

**Comisión Nacional del Agua**

**MANUAL DE AGUA POTABLE,  
ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO**

**SELECCIÓN E INSTALACIÓN DE EQUIPOS DE MACROMEDICIÓN**

**Diciembre de 2007**

**[www.cna.gob.mx](http://www.cna.gob.mx)**

## **ADVERTENCIA**

Se autoriza la reproducción sin alteraciones del material contenido en esta obra, sin fines de lucro y citando la fuente.

Esta publicación forma parte de los productos generados por la Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, cuyo cuidado editorial estuvo a cargo de la Gerencia de Cuencas Transfronterizas de la Comisión Nacional del Agua.

### **Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.**

Edición 2007  
ISBN: 978-968-817-880-5

Autor: Comisión Nacional del Agua  
Insurgentes Sur No. 2416 Col. Copilco El Bajo  
C.P. 04340, Coyoacán, México, D.F.  
Tel. (55) 5174-4000  
[www.cna.gob.mx](http://www.cna.gob.mx)

Editor: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales  
Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209 Col. Jardines de la Montaña,  
C.P 14210, Tlalpan, México, D.F.

Impreso en México  
Distribución gratuita. Prohibida su venta.

# Comisión Nacional del Agua

**Ing. José Luis Luege Tamargo**

Director General

**Ing. Marco Antonio Velázquez Holguín**

Coordinador de Asesores de la Dirección General

**Ing. Raúl Alberto Navarro Garza**

Subdirector General de Administración

**Lic. Roberto Anaya Moreno**

Subdirector General de Administración del Agua

**Ing. José Ramón Ardavín Ituarte**

Subdirector General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento

**Ing. Sergio Soto Priante**

Subdirector General de Infraestructura Hidroagrícola

**Lic. Jesús Becerra Pedrote**

Subdirector General Jurídico

**Ing. José Antonio Rodríguez Tirado**

Subdirector General de Programación

**Dr. Felipe Ignacio Arreguín Cortés**

Subdirector General Técnico

**Lic. René Francisco Bolio Halloran**

Coordinador General de Atención de Emergencias y Consejos de Cuenca

**M.C.C. Heidi Storsberg Montes**

Coordinadora General de Atención Institucional, Comunicación y Cultura del Agua

**Lic. Mario Alberto Rodríguez Pérez**

Coordinador General de Revisión y Liquidación Fiscal

**Dr. Michel Rosengaus Moshinsky**

Coordinador General del Servicio Meteorológico Nacional

**C. Rafael Reyes Guerra**

Titular del Órgano Interno de Control

**Responsable de la publicación:**

Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento

**Coordinador a cargo del proyecto:**

**Ing. Eduardo Martínez Oliver**

Subgerente de Normalización

La Comisión Nacional del Agua contrató la Edición 2007 de los Manuales con el

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA según convenio

CNA-IMTA-SGT-GINT-001-2007 (Proyecto HC0758.3) del 2 de julio de 2007

Participaron:

**Dr. Velitchko G. Tzatchkov**

**M. I. Ignacio A. Caldiño Villagómez**

## PRÓLOGO

La **COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA** tiene como atribuciones dirigir acciones que permitan garantizar el suministro de agua a las poblaciones; actualmente tiene programado editar el “Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento”. El cual será una herramienta adicional que facilitará el apoyo técnico-administrativo a las gerencias regionales y estatales de la C.N.A., a los organismos operadores de los sistemas de agua potable y a los técnicos que laboran en el subsector para realizar estudios y proyectos, así como decidir y ejecutar acciones que optimicen la operación y mantenimiento de los servicios de agua potable y alcantarillado.

La Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial, a través de la Gerencia de Normas Técnicas, elaboró la “Guía Para la Selección e Instalación de Equipos de Macromedición”, el cuál forma parte del libro III, correspondiente a operación y mantenimiento, capítulo de hidrometría. Es un documento que servirá como apoyo para proyectar los nuevos sistemas de macromedición y diagnosticar los que se encuentran en operación, para mejorarlo, e iniciar los programas de control hidráulico.

Esta guía debe considerarse como un instrumento de referencia y consulta que facilitará el establecimiento de los sistemas y la selección de los equipos de macromedición.

El documento se ha concebido con un enfoque eminentemente práctico, orientado a que los organismos operadores cuenten con la información técnica indispensable para realizar una adecuada selección e instalación de macromedidores, así como establecer los sistemas de información relativos a la macromedicón y los programas de mantenimiento que permitan garantizar la confiabilidad de las mediciones.

## C O N T E N I D O

<b>1. LA MACROMEDICIÓN Y LA LEY DE AGUAS NACIONALES.....</b>	<b>2</b>
<b>2. VENTAJAS DE LA MACROMEDICIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>3. CRITERIOS GENERALES PARA LA LOCALIZACIÓN DE ESTACIONES DE MEDICIÓN. ....</b>	<b>4</b>
3.1. Fuentes de abastecimiento .....	4
3.2. Líneas de Conducción.....	4
3.3. Plantas Potabilizadoras.....	4
3.4. Pozos Profundos .....	4
3.5. Convergencias o Divergencias de Líneas.....	4
3.6. Rebombeos .....	5
3.7. Red de Distribución .....	5
<b>4. DIFERENTES TIPOS DE MACROMEDIDORES.....</b>	<b>6</b>
4.1. MEDIDORES DE CAUDAL EN CONDUCTOS A PRESIÓN .....	8
4.1.1. Medidores de Velocidad .....	8
4.1.2. Medidores de Presión Diferencial.....	20
4.1.3. Medidor Ultrasónico.....	50
4.1.4. Medidores Electromagnéticos .....	55
<b>5. ELEMENTOS SECUNDARIOS DE PRESIÓN DIFERENCIAL.....</b>	<b>59</b>
5.1. Transmisores.....	59
5.1.1. Célula diferencial Tipo Dri-Flo. ....	59
5.1.2. Célula Diferencial Tipo Strain Gauge: .....	60
5.1.3. Transmisores Electrónicos .....	61
5.2. Registradores .....	62
<b>6. MEDIDORES PARA CONDUCTOS A GRAVEDAD. (CANALES).....</b>	<b>64</b>
6.1. Vertedores .....	64
6.1.1. Vertedor Rectangular .....	67
6.1.2. Vertedor Trapezoidal Cipolletti .....	73
6.1.3. Vertedor Triangular .....	74
6.2. Canales Parshalli .....	80
6.3. Método de Arca - Velocidad. ....	86
<b>7. ELEMENTOS SECUNDARIOS PARA DISPOSITIVOS PRIMARIOS DE MEDICIÓN EN CONDUCTOS A GRAVEDAD. ....</b>	<b>93</b>
7.1. Regla Limnimétrica.....	93
7.2. Limnígrafo .....	94
7.3. Medidor de Nivel y Caudal de Eco Ultrasónico para Canal Abierto.....	95
<b>8. MANTENIMIENTO DE MACROMEDIDORES.....</b>	<b>99</b>
8.1. Mantenimiento Correctivo.....	99
8.2. Mantenimiento Preventivo .....	99
8.3. Taller de Medidores.....	101
<b>9. MANEJO DE LA INFORMACIÓN.....</b>	<b>105</b>
9.1. Entradas .....	106
9.2. Procesamiento de Datos .....	106
9.3. Salidas.....	106
9.4. Diseño .....	107

9.4.1. Area de Operación .....	107
9.4.2. Arca de Mantenimiento.....	107
9.4.3. Arca Administrativa .....	108
9.4.4. Gerencia.....	108
9.5. Control y Evaluación.....	108
<b>10. RESUMEN DE INFORMACION PARA LA SELECCION DE MEDIDORES DE AGUA.....</b>	<b>109</b>
10.1. GUIA PARA LA SELECCION DE MEDIDORES DE FLUJO .....	110

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1. Porcentaje del caudal característico curva tipica de errores.....	9
Figura 4.2. CAUDALES EN $m^3 / h$ .....	10
Figura 4.3. Medidores Tipo Woltmann.....	12
Figura 4.4. Piezas especiales.....	13
Figura 4.5. Cuello bridado.....	14
Figura 4.6. Cuello soldable.....	15
Figura 4.7. Tipo silleta.....	15
Figura 4.8. Medidor tipo carrete bridado.....	16
Figura 4.9. Medidor de extremos lisos.....	16
Figura 4.10. Medidor tipo turbina.....	17
Figura 4.11. Tipo micromolinete.....	18
Figura 4.12. Perdida de carga para diferentes medidores de primogenos.....	23
Figura 4.13. Medidor primario de presión diferencial tipo tobera.....	24
Figura 4.14. Venturi corto.....	25
Figura 4.15. Venturi largo.....	25
Figura 4.16. Localizacion del punto de instalacion de tubos venturi para diferentes accesorios agua arriba.....	27
Figura 4.17. Tubo dall.....	29
Figura 4.18. Flujo.....	30
Figura 4.19. Instalacion tipica del medidor tipo tobera.....	31
Figura 4.20. Medidor de placa de orificio.....	32
Figura 4.21. Instalación del medidor de placa de orificio.....	33
Figura 4.22. Localizacion del punto de instalacion para placas de orificio con accesorios en un mismo plano.....	34
Figura 4.23. Localizacion del punto de instalación de placas de orificio y toberas con accesorios en un mismo plano.....	35
Figura 4.24. Localizacion del punto de instalacion de placas de orificio y toberas con accesorios en diferentes planos.....	36
Figura 4.25. Localizacion del punto de instalacion de placas de orificio y toberas con reduccion y ampliacion.....	37
Figura 4.26. Localizacion del punto de instalacion de orificios y toberas, cuando se tienen accesorios antes y despues.....	38
Figura 4.27. Esquema de las cargas que actuan sobre los orificios.....	40
Figura 4.28. Equipo de pitometría montado en una tubería junto con los componentes que lo integran.....	43
Figura 4.29. Posicion de los orificios.....	45
Figura 4.30. Pitot modificado.....	46
Figura 4.31. Distancias minimas recomendadas.....	47
Figura 4.32. Tolerancias permisibles en el alineamiento.....	48
Figura 4.33. Accesorios de una instalación típica.....	50
Figura 4.34. Medidor ultrasonico.....	51
Figura 4.35. Componentes del equipo de medición ultrasonico.....	52
Figura 4.36. Instalacion de los transductores.....	54
Figura 4.37. Estructura del medidor magnetico.....	56
Figura 4.38. Anillos o electrodos.....	57

Figura 5.1. Registrador.....	60
Figura 5.2. Celula diferencial strain gauge .....	61
Figura 5.3. Transductores.....	62
Figura 5.4. Registrador de presión diferencial.....	63
Figura 5.5. Registrador de presión diferencial.....	63
Figura 6.1. Partes que integran un vertedor.....	65
Figura 6.2. Perfiles de la cresta de los vertedores de pared delgada.....	66
Figura 6.3. Vertedor rectangular.....	67
Figura 6.4. Curva carga-gasto para vertedores rectangulares sin contraccion lateral.	
.....	71
Figura 6.5. Curva carga-gasto para vertedores rectangulares con contracción lateral.	
.....	72
Figura 6.6. Vertedor trapezoidal cipolleti.....	73
Figura 6.7. Vertedor triangular.....	76
Figura 6.8. Corte y planta de un medidor parshall.....	81
Figura 6.9. Division en franjas de la selección transversal de una corriente.....	88
Figura 6.10. Aforo en pasarela.....	89
Figura 6.11. Molinete de copas.....	90
Figura 6.12. Curva de velocidades.....	92
Figura 7.1. Regla limnimetrica.....	93
Figura 7.2. Limnigrafo.....	94
Figura 7.3. Medidor de nivel ultrasonico (diagrama del sistema) .....	96
Figura 7.4. Aplicación del medido ultrasonico.....	97
Figura 8.1. Diagrama de flujo taller de macromedidores.....	103
Figura 8.2. Vista en planta del taller.....	104

## INDICE DE TABLAS

Tabla 6.1. Gasto para vertedor rectangular sin contracción. (m <sup>3</sup> /s) .....	69
Tabla 6.2. Gasto para vertedor rectangular con contracción. (m <sup>3</sup> /s) .....	70
Tabla 6.3. Gasto para Vertedores Trapezoidales o Cipolletti sin Velocidad de llegada (m <sup>3</sup> / s).....	75
Tabla 6.4. Gasto para vertedores triangulares,abertura 60° y 90° .....	77
Tabla 6.5. Dimensiones y capacidad de canales parshall, para distintos anchos de garganta, W.....	83
Tabla 6.6. Valor de grado de sumersión .....	84
Tabla 6.7. Constantes m y S .....	85
Tabla 6.8. Velocidad (m/s) para Molinetes Gurley Tipo Price.....	91

## **INTRODUCCIÓN**

La macromedición es por ahora considerada una de las actividades de mayor relevancia en los sistemas de agua potable y alcantarillado, debido a que a través de su práctica cotidiana es posible conocer los caudales o volúmenes de agua potable entregados al sistema por sus fuentes de abastecimiento, así como cuantificar la que sale de el en forma de aguas residuales.

El conocer la cantidad de agua producida y entregada a un sistema de agua potable reporta beneficios importantes que le permiten conocer sus eficiencias en la distribución, facturación, cobranza y cuantificación de las pérdidas físicas, originadas por diferentes causas, también contribuye en la determinación de las eficiencias electromecánicas de sus equipos de bombeo, así como al control de la explotación de acuíferos. en base a estos beneficios podemos considerar que el sistema de macromedición forma parte importante en la planeación de cualquier organismo operador.

Para implantar un sistema de macromedición adecuado a las necesidades de cada organismo operador, se requiere establecer un proyecto de macromedición en el cual se deberá considerar la calidad del agua, la infraestructura existente, los costos del proyecto, la situación económica del organismo y por consiguiente la asignación de recursos en este rubro de acuerdo a sus programas de inversión.

## **OBJETIVO**

La macromedición es un tema muy amplio, pues se aplica a la medición de grandes volúmenes de fluidos en conductos a presión y a gravedad, es por ello que existe una gran variedad de literatura técnica escrita al respecto sobre este tema. Pero ninguna es capaz de establecer criterios de selección.

El objetivo de este documento es integrar y ordenar la información existente sobre macromedición de agua en conductos a presión y a gravedad, con la finalidad que pueda servir como una guía en la selección e instalación de estos equipos. Así como resaltar la importancia que implica un adecuado manejo y divulgación de su información en las actividades de planeación y operación, de los sistemas de agua potable y saneamiento.

## **1. LA MACROMEDICIÓN Y LA LEY DE AGUAS NACIONALES**

El 1º de Diciembre de 1992 se publicó en el Diario Oficial de la Federación, La Ley de Aguas Nacionales, por considerarse de interés, para los organismos operadores, a continuación se transcriben algunos artículos que tienen relación con la macromedición.

**Articulo 7.-** Se declara de utilidad pública.

VIII.- La instalación de los dispositivos necesarios para la medición de la cantidad y calidad de las aguas nacionales.

**Articulo 26.-**

Se suspenderá la concesión o asignación para el uso y aprovechamiento de aguas nacionales, independientemente de la aplicación de las sanciones que procedan, cuando:

II.- El concesionario o asignatario no permita que se efectúe la inspección, la medición, o verificación sobre los recursos e infraestructura hidráulica concesionada o asignada, hasta que regularice tal situación;

**Articulo 29.-** Los concesionarios o asignatarios tendrán las siguientes obligaciones:

V.- Permitir al personal de la "Comisión" la inspección de las obras hidráulicas utilizadas para explotar, usar o aprovechar las aguas nacionales, incluyendo la perforación y alumbramiento de aguas del subsuelo, y permitir la lectura y verificación del funcionamiento de los medidores y las demás actividades que se requieren para comprobar el cumplimiento de lo dispuesto en la presente Ley.

VI.- Proporcionar la información y documentación que les solicite la "Comisión" para verificar el cumplimiento de las condiciones contenidas en esta Ley y en los títulos de concesión, asignación o permiso a que se refiere la presente Ley;

**Articulo 119.-** La "Comisión" sancionará, conforme a lo previsto por esta Ley, las siguientes faltas:

VII.- No instalar los dispositivos necesarios para el registro o medición de la cantidad y la calidad de las aguas, en los términos que establece esta Ley, su reglamento y demás disposiciones aplicables, o modificar o alterar las instalaciones y equipos para medir los volúmenes de agua utilizados, sin permiso de la "comisión".

X.- Impedir las visitas, inspecciones y reconocimientos que realice la "Comisión" en los términos de esta Ley y de su reglamento;

XI.- No entregar los datos requeridos por la "Comisión" para verificar el cumplimiento de las disposiciones contenidas en esta Ley y en los títulos de concesión, asignación o permiso.

## **2. VENTAJAS DE LA MACROMEDICIÓN**

Actualmente las políticas para el subsector agua potable se están orientando a que los organismos operadores tiendan a manejarse con autosuficiencia técnica y financiera, esto es con estructuras y políticas empresariales, para lograr lo anterior es necesario partir desde el conocimiento de los caudales o volúmenes entregados por las fuentes de abastecimiento.

De lo anterior se desprende la importancia de contar con una adecuada infraestructura de macromedición, basada en una correcta selección e instalación de equipos macromedidores, así como de un programa de verificación y mantenimiento que garantice la confiabilidad de su información.

Paralelamente al desarrollo del proyecto de macromedición se deberá contemplar el establecimiento de un sistema de manejo y divulgación de la información obtenida, por medio de la cual se podrá obtener lo siguiente:

- Cuantificación de la Producción.
- Obtener la información necesaria para realizar los balances hidráulicos del sistema.
- Conocer los componentes de las pérdidas hidráulicas del sistema.
- Conociendo los volúmenes producidos y los volúmenes facturados se puede obtener un indicador de la eficiencia comercial del sistema.
- Conocer el comportamiento hidráulico del sistema en tiempo real, para tomar decisiones operativas sobre el manejo del agua.
- Apoyar la formulación de políticas tarifarias.
- Proporciona información básica para la planeación del crecimiento del sistema en relación a las necesidades de nuevas fuentes de abastecimiento y capacidad de suministro a nuevos usuarios.
- Obtener información para realizar los diagnósticos de eficiencia de los equipos electromecánicos.
- Obtener información para evaluar el comportamiento del sistema acuífero equipo electromecánico.
- Medición de volúmenes a grandes consumidores.
- Medición de caudales de entrada y salida en plantas de tratamiento de aguas residuales y potabilizadoras.

### **3. CRITERIOS GENERALES PARA LA LOCALIZACIÓN DE ESTACIONES DE MEDICIÓN.**

A continuación se exponen algunos criterios generales para la localización de macromedidores, los cuales se pueden tomar como una guía, sin embargo para desarrollar el proyecto de macromedición en un sistema de abastecimiento en particular es conveniente evaluar las prioridades de macromedición, así como la disponibilidad de recursos económicos a invertir en el proyecto, en función de su capacidad económica.

#### **3.1. FUENTES DE ABASTECIMIENTO.**

En principio se recomienda que todas las fuentes de abastecimiento deberán contar con medición.

#### **3.2. LÍNEAS DE CONDUCCIÓN.**

En las líneas de conducción se recomienda instalar puntos de medición permanentes y no permanentes, el punto de medición permanente se puede ubicar en el inicio de la línea, los no permanentes se ubicarían, uno, contiguo al permanente para verificar la exactitud del equipo de medición, otro al final de la línea, para verificar caudales de entrada y salida, lo que permitirá detectar fugas, en el caso de que existan derivaciones, es conveniente medir el caudal que se deriva.

#### **3.3. PLANTAS POTABILIZADORAS.**

En las plantas potabilizadoras es importante tener medición a la entrada y a la salida, para poder conocer el agua que se pierde en retrolavados, calcular la dosificación de reactivos y en general determinar su eficiencia hidráulica

#### **3.4. POZOS PROFUNDOS.**

En el caso de pozos profundos es conveniente la instalación de medidores permanentes a la descarga del equipo de bombeo, debido a que esta información es básica para determinar:

- Eficiencias electromecánicas en equipos de bombeo
- Comportamiento del Pozo
- Volúmenes extraídos

#### **3.5. CONVERGENCIAS O DIVERGENCIAS DE LÍNEAS.**

En el caso de líneas o instalaciones múltiples que convergen en otra, o salgan de ella, se deberán instalar únicamente los medidores necesarios para determinar los caudales de todos los conductos o instalaciones, así se puede pensar en instalar  $n-1$  medidores siendo  $n$  el número de líneas o instalaciones que llegan o salen de una

línea, lo anterior permite ahorrarse un medidor, sin afectar el control del punto de medición.

### 3.6. REBOMBEOS.

En el caso de Rebombeos es conveniente la instalación de medidores permanentes a la descarga de los equipos de bombeo, esto nos permite evaluar el gasto enviado a una determinada zona.

### 3.7. RED DE DISTRIBUCIÓN.

Se deberán considerar medidores permanentes en las entradas y salidas de todos los distritos que forman la red de distribución ya que estas mediciones, comparadas con las de los medidores de los usuarios, nos permitirán evaluar permanentemente las pérdidas de agua de cada distrito, y los coeficientes de los consumos horarios.

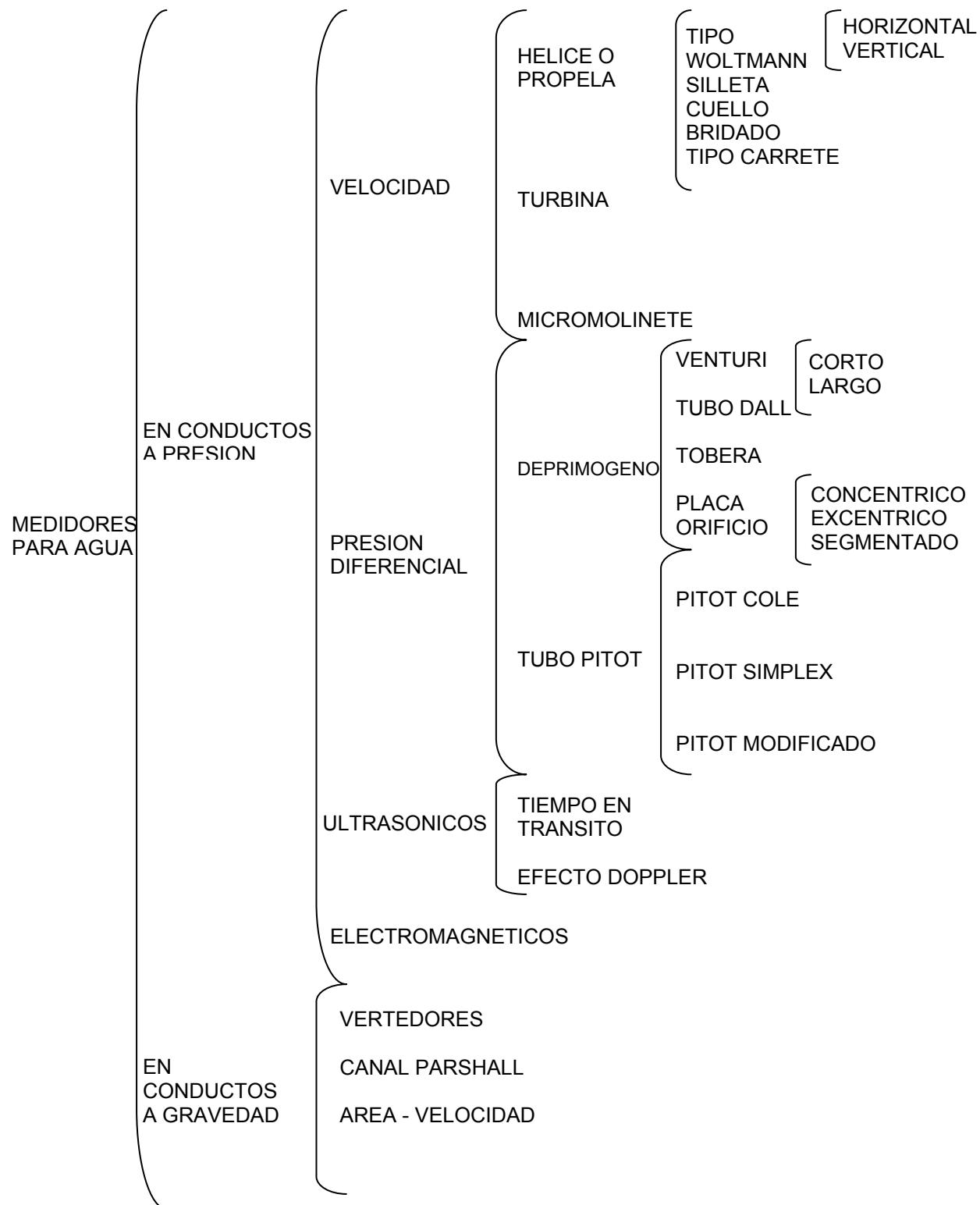
Cuando la aplicación de los criterios anteriormente mencionados, aconseje instalar una estación de medición, en un punto en el cual las presiones de operación sean superiores a los que soportan los medidores disponibles, se deberá seleccionar otro punto en la misma tubería.

Se recomienda que por cada punto de medición permanente se localice otro de medición no permanente, con la finalidad de verificar el funcionamiento y exactitud de los macromedidores instalados.

#### **4. DIFERENTES TIPOS DE MACROMEDIDORES.**

Existe una gran variedad de macromedidores que tienen su aplicación en los sistemas de agua potable y alcantarillado y sus diseños están basados de acuerdo a las presiones de operación y calidad del agua que se pretende cuantificar, en el cuadro No.1 se presenta una clasificación general de los diferentes tipos de medidores más comúnmente empleados.

## CLASIFICACIÓN DE MACROMEDIDORES



## 4.1. MEDIDORES DE CAUDAL EN CONDUCTOS A PRESIÓN

### MEDIDORES EN CONDUCTOS A PRESIÓN

#### 4.1.1. Medidores de Velocidad

##### Principio de Funcionamiento

Este tipo de medidor utiliza como elemento de medición una turbina o hélice, que trabaja en la tubería a presión en donde el flujo del agua corre en una dirección axial a ellas.

La medición se logra en base a la proporcionalidad existente entre el número de revoluciones de la turbina o hélice y la velocidad del agua que corre por la tubería, la velocidad de giro de la turbina o hélice es transmitida a un sistema de relojería o de pulsos eléctricos que la transforman directamente en información equivalente a volúmenes o registros gráficos.

##### 4.1.1.1. Definiciones Usadas en los Medidores de Velocidad.

###### Tamaño del Medidor

El tamaño del medidor esta determinado por su diámetro nominal y su capacidad nominal.

###### Diámetro Nominal

Es el número que sirve para definir el aparato en cuanto a su dimensión básica, la cual corresponde al diámetro interno de la tubería, para la cual el medidor esta construido.

###### Capacidad Nominal o Caudal Característico

La capacidad nominal esta dada por el caudal que atraviesa el medidor, ocasionando una pérdida de carga característica; esta capacidad esta basada en la relación cuantitativa del caudal y de la pérdida de carga respectiva, equivalente a 10 m.c.a.

###### Caudal Normal de Operación

Es el caudal en flujo uniforme, con una pérdida de carga no mayor a 0.5 m.c.a., para el cual el medidor deberá ser capaz de operar en servicio continuo.

###### Caudal Separador

Es el caudal en flujo uniforme, a partir del cual la precisión del medidor es superior al 2% en toda la escala

### **Límite Inferior de Exactitud**

Es el caudal a partir del cual el medidor comienza a indicar el paso del agua dentro de los límites prefijados para los errores de lectura (precisión superior al -5% ).

### **Campo de Medición**

Es el intervalo comprendido entre el límite inferior de exactitud y el caudal característico.

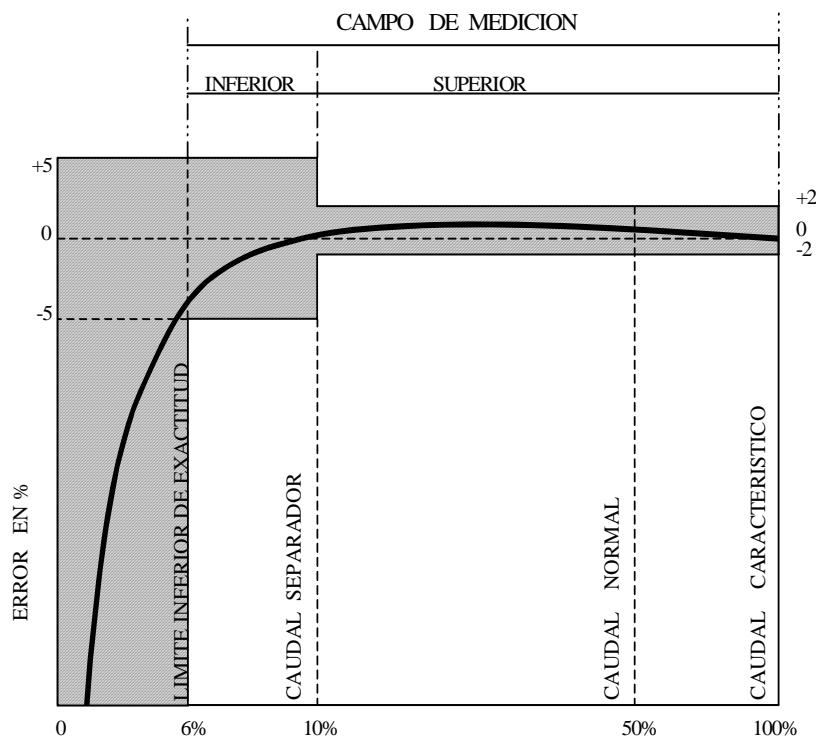
### **Campo Inferior de Medición**

Es el intervalo comprendido entre el límite inferior de exactitud y el caudal separador.

### **Campo Superior de Medición**

Es el intervalo comprendido entre el caudal separador y el caudal característico.

El comportamiento hidráulico de los medidores de velocidad y la calidad de su medición, están definidos por la curva de errores característica, la cual toma diferentes valores dependiendo del diámetro, tipo y marca. figura 4.1.



**Figura 4.1. Porcentaje del caudal característico curva típica de errores.**

#### 4.1.1.2. Selección de Medidores de Caudal Tipo Velocidad.

La selección de los medidores de caudal, es uno de los factores determinantes, para que el sistema de macromedición proporcione información confiable.

Consideraciones que se deberán de tomar en cuenta, para efectuar una adecuada selección de medidores de caudal.

- Es un grave error el tratar de seleccionar estos medidores solamente en función del diámetro de la tubería donde se pretenden instalar para efectuar una buena selección es conveniente seguir las recomendaciones que se dan en este tema.
- La literatura existente sobre el tema, menciona que las pérdidas normales de carga de un medidor velocimétrico, se consideran del orden de 0.5 metros columna de agua (m.c.a.) sin embargo es admisible que la pérdida alcance en casos excepcionales y por períodos cortos hasta un máximo de 1.0 m.c.a. ya que esto último puede ocasionar deterioro en el equipo.
- Es conveniente aclarar, que la pérdida de carga, esta en función del incremento del caudal que circula por el medidor, es por ello recomendable, que al seleccionar un medidor, este deba trabajar en lo posible, alrededor del caudal normal de operación.

A continuación se reproduce una gráfica que indica la pérdida de carga para medidores de diferentes diámetros y a diferentes caudales figura 4.2.

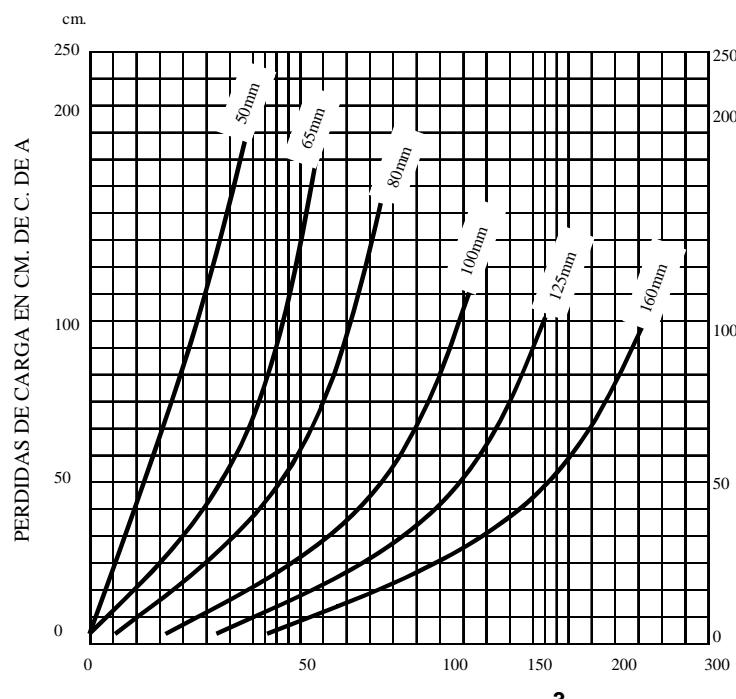


Figura 4.2. CAUDALES EN  $\text{m}^3 / \text{h}$

- Para garantizar una precisión aceptable ( error  $\pm 2\%$  ) y evitar deterioros por sobre carga de trabajo, el medidor debe funcionar dentro del campo superior de medición, procurando alejarse del límite marcado por el caudal característico.
- Durante períodos cortos de tiempo se puede aceptar que el medidor trabaje con caudales inferiores al caudal separador, o superiores al caudal característico.

Además de tomar en cuenta las consideraciones anteriores, para efectuar una adecuada selección de un medidor de caudal, se debe conocer o determinar lo siguiente:

- Características físico-químicas del agua ( temperatura, viscosidad, densidad, características de corrosividad o incrustación, etc.), lo que se logra realizando un análisis físico -químico al agua.
- Caudales máximo, mínimo, y normal de operación en el sitio de medición, para conocer estos datos, se efectúan aforos, por cualquiera de los métodos conocidos como son: pitometría, de la escuadra, orificio calibrado, volumétrico, etc.
- Presiones máxima, mínima, y normal de operación, en el sitio de medición.
- Pérdida máxima de carga admisible cuando el medidor funcione a gasto máximo y normal, operando 24 h./día.
- La precisión con que debe operar el medidor en el campo superior e inferior de medición.
- Las características de la descarga en el caso de pozos en operación o sitio donde se ubicará el medidor ( diámetro de la tubería, distancia disponible para su instalación, disponibilidad de energía, etc. ), y en proyectos nuevos, su instalación deberá cumplir con los requerimientos mínimos del fabricante.
- Tipo de los dispositivos de lectura requeridos.
- Evaluar calidad del equipo, asistencia técnica y refaccionamiento, proporcionado por el fabricante.
- Compatibilidad entre los equipos auxiliares de lectura, e indicación de caudal, así como con el sistema general de macromedición instalado en el sistema de agua potable y saneamiento.
- Características constructivas del medidor (longitud, peso, tipo de conexiones, metalurgia de internos y cuerpo, etc. ).
- Condiciones del medio ambiente, sobre todo en el caso de que por temperaturas bajas se pueda producir congelamiento en el agua de las tuberías.

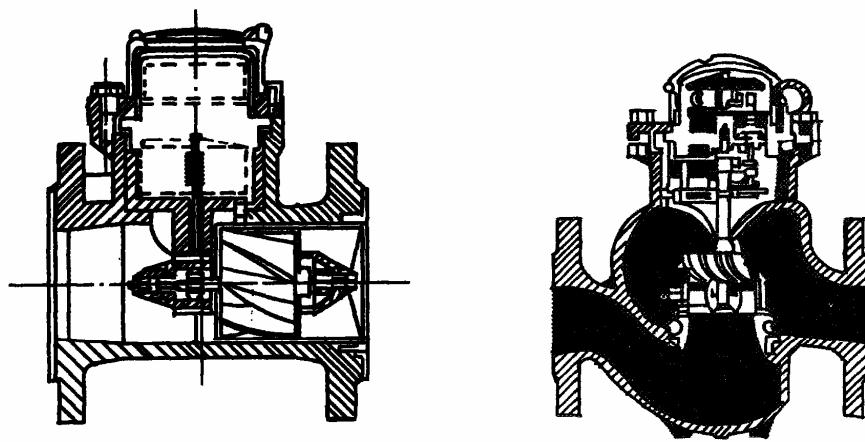
Con la información anterior se deberá consultar los catálogos del fabricante y seleccionar el medidor mas conveniente a las necesidades de medición.

#### 4.1.1.3. Tipos de Medidores de Velocidad

##### **Medidores Tipo Woltmann.**

Los medidores de hélice tipo Wolmann, son aparatos que combinan una elevada precisión con una mínima pérdida de carga, siempre y cuando su selección e instalación se efectúe correctamente.

Existen dos tipos de ellos: el horizontal y el vertical figura siguiente.



HORIZONTAL

VERTICAL

**Figura 4.3. Medidores Tipo Wolmann.**

Los medidores Wolmann horizontales, están proyectados para trabajar en tramos de tubería horizontales, en caso contrario se deberá consultar al fabricante para adecuar el equipo.

La existencia de piezas especiales, situadas en las proximidades del medidor, ya sea antes o después, ocasionan turbulencias, afectando con ello la precisión del medidor, para evitar lo anterior, se recomienda seguir las indicaciones de la figura 4.4.

