

15.  
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ACATLAN"

"LA MACROMEDICION EN LOS SISTEMAS DE  
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE"

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

Mario Alberto López Arellano



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1990



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## INDICE

	PAG
INTRODUCCION	1
CAPITULO I. TERMINOLOGIA	4
1.1 Definiciones	4
1.2 Ecuaciones	3
CAPITULO II. CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE MACROMEDICION	9
2.1 Consideraciones preliminares	9
2.2 Enfoque conceptual de la clasificación	10
2.3 Requisitos generales	12
2.3.1 Administración del organismo de abastecimiento de agua potable	13
2.3.2 Mantenimiento de sistemas de macromedicin	14
2.3.3 Recursos humanos	15
2.3.4 Macromedicin aplicada a la operación de los sistemas de abastecimiento de agua potable	16
CAPITULO III. PLANEACION PARA LA IMPLEMENTACION DE LOS SISTEMAS DE MACROMEDICION	17
3.1 Etapas de la planeación para la implementación de los sistemas de macromedicin	17
3.1.1 Levantamiento de las características de los sistemas de abastecimiento de agua	17
3.1.2 Definición de los conjuntos de sistemas de abastecimiento	17

3.1.3	Elaboración de los proyectos de sistemas de macromedición de las ciudades seleccionadas	17
3.1.4	Elaboración de manuales de operación de los sistemas de macromedición	18
3.1.5	Características de los recursos humanos disponibles y definición de las necesidades de entrenamiento correspondientes	19
<b>CAPITULO IV. ORGANIZACION ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DE LOS SISTEMAS DE MACROMEDICION</b>		<b>21</b>
4.1	Funciones básicas de un organismo de saneamiento	21
4.2	Principios básicos de la organización estructural y funcional del sistema de macromedición de un organismo	22
4.3	Estructura del sector de control operacional	22
4.3.1	Composición del sector	22
4.3.2	Actividades de planeación, diseño, ejecución y control	22
4.3.3	Actividades de operación del sistema de abastecimiento de agua	23
4.3.4	Actividades de pitometría y de control de fugas	23
<b>CAPITULO V. CRITERIOS PARA LA LOCALIZACION DE MEDIDORES</b>		<b>25</b>
5.1	Criterios generales para definir la localización de medidores	25
5.1.1	Definición de las variables a medir	25
5.1.2	Criterios generales para la localización de medidores de caudal	26

5.1.3	Criterios generales para la localización de medidores de presión	27
5.1.4	Criterios generales para la localización de medidores de nivel de agua	28
5.1.5	Consideraciones acerca de los criterios específicos para la localización de medidores	29
CAPITULO VI CRITERIOS GENERALES PARA LA SELECCION, ESPECIFICACION E INSTALACION DE MEDIDORES		30
6.1	Generalidades	30
6.2	Criterios generales para la selección de medidores	30
6.2.1	Factores que influyen en la selección de medidores	30
6.3	Criterios generales para la instalación y montaje de medidores	33
6.3.1	Medidores de caudal	33
6.3.2	Medidores secundarios de presión diferencial	36
6.3.3	Medidores de presión y de nivel	39
CAPITULO VII. MEDIDORES DE CAUDAL		41
7.1	Medidor deprimógeno	41
7.1.1	Medidor primario tipo Venturi	42
7.1.2	Medidor primario tipo Tobera	45
7.2	Medidor tubo de Pitot	47
7.2.1	Tubo de Pitot Simplex	48
7.2.2	Tubo de Pitot Modificado	50
7.3	Medidor electromagnético	55
7.4	Medidor Magnético de flujo MAG X	59

7.5	Medidor ultrasónico	64
7.6	Medidores secundarios de presión diferencial	66
7.6.1	Tipos de medidores secundarios	66
7.6.2	Tipos de transmisores de presión diferencial	67
CAPITULO VIII MEDIDORES DE PRESIÓN		70
8.1	Manometría	70
8.1.1	Propiedades	71
8.1.2	Presión	71
8.2	Procesos de medición de presión	72
8.3	Dispositivos para verificar la precisión de un manómetro	73
8.4	Medición de presión a través de piezómetros	75
8.4.1	Cálculo de presiones	76
8.4.2	Procedimiento	76
8.5	Medición de presión con tubo en "U"	77
8.5.1	Instalación del tubo en "U"	77
8.5.2	Procedimiento para la medición de presiones positivas	79
8.5.3	Procedimiento para medir presiones negativas	78
8.5.4	Presiones diferenciales	80
8.6	Medición de presión a través de manómetros metálicos	80
8.6.1	Principios de funcionamiento	80
8.6.2	Materiales de fabricación	81
8.6.3	Selección del manómetro	82
8.6.4	Instalación del manómetro	83

8.6.5	Lectura de la presión	84
8.6.6	Referencias del punto de medición	84
8.6.7	Verificación de la precisión del manómetro	85
8.7	Utilización de manómetros en estaciones de bombeo y redes de distribución-recomendaciones	87
8.8	Medición de presión a través de manómetros registradores	87
8.8.1	Tipos de instrumentos	87
8.8.2	Selección del registrador	89
8.8.3	Instalación del registrador	90
8.8.4	Verificación del registrador	91
8.8.5	Calibración del registrador	93
CAPITULO IX: MEDIDORES DE NIVEL DE AGUA		97
9.1	Regla limnimétrica	97
9.2	Tubo piezométrico con visor de nivel	97
9.3	Flotador	99
9.4	Medidor neumático	100
9.5	Medidor con resistencia variable	102
9.6	Medidor con electrodos	103
ANEXOS		
ANEXO I. MEDIDOR PARSHALL (NORMA CETESB E2. 150)		105
ANEXO II. PRINCIPALES FABRICANTES DE MEDIDORES		115
ANEXO III. PRINCIPALES MEDIDORES COMERCIALES		116
CONCLUSIONES		117
BIBLIOGRAFIA		119

8.6.5	Lectura de la presión	84
8.6.6	Referencias del punto de medición	84
8.6.7	Verificación de la precisión del manómetro	85
8.7	Utilización de manómetros en estaciones de bombeo y redes de distribución-recomendaciones	87
8.8	Medición de presión a través de manómetros registradores	87
8.8.1	Tipos de instrumentos	87
8.8.2	Selección del registrador	89
8.8.3	Instalación del registrador	90
8.8.4	Verificación del registrador	91
8.8.5	Calibración del registrador	93
CAPITULO IX. MEDIDORES DE NIVEL DE AGUA		97
9.1	Regla limnométrica	97
9.2	Tubo piezométrico con visor de nivel	97
9.3	Flotador	99
9.4	Medidor neumático	100
9.5	Medidor con resistencia variable	102
9.6	Medidor con electrodos	103
ANEXOS		
ANEXO I. MEDIDOR PARSHALL (NORMA CETESB E2. 150)		105
ANEXO II. PRINCIPALES FABRICANTES DE MEDIDORES		115
ANEXO III. PRINCIPALES MEDIDORES COMERCIALES		116
CONCLUSIONES		117
BIBLIOGRAFIA		119



## INTRODUCCION

El agua potable, canalizada y distribuida a domicilio en las concentraciones humanas constituye la base de la vida industrial, comercial y privada de una ciudad, en donde se transforma en un producto de consumo, vital para la salud y comodidad de sus habitantes.

Al proyectar un sistema de abastecimiento de agua se establecen consumos que se suponen permitirán satisfacer las necesidades normales de los usuarios. Estos consumos se adoptan con base en parámetros tradicionales que fijan valores de cuota per cápita, obtenidos por lo regular de estudios académicos, sin embargo, la realidad ha demostrado que, el comportamiento del consumo tiene una diversidad de componentes que lo hacen variar de manera considerable de una región a otra, de una localidad a otra, y entre los mismos usuarios cuando los consumos no son controlados.

El abastecimiento continuo y suficiente del agua potable, en condiciones adecuadas al consumo creciente, se asegura mediante instalaciones costosas y complejas que requieren fuertes inversiones y en ello reside el carácter técnico y administrativo de las dependencias oficiales encargadas del abastecimiento del agua potable. De tal manera no es posible considerar que esta clase de servicios no deben producir rentas.

Las pérdidas de agua, se convierten en una forma de evasión de rentas y llegan a crear problemas de orden técnico y económico. Es necesario conocer el volumen de agua producida y medir el consumo útil que se entrega a los usuarios, para que de este modo pueda determinarse el volumen no aprovechado. Tal desperdicio provoca un aumento en el gasto por habitante por día, que consecuentemente obliga en poco tiempo a nuevas captaciones.

Por ello, es necesario resaltar la importancia de conocer regularmente el estado en que se encuentran los sistemas de abastecimiento de agua potable. La evaluación permanente del comportamiento de los materiales, equipos, instalaciones, operadores y técnicas utilizadas, permite conocer las carencias, deficiencias y tendencias, en función de los recursos que se puedan proporcionar para investigación y desarrollo tecnológico de forma objetiva y de acuerdo con prioridades.

Por lo tanto, es evidente que la situación actual impone la adopción de medidas que permitan a los organismos correspondientes un aprovechamiento óptimo de sus sistemas de abastecimiento de agua. Tales medidas se pueden resumir en los siguientes puntos

básicos:

- 1 - Establecimiento de un programa de control de pérdidas, que permita aumentar la eficiencia global del organismo de abastecimiento de agua potable.
- 2 - Implementación en cada organismo de abastecimiento de agua potable de un sistema de macromedición, fundamental para una buena operación, mantenimiento y administración del sistema de abastecimiento de agua potable.

#### OBJETIVOS DE LA MACROMEDICIÓN.

La macromedición en un sistema de abastecimiento de agua usa un conjunto de equipos, medidores, graficadores y accesorios cuyo objetivo es cuantificar los caudales captados, conducidos y distribuidos, además, la macromedición es fundamental para una adecuada planificación, diseño, construcción, operación, mantenimiento y administración del abastecimiento de agua potable, siendo un instrumento indispensable en la ejecución de las siguientes actividades:

- 1.- Obtener la dotación per cápita real de los sistemas de distintos sectores de abastecimiento de agua potable.
- 2 - Determinar los volúmenes y caudales de agua entregados en los sectores de producción y comparar la disponibilidad con la demanda de agua.
- 3.- Evaluar las condiciones hidráulicas reales de funcionamiento de los sistemas de abastecimiento de agua potable.
- 4 - Planear y ejecutar los programas de mantenimiento preventivo y correctivo de conductos, redes, instalaciones electromecánicas y plantas de tratamiento.
- 5.- Evaluar el tiempo de saturación de los sistemas en función de la evolución demográfica, socioeconómico y cultural de las comunidades.
- 6 - Determinar los componentes de las pérdidas en el sistema de distribución.
- 7 - Formular, implantar y controlar las políticas tarifarias de las entidades de abastecimiento de agua potable.

#### OBJETIVOS DE LA TESIS.

Este trabajo tiene por objetivo proponer los criterios a considerar en la planeación, diseño y operación de proyectos de

macromedición en los sistemas de abastecimiento de agua potable.

Los criterios se refieren básicamente a los siguientes puntos:

- 1.- Prioridades de implementación de sistemas de macromedición en los organismos de abastecimiento de agua potable.
- 2.- Ubicación de medidores de flujo, presión y nivel de agua.
- 3.- Nivel de instrumentación de las variables a medir.
- 4.- Requisitos mínimos que deben tener los sistemas de abastecimiento de agua potable y los respectivos organismos.
- 5.- Tipos de medidores a adoptar en cada caso.

Se debe considerar primordialmente que en la implementación de los sistemas de macromedición debe existir la premisa de que los equipos a emplear sean económicos, prácticos, confiables y con la exactitud apropiada.

## CAPITULO I : TERMINOLOGIA

En los proyectos de medición, pitometría y control de pérdidas de flujo, se utilizan algunos términos técnicos y ecuaciones cuyo significado es conveniente definir.

### 1.1 DEFINICIONES

#### A) Sistema de abastecimiento de agua.

Es un conjunto funcional de obras, instalaciones, tuberías, equipos, accesorios y servicios destinados a proveer de agua potable en condiciones de cantidad, calidad, continuidad y seguridad a los usuarios.

#### B) Unidad operacional (UO).

Es una parte del sistema de abastecimiento de agua que realiza total o parcialmente una de las siguientes funciones: captación, conducción, bombeo, tratamiento, almacenamiento y distribución del agua.

#### C) Sistema de producción.

Es la parte del sistema de abastecimiento de agua que comprende a todas las unidades operacionales situadas aguas arriba de la salida de las instalaciones de tratamiento, ya sea que estén constituidas de estaciones de tratamiento o simples puestos de desinfección.

#### D) Sistema de distribución

Es la parte del sistema de abastecimiento de agua ubicada entre los puntos a partir de los cuales el agua se torna potable (salida de plantas de tratamiento, unidades de desinfección) y los puntos de utilización del agua en las instalaciones prediales. El sistema de distribución comprende el sistema público de distribución y el sistema predial.

E) Sistema predial.

Es la parte del sistema de distribución que pertenece a los consumidores. Está compuesto por el conjunto de instalaciones prediales conectadas al sistema público de distribución de agua.

F) Sistema público de distribución.

Es la parte del sistema de distribución que pertenece al organismo de abastecimiento de agua potable. Está ubicado entre los puntos a partir de los cuales el agua se torna potable y los puntos de entrega de agua a las instalaciones prediales.

G) Red de distribución.

Esta compuesta por todas las tuberías y accesorios existentes en el sistema público de distribución.

H) Zona de presión.

Es cada una de las partes en que la red de distribución se subdivide, previendo mantener presiones homogéneas y entre valores prefijados.

I) Tanque de distribución.

Es el elemento del sistema de distribución destinado a regularizar los caudales producidos para satisfacer las demandas a cualquier hora, prevé condiciones de abastecimiento continuo durante periodos cortos de paros del sistema de producción y acondiciona las presiones en la red de distribución.

J) Estación de bombeo.

Es la instalación del sistema de abastecimiento de agua que permite trasladar y elevar el agua a tanques de distribución, en algunos casos en el sistema de distribución la estación es usada para proporcionar las presiones de operación requeridas en la red.

#### K) Sistema de macromedición.

Es el conjunto de equipos, elementos y actividades permanentes para obtener, procesar, analizar y divulgar los datos de rutina del sistema de abastecimiento relativos a caudales, volúmenes, presiones y niveles de agua, excluyendo el sistema predial.

#### L) Pitometría.

Es el conjunto de equipos, elementos y actividades para obtener, procesar, analizar y divulgar los datos del sistema de abastecimiento relativos a caudales, volúmenes, presiones y niveles de agua, con el objeto de tener diagnósticos específicos de las condiciones reales o simuladas del funcionamiento de los componentes de un sistema de abastecimiento de agua potable.

#### M) Agua utilizada.

Es el agua que cumple determinada función sin retornar al sistema de abastecimiento. El término incluye el agua utilizada racionalmente por los usuarios y los desperdicios.

#### N) Pérdidas de agua.

##### N.1. En el sistema de abastecimiento.

Es la diferencia entre la cantidad de agua captada en el sistema y la cantidad de agua utilizada. Esta formada de:

- a) Pérdidas de agua en el sistema de producción.
- b) Pérdidas de agua en el sistema de distribución.

##### N.2. En el sistema de producción.

Es la diferencia entre la cantidad de agua captada por el sistema de producción y la cantidad de agua entregada al sistema de distribución, descontando la cantidad de agua usada en el sistema de producción.

##### N.3. En el sistema de distribución.

Es la diferencia entre la cantidad de agua entregada al sistema de distribución y la cantidad de agua utilizada.

#### N.4. En el sistema predial.

Es la diferencia entre la cantidad de agua entregada a las instalaciones prediales y la cantidad de agua utilizada en las mismas.

#### D) Desperdicio de agua

Es cualquier cantidad de agua gastada deliberadamente por el consumidor de modo no racional y/o según lo establecido por el organismo de abastecimiento de agua potable como desperdicio.

#### P) Fuga.

Es el escape de agua producido por la pérdida de estanquidad de un componente cualquiera del sistema de abastecimiento de agua, en condiciones no deliberadas o controladas. Una fuga es parte de la pérdida de agua, puede ser interna cuando ocurre en una instalación predial y externa cuando ocurre aguas arriba del sistema predial.

#### Q) Rebose o derrame

Es la parte de la pérdida de agua que ocurre por los rebosaderos de los tanques de almacenamiento de agua y demás instalaciones del sistema de abastecimiento, lo cual es causado por fallas de operación o de los dispositivos de control.

#### R) Caudal.

Es el volumen de agua medido en la unidad de tiempo, las unidades de medida más comunes son: l/seg. o M<sup>3</sup>/seg.

#### S) Conductos a presión

Son los acueductos y tuberías que trabajan con una presión interna distinta a la presión atmosférica.

#### T) Conductos libres

Son los acueductos y tuberías donde el agua que circula tiene una superficie en contacto con la atmósfera, en la que

actúa una presión equivalente a la presión atmosférica.

## 1.2 ECUACIONES

$$1. - V = C \sqrt{2gh}$$

$$2. - Q = VA$$

$$3. - Q = CA \sqrt{2gh}$$

$$4. - P = F/S$$

$$5. - P = \gamma H$$

$$6. - P_n = L - D$$

Donde:

V = Velocidad en la sección mínima (m/seg.).

Q = Caudal (M<sup>3</sup>/seg.)

C = Constante de calibración del elemento primario, adimensional

A = Área de la sección mínima (M<sup>2</sup>).

g = Aceleración de la gravedad (M/seg<sup>2</sup>).

h = Diferencial de presión (M).

P = Presión (kgf/cm<sup>2</sup>).

F = Fuerza (kgf).

S = Superficie (cm<sup>2</sup>)

$\gamma$  = Peso específico del líquido.

H = Distancia a la que el punto de medición se encuentra de la superficie libre del fluido.

P<sub>n</sub> = Profundidad del nivel de agua.

L = Profundidad del extremo sumergido del tubo de aire, a partir del centro del manómetro, esta dada directamente por la longitud vertical del tubo de aire.

D = Altura de la columna de agua, de la parte sumergida del tubo de aire, esta dada por la lectura del manómetro.



## CAPITULO II : CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE MACROMEDICION

### 2.1 CONSIDERACIONES PRELIMINARES.

Factores como el tamaño del sistema, la continuidad y seguridad del servicio de agua al consumidor, la complejidad de la operación y mantenimiento del sistema de abastecimiento de agua y el control de pérdidas de agua, son fundamentales para definir el sistema de macromedición requerido.

El proyecto de macromedición debe estructurarse de tal forma que contemple la cantidad, tipo y características de los equipos, adquisición de los mismos, mantenimiento, uso de la información, contratación y preparación del personal que administre, opere y mantenga el sistema de macromedición.

Para resolver el planteamiento presentado se pueden proponer clases de sistemas de abastecimiento de agua; para cada una de las cuales se estandaricen procedimientos de diseño, proyecto, implementación y uso de los respectivos sistemas de macromedición.

La clasificación de los sistemas de abastecimiento de agua debe permitir el agrupamiento de sistemas semejantes en términos de macromedición, en una misma clase, de manera tal que un mismo tratamiento pueda ser aplicado a los sistemas de la misma clase.

Sin embargo, se debe procurar una clasificación sencilla para que sea posible plantear soluciones prácticas. La macromedición esta constituida por elementos primarios (venturi, tobera, pitot, molinete, Parahall, vertederos, etc.) y elementos secundarios (escala, limnigrafo, piezometro, manómetro diferencial, registrador, etc.).

En la mayoría de los casos no se debe de tener grandes dificultades para fabricar elementos primarios de medición del tipo presión diferencial a nivel de industria nacional. Sin embargo, la mayoría de los elementos secundarios como indicadores y registradores de diferencial de presión son, por lo general, importados.

Los organismos que cuentan con los recursos de pitometría deben efectuar verificaciones y calibración de los elementos primarios, con una determinada frecuencia.

