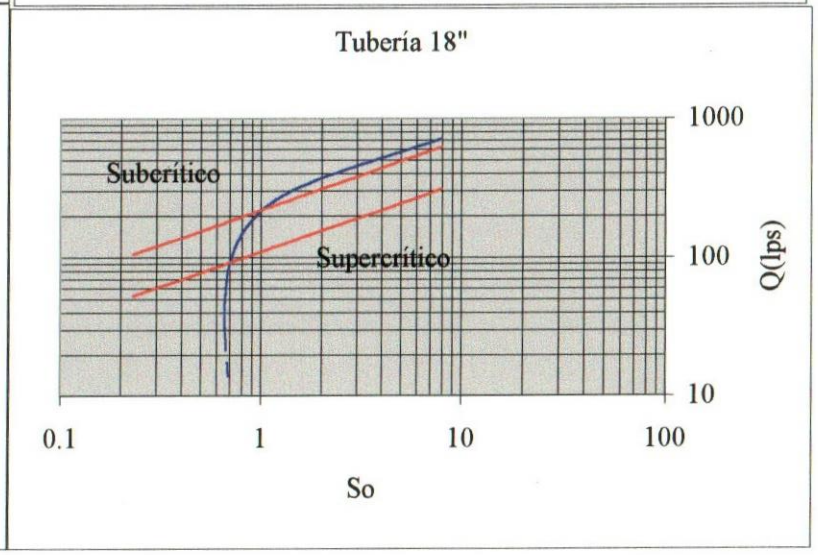


GRÁFICOS PARA LA VERIFICACIÓN DE RÉGIMEN DE FLUJO

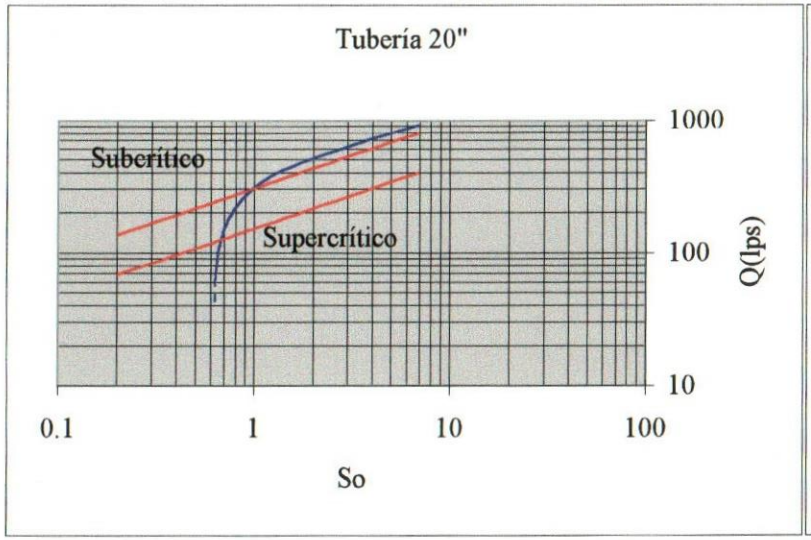


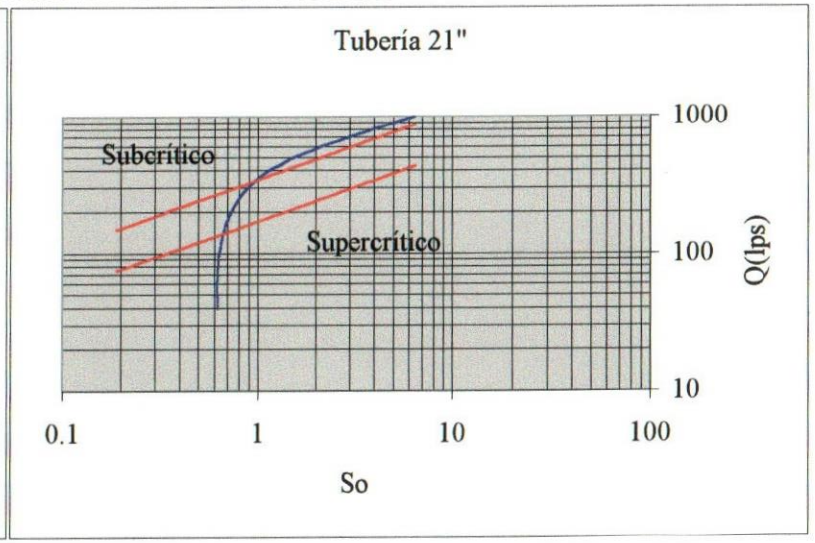


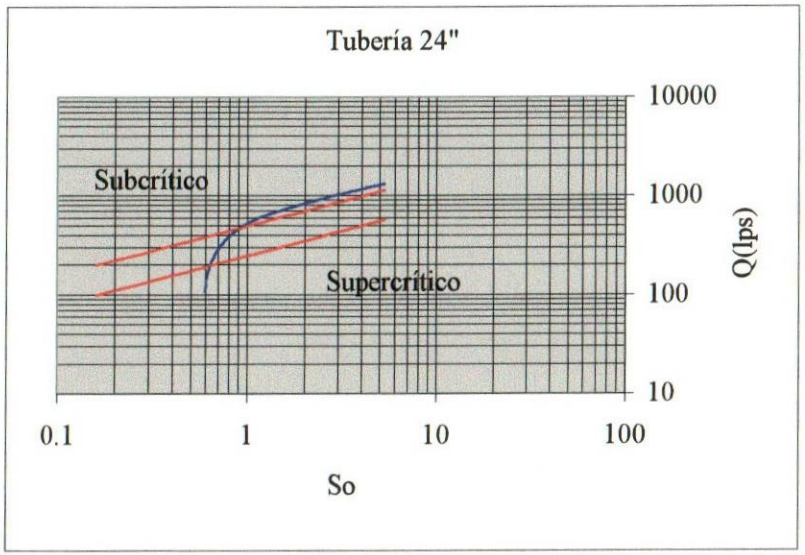