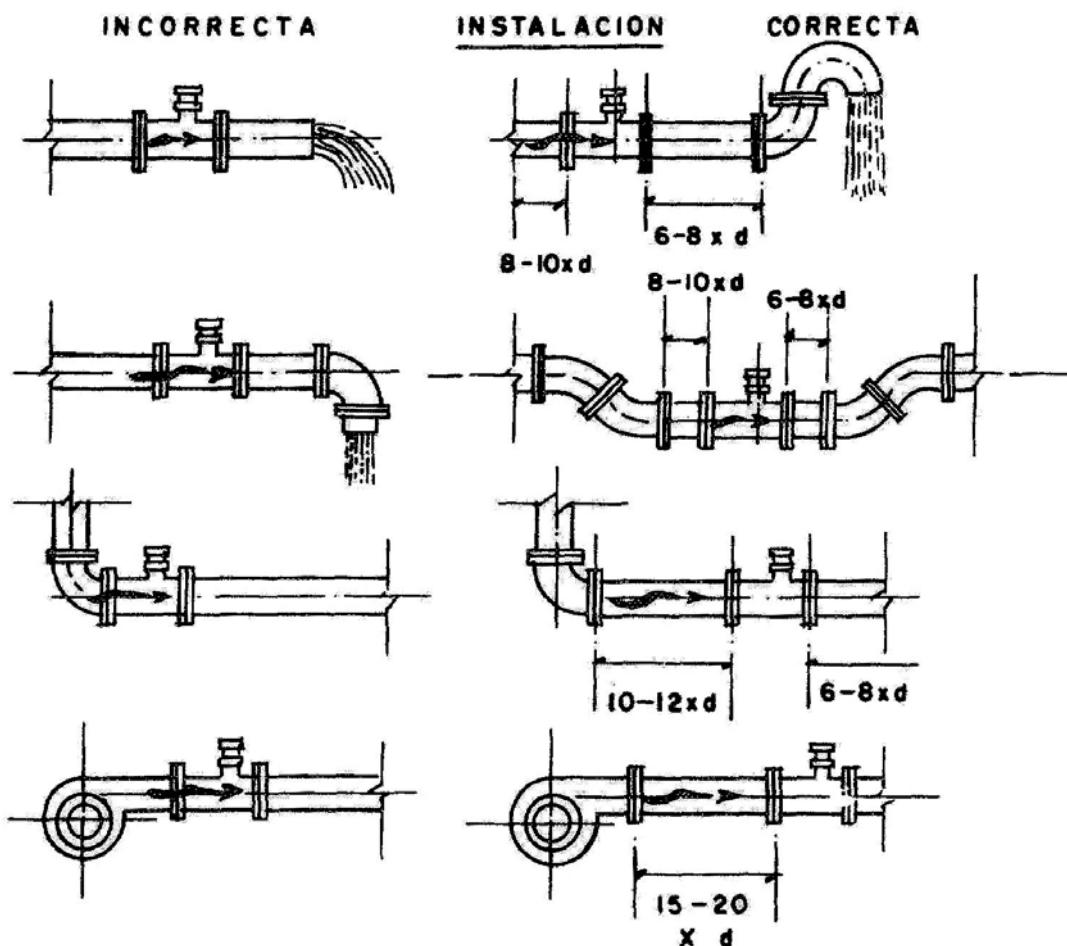


Figura 4.4. Piezas especiales

#### Algunas características particulares del tipo Woltmann

- Cuenta con una turbina tipo helicoidal.
- Se construye en diámetros que van de 2" a 20" de diámetro nominal aunque los mas usuales son los de 2" a 6"
- Se proporciona montado en un carrete bridado.
- Exactitud  $\pm 2\%$  en el campo de medición superior.
- Temperatura máxima de operación es de 40° C.
- Presiones de trabajo de hasta 10 kg/cm<sup>2</sup>
- Su transmisión puede ser mecánica o magnética.

#### Recomendaciones para su Uso

Este medidor se recomienda para ser usado en aguas limpias o con bajos contenidos de sólidos en suspensión.

Se recomienda para ser instalado en tuberías de 2" a 6" de diámetro nominal y para manejar de 9 a 80 m<sup>3</sup>/h, sin ser esta recomendación limitativa.

### **Medidor de Hélice o Propela**

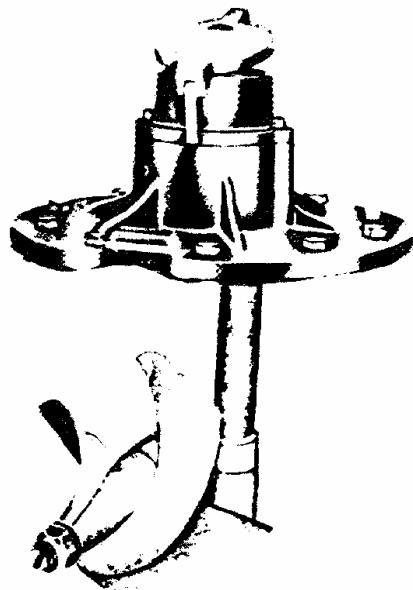
Básicamente, este medidor consta de una propela o hélice, una caja sellada y la cabeza del medidor, también cuenta con un registro local y una caja de acoplamiento, para conectar el equipo de medición externa.

En la parte inferior del medidor, una caja conecta el rotor al mecanismo interno del mismo, esta unión puede ser de acción mecánica o magnética.

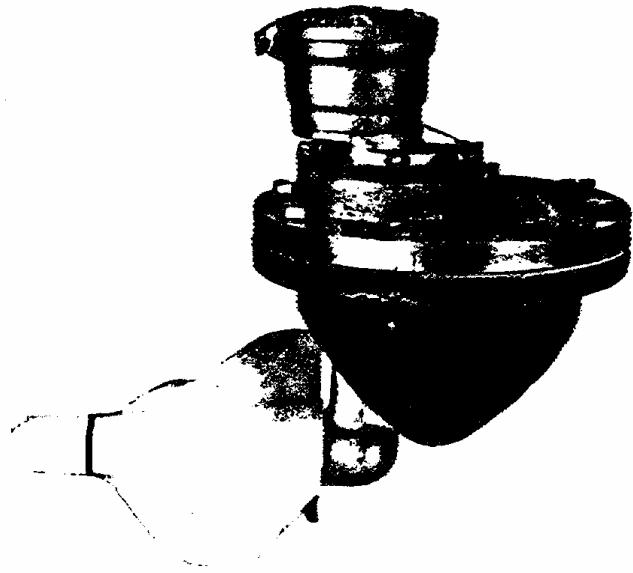
Para el caso de los de acción magnética, un tubo espaciador sellado, conecta el generador de pulsos con la cabeza del medidor y alinea la propela en el tubo de instalación. El tubo espaciador, también funciona como conducto sellado para las conexiones de señal entre el generador de pulsos y la cabeza del medidor.

De acuerdo a su sistema de instalación, existen los siguientes modelos.

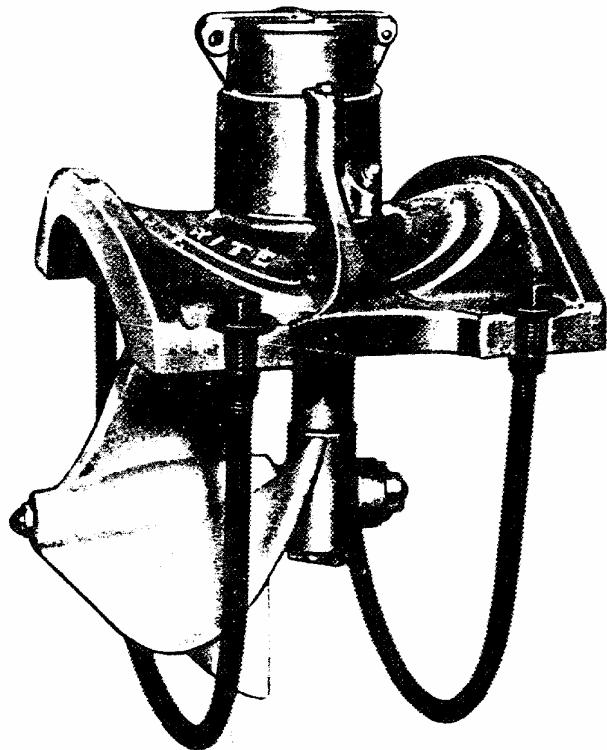
Cuello bridado, figura 4.5, Cuello Soldable, figura 4.6, Tipo Silleta, figura 4.7,.



**Figura 4.5. Cuello bridado.**



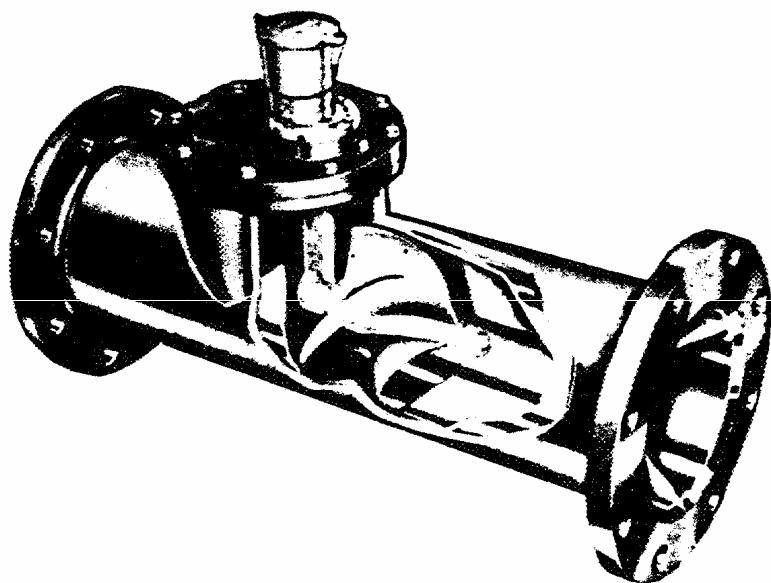
**Figura 4.6. Cuello soldable.**



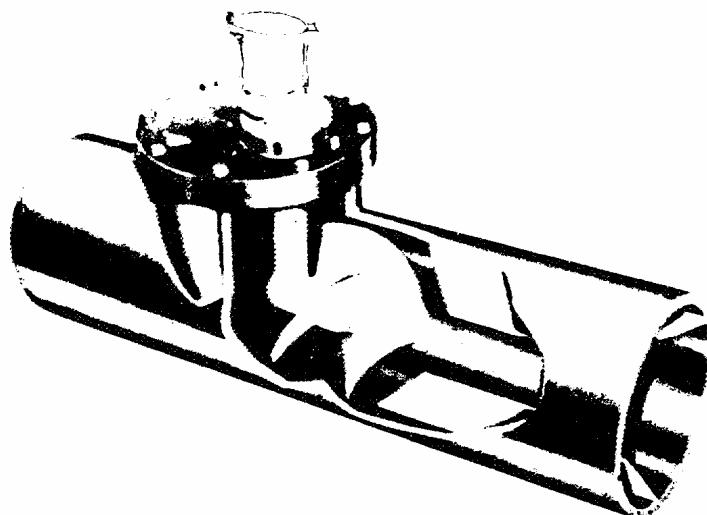
**Figura 4.7. Tipo silleta.**

### **Medidor Tipo Carrete**

La diferencia entre este medidor y los anteriores, reside en que este, viene acoplado a un carrete de acero, que en su interior lleva aletas direccionales soldadas, que tienen como función orientar el flujo para darle mayor precisión. el carrete puede ser bridado o de extremos lisos, como se muestra en la figura 4.8 y figura 4.9.



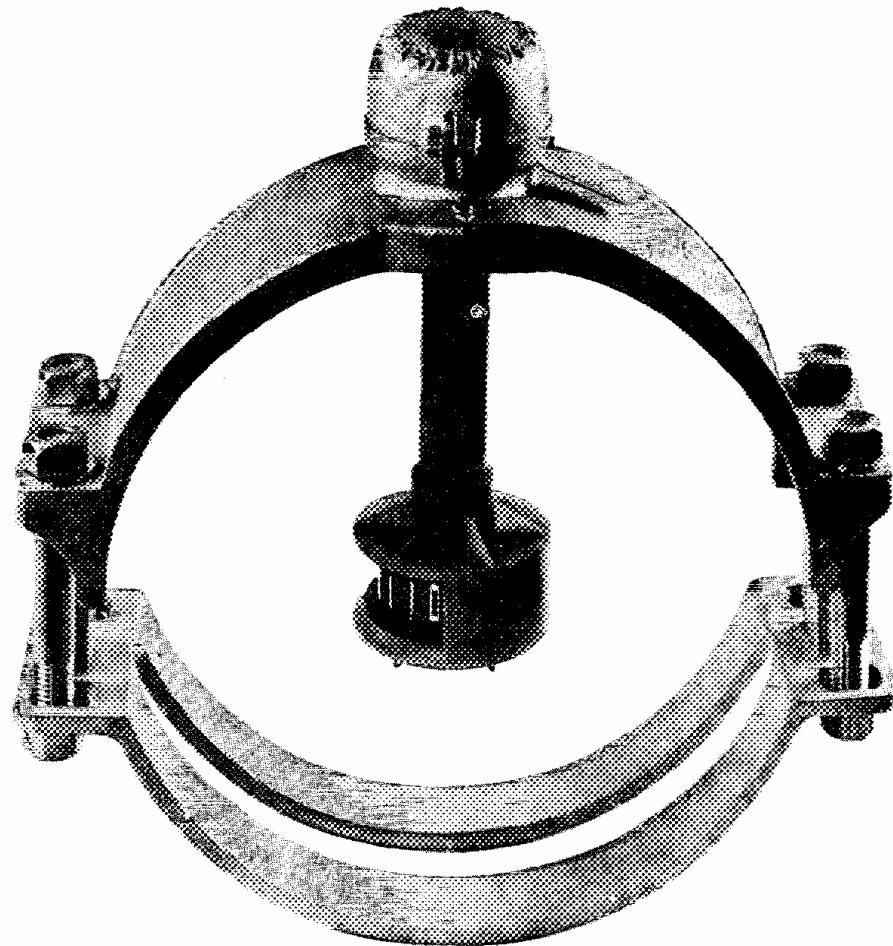
**Figura 4.8. Medidor tipo carrete bridado.**



**Figura 4.9. Medidor de extremos lisos.**

## **Medidor Tipo Turbina**

Este medidor es una variante en la cual el elemento sensor de la velocidad del agua, esta conformado por una turbina, teniendo las mismas características que los de hélice o propela, figura 4.10 .



**Figura 4.10. Medidor tipo turbina.**

### ALGUNAS CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE ESTOS MEDIDORES

- Cuenta con un rotor tipo hélice o propela de tres aspas.
- Se construye en diámetros que van de 3" a 72" de Ø nominal.
- Su exactitud es  $M \pm 2\%$  dentro del campo superior de medición
- La temperatura máxima de operación es de  $38^{\circ}\text{C}$ .
- La presión de trabajo es de hasta  $17.5 \text{ kg./cm}^2$ .
- La velocidad de operación es de hasta  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Su transmisión puede ser mecánica o magnética.

- Su señal puede ser local o remota.
- Se proporciona con los sistemas de montaje vistos anteriormente.

### **Recomendaciones para su Uso**

Este tipo de medidor se recomienda para ser usado en aguas limpias o con bajos contenidos de sólidos en suspensión de granulometría pequeña.

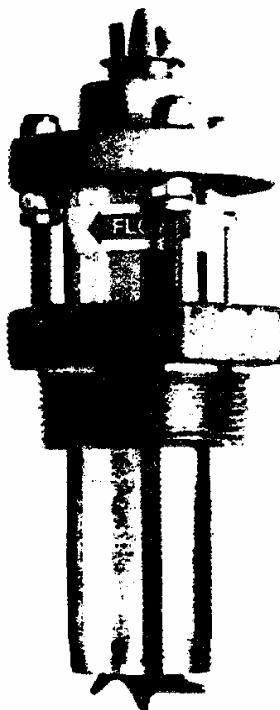
El uso mas común de estos medidores es de 3" a 14" de diámetro nominal, sin embargo su aplicación en diámetros mayores dependerá de un análisis técnico - económico.

### **Medidor Tipo Micromolinete**

Dentro de los medidores de velocidad, también se encuentra el denominado micromolinete, figura 4.11.

El equipo consta de un sensor de la velocidad del agua en la tubería, tipo hélice horizontal de 6 aspas, de diseño curvado, con lo que se mejora la precisión para velocidades bajas.

El movimiento de la hélice se transmite a un transductor, mediante un eje, el transductor genera una señal de salida, que puede recibirse en registradores para indicaciones de gasto instantáneo o volumen, también pueden ser recibidas y procesadas por registradores gráficos.



**Figura 4.11. Tipo micromolinete**

## **Algunas Características Particulares**

- Maneja velocidades de hasta 9 m/s.
- Temperatura de operación de hasta 104 °C
- Presiones de operación de hasta 28 kg/cm<sup>2</sup>
- Se construye para tuberías de 2 1/2" hasta 48" de diámetro.
- Funciona con buen grado de exactitud en tuberías horizontales o verticales.

## **Recomendaciones de Uso**

Para ser usado en líquidos limpios, o con bajo contenido de sólidos en suspensión.

Se recomienda su uso para todos los diámetros de tubería para los cuales esta diseñado.

## **Ventajas y Desventajas Generales de los Medidores de Velocidad.**

### **Ventajas.**

- Pérdida de carga baja.
- La medición de agua con bajo contenido de sólidos en suspensión no afecta la medición.
- Bajo costo de adquisición.
- Precisión M ± 2%
- Fácil de instalar.
- Necesidad de tramos rectos con poca longitud.
- Rango de medición amplio.
- El elemento sensor de la velocidad del agua se ubica al centro del tubo eliminando la necesidad de utilizar constantes de aforo.
- Los tipo carrete cuentan con aletas direccionales para evitar turbulencias.
- Facilidad de mantenimiento y refaccionamiento.
- Un buen número de proveedores.

### **Desventajas**

- Un buen número de piezas sujetas a desgaste.
- Mayores necesidades de mantenimiento.

#### **4.1.1.4. Recomendaciones Generales de Instalación de Estos Medidores.**

La instalación de los medidores no es una acción complicada, sin embargo, se requiere tomar algunas precauciones para obtener resultados satisfactorios, a continuación se expresan algunas recomendaciones respecto de la instalación:

- Cuando se ponen en funcionamiento nuevas instalaciones, después de que se han hecho reformas, se debe drenar el sistema antes de instalar los medidores.
- Al pasar el líquido por el medidor, no debe alterarse ninguna de las características físicas del fluido.
- El medidor debe limpiarse cuidadosamente antes de instalarse.
- Los medidores no deben instalarse en los puntos altos de la tubería, donde puede acumularse aire.
- Los medidores siempre deben de trabajar a presión. En el caso de descarga libre aguas abajo del medidor, la descarga debe elevarse hasta la cabeza del mismo, con el fin de que funcione ahogado.
- Al instalar un medidor bridado, se debe tener cuidado de que las juntas de las bridas no se proyecten al interior de la tubería para evitar turbulencias que afecten los resultados de la medición.
- El medidor debe instalarse correctamente en relación al sentido del flujo, evitando flujos en sentido contrario. Por esta razón se recomienda que el medidor sea instalado aguas arriba de la válvula check, con el fin de protegerlo al momento del paro del equipo de bombeo, contra los transitorios.
- Se recomienda que al instalar el medidor, la carátula de lectura quede en un plano horizontal; si las características del sitio de instalación obligan a que sea instalado en otra posición se debe consultar al fabricante.
- El medidor debe colocarse en un tramo de tubería con flujo uniforme.
- Distancias promedio recomendables en la instalación de estos medidores, respecto de las siguientes piezas especiales localizadas aguas arriba.

TIPO DE PIEZA ESPECIAL	DISTANCIA EN DIÁMETROS
Después de un codo	5 D
Después de una Tee	5 D
Después de dos codos	25 D
Después de una Tee y un codo	25 D
Después de una válvula	12 D

Para el caso de la distancia que debe guardar un medidor respecto a piezas especiales instaladas aguas abajo, se recomiendan en forma general distancias que van de 5 a 10 diámetros.

Sin embargo y siempre que sea posible, la instalación se deberá realizar de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

#### 4.1.2. Medidores de Presión Diferencial

Otra forma de medir flujos en conductos cerrados a presión, es por medio de elementos que producen pérdida de presión durante el proceso, estos medidores se les llama deprimógenos.

A continuación se describirá su principio de funcionamiento.

### **Medidores Deprimógenos**

Principio de Funcionamiento.

Se les llama deprimógenos a este tipo de medidores, porque en la sección de medición contraen la vena líquida, consisten básicamente de una reducción gradual o brusca de la sección donde transita el flujo, ocasionando un aumento de velocidad y una pérdida de presión.

Las pérdidas de presión en la sección de medición, se expresan en m. c. a. y se registran con manómetros diferenciales o registradores de presión.

Las variaciones de presión y velocidad, se relacionan mediante las fórmulas de Bernoulli y de Continuidad, determinándose así el caudal de escurrimento.

Para la aplicación de estas fórmulas en el caso de medidores deprimógenos, conectados a un manómetro diferencial se considera lo siguiente:

Se suponen despreciable las pérdidas por fricción.

Considerando lo anterior las ecuaciones mencionadas quedan como sigue:

Ecuación de Bernoulli.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

continuidad

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$$

De donde

$$V_1 = \frac{A_2 V_2}{A_1}$$

Desarrollando estas ecuaciones se llega a la siguiente fórmula que permite conocer el caudal de escurrimento.

$$Q = C_d A_2 \sqrt{2g \Delta h \left( \frac{\gamma_m}{\gamma} \cdot 1 \right)}$$

donde:

$Q$  = Caudal que pasa por el medidor

$C_d$  = Coeficiente del equipo de medición

$g$  = Aceleración de la gravedad

$\Delta h$  = Presión diferencial en el manómetro ( m.)

$\gamma_m$  = Peso específico del líquido manométrico

$\gamma$  = Peso específico del agua

Estas ecuaciones son aplicables de igual forma a los medidores del tipo Tubo Pitot.

En este tema se tratarán los siguientes tipos de medidores:

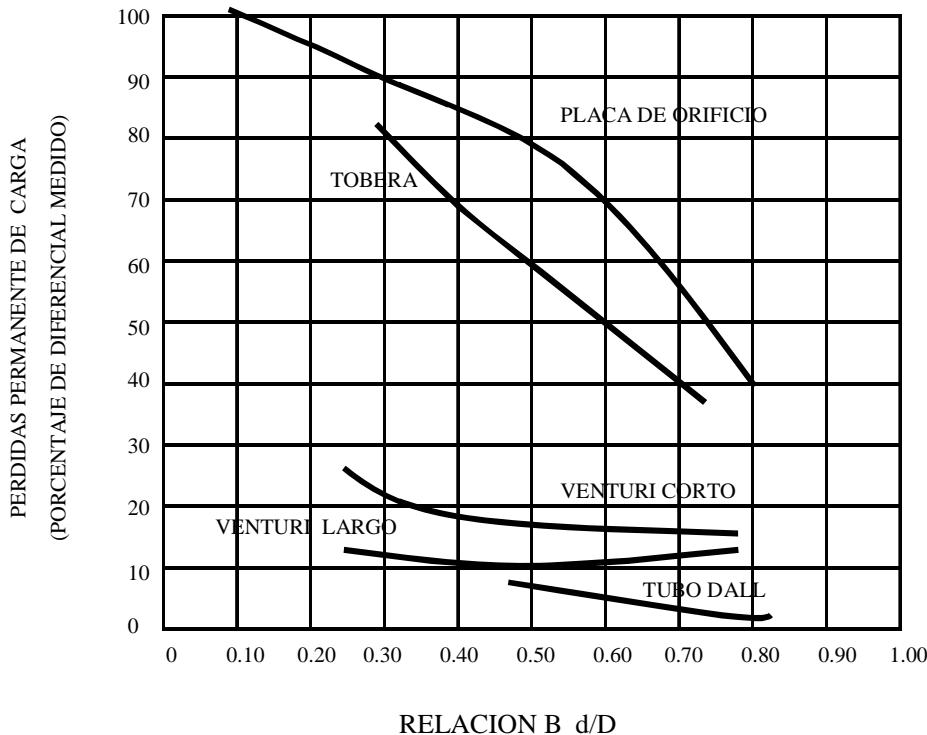
- Venturis
- Tubo Dall
- Tobera
- Placa de orificio

La geometría constructiva de cada uno de estos medidores origina diferencias básicas en el comportamiento hidráulico del fluido, sobre todo en la pérdida de carga que producen al paso del fluido.

La figura 4.12 muestra en términos generales las pérdidas de carga que producen los medidores deprimógenos en función de la relación de diámetros, ya que la pérdida de carga específica de cada instrumento viene indicada por el fabricante.

En esta gráfica el eje de las abscisas está dado por la relación  $p$ , donde "d" es el diámetro de la garganta del dispositivo deprimógeno y "D" el diámetro nominal de la tubería; en el eje de las ordenadas se ilustra la pérdida de carga permanente como porcentaje de la diferencial de presión medida.

Ejemplificando: Si se tiene una placa con un orificio de 5" de diámetro instalada en una tubería de 10", la relación  $d/D$  equivale a 0.50, entrando con este valor en el eje de las abscisas y llevando la referencia al punto donde corta a la curva de pérdida de carga del orificio, encontramos que la pérdida de carga permanente es de aproximadamente el 75% de la diferencial medida, si la diferencial medida para el caudal máximo es de 4" columna de agua, la pérdida de carga permanente sería de  $4'' \times 0.75 = 3''$  columna de agua. con caudales menores la pérdida permanente de carga disminuye.



**Figura 4.12. Perdida de carga para diferentes medidores de primogenos.**

Este tipo de dispositivos (elementos primarios), son los que originan la presión diferencial, para poder detectarla, transmitirla y o convertirla en información de volúmenes o caudales, requiere de equipos denominados secundarios, que pueden ser transductores o registradores.

### SELECCIÓN DE LOS MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL.

Consideraciones que se deberán tomar en cuenta, para realizar una adecuada selección, del elemento primario de presión diferencial.

El primer paso es conocer si los fluidos a medirse son limpios o contienen sólidos en suspensión, ya que este tipo de elemento primario, no es recomendable para medir líquidos con apreciables contenidos de sólidos en suspensión, debido a que los orificios de toma de presión se obstruyen con mucha frecuencia ocasionando errores en la medición, descalibración del aparato y mantenimiento excesivo, sin embargo, pueden usarse en aguas con bajo contenido de sólidos en suspensión (2% en volumen), tomando en cuenta que en este caso, se requiere purgar periódicamente las tomas de presión.

Por lo anterior, el uso general recomendable, esta relacionado con el campo de las aguas limpias.

Otro punto que es necesario tomar en consideración, es el hecho, de que cualquier tipo de medidor, para dar resultados satisfactorios, requiere que el flujo que mide sea

uniforme, esto se traduce en que el medidor requiere para ser instalado un tramo recto de tubería, la longitud del tramo recto, depende del tipo de medidor y de las indicaciones del fabricante. Para el caso de instalaciones donde el espacio sea una limitante, se pueden reducir los requerimientos de longitud del tramo recto, usando unos aditamentos llamados, orientadores de flujo o aletas deflectoras, que logran orientar el flujo, reduciendo las turbulencias que tanto problemas causan a los equipos de medición estos aditamentos están constituidos por un agrupamiento de tubos o una serie de placas, que orientan el flujo dentro de los tubos.

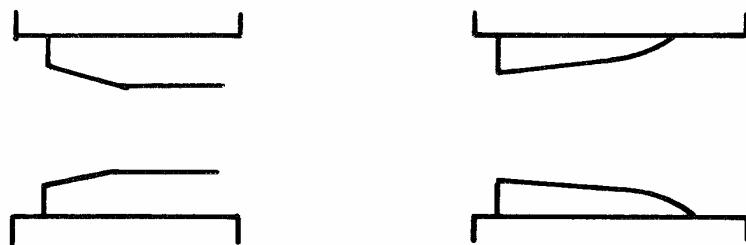
Otro factor importante que debe tomarse en cuenta en su selección, es su costo de operación, en términos de la pérdida de carga permanente, esta pérdida de carga se puede conocer en función de la relación de diámetros p seleccionados d/D (diámetro de la garganta entre el diámetro de la tubería ), las relaciones grandes representan diferenciales de presión bajas y producen pérdidas de carga pequeñas. En el diseño de estos equipos la relación de diámetros se mantiene entre 0.35 y 0.75.

## **TIPOS DE ELEMENTOS PRIMARIOS DE PRIMÓGENOS.**

### **Medidor Tipo Venturi**

Cuando un líquido transita a través de un conducto de sección transversal variable, su velocidad varía de punto a punto a lo largo de todo el conducto. Si la velocidad aumenta, la energía cinética aumenta a expensas de la energía de presión; si la velocidad disminuye, la energía de presión aumenta a expensas de la energía cinética. En el primer caso esto sucede cuando el diámetro del conducto disminuye uniformemente y en el segundo caso, cuando el diámetro del conducto se incrementa uniformemente.

A este tipo de sección transversal se le denomina tobera, si decrece continuamente desde la entrada hasta la salida, se le llama convergente, y si se incrementa continuamente se le denomina divergente, figura 4.13.



TOBERA CONVERGENTE      TOBERA DIVERGENTE

**Figura 4.13. Medidor primario de presión diferencial tipo tobera**

Un Venturi esta constituido por una tobera convergente seguida por una divergente, la región que une a ambas que es la de mínima sección se le denomina garganta.

Se han desarrollado diferentes geometría para los venturis, los mas comunes son los venturis largos ( Herschel Standard ), que están diseñados para producir una gran diferencia de presión, con una pequeña pérdida de carga, y el Venturi corto, que tiene la misma geometría de entrada que el largo, pero el cono de difusión es mas corto, por lo que la recuperación de carga es menor, los esquemas de este medidor se muestran en la figura 4.14 y figura 4.15.

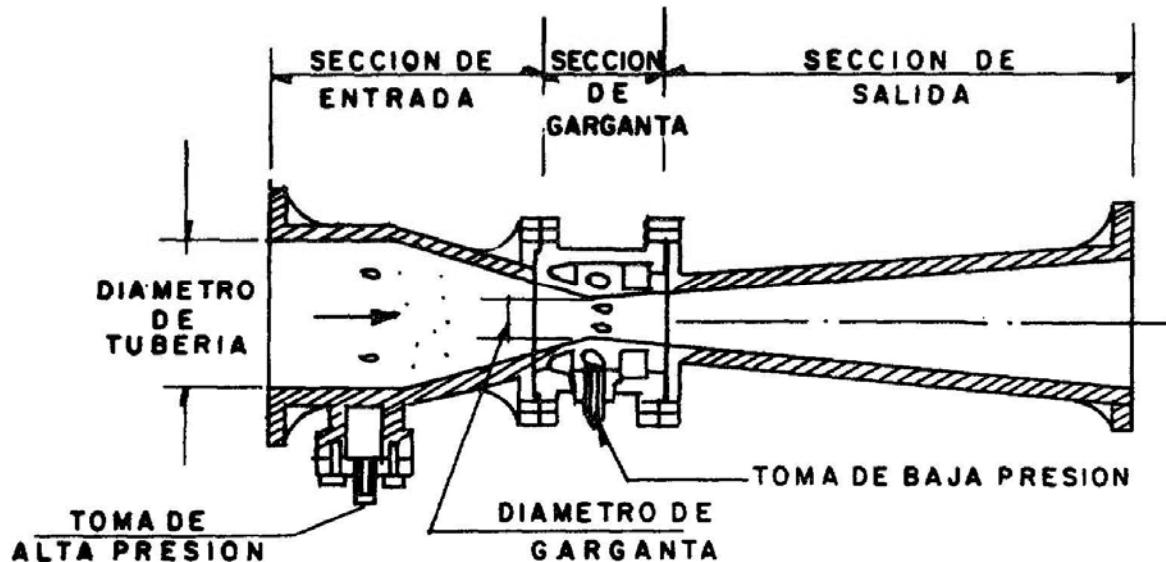


Figura 4.14. Venturi corto.

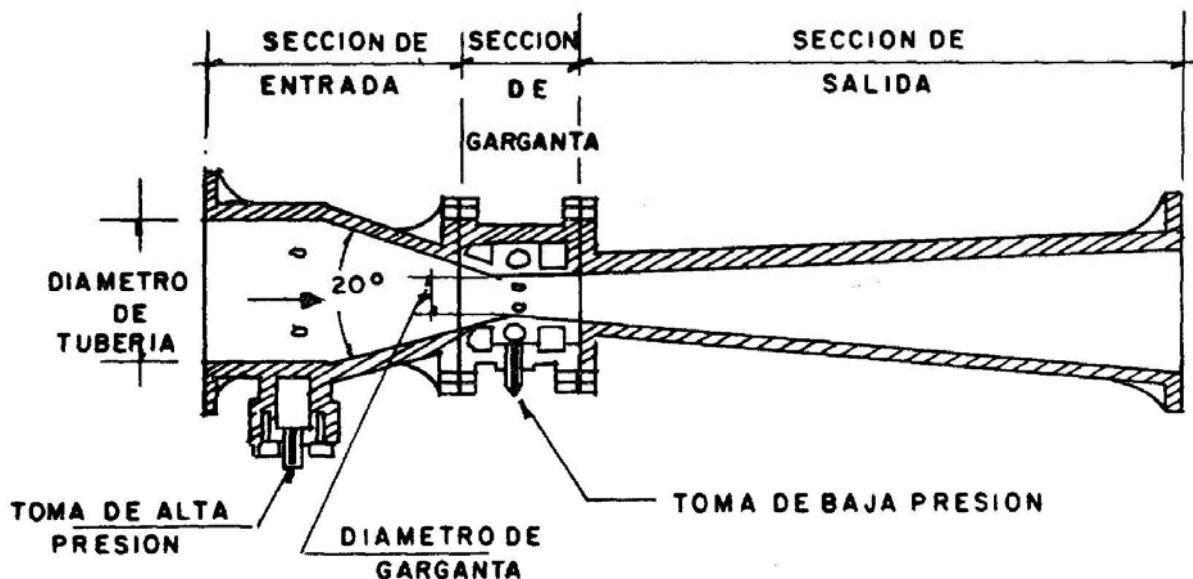


Figura 4.15. Venturi largo.

El medidor Venturi, es uno de los dispositivos mas precisos para medir el flujo de líquidos en tuberías a presión, pero no es de uso generalizado, debido principalmente a que su costo es elevado en comparación con otros dispositivos de medición.

Se fabrican para tuberías con diámetros que van de 4" a 72" de diámetro.

Entre los materiales que se usan para su construcción se encuentran:

- Acero al carbón.
- Acero inoxidable 316
- Acero inoxidable 304
- Acero inoxidable hastelloy B y C
- Acero inoxidable monel
- Fibra de vidrio

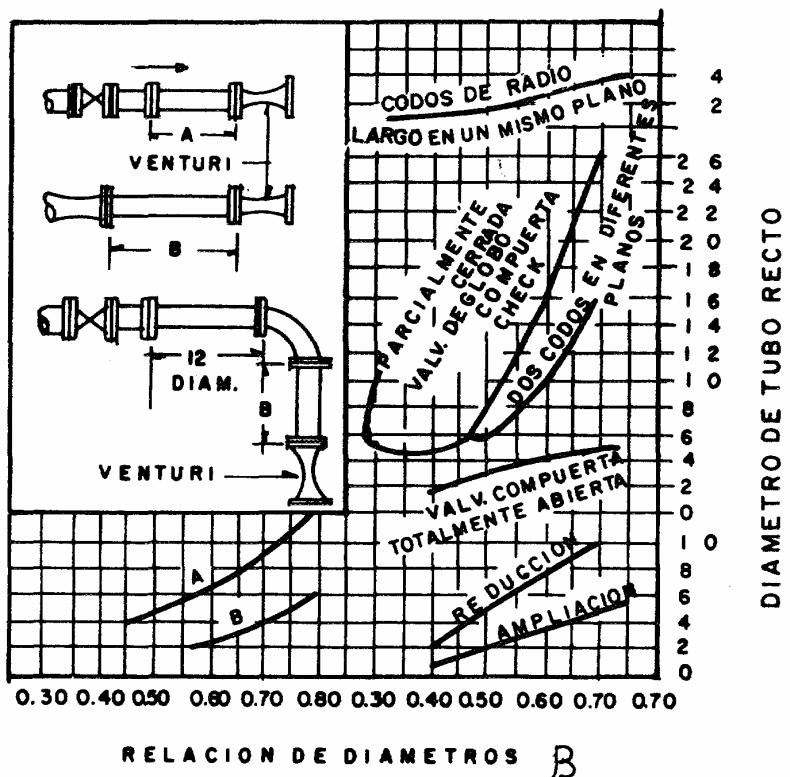
### **Instalación**

Para que el equipo de buenos resultados y mida con precisión es necesario tomar en consideración lo siguiente:

El flujo que entra al Venturi, debe fluir en régimen uniforme, y libre de turbulencias, es por ello, que debido a lo anterior se requiere de un tramo largo de tubería recta, aguas arriba del punto de instalación.

En forma general se recomienda que el tramo recto aguas arriba del punto de instalación sea de 5 a 20 veces el diámetro de la tubería, esta longitud depende del tipo de accesorio instalado aguas arriba.

A continuación, se presenta una gráfica por medio de la cual se puede conocer con aproximación, la longitud del tramo recto en función de la relación de diámetros, en diferentes tipos de accesorios., Figura 4.16.



**Figura 4.16. Localizacion del punto de instalacion de tubos venturi para diferentes accesorios agua arriba.**

Como puede observarse en la gráfica, en el eje de las abscisas, se encuentra marcada la relación de diámetros  $p$  que es la existente entre el diámetro de la garganta del Venturi y el diámetro nominal del tubo  $d/D$ , en el de las ordenadas se encuentra el número de diámetros de tubo recto que se necesitan antes del punto de instalación del Venturi, así mismo la gráfica esta dividida en dos secciones en la de la izquierda en la parte superior se presentan tres dibujos con arreglos específicos para la instalación de los venturis, en los cuales aparecen como parámetros desconocidos A y B, que son los diámetros de tubo recto, que se requiere tener antes del venturi, en la parte inferior de esta sección vienen dibujadas las curvas A y B, mediante las cuales se pueden encontrar estos valores, para ello se calcula la relación  $p$  y con ella se entra al eje de las abscisas, se sube la referencia hasta que corte a las curvas A y B según sea el caso, el punto de corte se proyecta al eje de las ordenadas, donde se encuentra el número de diámetros de tubo recto que se necesitan antes del punto de instalación.