El personal de pitometría debe obtener la curva de calibración del medidor, la cual constata o sustituye la curva de calibración suministrada por el fabricante, si es correcta o incorrecta.

respectivamente

En el caso de los elementos secundarios, se pueden considerar tres grupos, los construidos por los mismos organismos de abastecimiento de agua o por fabricantes, los construidos por compañías industriales con componentes principales de importación y los equipos importados en su totalidad.

La adquisición de equipos debe seguir criterios encaminados, de ser posible, hacia la selección de equipos de fabricación nacional. No es recomendable la adquisición de equipos que empleen alta tecnología, a no ser que el organismo esté preparado para ellos, por inconvenientes tales como: alto costo, dificultades para adquisición de piezas de repuesto, dificultades de mantenimiento, y asimismo por la carencia de mano de obra para la instalación, operación y mantenimiento de los mismos.

## 2.2 ENFOQUE CONCEPTUAL DE LA CLASIFICACION.

El agrupamiento de los sistemas de abastecimiento de agua en clases puede efectuarse con base en las siguientes consideraciones:

- 1.- Todos los sistemas de abastecimiento de agua pertenecientes a una misma clase deben tener los mismos sistemas de macromedición, proyectados y operados siguiendo las mismas reglas básicas.
- 2.- Los niveles técnico, gerencial y administrativo del personal del organismo, principalmente el personal encargado de la operación y mantenimiento de los sistemas de macromedición pertenecientes a una misma clase, deben ser aproximadamente equivalentes.
- 3.- La complejidad de operación y mantenimiento de los sistemas de abastecimiento de agua y los sistemas de macromedición pertenecientes a una misma clase debe ser aproximadamente la misma.
- 4.- Los datos generados por los sistemas de macromedición de una misma clase tendrán el mismo tipo de procesamiento y análisis.

La asignación de cada sistema de abastecimiento de agua a una clase determinada debe considerar su estado actual, representado por el sistema físico de abastecimiento, por el sistema de macromedición existente y por otras variables relevantes.

El conocimiento y estudio de las siguientes variables podría permitir la determinación de la clase de cada sistema de abastecimiento de agua:

- 1.- Sistema gerencial-administrativo del organismo.

- a) Funciones de la organización que afectan o pueden afectar la eficiencia de la macromedición.
  - b) Nivel de autoridad y autonomía del personal involucrado.
  - c) Procedimientos escritos y en vigencia.
  - d) Eficiencia en la resolución de problemas de aspecto técnico.
  - e) Flujo de los datos del organismo.
- 2.- Instalaciones y mantenimiento de sistemas de macromedición.
- a) Revisión de los medidores de caudal, presión y nivel en campo.
  - b) Revisión y calibración de los medidores en el taller de instrumentación.
- 3.- Política de recursos humanos en el organismo.
- a) Selección de personal.
  - b) Formación de personal.
  - c) Motivación.
- 4.- Uso de la macromedición por el personal de operación del sistema de abastecimiento.
- a) Operación con base en los datos generados por la macromedición.
  - b) Calidad y cantidad de los medidores de flujo, presión y nivel de agua.
  - c) Forma de transmisión de datos.
- 5.- Sistema de abastecimiento de agua.
- a) Condiciones físicas, químicas y biológicas del agua captada para el abastecimiento, así como el caudal captado en función de la demanda.
  - b) Eficiencia de las plantas de tratamiento de agua.
  - c) Funcionamiento de las plantas de bombeo en función de lo previsto en el proyecto.
  - d) Capacidad de almacenamiento de agua tratada, considerando las fluctuaciones del consumo y demandas de emergencia.
  - e) Características hidráulicas de tuberías y flujos.

- f) Características de la red de distribución en lo referente a pérdidas de agua, presiones en los conductos, válvulas de paso y de incendio.
- g) Características de la captación, conducción y distribución del agua.

#### 6.- Población existente y población abastecida.

La investigación basada en los elementos ya vistos, llevó a seleccionar la variable población, la cual, correlacionada con las demás variables, permitió identificar las siguientes clases de sistemas de abastecimiento:

CLASE I : Sistemas de abastecimiento para ciudades con población urbana hasta 30,000 habitantes.

CLASE II : Sistemas de abastecimiento para ciudades con población urbana entre 30,000 y 50,000 habitantes.

CLASE III : Sistemas de abastecimiento para ciudades con población urbana entre 50,000 y 500,000 habitantes.

CLASE IV : Sistemas de abastecimiento para ciudades con población urbana mayor de 500,000 habitantes.

En estas clases se consideran los siguientes puntos:

- 1.- Criterios válidos para todos los sistemas de abastecimiento que pertenezcan a una misma clase, relativos a localización de los puntos de medición de caudal, presión y nivel de agua.
- 2.- Tratamiento de las variables de medición para cada clase, como son, la frecuencia de obtención de datos, tipo de medidor, forma y frecuencia de transmisión de datos para el personal de operación.

#### 2.3 REQUISITOS GENERALES.

Es necesario definir las características que debe presentar el organismo de abastecimiento de agua y definir las características de los usuarios de los datos generados por la macromedición para que el aprovechamiento de la información sea el máximo posible. En realidad, los índices de eficiencia de la macromedición, medidos en función de la comparación entre los beneficios obtenidos y los recursos empleados en su implementación, son más favorables a medida en que el organismo apoya el sistema, confía en él y lo utiliza adecuadamente.

Sistemas costosos y complejos muchas veces presentan la misma eficiencia de sistemas simples y de fácil implementación debido a

que las unidades usuarias o de apoyo del organismo de abastecimiento de agua no son compatibles con el sistema de macromedicación que administran y operan.

### 2.3.1 ADMINISTRACION DEL ORGANISMO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.

#### FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES.

Las funciones y responsabilidades deben estar ligadas a grupos adecuados, los cuales se responsabilizan de su correcto desempeño.

Un organigrama debe ser adecuado, tanto a nivel de entidad como a nivel de operación y mantenimiento de los sistemas de macromedicación.

Las responsabilidades por escrito permiten identificar claramente las actividades y los nexos con los grupos correspondientes. Entre más detalladas estén las especificaciones, será mayor la probabilidad de tener bien definidas las atribuciones a cada área de trabajo.

La definición de funciones y atribución clara de responsabilidades deben alcanzar a todo el personal del servicio de macromedicación.

La estructura organizacional del organismo de abastecimiento de agua potable debe ser sólida y muy bien definida. En el área de medicación, debe disponer de las unidades necesarias a nivel de organigrama. (Canales de comunicación, niveles jerárquicos definidos, líneas de coordinación, etc.).

Es necesario prever el uso de datos e información cuando son obtenidos por un organismo y utilizados por otro, situación común en el área de medicación.

#### ORGANIZACION DE LA UNIDAD DE OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE MACROMEDICION.

Se deben tener establecidos los procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo de todos los equipos usados en macromedicación. Tales procedimientos deben ser escritos de forma clara, concisa y compatible con el nivel del personal que efectúa el mantenimiento.

Los documentos técnicos e instructivos de los medidores deben contener toda la información necesaria para ejecutar el mantenimiento preventivo y correctivo, así como el uso de los datos por el personal de operación. Es necesario que la

información sea permanentemente actualizada, permaneciendo siempre al alcance de los técnicos y personal interesado.

#### INFORME DE SERVICIOS

Los informes de servicios de mantenimiento correctivo y precisión verificada en el mantenimiento preventivo, deben quedar al alcance del personal interesado.

Estos informes deben ser emitidos por lo menos mensualmente y deben contener información de todos los medidores instalados.

El mantenimiento preventivo muestra frecuentemente baja precisión o defectos que precisan ser reparados lo antes posible.

#### 2.3.2 MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE MACROMEDICION.

##### VERIFICACION DE LA PRECISION DE MACROMEDIDORES EN CAMPO.

Los trabajos de verificación de la precisión y calibración de los equipos de medición en campo son importantes para que se pueda garantizar la confiabilidad del sistema de macromedición.

Es común que se tengan errores sensibles en los parámetros característicos establecidos por los fabricantes. En un medidor tipo Venturi, por ejemplo, es posible la formación de tubérculos o la corrosión del mismo, lo cual puede alterar significativamente la relación entre el caudal y la presión diferencial; asimismo, la instalación del elemento primario no efectuada de acuerdo con las especificaciones de los fabricantes y normas técnicas, puede provocar errores.

La verificación de la precisión de los medidores en campo debe efectuarse con una programación adecuada de tal forma que impida que sean adoptadas frecuencias exageradas, o bien, que la precisión de las mediciones se vea afectada por la adopción de frecuencias inferiores a las requeridas.

La revisión y calibración de los medidores permanentes debe efectuarse utilizando aparatos portátiles (tubos pitot tipo Cole o Simplex), precisos y confiables. El error mínimo aceptable en los aparatos utilizados para revisión es del 2%, que puede verificarse periódicamente con ensayos de laboratorio. Estos ensayos deben efectuarse cuando se adquieran los aparatos y mínimo, una vez cada dos años si el uso es continuo.

## REVISIÓN Y CALIBRACIÓN DE MEDIDORES EN TALLERES DE INSTRUMENTACIÓN

El taller de instrumentación es de importancia fundamental para que el sistema de medición funcione adecuadamente.

Por muy eficiente que sea el personal de campo siempre se tienen aparatos que requieren de un trabajo más preciso de análisis y calibración.

Cabe señalar que al retirar un aparato de campo para revisión y calibración en el taller, el punto de medición queda descubierto, por lo que es recomendable que se instale otro equipo similar o, provisionalmente, un instrumento portátil.

El almacén encargado de abastecer el taller de instrumentación con piezas y materiales de repuesto debe ser eficiente y no tener procedimientos complicados y lentos para proporcionar el material solicitado.

Es común que, por mejor equipado que este un almacén, algunas piezas o materiales no se tengan en existencia, siendo necesaria su obtención por el personal de medición. En estos casos se debe procurar que la compra de piezas o materiales se haga de inmediato para no demorar los trabajos de medición y/o calibración de los instrumentos.

El taller de instrumentación debe disponer de equipos tales como: instalaciones para simular presiones diferenciales, instalaciones para verificación de hidrómetros, herramientas, máquinas para soldar, herramientas para relojería, fuentes de corriente continua, etc.

### 2.3.3 RECURSOS HUMANOS.

Obviamente los recursos humanos son parte fundamental de la estructura de un sistema de macromedición.

No hay duda de la importancia y necesidad del adiestramiento, sin embargo, el área de medición tiene una gran limitación en ese aspecto. Considerando que es reducido el número de organismos que pueden ofrecer entrenamiento de medición, la tendencia es solamente la actualización de conocimientos, de tal forma que en caso de iniciar una nueva actividad en el organismo (por ejemplo, pitometría) no es sencillo obtener entrenamiento para el personal. Por lo tanto, es necesario que el organismo que presenta un proyecto de macromedición tenga previstos todos los detalles del entrenamiento que se impartirá al personal en diversos niveles (técnico, profesional, etc.), el grado de formación requerido, perfeccionamiento y actualización, de acuerdo a las necesidades.

#### 2.3.4 MACROMEDICION APLICADA A LA OPERACION DE LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.

La operación de los sistemas de abastecimiento de agua potable debe ser programada y ejecutada con base en datos hidráulicos reales, proporcionados por los equipos de macromedición. Se debe evitar la operación realizada empíricamente, lo cual, en la mayoría de los casos, es antieconómico y deficiente.

Los resultados obtenidos de los aparatos registradores, así como los datos obtenidos de aparatos indicadores y totalizadores deben ser transferidos a sistemas prácticos de almacenamiento de datos. El almacenamiento de datos puede ser en forma de tablas, gráficas, etc., archivos en expedientes de fácil localización y acceso o en memoria de computadora.

Deben establecerse reglas de operación del sistema de abastecimiento de agua en función de los resultados del análisis de los datos obtenidos por los aparatos del sistema de macromedición.

El personal de operación debe adquirir, a través del tiempo, un alto nivel de confianza en los datos obtenidos por los aparatos del sistema de macromedición.

#### CALIDAD Y CANTIDAD DE MEDIDORES.

Los aparatos del sistema de macromedición deben proporcionar los parámetros suficientes para una evaluación hidráulica del sistema de abastecimiento de agua potable.

El índice de fallas de los aparatos debe ser pequeño para asegurar la información continua de la operación. Se define como índice de fallas al porcentaje de tiempo en que los aparatos no funcionan en relación con el tiempo total de funcionamiento de los mismos.

Todos los puntos importantes del sistema de abastecimiento de agua (captación, conducción y distribución) desde el punto de vista de operación, deben ser provistos de medidores adecuados.



### CAPITULO III : PLANEACION PARA LA IMPLEMENTACION DE LOS SISTEMAS DE MACROMEDICION

#### 3.1 ETAPAS DE LA PLANEACION PARA LA IMPLEMENTACION DE LOS SISTEMAS DE MACROMEDICION.

##### 3.1.1 LEVANTAMIENTO DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA.

Para la ejecución de todas las etapas de implementación de los sistemas de macromedición, es necesario obtener informaciones básicas respecto a los sistemas de abastecimiento de agua (y particularmente en lo que respecta a la macromedición) administrados por el organismo, que serán contemplados en el proyecto de macromedición.

##### 3.1.2 DEFINICION DE LOS CONJUNTOS DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO.

En función de la disponibilidad del organismo, esta deberá programar las etapas de implementación de los sistemas de macromedición para conjuntos de ciudades, definiendo por tanto, los recursos compatibles con la programación, dando especial atención a los recursos humanos necesarios.

##### 3.1.3 ELABORACION DE LOS PROYECTOS DE SISTEMAS DE MACROMEDICION DE LAS CIUDADES SELECCIONADAS.

- a) Elaboración de los esquemas físicos de los sistemas de abastecimiento de agua potable.

Para cada ciudad seleccionada se prepara un croquis en planta, conteniendo la representación esquemática del sistema de abastecimiento de agua potable. En la mayoría de los casos esta actividad es sencilla. En los casos más complejos, es necesario más cuidado, de modo de definir bien los arreglos y el flujo del agua en los conductos.

- b) Clasificación de las ciudades en cuanto a macromedición.

Las ciudades seleccionadas deben ser clasificadas de acuerdo con

## los criterios del capítulo II

### c) Detalles de los proyectos de los sistemas de macromedición.

El proyecto de un sistema de macromedición para una ciudad queda determinado cuando se definen los siguientes elementos:

- 1.- Localización de los puntos de caudal, presión y nivel de agua.
- 2.- Equipos y materiales que se usarán.
- 3.- Diseño detallado de los puntos de medición.
- 4.- Periodicidad de lectura o retiro de los registros gráficos.
- 5.- Procedimientos de lectura, retiro de los registros gráficos, anotación, acondicionamiento, transportes y flujo de los datos.
- 6.- Relación de los materiales, equipos, servicios de mantenimiento, así como el presupuesto correspondiente.
- 7.- Recursos humanos necesarios.

### d) Análisis del aprovechamiento de los equipos existentes.

En función de los datos obtenidos del sistema de macromedición existente, se debe efectuar un estudio para determinar la forma de utilizar al máximo los equipos existentes, buscando el mínimo costo de los sistemas de macromedición.

#### 3.1.4 ELABORACION DE MANUALES DE OPERACION DE LOS SISTEMAS DE MACROMEDICION.

Se considera operación de un sistema de macromedición al conjunto de las siguientes actividades:

- 1.- Lectura de medidores.
- 2.- Retiro y colocación de registros gráficos.
- 3.- Chequeo y verificación rutinaria del funcionamiento de los equipos.
- 4.- Anotación de datos.
- 5.- Acondicionamiento de hojas de datos y registros gráficos.

- 6 - Transporte de datos.
- 7.- Procesamiento de datos.
- 8 - Análisis de datos.
- 9 - Preparación de informes.
- 10 - Envío de informes a las unidades interesadas.
- 11.- Archivos de datos e informes.

Deben elaborarse rutinas escritas para cada actividad, formando manuales de operación de los sistemas de macromedición, considerando los arreglos estructurales y la organización funcional establecidos.

### 3.1.5 CARACTERISTICAS DE LOS RECURSOS HUMANOS DISPONIBLES Y DEFINICION DE LAS NECESIDADES DE ENTRENAMIENTO CORRESPONDIENTES.

Básicamente habrá cuatro tipos de profesionales involucrados con la macromedición, y son los siguientes:

a) Profesional de nivel superior.

La cantidad de personas de este nivel dependerá del tamaño y complejidad del sistema de macromedición.

Se encargará de las siguientes funciones básicas:

- 1.- Elaborar proyectos para la implementación de sistemas de macromedición.
- 2.- Instalación de equipos.
- 3.- Análisis de datos y preparación de informes para las unidades interesadas.
- 4.- Elaboración y orientación en la ejecución de programas de mantenimiento mecánico, revisión y calibración de equipos.
- 5.- Planeación de las operaciones de los diversos sistemas de abastecimiento.
- 6 - Inventario y control de equipos de medición.

Debe ser Ingeniero Civil o Mecánico, con experiencia en saneamiento básico, y tener conocimiento de pitometría.

b) Técnico de nivel medio.

Debe auxiliar al profesional de nivel superior en las actividades de campo y efectuar mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos e instrumentos.

Debe ser entrenado en pitometría a nivel técnico.

c) Auxiliar de la unidad de macromedición.

Es el encargado de las funciones de procesamiento, preparación de informes, envío de informes a las áreas interesadas y archivo de datos.

La cantidad de personal dependerá del tamaño y organización del sistema de macromedición del organismo. Debe estar calificado para efectuar cálculos simples, utilizar las tablas de conversión, unidades de medida y formularios. Debe actuar como auxiliar del personal de nivel superior responsable del sistema de macromedición.

d) Personal de las unidades de operación normal de los sistemas de abastecimiento de agua a nivel de la propia localidad.

Se encarga de las funciones de lectura, retiro y colocación de registros gráficos, verificaciones rutinarias, anotación de datos, acondicionamiento de los datos y envío a las unidades de procesamiento que estén en la propia localidad o fuera de esta.

La calificación para estas funciones es muy simple, no requiere entrenamiento especial.

## CAPITULO IV ORGANIZACION ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DE LOS SISTEMAS DE MACROMEDICION.

El primer impulso que se le presenta al que se propone plantear la organizaci3n de un sistema de macromedicin es el de simular organigramas t3picos de organismos de saneamiento. Por este motivo, se ha preferido tipificar las funciones b3sicas de una entidad de saneamiento cualquiera y extraer criterios de organizaci3n, cotejando tales funciones con las actividades y objetivos de la macromedicin.

### 4.1 FUNCIONES BASICAS DE UN ORGANISMO DE SANEAMIENTO.

Las circunstancias que generalmente condicionan la actuaci3n de un organismo de saneamiento determinan tres objetivos principales:

- 1.- Operar y administrar sistemas existentes de abastecimiento de agua y alcantarillado sanitario.
- 2.- Construir sistemas para las ciudades que aun carecen de los servicios b3sicos de saneamiento.
- 3.- Ampliar y mejorar las instalaciones existentes.

Con base en estos objetivos se pueden identificar las funciones b3sicas que se consideran dentro de los siguientes sistemas organizacionales.

- Sistema operacional. (Sector de control operacional).
- Sistema comercial.
- Sistema administrativo y de apoyo.
- Sistema financiero.
- Sistema de planeaci3n y control.

Dichas funciones se distribuyen de diferentes formas, de acuerdo con cada organismo.

#### 4.2 PRINCIPIOS BASICOS DE LA ORGANIZACION ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DEL SISTEMA DE MACROMEDICION DE UN ORGANISMO

- 1.- Se debe entender como "sector de control operacional" a: macromedición, pitometría, control de pérdidas de agua, y operación del sistema de abastecimiento de agua, propiamente dicha.
- 2.- Las actividades del sector de control operacional deben estar vinculadas al área de operación del organismo.
- 3.- El sector de control operacional debe estar vinculado con la máxima autoridad del área de operación.
- 4.- Los medidores de los sistemas de macromedición generan datos que deben dirigirse, inmediata y directamente, a las unidades de operación, y datos que se deben enviar al sector de control de operación para su procesamiento, análisis y elaboración de informes, así como para su envío a las áreas interesadas del organismo. De este modo, a nivel de operación, la macromedición produce datos para el control de operación inmediato, y datos para planeación operacional.
- 5.- Las áreas de mantenimiento y verificación de los equipos de pitometría, macromedición y control de pérdidas de agua deberán estar vinculadas con el área de operación del organismo, esto debido a que las actividades correspondientes van a ser desarrolladas, por el sector de control operacional o bajo su supervisión.