GRÁFICOS PARA LA VERIFICACIÓN DE RÉGIMEN DE FLUJO



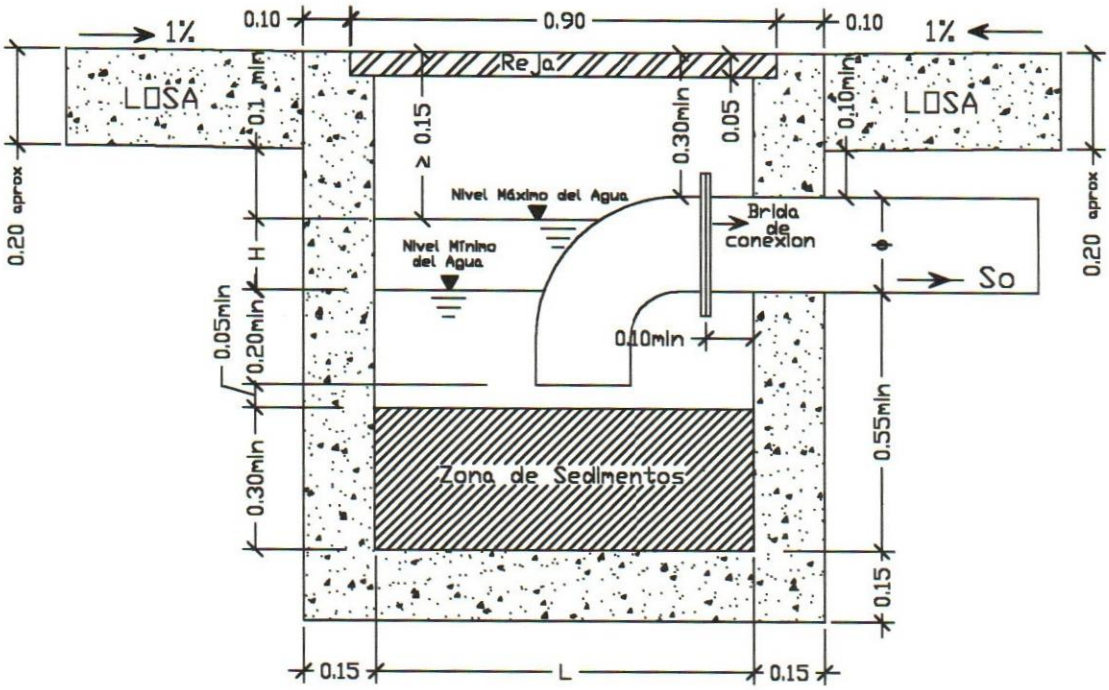




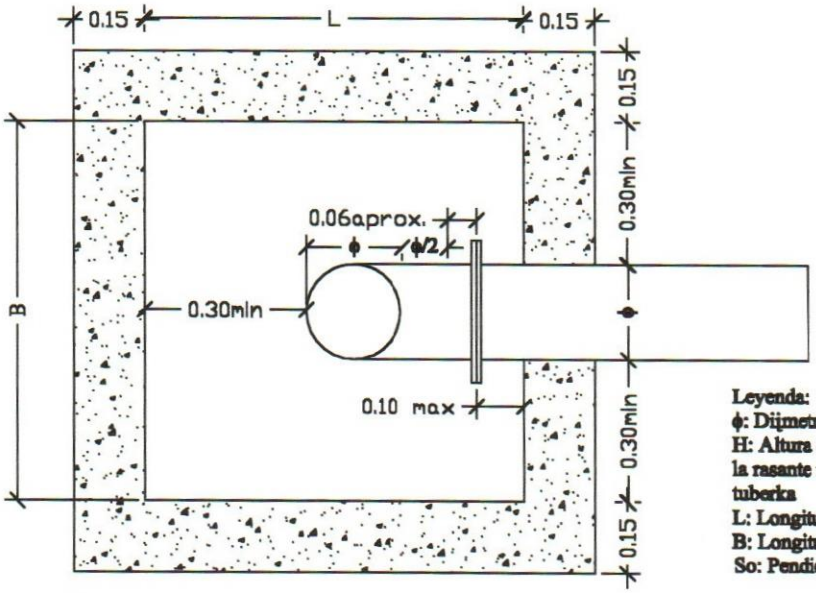
ANEXO 14

(Dimensiones Mínimas Recomendadas para los Sumideros)