En la sección de la derecha vienen dibujadas tres tipos de curvas con sus respectivas escalas, el primero corresponde a las reducciones y ampliaciones con escala de 0 a 10, el segundo se refiere a válvulas y codos operando bajo condiciones

diferentes, con escala de 0 a 26 y el tercero corresponde a codos en un mismo plano con escala de 0 a 4.

Por otra parte es conveniente resaltar, que los sitios críticos en la instalación de los venturis y en general de cualquier tipo de medidor, son los que están aguas arriba, ya que las turbulencias son producidas por los accesorios o arreglos que están antes del punto de instalación del medidor.

La diferencial de presión producida por un venturi, puede medirse usando columnas de mercurio, manómetros diferenciales o células diferenciales de presión, etc. esta señal para su lectura, puede ser enviada a elementos secundarios que convertirán la información de presión diferencial en: caudales, volúmenes 6 gráficos.

### **Ventajas**

- Una muy alta precisión  $\pm 0.75\%$
- Baja pérdida de carga.
- No tiene partes móviles.
- Confiable.
- Resistente.

### **Desventajas**

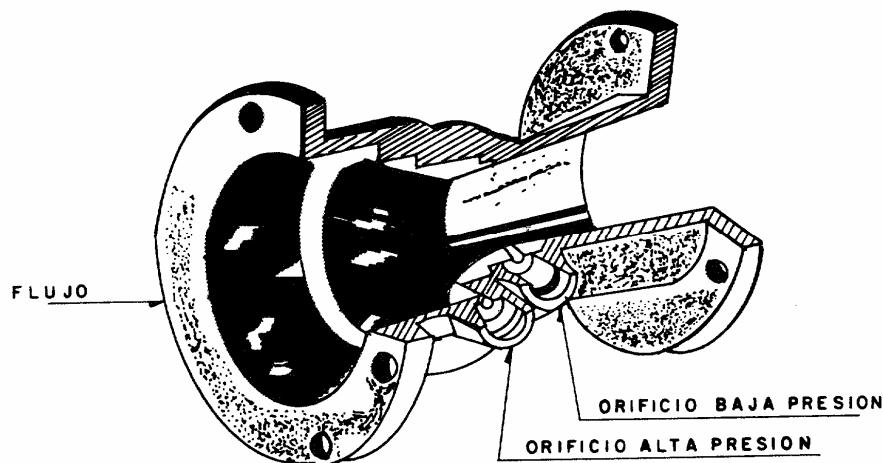
- Alto costo de adquisición
- Rango de medición limitado en este punto nos referimos al hecho de que estos equipos de medición, se seleccionan para operar a un caudal mas o menos constante, por lo que no es conveniente que operen con caudales fuera del rango indicado por el fabricante.
- Alto costo de instalación.

### **Recomendaciones de Uso**

Este dispositivo se recomienda para ser usado en aguas limpias o con bajos contenidos de sólidos en suspensión, en sitios donde sea muy importante perder el mínimo de carga o donde sea necesario un alto grado de precisión.

### **Medidor Tipo Dall**

El medidor tipo Dall es un venturi modificado, esta constituido por un cuerpo cilíndrico bridado dentro de cuyo diseño cuenta con una pequeña entrada recta, la cual termina abruptamente con una reducción de diámetro; continua con una reducción cónica, una pequeña garganta y un difusor a la salida, figura 4.17.



**Figura 4.17. Tubo dall.**

El tubo Dall se recomienda para tuberías en las que el agua lleva una velocidad alta, por lo que se pueden medir caudales mayores que en el Venturi standard ocasionando diferenciales de presión mayores. las tomas de presión están ubicadas al inicio de la reducción del diámetro y en la garganta.

A continuación se mencionan algunas características del tubo Dall, en relación con el Venturi.

Este medidor comparado con el Venturi standard, presenta las siguientes características.

- Es casi tan preciso como el Venturi standard.
- Tiene una alta recuperación de carga.
- Es mas sensible a las turbulencias que el Venturi.
- Requiere de tramos de tubería recta aguas arriba de más longitud, 40 o mas veces el diámetro de la tubería.
- Es de dimensiones menores al Venturi corto y por lo tanto tiene menos problemas para su instalación.

### **Ventajas y Desventajas del Medidor Tipo Tubo Dall**

#### **Ventajas**

- Sencillo en su diseño.
- Tiene una buena precisión 1 %
- Ocasiona una baja pérdida de carga
- Confiable
- Resistente
- No tiene partes móviles

## Desventajas

- Alto costo
- Rango de medición limitado
- Requiere largos tramos de tubería recta para su instalación

En nuestro país no es de uso común en los sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento, debido principalmente a que en nuestro país los fabricantes o distribuidores de equipo de medición, le han dado preferencia a otros tipos de medidores de caudal y no ofrecen comercialmente el Tubo Dall

## Recomendaciones de Uso

Este dispositivo se recomienda para ser usado en aguas limpias o con bajos contenidos de sólidos en suspensión, en sitios donde no sea muy importante la pérdida de carga, o donde no se tengan limitaciones en cuanto a longitud recta de tubería sin piezas especiales.

## Medidor Tipo Tobera

Se han desarrollado varios diseños para medidores tipo tobera, el diseño típico consta de una entrada cónica y garganta ( tobera convergente ), como el tubo Venturi, pero carece del cono de recuperación, ocasionando que la recuperación de carga, sea menor que en el ventura, figura 4.18.

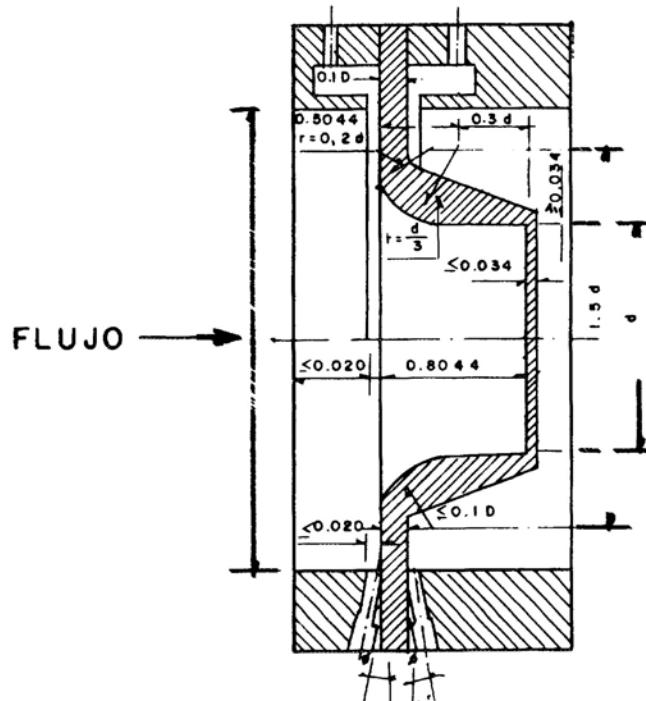


Figura 4.18. Flujo.

Se fabrican sobre especificaciones, en función de los diámetros de las tuberías, y las diferenciales de presión a manejar en los sitios de instalación.

En cuanto a los materiales de fabricación se construye en: acero, fierro colado, bronce o fibra de vidrio.

### Instalación

Este dispositivo puede instalarse en tuberías bridadas, o en instalaciones que descarguen a la atmósfera (Figura 4.19), en cuyo caso solo se requiere la toma de alta presión.

En forma general requiere de 20 o mas diámetros de línea recta antes de su instalación sin piezas especiales, las condiciones detalladas de instalación, en función de las características del sitio, son similares a las de placa de orificio y se verán mas adelante.

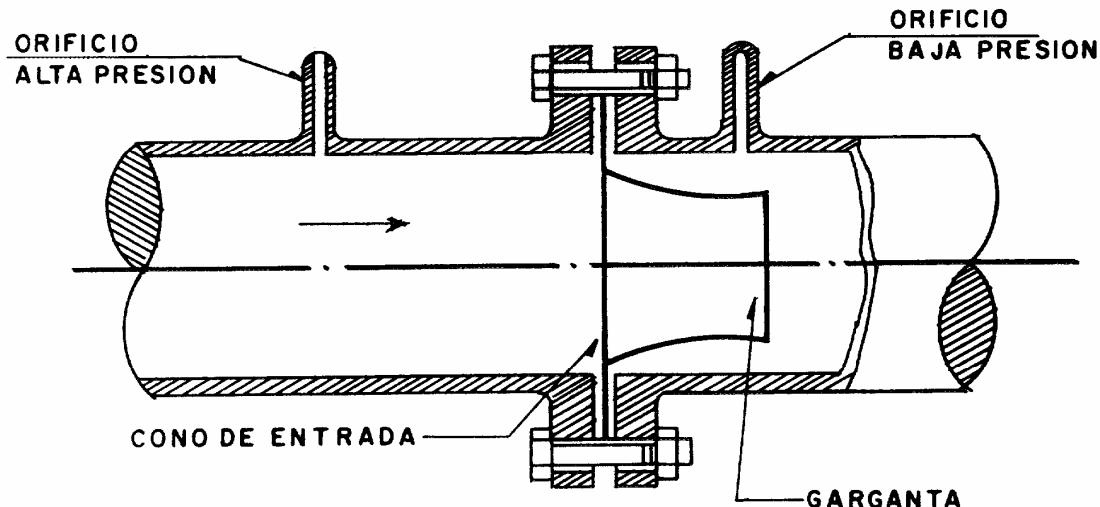


Figura 4.19. Instalacion tipica del medidor tipo tobera.

### Ventajas

- Precisión  $\pm 1$
- Se puede usar con restricciones en líquidos con bajo contenido de sólidos en suspensión.
- Confiable y simple en su diseño
- Facilidad de instalación.
- No tiene partes móviles en contacto con el agua

- Mantenimiento mínimo.
- Resistente.
- Bajo costo.

### Desventajas

- Rango de medición limitada.
- Requiere de mayor longitud para su instalación que otros tipos de medidores.
- Baja recuperación de carga

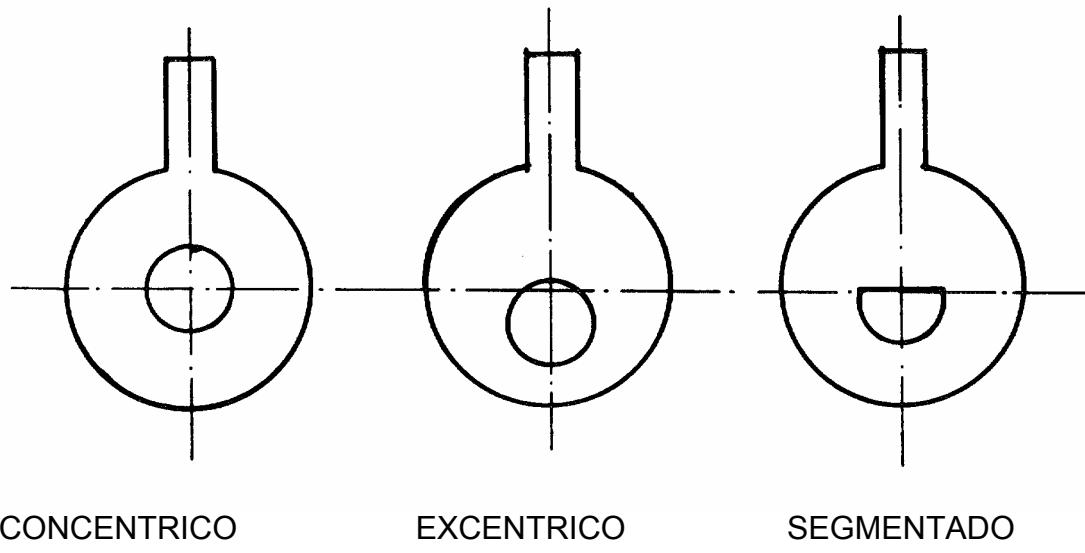
### Recomendaciones de uso

Este dispositivo puede usarse, en instalaciones que descargan a la atmósfera o en aquellas en que no sea importante la pérdida de carga ocasionada por el medidor.

### Medidor Tipo Placa de Orificio

La placa de orificio es uno de los dispositivos de medición mas antiguos, fue diseñado originalmente, para usarse en gases, no obstante se ha aplicado ampliamente en la medición de líquidos.

El medidor de placa de orificio delgado, que es el que se tratará, consiste de una perforación circular, en una placa delgada y plana (de 3/32" a 3/4" de espesor ), el orificio guarda diferentes posiciones en relación con los ejes de la placa, esta posición puede ser concéntrica, excéntrica o segmentada, figura 4.20.



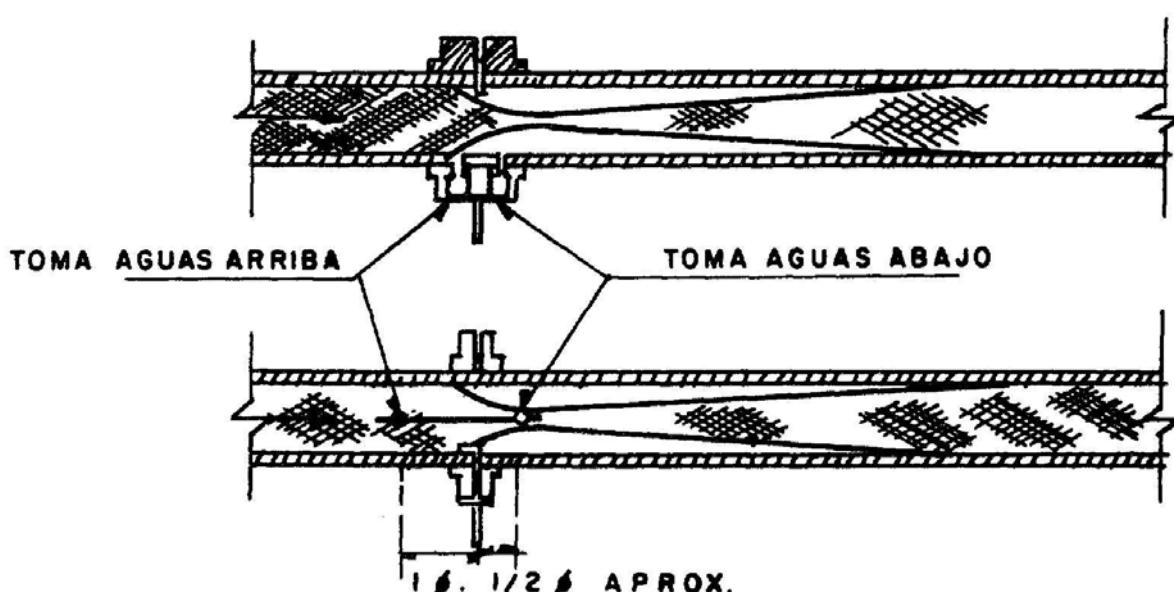
**Figura 4.20. Medidor de placa de orificio.**

Las placas de orificio son usadas en la medición de líquidos limpios, y no es aplicable a fluidos con altas concentraciones de sólidos en suspensión, debido a la tendencia

de los sólidos, a acumularse aguas arriba de la placa, ocasionando su descalibración, sin embargo alguna literatura indica que las placas de orificio excéntricas o segmentadas, pueden manejar líquidos con bajas concentraciones de sólidos en suspensión.

### Instalación

Este dispositivo, es fijado a la tubería entre un par de bridas, y las tomas de presión se colocan aguas arriba y aguas abajo de la placa de orificio. figura 4.21.



**Figura 4.21. Instalación del medidor de placa de orificio.**

Este medidor puede instalarse, en el extremo de una tubería a presión que descargue a la atmósfera, en este caso solo requiere del orificio de alta presión.

Las placas de orificio, son los mas sensibles de todos los dispositivos de presión diferencial a los efectos de turbulencias aguas arriba, por lo que requieren de un largo tramo de tubería recta aguas arriba del punto de instalación. a continuación, se reproducen gráficas para diferentes condiciones de instalación, que en función de la relación de diámetros, recomiendan la longitud del tramo recto, figura 4.22 a 26.

Estas gráficas están construidas en forma similar a la del tubo Venturi, figura 4.16 y su aplicación es semejante a lo descrito para su sección izquierda, con la diferencia de que en las gráficas para placa de orificio en los dibujos de los arreglos para instalación, las distancias A, A' y C corresponden a la longitud del tramo recto requerido antes del punto de instalación de la placa de orificio o tobera y B corresponde a los requerimientos de longitud recta después del punto de instalación.

DIAMETROS DE TUBO RECTO

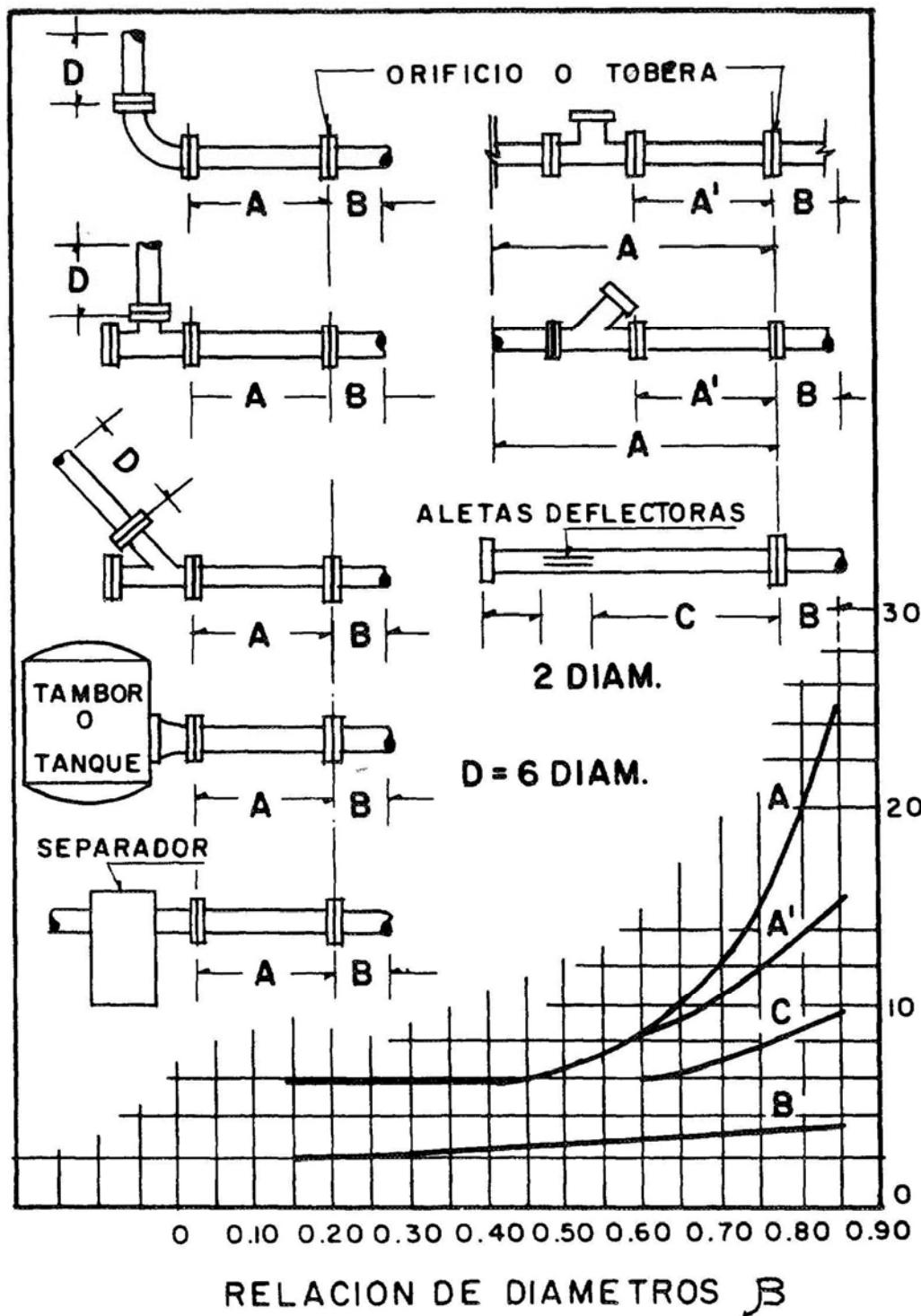


Figura 4.22. Localizacion del punto de instalacion para placas de orificio con accesorios en un mismo plano.

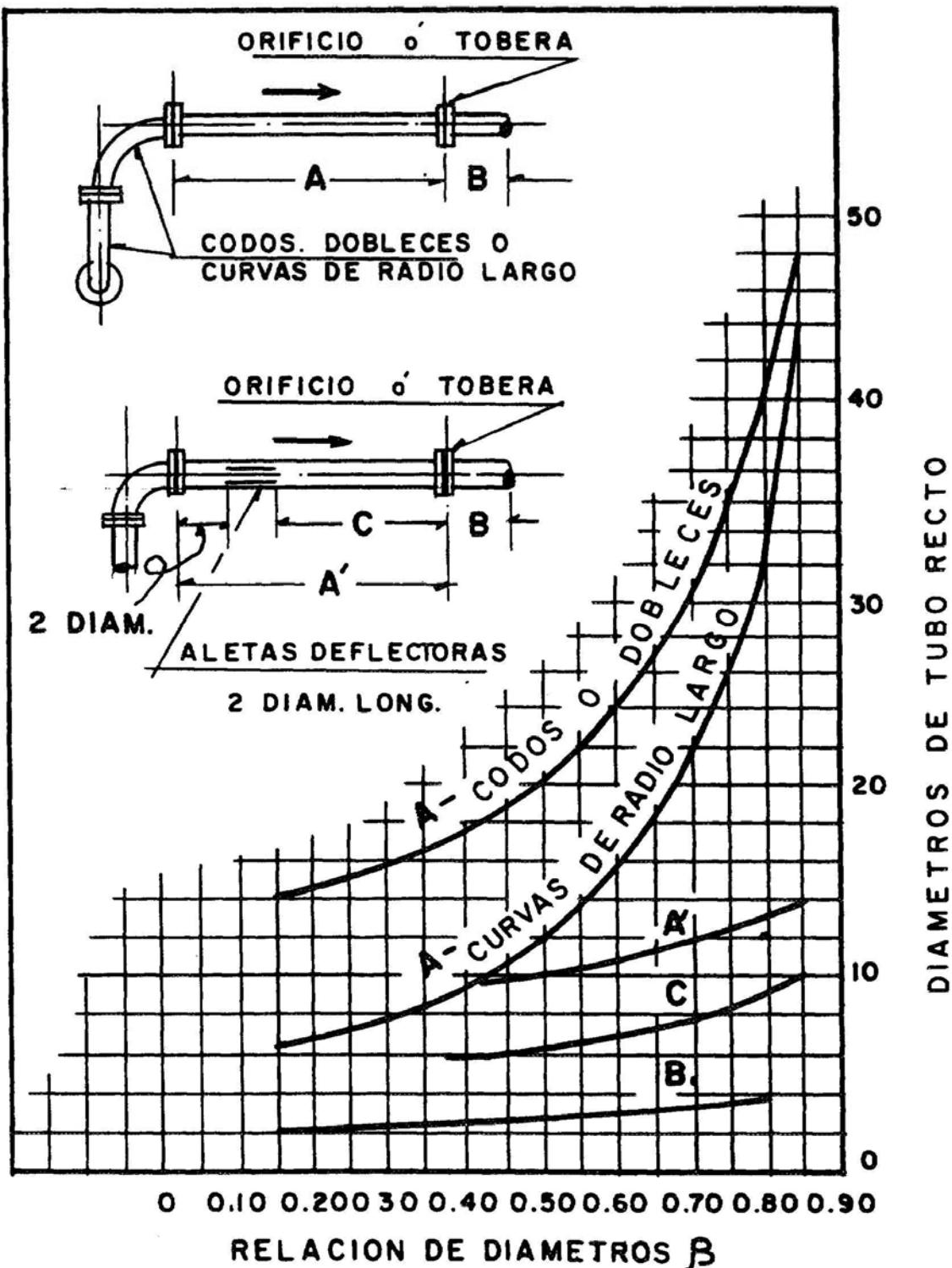


Figura 4.23. Localizacion del punto de instalación de placas de orificio y toberas con accesorios en un mismo plano.

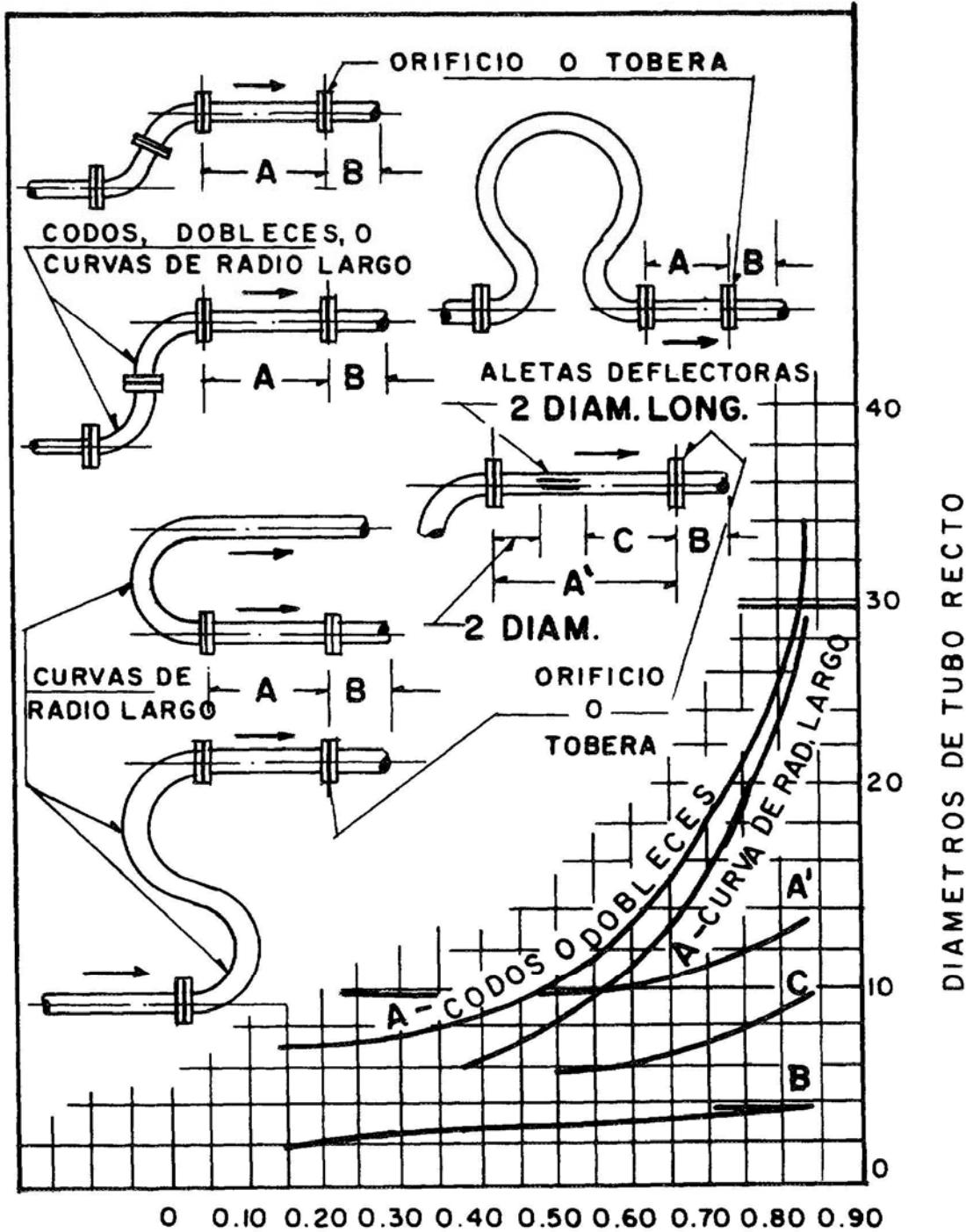


Figura 4.24. Localizacion del punto de instalacion de placas de orificio y toberas con accesorios en diferentes planos.

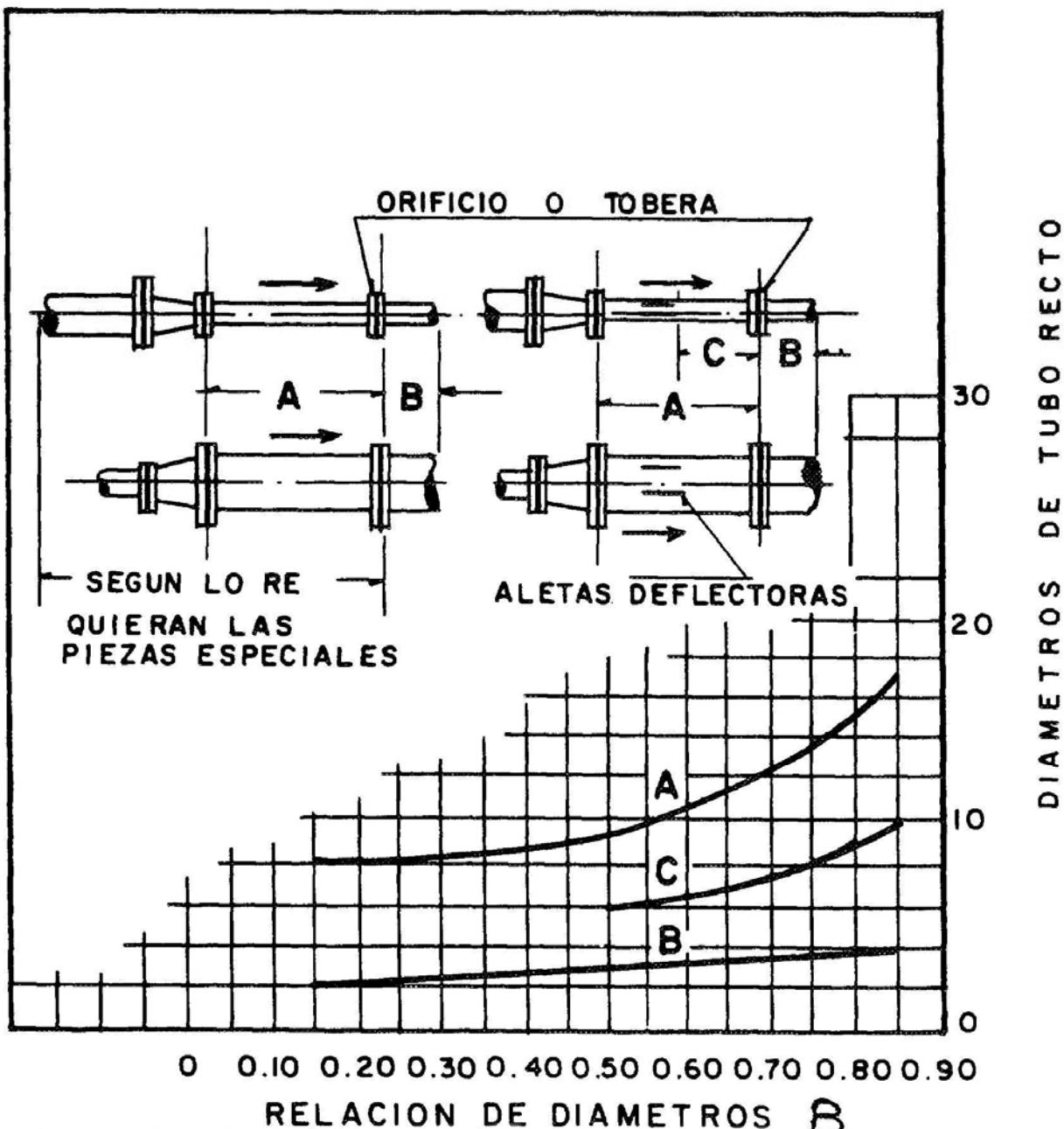


Figura 4.25. Localizacion del punto de instalacion de placas de orificio y toberas con reduccion y ampliacion.

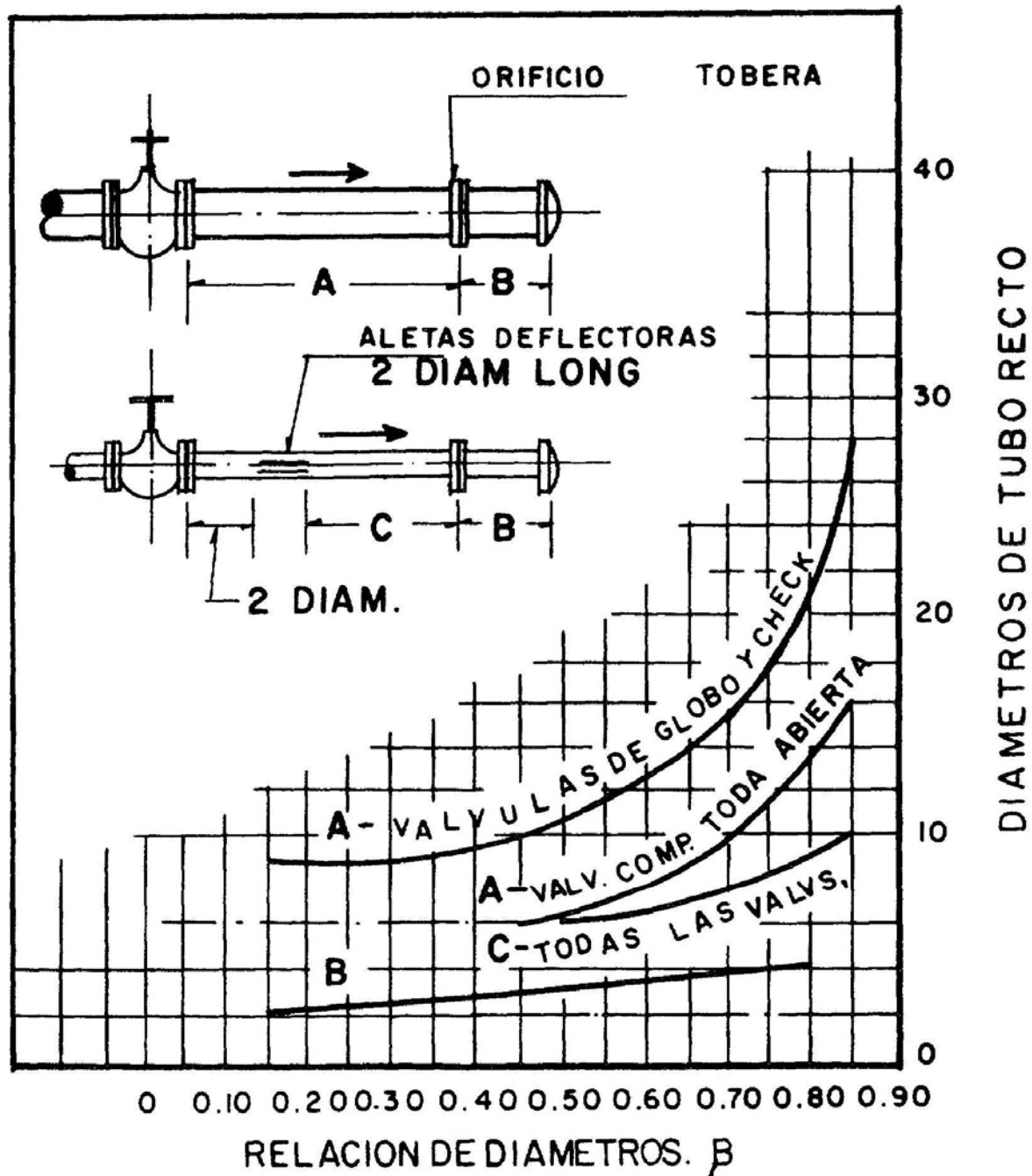


Figura 4.26. Localizacion del punto de instalacion de orificios y toberas, cuando se tienen accesorios antes y despues.

### Ventajas

- Pocas restricciones en su instalación
- Confiabilidad y simplicidad en su diseño
- Calibración sencilla
- Bajo costo

- De fácil manejo.
- No tiene piezas móviles en contacto con el agua.
- Buena precisión  $\pm 1\%$ .

### **Desventajas**

- Rango de medición limitado requiere continua verificación.
- Errores en la precisión si el agua contiene sólidos en suspensión.
- Se deterioran a través del tiempo.
- Pérdida de carga alta
- Requiere de bastante longitud en su instalación
- Sensible a las turbulencias aguas arriba.