#### 4.3 ESTRUCTURA DEL SECTOR DE CONTROL OPERACIONAL

##### 4.3.1 COMPOSICION DEL SECTOR.

El sector de control operacional está conformado por tres grupos de actividades, a saber:

- 1.- Grupo de planeación, diseño, ejecución y control
- 2.- Grupo de operación del sistema de abastecimiento de agua.
- 3.- Grupo de pitometría y control de fugas

##### 4.3.2 ACTIVIDADES DE PLANEACION, DISEÑO, EJECUCION Y CONTROL

- a) Elaborar planes completos de implementación de sistemas de macromedición.

- b) Instalación de medidores.
- c) Análisis de datos y preparación de informes para las áreas interesadas.
- d) Elaborar y orientar la ejecución de programas de mantenimiento mecánico, y verificación y calibración de medidores.
- e) Planeación de la operación del sistema de abastecimiento de agua potable.
- f) Elaboración de manuales de operación de los sistemas de abastecimiento de agua en función de los datos y condiciones resultantes a lo largo del tiempo por efectos de la macromedición.
- g) Archivo de datos e informes.

#### 4.3.3 ACTIVIDADES DE OPERACION EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.

- a) Operación rutinaria del sistema de abastecimiento de agua.
- b) Recibir la lectura de los medidores.
- c) Retirar y colocar las cartas de registro.
- d) Verificaciones de rutina del funcionamiento de medidores.
- e) Anotación de datos.
- f) Acondicionamiento de hojas de datos y cartas de registro.
- g) Transporte de datos.
- h) Procesamiento de datos.

#### 4.3.4 ACTIVIDADES DE PITOMETRIA Y DE CONTROL DE FUOAS.

- a) Determinaciones específicas de caudal.
- b) Levantamiento de curvas de variación de caudal.
- c) Determinación de coeficientes de fricción de tuberías.
- d) Determinaciones específicas de presión.
- e) Levantamiento de curvas características de los sistemas de bombeo.
- f) Recibo de tuberías recién asentadas o reparadas.

- g) Verificación de medidores.
- h) Levantamiento de curvas de presión diferencial versus caudal de medidores.
- i) Levantamiento de curvas de calibración de medidores en conductos libres.
- j) Selección y especificación de medidores.
- k) Ubicación de medidores.
- l) Determinación de la capacidad hidráulica de sectores de abastecimiento para fines de atención a nuevos consumidores o redistribución.
- m) Ubicación de fugas.
- n) Evaluación de los sistemas de macromedición.
- o) Análisis de las causas de las fugas.
- p) Elaboración de normas y criterios para materiales, diseño, ejecución de obras y operación de instalaciones, con el objeto de prevenir fugas y rebalses.
- q) Elaboración e implementación de planes de control de pérdidas de agua.



## CAPITULO V CRITERIOS PARA LA LOCALIZACION DE MEDIDORES.

La localización de los medidores depende de la clase en la cual está clasificado el sistema de abastecimiento de agua considerado.

Existen determinados criterios que toman en consideración los usos y aplicaciones de las variables a medir, compatibilizándolas con el tamaño y complejidad del sistema de abastecimiento de agua, lo que permite definir el sistema de macromedición desde un punto de vista de cuantificación y localización de los medidores.

En este capítulo se mencionarán los criterios generales para la localización de medidores en sistemas de abastecimiento de agua potable, válidos para todas las clases y para los criterios específicos de cada clase.

Los criterios generales pueden, en algunos casos, anular determinados criterios específicos cuando los mismos sean conflictivos.

### 5.1 CRITERIOS GENERALES PARA DEFINIR LA LOCALIZACION DE MEDIDORES.

#### 5.1.1 DEFINICION DE LAS VARIABLES A MEDIR.

Para satisfacer las finalidades de un sistema de macromedición es necesario efectuar mediciones de caudal, presión y nivel de agua en puntos estratégicos del sistema de abastecimiento de agua.

La combinación de los tres parámetros suministra información muy valiosa para el funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua. La medición del caudal permite evaluar, desde el punto de vista de distribución de agua por las tuberías, el comportamiento del sistema en función de su configuración física y en función de las demandas de agua.

Las medidas de la presión identifican la falta o disponibilidad de agua en un punto dado del sistema de abastecimiento.

## 5.1.2 CRITERIOS GENERALES PARA LOCALIZACION DE MEDIDORES DE CAUDAL

- A) No es recomendable instalar medidores en serie, ya que si se tuviesen dos medidores en serie se obtendrían los mismos caudales en cada punto. Se podría decir que la adopción de los dos puntos sirve para controlar las pérdidas de agua en el conducto, principalmente cuando el mismo es de gran longitud o tiene válvulas de paso. En tanto el control permanente, a pesar de ser deseable en estos casos, puede aumentar exageradamente el costo del proyecto de macromedición.

Además, las pérdidas grandes son fácilmente perceptibles por inspección directa, en tanto que las pequeñas (hasta el 5% del caudal conducido) son difíciles de identificar por los equipos usuales de medición debido a los límites de precisión de los mismos.

- B) Cuando se fijan puntos de medición en conductos que entran en nudos y en conductos que salen de nudos, se pueden suprimir los puntos que no sean necesarios para determinar los caudales de todos los conductos.

Además de las uniones de tuberías, se deben considerar como nudos, para fines de macromedición, a los tanques o estaciones de bombeo que no tienen salida directa para redes de distribución o tanques elevados.

- C) Se debe dar preferencia a la localización de medidores en las salidas de plantas de tratamiento de agua y estaciones de bombeo cuando no estén definidos los puntos de medición.

La preferencia de localizar los medidores en las salidas de las plantas de tratamiento de agua y estaciones de bombeo se debe a la prioridad de medir directamente los caudales producidos a presión. Hay que tomar en consideración además que el equipo será mejor controlado ya que existe mano de obra de nivel adecuado en las plantas de tratamiento de agua y estaciones de bombeo.

La preferencia de localizar los medidores en la salida de las estaciones de bombeo se debe también a la necesidad de la medición para evaluar el funcionamiento de las bombas.

- D) En todas las entradas de zonas de presión, inicio y fin de conducciones y salidas de estaciones de bombeo, no contempladas con medidores permanentes se deben prever puntos de medición de caudal no permanente.

Estos puntos no se instrumentarán permanentemente con medidores de caudal, sin embargo, en ellos deben instalarse dispositivos que permitan la instalación rápida de medidores portátiles.

La información proveniente de la medición permanente de caudales en las entradas de las zonas de presión es de valor extraordinario ya que permite evaluar continuamente las pérdidas de agua en cada zona de presión y los coeficientes de horas de mayor consumo, entre otros.

Sin embargo, debido a la elevación significativa que tendrían los costos de los sistemas de macro medición provistos de tal recurso, es conveniente la medición no permanente en las entradas de las zonas de presión.

Esa medición efectuada con una frecuencia compatible con cada zona de presión y con cada sistema de abastecimiento de agua puede proporcionar aproximadamente los mismos parámetros que serían obtenidos con una medición permanente.

- E) Cuando el sistema de abastecimiento de agua de una localidad se abastece de agua de otra localidad, se deben ubicar medidores de caudal, de ser posible, en la línea limítrofe de municipios, para medir el caudal transferido de una localidad a otra.

Esta medición de caudal proporcionará una evaluación de demanda de agua al municipio, con la determinación consecuente de todos los parámetros ya vistos anteriormente.

- F) En los casos en que la transferencia de agua se cobra en función de los volúmenes de agua entregada, la medición de caudales es fundamental para que la facturación sea correcta.
- G) Cuando exista un punto de medición sujeto a presiones elevadas en comparación con los límites admisibles para los medidores usuales, se debe escoger otro punto, de preferencia en la misma tubería, midiendo el mismo caudal.

### 5.1.3 CRITERIOS GENERALES PARA LA LOCALIZACION DE MEDIDORES DE PRESION.

- A) Es conveniente hacer la medición de presión en las tuberías de succión, ya que administra información de las pérdidas de carga en todo el conducto de succión, las cuales, no siendo normales, llevan a investigaciones detalladas de la criba, válvula de pie, etc.

Auxilia en la operación de la estación de bombeo, alertando a los operadores que las bombas funcionen en puntos de trabajo expuestos a cavitación.

La instalación del medidor puede ser efectuada en la propia brida de succión de las bombas.

- B) Se deben localizar puntos de medición en las tuberías de presión inmediatamente aguas abajo de cada bomba de una

estación de bombeo. La instalación del medidor puede ser efectuada en la propia brida de descarga de las bombas.

La medida de presión en la descarga, analizada con el caudal descargado y la presión de succión, suministra el punto de trabajo de la bomba (gasto por altura manométrica total).

Es importante que esta información se obtenga en forma permanente para que se puedan detectar eventuales problemas de desempeño inadecuado de las bombas.

En caso de que la estación de bombeo descargue directamente a la red de distribución, la presión de descarga suministra elementos para decidir el funcionamiento o paro de equipos de bombeo.

#### 5.1.4 CRITERIOS GENERALES PARA LA LOCALIZACION DE MEDIDORES DE NIVEL DE AGUA

- A) Se pueden localizar puntos de medición de niveles de agua en todos los tanques del sistema, no importando el tipo. Este nivel comprende la distancia vertical entre la superficie del agua y el fondo del tanque.
- B) Se deben localizar puntos de medición de niveles de agua en los pozos de succión de las estaciones de bombeo, a no ser que se obtengan indirectamente, al ser conocida la cota de la superficie del agua del pozo.
- C) Se deben localizar puntos de medición del nivel del agua en escurrimientos superficiales, represas y lagos.
- D) También es preciso prever puntos de medición no permanentes en pozos.

#### 5.1.5 CONSIDERACIONES ACERCA DE LOS CRITERIOS ESPECIFICOS PARA LOCALIZACION DE MEDIDORES.

La localización de los puntos de medición debe ser de manera tal que los instrumentos proporcionen elementos para que los objetivos de macromedición, compatibles con un sistema de abastecimiento de agua, sean alcanzados.

La definición de los puntos de medición de caudal, por ejemplo, en sistemas de macromedición de pequeñas comunidades, deberá dirigirse básicamente a obtener datos que permitan determinar índices de pérdidas de agua y para proporcionar elementos que faciliten la formulación de proyectos de ampliación del sistema.

A medida que los sistemas de abastecimiento crecen en capacidad y complejidad, asumen una importancia cada vez mayor los datos

provenientes del sistema de macromedición que facilitan el control de operación del sistema de abastecimiento

De esta forma los criterios específicos para la localización de medidores son propuestos para que los sistemas de macromedición sean compatibles con las demandas de datos caracterizados por cada clase en que estén clasificados los sistemas de abastecimiento de agua.

Naturalmente, la aplicación de los criterios específicos, conjuntamente con los criterios generales, dejará de contemplar en algunos casos esporádicos puntos del sistema de abastecimiento de agua importantes desde el punto de vista de control

En estos casos el criterio o juicio del proyectista del sistema de macromedición decidirá la adecuación de dichos puntos a pesar de los criterios establecidos

Los criterios específicos se proponen en forma tal, que con el menor número posible de puntos de medición se garantizan los datos necesarios para que puedan cumplirse los objetivos de la macromedición.

## CAPITULO VI : CRITERIOS GENERALES PARA LA SELECCION, ESPECIFICACION E INSTALACION DE MEDIDORES.

### 6.1 GENERALIDADES.

En este capítulo se presentan los criterios generales y requisitos específicos que deben ser considerados para la selección, especificación e instalación de medidores, en función del tipo y procedencia de los mismos.

### 6.2 CRITERIOS GENERALES PARA LA SELECCION DE MEDIDORES.

La selección de medidores tal vez sea el factor determinante del éxito de un sistema de macromedición. Esta selección está condicionada a una serie de factores que, debidamente ponderados, van a determinar la selección del medidor más apropiado en cada caso. Aunque no existan normas establecidas, se presentan aquí algunas consideraciones al respecto.

De un modo general, la selección de un medidor consiste en determinar el tipo y la capacidad más adecuada. Sin embargo, la determinación de estos dos parámetros se correlaciona directamente con los siguientes factores:

- 1.- Condiciones del lugar de instalación;
- 2.- Características físicas y calidad del agua del sistema de abastecimiento;
- 3.- Condiciones hidráulicas de flujo del agua;
- 4.- Objetivos específicos del sistema de medición;
- 5.- Características nominales de los medidores disponibles en el mercado-calidad de los medidores;
- 6.- Costos.

#### 6.2.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA SELECCION DE LOS MEDIDORES.

##### CONDICIONES DEL LUGAR DE INSTALACION.

Entre estas condiciones se pueden destacar:

- 1.- Altitud.
- 2.- Agresividad del medio ambiente
- 3.- Disponibilidad de energía eléctrica
- 4.- Diámetro de las tuberías.
- 5.- Tipos de bridas
- 6.- Bases para su fijación y anclaje
- 7.- Cubiertas de protección.
- 8.- Facilidades para su montaje de conformidad con las exigencias para la instalación del aparato.

#### CARACTERISTICAS FISICAS Y CALIDAD DEL AGUA DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO.

La calidad del agua constituye uno de los factores que mejor debe analizarse cuando se realiza la selección de los medidores. Siempre se debe tener en mente que la precisión y sensibilidad del aparato pueden verse afectados por la calidad del agua.

Por otro lado, también es importante que el aparato se encuentre perfectamente compatibilizado con las condiciones físicas del agua en lo referente a:

- 1.- Peso específico.
- 2.- Viscosidad.
- 3.- Temperatura.
- 4.- Agresividad.
- 5.- Material sólido en suspensión.

#### CONDICIONES HIDRAULICAS DE FLUJO DEL AGUA.

Basicamente se consideran las siguientes:

- 1.- Caudales de trabajo
- 2.- Velocidades.
- 3.- Presiones.

4.- Sentido de flujo del líquido.

5.- Características del flujo (continuo, intermitente, etc.).

#### CARACTERÍSTICAS NOMINALES DE LOS MEDIDORES DISPONIBLES EN EL MERCADO-CALIDAD DE LOS MEDIDORES.

La decisión sobre uno u otro medidor debe tomarse teniendo en cuenta aspectos diferentes en cuanto a las características nominales de los aparatos disponibles en el mercado, compatibilizándolas con las condiciones de campo, así como en aspectos relacionados a la calidad de los productos.

En cuanto a las características nominales, se destacan aquellas que se refieren a la especificación de los aparatos:

1.- Diámetro nominal.

2.- Tamaño.

3.- Tipo.

4.- Serie.

5.- Rango de trabajo.

6.- Clase.

7.- Caudal mínimo nominal y columna diferencial correspondiente.

8.- Desempeño.

9.- Precisión.

10.- Sensibilidad.

11.- Accesorios.

Por otro lado la calidad del aparato debe ser muy bien definida en cuanto a su:

1.- Precisión y sensibilidad.

2.- Desempeño y funcionamiento.

3.- Vida útil.

4.- Accesorios.



- 5.- Conexiones de acople.
- 6 - Materiales de los componentes.
- 7.- Acabado.
- 8.- Protección del aparato, del operador y del proceso.

#### COSTO DE MEDIDORES.

Al analizar el costo de los medidores se debe considerar no solamente el costo de adquisición de los mismos, sino también el costo total capitalizado a lo largo del periodo de diseño.

Se deben considerar los siguientes costos:

- 1 - De adquisición.
- 2 - De instalación.
- 3 - Consumos (energía eléctrica, materiales para su mantenimiento).
- 4 - Piezas de repuesto.
- 5 - Gastos de mantenimiento y reparación.
- 6 - Vida útil.

#### 6.3 CRITERIOS GENERALES PARA LA INSTALACION Y OPERACION DE MEDIDORES.

##### 6.3.1 MEDIDORES DE CAUDAL (ELEMENTO PRIMARIO).

La instalación y el montaje de estos medidores es relativamente simple. Sin embargo, deben tomarse las siguientes precauciones:

- a) Cuando se ponen en funcionamiento nuevas instalaciones, o después de que se han hecho reformas, se debe dejar drenar el sistema antes de instalar los medidores.
- b) Al pasar el líquido por el medidor, no debe alterarse ninguna de las características físicas del fluido.
- c) El medidor debe limpiarse cuidadosamente antes de instalarse.
- d) Los medidores no deben instalarse en el punto más alto de la tubería, donde puede acumularse aire.

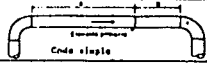
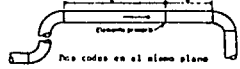
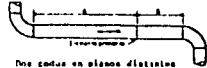
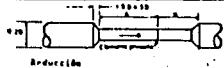
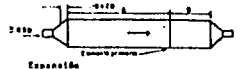
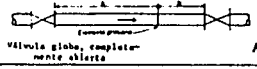
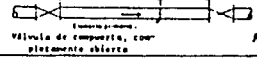
Accesorio Aguas Arriba	Dimensión	Aparato	d/D						
			0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75
	A	Orificios Toberas Venturi	14 16 18	20 26 36	0.5 0.5 1.5	3 4 4.6			
	A	Orificios Toberas Venturi	14 16 18	20 26 36	1.5 1.5 2.5	3.3 4.5 4.5			
	A	Orificios Toberas Venturi	34 34 36	40 48 62	0.5 0.5 8.5	17.5 27.5 29.5			
	A	Orificios Toberas Venturi	5 5 5	6 9 14	0.5 2.5 5.5	8.5 10.5 11.5			
	A	Orificios Toberas Venturi	16 16 16	18 22 30	1.5 1.5 2.5	3.5 5.5 6.5			
	A	Orificios Toberas Venturi	18 18 20	22 26 32	2.6 2.6 3.6	3.6 4.6 5.6			
	A	Orificios Toberas Venturi	12 12 12	12 14 20	1.5 2.5 3.5	4.5 5.5 5.5			
Longitud aguas abajo para todos los accesorios mostrados	B	Orificios Toberas Venturi	4 5 6	6 7 7	6 6 7	7 7 8			

TABLA 6A. LONGITUDES RECTAS DE ACUERDO A LA NORMA ISO 5167 PARA ORIFICIOS, TOBERAS, TOBERA VENTURI ISA, Y VENTURI EN DIAMETROS DE TUBERIA " D " MULTIPLES.

e) Los medidores siempre deben estar llenos de agua. En el caso de salida libre, aguas abajo del medidor, la tubería debe elevarse hasta la cabeza del mismo.

- f) Al instalar un medidor en la tubería, se debe tener el cuidado de que las juntas de las bridas no se proyecten en la tubería.
- g) El medidor debe instalarse correctamente en relación al sentido del flujo del líquido.
- h) El medidor debe ubicarse concéntricamente a la tubería, sin forzar el medidor ni la tubería.
- i) En el lugar donde se instala el medidor debe existir siempre una presión superior a la diferencial producida por el medidor.
- j) El medidor debe colocarse en un tramo de tubería libre de perturbaciones en el flujo, tales como pulsaciones u ondulaciones.
- k) El medidor debe ubicarse en el eje horizontal de la tubería, entre dos tramos rectos y cilíndricos, en los cuales no haya obstrucciones o derivaciones, aunque no haya flujo de agua de/o para tales derivaciones. Las únicas conexiones que se admiten, en el caso de los medidores diferenciales, son los drenajes y las tomas de presión.
- l) El medidor debe instalarse entre dos bridas de la tubería.
- m) Cuando existen conexiones y/o accesorios en la tubería, se debe asegurar entre estos y el medidor una tubería rectilínea del mismo diámetro del medidor. (Ver tabla 6A).