Corte:



Planta:



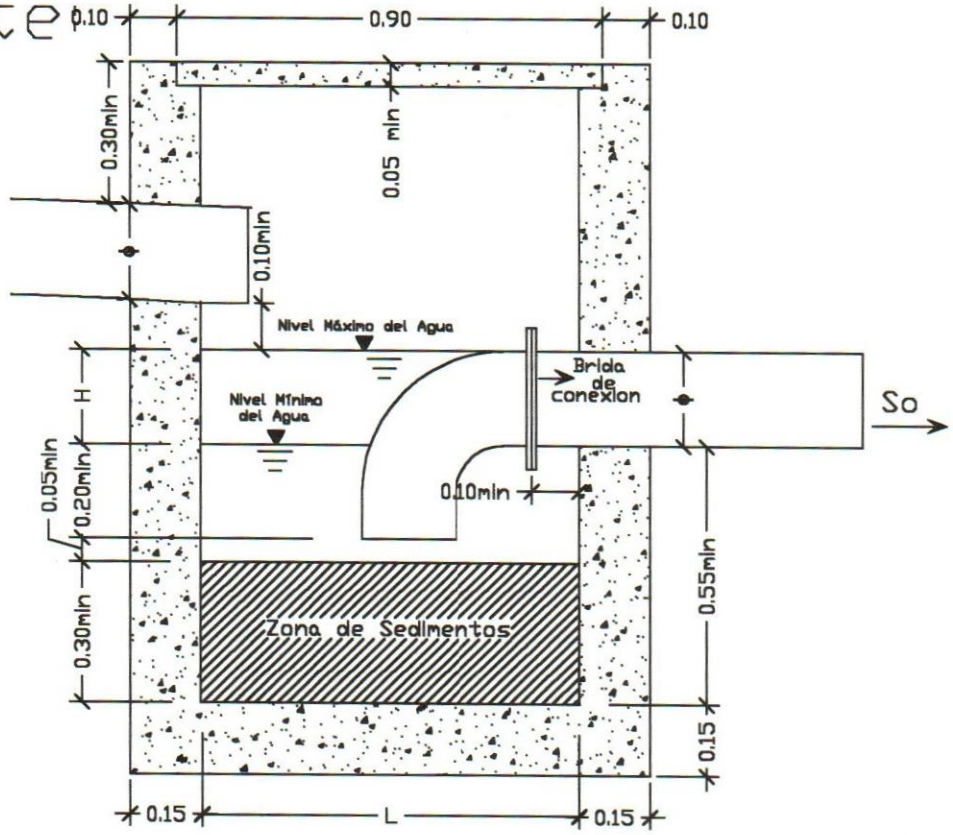
Leyenda:
ϕ: Diámetro
H: Altura del agua sobre la rasante inicial de la tubería
L: Longitud horizontal
B: Longitud Vertical
So: Pendiente

Dimensiones en metros

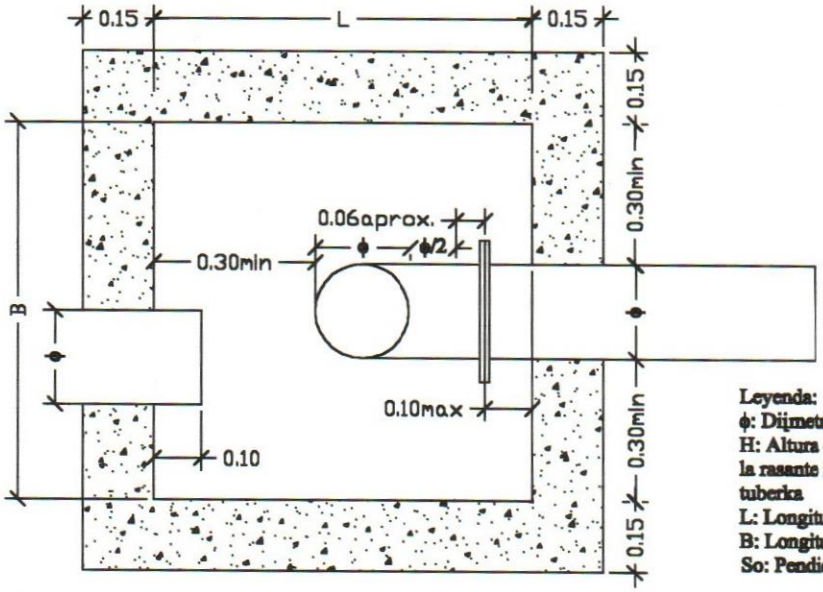
ANEXO 15

(Dimensiones Mínimas Recomendadas para Tanquillas)

Corte



Planta:



Leyenda:
ϕ: Diámetro
H: Altura del agua sobre la rasante inicial de la tuberka
L: Longitud horizontal
B: Longitud Vertical
So: Pendiente

Dimensiones en metros