### **Recomendaciones de Uso**

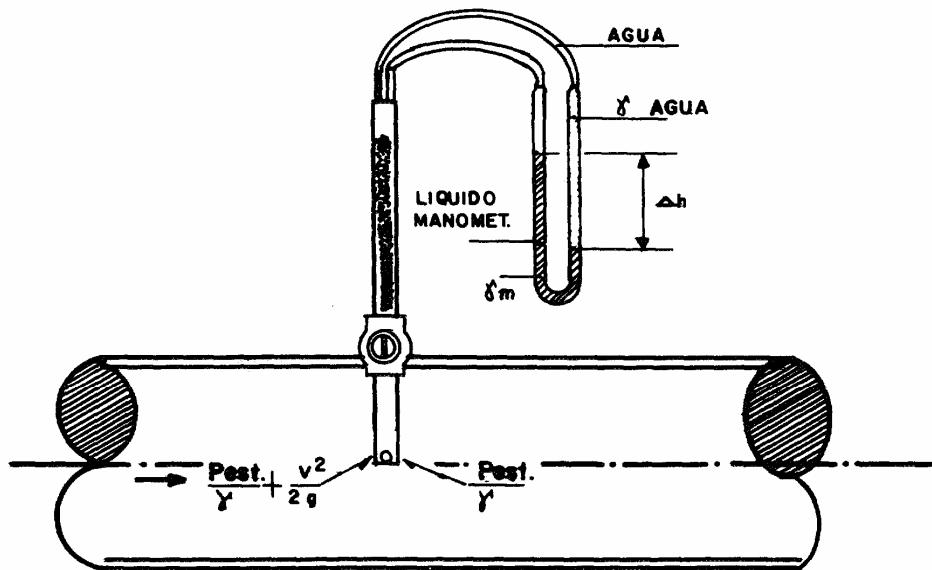
Este dispositivo es recomendable en instalaciones que descargan a la atmósfera y en aquellas en que no importe la pérdida de carga ocasionada por el elemento de medición.

### **Medidor Tubo de Pitot Simplex**

El medidor de gasto tipo tubo Pitot, también entra dentro de la clasificación de medidores de presión diferencial.

En esta sección se describen los medidores Pitot Simplex, Pitot Cole y el Pitot Modificado.

Este dispositivo de medición de presión diferencial, consiste básicamente de dos tubos, uno de los cuales recibe la carga de impacto ( alta presión ), y el otro capta la carga de referencia ( baja presión ), de la diferencia entre la carga de impacto y la carga de referencia, se obtiene la carga dinámica, la cual es proporcional al cuadrado de la velocidad del flujo en movimiento, las cargas que actúan sobre los orificios se muestran en la figura 4.27.



**Figura 4.27. Esquema de las cargas que actuan sobre los orificios.**

La correlación de la carga dinámica con la velocidad del fluido, que permite determinar el caudal en el punto de medición, esta dada por las siguientes ecuaciones.

$$V = C \sqrt{2gH} \quad (1)$$

$$H = \sqrt{(\gamma_m - 1)d} \quad (2)$$

$$Q = vA \quad (3)$$

Sustituyendo 2 en 1

$$v = C \sqrt{2g(\gamma_m - 1)d} \quad (4)$$

Sustituyendo 4 en 3:

$$Q = CA\sqrt{19.62(\gamma_m - 1)d} \quad (5)$$

$v$  = Velocidad del agua en m/s.

$C$  = Constante de calibración del elemento primario (Pitot)

$g$  = Aceleración de la gravedad  $9.81 \text{ m/s}^2$

$\gamma_m$  = Peso específico del líquido manométrico.

$d$  = ideflexión en el manómetro diferencial m.c.a.

$A$  = Area M tubo en  $\text{m}^2$ .

$Q$  = Caudal en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

**Ejemplo de aplicación:**

Se quiere conocer el caudal que pasa por un conducto usando un tubo Pitot y el manómetro diferencial, después de calibrado el tubo, instalado el tubo Pitot y su manómetro diferencial se encontró la siguiente información:

Constante de calibración del tubo Pitot = 0.802

Diámetro calibrado del tubo  $6 \frac{1}{16}'' = 0.1539 \text{ m}$

Peso específico del líquido manométrico =  $13.58 \text{ gr./cm}^3$

Deflexión en el manómetro diferencial =  $0.031 \text{ m}$

Aplicando las ecuaciones.

$$\text{Área calibrada del tubo} = n D^2/4 = 3.1416 \times (0.1539)^2 / 4$$

$$A = 0.0186 \text{ m}^2$$

**Sustituyendo valores en la ecuación 5 tenemos**

$$Q = 0.802 \times 0.0186 \sqrt{19.62 (13.58 - 1) 0.031}$$

$$Q = 0.0149 \sqrt{7.65}$$

$$Q = 0.0149 \times 2.765$$

$$Q = 0.041 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

**La ecuación es aplicable a fluidos no compresibles**

Las presiones que inciden en los orificios pitométricos, son transmitidas a un manómetro diferencial por medio de los tubos de transmisión y mangueras, produciendo una deflexión en el tubo U del manómetro diferencial. Esta deflexión es proporcional al cuadrado de la velocidad del agua, en el punto donde estén colocados los orificios pitométricos.

Condiciones que se deben cumplir para efectuar una buena medición con estos equipos.

- El flujo debe de ser homogéneo.

- Las condiciones del flujo (diámetro interno de la tubería, temperatura y presión del fluido) deben ser determinados con precisión.
- La tubería debe trabajar a presión (tubo lleno).

## Instalación

El tubo Pitot se desliza al interior de la tubería, a través de la válvula de inserción, permitiendo colocar los orificios en diferentes puntos a lo largo del diámetro de la tubería.

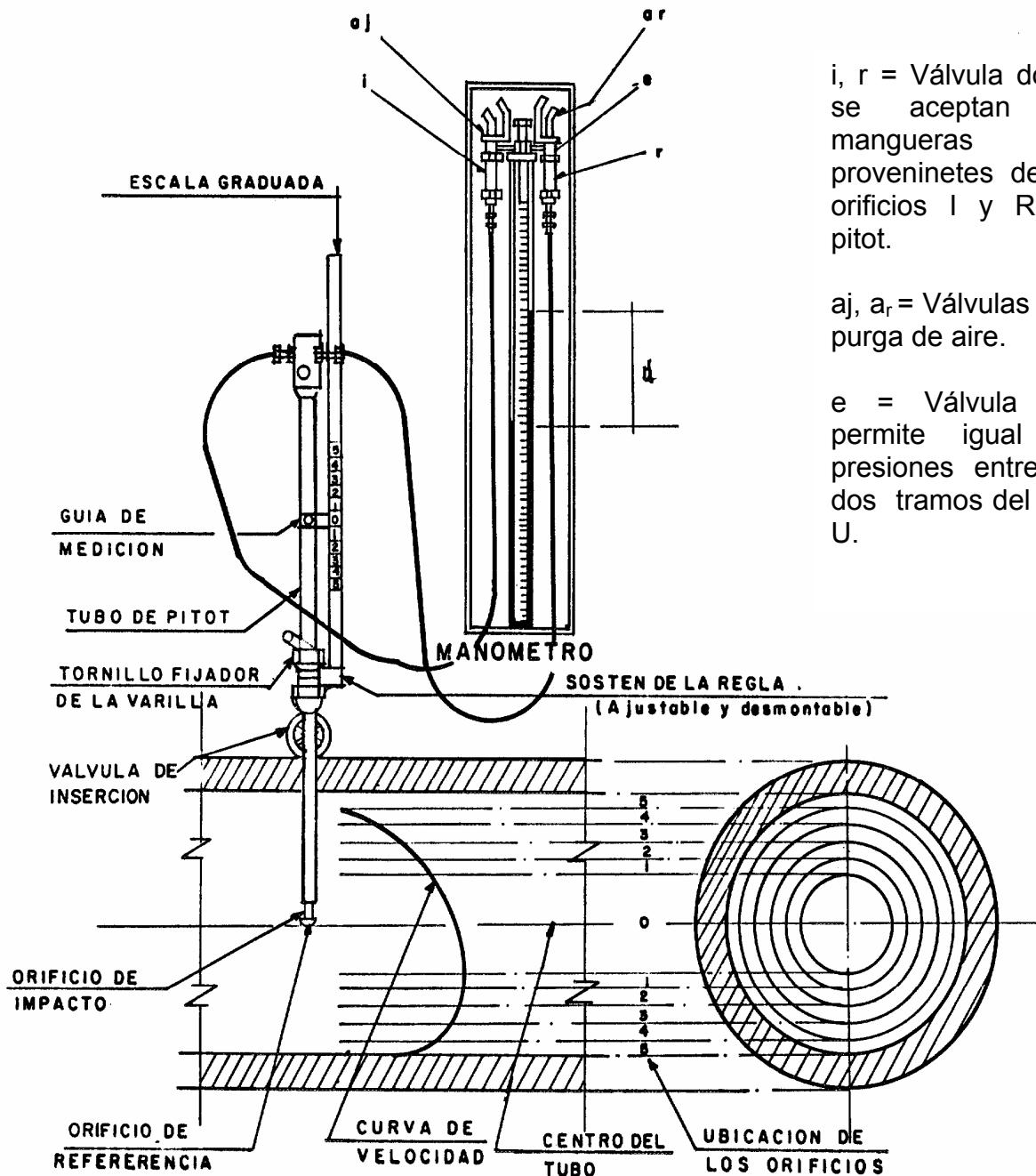
El punto de instalación debe estar situado a una distancia mínima de 5 y 10 diámetros de tubería antes y después de cualquier pieza especial respectivamente.

Para instalarlo en tuberías con presión de 0 a 15 kg./cm<sup>2</sup>, se deberá emplear en su instalación la máquina insercionadora; no es recomendable su utilización para presiones mayores a 15 kg./cm<sup>2</sup>.

A continuación se relaciona el equipo mínimo requerido, para realizar mediciones con el Tubo Pitot.

- Máquina insercionadora.
- Manómetro diferencial tipo U de cristal, montado en un gabinete metálico.
- Tubo Pitot, pudiendo ser de 3, 5 y hasta 7 pies de longitud
- Regla graduada
- Sujetador de escala
- Mangueras de caucho de alta presión
- Líquidos manométricos, como tetracloruro de carbono, benzeno, mercurio, etc.
- Varilla calibradora.

En la figura 4.28 se muestra el equipo de pitometría montado en una tubería junto con los componentes que lo integran.



**Figura 4.28. Equipo de pitometría montado en una tubería junto con los componentes que lo integran**

### Ventajas y Desventajas

#### Ventajas

- Opera con señal hidráulica.

i, r = Válvula donde se aceptan las mangueras provenientes de los orificios I y R del pitot.

aj, ar = Válvulas para purga de aire.

e = Válvula que permite igualar las presiones entre los dos tramos del tubo U.

- Instalación sencilla (aun con tubería presurizada)
- Fácil de operar.
- Es un equipo portátil.
- Se instala en cualquier tipo de tubería.
- Pérdida de carga despreciable.
- Precisión  $M \pm 1\%$ .
- Rango de utilización amplio, ya que se puede usar en tubos de 3" hasta 72" de diámetro.
- No requiere energía eléctrica para su operación.

### **Desventajas**

- Costo de adquisición relativamente alto.
- Con cierta cantidad de partículas en suspensión las tomas de presión tienden a obstruirse.
- Se requiere personal capacitado para operarlo.

### **Recomendaciones de Uso**

Tanto el equipo Pitot Simplex, como el Cole, son equipos diseñados para realizar mediciones no permanentes, sin embargo, acoplado a registradores de velocidad, o de presión diferencial, pueden acumular información, por diferentes períodos de tiempo, periodo que depende del tipo de registrador y gráfica que se use, en el caso del registrador de velocidad debido a su sistema de relojería el periodo de registro es de un día, y en el del registrador de presión diferencial, puede ser de un día o una semana.

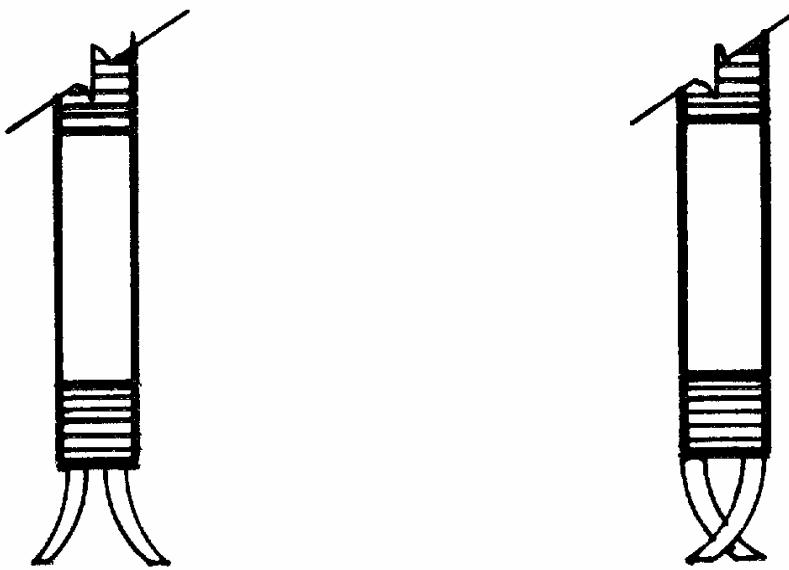
Entre los usos mas importantes que tiene este equipo se pueden mencionar:

- Medición de caudales.
- Verificación de secundarios de primógenos
- Medición de presiones
- Determinación de curvas de errores de un medidor
- Pruebas de pérdida de carga
- Determinación de curvas características de bombas
- Determinación de la curva de calibración de un primario de primógeno.

### **Medidor Tubo de Pitot Cole**

El principio de funcionamiento de este tubo Pitot, es el mismo que el del anterior, con la particularidad de que con este instrumento es posible efectuar mediciones de flujo en ambos sentidos de la tubería, debido a que su diseño lo permite figura 4.29.

En la figura 4.29 se muestra el equipo de pitometría montado en una tubería junto con los componentes que lo integran.



POSICIÓN NORMAL DE  
OPERACIÓN

POSICIÓN CERRADA  
(para pasar por la válvula de incorporación)

**Figura 4.29. Posición de los orificios.**

En la parte superior de los tubos de transmisión, lleva un mecanismo, cuya función es girar los tubos para colocar las tomas de presión en las posiciones de abierto o cerrado, la posición de cerrado es usada cuando se pasa el tubo por la válvula de inserción, o no se requiere realizar mediciones.

Además el tubo Pitot Cole tiene la característica de poder girar un ángulo de 1800, con este giro se invierten las posiciones de los meniscos de la deflexión en el tubo U, pero se conserva el valor de la deflexión.

#### **Medidor Tubo de Pitot Modificado Annubar**

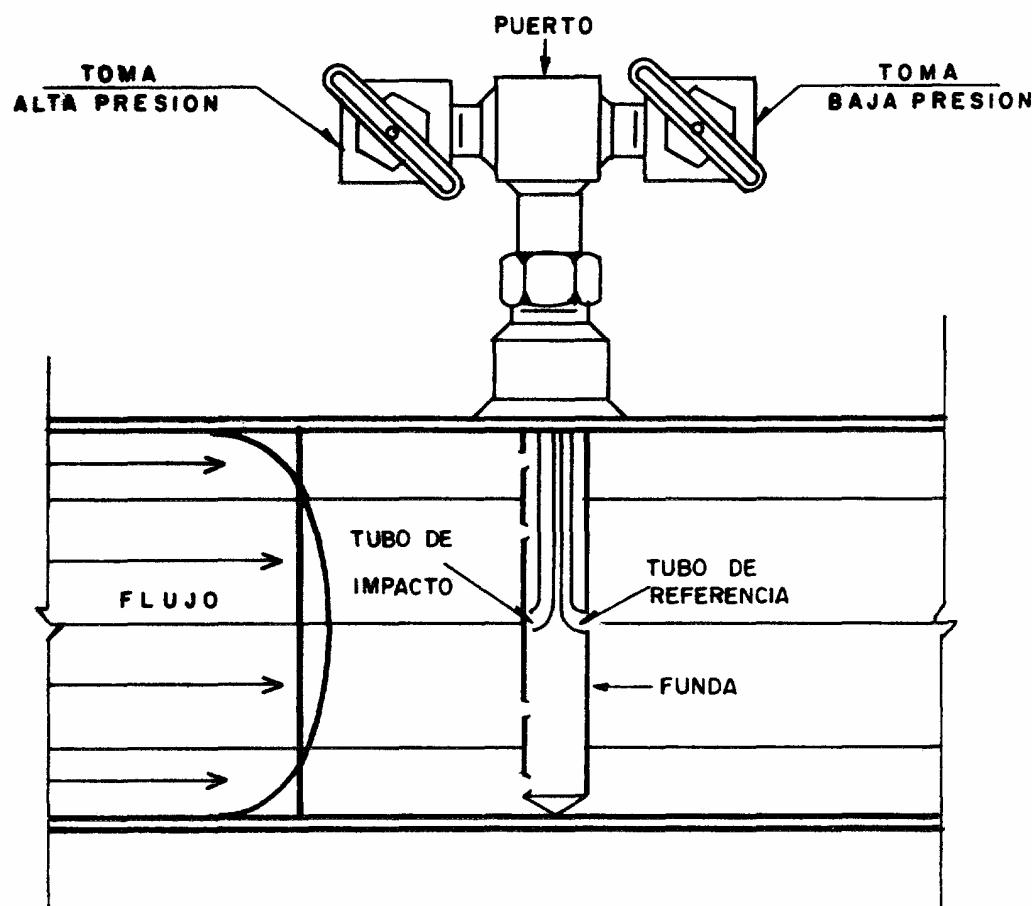
Se le denomina Pitot Modificado, en virtud de que a diferencia U Pitot standard, que tiene un orificio para recibir la carga de impacto, situado en la base del tubo, el Pitot modificado cuenta con 4 o 6 de estos orificios dependiendo de su longitud, distribuidos a lo largo del tubo.

#### **Descripción del Equipo**

Este medidor esta integrado por una funda de forma circular o diamantada, cerrada en el extremo inferior a la que se le practican distribuidos sobre un eje vertical 4 o 6 orificios, mismos que al momento de instalarlos se orientan contra el sentido del flujo,

este sistema de orificios permite que en el interior de la funda se promedie la carga de impacto (alta presión) que existe en el eje central de la tubería. Dentro de esta funda se alojan dos tubos, uno de ellos se encuentra abierto al interior de la funda y recibe la carga promedio de impacto, el otro se encuentra abierto al exterior de la funda en contacto directo con la vena líquida y orientado en el sentido contrario al flujo, captando la carga de referencia (baja presión)

Estos tubos transmiten las cargas al puerto, donde la señal puede ser recibida y procesada por medidores, registradores y transmisores de presión diferencial: e indicadores de caudal o volúmenes, que entregan la información en forma gráfica o digital. en la figura 4.30 se muestra el funcionamiento de este equipo.



**Figura 4.30. Pitot modificado.**

Este equipo se fabrica en acero al carbón e inoxidable, y en función de sus diferentes modelos, cubre tuberías de 2" a 72" de diámetro.

## Instalación

La instalación en el caso de que la tubería sea de acero, se realiza directamente sobre de ella, mediante perforación y copie soldado.

Para tuberías de cualquier otro material, se requiere usar abrazadera.

En cuanto a su posición en el tubo esta se puede localizar en cualquier plano.

En la figura 4.31 se indican las distancias mínimas recomendables, para la instalación del Pitot modificado.

Diámetros mínimos de tubería recta	Dimensión aguas arriba					Dimensión aguas abajo	
	Sin estabilizadores		Con estabilizadores				
	En el plano A	Fuera del plano A	A	C	C'		
<b>Fig. 1</b>	7	9				3	
			6	3	3		
<b>Fig. 2</b>	9	14				3	
			8	4	4		
<b>Fig. 3</b>	19	24				4	
			9	4	5		
<b>Fig. 4</b>	8	8				3	
			8	4	4		
<b>Fig. 5</b>	8	8				3	
			8	4	4		
<b>Fig. 6</b>	24	24				4	
			9	4	5		

**Figura 4.31. Distancias mínimas recomendadas.**

La figura 4.31 indica el número mínimo de diámetros de tubería aguas arriba y aguas abajo del Annubar. Son preferibles siempre dimensiones mayores (si es posible) para realizar la medida exacta del caudal.

- Instalar el elemento primario perpendicularmente a la tubería de conducción, correctamente centrado.
- Alinear el eje de los orificios de impacto para que estén perpendiculares al sentido del flujo.
- Verificar que el orificio de impacto cercano a la superficie de la tubería, no este obstruido por la misma tubería.
- Verificar que la velocidad del flujo produzca como mínimo un diferencial de presión de 5 pulgadas columna de agua, para que el elemento secundario capte la señal hidráulica sin dificultad.

A continuación, se muestran gráficamente las tolerancias permisibles en el alineamiento, en relación con el eje de instalación, figura 4.32.

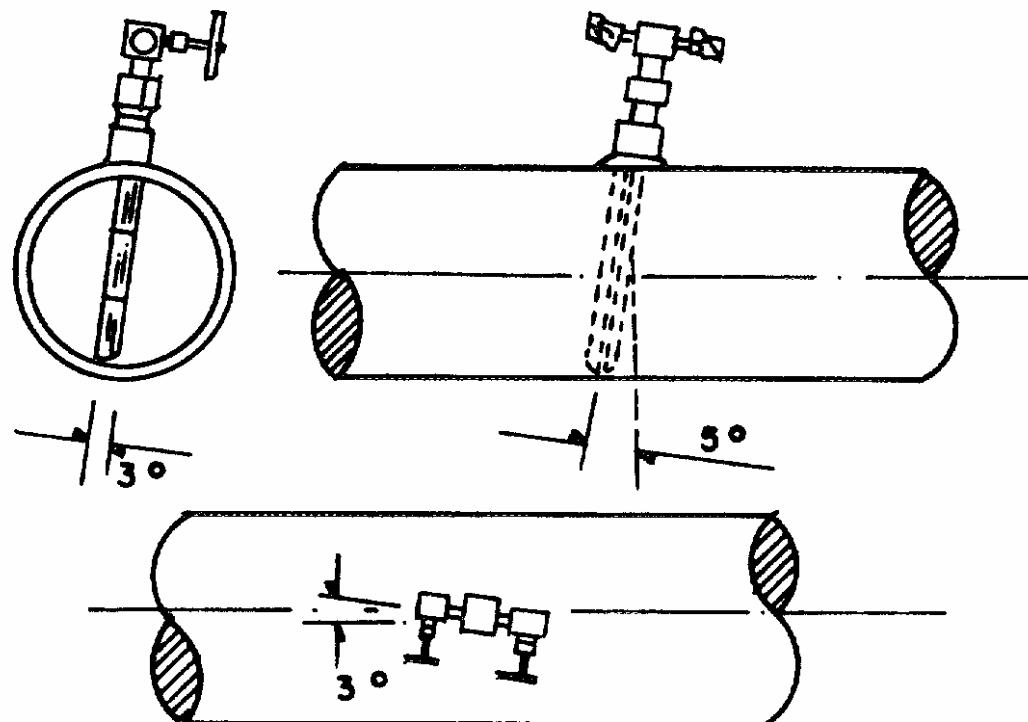


Figura 4.32. Tolerancias permisibles en el alineamiento.

## **Ventajas y Desventajas**

### **Ventajas**

- Costo relativamente económico Instalación rápida y sencilla
- Sin problemas de traslado
- Se instala en cualquier tipo de tubería
- Precisión aceptable ( $\pm 1.0 \%$ )
- Posibilidad de desmontarlo con la tubería en operación
- Pérdida de carga baja

### **Desventajas**

- Rango de medición limitado
- Unicamente para líquidos limpios

### **Recomendaciones de Uso**

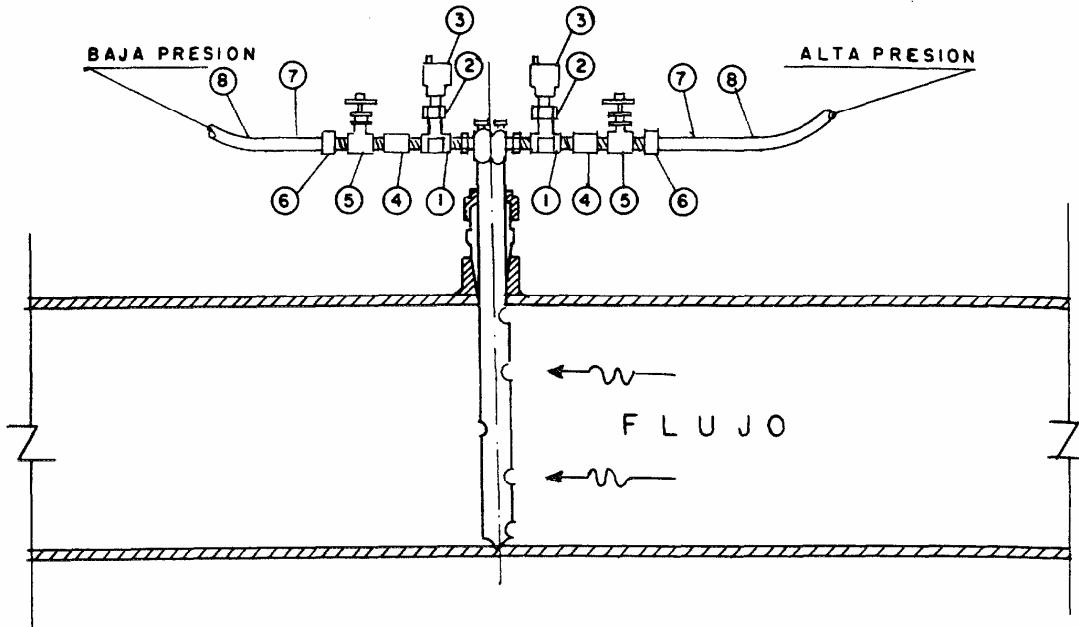
Se recomienda la instalación de este equipo en aguas limpias y con reservas para líquidos con pequeños porcentajes de sólidos en suspensión.

Se recomienda para tuberías de 3" en adelante previo análisis económico, en comparación con otros tipos de medidores.

En la figura 4.33 se indican los accesorios que debe llevar una instalación típica de un Pitot Modificado.

### **Accesorios.**

- 1) Tee de  $\frac{1}{2}$ "  $\phi$  fofó. compatible con el diámetro de salida del elemento primario.
- 2) Reducción bushing de  $\frac{1}{2}" \times \frac{1}{4}"$  compatible con la salida del elemento primario y la válvula expulsora de aire.
- 3) Válvula expulsora de aire Brauckman o similar.
- 4) Niple de  $\frac{1}{2}" \times 2"\phi$ , de longitud o compatible con la salida del elemento primario.
- 5) Válvula de paso.
- 6) Reducción bushing se  $\frac{1}{2}" \times \frac{1}{4}"\phi$ .
- 7) Niple espiga de  $\frac{1}{4}"\phi$ .
- 8) Manguera de alta presión de  $\frac{1}{4}" \phi$  reforzada.



**Figura 4.33. Accesorios de una instalación típica.**

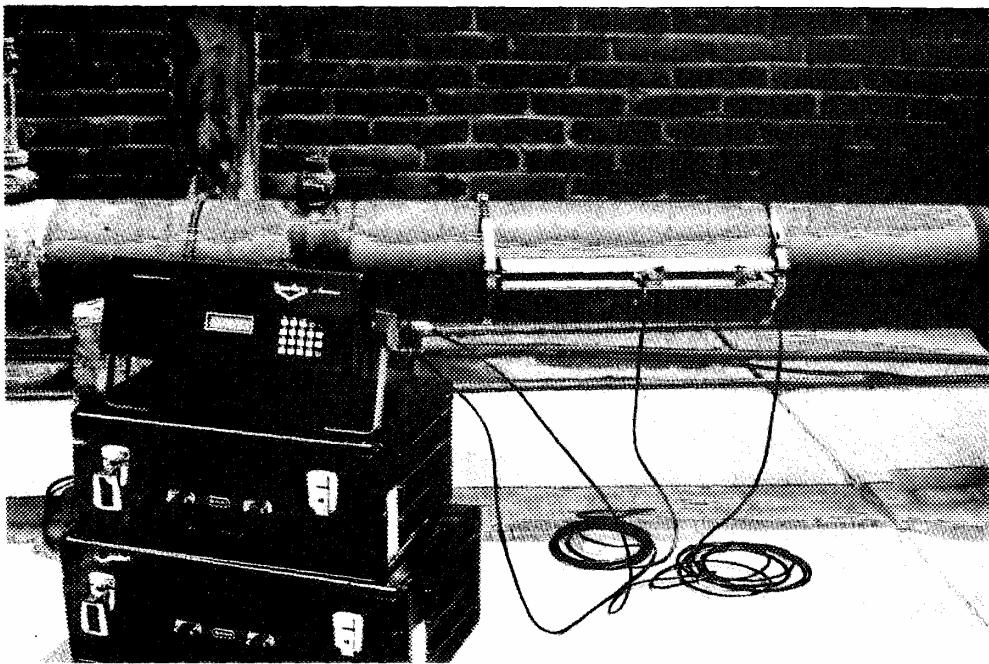
#### 4.1.3. Medidor Ultrasónico

##### Principio de Funcionamiento

El principio de funcionamiento de este medidor tiene su origen en las aplicaciones de la acústica, y de estas específicamente la relacionada con el sonar, de acuerdo con esto el funcionamiento de un medidor ultrasónico se basa en lo siguiente:

Una señal sónica es transmitida diagonalmente a través del tubo por donde circula el agua, la velocidad que lleva el agua afecta el tiempo que la señal emplea para viajar del transmisor al receptor.

Con base en este principio de funcionamiento, se han desarrollado varios diseños de medición de caudales, utilizando por lo menos un transmisor y un receptor ( traductores ), figura 4.34.



**Figura 4.34. Medidor ultrasonico.**

La precisión de estos medidores, depende de la exactitud en la medición del tiempo que tarda la señal sónica, en viajar del transmisor al receptor.

### **Tipos de Medidores Ultrasónicos**

Para uso en sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento los medidores ultrasónicos mas usados son los conocidos como tiempo en transito ( time of flight ) y el denominado de efecto Doppler.

La diferencia entre ambos medidores estriba en lo siguiente, en el medidor "tiempo en transito" la señal acústica va del emisor al receptor; y en el de efecto Doppler, la señal es reflejada por el material que lleva el agua en suspensión.

Por lo anterior el medidor ultrasónico "tiempo en transito" es únicamente utilizable en aguas limpias que no contengan sólidos en suspensión. En cambio el de efecto Doppler, solo puede usarse en aguas que contengan sólidos en suspensión.

### **Descripción del Equipo**

El equipo consta básicamente de un transmisor, un receptor (transductores ), y de rieles de instalación los cuales van montados en los costados de la tubería a  $180^{\circ}$  uno del otro, cables que conectan los transductores con un computador que controla la señal acústica, analiza la información registrada y la transforma en caudales , volúmenes o velocidad del agua. En la figura 4.35 se observan las piezas que integran un equipo de medición ultrasónico.

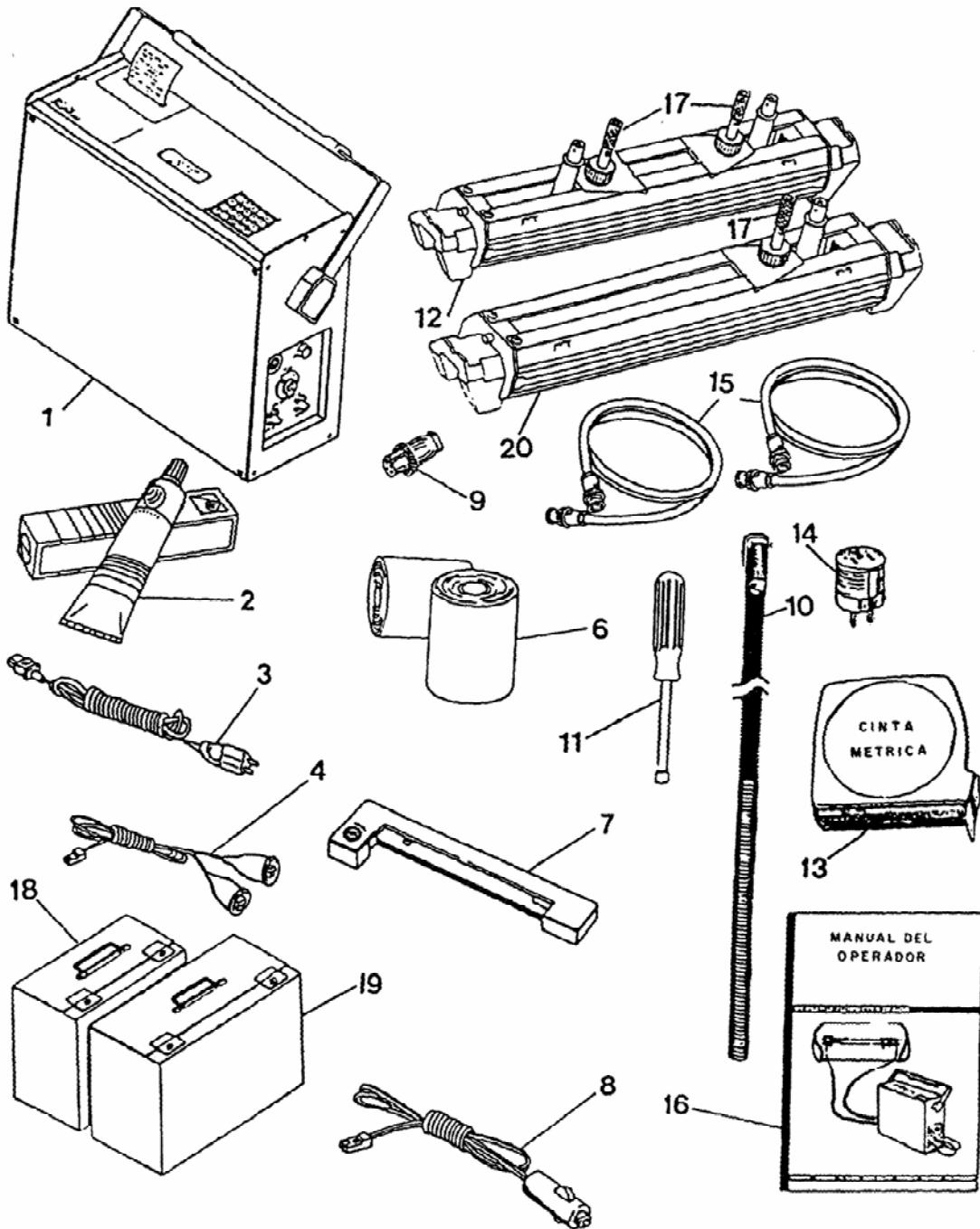


Figura 4.35. Componentes del equipo de medicion ultrasonico.

#### Listado de Piezas

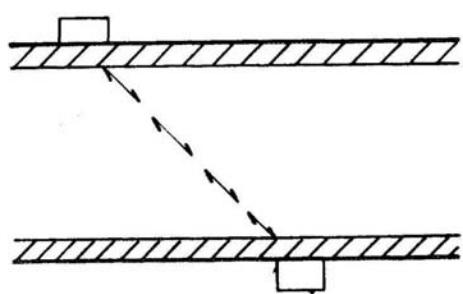
1.- Computador.

- 2.- Pasta de silicón.
- 3.- Cable toma corriente de corriente alterna c.a.)
- 4.- Cable para corriente directa ( c.d.)
- 6.- Rollo de papel para impresora.
- 7.- Cinta para maquina impresora.
- 8.- Cable adaptador toma corriente.
- 9.- Conector o adaptador.
- 10.- Flejes para fijación de rieles a tubería.
- 11.- Destornillador tipo caja.
- 12 y 20.- Rieles de montaje de transductores.
- 13.- Cinta métrica.
- 14.- Adaptador c.a. 3 a 2.
- 15.- Cables coaxiales con conectores.
- 16.- Manual del operador.
- 17.- Transductores.
- 18 y 19.- Maletas para transporte de equipo.

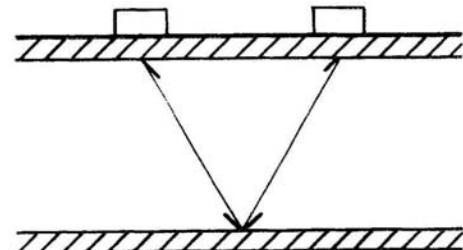
## **Instalación**

- El equipo puede ser instalado en cualquier tipo de tubería.
- En cuanto a su posición en la tubería, la instalación puede efectuarse en forma inclinada o vertical, sin embargo, de preferencia debe instalarse en el eje horizontal de la tubería.
- Para la instalación del equipo se requiere, una distancia mínima de 30 y 10 diámetros aguas arriba y aguas abajo respectivamente de cualquier pieza especial.
- Los transductores pueden instalarse en dos formas, una de ellas llamada en seco sin tener contacto con el agua, y otra en contacto con ella. figura 4.36 para el primer caso se instalan sobre la pared exterior del conducto. Para el segundo se realizan perforaciones en la tubería alojándose en ellas.
- Los transductores siempre se instalan en forma de par o dos pares.

A continuación se indican las diferentes formas de instalación de los transductores, figura 4.36.



EN " Z "



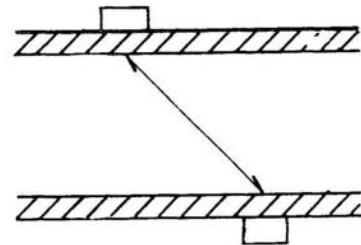
EN " V "



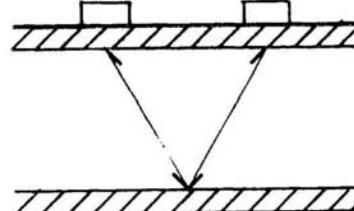
EN SECO



EN CONTACTO CON EL AGUA



UN PAR



DOS PARES

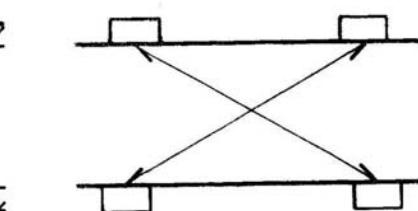


Figura 4.36. Instalacion de los transductores.

**Algunos cuidados que deben tenerse para la instalación del equipo:**

- Colocar pasta de silicon a los transductores, esto con la finalidad de que queden bien adheridos al tubo.
- No apretar en demasiá los flejes para fijación de los sensores ya que podrían sufrir algún daño.
- Cuidar que sean colocados los sensores en el plano horizontal del tubo.
- Si son sensores que van colocados uno frente al otro cuidar que coincidan en la misma sección a 1800.