LONGITUD MINIMA DE TUBERIA RECTA AGUAS ARRIBA DEL MEDIDOR

Conexión	Longitud (D)
Después del codo o té	5 D
Después de dos codos o 1 té + 1 codo	25 D
Después de la válvula	12 D

TABLA 6B. LONGITUD MINIMA DE TUBERIA RECTA AGUAS ARRIBA PARA MEDIDORES DE TURBINA.

## -- MEDIDORES MAGNETICOS.

Para este tipo de medidor no hay necesidad de que existan tramos rectos de tubería, pudiendo inclusive instalarse en tuberías verticales.

### 6.3.2 MEDIDORES SECUNDARIOS DE PRESION DIFERENCIAL.

#### TUBERIA DE CONEXION.

##### a) Tubería.

La tubería de conexión del elemento primario al manómetro diferencial debe ser lo más corta posible, de preferencia con menos de 15 metros. Se admiten longitudes de hasta 30 metros para algunas aplicaciones. No se admiten longitudes mayores en ninguna circunstancia.

Es recomendable el uso de tubos de cobre para la conexión manómetro/elemento primario, aunque también pueden utilizarse tubos de acero. Se pueden establecer algunas sugerencias en cuanto al diámetro de los tubos en función de la longitud de la conexión: hasta 15 metros se pueden usar tubos de 1/2" de diámetro; arriba de 15 metros se prefieren tubos de 3/4" de diámetro.

Es recomendable tener, en lo posible, un declive en la tubería de conexión del elemento primario al manómetro. El declive mínimo considerado para tramos horizontales debe ser de 3" por cada 3 metros, en tubos de cobre no flexibles o de acero, y un mínimo de 10" por 3 metros en tubos flexibles de cobre. No es recomendable el uso de tubos de cobre flexibles para longitudes mayores de 15 metros, debido a la dificultad para alinear el tubo y para evitar que se formen bolsas.

No se puede aceptar ninguna fuga en las tuberías entre el elemento primario y el manómetro. La existencia de una fuga podría provocar errores en la medición.

##### b) Válvulas.

Deben usarse válvulas de compuerta en tuberías horizontales y válvulas de globo o aguja en las tuberías verticales.

Un múltiple, incluyendo tres válvulas para conexión al manómetro, es proporcionado con cada instrumento cuando se especifica en el pedido.

- c) Precauciones para instalación de manómetros metálicos  
(Sólo cuando se usen manómetros diferenciales de mercurio en la misma instalación)

Cuando se usen manómetros metálicos conjuntamente con manómetros diferenciales de mercurio, se recomienda que la tubería de presión estática del manómetro metálico se conecte a una toma separada instalada en la red o en la toma de presión del elemento primario. Evitar hacer conexiones directamente al manómetro diferencial o en su múltiple, esto debido a que el diafragma o el elemento de presión helicoidal son hechos con conexiones de cobre, plata, etc., los cuales son atacados rápidamente por el mercurio o por sus vapores. Al momento de hacer las conexiones, asegurarse de que el mercurio escapado accidentalmente, no sea drenado al sensor de presión.

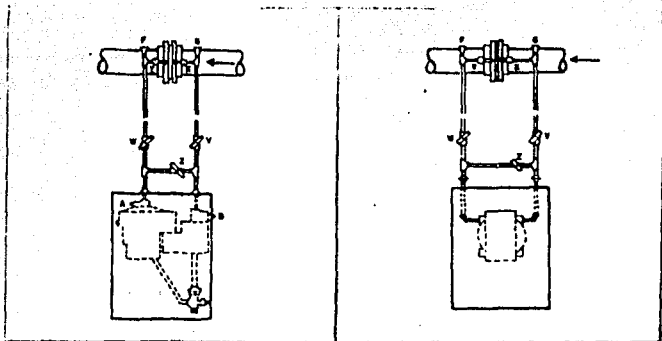
#### LLENADO DE LA TUBERÍA DE CONEXIÓN.

- a) Secundario abajo del primario.

Con las válvulas X e Y cerradas, abra las válvulas V, W y Z. Remueva los tapones A y B, y las ventosas F y G. Llenar, con el fluido de la red, alternadamente, en los puntos A y B hasta completar. Recolocar los tapones A y B. Llenar las tuberías en los puntos E y G, hasta que el líquido se rebalse, dando pequeños golpes en los tubos de manera de que desaparezcan las burbujas y salga el aire. Recolocar las ventosas F y G. Asegurarse de que todo el aire haya sido extraído del sistema. Cuando el sistema se encuentre completamente lleno y se haya expulsado todo el aire, de acuerdo a lo antes expuesto, la pluma del puntero debe detenerse ligeramente arriba del cero por el efecto de fluctuación que ejerce el fluido sobre el fluctuador. Recolocar la pluma (o puntero) en cero, a través del ajuste micrométrico de la pluma. Verificar que las ventosas F y G estén cerradas. El secundario estará ahora listo para su uso. (Ver fig. 6 1).

- b) Secundario arriba del primario.

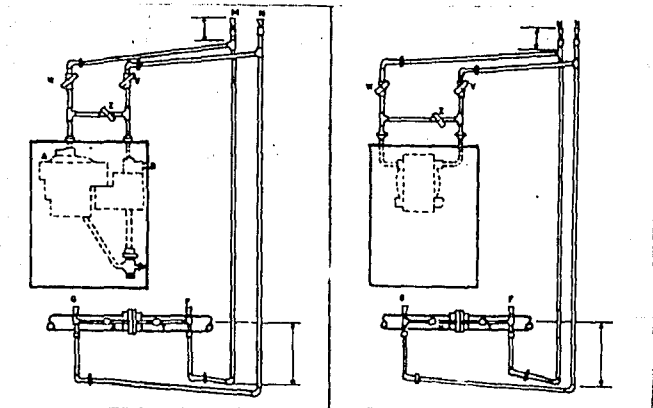
Con las válvulas X e Y cerradas, abra las válvulas V, W y Z. Remueva los tapones A y B, y las ventosas F, G, M y N. Llene la tubería con el fluido de la red alternadamente en los puntos A y B, hasta que esté completa. Recolocar los tapones A y B. Llene las tuberías en los puntos F y G hasta que el líquido se rebalse, golpeando ligeramente en los tubos de manera que las burbujas desaparezcan y se expulse el aire. Recolocar las ventosas F y G. Llenar la tubería en los puntos M y N, con el fluido de la red hasta que el líquido se rebalse, golpeando ligeramente hasta retirar las burbujas de aire. Asegurarse de que todo el aire sea



Manómetro diferencial en U con mercurio para uso en la medición de líquidos (secundario abajo del primario)

Manómetro diferencial tipo Bellows para uso en la medición de líquidos (secundario abajo del primario)

FIGURA 6.1 SECUNDARIO ABAJO DEL PRIMARIO.



Manómetro diferencial en U con mercurio para uso en la medición de líquidos (secundario arriba del primario)

Manómetro diferencial tipo Bellows para uso en la medición de líquidos (secundario arriba del primario)

FIGURA 6.2 SECUNDARIO ARRIBA DEL PRIMARIO.

expulsado del sistema. Recolocar las ventosas M y N. Verificar si todas las ventosas están cerradas.

El secundario está ahora listo para su uso. (Ver fig. 6.2).

#### PARTIDA.

Con las válvulas K, Y, U y W cerradas, y con la válvula Z abierta, abra las válvulas X e Y lo bastante como para presurizar las tuberías de conexión; abra luego totalmente las válvulas K e Y. Suelte la válvula U y ábrala lentamente hasta que la pluma alcance a ambos lados del sensor del manómetro. La pluma quedará en cero. Cierre la válvula Z. Abra lentamente, hasta el fin, la válvula W. El secundario estará ahora listo para indicar o registrar, conforme sea el caso.

#### COMO DESCONECTAR EL SECUNDARIO.

Cierre la válvula W. Abra la válvula Z lentamente hasta equalizar las presiones en el sensor: en esta condición la pluma debe moverse hacia el cero. Cierre la válvula U. El secundario quedará ahora desconectado. Si se tuviera que hacer algún trabajo en la tubería de conexión, cierre las válvulas X e Y.

Se debe tener cuidado de no desconectar el manómetro diferencial de la tubería sin antes cerrar las válvulas W y U y abrir la Z. No se debe desconectar ninguno de los tubos de la tubería de conexión sin antes cerrar las válvulas X e Y.

#### 6.3.3 MEDIDORES DE PRESION Y DE NIVEL.

Estos tipos de medidores requieren menos cuidado en su instalación que los medidores de caudal; no obstante, sería adecuado atender las siguientes recomendaciones:

a) En el momento de la instalación, verificar que el equipo sea el apropiado, principalmente en lo que se refiere a:

- 1.- Compatibilidad del rango de trabajo con el del proceso,
- 2.- Compatibilidad entre los materiales de los componentes del instrumento y del proceso.

b) Entre la conexión del proceso y el instrumento, se recomienda utilizar accesorios que protejan el instrumento en caso de un aumento repentino de presión, así como que permitan removerlos sin que se interrumpa el proceso.

- c) Se deben tomar precauciones en el manejo y en la conexión al proceso, procurando en todo momento evitar daños al mecanismo interno del instrumento.
- d) Los medidores instalados en estaciones de bombeo (succión o bombeo) deben instalarse en un panel o pared, y conectarse a la tubería a través de una tubería de diámetro pequeño a fin de evitar que el aparato sufra desgaste por la vibración mecánica.



## CAPITULO VII : MEDIDORES DE CAUDAL

Todo sistema de medición de flujo puede considerarse formado por dos partes distintas, cada una de las cuales con una función distinta.

La primera (elemento primario), es la parte que está en contacto con el fluido y proporciona algún tipo de interacción, la segunda (elemento secundario), es la parte que transforma esas interacciones en lecturas o registros.

Entre los principales medidores primarios en conductos a presión tenemos los siguientes:

- 1.- Medidor deprimógeno.
  - 1.1 Venturi (corto y largo).
  - 1.2 Tobera.
- 2.- Medidor tubo de pitot.

En los conductos libres se usa otro tipo de medidores como el Parshall. (Ver anexo I).

Estos medidores son de los más manejados a nivel comercial, por lo que su construcción y distribución es llevada a cabo por grandes compañías especialistas en el ramo. (Ver anexos II y III).

### 7.1 MEDIDOR DEPRIMÓGENO.

Los medidores deprimógenos son medidores de caudal que consisten básicamente de una reducción gradual o brusca de la sección del flujo en movimiento, ocasionando con esto un aumento de velocidad y una disminución de la presión en el fluido. De la relación existente entre la variación de presión y la velocidad, es posible cuantificar el caudal del escurrimiento.

De los medidores deprimógenos destacan el venturi largo (Hershell Standard), venturi corto (Drivent) y la tobera.

Aunque el principio de funcionamiento de estos medidores es el mismo, la geometría constructiva de cada uno impone diferencias básicas en el comportamiento hidráulico del fluido al atravesar el medidor, como lo es la pérdida de carga. (Ver fig. 7.1)

Matemáticamente la relación del diferencial de presión con la velocidad del escurrimiento para determinar el caudal está definida por:

$$V = C \sqrt{2gh} \quad \text{y} \quad Q = VA$$

$$Q = CA \sqrt{2gh}$$

Donde:

V = velocidad en la sección mínima (m/seg).

Q = caudal (m<sup>3</sup>/seg).

C = constante de calibración del elemento primario, adimensional.

A = área de la sección mínima, garganta (m<sup>2</sup>).

g = aceleración de la gravedad (m/seg<sup>2</sup>).

h = diferencial de presión (m).

Esta ecuación es aplicable a flujos no compresibles y con las condiciones siguientes:

- 1.- El flujo debe ser homogéneo y de características físicas conocidas.
- 2.- Debe conocerse con precisión los caudales, temperatura y presión del fluido.
- 3.- El conducto debe trabajar a presión (tubo lleno).

#### 7.1.1 MEDIDOR PRIMARIO TIPO VENTURI.

Cuando un fluido escurre a través de un conducto de sección transversal variable, su velocidad varía de punto a punto a lo largo del conducto. Si la velocidad aumenta, la energía cinética se incrementa a expensas de la energía de presión, si la velocidad disminuye, el conducto es llamado difusor y la energía de presión se incrementa a expensas de la energía cinética. Si la sección transversal de una tobera decrece continuamente desde la entrada hasta la salida, se le llama convergente, y si se incrementa continuamente se llama divergente. La sección transversal de un difusor puede incrementarse o decrecer dependiendo si el fluido es supersónico o subsónico. Un venturi es una tobera convergente seguida por un difusor subsónico. La región de mínima sección transversal se llama "garganta". Diferentes geometrías de venturis han sido desarrolladas a través de los años, siendo uno de los más comunes el venturi largo (Hershell Standard). (Ver figs. 7.2 y 7.3).

El medidor venturi es uno de los medidores de flujo más precisos, pero no es común usarlo por algunas causas, una de las cuales es su costo. El venturi causa una muy baja pérdida de carga y con las precauciones debidas, se puede usar para líquidos con determinadas concentraciones de sólidos.

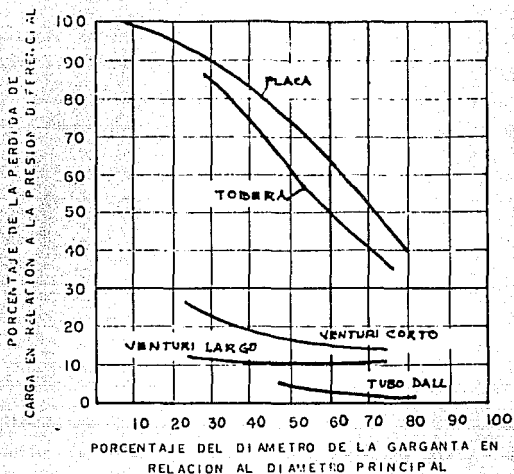


FIGURA 7.1 GRÁFICA DE PÉRDIDA DE CARGA EN MEDIDORES DEPRIMOGÉNICOS.

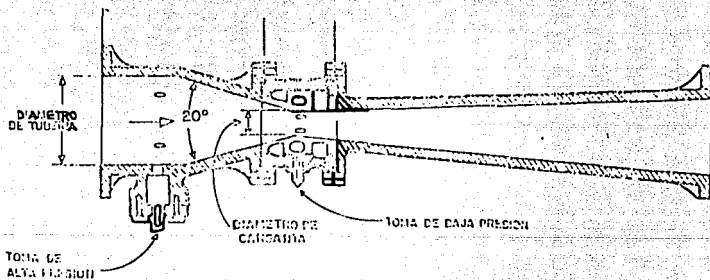


FIGURA 7.2 TUBO MEDIDOR VENTURI LARGO (HERSCHEL STANDARD).

Es importante que el flujo entrando al venturi sea de turbulencia uniforme y libre de altas o bajas áreas de presión. Por este motivo, un tramo largo continuo con tubería recta aguas arriba de la localización del venturi es recomendable para la precisión en la medición del flujo. Los requerimientos de tubería recta dependen del accesorio aguas arriba del medidor, por ejemplo: codos, válvulas de globo o compuerta, ampliaciones, reducciones, etc., y de la relación del diámetro de la garganta y el diámetro de la tubería. Normalmente, el tramo recto deseable puede ser desde 5 a 20 veces el diámetro de la tubería. Las condiciones aguas abajo del venturi son de efectos menores en su funcionamiento.

La presión diferencial de un venturi puede medirse usando columnas de mercurio, manómetro diferencial "U", etc. Se recomienda que cada venturi se calibre en el sitio para tener la precisión estándar. La precisión es afectada por cambios en densidad, temperatura, presión, viscosidad y por características de la instalación. Bajo condiciones ideales un venturi puede tener precisión de  $\pm 0.5\%$  de la lectura, pero la precisión más común alcanza  $\pm 1$  a  $2\%$ .

#### Ventajas del medidor venturi:

- 1.- Precisión.
- 2.- No obstruye el flujo.
- 3.- Con pérdida de carga baja.
- 4.- Poco efecto si se tienen sólidos en movimiento.
- 5.- Confiable y simplicidad de diseño.
- 6.- Resistente.
- 7.- Calibración sencilla.
- 8.- No tiene partes móviles.
- 9.- Su mantenimiento no requiere de la interrupción del flujo.

#### Desventajas del medidor venturi:

- 1.- Rango de operación limitado.
- 2.- Requerimientos de longitud en su instalación, comparado con otros medidores.
- 3.- Restricciones en su instalación.

4.- Alto costo.

#### 7.1.2 MEDIDOR PRIMARIO TIPO TOBERA

El diseño típico de una tobera es con una entrada cónica y garganta, como en un venturi, pero carece de difusor (Ver figs. 7.4 y 7.5) Esta omisión afecta principalmente la recuperación de carga. En general, son muy sensibles a las turbulencias aguas arriba y se requieren 20 o más diámetros de línea de conducción recta para una operación satisfactoria.

En el caso de flujos con suspensión de sólidos, la precisión de la tobera es muy similar a la del venturi, especialmente cuando es calibrado en sitio.

Es posible usar la tobera cuando una tubería descarga libremente a la atmósfera. En estos casos, sólo se requiere el orificio de alta presión.

Ventajas de la tobera:

- 1.- Precisión.
- 2.- No obstruye el flujo.
- 3.- Poco efecto si se tienen sólidos en movimiento.
- 4.- No tiene partes móviles en contacto con el agua.
- 5.- Su mantenimiento no exige interrupción del flujo.
- 6.- Resistente.
- 7.- Calibración sencilla.

Desventajas de la tobera:

- 1.- Rango de operación limitado.
- 2.- Requerimientos de longitud en su instalación.
- 3.- Bajas recuperación de carga.

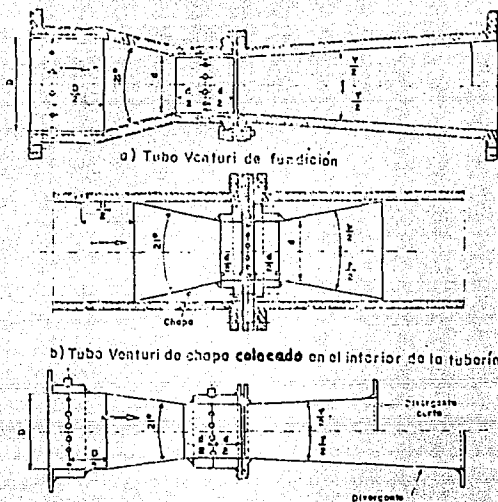


FIGURA 7.3 EJEMPLOS DE DIMENSIONES CONSTRUCTIVAS Y MATERIALES PARA TUBO MEDIDOR VENTURI.

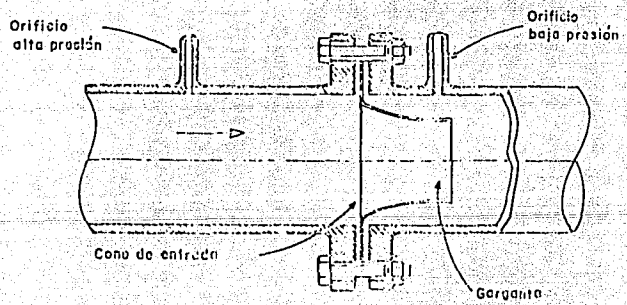


FIGURA 7.4 INSTALACION TIPICA DEL MEDIDOR TIPO TOBERA.