- Realizar análisis Físico -químico del agua poniendo especial cuidado en el parámetro correspondiente a los sólidos en suspensión, para definir si se usa el equipo de efecto tipo Doppler o el de tiempo de transito.
- Antes de poner a funcionar el equipo checar que tipo de corriente eléctrica o voltaje es el que alimentará al aparato.

### **Ventajas y Desventajas**

A continuación se dan algunas ventajas y desventajas de los equipos ultrasónicos de medición.

#### **Ventajas**

- Fácil de transportarse
- Instalación rápida y sencilla
- Se instala en cualquier tipo de tubería
- Precisión del 1 al 4 %
- La instalación puede efectuarse en el exterior de la tubería.

#### **Desventajas**

- Costo relativamente alto
- Su funcionamiento correcto depende en gran parte del contenido uniforme de sólidos en suspensión en el agua.
- Existe poca documentación sobre su aplicación.

#### **Recomendaciones de Uso**

El uso de este equipo es recomendable para todo tipo de tubería y en diámetros de 2" a 72" de diámetro. Sin embargo es necesario realizar verificaciones periódicas de su exactitud y análisis físico químicos del agua, para garantizar su confiabilidad.

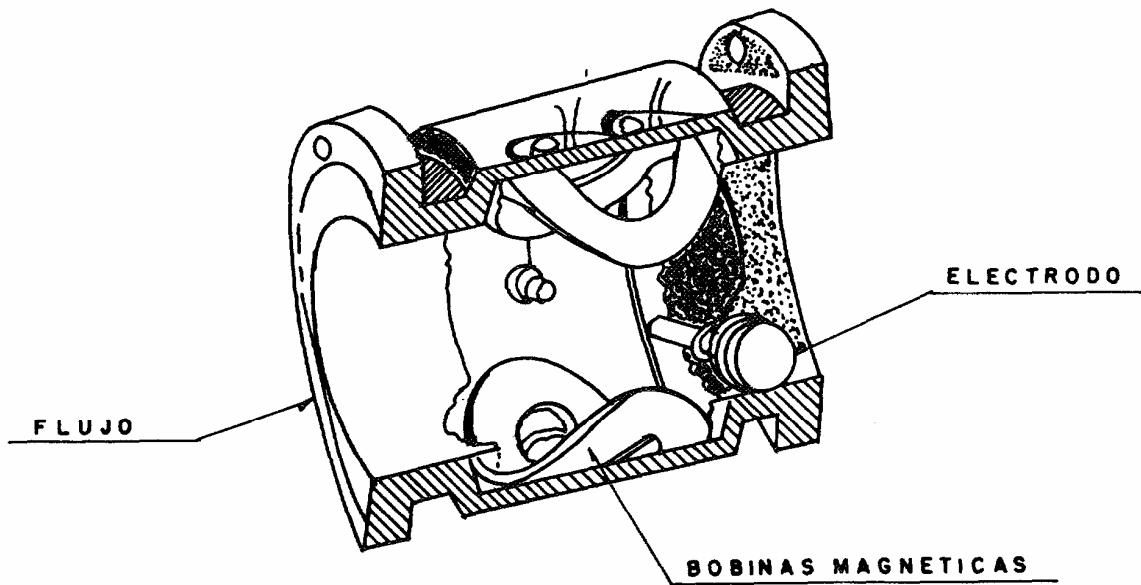
#### **4.1.4. Medidores Electromagnéticos**

El principio de operación de este medidor esta basado en la Ley de Faraday, la cual expresa: Que el voltaje inducido en un conductor que se desplaza a través de un campo magnético, es proporcional a la velocidad de ese conductor.

El medidor magnético de flujo utiliza la Ley de Faraday para medir la velocidad media del agua en la forma siguiente: dos bobinas colocadas una a cada lado del cuerpo del medidor, son excitadas por una corriente alterna, produciendo un campo magnético uniforme a través de la parte interna del tubo, conforme pasa el agua a través del cuerpo del medidor, corta el campo magnético, generando una inducción de voltaje que es percibida por dos electrodos diametralmente opuestos y perpendiculares al campo magnético.

En cuanto a su estructura, el medidor magnético consiste en un tubo metálico, que generalmente es de acero inoxidable o aluminio, ya que las propiedades magnéticas de estos materiales son bajas, recubierto con neopreno, plástico, teflón, cerámica o cualquier material no magnético y no conductor.

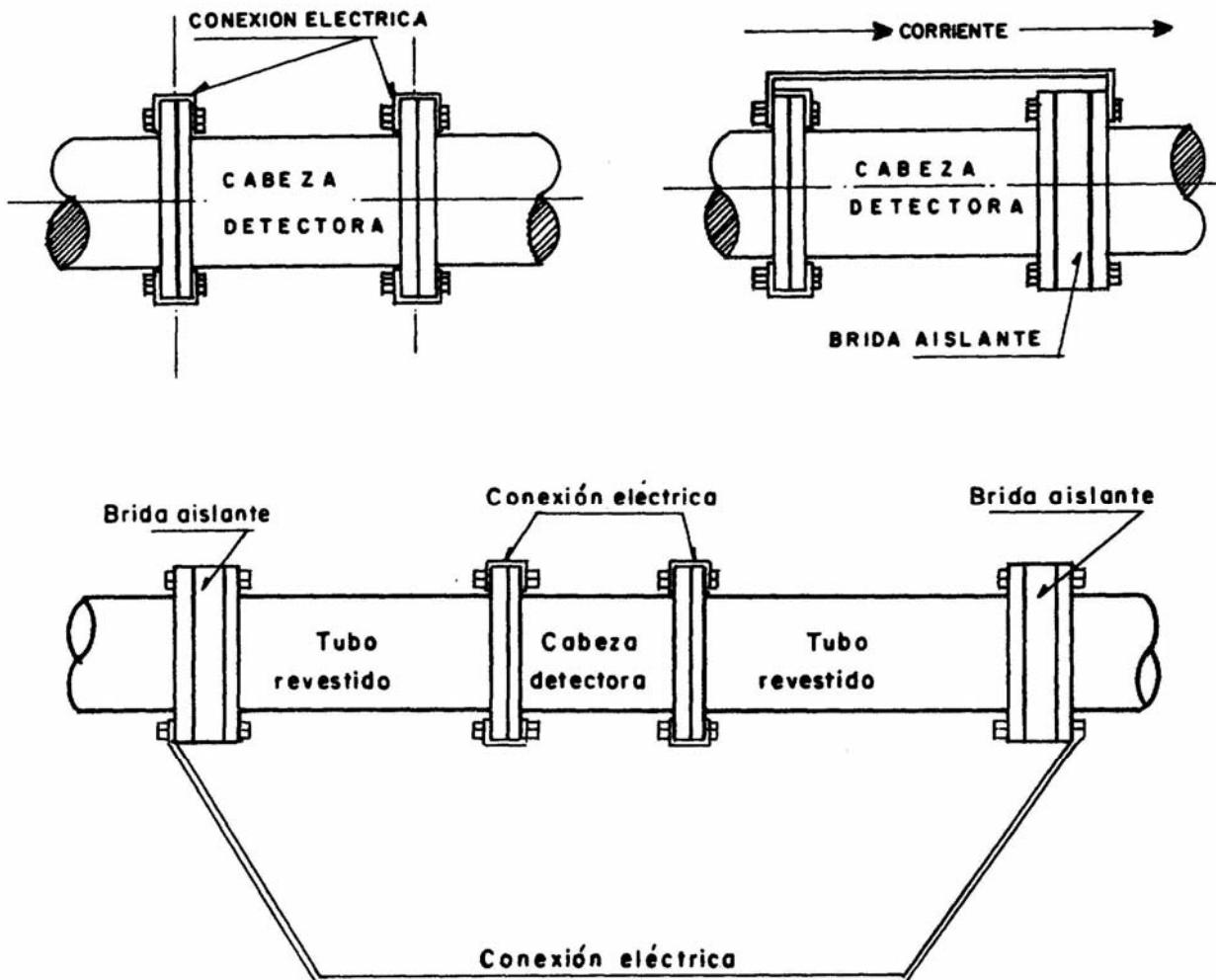
Alrededor del tubo se encuentran una serie de bobinas de diseño parecido al devanado de un motor, y con un núcleo semejante a los que se usan en un transformador, siendo las que producen el campo magnético, también cuenta con un par de electrodos que detectan la fuerza electromotriz que genera el agua a su paso por el campo magnético, enviando la señal para medición a un registrador que traduce la señal en información de caudales o volúmenes, figura 4.37.



**Figura 4.37. Estructura del medidor magnético.**

### Instalación

- Es importante evitar la operación en bajas velocidades para evitar la adherencia de partículas metálicas en los electrodos.
- Este medidor es poco sensible a las turbulencias, y solo necesita de 3 diámetros antes o después de cualquier pieza especial o reducción.
- Por otra parte, para un funcionamiento eficiente requiere aparte de una adecuada instalación eléctrica, una conexión a tierra, cuando se usen tuberías plásticas o aisladas, el medidor debe ser puesto a tierra, a través de anillos o electrodos, figura 4.38.



**Figura 4.38. Anillos o electrodos.**

### Ventajas y Desventajas

#### Ventajas

- No posee partes móviles en contacto con el agua
- Para su instalación requiere una pequeña longitud de tramo recto aguas arriba.
- Pérdida de carga despreciable. La señal de salida de un medidor electromagnético es lineal con el caudal, lo que simplifica los circuitos de generación de señales.
- Rango del medidor bastante amplio.
- Precisión del  $\pm 1\%$
- Puede manejar líquidos con sólidos en suspensión.
- Instalación muy sencilla.

## **Desventajas**

- Alto costo de adquisición
- Mano de obra especializada para su instalación, calibración y mantenimiento.
- Requiere cuidados con respecto a las fuentes de energía externa que puedan provocar distorsiones en la operación normal.
- Necesidad de mantenimiento periódico en los electrodos, pues las partículas metálicas que son arrastradas por el agua se van adhiriendo interfiriendo en la medición.

## **Recomendaciones de Uso**

- Es recomendable cuando se manejen aguas que contengan sólidos en suspensión.
- Cuando se tenga en el sitio de instalación poco espacio para el montaje.
- Cuando sea importante conservar la carga hidráulica disponible.

## **5. ELEMENTOS SECUNDARIOS DE PRESIÓN DIFERENCIAL.**

### **Transmisores y Registradores**

#### **5.1. TRANSMISORES**

Los elementos primarios de presión diferencial requieren de elementos secundarios para transmitir, convertir y registrar, en forma de caudales o volúmenes la diferencial de presión producida.

Los tipos de transmisores de presión diferencial mas usados en los equipos para medición de agua potable son:

- Célula diferencial Tipo Dri-Flo.
- Célula diferencial Tipo Strain Gaug
- Transmisores electrónicos.

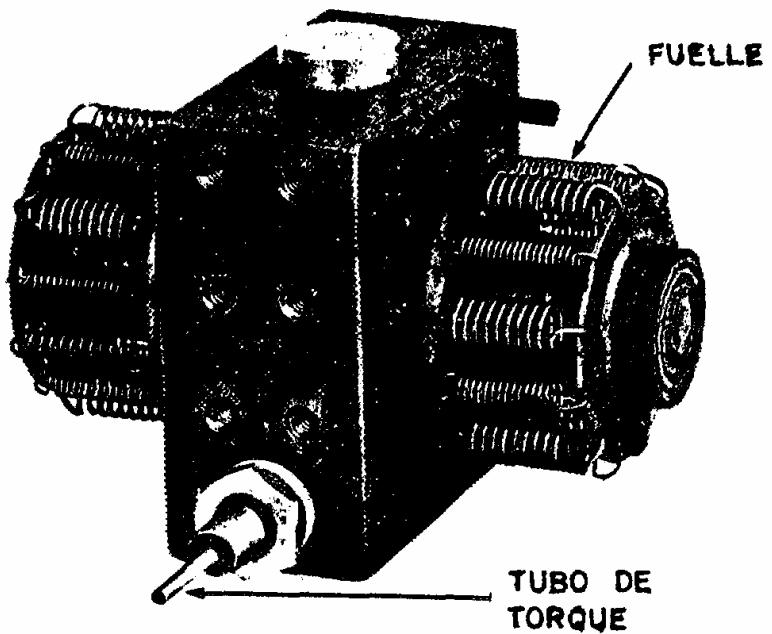
##### **5.1.1. Célula diferencial Tipo Dri-Flo.**

###### **Principio de Funcionamiento**

Esta célula diferencial, esta constituida por dos fuelles interconectados y localizados en el centro de la cámara, y unidos a un eje que transmite el movimiento de los fuelles al exterior de la cámara.

Cuando se aplican diferentes presiones, el fuelle del lado de alta presión se contrae, moviendo el eje de conexión en la dirección de baja presión, ocasionando así la expansión del fuelle del lado de la cámara de baja presión,

El movimiento de los fuelles se transmite mediante un tubo de torque directamente al brazo de la pluma de un registrador, o un transductor, figura 5.1.

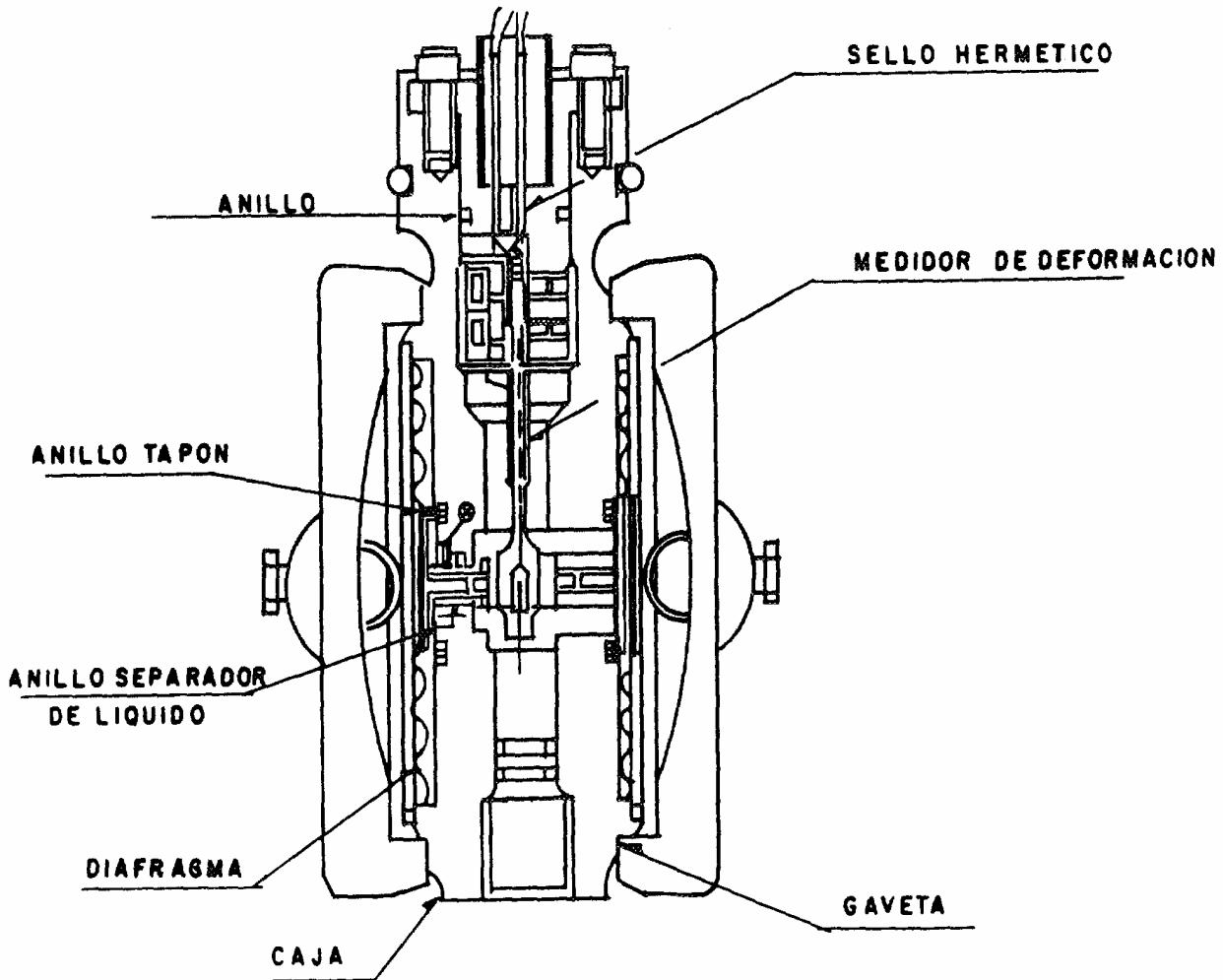


**Figura 5.1. Registrador.**

#### **5.1.2. Célula Diferencial Tipo Strain Gauge:**

En este tipo de elemento secundario, la presión diferencial se transfiere hacia el elemento de medición ( strain gauge ), a través de una cámara sellada llena de silicón.

A la salida del strain gauge, la señal es amplificada y convertida luego en una señal de salida de 4 a 20 m. amps. ( c.d.) para ser transmitida al registrador y demás componentes del circuito, figura 5.2.

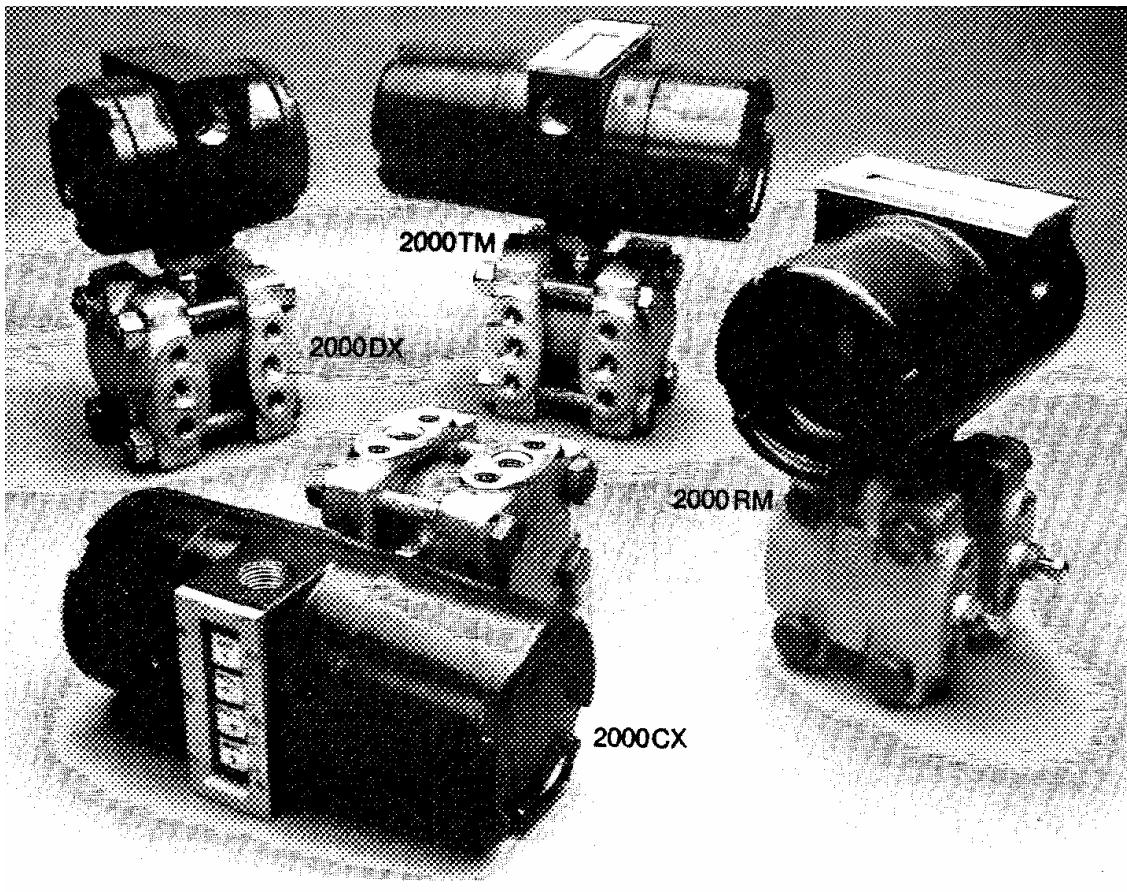


**Figura 5.2. Celula diferencial strain gauge**

### 5.1.3. Transmisores Electrónicos

#### MEDIDOR DE DEFORMACION

Los transmisores electrónicos ( transductores ) son dispositivos que forman parte de los elementos secundarios de un equipo de medición; reciben señales que pueden ser del tipo: hidráulico, neumático, eléctrico, etc. y la convierten en señales que a su vez son transmitidas a otro dispositivo como son: registradores analógicos, equipos de computo, o graficadores, donde se decodifica y es presentada como información sobre caudales, volúmenes, etc. de este tipo de equipos existe actualmente una gran variedad de marcas. Figura 5.3.

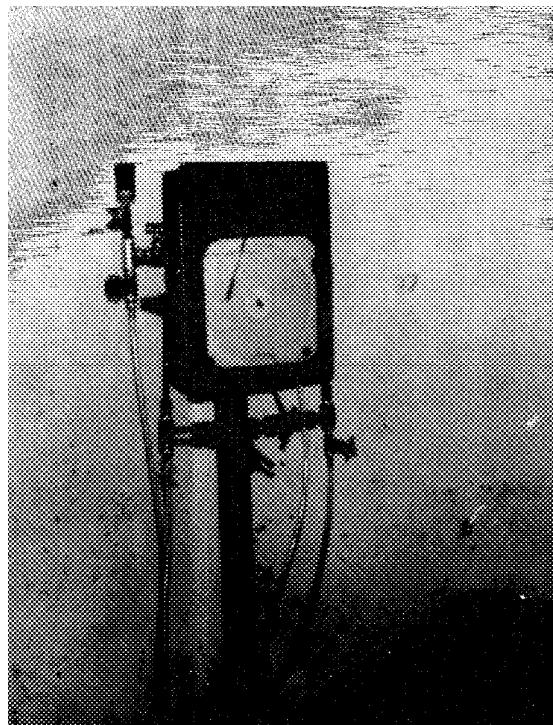


**Figura 5.3. Transductores.**

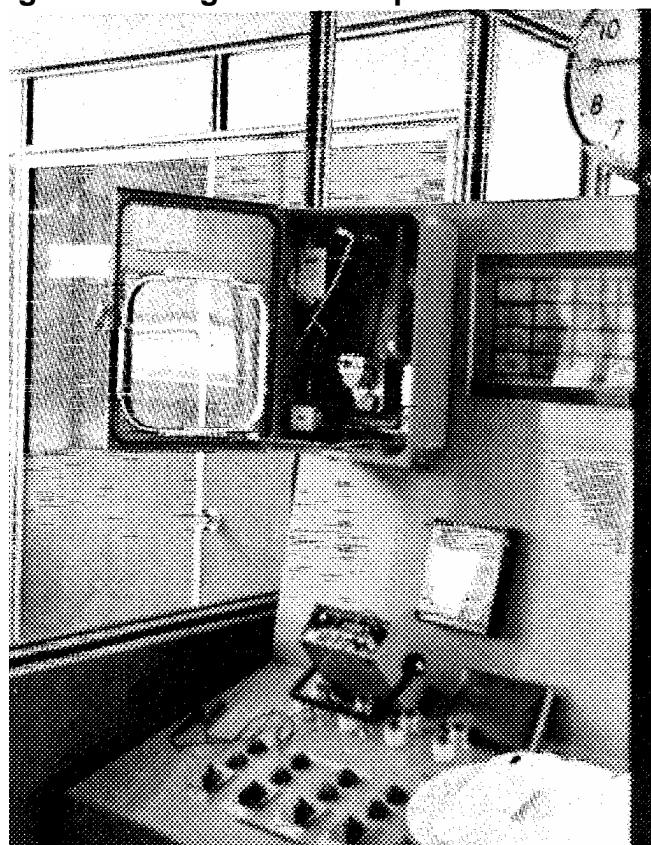
## 5.2. REGISTRADORES.

Los registradores son los elementos secundarios que convierten las señales enviadas por los transmisores de presión diferencial, en información sobre caudales y volúmenes, ya sea en forma gráfica o digital.

Cuando sea necesario seleccionar este tipo de equipo, hay que poner especial cuidado, en que sea compatible, con la señal que produce el elemento primario y el transmisor, y que sea congruente con los sistemas integrados de medición con que cuente el sistema de agua potable y saneamiento, figura 5.4 y figura 5.5.



**Figura 5.4. Registrador de presión diferencial.**



**Figura 5.5. Registrador de presión diferencial.**

## **6. MEDIDORES PARA CONDUCTOS A GRAVEDAD. (CANALES).**

La conducción del agua mediante conductos a gravedad, es práctica común en los sistemas de irrigación, para el caso de los sistemas de abastecimiento de agua potable, alcantarillado y saneamiento, esta aplicación, se da en el campo del tratamiento, tanto de agua potable como residuales, debido a que las plantas potabilizadoras reciben aguas crudas, provenientes de escurrimientos superficiales conducidas muchas veces, por conductos a cielo abierto, en el caso de las plantas de tratamiento de aguas residuales, los interceptores que llevan el agua residual a las plantas o los emisores que las descargan, están constituidos en muchos casos por canales o tuberías que trabajan como tales.

De lo anterior se deriva la importancia que reviste para el organismo operador, contar con estaciones de medición que satisfagan sus requerimientos.

Se han diseñado diferentes métodos de medición de flujo en canales, los hay desde muy sofisticados y costosos, hasta los más sencillos prácticos y económicos.

De las técnicas de medición usuales en canales, en este documento se desarrollarán las siguientes:

- Estructuras de aforo (Vertedores ).
- Método de área velocidad.
- Equipos ultrasónicos.

### **Estructuras de Aforo. (Vertedores )**

Esta técnica tiene la característica, de establecer una relación entre el gasto y los niveles de la superficie del agua circulando en una sección determinada.

La técnica se basa en el uso de estructuras tipo, como son:

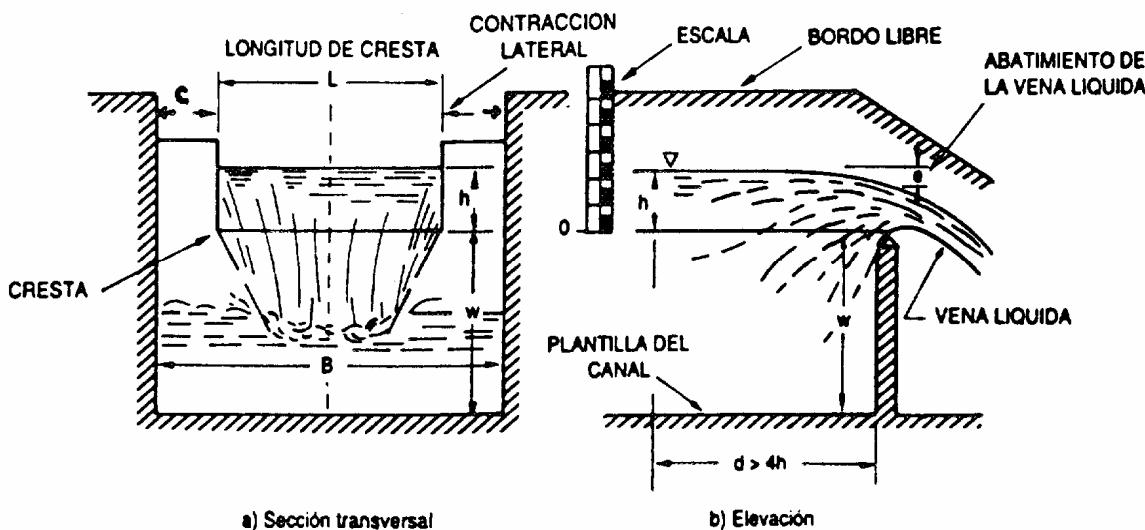
#### **Vertedores y Canales Parshall**

##### **6.1. VERTEDORES.**

Antes de entrar a describir los diferentes tipos de vertedores es conveniente considerar algunas definiciones.

#### **Vertedor**

Es un dispositivo usado para medir caudales en canales, consta básicamente de una sección transversal de geometría definida, por la cual escurre el líquido, manteniéndose la superficie libre, figura 6.1.



**Figura 6.1. Partes que integran un vertedor.**

Existe una variedad de formas geométricas para la construcción de vertedores, en este tema se verán:

- Vertedor Rectangular.
- Vertedor Trapezoidal o Cipolletti.
- Vertedor Triangular.

Por otra parte en función de las características de la cresta, se han clasificado en vertedores de pared delgada o de cresta ancha, es decir se han caracterizado de acuerdo al espesor de la cresta en el sentido del flujo, este tema tratará únicamente los vertedores de pared delgada.

### **Altura (W)**

Es la diferencia de cotas entre el fondo del canal de aproximación y la cresta, medida aguas arriba y junto al vertedero.

### **Carga Hidráulica ( h )**

Es la altura alcanzada por el agua, medida desde la cota de la cresta del vertedor.

### **Contracción Lateral ( c )**

En un vertedor de pared delgada, es la reducción del ancho efectivo de la vena líquida, como consecuencia de su angostamiento lateral con relación al ancho del canal de aproximación.

## Cresta

Es el punto mas bajo del corte, en el vertedor triangular la cresta es el vértice y en el vertedor rectangular, la cresta es el borde horizontal.

## Lámina de Agua

Es la vena líquida que pasa por encima del vertedor.

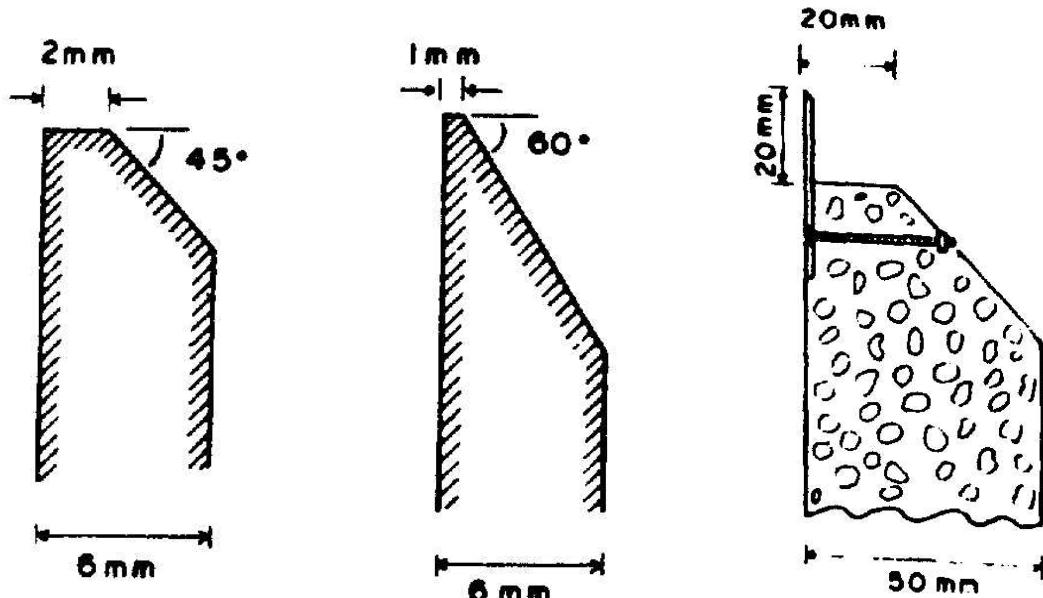
## Velocidad de Aproximación o Llegada

Es la velocidad promedio en una sección transversal situada aguas arriba, a una distancia de hasta 10 veces el ancho de la cresta del vertedor.

Es conveniente que la corriente llegue a la estructura sin velocidad, como esto es Físicamente imposible, se acepta que para que se cumpla esta condición, la velocidad máxima de llegada sea de 0.4 m/s.

## Vertedor de Pared Delgada

Los modelos estandarizados de vertedores de pared delgada, tienen un perfil de acuerdo a lo que se muestra en la figura 6.2.



Perfil de la hoja del vertedor para secciones rectangular o trapezial

Perfil de la hoja del vertedor para secciones triangulares o en V

Detalle de montaje de la cresta del vertedor (FAO. 1975)

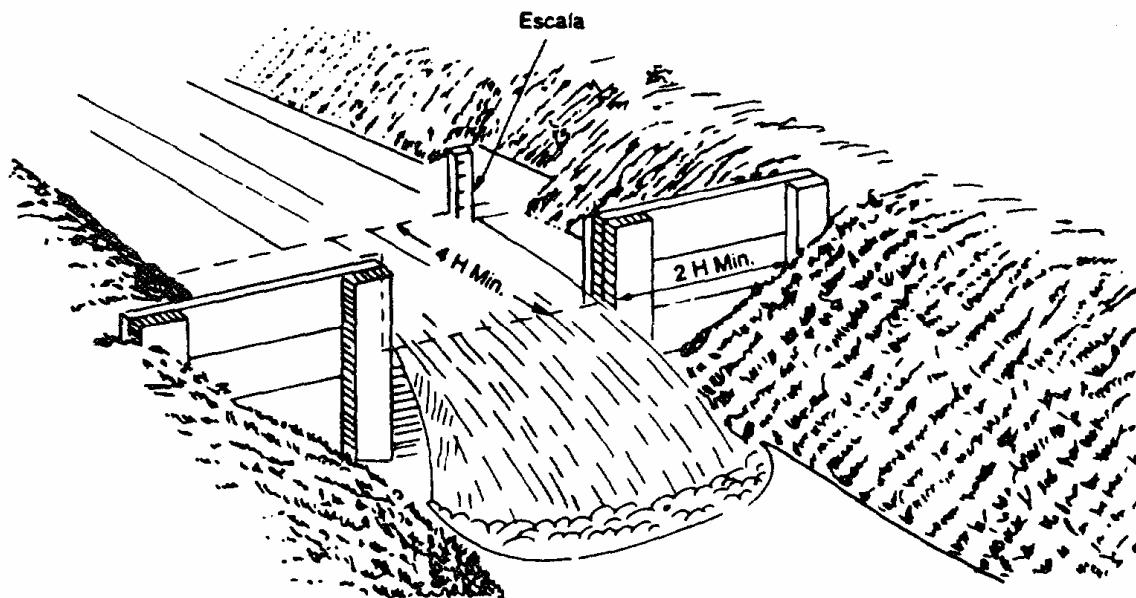
**Figura 6.2. Perfiles de la cresta de los vertedores de pared delgada.**

Los vertedores de pared delgada se clasifican en cuatro categorías, dependiendo de la sección transversal que presenta al flujo:

- A) Sin contracción lateral, cuando abarcan todo el ancho de un canal de paredes verticales. ( en este caso se requiere asegurar la ventilación de la superficie inferior de la lámina vertiente.) presentan una sección transversal de forma rectangular.
- B) Vertedores de contracción lateral. Presentan una muesca de forma rectangular o trapecial, que no ocupa el ancho total del canal, de esta forma el paso se cierra en ambos lados y permite que la lámina vertiente se contraiga en sentido horizontal.
- C) Vertedores triangulares o en V, esta sección se logra practicando un corte triangular, con la base invertida, en una placa, su ventaja reside en que cubre un rango medio de medición y mide gastos pequeños con precisión. Comúnmente se usa con ángulo de  $90^\circ$ , pero se pueden usar otros ángulos para necesidades especiales.
- D) Vertedor Trapezoidal o Cipolletti. Este tipo de vertedor tiene una sección transversal trapecial especial con taludes 4:1 ( 4 vertical a 1 horizontal ). Como se explicará mas adelante esta forma especial de la sección transversal tiene por objeto simplificar el coeficiente de descarga.

#### **6.1.1. Vertedor Rectangular.**

Estos vertedores son las estructuras mas usuales para el aforo de canales y la precisión con que se obtiene el gasto, se considera que es buena para fines prácticos, figura 6.3.



**Figura 6.3. Vertedor rectangular**

Las expresiones usadas por Francis para calcular el caudal en este tipo de vertedores son las siguientes:

### **Para Vertedores Sin Contracción Lateral**

$$Q = 1.84 L h^{1.5}$$

### **Para Vertedores Con Contracción Lateral**

$$Q = 1.84 (L - 0.2 h) h^{1.5}$$

donde:

$Q$  = Caudal en  $m^3 / s..$

$L$  = Longitud de la cresta en m.

$h$  = Carga hidráulica sobre el vertedor en m.

Para aplicar las anteriores fórmulas, es necesario conocer la longitud de la cresta y la carga hidráulica sobre la cresta del vertedor. La carga hidráulica debe ser medida con cualquier sistema de medición de nivel, a una distancia aguas arriba de entre 4 y 10 veces la carga hidráulica.