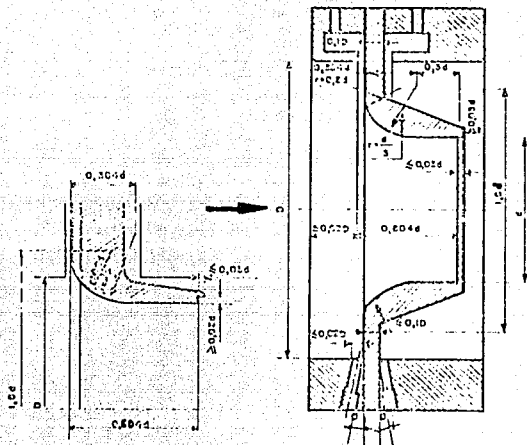


FIGURA 7.5 EJEMPLO DE DIMENSIONES CONSTRUCTIVAS PARA MEDIDOR TIPO TOBERA ISA - 1932

## 7.2 MEDIDOR TUBO DE PITOT

El medidor pitot está compuesto básicamente de dos tubos, uno de los cuales capta la carga de impacto o de alta presión (suma de la carga dinámica y carga de presión) y el otro tubo capta la baja presión (carga de referencia). 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.

La relación de la carga dinámica con la velocidad del fluido para determinar el caudal está definida por:

$$V = C \sqrt{2gh} \quad \text{y} \quad Q = VA$$

$$Q = CA \sqrt{2gh}$$

La ecuación es aplicable a flujos no compresibles y con las siguientes condiciones:

- 1.- El flujo debe ser homogéneo y de características físicas conocidas.
- 2.- Las condiciones del flujo (diámetro de la tubería, temperatura y presión del fluido) deben ser determinados con precisión.
- 3.- La tubería debe trabajar a presión (tubo lleno).

#### 7.2.1 TUBO DE PITOT SIMPLEX.

Las principales características del pitot simplex son:

- 1.- Los orificios de presión están compuestos por tres orificios calibrados: un orificio de impacto (colocado de frente al flujo) y dos orificios de referencia, ubicados en lados opuestos, cada uno de los cuales forman un ángulo de  $90^\circ$  con el orificio de impacto. (Ver fig. 7.6).

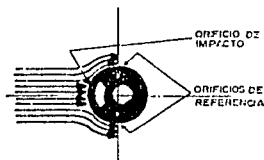


FIGURA 7.6 SECCION TRANSVERSAL EN LOS ORIFICIOS.



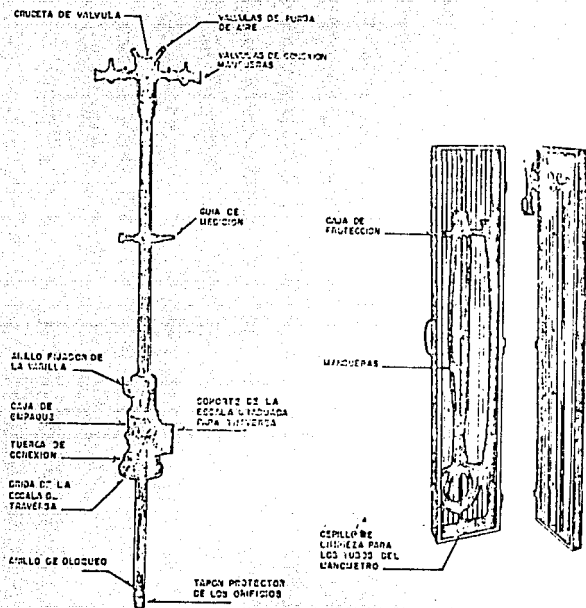


FIGURA 7.7 PITOMETRO SIMPLEX Y MANOMETRO DIFERENCIAL

2.- Los orificios de presión son fijos y forman parte de la varilla del tubo pitot.

(+) Cuando se gira la varilla del tubo pitot simplex en un ángulo de  $180^\circ$ , la deflexión se anula porque no existe presión diferencial entre los orificios de referencia e impacto.

### 7.2.2 TUBO DE PITOT MODIFICADO (TIPO ANNUBAR)

Este tipo de medidores son una innovación del tubo de pitot, tiene precisión aceptable, y son sencillos en su instalación, operación y mantenimiento. (Ver fig. 7.8).

El pitot modificado consta de cuatro partes básicas:

- 1.- Los sensores de alta presión formados por cuatro orificios de impacto aguas arriba, los cuales promedian las presiones de impacto de la sección transversal. (Ver fig. 7.9).
- 2.- El tubo interpolador insertado dentro del sensor de alta presión. Transmite continuamente el promedio de la carga de impacto detectada por los cuatro orificios sensores. La carga de impacto es la suma de la carga debida a la velocidad del fluido y la presión estática. (Ver fig. 7.9).
- 3.- Sensor de baja presión, situado aguas abajo. La diferencia entre la alta presión del tubo interpolador y la baja presión del orificio posterior es proporcional a la velocidad del flujo conforme el teorema de Bernoulli. (Ver fig. 7.9).
- 4.- La parte superior del instrumento transmite el diferencial de presión al indicador u otro dispositivo secundario, como el transmisor, registrador o control, donde se transforma la presión diferencial en caudal. (Ver fig. 7.9).

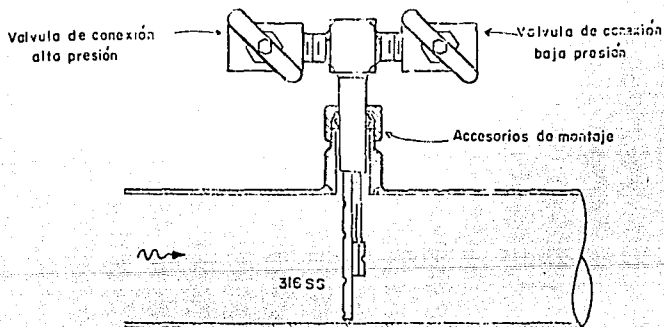
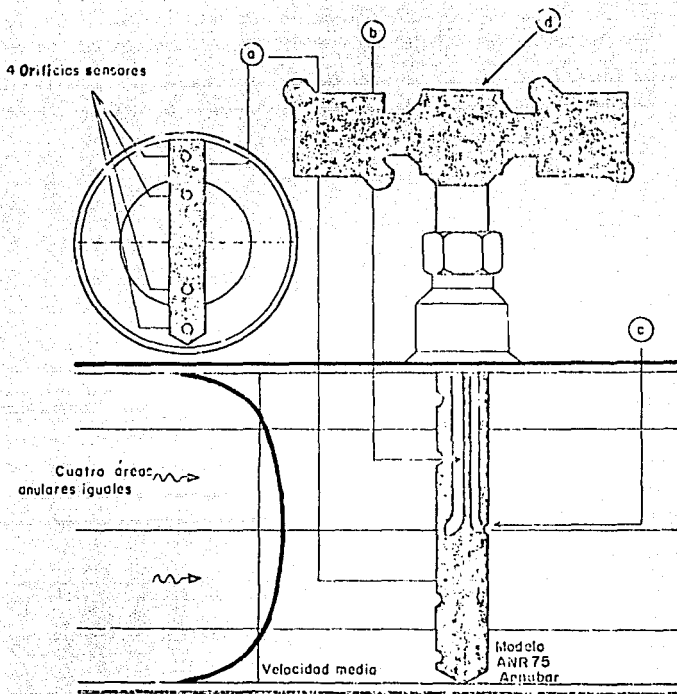


FIGURA 7.8 TUBO DE PITOT MODIFICADO TIPO ANNUBAR  
(INSTALACION USUAL)



- A. Orificios sensores.
- B. Tubo interpolador
- C. Sensor de baja presión
- D. Válvulas.

FIGURA 7.9 COMPONENTES DEL TUBO DE PITOT MODIFICADO.

La correcta localización del pitot modificado en el conducto es importante porque la turbulencia producida en el flujo por el conducto puede afectar la precisión de la medición. (Ver fig. 7.10).

Es recomendable usar conductos rectos largos de diámetro uniforme aguas arriba y aguas abajo, garantizando que la medición del flujo sea con características ampliamente apropiadas. En muchos casos el rectificador de flujo puede usarse para reducir la longitud recta requerida del conducto. (Ver tablas 7A y 7B).

La precisión de este tipo de medidor es de  $\pm 1.0\%$  en condiciones de instalación adecuadas. La pérdida de carga que origina es baja.

Es recomendable el acero inoxidable en la construcción de estos medidores con el fin de evitar la corrosión.

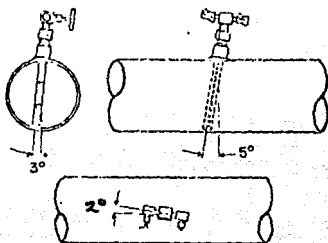


FIGURA 7.10 DESALINEACIONES PERMISIBLES EN LA INSTALACION DEL TUBO DE PITOT MODIFICADO.

Las ventajas del uso y construcción del tubo pitot modificado son:

- 1.- Es económico.
- 2.- Para su instalación se requiere únicamente una perforación de  $\phi 1"$  en la tubería donde va a ser instalado.
- 3.- Instalación rápida y sencilla.
- 4.- Sin problemas para traslado o transporte.
- 5.- Puede instalarse en cualquier tipo de tubería.
- 6.- Precisión aceptable.
- 7.- Pérdida de carga baja.
- 8.- Posibilidad de instalarlo aún con la tubería en operación.

Al mismo tiempo se pueden llegar a considerar las siguientes precauciones en la fabricación e instalación del medidor de tubos pitot modificado:

- 1.- Instalar el elemento primario perpendicular a la tubería de conducción, correctamente centrado.
- 2.- Alinear el eje de los orificios de impacto para que sean perpendiculares al sentido del flujo.
- 3.- Cerciorarse que el orificio de impacto cercano a la superficie de la tubería, por donde se introduce el medidor, no esté obstruido por la misma tubería.
- 4.- Evitar irregularidades en el acabado superficial del medidor y orificios, que puedan producir alteraciones en la medición.

El medidor se puede calibrar en laboratorio, sin embargo, si se cuenta con equipo de pitometría, se puede calibrar en el sitio de instalación.

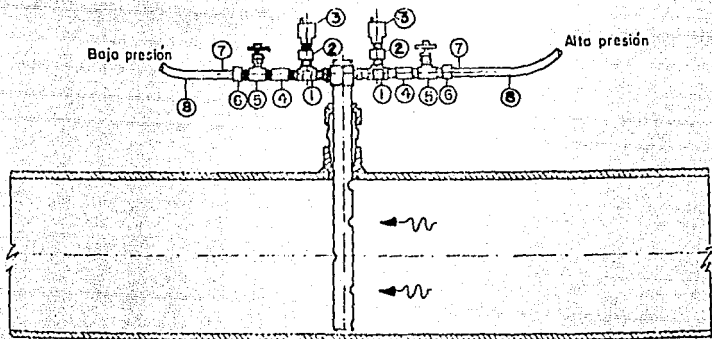


FIGURA 7.11. INSTALACION TIPICA DE UN TUBO DE PITOT MODIFICADO.

INSTALACION DE UN TUBO DE PITOT MODIFICADO (COMPONENTES):  
(Ver fig. 7.11).

- 1.- Te de  $\varnothing$  1/2" FoFo compatible con el diámetro de salida del elemento primario.

	DIMENSIONES AGUAS ARRIBA					DIMENSIONES AGUAS ABAJO
	Sin rectificador		Con rectificador			
	En plano	Fuera de plano	a	C	C	
	7	9				3
			6	3	3	
	9	14				3
			8	4	4	
	19	24				4
			9	4	5	
	8	8				3
			8	4	4	
	8	8				3
			8	4	4	
	24	24				4
			9	4	5	

TABLA 7A\* DISTANCIAS MINIMAS EN LAS CONDUCCIONES PARA LA INSTALACION DEL ANNUBAR.

Diámetro nominal de la línea	Factor de corrección
14"	1.36
16"	1.32
18"	1.28
20"	1.26
24"	1.22
30"	1.19
36"	1.19
42"	1.19
48"	1.18
60"	1.18
72"	1.18

TABLA 7B FACTORES DE CORRECCION DEL DIFERENCIAL DE PRESION PARA ANNUBARES MODELO 85/86.

- 2.- Reducción Bushing de  $\phi$  1/2" x 1/4" compatible con la salida del elemento primario.
- 3.- Válvula expulsora de aire Brauckman o similar.
- 4.- Niple de  $\phi$  1/2" x 2" de longitud o compatible con la salida del elemento primario.
- 5.- Válvula de paso.
- 6.- Reducción Bushing de  $\phi$  1/2" x 1/4".
- 7.- Niple espiga de  $\phi$  1/4".
- 8.- Manguera de alta presión de  $\phi$  1/4", reforzada.

### 7.3 MEDIDOR ELECTROMAGNETICO.

El principio fundamental de operación del medidor electromagnético se basa en la ley de Faraday, que dice: "El voltaje inducido en un conductor, que se desplaza a través de un campo magnético, es proporcional a la velocidad de ese conductor".

Dos bobinas, colocadas una a cada lado del cuerpo del medidor, son excitadas por una corriente alterna u otra fuente intermitente, produciendo así 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, sufriendo una inducción de voltaje que es percibida por dos electrodos diametralmente opuestos y perpendiculares al campo magnético (Ver figs. 7.12 y 7.14). Este voltaje inducido y captado por los dos electrodos es medido, haciendo posible así la obtención de la velocidad del agua a través de la relación: la magnitud de la fuerza electromotriz inducida, E, es proporcional a la densidad del flujo, B, del campo magnético, multiplicado por la velocidad del agua, v.

$$E \sim B \cdot v$$

Las principales ventajas de este medidor son:

- 1.- No posee partes móviles en contacto con el agua.
- 2.- Una pequeña longitud de tramo recto aguas arriba, normalmente de cinco diámetros, es solicitado por el fabricante.
- 3.- Pérdida de carga ínfima. (Ver fig. 7.13).

4.- La señal de salida de un medidor electromagnético es lineal con el caudal, lo que simplifica los circuitos de generación de señales, en comparación a los medidores que provocan presión diferencial.

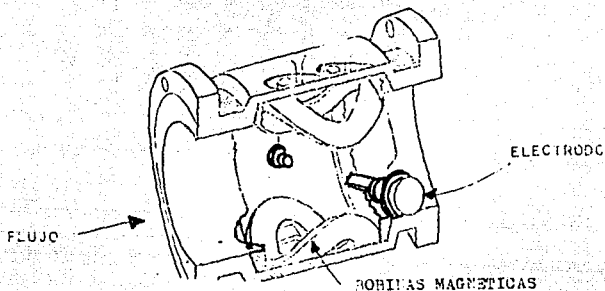
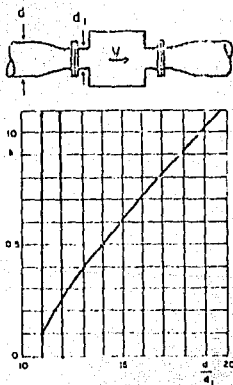


FIGURA 7.12 COMPONENTES DE UN MEDIDOR ELECTROMAGNETICO

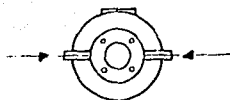
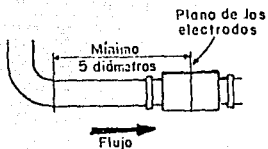
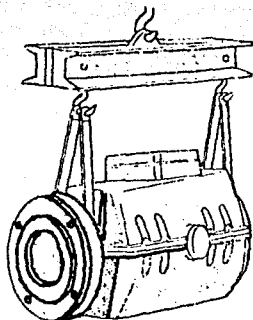
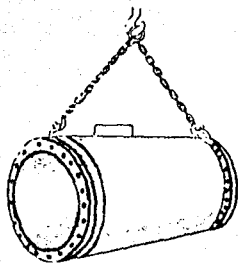


$$\Delta P = K \cdot \rho \cdot v^2$$

- $\Delta P$  = Pérdida de carga en inbar
- $\rho$  = Masa específica del líquido (kg/l)
- $v$  = Velocidad (m/s)
- $\frac{d}{d_1}$  = Relación entre diámetro del conducto y diámetro del medidor

FIGURA 7.13 PERDIDA DE CARGA EN MEDIDORES ELECTROMAGNETICOS.





Electrodos en posiciones opuestas  
en un mismo diámetro

FIGURA 7.14 INSTALACION DE LOS MEDIDORES ELECTROMAGNETICOS.

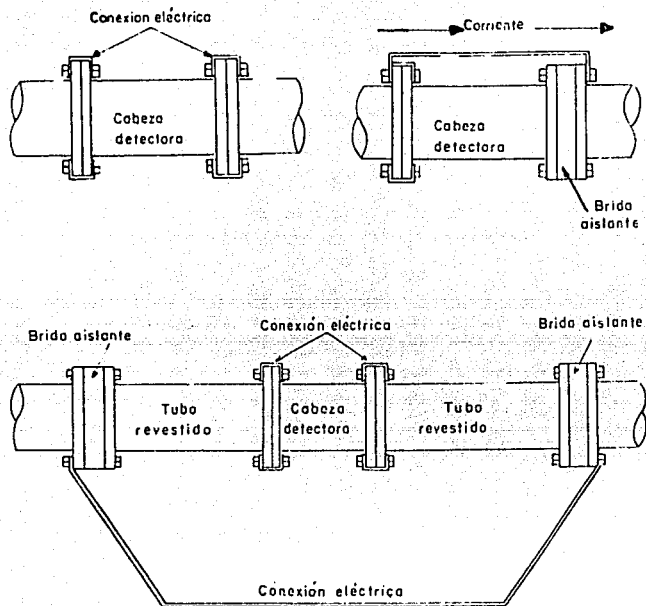


FIGURA 7.15 PRECAUCIONES CONTRA INTERFERENCIA ELECTRICA EN LOS MEDIDORES ELECTROMAGNETICOS.

5.- Error de  $\pm 0.5\%$ .

Las principales desventajas son:

1.- Alto costo inicial.

2.- Necesidad de mano de obra especializada para su instalación,

calibración y mantenimiento.

- 3.- Requiere cuidados con respecto a las fuentes de energía externa que pueden provocar distorsiones en la operación normal del equipo. (Ver fig. 7.15).
- 4.- Necesidad de mantenimiento periódico en los electrodos, pues las partículas metálicas que son arrastradas por el agua se van depositando allí, después de algún tiempo, interfieren en la medición. Este efecto puede ser minimizado evitándose bajas velocidades y utilizando revestimientos adecuados.

#### 7.4 MEDIDOR MAGNÉTICO DE FLUJO MAG X.

Este medidor magnético de flujo es un equipo compacto para medir la velocidad de flujo de líquidos obteniéndose a través de él una lectura de flujo volumétrico. Asimismo incorpora la forma de longitud corta, diseño encapsulado de las bobinas, además un principio exclusivo electrónico que es llamado diseño Mag-X. (Ver fig. 7.16).

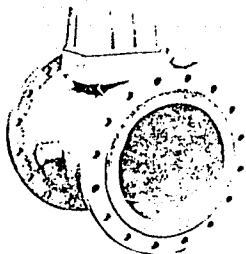
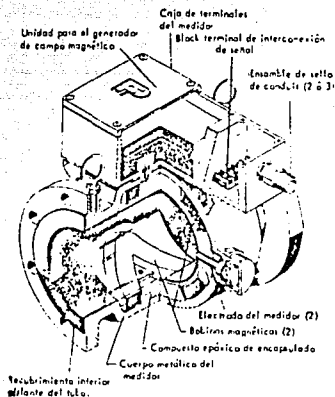


FIGURA 7.16 MEDIDOR MAGNÉTICO DE FLUJO MAG X.

Siendo este medidor de flujo Mag-X del tipo que no ofrece ninguna obstrucción al paso del fluido en su diseño, este puede ser empleado para medir líquidos sin que en ninguna forma le afecten los cambios en la viscosidad o en la densidad del fluido. A partir de un diseño patentado, las bobinas del medidor del flujo son energizadas por una unidad Mag-X integralmente montada. Esta característica en su diseño asegura una estabilidad continua de su cero. La señal del medidor de flujo es procesada por un convertidor de señal asociado o por un instrumento indicador y registrador de caja estándar.

Tamaño (pulgadas)	Peso (Kg)
6	56
8	79
10	81
12	112
14	146
16-18	205
20	280
24	380
30	630
36	900
42	1260
48	1755

TABLA 7C  
PESO (APROXIMADO) DEL  
MEDIDOR MAG - X.