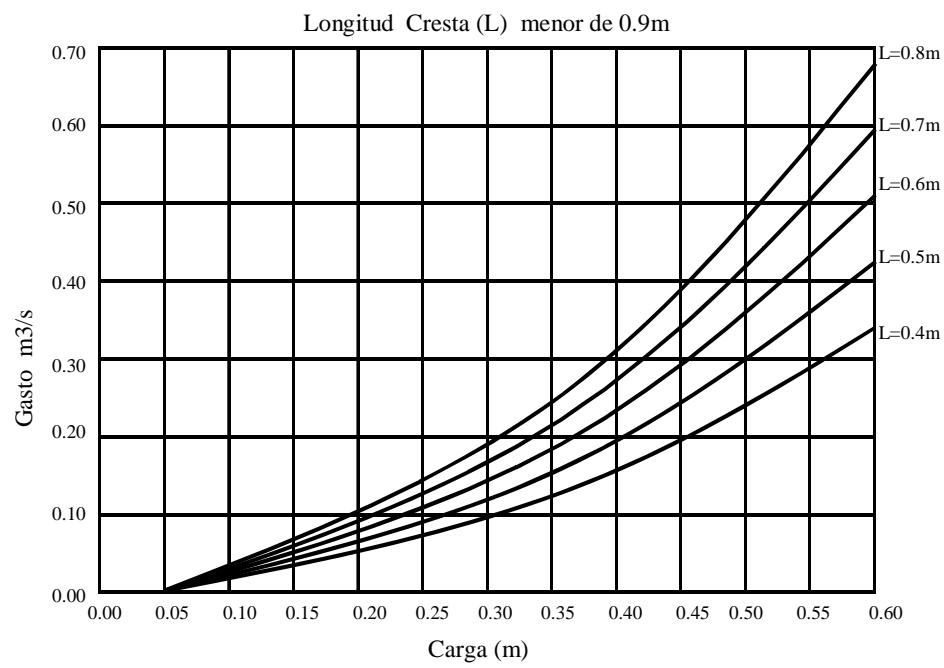
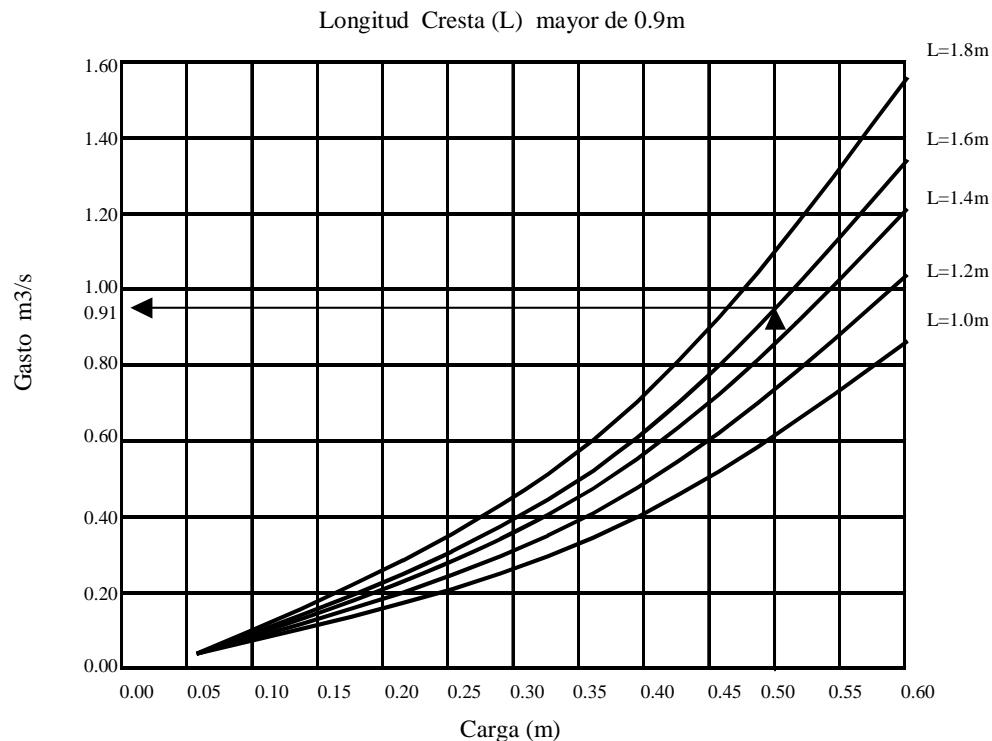
Estas ecuaciones se han tabulado y graficado para diferentes longitudes de cresta. Ver tabla 6.1 y tabla 6.2, figuras 6.4 y 6.5.

**Tabla 6.1. Gasto para vertedor rectangular sin contracción. ( $m^3/s$ )**

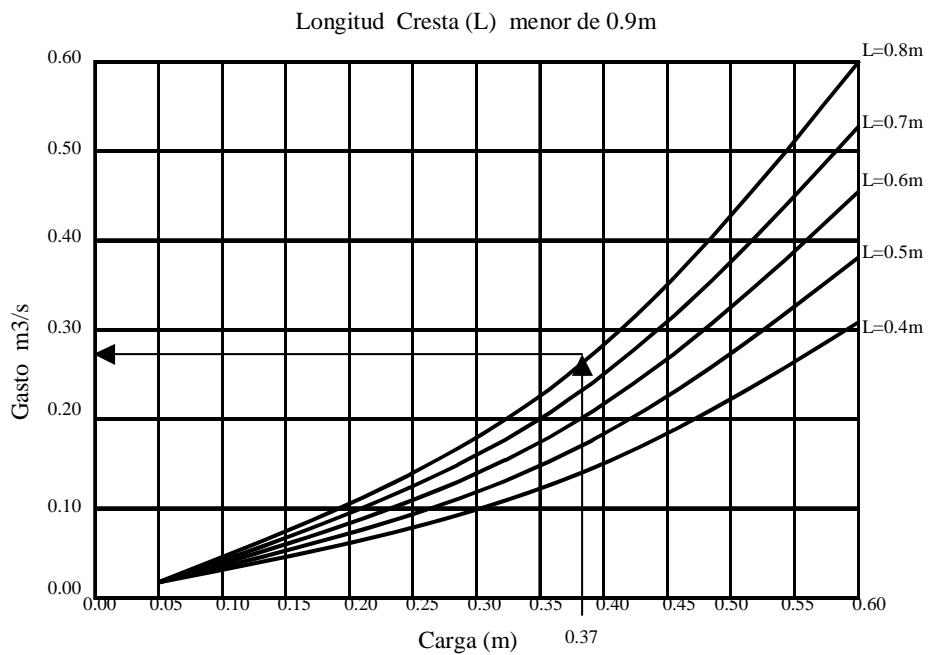
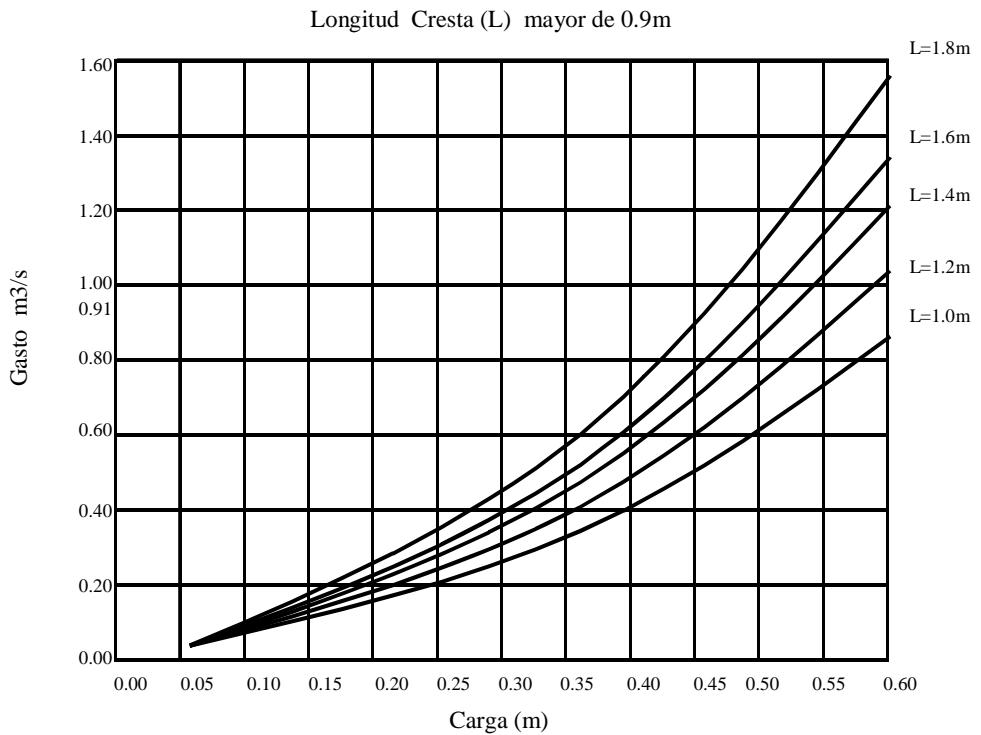
CARGA h (m)	LONGITUD CRESTA (m)									
	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80
0.06	0,011	0,014	0,016	0,019	0,022	0,027	0,032	0,038	0,043	0,049
0.07	0,014	0,017	0,020	0,024	0,027	0,034	0,041	0,048	0,055	0,061
0.08	0,017	0,021	0,025	0,029	0,033	0,042	0,050	0,058	0,067	0,075
0.09	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,050	0,060	0,070	0,079	0,089
0.10	0,023	0,029	0,035	0,041	0,047	0,058	0,070	0,081	0,093	0,105
0.11	0,027	0,034	0,040	0,047	0,054	0,067	0,081	0,094	0,107	0,121
0.12	0,031	0,038	0,046	0,054	0,061	0,076	0,092	0,107	0,122	0,138
0.13	0,034	0,043	0,052	0,060	0,069	0,086	0,103	0,121	0,138	0,155
0.14	0,039	0,048	0,058	0,067	0,077	0,096	0,116	0,135	0,154	0,173
0.15	0,043	0,053	0,064	0,075	0,086	0,107	0,128	0,150	0,171	0,192
0.16	0,047	0,059	0,071	0,082	0,094	0,118	0,141	0,165	0,188	0,212
0.17	0,052	0,064	0,077	0,090	0,103	0,129	0,155	0,181	0,206	0,232
0.18	0,056	0,070	0,084	0,098	0,112	0,141	0,169	0,197	0,225	0,253
0.19	0,061	0,076	0,091	0,107	0,122	0,152	0,183	0,213	0,244	0,274
0.20	0,066	0,082	0,099	0,115	0,132	0,165	0,197	0,230	0,263	0,296
0.21	0,071	0,089	0,106	0,124	0,142	0,177	0,212	0,248	0,283	0,319
0.22	0,076	0,095	0,114	0,133	0,152	0,190	0,228	0,266	0,304	0,342
0.23	0,081	0,101	0,122	0,142	0,162	0,203	0,244	0,284	0,325	0,365
0.24	0,087	0,108	0,130	0,151	0,173	0,216	0,260	0,303	0,346	0,389
0.25	0,092	0,115	0,138	0,161	0,184	0,230	0,276	0,322	0,368	0,414
0.26	0,098	0,122	0,146	0,171	0,195	0,244	0,293	0,342	0,390	0,439
0.27	0,103	0,129	0,155	0,181	0,207	0,258	0,310	0,361	0,413	0,465
0.28	0,109	0,136	0,164	0,191	0,218	0,273	0,327	0,382	0,436	0,491
0.29	0,115	0,144	0,172	0,201	0,230	0,287	0,345	0,402	0,460	0,517
0.30	0,121	0,151	0,181	0,212	0,242	0,302	0,363	0,423	0,484	0,544
0.31	0,127	0,159	0,191	0,222	0,254	0,318	0,381	0,445	0,508	0,572
0.32	0,133	0,167	0,200	0,233	0,266	0,333	0,400	0,466	0,533	0,600
0.33	0,140	0,174	0,209	0,244	0,279	0,349	0,419	0,488	0,558	0,628
0.34	0,146	0,182	0,219	0,255	0,292	0,365	0,438	0,511	0,584	0,657
0.35	0,152	0,190	0,229	0,267	0,305	0,381	0,457	0,533	0,610	0,686
0.36	0,159	0,199	0,238	0,278	0,318	0,397	0,477	0,556	0,636	0,715
0.37	0,166	0,207	0,248	0,290	0,331	0,414	0,497	0,580	0,663	0,745
0.38	0,172	0,216	0,259	0,302	0,345	0,431	0,517	0,603	0,690	0,776
0.39	0,179	0,224	0,269	0,314	0,359	0,448	0,538	0,627	0,717	0,807
0.40	0,186	0,233	0,279	0,326	0,372	0,465	0,559	0,652	0,745	0,838
0.41	0,193	0,242	0,290	0,338	0,386	0,483	0,580	0,676	0,773	0,869
0.42	0,200	0,250	0,300	0,351	0,401	0,501	0,601	0,701	0,801	0,901
0.43	0,208	0,259	0,311	0,363	0,415	0,519	0,623	0,726	0,830	0,934
0.44	0,215	0,269	0,322	0,376	0,430	0,537	0,644	0,752	0,859	0,967
0.45	0,222	0,278	0,333	0,389	0,444	0,555	0,667	0,778	0,889	1,000
0.46	0,230	0,287	0,344	0,402	0,459	0,574	0,689	0,804	0,918	1,033
0.47	0,237	0,296	0,356	0,415	0,474	0,593	0,711	0,830	0,949	1,067
0.48	0,245	0,306	0,367	0,428	0,490	0,612	0,734	0,857	0,979	1,101
0.49	0,252	0,316	0,379	0,442	0,505	0,631	0,757	0,884	1,010	1,136
0.50	0,260	0,325	0,390	0,455	0,520	0,651	0,781	0,911	1,041	1,171
0.51	0,268	0,335	0,402	0,469	0,536	0,670	0,804	0,938	1,072	1,206
0.52	0,276	0,345	0,414	0,483	0,552	0,690	0,828	0,966	1,104	1,242
0.53	0,284	0,355	0,426	0,497	0,568	0,710	0,852	0,994	1,136	1,278
0.54	0,292	0,365	0,438	0,511	0,584	0,730	0,876	1,022	1,168	1,314
0.55	0,300	0,375	0,450	0,525	0,600	0,751	0,901	1,051	1,201	1,351
0.56	0,308	0,386	0,463	0,540	0,617	0,771	0,925	1,080	1,234	1,388
0.57	0,317	0,396	0,475	0,554	0,633	0,792	0,950	1,109	1,267	1,425
0.58	0,325	0,406	0,488	0,569	0,650	0,813	0,975	1,138	1,300	1,463
0.59	0,334	0,417	0,500	0,584	0,667	0,834	1,001	1,167	1,334	1,501
0.60	0,342	0,428	0,513	0,599	0,684	0,855	1,026	1,197	1,368	1,539

**Tabla 6.2. Gasto para vertedor rectangular con contracción. ( $\text{m}^3/\text{s}$ )**

CARGA h (m)	0.40	0.50	0.60	0.70	LONGITUD CRESTA (m)			1.40	1.60	1.80
					0.80	100	1.20			
0.06	0,010	0,013	0,016	0,019	0,021	0,027	0,032	0,038	0,043	0,048
0.07	0,013	0,017	0,020	0,023	0,027	0,034	0,040	0,047	0,054	0,061
0.08	0,016	0,020	0,024	0,028	0,033	0,041	0,049	0,058	0,066	0,074
0.09	0,019	0,024	0,029	0,034	0,039	0,049	0,059	0,069	0,079	0,089
0.10	0,022	0,028	0,034	0,040	0,045	0,057	0,069	0,080	0,092	0,104
0.11	0,025	0,032	0,039	0,046	0,052	0,066	0,079	0,093	0,106	0,119
0.12	0,029	0,036	0,044	0,052	0,059	0,075	0,090	0,105	0,121	0,136
0.13	0,032	0,041	0,050	0,058	0,067	0,084	0,101	0,119	0,136	0,153
0.14	0,036	0,045	0,055	0,065	0,074	0,094	0,113	0,132	0,152	0,171
0.15	0,040	0,050	0,061	0,072	0,082	0,104	0,125	0,146	0,168	0,189
0.16	0,043	0,055	0,067	0,079	0,090	0,114	0,138	0,161	0,185	0,208
0.17	0,047	0,060	0,073	0,086	0,099	0,125	0,150	0,176	0,202	0,228
0.18	0,051	0,065	0,079	0,093	0,107	0,135	0,164	0,192	0,220	0,248
0.19	0,055	0,070	0,086	0,101	0,116	0,147	0,177	0,208	0,238	0,269
0.20	0,059	0,076	0,092	0,109	0,125	0,158	0,191	0,224	0,257	0,290
0.21	0,063	0,081	0,099	0,117	0,134	0,170	0,205	0,240	0,276	0,311
0.22	0,068	0,087	0,106	0,125	0,144	0,182	0,219	0,257	0,295	0,333
0.23	0,072	0,092	0,112	0,133	0,153	0,194	0,234	0,275	0,315	0,356
0.24	0,076	0,098	0,119	0,141	0,163	0,206	0,249	0,292	0,336	0,379
0.25	0,081	0,104	0,127	0,150	0,173	0,219	0,265	0,311	0,357	0,403
0.26	0,085	0,109	0,134	0,158	0,182	0,231	0,280	0,329	0,378	0,426
0.27	0,089	0,115	0,141	0,167	0,193	0,244	0,296	0,347	0,399	0,451
0.28	0,094	0,121	0,148	0,176	0,203	0,257	0,312	0,366	0,421	0,475
0.29	0,098	0,127	0,156	0,184	0,213	0,271	0,328	0,386	0,443	0,501
0.30	0,103	0,133	0,163	0,193	0,224	0,284	0,345	0,405	0,466	0,526
0.31	0,107	0,139	0,171	0,203	0,234	0,298	0,361	0,425	0,488	0,552
0.32	0,112	0,145	0,179	0,212	0,245	0,312	0,378	0,445	0,512	0,578
0.33	0,117	0,151	0,186	0,221	0,256	0,326	0,396	0,465	0,535	0,605
0.34	0,121	0,158	0,194	0,231	0,267	0,340	0,413	0,486	0,559	0,632
0.35	0,126	0,164	0,202	0,240	0,278	0,354	0,431	0,507	0,583	0,659
0.36	0,130	0,170	0,210	0,250	0,289	0,369	0,448	0,528	0,607	0,687
0.37	0,135	0,176	0,218	0,259	0,301	0,383	0,466	0,549	0,632	0,715
0.38	0,140	0,183	0,226	0,269	0,312	0,398	0,484	0,571	0,657	0,743
0.39	0,144	0,189	0,234	0,279	0,324	0,413	0,503	0,592	0,682	0,772
0.40	0,149	0,196	0,242	0,289	0,335	0,428	0,521	0,614	0,708	0,801
0.41	0,154	0,202	0,250	0,299	0,347	0,443	0,540	0,637	0,733	0,830
0.42	0,158	0,208	0,258	0,309	0,359	0,459	0,559	0,659	0,759	0,859
0.43	0,163	0,215	0,267	0,319	0,370	0,474	0,578	0,682	0,786	0,889
0.44	0,168	0,221	0,275	0,329	0,382	0,490	0,597	0,705	0,812	0,919
0.45	0,172	0,228	0,283	0,339	0,394	0,505	0,617	0,728	0,839	0,950
0.46	0,177	0,234	0,292	0,349	0,406	0,521	0,636	0,751	0,866	0,980
0.47	0,181	0,241	0,300	0,359	0,419	0,537	0,656	0,774	0,893	1,011
0.48	0,186	0,247	0,308	0,370	0,431	0,553	0,676	0,798	0,920	1,043
0.49	0,191	0,254	0,317	0,380	0,443	0,569	0,695	0,822	0,948	1,074
0.50	0,195	0,260	0,325	0,390	0,455	0,585	0,716	0,846	0,976	1,106
0.51	0,200	0,267	0,334	0,401	0,468	0,602	0,736	0,870	1,004	1,138
0.52	0,204	0,273	0,342	0,411	0,480	0,618	0,756	0,894	1,032	1,170
0.53	0,209	0,280	0,351	0,422	0,493	0,635	0,777	0,919	1,061	1,203
0.54	0,213	0,286	0,359	0,432	0,505	0,651	0,797	0,943	1,089	1,235
0.55	0,218	0,293	0,368	0,443	0,518	0,668	0,818	0,968	1,118	1,268
0.56	0,222	0,299	0,376	0,453	0,531	0,685	0,839	0,993	1,147	1,302
0.57	0,226	0,306	0,385	0,464	0,543	0,702	0,860	1,018	1,177	1,335
0.58	0,231	0,312	0,393	0,475	0,556	0,718	0,881	1,044	1,206	1,369
0.59	0,235	0,319	0,402	0,485	0,569	0,735	0,902	1,069	1,236	1,403
0.60	0,239	0,325	0,410	0,496	0,582	0,753	0,924	1,095	1,266	1,437



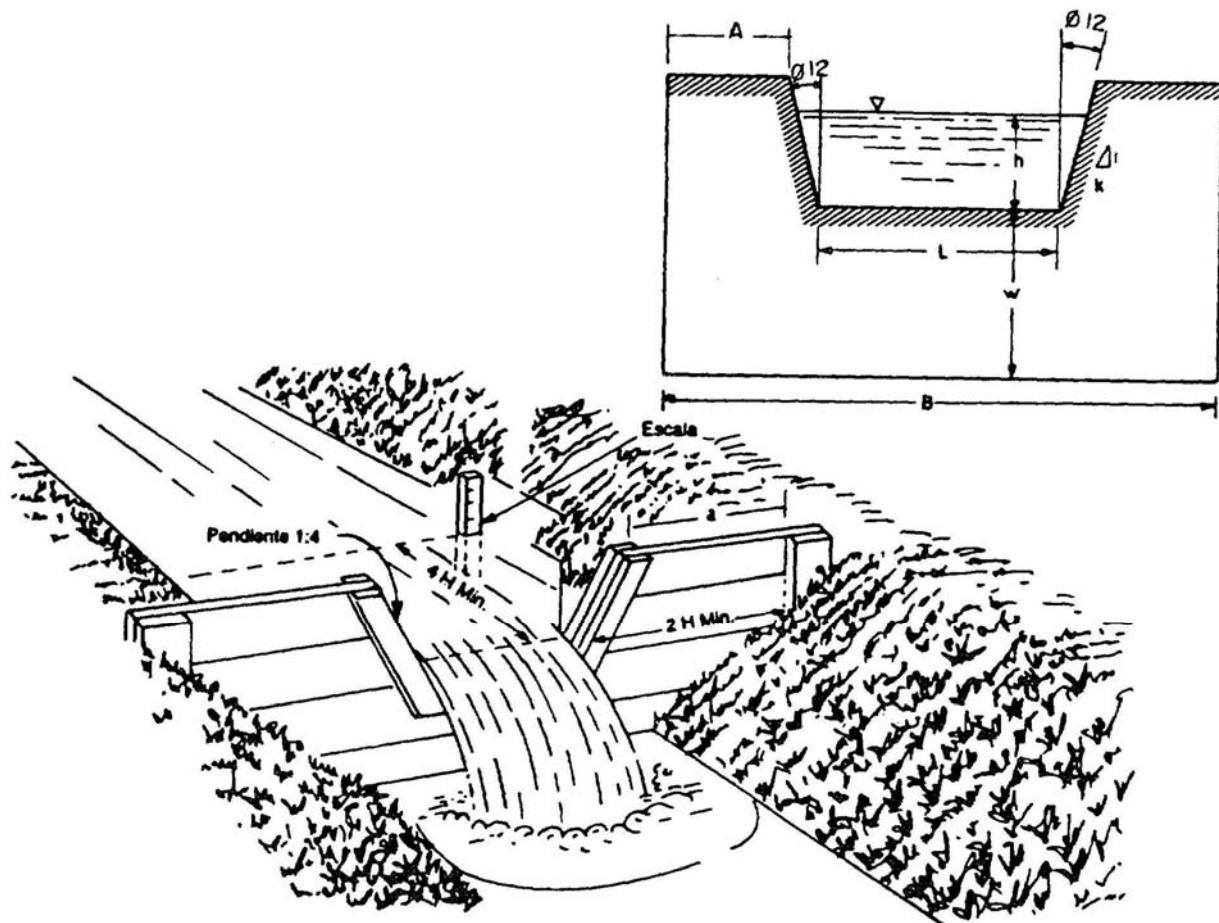
**Figura 6.4. Curva carga-gasto para vertedores rectangulares sin contraccion lateral.**



**Figura 6.5. Curva carga-gasto para vertedores rectangulares con contracción lateral.**

### 6.1.2. Vertedor Trapezoidal Cipolletti

Este vertedor fue desarrollado por Cipolletti, al tratar de compensar las contracciones laterales con una ampliación progresiva del nivel de la vena líquida; consiste en una sección transversal trapezoidal de talud 1 horizontal a 4 vertical. se considera como una combinación de los vertedores rectangular y triangular, por lo que la expresión del gasto se obtiene de la combinación de las fórmulas de estos dos tipos de vertedores, figura 6.6.



**Figura 6.6. Vertedor trapezoidal cipolletti.**

Mediante este vertedor se mide el mismo rango de gastos que con los rectangulares, para las mismas longitudes de cresta, pero con mayor dificultad de construcción; si no se requieren mediciones muy precisas no es recomendable su construcción. Las fórmulas para obtener el gasto son las siguientes:

Sin velocidad de aproximación

$$Q = 1.86 L h^{1.5}$$

Esta fórmula es valida si se cumple:

$$0.08 \text{ m} \leq h \leq 0.60$$

$$30 \text{ h} \geq B \geq 60 \text{ h}$$

$$a \geq 2h$$

$$L \geq 3h$$

$$W \geq 3h$$

Esta ecuación se ha tabulado en la tabla 6.3.

### 6.1.3. Vertedor Triangular

Los vertedores triangulares son apropiados para medir gastos pequeños. En estos se toma en cuenta solamente la carga hidráulica ( h ) y el ángulo de abertura del vertedor; por razones prácticas puede ser de  $60^\circ$  y  $90^\circ$ . Estos vertedores son fáciles de construir y pueden ser de diversos materiales como: madera, aluminio, fierro, concreto, o de una combinación de estos, figura 6.7.

La ecuación para el gasto en un vertedor triangular es.

$$Q = Ch^{5/2}$$

en donde:

$$Q = \text{Gasto (m}^3 / \text{s.)}$$

$$h = \text{Carga hidráulica sobre el vértice (m.)}$$

$$C = \text{Coeficiente de descarga según ángulo (adimensional).}$$

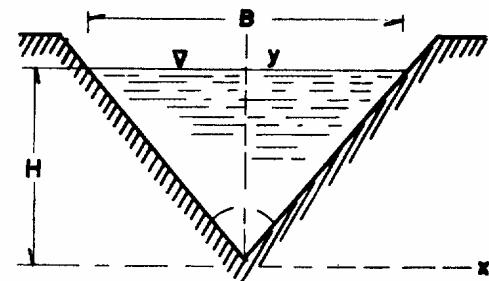
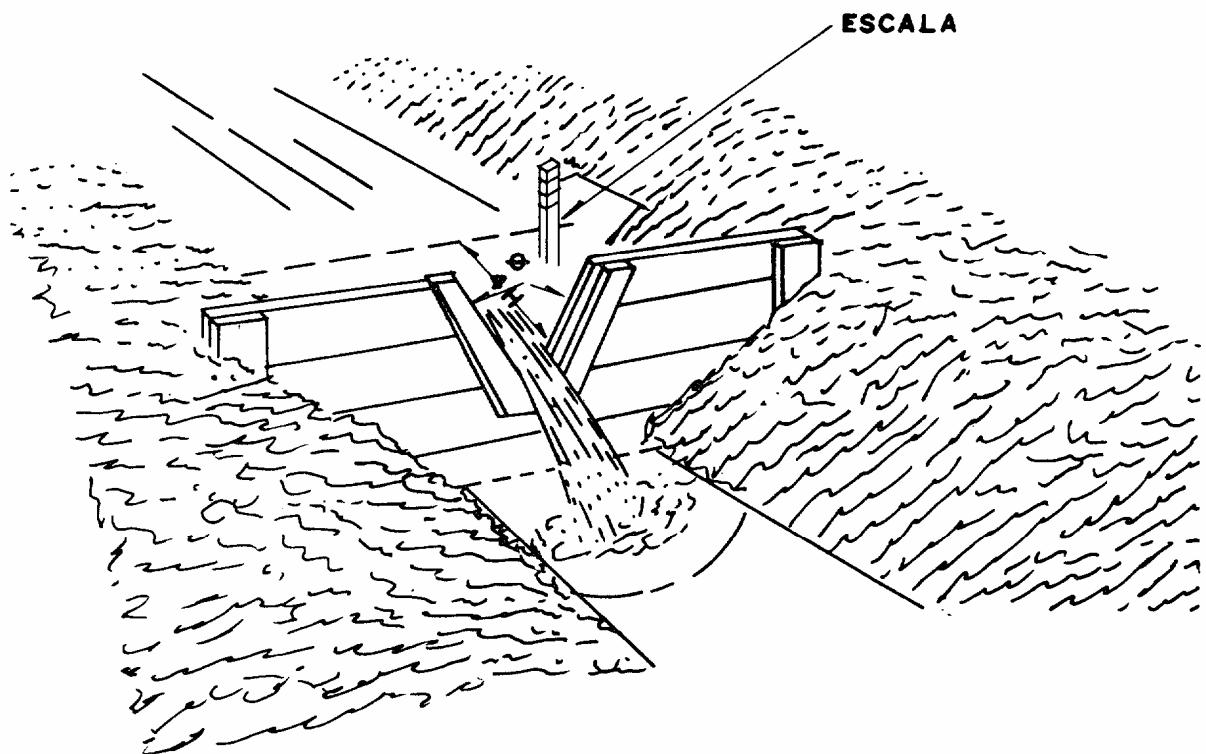
El coeficiente (C) depende, entre otros factores, del ángulo en el vértice del vertedor, según "BARR" las ecuaciones para obtener el gasto son:

$$\text{para } 60^\circ \quad Q = 0.81 h^{2.5}$$

$$\text{para } 90^\circ \quad Q = 1.40 h^{2.5}$$

**Tabla 6.3. asto para Vertedores Trapezoidales o Cipolletti sín Velocidad de llegada ( $m^3 / s$ )**

CARGA	0,30	0,40	0,50	0,60	LONGITUD CRESTA (m)	1,40	1,60	1,80
0.06	0,008	0,011	0,014	0,010	0,022	0,027	0,033	0,038
0.07	0,010	0,014	0,017	0,021	0,028	0,034	0,041	0,048
0.08	0,013	0,017	0,021	0,025	0,034	0,042	0,051	0,059
0.09	0,015	0,020	0,025	0,030	0,040	0,050	0,060	0,070
0.10	0,018	0,024	0,029	0,035	0,047	0,059	0,071	0,082
0.11	0,020	0,027	0,034	0,041	0,054	0,068	0,081	0,095
0.12	0,023	0,031	0,039	0,046	0,062	0,077	0,093	0,108
0.13	0,026	0,035	0,044	0,052	0,070	0,087	0,105	0,122
0.14	0,029	0,039	0,049	0,058	0,078	0,097	0,117	0,136
4.15	0,032	0,043	0,054	0,065	0,086	0,108	0,130	0,151
0.16	0,036	0,048	0,060	0,071	0,095	0,119	0,143	0,167
0.17	0,039	0,052	0,065	0,078	0,104	0,130	0,156	0,183
0.18	0,043	0,057	0,071	0,085	0,114	0,142	0,170	0,199
0.19	0,046	0,062	0,077	0,092	0,123	0,154	0,185	0,216
0.20	0,050	0,067	0,083	0,100	0,133	0,166	0,200	0,233
0.21	0,054	0,072	0,089	0,107	0,143	0,179	0,215	0,251
0.22	0,058	0,077	0,096	0,115	0,154	0,192	0,230	0,269
0.23	0,062	0,082	0,103	0,123	0,164	0,205	0,246	0,287
0.24	0,066	0,087	0,109	0,131	0,175	0,219	0,262	0,306
0.25	0,070	0,093	0,116	0,140	0,186	0,233	0,279	0,326
0.26	0,074	0,099	0,123	0,148	0,197	0,247	0,296	0,345
0.27	0,078	0,104	0,130	0,157	0,209	0,261	0,313	0,365
0.28	0,083	0,110	0,138	0,165	0,220	0,276	0,331	0,386
0.29	0,087	0,116	0,145	0,174	0,232	0,290	0,349	0,407
0.30	0,092	0,122	0,153	0,183	0,245	0,306	0,367	0,428
0.31	0,096	0,128	0,161	0,193	0,257	0,321	0,385	0,449
0.32	0,101	0,135	0,168	0,202	0,269	0,337	0,404	0,471
0.33	0,106	0,141	0,176	0,212	0,282	0,353	0,423	0,494
0.34	0,111	0,147	0,184	0,221	0,295	0,369	0,442	0,516
0.35	0,116	0,154	0,193	0,231	0,308	0,385	0,462	0,539
0.36	0,121	0,161	0,201	0,241	0,321	0,402	0,482	0,562
0.37	0,126	0,167	0,209	0,251	0,335	0,419	0,502	0,586
0.38	0,131	0,174	0,218	0,261	0,349	0,436	0,523	0,610
0.39	0,136	0,181	0,227	0,272	0,362	0,453	0,544	0,634
0.40	0,141	0,188	0,235	0,282	0,376	0,471	0,565	0,659
0.41	0,146	0,195	0,244	0,293	0,391	0,488	0,586	0,684
0.42	0,152	0,203	0,253	0,304	0,405	0,506	0,608	0,709
0.43	0,157	0,210	0,262	0,315	0,420	0,524	0,629	0,734
0.44	0,163	0,217	0,271	0,326	0,434	0,543	0,651	0,760
0.45	0,168	0,225	0,281	0,337	0,449	0,561	0,674	0,786
0.46	0,174	0,232	0,290	0,348	0,464	0,580	0,696	0,812
0.47	0,180	0,240	0,300	0,360	0,479	0,599	0,719	0,839
0.48	0,186	0,247	0,309	0,371	0,495	0,619	0,742	0,866
0.49	0,191	0,255	0,319	0,383	0,510	0,638	0,766	0,893
0.50	0,197	0,263	0,329	0,395	0,526	0,658	0,789	0,921
0.51	0,203	0,271	0,339	0,406	0,542	0,677	0,813	0,948
0.52	0,209	0,279	0,349	0,418	0,558	0,697	0,837	0,976
0.53	0,215	0,287	0,359	0,431	0,574	0,718	0,861	1.005
0.54	0,221	0,295	0,369	0,443	0,590	0,738	0,886	1.033
0.55	0,228	0,303	0,379	0,455	0,607	0,759	0,910	1.062
0.56	0,234	0,312	0,390	0,468	0,624	0,779	0,935	1.091
0.57	0,240	0,320	0,400	0,480	0,640	0,800	0,961	1.121
0.58	0,246	0,329	0,411	0,493	0,657	0,822	0,986	1.150
0.59	0,253	0,337	0,421	0,506	0,674	0,843	1.012	1.180
0.60	0,259	0,346	0,432	0,519	0,692	0,864	1.037	1.210



**Figura 6.7. Vertedor triangular.**

En la tabla 6.4 se han tabulado las ecuaciones anteriores, para diferentes valores de carga y para ángulos de  $60^\circ$  y  $90^\circ$ .

**Tabla 6.4. Gasto para vertedores triangulares, abertura 60° y 90°**

CARGA h (m)	ABERTURA	
	60°	90°
0.05	0,000	0,001
0.06	0,001	0,001
0.07	0,001	0,002
0.08	0,001	0,003
0.09	0,002	0,003
0.10	0,003	0,004
0.11	0,003	0,006
0.12	0,004	0,007
0.13	0,005	0,009
0.14	0,006	0,010
0.15	0,007	0,012
0.16	0,008	0,014
0.17	0,010	0,017
0.18	0,011	0,019
0.19	0,013	0,022
0.20	0,014	0,025
0.21	0,016	0,028
0.22	0,018	0,032
0.23	0,021	0,036
0.24	0,023	0,040
0.25	0,025	0,044
0.26	0,028	0,048
0.27	0,031	0,053
0.28	0,034	0,058
0.29	0,037	0,063
0.30	0,040	0,069
0.31	0,043	0,075
0.32	0,047	0,081
0.33	0,051	0,088
0.34	0,055	0,094
0.35	0,059	0,101
0.36	0,063	0,109
0.37	0,067	0,117
0.38	0,072	0,125
0.39	0,077	0,133
0.40	0,082	0,142
0.41	0,087	0,151
0.42	0,093	0,160
0.43	0,098	0,170
0.44	0,104	0,180
0.45	0,110	0,190
0.46	0,116	0,201
0.47	0,123	0,212
0.48	0,129	0,223
0.49	0,136	0,235
0.50	0,143	0,247
0.51	0,150	0,260
0.52	0,158	0,273
0.53	0,166	0,286
0.54	0,174	0,300
0.55	0,182	0,314
0.56	0,190	0,329
0.57	0,199	0,343
0.58	0,208	0,359
0.59	0,217	0,374
0.60	0,226	0,390

## **Selección de Vertedores**

Los siguientes puntos deben considerarse cuando se trata de seleccionar el vertedor adecuado para medir un caudal:

(A) La carga hidráulica mínima para vertedores triangulares es de 6 cm. y para rectangulares 2 cm., a fin de evitar que la lámina de agua quede adherida a la solera.

(B) En lo general la carga hidráulica máxima aceptable es 50 cm a fin de evitar problemas de erosión.

(C) Siempre debe darse preferencia al uso de vertedores rectangulares para caudales estimados superiores a 300 l/s, por poseer coeficientes de caudal mejor definidos, ofreciendo en consecuencia, mayor precisión en el cálculo de los caudales.

(D) Para caudales estimados inferiores a 30 l/s. Los vertedores triangulares con ángulos de corte de 90° son los que ofrecen mayor precisión.

(E) Para caudales que se estima estén entre 30 l/s y 300 l/s, los vertedores triangulares ofrecen la misma precisión que los vertedores rectangulares.

(F) Por motivos de orden práctico, los vertedores rectangulares se usan para caudales que se estima no serán superiores a 1,000 l/s

(G) La variación de la carga hidráulica debe estar entre 0.061 m y 0.61 m, para el caudal medio.