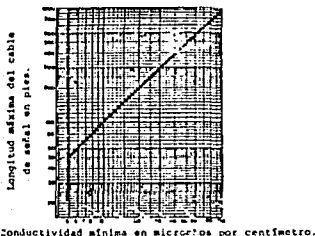


FIGURA 7.17  
GRAFICA DE CONDUCTIVIDAD

Tamaño del Medidor (pulgadas)	100°F	200°F
6	17 pulg.Hg.	10 pulg.Hg.
8	17 pulg.Hg.	10 pulg.Hg.
10	15 pulg.Hg.	7 pulg.Hg.

TABLA 7D LÍMITES DE TEMPERATURA PARA OPERACION EN VACÍO USANDO MEDIDORES RECUBIERTOS INTERIORMENTE DE TEFLON (TFE).

El medidor del flujo puede ser orientado a cualquier ángulo en la tubería de su montaje. Sin embargo deben ser tomadas las precauciones necesarias para asegurar que el tubo de medición se encuentre totalmente lleno en todo tiempo durante la medición.

Se recomienda su montaje vertical, con la dirección del flujo hacia arriba y los electrodos sobre un plano horizontal. Cuando se use tubería de proceso aislada o de tipo no metálico, el medidor magnético de flujo deberá ser aterrizado al fluido de proceso tanto a la entrada como a la salida.

#### INSTRUCCIONES DE MONTAJE.

- A) Para montaje en tubo. Abrazadera para conexión a 2" (50.8 mm) para tubo vertical u horizontal. (Ver fig. 7.18 A)
- B) Montaje en tablero. Puede ejecutarse quitando la abrazadera de la caja. Se monta la caja a ras contra la pared o tablero, se insertan los tornillos de modo que se fije firmemente la caja. (Ver fig. 7.18 B).

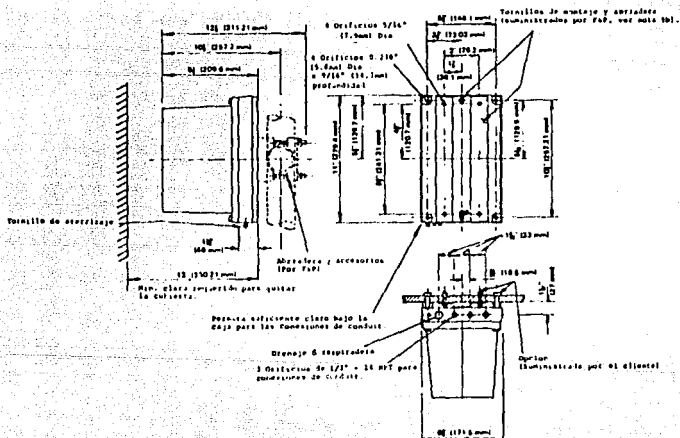


FIGURA 7.18 A) Montaje en tubería de 2". B) Montaje de tablero o pared.

## CONSTRUCCION DEL MEDIDOR MAGNETICO DE FLUJO MAG-K.

El medidor de flujo magnético consiste de un carrete de tubería de acero al carbono bridado el cual sirve como cuerpo medidor. Un par de bobinas magnéticas ovales y arqueadas se instalan opuestamente en la superficie exterior del cuerpo del medidor. Este carrete de tubería metálico permeable actúa como núcleo o trayectoria de retorno para el campo magnético generado por las bobinas. Las bobinas están embebidas con un compuesto a base de resinas epoxicas. Un recubrimiento interior aislado de neopreno, hule butílico, poliuretano o teflón se inserta y dobla contra las caras de las bridas. Dos electrodos cilíndricos son montados diametralmente opuestos en la porción central del cuerpo medidor y están completamente aislados del tubo metálico. Las superficies externas de los electrodos están virtualmente al ras con la superficie del recubrimiento interior aislante y se ponen en contacto con el fluido a ser medido. Con excepción de los medidores recubiertos de teflón los electrodos son reemplazables sin necesidad de remover el medidor de la tubería donde están instalados. Las interconexiones de la línea eléctrica de fuerza y voltaje de señal son hechas a través de ensamblajes sellados de conduit a un block barrera de terminales localizado en una caja de terminales metálica la cual está montada en el cuerpo de medición. El alambrado de los electrodos y de las bobinas

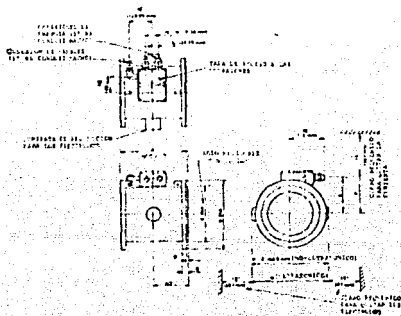


FIGURA 7.19. DIMENSIONES DEL MEDIDOR MAGNETICO DE FLUJO MAG - K.

TABLA 7E DIMENSIONES DEL MEDIDOR MAGNETICO DE FLUJO MAG-K

TAMANO Y RECUBRIMIENTO			A		B		C		D		E		F		G		H		
ins	mm	Spool Lining	PULGS	mm	PULGS	mm	PULGS	mm	PULGS	mm	PULGS	mm	PULGS	mm	PULGS	mm	PULGS	mm	
3	80	PTFE	12½	321.5	8½	209.8	4½	123.8	0.080	2.03	6½	158.8	8½	204.8	1½	30.91	11	279.4	
		NEO	13	330.2	9½	209.8				1	6.4	6½	158.8	8½	204.8	1½	34.9	11	279.4
4	100	PTFE	12½	323.1	10	254	6½	155.8	0.110	2.8	7½	183.3	9½	214.3	1.26	34.5	12	304.8	
		NEO	13	330.2	10	254				1	6.4	7½	183.3	9½	214.3	1½	38.1	12	304.8
6	150	PTFE	12½	325.4	12½	317.5	8½	209.8	0.160	4.1	7½	182.6	9	228.6	1.60	40.6	15½	400.1	
		NEO	13	330.2	12½	317.5				1	6.4	7½	182.6	9	228.6	1½	42.9	15½	400.1
8	200	PTFE	13½	351.6	15	381	10½	266.7	0.175	4.45	7½	200	9½	246.1	1.80	45.7	17	431.8	
		NEO	14	355.6	15	381				1	6.4	7½	200	9½	246.1	1½	47.6	17	431.8
9	—	PTFE	14½	377	18	406.4	11½	298.5	0.180	4.6	8½	212.7	10½	258.8	1.31	33.3	18	457.2	
		NEO	15	381	16	406.4				1	6.4	8½	212.7	10½	258.8	1½	34.9	18	457.2
10	250	PTFE	14½	377	17	431.8	12½	319.9	0.180	4.6	8½	212.7	10½	258.8	1.43	36.3	18	457.2	
		NEO	15	381	17	431.8				1	6.4	8½	212.7	10½	258.8	1½	34.9	18	457.2
12	300	PTFE	17½	454	19½	489	14½	365.9	0.185	4.7	9½	238.1	11½	284.2	1.44	36.6	20	508	
		NEO	18	457.2	19½	489				1	6.4	9½	238.1	11½	284.2	1½	38.1	20	508
14	350	PTFE	20½	531.8	21½	552.5	18½	412.8	0.220	5.6	10½	263.5	12½	309.6	1.6	40.6	22	558.8	
		NEO	21	537.4	21½	552.5				1	6.4	10½	263.5	12½	309.6	1½	41.3	22	558.8
16	—	PTFE	22½	569.9	22½	577.9	18½	468.7	0.220	5.6	11½	288.9	13½	335	1.72	43.7	24	609.6	
		NEO	22½	571.5	22½	577.9				1	6.4	11½	288.9	13½	335	1½	44.5	24	609.6
16	400	PTFE	23½	608	24	609.6	18½	469.9	0.220	5.6	11½	288.9	13½	335	1.85	47	24	609.6	
		NEO	24	609.6	24	609.6				1	6.4	11½	288.9	13½	335	1½	47.6	24	609.6
18	450	PTFE	26½	684.2	26½	673.1	21	533.4	0.220	5.6	12½	314.3	14½	360.4	1.97	50.04	26	660.4	
		NEO	27	685.8	26½	673.1				1	6.4	12½	314.3	14½	360.4	2	50.8	26	660.4
20	500	PTFE	29½	761.2	28½	717.6	23	584.2	0.24	6.1	13½	342.9	15½	388.9	1.74	44.2	28½	717.6	
		NEO	30	762	28½	717.6				1	6.4	13½	342.9	15½	388.9	1½	44.5	28½	717.6
21	—	PTFE	31½	799.3	29	736.6	25½	641.4	0.24	6.1	14	355.6	15½	401.6	1.87	47.5	29½	742.9	
		NEO	31½	800.1	29	736.6				1	6.4	14	355.6	15½	401.6	1½	47.6	29½	742.9
24	600	PTFE	35½	913.6	32½	841.3	26½	685	0.24	6.1	15½	392.1	17½	438.2	2.12	53.9	32½	819.2	
		NEO	36	914.4	32½	841.3				1	6.4	15½	392.1	17½	438.2	2½	54	32½	819.2
27	—	NEO	40½	1028.7	35½	908.1				1	6.4	17	431.8	18½	477.8	2½	57.2	35½	895.4
30	—	NEO	45	1143	40½	1025.5				1	6.4	18½	459.9	20½	515.9	2½	60.3	38½	931.6
38	900	NEO	54	1371.6	46½	1174.8				1	6.4	21½	547.7	23½	593.7	2½	69.9	44½	1130.3
39	1000	NEO	58½	1485.9	49½	1257.3				1	6.4	23½	585.8	24½	631.8	2½	73	47½	1206.5
42	—	NEO	63	1600	52½	1333.5				1	6.4	24½	624	26½	669.9	2½	60.3	50½	1282.7
48	1200	NEO	72	1828.8	58½	1402.4				1	6.4	27½	700	29½	746	2½	66.7	56½	1435
54	1400	NEO	81	2057.4	63½	1606.5				1	6.4	30½	779.5	32½	825.5	2½	66.7	62½	1594
60	1500	NEO	90	2286	70½	1784.4				1	6.4	33½	855.7	35½	901.7	2½	69.9	68½	1746.3

magnéticas que vienen desde el cuerpo medidor entra en la base de la caja de terminales a través de un par de conectores sellados para cable a prueba de goteo. La caja de terminales contiene también el ensamble de circuito para alimentar a las bobinas magnéticas. Con la excepción de los electrodos del medidor el ensamble de circuito para alimentar a las bobinas magnéticas es el único ensamble que se califica como una parte reemplazable. La cubierta de la caja de terminales es acoplada con un empaque de hule sintético para lograr que el medidor sea a prueba de goteo y humedad. Todas las superficies exteriores del medidor estándar, con excepción de las caras de las bridas están protegidas con un recubrimiento resistente al ataque químico y a la corrosión. Como una opción especial, estas superficies pueden ser tratadas con un recubrimiento químico resistente a la corrosión. El medidor estándar podrá permanecer en operación durante períodos limitados si se sumerge accidentalmente hasta una profundidad máxima de 30 pies (9.15 m). Para operaciones bajo condiciones de inmersión continua se cuenta opcionalmente de un cuerpo medidor sumergible con una unidad remota de alimentación magnética.

#### 7.5 MEDIDOR ULTRASONICO.

El principio básico de funcionamiento de un medidor ultrasónico es el siguiente: una señal sónica es transmitida diagonalmente a través del tubo por donde pasa el agua, la velocidad del líquido afecta el tiempo que esta señal emplea para ir de un transmisor hasta un receptor, disminuyendo este tiempo, cuando la señal y el flujo van en el mismo sentido, y aumentando cuando esto no ocurre.

A partir de este principio diversos fabricantes desarrollaron varios diseños. En todos ellos, utilizan por lo menos un par de transductores (transmisor-receptor).

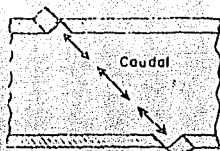
De acuerdo con cada diseño existen diversas combinaciones y localización de los sensores, así como diferentes métodos para obtener la velocidad del líquido.

Sin embargo, para todos los métodos utilizados en los diferentes medidores ultrasónicos la minimización del error en la medición del tiempo es fundamental.

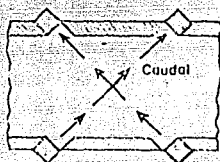
Los medidores ultrasónicos más utilizados son de dos tipos, conocidos por "time of flight" y "doppler". (Ver fig. 7.20).

La diferencia entre los dos está en que en el primero (time of flight) la señal sonora va de una pared a otra del tubo, y en el segundo (doppler), la señal sonora es reflejada por algún material en suspensión que se está moviendo junto con el agua.





TRANSDUCTORES EN CONTACTO CON EL  
AGUA



DOS PARES

TRANSDUCTORES  
SECOS

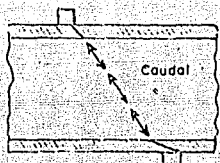


FIGURA 7.20 DISTRIBUCION FISICA DE LOS SENSORES DE VELOCIDAD ACUSTICA (TIME OF FLIGHT)

El primer tipo se utiliza en aguas que no tengan material en suspensión (agua tratada); el segundo tipo se utiliza en aguas que contengan material en suspensión o aire disuelto. Se puede utilizar un medidor tipo "doppler" en agua tratada, siempre que se inyecte aire al agua, aguas arriba del punto de medición. En este caso, las burbujas de aire se encargarían de asegurar la obtención del efecto "doppler".

Algunos fabricantes ya garantizan que sus medidores tienen errores entre 1 y 4 %.

## 7.6 MEDIDORES SECUNDARIOS DE PRESION DIFERENCIAL.

Los elementos primarios de medición de caudal por presión diferencial requieren de secundarios para leer, registrar, totalizar o transmitir la magnitud objeto de la medición.

### 7.6.1 TIPOS DE MEDIDORES SECUNDARIOS.

#### A) POR ACCIONAMIENTO MECANICO

Se componen básicamente de :

- 1.- Célula de presión diferencial.
- 2.- Eje transmisor del movimiento.
- 3.- Sistema transmisor del elemento sensor para indicación o registro.
- 4.- Came (extractor de raíz cuadrada).
- 5.- Transductor.
- 6.- Mecanismo de relojería.
- 7.- Sistema de registro por capilar o punta esferográfica.
- 8.- Gráfico circular o tipo rollo.

#### B) POR ACCIONAMIENTO ELECTRICO

Se componen básicamente de :

- 1.- Célula de presión diferencial.

- 2.- Eje transmisor del movimiento.
- 3.- Cane.
- 4.- Sistema eléctrico de transmisión y registro.
- 5.- Gráfico circular o de tipo rollo.

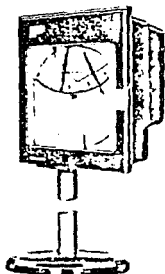


FIGURA 7.21 MEDIDOR SECUNDARIO DE PRESION DIFERENCIAL

#### 7.6.2 TIPO DE TRANSMISORES DE PRESION DIFERENCIAL.

- 1.- Célula diferencial tipo Dri-Flo.
- 2.- Célula diferencial tipo Strain Gauge.
- 3.- Célula diferencial de Mercurio.
- 4.- Célula diferencial Neumática.

#### CELULA DIFERENCIAL TIPO DRI-FLO.

Este tipo de célula es fabricado por dos empresas norteamericanas, la American Meter Company, y la ITT Barton.

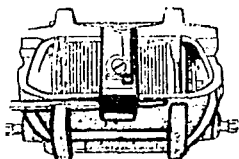
a) Principio de funcionamiento:

La célula diferencial contiene dos fuelles interconectados situados en el centro de la cámara, y unidos a un eje que transmite el movimiento de los fuelles para el exterior de la cámara.

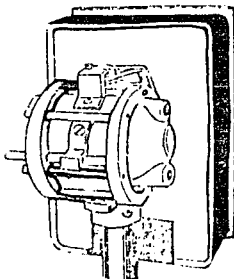
Cuando se aplican diferentes presiones, el fuelle del lado de alta presión se contrae, moviendo el eje de conexión en la dirección de baja presión, ocasionando así la expansión del fuelle del lado de la cámara de baja presión.

El movimiento de los fuelles se transmite de un tubo de torque directamente para el brazo de la pluma de un registrador, o para un transductor. Con el movimiento de los fuelles, el fluido de llenado (etileno-glicol) es forzado desde el fuelle de alta presión, a través de un pasaje anular, hacia el fuelle de baja presión. La transferencia del líquido sirve para amortiguar las pulsaciones.

La tasa de caudal del líquido de llenado se regula a través de un tornillo externo de amortiguamiento. (Ver fig. 7.22).



CORTE



VISTA POSTERIOR

FIGURA 7.22 CELULA DIFERENCIAL DRI - FLO.

## REGISTRADORES.

Los registradores se usan para convertir las señales recibidas, a el movimiento de un puntero registrador, el cual imprime en gráficos apropiados, la presión, el diferencial de presión, o el caudal si esta dotado de un extractor de raíz cuadrada.

## CAPITULO VIII : MEDIDORES DE PRESION

### 8.1 MANOMETRIA.

Debido a la gran movilidad de sus partículas, es imposible aplicar fuerzas concentradas en un fluido. Cualquier esfuerzo se transmite distribuyéndose, bien en el volumen, o bien en la superficie. Estos esfuerzos se denominan de campo y de contacto, respectivamente. Los esfuerzos de campo son, por ejemplo, los provenientes de la acción de la gravedad, inercia, etc., siendo proporcionales a la masa del fluido. Los esfuerzos de contacto o de superficie son consecuencia de la acción de las partes contiguas del fluido sobre el volumen considerado, o de los cuerpos sólidos que se encuentran en contacto con el fluido.

Presión es la relación entre una fuerza y la superficie en la cual ella actúa.

Se le denomina presión promedio en  $\Delta S$  y se indica por  $P$ , al valor:

$$P = \Delta F / \Delta S$$

Para obtener la presión en un punto, basta pasar la expresión anterior al límite, cuando  $S$  tiende a cero, tendiendo al punto considerado:

$$P = \lim_{S \rightarrow 0} \Delta F / \Delta S$$

Para un fluido en movimiento, donde las capas adyacentes se desplazan una en relación a las otras, la presión alrededor de un punto asumirá valores generalmente diferentes, en razón de las tensiones tangenciales. En este caso, se define la presión en un punto como el promedio de tres presiones normales cualquiera, mutuamente perpendiculares entre sí.

### 3.1.1 PROPIEDADES.

En un líquido en reposo, la presión en puntos de un mismo nivel es la misma (Ley de Stevin).

La presión de un fluido en reposo actúa perpendicularmente a todas las superficies a partir de la superficie libre.

En un líquido en reposo, la presión en un punto depende del peso específico ( $\gamma$ ), del fluido, y de la distancia ( $h$ ) a la que el punto se encuentra de la superficie libre del fluido:

$$p = \gamma h$$

La presión ejercida en la superficie de un líquido se transmite instantánea e integralmente a todos los puntos del líquido.

### 3.1.2 PRESION.

#### A) PRESION ATMOSFERICA (BAROMETRICA).

Presión atmosférica es la presión ejercida por la altura de la columna gaseosa que envuelve al globo terrestre. Esa presión es equilibrada por una columna de 760 mm Hg al nivel del mar, a 0°C, bajo una aceleración de la gravedad de 9.80665 m/seg<sup>2</sup>.

#### B) PRESION EFECTIVA.

La presión efectiva o manométrica es la presión que se mide en relación a la presión atmosférica. Tiene como referencia la presión atmosférica local. Puede asumir valores negativos o positivos.

Generalmente, cuando se omite el tipo de presión, significa que se trata de una presión efectiva.

#### C) PRESION ABSOLUTA.

La presión absoluta es la presión que actúa realmente en un determinado punto del fluido y está dada por la suma de la presión efectiva con la presión atmosférica. La presión absoluta tiene como referencia el vacío absoluto y, como consecuencia, jamás será negativa.

## B.2 PROCESOS DE MEDICION DE PRESION.

A) Por equilibrio de una presión desconocida contra una fuerza conocida.

A.1) Columna de líquido (piezómetro, tubo "U", etc.)

A.2) Campana de vidrio.

A.3) d/p cell.

B) Por medio de la deformación de un material elástico.

B.1) Tubo de Bourdon.

-- En forma de "C".

-- En forma espiral.

-- En forma helicoidal.

B.2) Membrana.

B.3) Fuelle.

C) Por medio de la variación de una propiedad física.

C.1) Strain Gauge.

C.2) Otros.

## B.3 DISPOSITIVOS PARA VERIFICAR LA PRECISION DE UN MANOMETRO.

-- Balanza Hidrostática tipo Peso Muerto. (Ver fig. 8.1)

La prueba del peso muerto se basa en el principio de Pascal.

Existen diversos modelos y tipos de balanzas hidrostáticas tipo peso muerto. Generalmente están compuestas de las siguientes partes:

1.- Cuerpo en FoFo.

2.- Cilindro en acero inoxidable con bujes de bronce.



## 8.2 PROCESOS DE MEDICION DE PRESION.

A) Por equilibrio de una presión desconocida contra una fuerza conocida.

A.1) Columna de líquido (piezómetro, tubo "U", etc.)

A.2) Campana de vidrio.

A.3) d/p cell.

B) Por medio de la deformación de un material elástico

B.1) Tubo de Bourdon.

-- En forma de "C"

-- En forma espiral.

-- En forma helicoidal.

B.2) Membrana.

B.3) Fuelle.

C) Por medio de la variación de una propiedad física.

C.1) Strain Gauge.

C.2) Otros.

## 8.3 DISPOSITIVOS PARA VERIFICAR LA PRECISION DE UN MANOMETRO

-- Balanza Hidrostática tipo Peso Muerto. (Ver fig. 8.1)

La prueba del peso muerto se basa en el principio de Pascal.

Existen diversos modelos y tipos de balanzas hidrostáticas tipo peso muerto. Generalmente están compuestas de las siguientes partes:

1.- Cuerpo en FoFo.

2.- Cilindro en acero inoxidable con bujes de bronce.

3. - Registro tipo macho en acero inoxidable.
4. - Adaptadores para instalación del manómetro en acero inoxidable.
5. - Pistón acoplado al plato cilíndrico para colocación de pesas en acero inoxidable.
6. - Un juego de pesas de 15 unidades, en acero cromado en forma de disco, siendo un disco pequeño y catorce más grandes.

#### A) PROCEDIMIENTO BÁSICO.

En este proceso, la presión real que va a indicar el manómetro es función directa de una fuerza resultante aplicada por pesas calibradas, a través de un plato con eje sobre una determinada área en contacto con el fluido hidráulico.

Estando el manómetro en contacto con el fluido así presurizado, se puede hacer la verificación del mismo variando los pesos calibrados, hasta cubrir todo el alcance del manómetro.

Para esta evaluación se puede observar la siguiente secuencia:

1. - Colocar la balanza hidrostática en una base sólida y nivelar.
2. - Instalar el adaptador apropiado para conexión del manómetro a verificar.
3. - Llenar la balanza con aceite hidráulico o vaselina líquida, drenando todo el sistema.
4. - Verificar si el manómetro marca o registra cero.
5. - Colocar el plato en la balanza, girarlo y anotar la presión que indica el manómetro.
6. - Colocar a continuación sobre el plato, los pesos calibrados e ir anotando los valores que indica el manómetro, hasta completar toda la escala del aparato.
7. - Cuando se llega al fin de la escala, retirar los pesos paulatinamente, anotando los valores que se obtienen, hasta que quede sólo el plato.
8. - Aislar la balanza del manómetro, cerrando un registro ubicado en el cuerpo de la balanza, y retirar el plato.

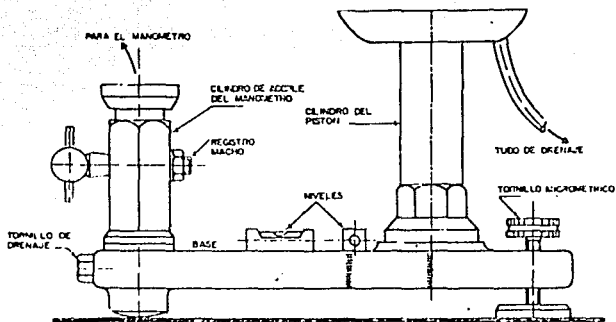
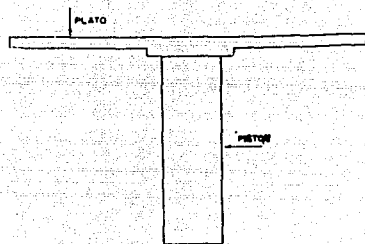


FIGURA 8.1 BALANZA HIDROSTATICA TIPO PESO MUERTO.

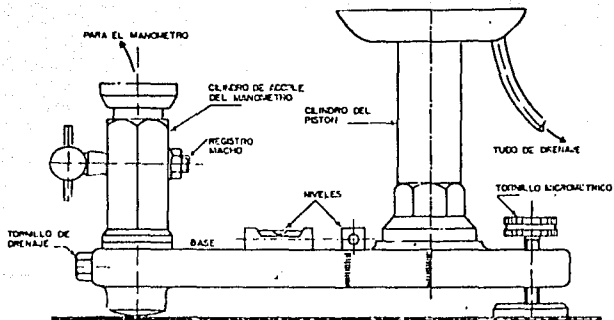
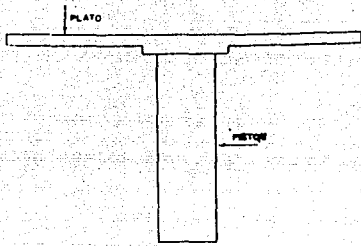


FIGURA 8.1 BALANZA HIDROSTATICA TIPO PESO MUERTO.

## B) OBSERVACIONES SOBRE LA VERIFICACION.

- 1.- Durante la realizacion de la lectura, el plato debe mantenerse en movimiento rotatorio.
- 2.- La presion real aplicada en el manometro sera el peso del plato y de las pesas, dividido por el area del cilindro donde sean aplicados.

## C) CURVA DE VERIFICACION

Despues de realizar la verificacion, se levanta la curva de la presion aplicada por la presion indicada en el manometro, concluyendose con la calibracion del manometro o la utilizacion de un factor de correccion en funcion del error encontrado.

## 8.4 MEDICION DE PRESION A TRAVES DE PIEZOMETROS.

Los piezometros son los elementos mas simples para la medicion de presion. Se componen de tubos transparentes que son conectados a la tuberia o recipiente donde se requiere medir la presion. (Ver fig. 8.2).

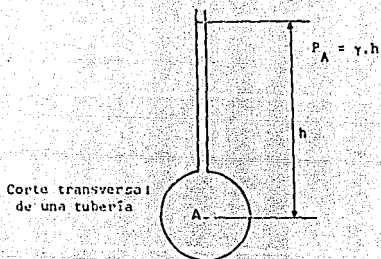


FIGURA 8.2 PIEZOMETRO.

#### 8.4.1 CALCULO DE PRESIONES.

En función de la presión interna, el líquido alcanza una altura "h" dentro del piezómetro, que corresponde a la presión interna en la columna de líquido:

$$P = \gamma h \quad \text{donde}$$

P = Presión en el punto "A".

$\gamma$  = Densidad del líquido.

h = Altura de la columna líquida.

#### 8.4.2. PROCEDIMIENTO.

##### SECCION DE MEDICION.

- A) Se debe dar una atención especial a la selección de las secciones de medición. La misma deberá ser de preferencia un tramo recto de la tubería, distante cinco diámetros aguas arriba y dos diámetros aguas abajo de la sección considerada.
- B) En la misma sección transversal deben ir varias tomas de presión, colocadas de modo simétrico y unidas por un anillo piezométrico, al cual se conectará la toma de presión para el aparato de medida.

##### TOMA DE PRESION - DIMENSIONES. (Ver fig. 8.3).

- A) El orificio de la toma de presión en la pared del tubo debe tener de 3 a 6 mm. de diámetro, con una longitud mínima igual a dos veces ese diámetro.
- B) El orificio debe hacerse perpendicularmente a la pared del tubo y, para eliminar los efectos locales de velocidad, el borde interno del orificio debe ser redondeado, con un radio menor o igual a la cuarta parte de su diámetro, en caso de que no sea posible redondearlo, por lo menos eliminar las rebabas.
- C) El orificio para la toma de presión debe hacerse sólo después de haber fijado, en la pared externa de la tubería, el dispositivo de toma de presión.

#### 8.4.1 CALCULO DE PRESIONES

En función de la presión interna, el líquido alcanza una altura "h" dentro del piezómetro, que corresponde a la presión interna en la columna de líquido:

$$P = \gamma h \quad \text{donde}$$

P = Presión en el punto "A".

$\gamma$  = Densidad del líquido.

h = Altura de la columna líquida.

#### 8.4.2 PROCEDIMIENTO

##### SECCION DE MEDICION

- A) Se debe dar una atención especial a la selección de las secciones de medición. La misma deberá ser de preferencia un tramo recto de la tubería, distante cinco diámetros aguas arriba y dos diámetros aguas abajo de la sección considerada.
- B) En la misma sección transversal deben ir varias tomas de presión, colocadas de modo simétrico y unidas por un anillo piezométrico, al cual se conectará la toma de presión para el aparato de medida.

##### TOMA DE PRESION - DIMENSIONES. (Ver fig. 8.3).

- A) El orificio de la toma de presión en la pared del tubo debe tener de 3 a 6 mm. de diámetro, con una longitud mínima igual a dos veces ese diámetro.
- B) El orificio debe hacerse perpendicularmente a la pared del tubo y, para eliminar los efectos locales de velocidad, el borde interno del orificio debe ser redondeado, con un radio menor o igual a la cuarta parte de su diámetro, en caso de que no sea posible redondearlo, por lo menos eliminar las rebabas.
- C) El orificio para la toma de presión debe hacerse sólo después de haber fijado, en la pared externa de la tubería, el dispositivo de toma de presión.

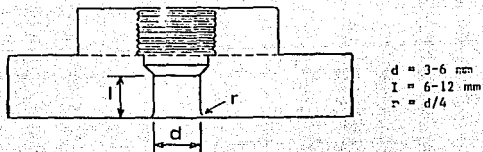


FIGURA 8.3 TOMA DE PRESION

### 8.5 MEDICION DE PRESION CON TUBO EN "U"

Con el fin de evitar columnas demasiado altas, se usa, en lugar del piezometro, un tubo en "U" transparente, por lo general de vidrio pyrex, conteniendo líquidos manométricos.

Comunmente se utilizan los siguientes líquidos manométricos:

- a) Mercurio vivo (Hg) con una densidad igual a 13.58,
- b) Tetrabromoetano, con una densidad igual a 2.90,
- c) Tetracloruro de carbono, con una densidad igual a 1.60,
- d) Monocloruro de carbono, con una densidad igual a 1.25,
- e) Benceno, con una densidad igual a 0.6.

Para una mejor visualización de la columna, se agrega un colorante a los líquidos manométricos.

El colorante más utilizado es el yodo resublimado, sin embargo, se puede utilizar cualquier otro colorante, siempre que sea inmiscible en agua.

#### 8.5.1 INSTALACION DEL TUBO EN "U"

La instalación debe hacerse a través de una manguera de caucho flexible, con un diámetro interno de 1/4", provista de abrazaderas, estranguladores y derivación para la extracción de aire.



Para instalar la manguera en el punto de la toma de presión, es necesario contar con adaptadores con roscas para fijación a la toma, y terminales de acoplamiento a la manguera.

#### 8.5.2 PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICION DE PRESIONES POSITIVAS

(Ver fig. 8.4)

- 1.- Verificar si el tubo "U" está limpio y sin agua en su interior.
- 2.- Colocar el líquido manométrico apropiado hasta la mitad del tubo "U".
- 3.- Colocar un adaptador para el enganche de la manguera en el punto a ser medido.
- 4.- Acoplar la manguera en el terminal del adaptador y sujetarla con la abrazadera.
- 5.- Acoplar el otro extremo de la manguera al tubo en "U" y sujetarlo con la abrazadera.
- 6.- Verificar si el estrangulador de la manguera está cerrado y abrir el punto de toma de presión.
- 7.- Abrir el estrangulador de la derivación.
- 8.- Abrir ligeramente el estrangulador de la manguera y dejar salir el aire comprimido, llenando, al mismo tiempo, el ramal del tubo en "U" conectado a la manguera.
- 9.- Después de retirar todo el aire aprisionado en el sistema, cerrar paulatinamente el estrangulador de la derivación, verificando el diferencial en el tubo en "U".

#### 8.5.3 PROCEDIMIENTO PARA MEDIR PRESIONES NEGATIVAS

(Ver fig. 8.5)

- 1.- Colocar el adaptador para el enganche de la manguera en el punto a ser medido.
- 2.- Acoplar la manguera al terminal del adaptador y sujetarlo con una abrazadera.
- 3.- Verificar si el estrangulador de la manguera está cerrado y abrir el punto de toma de presión.
- 4.- Verificar si el tubo en "U" a ser utilizado está limpio y sin agua en su interior.
- 5.- Colocar el líquido manométrico apropiado hasta la mitad del tubo en "U".

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

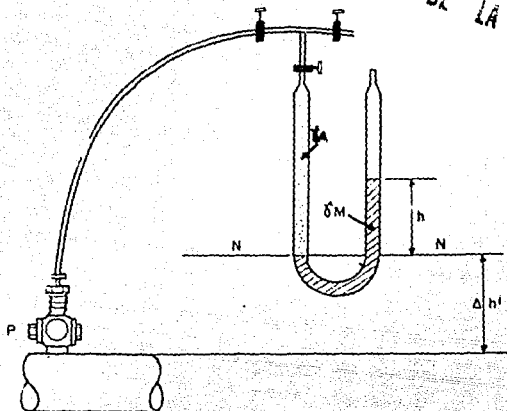


FIGURA 8.4 TUBO EN "U" INSTALADO (PRESIONES POSITIVAS).

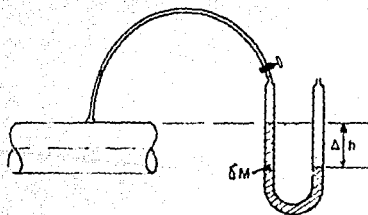


FIGURA 8.5 TUBO EN "U" INSTALADO (PRESIONES NEGATIVAS).

6.- Acoplar el otro extremo de la manguera en el tubo en "U" y sujetarlo con la abrazadera.

7.- Cerrar el estrangulador de la derivación y abrir el estrangulador de la manguera, observando la columna del líquido manométrico.

#### 8.5.4 PRESIONES DIFERENCIALES.

Los tubos en "U" son los más empleados para medir presiones diferenciales entre dos puntos de un sistema en el que circula un fluido.

Además de los líquidos manométricos utilizados comúnmente con densidades mayores de 1.0, también se utilizan líquidos con densidades menores como el Benzol (0.874), Tolueno (0.866), Gasolina (0.740), etc.

#### 8.6 MEDICION DE PRESION A TRAVES DE MANOMETROS METALICOS.

##### 8.6.1 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO.

Un manómetro típico tiene una conexión roscada que lo conecta con la tubería. La presión deforma el tubo Bourdon, un diafragma o un fuelle en el interior del manómetro, la cual se transmite por medio de conexiones mecánicas. (Ver fig. 8.6).

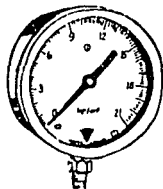


FIGURA 8.6 MANOMETRO INDICADOR (METALICO).

La mayoría de los manómetros metálicos utiliza como elemento de medición el tubo Bourdon en forma de "C", los manómetros con elementos Bourdon en forma espiral o helicoidal se utilizan más comúnmente en manómetros registradores.

El tubo Bourdon tiene un extremo abierto en contacto con el fluido cuya presión se desea medir, y el otro extremo cerrado, conectado a un mecanismo que mueve un puntero.

Cuando se aplica presión en su interior este se deforma, provocando el desplazamiento del puntero en la escala graduada. (Ver fig. 8.7)

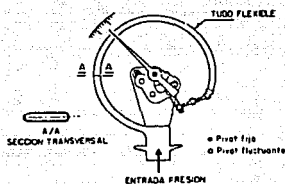


FIGURA 8.7 TUBO BOURDON EN FORMA DE "C".

#### 8.6.2 MATERIALES DE FABRICACION.

Dependiendo del valor de la presión que se quiera medir y de las condiciones de trabajo a las que va a ser sometido, el tubo Bourdon puede construirse en los siguientes materiales:

- a) Latón.
- b) Bronce.
- c) Bronce - Silicio.
- d) Bronce fosforoso.
- e) Monel - K.
- f) Inconel.
- g) Acero inoxidable.
- h) Ni - Span (utilizado para altas presiones y tiene la ventaja de poseer un módulo de elasticidad constante).

### 8.6.3 SELECCION DEL MANOMETRO

Uno de los primeros aspectos que debe considerarse para la selección de un manómetro, se refiere a su precisión. Partiendo del principio de que toda medición debe ser confiable, los manómetros utilizados deben presentar buena precisión.

Los manómetros comunes tienen una precisión de  $\pm 1.0\%$  de la plena escala. Los manómetros especiales (de precisión) tienen una precisión de hasta  $0.25\%$  de la plena escala.

El problema de fatiga del elemento sensible también debe tenerse en cuenta en la selección del manómetro.

Para evitar este problema la norma DIN 16129 recomienda:

- 1.- Para presiones intermitentes, el manómetro debe trabajar a  $2/3$  de la plena escala.

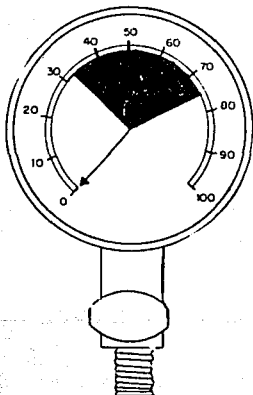


FIGURA 3.9 MANOMETRO CON RANGO DE PRESION DE UTILIZACION

2.- Para presiones no intermitentes, el manómetro debe trabajar a  $3/4$  de la plena escala. En la aplicación práctica, se adopta como norma que el rango ideal de medición se sitúa entre 35 % y 75 % de la plena escala. (Ver fig. 8.8)

Otro aspecto que debe ser considerado se refiere al diámetro del manómetro. Como este será "leído", cuanto más grande sea el visor, más correcta será la lectura.

#### 8.6.4 INSTALACION DEL MANOMETRO.

El manómetro puede ser instalado directamente en la toma de presión, o a través de mangueras de caucho. (Ver fig. 8.9).

En los análisis de sistemas de abastecimiento realizados por los sectores de investigación pitométrica, el manómetro es siempre conectado a la toma de presión a través de una manguera de caucho flexible, con un diámetro interno de  $1/4$  ", provista de abrazaderas, estranguladores y derivación para la extracción de aire.

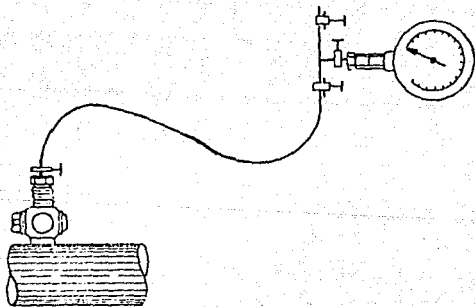


FIGURA 8.9 MANOMETRO METALICO INSTALADO.

## PROCEDIMIENTO DE INSTALACION DE UN MANOMETRO.

- 1 - Colocar un adaptador en el punto en el que se medirá la presión, con un terminal adecuado para el acoplamiento de la manguera.
- 2 - Acoplar la manguera en el terminal y sujetarla con una abrazadera.
- 3 - Con el estrangulador de la manguera cerrado, abrir la toma de presión.
- 4 - Abrir parcialmente el estrangulador de la manguera y el de la derivación, dejando salir el agua hasta que todo el aire del sistema haya sido extraído.
- 5 - Acoplar el extremo de la manguera al terminal del manómetro y sujetarla con la abrazadera.
- 6 - Cerrar gradualmente el estrangulador de la derivación y abrir totalmente el estrangulador de la manguera.