(H) Para vertedores rectangulares o Trapezoidales, la carga hidráulica no debe ser mayor de 1 /3 de la longitud de la cresta.

## **Instalación del Vertedor**

Un sistema completo de medición esta conformado por: Canal de aproximación, estructura de medición, indicadores del nivel de agua (medición de la carga ), y Canal aguas abajo. Las condiciones técnicas de cada uno de estos elementos influyen directamente en la precisión de las mediciones.

### **Canal de Aproximación**

Debe cumplir con lo siguiente:

- Sección transversal lo mas regular posible.
- Longitud de tramo recto, suficiente para asegurar un flujo lo mas laminar posible, por lo menos 10 veces la longitud de su cresta.
- Márgenes estables y fondo regular sin salientes ni entradas que puedan perturbar el flujo.

- Lecho impermeable y suelo adecuado en el lugar de la instalación, a fin de permitir la fijación segura de la estructura de medición, con un mínimo de obras de cimentación y apuntalamiento.
- Canal artificial construido de tal forma que el represamiento que provoca la instalación de la estructura de medición, no ocasione el desbordamiento o elevación excesiva del nivel aguas arriba.
- La sección transversal debe ser uniforme y el tramo escogido debe ser rectilíneo, en una extensión mínima de 10 veces el ancho del canal, en caso de que el ancho del vertedor fuera igual a la mitad del ancho del canal de aproximación; a fin de conseguir que la distribución de velocidad del flujo sea lo mas regular posible, en el caso que la entrada del líquido al canal de aproximación sea a través de una curva acentuada o a través de un tubo de sección transversal menor a la del canal, es necesario que la longitud del tramo rectilíneo sea mayor que la adoptada en el punto anterior.
- Las condiciones deseables de uniformidad de la velocidad se consiguen a través de placas deflectoras verticales de madera; sin embargo, dichas placas deben estar como mínimo, a una distancia aguas arriba del vertedor, igual a 10 veces la carga máxima a ser medida.

### **Estructura de Medición**

Debe cumplir con lo siguiente:

- Las estructuras que conforman el vertedor deben ser rígidas, estar libres de fugas y ser capaces de soportar las sobrecargas debidas a crecidas de la corriente, sin fisurarse ni deformarse.
- La estructura en la cual se fija la lámina vertedora, debe estar exenta de salientes en el lado de aguas arriba y aguas abajo, sin presentar interferencias que perjudiquen la aereación de la vena líquida.
- Los vertedores deben colocarse perpendicularmente a la dirección del flujo en el canal.
- La cresta y los laterales del vertedor, deben ser rectos y afilados, la cresta en los vertedores rectangulares y Trapezoidales deben quedar a nivel en sus extremos.

### **Canal Aguas Abajo del Vertedor**

- Aguas abajo del canal no debe haber obstáculos que provoque ahogamientos o inmersión de la descarga del vertedor.
- Debe evitarse la confluencia de cursos de agua, compuertas u otros dispositivos de control.

## **Medición de la Carga hidráulica**

Instrumentos de Medición.

Cuando no se exijan registros continuos la carga hidráulica puede medirse con limnímetro, cuando se requiera registro continuo se usarán limnígrafos o medidores de nivel ultrasónico con registrador.

Con el propósito de reducir los efectos de las fluctuaciones del nivel del agua, el instrumento medidor de carga hidráulica debe instalarse, de preferencia, en un pozo indicador de nivel.

En el caso de instalar un limnígrafo, el pozo debe poseer dimensiones tales que permitan la perfecta instalación del flotador y su limpieza.

El tubo de conexión entre el pozo y la corriente de agua debe ser dimensionado de tal forma que las variaciones del nivel de agua de la corriente sean inmediatamente observadas en el pozo indicador de nivel.

## **MANTENIMIENTO**

Es importante dar un mantenimiento constante al canal aguas arriba de la estructura, al canal de aproximación, y al canal de aguas abajo, a fin de conseguir una precisión satisfactoria en las mediciones.

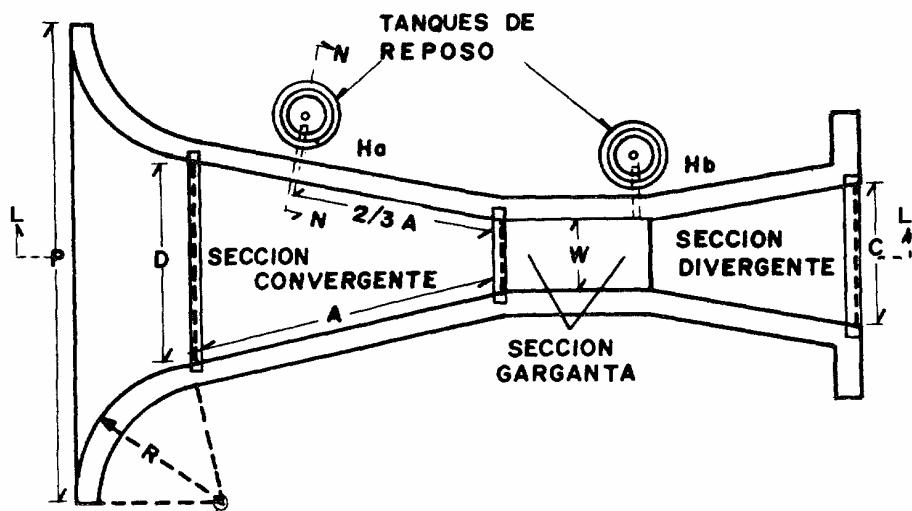
No se debe permitir la acumulación de: lodo, vegetación, algas, etc, en los canales de aproximación y de aguas abajo, así como que se desarrolle flora microbiana en la cresta del vertedor.

## **6.2. CANALES PARSHALI**

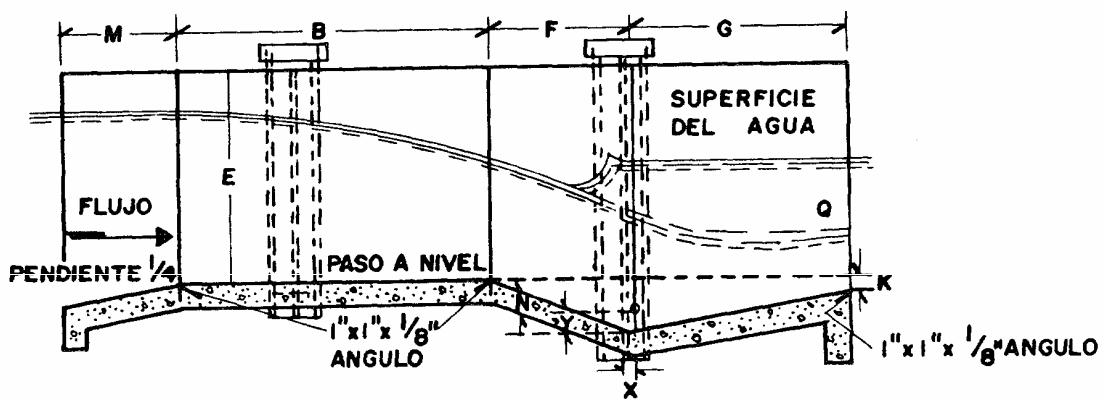
Esta estructura aforadora, consiste esencialmente de una contracción lateral en un canal a superficie libre, la contracción se forma por una elevación de la plantilla y el estrechamiento de la sección transversal.

El medidor Parshall esta constituido por tres partes fundamentales: Entrada, garganta y salida. La estructura tiene dos tanques de reposo que sirven para medir la carga ( $H_a$ ), a la entrada del medidor antes de la garganta y la carga ( $H_b$ ), cerca del extremo inferior de la garganta, estando colocados a los lados de la estructura y comunicados a ella por tubería, en estas cámaras se alojan los flotadores de los limnígrafos, medidores de nivel electrónicos o simplemente escalas graduadas.

A continuación se presenta un croquis con la planta y elevación de un medidor Parshall, figura 6.8, en el que se indican con literales, las medidas necesarias para construir este tipo de medidor.



P L A N T A



S E C C I O N "L-L"

Figura 6.8. Corte y planta de un medidor parshall.

**De la figura 6.8 tenemos:**

W = Tamaño del canal

A = Longitud de las paredes laterales de la sección convergente

B = Longitud axial de la sección convergente

C = Ancho del extremo aguas abajo del canal

D = Ancho del extremo aguas arriba del canal

E = Profundidad del canal

F = Longitud de la garganta

G = Longitud de la sección divergente

K = Diferencia en elevación entre el extremo inferior del canal y la cresta

M = Longitud del piso de la entrada

N = Profundidad de la depresión en la garganta de bajo de la cresta

P = Ancho entre los extremos de las paredes curvas de entrada

R = Radio de las paredes curvas de la entrada

X = Distancia horizontal desde el punto bajo en la garganta al punto de medida H<sub>b</sub>.

Y = Distancia vertical desde el punto bajo en la garganta al punto de medida H<sub>b</sub>

Como complemento de la figura anterior se tabulan las dimensiones y capacidad de canales Parshall, para distintos anchos de garganta W, en función de las literales indicadas en la figura 6.8, tabla 6.5.

**Tabla 6.5. Dimensiones y capacidad de canales parshall, para distintos anchos de garganta, W.**

W	A	2/3 A	B	C	D	E	F	G	K	N	R	M	P	X	Y	Capacidad de flujo libre	
																MIN. m <sup>3</sup> /seg.	MAX. m <sup>3</sup> /seg.
0.08	0.47	0.31	0.46	0.18	0.26	0.61	0.15	0.30	0.02	0.06	0.41	0.30	0.77	0.02	0.04	0.0008	0.054
0.15	0.620	0.41	0.61	0.39	0.40	0.61	0.30	0.61	0.08	0.11	0.41	0.30	0.90	0.05	0.08	0.001	0.110
0.23	0.88	0.59	0.86	0.38	0.57	0.76	0.30	0.46	0.08	0.11	0.41	0.30	1.08	0.05	0.08	0.002	0.252
0.30	1.37	0.91	1.34	0.61	0.84	0.91	0.61	0.91	0.08	0.23	0.51	0.38	1.49	0.05	0.08	0.003	0.456
0.46	1.45	0.96	1.34	0.76	1.02	0.91	0.61	0.91	0.08	0.23	0.51	0.38	1.68	0.05	0.08	0.004	0.697
0.61	1.52	1.02	1.50	0.91	1.21	0.91	0.61	0.91	0.08	0.23	0.51	0.38	1.85	0.05	0.08	0.012	0.937
0.91	1.68	1.12	1.65	1.22	1.57	0.91	0.61	0.91	0.08	0.23	0.51	0.38	2.22	0.05	0.08	0.017	1.427
1.22	1.83	1.22	1.79	1.52	1.94	0.91	0.61	0.91	0.08	0.23	0.61	0.46	2.71	0.05	0.08	0.037	1.923
1.52	1.98	1.32	1.94	1.83	2.30	0.91	0.61	0.91	0.08	0.23	0.61	0.46	3.08	0.05	0.08	0.045	2.424
1.83	2.13	1.42	2.09	2.13	2.66	0.91	0.81	0.91	0.08	0.23	0.61	0.46	3.44	0.05	0.08	0.074	2.931
2.13	2.29	1.52	2.24	2.44	3.03	0.91	0.61	0.91	0.08	0.23	0.61	0.46	3.81	0.05	0.08	0.085	3.438
2.44	2.44	1.62	2.39	2.74	3.40	0.91	0.81	0.91	0.08	0.23	0.61	0.46	4.17	0.05	0.08	0.099	3.951

Conviene aclarar que las cargas ( $H_a$  y  $H_b$ ) se miden a partir de la cresta, por lo tanto el cero de las escalas esta al nivel de piso de la entrada, pudiéndose colocar o dibujar directamente sobre las paredes de la estructura cuando es pequeña (15 cm) y se desean suprimir las cámaras de reposo, se debe tener cuidado al medir los valores de las cargas ( $H_a$  y  $H_b$ ), ya que la relación existente entre ellas indica como trabaja en ese momento el aforador, esta relación se conoce como grado de sumersión y esta dado por:

$$S = H_b / H_a$$

El valor del grado de sumersión para descarga, libre y sumergida, varia en función del ancho de garganta ( $w$ ), Ver tabla 6.6.

**Tabla 6.6. Valor de grado de sumersión**

ANCHO DE GARGANTA	DESCARGA LIBRE	CON SUMERSION
-------------------	----------------	---------------

$W < 0.30 \text{ m.}$	$S < 0.60$	$0.60 < S < 0.95$
$0.30 < W < 2.5 \text{ m.}$	$S < 0.70$	$0.70 < S < 0.95$
$2.50 < W < 15.0 \text{ m.}$	$S < 0.80$	$0.80 < S < 0.95$

Parshall indicó que cuando el grado de sumersión es mayor de 0.95, la determinación del gasto es incierta, por lo que debe adoptarse 0.95 como el valor máximo.

Dependiendo del grado de sumersión de la descarga el Parshall trabaja a descarga libre o sumergida.

Se dice que trabaja a descarga sumergida, cuando el nivel aguas arriba de la descarga, es afectado por el nivel de la descarga aguas abajo y que trabaja a descarga libre, cuando sucede lo contrario.

A continuación se dan algunos parámetros para conocer si un Parshall esta trabajando a descarga sumergida, para ello se calcula la relación existente entre  $H_b/H_a$ .

Sí la relación  $H_a / H_b$  excede los siguientes límites el Parshall. trabaja sumergido.

- 0.6 Para canaletas Parshall de 3,6, y 9 pulgadas.
- 0.7 Para canaletas de 1 a 8 pies
- 0.8 Para canaletas de 10 a 50 pies.

Cuando el vertedor trabaja a descarga libre, el gasto es función solo de la carga ( $H_a$ ).

Si el medidor trabaja a descarga sumergida, el gasto es función de la carga ( $H_a$ ) y del grado de sumersión ( $S$ ).

Para descarga libre, el gasto esta dado por:

$$Q = mHa^S$$

Las constantes ( $m$ ) y ( $S$ ) también varían en función del ancho de garganta, las fórmulas para evaluar el gasto en función de estas se dan en la tabla 6.7.

**Tabla 6.7. Constantes  $m$  y  $S$**

ANCHO DE LA GARGANTA	FORMULA
$W < 0.15 \text{ m}$	$1.58$ $Q = 0.3812 Ha$
$0.30 < W < 2.5 \text{ m}$	$Q = 0.3716W(3.281Ha)^{1.522W^{0.026}}$
$2.50 < W < 15.0 \text{ m}$	$1.6$ $Q = (2.292 W + 0.474) Ha$

Para descarga sumergida las fórmulas anteriores generan un gasto mayor que el real. en consecuencia, cuando un medidor trabaja bajo esta condición es necesario aplicar una corrección sustractiva ( $c$ ) al gasto, que aumenta a medida que lo hace el grado de sumersión:

En condiciones de descarga sumergida, las fórmulas para obtener el gasto son difíciles de evaluar.

Existen gráficas que dan el caudal para diferentes longitudes de garganta ( consultar medición del agua de riego. Servicio de conservación de suelos, Departamento de Agricultura de Estados Unidos ).

A continuación se mencionan algunas ventajas y desventajas.

### Ventajas

- Puede manejar agua que contenga sólidos finos en suspensión
- La pérdida de carga que ocasiona es baja.
- Su diseño es simple y su construcción económica.
- Su precisión es buena, ya que si trabaja ahogado su error es del 5 % y si trabaja con descarga libre el error es menor al 3 %
- La velocidad de llegada no influye en el cálculo del gasto.

### Desventaja

- Para estructuras no estandarizadas la relación carga-gasto no puede establecerse de antemano y es necesario recurrir a calibraciones de laboratorio.

### **6.3. MÉTODO DE ARCA - VELOCIDAD.**

Consiste en determinar el área de una sección transversal de la corriente y la velocidad del agua a través de esta; la primera por medio de sondeos y la velocidad por el método que se describe a continuación.

#### **Velocidad Media del Agua en una Corriente**

En este inciso se proporcionan los antecedentes, respecto al origen de los coeficientes empleados en los aforos con molinete.

La velocidad del agua en los canales abiertos depende: de las características de la sección transversal, las líneas de igual velocidad son aproximadamente paralelas al fondo y a los costados del canal. en la superficie se presenta una disminución ligera de la velocidad.

Con base en mediciones experimentales sobre la distribución de velocidades, que se presentan en una vertical de la corriente, se concluyeron las siguientes reglas prácticas (BRATER Y KING, 1976).

- La velocidad máxima se presenta entre el 5% y el 25% de la profundidad del agua en el canal. en corrientes poco profundas, con lecho rugoso la velocidad máxima se presenta muy cerca de la superficie del agua.
- La velocidad media en una vertical de un canal se presenta a 0.6 de la profundidad.
- La velocidad media en una vertical, es la media aritmética de las velocidades a 0.2 y 0.8 de la profundidad respectivamente.
- La velocidad media en una vertical es del 85% al 95% de la velocidad de la superficie.

La curva de variación vertical de la velocidad se aproxima a una parábola de eje vertical, es decir aumenta de la superficie del agua hacia abajo, hasta llegar al punto de velocidad máxima y a partir de este comienza a disminuir.

La determinación de la velocidad media del agua en una corriente puede hacerse por métodos directos o indirectos; los primeros se realizan empleando el molinete o el flotador; los segundos mediante el uso de fórmulas.

#### **Arca de la Sección Transversal de una Corriente**

Para determinar el gasto en una sección se requiere conocer el área hidráulica de la sección transversal de la corriente. el método a emplear dependerá de las condiciones del cauce; en el caso de canales revestidos de mampostería o de concreto, las secciones están bien definidas y será fácil el cálculo del área hidráulica, en caso contrario se tendrá que determinar por medio de sondeo.

El área hidráulica de la sección transversal de una corriente esta limitada en la parte superior por la superficie del agua, que es prácticamente horizontal, por las paredes del cauce que forman los lados y por el fondo. en canales naturales, la sección es una línea caprichosa con cierta tendencia a la forma de "U".

El área puede determinarse usando sondas, ya sean rígidas o flexibles. La separación de los sondeos dependerá del ancho de la corriente, según la siguiente relación.

ANCHO DE CORRIENTE	ESPACIAMIENTO . (m)
Hasta 1.2	0.2 – 0.3
1.5 – 5	0.3 – 0.5
5 – 10	0.5 – 1.0
10 - 50	1.0 – 5.0
50 – 100	5.0 – 10-0
Mas de 100	10.0 – 20.0

### **SONDA RÍGIDA**

Las sondas rígidas consisten en una varilla metálica o de madera graduada, del tamaño suficiente como para tocar el fondo del cauce, pudiendo medir con ella la profundidad en las secciones transversales; este tipo de sonda se emplea cuando la corriente lleva gastos pequeños, y la profundidad del agua no es excesiva.

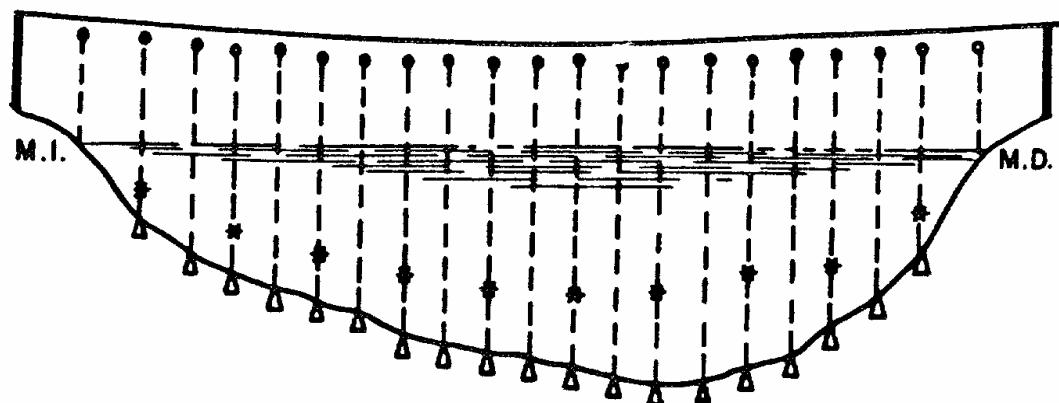
### **SONDA FLEXIBLE**

La sonda flexible esta compuesta de un escandallo, que es un cuerpo pesado, generalmente de plomo para no ser arrastrado por la corriente y de forma aerodinámica para no oponer resistencia, sujeto al extremo de una cuerda, cable o cadena (sondaleza)

El sondeo con sonda flexible consiste en dejar que el escandallo llegue al fondo del cauce, si el técnico aforador esta cerca del a superficie del agua, simplemente marcará la sondaleza tomándola con los dedos; de otra manera, deberá tomar la cuerda referida a un punto fijo una vez que el escandallo este en el fondo e ira midiendo la longitud de cuerda que vaya sacando hasta que el escandallo este sobre la superficie del agua.

Para facilitar el sondeo en las secciones de aforo seleccionadas se puede instalar: un puente, un cable con canastilla; con el fin de dividir el ancho de la corriente en franjas, generalmente de igual anchura, que queden marcadas y sean la base para dividir la sección transversal de la corriente en áreas pequeñas, en las cuales se

mide la velocidad media. también se puede realizar el sondeo sobre una lancha o pasarela, figura 6.9 y figura 6.10 respectivamente.



**Figura 6.9. División en franjas de la selección transversal de una corriente.**

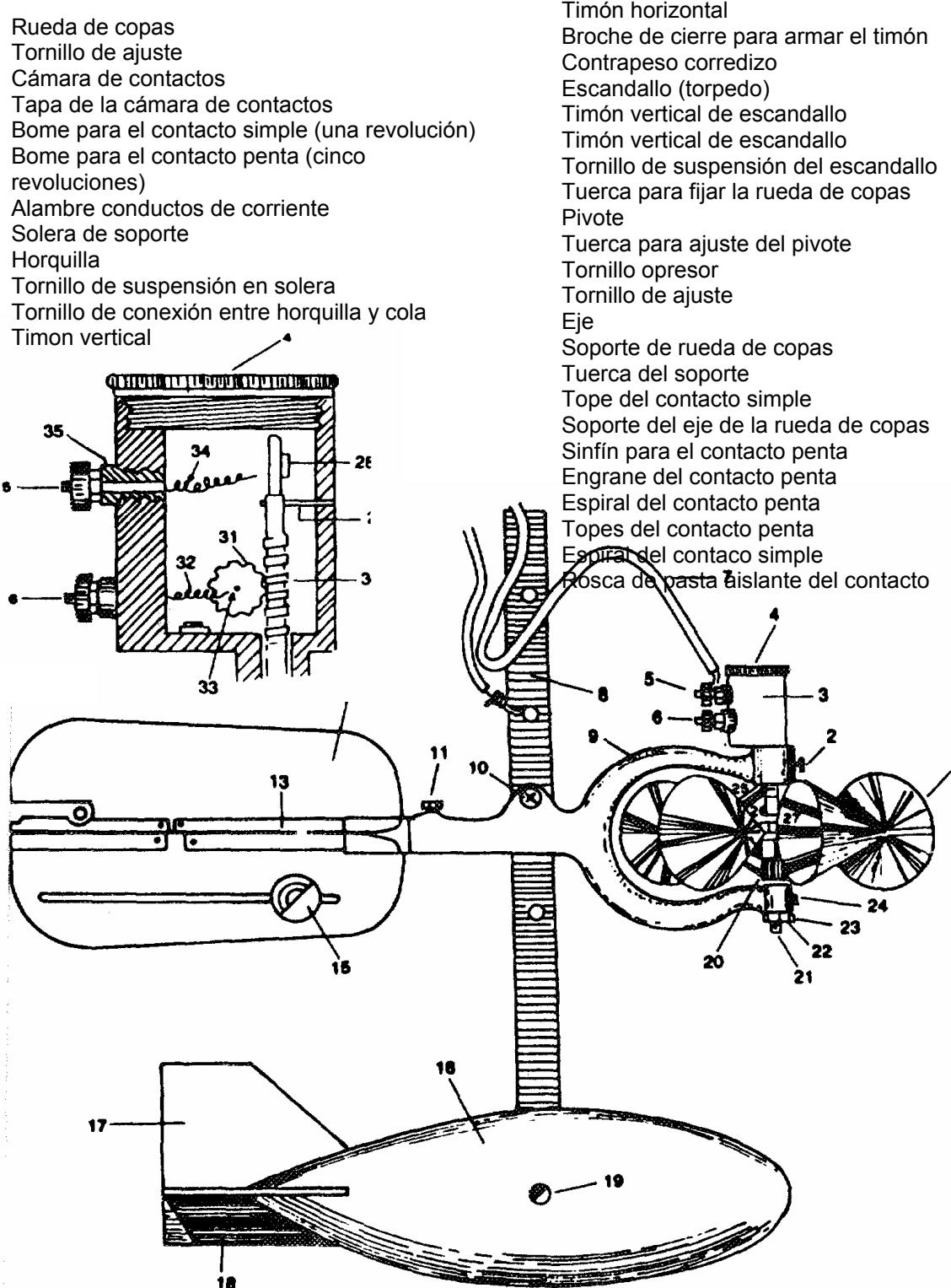


**Figura 6.10. Aforo en pasarela.**

#### **Aforo con Molinete**

Este método muy usado en los distritos y las unidades de riego, es aplicable a todo tipo de corrientes.

El molinete es un dispositivo electromecánico, consistente esencialmente de dos partes que son: una hélice de aspas o copas, que el agua en movimiento hace girar y un mecanismo que permite contar el número de vueltas que da la hélice a intervalos de tiempo definido, figura 6.11.



**Figura 6.11. Molinete de copas.**

La relación velocidad -número de revoluciones para cada molinete, se determina en laboratorio, midiendo el tiempo en segundos que tarda la hélice en dar cierto número de vueltas para diferentes velocidades. con estos valores se obtiene una tabla, específica para cada molinete, tabla 6.8.

**Tabla 6.8. Velocidad (m/s) para Molinetes Gurley Tipo Price**

R T	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	150
40	0.353	0.438	0.523	0.609	0.694	0.779	0.865	1.036	1.206	1.377	1.548	1.718	2.527
41	0.344	0.428	0.511	0.594	0.677	0.761	0.844	1.011	1.177	1.344	1.510	1.677	2.509
42	0.336	0.418	0.499	0.580	0.662	0.743	0.824	0.987	1.149	1.312	1.474	1.637	2.450
43	0.329	0.408	0.488	0.567	0.646	0.726	0.805	0.964	1.123	1.282	1.440	1.599	2.393
44	0.322	0.399	0.477	0.554	0.632	0.710	0.787	0.942	1.093	1.253	1.403	1.563	2.339
45	0.315	0.391	0.467	0.542	0.618	0.694	0.770	0.922	1.073	1.225	1.377	1.529	2.287
46	0.308	0.382	0.457	0.531	0.605	0.679	0.753	0.902	1.050	1.199	1.347	1.496	2.238
47	0.302	0.375	0.447	0.520	0.592	0.665	0.738	0.883	1.028	1.173	1.319	1.464	2.190
48	0.296	0.367	0.438	0.509	0.580	0.651	0.723	0.865	1.007	1.149	1.292	1.434	2.145
49	0.290	0.360	0.429	0.499	0.569	0.638	0.708	0.847	0.987	1.126	1.265	1.405	2.101

En esta tabla la T corresponde al tiempo de observación en segundos, y R corresponde al número de revoluciones de la hélice (golpes producidos por el molinete y transmitidos al auricular ) para encontrar la velocidad (m/s) basta relacionar en la tabla el tiempo de observación con el número de revoluciones.

Para obtener el gasto que pasa por la sección transversal mediante el molinete, se procede de la siguiente manera.

Se divide la sección transversal en franjas verticales, figura 6.9. Para cada franja se calcula el área ( $a_i$ ) y con el molinete y su tabla de velocidades, se calcula la velocidad media de esa franja ( $v_i$ ), lo anterior se repite para cada una de las franjas en que se haya dividido la sección transversal. para obtener el gasto parcial ( $q_i$ ) en cada franja, se multiplica el área y la velocidad correspondiente a esa franja.

Para obtener el gasto total en la sección transversal se suman todos los gastos parciales obtenidos, esto se puede plantear matemáticamente con la siguiente expresión:

Donde:

$$Q = \sum_{i=1}^n a_i V_i \sum_{i=1}^n q_i$$

$$Q = \text{Gasto total (m}^3/\text{s.)}$$

$a_i$ = Área de la franja ( $\text{m}^2$  )

$v_i$ = Velocidad media en la franja i (m/s.)

$q_i$ = Gasto en la franja i (  $\text{m}^3/\text{s.}$ )

i= 1,2,3,..n franjas.

## Recomendaciones Para Realizar el Aforo con Molinete

- El aforo con molinete se recomienda para corrientes que tengan velocidades entre 0.1 m/s y 2.5 m/s, lo anterior en virtud que para velocidades menores a 0.1 m/s disminuye la precisión del molinete, y para velocidades mayores a 2.5 m/s el molinete puede ser dañado por objetos que arrastre la corriente.
- El método mas sencillo para determinar la velocidad media en cada franja, consiste en colocar el molinete a un 60% de la profundidad medida a partir de la superficie del agua, ya que a esta profundidad la velocidad del agua es muy semejante a la velocidad media.
- Otra forma mas precisa para determinar la velocidad media, consiste en tomar lecturas a 20% y 80% del tirante a partir de la superficie libre del agua y promediar las velocidades dichas profundidades, figura 6.12.

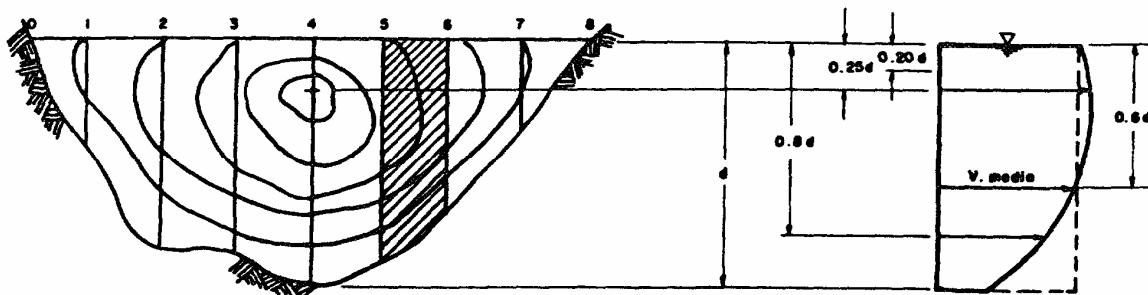


Figura 6.12. Curva de velocidades.

Cuando la velocidad del agua sea mayor a 2.5 m/s es preferible no hacer mediciones profundas por la razón dada anteriormente, sin embargo en este caso se pueden tomar lecturas a 0.5 m de profundidad y multiplicar el valor resultante por un factor de 0.9 , este producto corresponde aproximadamente a la velocidad media.

## 7. ELEMENTOS SECUNDARIOS PARA DISPOSITIVOS PRIMARIOS DE MEDICIÓN EN CONDUCTOS A GRAVEDAD.

Como ya se vio, la medición de los caudales que pasan a través de los dispositivos ya descritos, se logra evaluando la lámina que escurre a través de su cresta o garganta, para lograr esto se usan básicamente dispositivos medidores de nivel, estos pueden ser sumamente sencillos como lo es la regla Limnimétrica o sofisticados como los medidores de nivel ultrasónicos, en este tema se describirán los siguientes:

- Regla Limnimétrica
- Limnígrafo
- Medidor de flujo de eco ultrasónico para canal abierto

### 7.1. REGLA LIMNIMÉTRICA.

Este elemento consiste en una regla graduada, que se emplea generalmente para medir el nivel de agua en ríos, represas, tanques usándose además para medir las cargas hidráulicas sobre vertedores o canales Parshall y proporcionan solo lectura instantánea.

La regla debe ser de material resistente a la corrosión, y de un color de contraste con los números grabados en su cuerpo; debe fijarse firmemente después de verificar su precisión. Este es el sistema mas simple para medir el nivel del agua, figura 7.1.

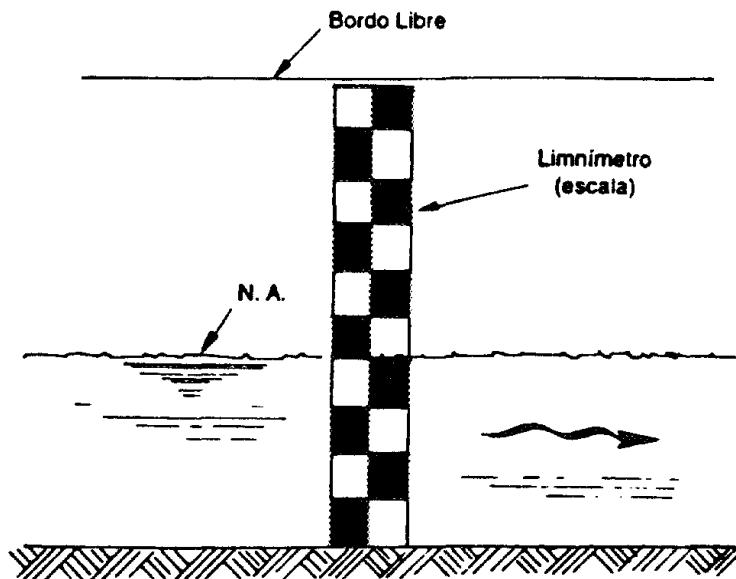
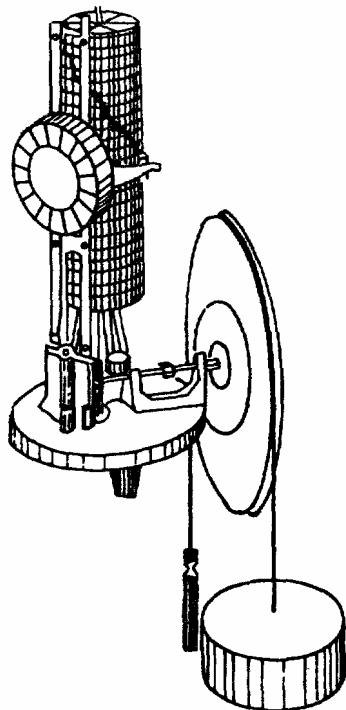


Figura 7.1. Regla limnimetrica

## 7.2. LIMNÍGRAFO.

El registro permanente de la carga hidráulica, sobre un dispositivo de medición de caudales en conductos a gravedad, puede hacerse automáticamente, por medio de aparatos especiales llamados Limnígrafo, y en forma continua por medio de una gráfica, figura 7.2.



**Figura 7.2. Limnigrafo.**

La instalación de un aparato registrador es recomendable siempre que concurra alguna de las condiciones siguientes:

- Que para el estudio del régimen de la corriente se necesite un registro continuo.
- Que las variaciones del régimen de la corriente sean muy numerosas, rápidas o importantes.
- Que no sea posible técnica y económicamente disponer de un lecturista de escala que tome lecturas permanentemente.

Se fabrican diversos tipos de aparatos registradores, pero básicamente todos se integran con las siguientes partes:

Una caseta generalmente fabricada de fibra de vidrio que aloja y protege el mecanismo de transmisión y registro de niveles.

Un flotador, que sube o baja, siguiendo las fluctuaciones del nivel del agua; un dispositivo de transmisión de los movimientos del flotador a un sistema de registro, un sistema registrador propiamente dicho y un mecanismo de reloj que sirve para regular la marcha del aparato y medir el tiempo.

Este equipo proporciona información sobre los niveles y la hora de ocurrencia.

### **Instalación**

Su instalación es muy sencilla y económica, pues se realiza directamente sobre un tubo que se aloja en el lecho de la corriente, o en el tanque de reposo de la estructura de medición de caudales.

### **Ventajas**

- Es un equipo muy compacto
- Se puede colocar en cualquier sitio
- Operación sencilla, económica y automática
- Permite un registro continuo de niveles

### **Recomendaciones de Uso**

Este equipo se recomienda para:

- Registrar cargas hidráulicas sobre vertedores canales Parshall, etc.
- Registrar niveles en ríos, canales, presas, manantiales, tanques de almacenamiento, etc.

## **7.3. MEDIDOR DE NIVEL Y CAUDAL DE ECO ULTRASÓNICO PARA CANAL ABIERTO.**

### **Medidor de Nivel**

Son equipos sofisticados que usan el principio del sonar, para detectar el nivel del agua, ya sea en almacenamientos de agua como son: presas y tanques, o en corrientes de agua como: ríos y canales, es por ello que son usados en la medición de las cargas hidráulicas, sobre los diferentes dispositivos de medición de caudales en conductos a gravedad, figura 7.3.

#### DIAGRAMA DEL SISTEMA

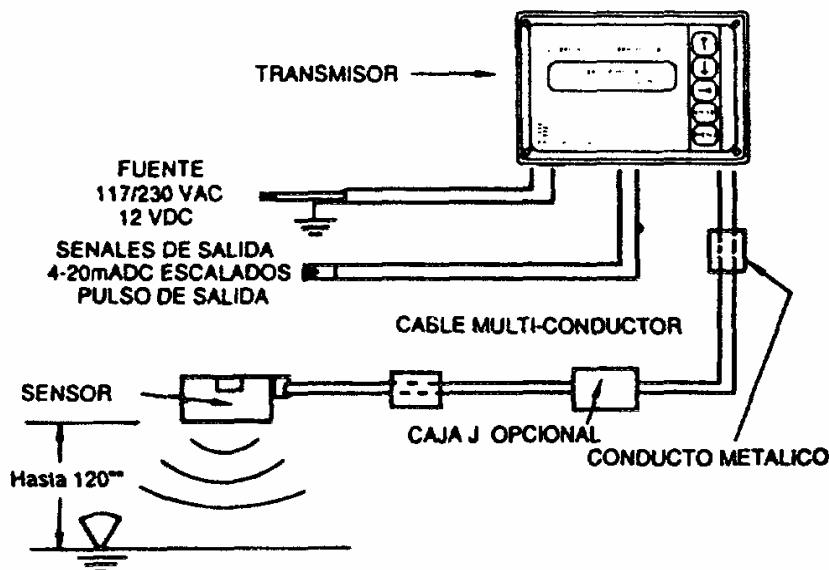


Figura 7.3. Medidor de nivel ultrasonico (diagrama del sistema).

#### Medidor de Caudal Ultrasónico

Existe además un equipo denominado medidor de caudal de eco ultrasónico, equipo que combina tanto la medición instantánea del nivel mediante un sensor de profundidad como la medición de la velocidad del agua a través de sensores de velocidad.

Estos medidores se integran en la siguiente forma: dos sensores de velocidad para ser instalados en las paredes del conducto, un sensor de profundidad, para ser instalado sobre el conducto, en una lumbre o puerto de acceso, dos cajas de conexiones, una unidad electrónica remota, un receptor, un totalizador y un receptor gráfico.

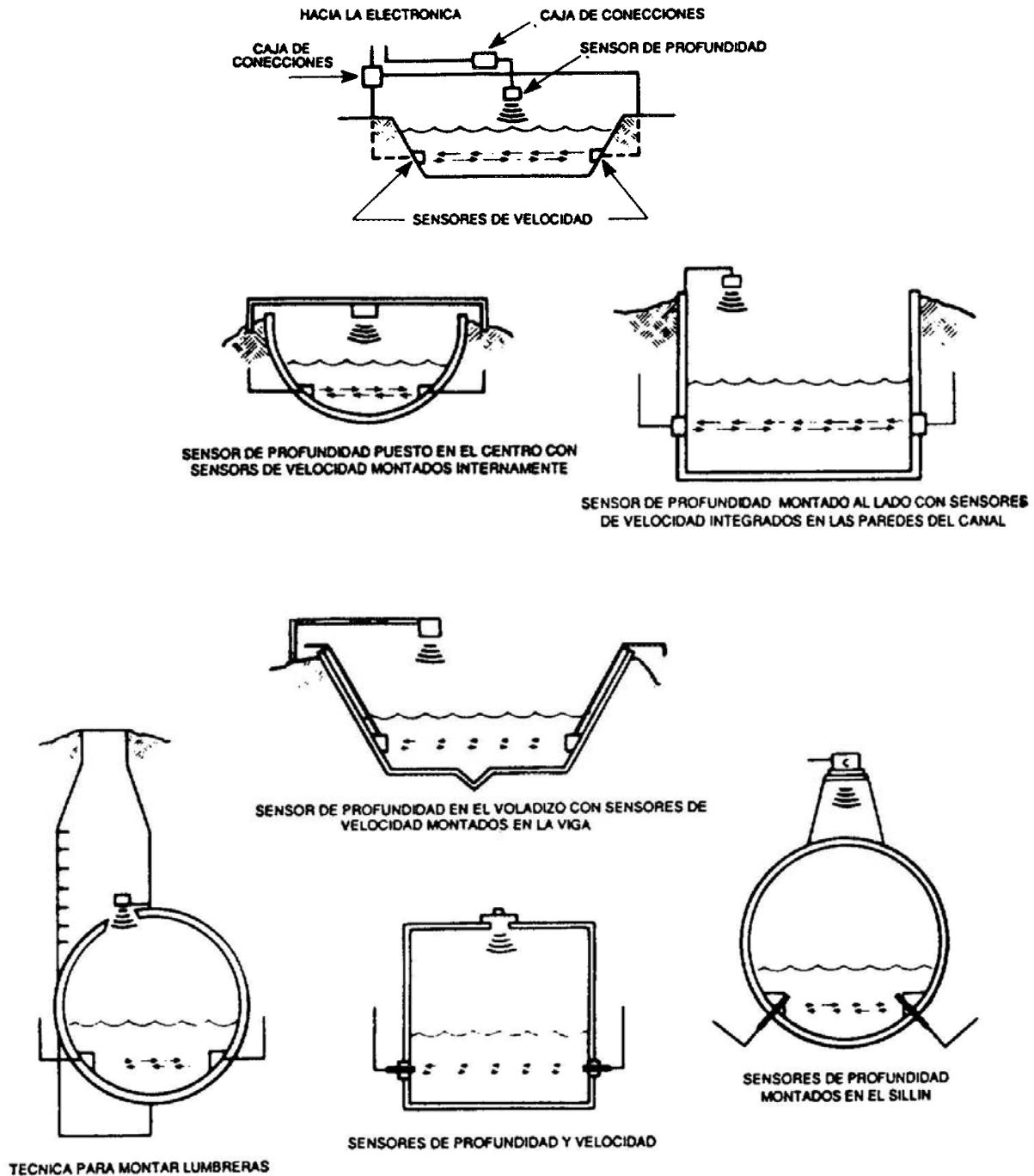
#### Instalación

Los sensores de velocidad y profundidad pueden ser instalados en varias configuraciones, dependiendo de la geometría del conducto. La unidad electrónica remotamente montada, incorporada al equipo produce una señal de 4 a 20 m. Amp. para uso de un receptor graficador totalizador.

Al instalarse en tuberías se recomienda considerar de 10 a 12 diámetros de tubería recta aguas arriba y de 1 a 2 diámetros aguas abajo.

#### Recomendaciones de Uso

Estos equipos pueden ser usados en canales de todas las geometrías, en lumbres, vertedores, Parshall, o tuberías semi-lenas, figura 7.4.



**Figura 7.4. Aplicación del medido ultrasonico.**

### Ventajas

- Fácil instalación
- No es afectado por lodos o desechos

- Ofrecen la información en forma digital o gráfica
- Se adaptan a cualquier canal o conducto geométricamente definido.
- Miden nivel o velocidad independientemente e instantáneamente.
- No ocasiona pérdidas de carga

### **Desventajas**

- Equipos muy sofisticados.
- Mantenimiento constante y especializado.

## **8. MANTENIMIENTO DE MACROMEDIDORES.**

La implantación de un sistema de macromedición, no termina con la selección, instalación y puesta en operación de los equipos, requiere además de la implementación de programas de mantenimiento.

La ejecución de un programa de mantenimiento de macromedidores lleva como objetivo lo siguiente:

- Permitir que el organismo operador disponga de un sistema confiable de macromedición.
- Mantener los medidores dentro de los rangos de exactitud especificados.

La elaboración del programa de mantenimiento, debe iniciarse con el levantamiento del catastro de macromedidores, que es la herramienta básica para su diseño, ya que contendrá las características reales del equipo y del sitio de instalación, permitiendo además la localización precisa del medidor dentro del sistema, el catastro deberá contener como mínimo la siguiente información:

- Características técnicas del medidor: marca, tipo, diámetro, capacidad, etc.
- Características físicas del sitio de instalación: diámetro, presiones, caudales, calidad del agua, etc.
- Croquis de localización y detalles de instalación.

El mantenimiento de macromedidores se puede dividir en 2 tipos: el Correctivo y el Preventivo.

### **8.1. MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

El objetivo de este tipo de mantenimiento consiste, en reparar cualquier medidor que presente fallas de operación.

Debido a su característica de correctivo, este mantenimiento no es programable y contempla la revisión, reparación y en su caso la sustitución del equipo.

### **8.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

El objetivo de este tipo de mantenimiento es conservar los equipos en condiciones aceptables de funcionamiento, obtener mediciones confiables, además de evaluar y contar con el historial de cada equipo.

#### **Ventajas del Mantenimiento Preventivo:**

Económicas, al reducir los costos de mantenimiento correctivo, que generalmente es más costoso que el preventivo.

- Confiabilidad en la información que producen.
- Reduce al mínimo, los tiempos fuera de servicio.
- Permite la programación de acciones de mantenimiento.
- Aumenta la vida útil de los equipos.
- Permite distribuir la carga de trabajo.

## **Frecuencia del Mantenimiento Preventivo**

El mantenimiento preventivo a los equipos de macromedición, se sugiere se realice de acuerdo a las siguientes acciones.

- Cada 3 meses verificación de la exactitud del medidor con equipo de pitometría.
- Cada 2 años retirar el medidor para revisión y limpieza de sus partes internas de acuerdo a las siguientes recomendaciones:

### **Para macromedidores tipo velocidad**

- Los medidores deben desarmarse y armarse siguiendo siempre la secuencia establecida por el fabricante.
- En el desarmado, las piezas siempre deben quedar juntas y colocadas respetando su orden de armado.
- Las operaciones, deben realizarse con herramientas adecuadas.
- Los revestimientos de protección que se encuentren dañados deben quitarse y sustituirse.
- Las carcasas, cuyos revestimientos internos y externos estén en buenas condiciones, deben ser limpiadas perfectamente. Cuando esta limpieza sea efectuada con materiales corrosivos que puedan tener una acción residual, las carcasas deben someterse a tratamientos especiales, a fin de evitar que quede algún residuo.
- El conjunto de medición debe examinarse, y si estuviera averiado cambiarse.
- Deben verificarse los asientos del conjunto medidor.
- Deben examinarse las juntas, y sustituirse si fuera necesario.
- Las tuercas y tornillos que unen las partes de los macromedidores deben examinarse, y si fuera necesario, sustituirse.
- Si se encuentran ejes torcidos, deben sustituirse.
- Debe verificarse cuidadosamente la regulación del medidor.
- Luego del armado, el medidor debe someterse a la prueba de estanqueidad.

## **Evaluación y Ajuste de los Macromedidores Tipo Velocidad**

- Los medidores tipo velocidad deben evaluarse comparando el paso de un volumen conocido y el volumen indicado en el medidor.
- Los ajustes y evaluación deben hacerse de modo que las curvas de errores se encuadren en los límites de errores especificados.
- Los macromedidores deben ser evaluados en su caudal normal, en el límite inferior de exactitud, y en el caudal característico. Cuando en la práctica se prevé medir un caudal constante, se recomienda ajustar el error permisible, al menor posible, para el caudal respectivo.
- Antes de verificar la precisión, se debe retirar la mayor cantidad posible del aire existente en la tubería y en el medidor.

## **Para Macromedidores Tipo Presión Diferencial**

En lo que se refiere al mantenimiento de este tipo de medidores, a continuación se presentan algunas recomendaciones, las cuales deben ser consideradas conjuntamente con las de los fabricantes.

Antes de realizar cualquier acción de mantenimiento, es conveniente realizar un aforo para evaluar la constante K.

- En el caso de que la constante haya cambiado en relación al elemento secundario se podrá efectuar lo siguiente.
- Para la medición del caudal cambiar la constante original por la calculada en el aforo.
- Calibrar en campo cuando esto sea posible.
- Efectuar limpieza general al primario de presión diferencial poniendo especial atención en las tomas de presión.
- Retirar los elementos secundarios para reparación y calibración en laboratorio.

## **Para Macromedidores Tipo Ultrasónico y Electromagnético**

En el caso de que durante la verificación, estos equipos muestren desajustes, deberán ser retirados y enviados al fabricante, para su reparación y calibración, lo anterior debido a que son equipos de tecnología electrónica muy sofisticada.

### **8.3. TALLER DE MEDIDORES.**

Un aspecto importante, que debe considerarse en relación con el mantenimiento, es la capacidad técnica y económica del organismo operador, para realizar el mantenimiento de los macromedidores en sus propias instalaciones.

Lo anterior implica la adaptación o creación de un taller para macromedidores, esto es costoso, y debe estar justificado, con base en lo siguiente: que exista carga de trabajo suficiente para mantener funcionando el taller, que el análisis de factibilidad

técnica -económica, indique que esta posibilidad, es mas económica que el envío de los macromedidores al taller del fabricante.

A continuación se dan algunas recomendaciones para la integración del taller de medidores. en el caso en que se decida que es conveniente la creación del taller.

El taller de medidores deberá estar ubicado en una área techada.

Deberá tener superficie suficiente para alojar las siguientes áreas de trabajo: ( Se anexa croquis. Figura 8.2 ).

- Mesa de desarmado.
- Cámara de sand blast.(Limpieza mecánica)
- Banco de cardado.
- Tinas para lavado químico.
- Pileta de enjuague y escurridor.
- Cámara de pintura.
- Mesa de armado y calibración de mecanismos.
- Banco de ensamble.
- Banco de verificación.
- Tanque aforador.
- Estantes metálicos para medidores y refacciones.
- Escritorio.

Además de lo anterior deberá contar con las siguientes instalaciones

- Hidráulicas.
- Neumáticas.
- Eléctricas.
- De drenaje.
- Extracción de gases.

Los pasos que deberán seguirse durante el proceso de reparación y mantenimiento, debe tener una secuencia lógica, que permita, un flujo continuo de equipos, para aprovechar al máximo las instalaciones del taller, y lograr el máximo rendimiento del personal asignado al área. se anexa diagrama de flujo típico de un taller de medidores. figura 8.1. y la vista en planta del taller, figura 8.2.

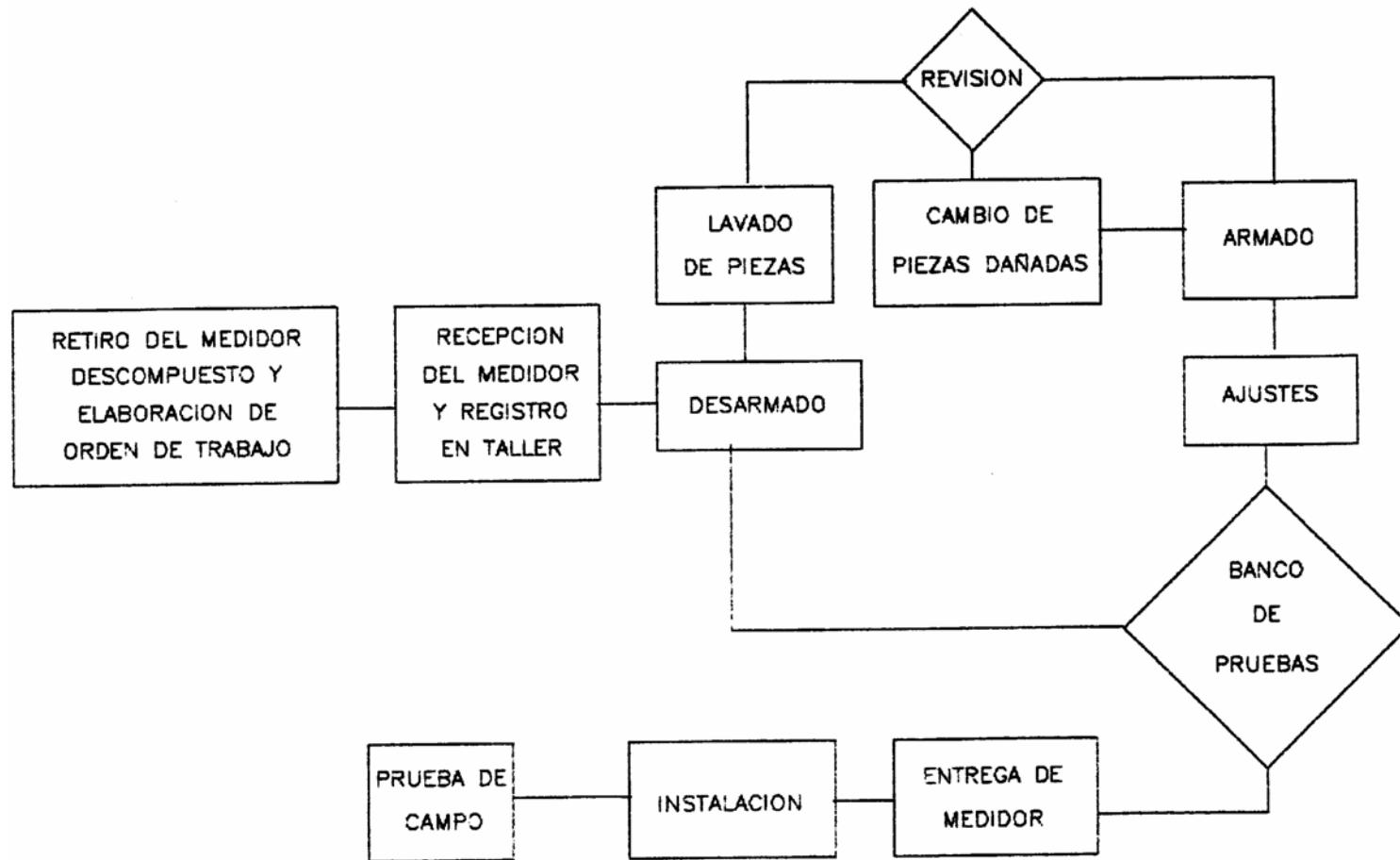
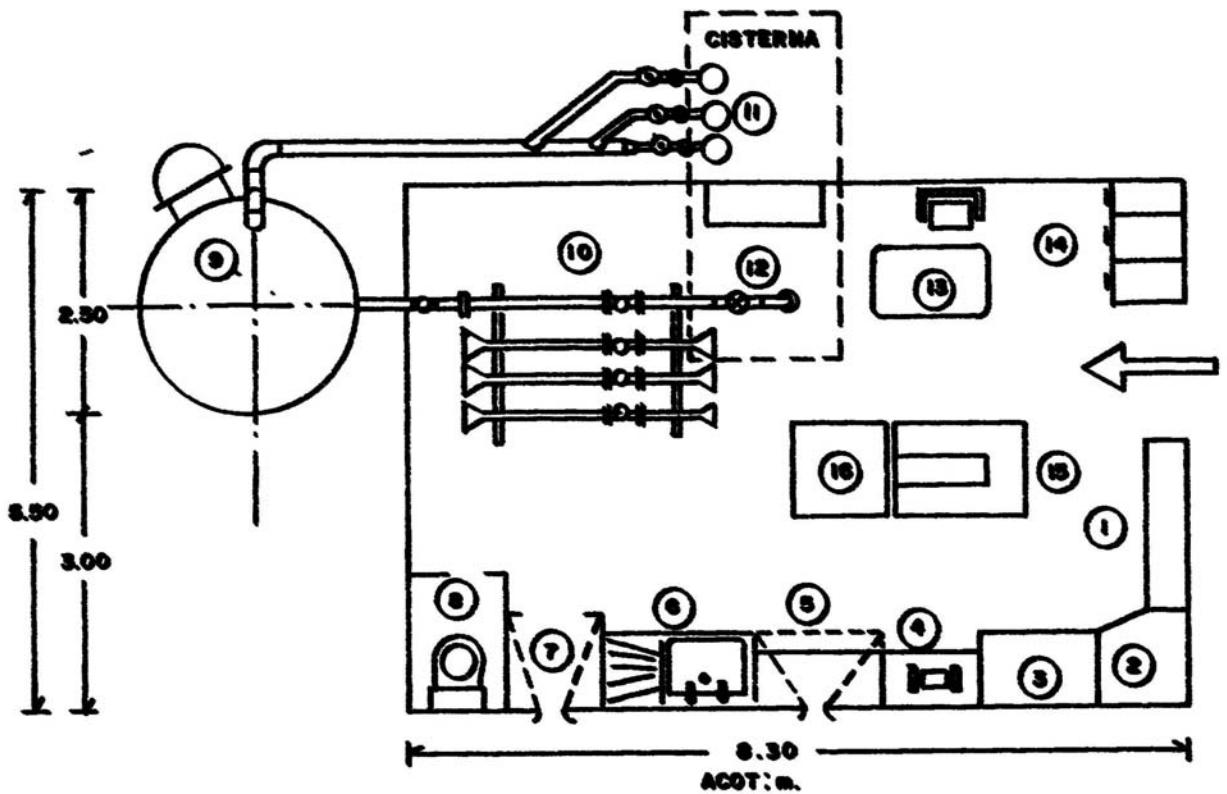


Figura 8.1. Diagrama de flujo taller de macromedidores.



- |   |   |
|---|---|
| 1.- ESTANTE RECEPCIÓN MEDIDORES   | 10.- BANCO DE VERIFICACIÓN                |
| 2.- CAMARA SAND - BLAST   | 11.- SISTEMA DE BOMBEO                    |
| 3.- MESA DE DESARMADA   | 12.- ESTANTE METALICO PARA<br>REFACCIONES |
| 4.- BANCO DE CARDEADO   | 13.- ESCRITORIO DEL ENCARGADO             |
| 5.- TINA PARA LAVADO QUÍMICO  | 14.- TARJETEROS O COMPUTADORAS            |
| 6.- PILETA DE ENJUAGUE  | 15.- MESA DE ARMADO Y                     |
| 7.- CAMARA DE PINTURA<br>CALIBRACIÓN                                    | 16.- BANCO DE ENSAMBLE                    |
| 8.- SERVICIOS W.C.  |   |
| 9.- TANQUE AFORADO  |   |
| NOTA: DEBERAN COLOCARSE CAMPANAS Y EXTRACTORES DE GASES EN (5)<br>Y (7) |   |

**Figura 8.2. Vista en planta del taller.**

## **9. MANEJO DE LA INFORMACIÓN.**

En este tema se describe de manera general, la importancia que tiene para cualquier organismo operador el establecer sistemáticamente el manejo adecuado y oportuno de la información proporcionada por el subsistema de macromedición.

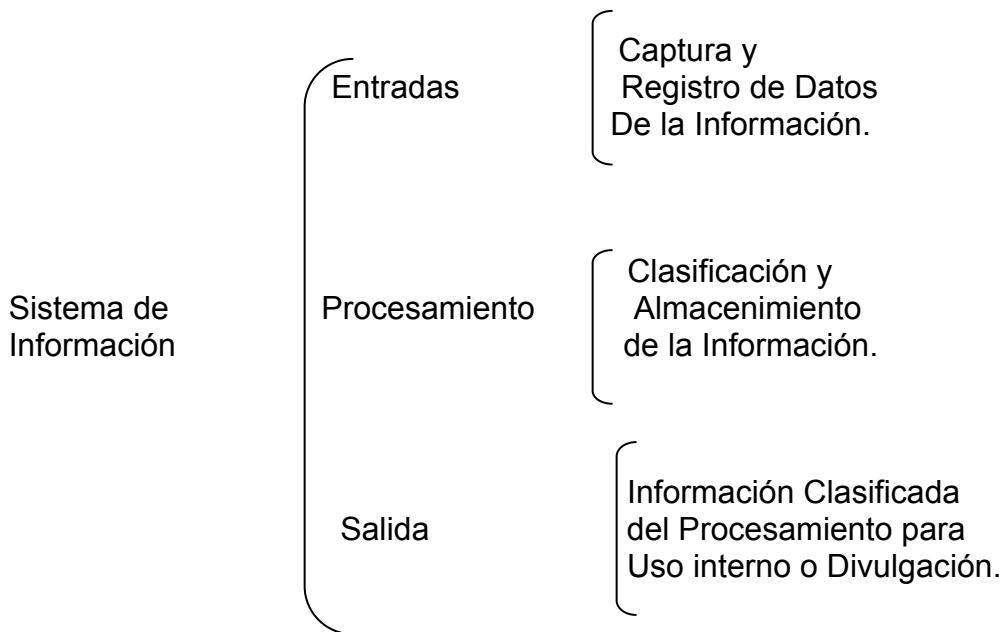
Los equipos de macromedición anteriormente vistos, entregan información de parámetros hidráulicos, como son caudales y volúmenes, sin embargo es conveniente integrar al subsistema de macromedición la medición de presiones y niveles, complementando la información mínima requerida para el control de la operación.

La eficacia de un sistema de macromedición esta basado en lo siguiente:

- Amplia cobertura del subsistema de macromedición.
- Buen nivel de organización.
- Oportunidad en la distribución de la información.
- Interés del organismo operador en el subsistema de macromedición.

### **Componentes de un Sistema de Información**

Todo sistema de información, cualquiera que sea su objetivo esta constituido de acuerdo a lo siguiente:



A continuación se describen los elementos que integran el sistema de información.

## 9.1. ENTRADAS.

El concepto de entradas al sistema de información consta de los siguientes componentes:

**Captura de Datos:** Es el inicio de la administración y manejo de la información que entregan los dispositivos de medición.

**Medio de Registro:** Son los elementos por medio de los cuales se registran los datos entregados por los dispositivos de medición y que posteriormente serán procesados, para integrar la información de salida.

## 9.2. PROCESAMIENTO DE DATOS.

A este concepto corresponde todo el manejo de los datos, entregados por el sistema de macromedición, para obtener información, de acuerdo a las necesidades de las diferentes áreas que integran el organismo operador.

Las principales etapas del procesamiento de datos son:

- Validación
- Captura
- Almacenamiento
- Clasificación

Dependiendo de las características y la infraestructura disponible en el organismo operador, las diferentes etapas del procesamiento pueden ser realizadas en forma manual, automatizada o mixta.

## 9.3. SALIDAS.

A este concepto corresponde toda la información producto del procesamiento la cual deberá llegar con oportunidad a las áreas de operación, mantenimiento, administración y gerencia.

La información de salida se pueden clasificar en tres niveles.

**El primer nivel** de información estaría integrado por los reportes rutinarios de la producción por zonas de abastecimiento, regiones o tipos de captación, con la finalidad de conocer el gasto producido en cada región, permitiendo además tomar decisiones de carácter operativo, cuando por razones de mantenimiento u otro tipo, salgan de operación las fuentes de abastecimiento.

**El segundo nivel** corresponde a informes específicos, mas elaborados que son utilizados, para el desarrollo de programas como pueden ser: los de uso eficiente del

agua, macromedición, mejoramiento de la recaudación, redistribución de caudales, etc.

**El tercer nivel** corresponde a reportes gerenciales, que ofrezcan elementos de juicio y apoyo para la planeación y toma de decisiones de alto nivel.

#### 9.4. DISEÑO

El diseño de un sistema de información debe ser realizado por personal calificado, analistas de organización y métodos, o analistas de sistemas, que tengan experiencia en este tipo de trabajos, apoyados por el personal que requerirá y manejará la información.

A continuación se indica la utilidad que ofrece el manejo adecuado de la información que entregan los macromedidores de caudal en un organismo operador.

##### 9.4.1. Área de Operación.

- Es posible determinar por medio del subsistema de macromedición la capacidad total de producción de las fuentes de abastecimiento y programar su operación.
- Suministra la información necesaria para cuantificar el caudal entregado al sistema y su distribución por circuitos o zonas de abastecimiento.
- Permite comparar la capacidad total de producción de las fuentes de abastecimiento con la demanda de la población, estableciendo indicadores de suficiencia o carencia de agua.
- Ayuda a determinar la magnitud de las pérdidas físicas de agua en líneas de conducción y redes de distribución, y a establecer programas de recuperación de agua.
- Se conocen caudales de entrada y salida a plantas de tratamiento ayudando al ajuste de los procesos.
- Proporciona información histórica de la producción de pozos y zonas de abastecimiento, permitiendo planificar acciones de rehabilitación, mantenimiento o sustitución de fuentes.

##### 9.4.2. Arca de Mantenimiento

- La macromedición auxilia al área de mantenimiento en la toma de decisiones para seleccionar adecuadamente los equipos electromecánicos.
- Permite establecer un programa de seguimiento de eficiencias en los equipos de bombeo; que se encuentran en operación y tomar decisiones sobre el mantenimiento oportuno de estos.
- Ayuda al personal de mantenimiento y operación a determinar la eficiencia de producción de los pozos profundos, calculando su capacidad específica y a tomar decisiones sobre la conveniencia de efectuar acciones de rehabilitación de pozos.

#### **9.4.3. Arca Administrativa**

- La información oportuna del subsistema de macromedición, le permite al área administrativa, definir políticas para autorizar nuevas tomas, ampliaciones o restringirlas.
- 
- Evaluar el caudal entregado al sistema, sus pérdidas físicas, y comparar producción con facturación, determinando indicadores de eficiencia.
- 
- Permite estimar costos unitarios de producción e implementar programas de recuperación de rezagos.
- 
- Correlaciona la información de ingresos con la de caudales y costos y determina indicadores.

#### **9.4.4. Gerencia.**

Es importante que a la gerencia se le proporcione reportes condensados indicando producción y facturación, porcentaje de pérdidas, cobertura del servicio, déficit o excedente del recurso, lo cual permitirá, tomar decisiones sobre ampliaciones, localización de nuevas fuentes, establecer programas de detección de fugas, recuperación de rezagos y políticas tarifarias así como la planeación del financiamiento para realizar las obras necesarias.

### **9.5. CONTROL Y EVALUACIÓN.**

El sistema de información no puede evaluarse mediante indicadores, sin embargo su control y evaluación es función de la utilidad y oportunidad con que la información se haga llegar a quienes de alguna forma, deben estar siempre enterados.

Los aspectos mas importantes que deben contener los reportes informativos son:

- Oportunidad en la distribución de la información, clara y veraz.
- Identificación de la problemática existente y a futuro de las fuentes de suministro.
- Dar una visión amplia de la situación general del sistema.

## 10. RESUMEN DE INFORMACION PARA LA SELECCION DE MEDIDORES DE AGUA

TIPO DE MEDIDORES	VELOCIDAD	PRESION DIFERENCIAL	ULTRASONICO	ELECTROMAGNETICO	CANALES Y VERTEDORES
TAMAÑO DEL MEDIDOR	2" ½ A 72" DE 0	DE 2" A 72" DE 0	DE 4" A 48" DE 0	DE ¼" A 45° DE 0	
TIPO DE SEÑAL	,MECANICA O MAGNETICA	HIDRAULICA	ELECTRICA	ELECTRICA	HIDRAULICA
EXACTITUD	HELICE ± 5% A ± 2% MICROMOLINETE ± 1%	± 1% DEL GASTO MAXIMO	± 1% DEL RANGO	± 1% DEL RANGO MAXIMO	± 5% DEL RANGO
MANTENIMIENTO ELEMENTO PRIMARIO	SENCILLO	SENCILLO	COMPLICADO	COMPLICADO	SENCILLO
TRANSMISION DE LA SEÑAL A SECUNDARIOS	DIRECTA ELECTRICA	ELECTRICA	ELECTRICA	ELECTRICA	ELECTRICO
MAXIMA PERDIDA DE CARGA	DE 4 A 11.5 LBS/PLG <sup>a</sup>	DE 3" A 200" A H <sub>2</sub> O	NULA	MINIMA	3" A 15" DE H <sub>2</sub> O PARSHALL 10" A 40" DE H <sub>2</sub> O VERTICAL
PRESION MAXIMA DE TRABAJO	HASTA 10.5 KG/CMA	HASTA 105 KG/CNF EN ACERO AL CARBON	ÑIMITADO A LA PRESION QUE SOPORTA LA TUBERIA	740 LBS/PLG	
TEMPERATURA MAXIMA DE OPERACIÓN	HASTA 65° C	HASTA 400 ° C.	DE - 23° A + 6° c	179° C	
LONGITUD REQUERIDA DE INSTALACION	10 Y 5 ANTES Y DESPUES RESPECTIVAMENTE	10 y 5 O ANTES Y DESPUES RESPECTIVAMENTE	30 Y 10 ANTES Y DESPUES RESPECTIVAMENTE	3 O ANTES Y DESPUES RESPECTIVAMENTE	

NOTA: LA INFORMACION CONTENIDA EN ESTA TABLA ES GENERAL. PARA INFORMACION ESPECIFICA CONSULTE AL FABRICANTE.

## 10.1. GUIA PARA LA SELECCION DE MEDIDORES DE FLUJO

TIPO DE MEDIDORES	LIQUIDOS LIMPIOS	LIQUIDOS SUCIOS	FLUJO DE BAJA VELOCIDAD	ALTAS TEMPERATURAS	CANALES
VELOCIDAD					
VENTURI					
TOBERA PRESION PRESION DIFERENCIAL DIFERENCIAL ORIFICIO					
PITOT					
TIEMPO EN ULTRA TRANSITO					
SONICOS EFECTOS DOPLER					
ELECTRO MAGNETICOS					
VERTEDORES Y CANALES PARSHALL					

USOS DE LOS  
MEDIDORES

DISEÑADO  
PARA ESTE  
SERVICIO

UTILIZABLE  
PARA ESTE  
SERVICIO  
CONDICIONADO

NORMALMENTE  
APPLICABLE A  
ESTE  
SERVICIO

NO APPLICABLE  
PARA ESTE  
SERVICIO

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Babcock Rusell H.	Instrumentación y Control en el Tratamiento de aguas potables, industriales y de desecho. Foxboro USA 1974
Philip Jeffcoate and Roy Pond 1989	Banco Mundial Large Water Meters. Guidelines for Selection, testing, and maintenance.
Barton.	Instruments Company Installation and Operation manual mod. 199 differential pressure unit 1988
Barton	Instruments Company Installation and Operation manual mod. 224 differential pressure unit 1988.
B I.F. Bristol Babcock Inc.	Catalogo del fabricante B.I.F. Instructions CN-20300 Round Chart. 1985
Centro Nacional de Metrología George Mattingly C.I.C.A.S.A.	Seminario de Metrología de Flujo. 1992
Data Industrial Corporation	Catalogo de Medidores Delaunet-Sparling
Dieterich Standard Industries Company	Catalogo del Fabricante Flow Sensor serie 2000
Fischer and Porter Company	Catalogo Dieterich Standard Annubar Flow Sensors
I.M.T.A.	Manual del Fabricante Fisher and Porter Macromedición 1986.
I.M.T.A.	Manual de Aforos 1992.
I.M.T.A.	Manual de diseño de Estructuras de Aforo i.m.t.a. 1988
Jaime Espinoza Larrañaga Leopold A Mueller Company	Manual para Aforo con Tubo Pilot 1990 Boletín No. 1301-5022 Leopold Simplex Pitot Equipment. 1980
Leopold Sybron	Boletín No. SPE-100 Leopold Simplex Pitot Equipment. 1990.
Luis G. Calvillo R.	1ª. Reunión sobre Operación y Mantenimiento de Grandes Acueductos. Medición. 1987.
Mario Lopez Arellano	Tesis: La Macromedición en los sistemas de abastecimiento de agua potable. 1990.
Medidores Azteca Mid West Instrument.	Catalogo de medidores Azteca-Badger. Differential Pressure indicating And control system.
Organización Panamericana de la Salud-I.M.T.A.	Manual para la Organización de la Macromedición. 1989
O.M.S./O.P.S. Organización Mundial de	Manual (Dtiapa No. C 9) Macromedición.

la Salud. Organización Panamericana de la Salud.	1989
Polysonics.	Operating Instructions por tyme Flyte portable ultrasonic flowmeter No. 20621-0005. 1988.
Secretaría de Recursos Hidráulicos	Instructivo para Aforo de Corrientes. S.R.H. 1964.
Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial	Catalogo de instrumentos de Medición. Gerencia de Uso Eficiente del Agua.
Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial	Criterios y Recomendaciones para la selección, adquisición e instalación de medidores para conducciones a presión. 1990
Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industria.	Revisión y Evaluación de los equipos de medición instalados en las fuentes de abastecimiento del sistema de agua potable de la ciudad de Puebla. 1990. Empresa S.I.H.A.S.A. Contrato 90-411 D.
Water Especialities Corporation	Catalogo del fabricante water specialities propeller meters

Tabla de conversión de unidades de medida al Sistema Internacional de Unidades (SI)

OTROS SISTEMAS DE UNIDADES			SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI)	
UNIDAD	SÍMBOLO	MULTIPLICADO POR	SE CONVIERTA A	SÍMBOLO
<b>LONGITUD</b>				
Pie	pie, ft.,'	0.3048	metro	m
Pulgada	plg., in, "	25.4	milímetro	mm
<b>PRESIÓN/ESFUERZO</b>				
Kilogramo fuerza/cm <sup>2</sup>	kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>	98,066.5	Pascal	Pa
Libra/pulgada <sup>2</sup>	lb/ plg <sup>2</sup> ,PSI	6,894.76	Pascal	Pa
Atmósfera	atm	98,066.5	Pascal	Pa
metro de agua	m H <sub>2</sub> O (mca)	9,806.65	Pascal	Pa
Mm de mercurio	mm Hg	133.322	Pascal	Pa
Bar	bar	100,000	Pascal	Pa
<b>FUERZA/ PESO</b>				
Kilogramo fuerza	kg <sub>f</sub>	9.8066	Newton	N
<b>MASA</b>				
Libra	lb	0.453592	kilogramo	kg
Onza	oz	28.30	gramo	g
<b>PESO VOLUMÉTRICO</b>				
Kilogramo fuerza/m <sup>3</sup>	kg <sub>f</sub> /m <sup>3</sup>	9.8066	N/m <sup>3</sup>	N/m <sup>3</sup>
Libra /ft <sup>3</sup>	lb/ft <sup>3</sup>	157.18085	N/m <sup>3</sup>	N/m <sup>3</sup>
<b>POTENCIA</b>				
Caballo de potencia, Horse Power	CP, HP	745.699	Watt	W
Caballo de vapor	CV	735	Watt	W
<b>VISCOSIDAD DINÁMICA</b>				
Poise	μ	0.01	Mili Pascal segundo	mPa.s
<b>VISCOSIDAD CINEMÁTICA</b>				
Viscosidad cinemática	v	1	Stoke	m <sup>2</sup> /s (St)
<b>ENERGÍA/ CANTIDAD DE CALOR</b>				
Caloría	cal	4.1868	Joule	J
Unidad térmica británica	BTU	1,055.06	Joule	J
<b>TEMPERATURA</b>				
Grado Celsius	°C	tk=tc + 273.15	Grado Kelvin	K

Nota: El valor de la aceleración de la gravedad aceptado internacionalmente es de 9.80665 m/s<sup>2</sup>