### 8.6.5 LECTURA DE LA PRESION

La lectura de los manómetros debe realizarse perpendicularmente al puntero y en una misma línea con el mismo, a fin de evitar errores debido al paralelaje.

En las mediciones de presión, asociadas a las de caudal, para hacer el cálculo de la eficiencia de las estaciones de bombeo, de las pérdidas de carga para determinar el coeficiente "C" de Hazen - Williams de tuberías, de las pruebas de presión residual, etc., se deben realizar 21 lecturas con intervalos de 30 segundos.

La presión utilizada en los cálculos será, entonces, el promedio aritmético de las 21 lecturas.

### 8.6.6 REFERENCIAS DEL PUNTO DE MEDICION.

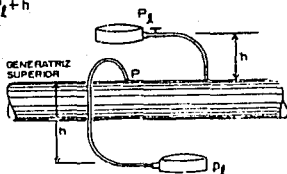
En las mediciones de presión en tuberías, la altura del manómetro debe estar referida a la generatriz superior de la tubería.

La presión en ese punto será entonces la presión indicada en el manómetro restando o aumentando del desnivel del manómetro en relación a la generatriz superior del tubo.

La colocación del manómetro directamente sobre la generatriz superior del tubo elimina mediciones complementarias. (Ver fig. 8.10).

Manómetro sobre la tubería

$$P = P_f + h$$



Manómetro debajo de la tubería

$$P = P_f - h$$

FIGURA 8.10 REFERENCIA DEL PUNTO DE MEDICION.

#### 8.6.7 VERIFICACION DE LA PRECISION DEL MANOMETRO.

La verificación del manómetro debe realizarse antes y después de las mediciones. Antes de las mediciones, la verificación se realiza en el taller de mantenimiento o en otro local apropiado.

Después de las mediciones de presión, esta verificación debe realizarse en el mismo lugar de las mediciones e inmediatamente después de las mismas.

Cuando es realizada en el mismo lugar de las mediciones debe ejecutarse por medio de una balanza hidrostática tipo peso muerto.

#### PROCEDIMIENTO PARA LA VERIFICACION DE LA PRECISION DEL MANOMETRO.

- 1.- Colocar la balanza sobre una plataforma y nivelar.
- 2.- Instalar el adaptador adecuado para el acoplamiento del manómetro.
- 3.- Llenar la balanza con vaselina líquida o aceite hidráulico.
- 4.- Conectar el manómetro al adaptador de la balanza sin apretar.
- 5.- Colocar el conjunto pistón-plato, dejando rebosar un poco la vaselina por la rosca del manómetro para extraer el aire.



- 6.- Apretar el manómetro con una llave de boca hexagonal adecuada.
- 7.- Revisar y comparar el nivel de la balanza y ajustar si fuera necesario.
- 8.- Girar el plato y anotar el valor indicado en el manómetro.
- 9.- Colocar el disco más pequeño, girar el conjunto y anotar nuevamente el valor indicado.
- 10.- Retirar el disco más pequeño y colocar el más grande, girar el conjunto y anotar de nuevo el valor indicado.
- 11.- Colocar el disco más pequeño, girar el conjunto y anotar el valor indicado.
- 12.- Retirar el disco más pequeño y colocar el más grande, girar el conjunto y anotar el valor indicado.
- 13.- Repetir estas operaciones hasta el final de la escala del manómetro (de 5 en 5 mca).
- 14.- Retirar los discos sucesivamente en orden inverso, colocando siempre el disco más pequeño al retirar el disco más grande, girando todo el conjunto y anotando los valores indicados.

#### RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA VERIFICACION DE LA PRECISION DEL MANOMETRO METALICO.

- A) El plato debe mantenerse girando durante la lectura de la presión indicada.
- B) En el rango en que el manómetro fue utilizado se debe hacer más de una verificación, descendiendo y subiendo en ese intervalo.
- C) Para retirar el plato de la balanza, se debe cerrar el registro macho de la balanza para aislar el manómetro, evitando de esta forma la aplicación de presión negativa al manómetro cuando se retira el plato.
- D) No colocar uniones de caucho entre el manómetro y la balanza ya que la vaselina provoca el deterioro de las mismas, corriéndose el riesgo de que se obstruya el tubo Bourdon con pedazos de caucho provenientes de la unión.

#### 8.7 UTILIZACION DE MANOMETROS EN ESTACIONES DE BOMBEO Y REDES DE DISTRIBUCION - RECOMENDACIONES.

- 1.- Cuando se instala un manómetro en la brida de bombeo de la

bomba, puede suceder que el puntero quede oscilando de forma bastante intensa, para evitar eso, se debe cerrar gradualmente el estrangulador de la manguera, hasta amortiguar la oscilación.

- 2.- Para evitar que el estrangulador de la manguera se cierre totalmente, se debe abrir el estrangulador de la derivación y observar la salida de agua por la derivación. Cerrar enseguida la derivación.
- 3.- A través de las curvas dadas por el fabricante, o de manómetros ya existentes en la planta, se debe verificar anticipadamente el orden de magnitud de la presión a ser medida. Esta verificación permite seleccionar el manómetro adecuado al rango de presión existente.
- 4.- Al conectar o desconectar los grupos motobomba, no debe tenerse el manómetro abierto para la toma de presión; primero se debe aislar el manómetro, cerrando el estrangulador de la manguera.
- 5.- No utilizar uniones de caucho entre el manómetro y el adaptador, ya que estas pueden dañarse y obstruir el tubo Bourdon.
- 6.- Cuando se utiliza cinta de teflón para impedir que el agua se filtre por la rosca del manómetro, hacerlo con cuidado a fin de que restos de la misma no obstruyan el tubo Bourdon.
- 7.- No apretar nunca el manómetro a través de su cuerpo. Hacerlo con una llave, a través de su parte hexagonal o cuadrada.

## 8.8 MEDICIÓN DE PRESIÓN A TRAVÉS DE MANÓMETROS REGISTRADORES.

Los manómetros registradores obedecen a los mismos principios de operación de los manómetros metálicos.

Ofrecen la posibilidad de registrar presiones a lo largo del tiempo, constituyendo un instrumento imprescindible en el análisis y operación de sistemas de abastecimiento de agua.

Se fabrican para instalarlos en paneles o como instrumentos portátiles.

### 8.8.1 TIPOS DE INSTRUMENTOS.

#### A) REGISTRADORES MECÁNICOS CON ELEMENTOS METÁLICOS.

- Tubo Bourdon en "C",

- Tubo Bourdon en espiral,
- Tubo Bourdon helicoidal,
- Campana pequeña,
- Capsula,
- Fuelle.

B) REGISTRADORES CON ELEMENTOS ELECTRICOS DE MEDICION.

- Strain Gauge.
- Capacitivos.

REGISTRADORES MECANICOS CON ELEMENTOS METALICOS

Estos registradores son los más utilizados actualmente, debido a su funcionamiento mecánico, independiente de sus fuentes externas de alimentación, bien sea para medición, accionamiento o registro del gráfico.

Entre los elementos metálicos, los más utilizados actualmente son los de tipo: capsular, Bourdon en "C", Bourdon espiral y Bourdon helicoidal.

A) ELEMENTO CAPSULAR.

Este elemento se fabrica por lo general para presiones entre 0 y 210 psi.

Entre los materiales de fabricación se destacan el bronce fosforoso, acero inoxidable 316 y níquel - Span C (Ver tabla 8A).

Material	Rango de Presión	
	Mínima	Máxima
Bronce fosforoso	0 - 1" H <sub>2</sub> O	0 - 30 psi
Acero inoxidable 316	0 - 2" H <sub>2</sub> O	0 - 40 psi
Níquel Span - C	0 - 4" H <sub>2</sub> O	0 - 210 psi

TABLA 8A RANGOS DE PRESION DISPONIBLES PARA ELEMENTOS CAPSULARES.

## B) ELEMENTO TIPO BOURDON EN "C"

Este elemento es para uso general, en la medición de presiones de hasta 1000 kgf/cm.

Es el elemento más usado en manómetros indicadores, sin embargo, en registradores, el mismo tiene poca utilización.

## C) ELEMENTO TIPO BOURDON ESPIRAL

El elemento Bourdon en espiral es usado para medir presiones entre 1 y 15 kgf/cm.

Este modelo proporciona un movimiento de mayor amplitud, respuesta más rápida, exención de rango muerto y, por lo tanto, mayor precisión.

## D) ELEMENTO TIPO BOURDON HELICOIDAL

Este elemento es fabricado en un rango de presión entre 0 y 15,000 psi.

Proporciona un movimiento de mayor amplitud, respuesta más rápida, mayor fuerza, exención de rango muerto y mayor precisión.

Es fabricado en mezcla de cobre - berilio, acero inoxidable, níquel Span - C y Trumpet Metal. (Ver tabla 8B).

Material	Rango de Presión	
	Mínima	Máxima
Trumpet Metal	0 - 30 psi	0 - 500 psi
Cobre berilio	0 - 30 psi	0 - 10,000 psi
Acero inoxidable 316	0 - 30 psi	0 - 10,000 psi
Níquel Span-C	0 - 30 psi	0 - 1,500 psi

TABLA 8B RANGOS DE PRESION DISPONIBLES (TUBO BOURDON HELICOIDAL).

### 8.9.2 SELECCION DEL REGISTRADOR

El registrador debe seleccionarse en función del orden de magnitud de la presión que se desea medir. La norma DIN 16129 recomienda lo siguiente:

A) Para presiones no pulsantes, el aparato debe trabajar a no más de  $3/4$  de la escala;

B) Para presiones pulsantes, el manómetro debe trabajar a no más de  $2/3$  de la escala.

Se debe tener en cuenta que, debido a la limitada elasticidad del material, estos aparatos deben usarse siempre dentro de los límites de presión para los cuales fueron construidos. El sobrepasar el límite máximo puede malograr el tubo Bourdon y, al permanecer muy abajo de ese límite significa perder en sensibilidad.

### 8.8.3 INSTALACION DEL REGISTRADOR.

La instalación del registrador se realiza a través de mangueras de caucho flexible, de  $1/4"$  de diámetro interno, provistas de abrazaderas, estranguladores y derivación para extracción de aire. (Ver fig. 8.11).

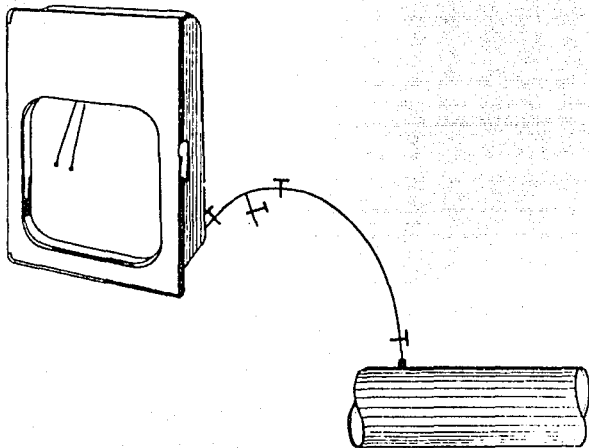


FIGURA 8.11 REGISTRADOR DE PRESION INSTALADO.

Para instalar la manguera en el punto de toma de presión, se necesitan adaptadores con roscas para conexión a la toma y terminales para el acoplamiento a la manguera.

#### PROCEDIMIENTO DE INSTALACION DEL REGISTRADOR (MANOMETRO).

- 1.- Colocar el registrador con una base sólida, nivelar y poner en cero,
- 2.- Colocar la manguera en el punto de toma de presión,
- 3.- Acoplar la manguera en el terminal del adaptador y sujetar con abrazadera,
- 4.- Acoplar el otro extremo de la manguera al registrador y sujetar con abrazadera,
- 5.- Cerrar el estrangulador de la manguera y abrir la toma de presión,
- 6.- Abrir el estrangulador de la derivación,
- 7.- Abrir lentamente el estrangulador de la manguera,
- 8.- Dejar que el agua fluya por la derivación hasta que haya expulsado completamente el aire del sistema,
- 9.- Cerrar lentamente el estrangulador de la derivación, observando el desplazamiento de la pluma sobre el gráfico,
- 10.- Si la pluma presenta mucha oscilación, cerrar el estrangulador de la manguera hasta que deje de oscilar.

#### 6.8.4 VERIFICACION DEL REGISTRADOR

La verificación de la precisión del registrador debe realizarse antes y después de las mediciones. Antes de las mediciones, esta verificación puede hacerse en el taller de mantenimiento, o en otro local conveniente que cuente con balanza hidrostática tipo peso muerto o comparación. Inmediatamente después de las mediciones, la verificación debe hacerse en el mismo lugar, con una balanza hidrostática tipo peso muerto.

#### PROCEDIMIENTO PARA LLEVAR A CABO LA VERIFICACION DEL REGISTRADOR.

- 1.- Colocar la balanza sobre una plataforma y nivelar,
- 2.- Instalar el adaptador adecuado para el acoplamiento de la manguera,

- 3.- Instalar la manguera entre la balanza y el registrador,
- 4.- Llenar la prensa con vaselina líquida o aceite hidráulico,
- 5.- Checar los niveles en la balanza y ajustarlos si fuera necesario,
- 6.- Poner en cero el registrador,
- 7.- Colocar el pistón con el plato en el cilindro de la balanza,
- 8.- Abrir lentamente el estrangulador de la derivación para extraer el aire,
- 9.- Cerrar el estrangulador,
- 10.- Girar el conjunto pistón-plato y mover el gráfico en el sentido de que quede una distancia correspondiente a 15 minutos en el gráfico para 24 horas de revolución,
- 11.- Colocar el disco más pequeño sobre el plato, girar el conjunto y mover el gráfico en la misma distancia anterior,
- 12.- Retirar el disco más pequeño y colocar el más grande, girar el conjunto y mover el gráfico en la misma distancia anterior,
- 13.- Repetir estas operaciones hasta alcanzar en el aparato el final de la escala (de 5 en 5 mca),
- 14.- Retirar los discos sucesivamente, en orden inverso, colocando siempre el disco más pequeño al retirar el disco más grande, girando el conjunto y moviendo el gráfico en la misma distancia inicial.

#### RECOMENDACIONES PARA LA VERIFICACION DE LA PRECISION DEL REGISTRADOR.

- A) Antes de la evaluación, verificar si el linkage está libre, sin polvo, humedad u otro factor que impida su libre movimiento,
- B) Verificar si el brazo con la pluma no ejerce demasiada presión sobre el gráfico,
- C) El conjunto pistón-plato debe mantenerse girando durante la verificación,
- D) Para el retiro del conjunto pistón-plato de la balanza, se debe cerrar el registro macho que aísla el registrador, en caso de que no se cierre ese registro, se estará aplicando presión negativa al registrador al momento de retirar el mismo, ocasionando con ello daños al aparato.

### 8.8.5 CALIBRACION DEL REGISTRADOR.

Son tres los ajustes básicos necesarios para la calibración de un mecanismo transmisor de movimiento. Tales ajustes son los siguientes:

- A) Ajuste del cero.
- B) Ajuste de multiplicación
- C) Ajuste de angularidad

#### AJUSTE DEL CERO.

La diferencia entre el valor real y el indicado, es igual para todo el rango.

Este ajuste se hace por la regulación micrométrica (M) de la pluma, cambiando sólo el ángulo entre la pluma y el brazo de la misma (CD). Este ajuste no influye en los demás.

Es aconsejable que todos los ajustes se realicen de tal manera que para la indicación del cero, el tornillo micrométrico se encuentre en una posición promedio. (Ver figs. 8.12 y 8.13 A).

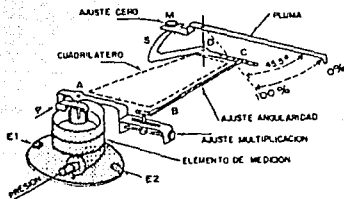


FIGURA 8.12 SISTEMA MECANICO DE MEDICION CON BOURDON HELICOIDAL.



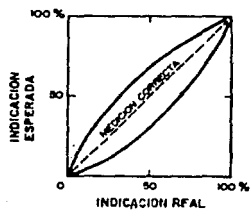
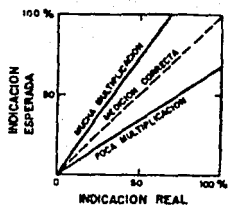
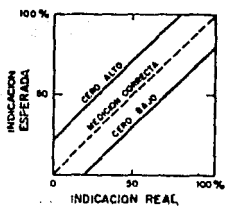


FIGURA 8.13 ESQUEMA GRAFICO DE LOS AJUSTES DE CERO, MULTIPLICACION Y ANGULARIDAD.

### AJUSTE DE MULTIPLICACION.

En el cuadrilátero de la siguiente figura, AB representa el brazo del elemento, y CD el brazo de la pluma. (Ver fig. 8.14).

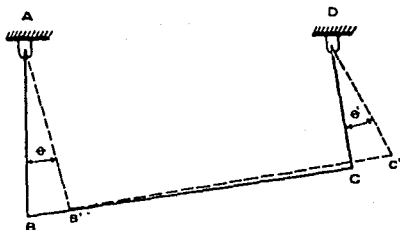


FIGURA 8.14 AJUSTE DE MULTIPLICACION.

Si desplazamos el punto B a un punto muy próximo B', esto ocasionará que el punto C también pasará al punto C'.

En esta situación, se tiene las siguientes relaciones entre las longitudes AB y CD, y los desplazamientos angulares de esos brazos.

$$\frac{AB}{CD} = \frac{\beta'}{\beta''} \quad , \quad \text{donde} \quad \begin{array}{l} \beta' = \text{ángulo } BAB' \\ \beta'' = \text{ángulo } CDC' \end{array}$$

Esto significa que cuanto mayor es el brazo AB, mayor será el recorrido de la pluma.

La multiplicación puede definirse como la razón de los

movimientos del elemento con relación al de la pluma.

#### AJUSTE DE ANGULARIDAD.

El desplazamiento desigual de la pluma, para la misma cantidad de incremento de la variable medida en las diferentes regiones de la escala, caracteriza una angularidad.

Este ajuste se hace variando la longitud del brazo (link) BC. En el caso de la figura siguiente, se debe aumentar la longitud del brazo BC. (Ver fig. 8.15).

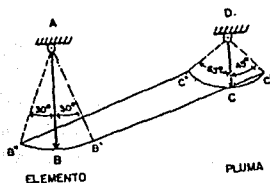


FIGURA 8.15 AJUSTE DE ANGULARIDAD.

## CAPITULO IX - MEDIDORES DE NIVEL DE AGUA

Los medidores de nivel de agua están constituidos por dispositivos generalmente muy simples y, en ocasiones pueden ser contruidos localmente. Se consideran, entre otras, las siguientes formas clásicas de medir el nivel del agua:

- 1.- Regla limnimétrica.
- 2.- Tubo piezométrico con visor de vidrio.
- 3.- Flotador.
- 4.- Medidor neumático.
- 5.- Medidor con resistencia variable.
- 6.- Medidor con electrodos.

Para la mayoría de los casos, es suficiente la información local o a una distancia pequeña. En los casos raros en los que interesa el registro, se pueden obtener fácilmente los dispositivos necesarios, de los fabricantes de aparatos de medición.

### 9.1 REGLA LIMNIMETRICA.

Se emplean generalmente para medir el nivel del agua en ríos, represas, pozos de succión, cajas de arena y tanques sin cubierta. Proporcionan sólo indicación.

La regla debe ser de material resistente a la corrosión, y de un color que contraste con los números grabados en su cuerpo, debe fijarse firmemente después de verificar su precisión. Este es el sistema más simple para medir el nivel del agua (Ver fig. 9.1).

### 9.2 TUBO PIEZOMETRICO CON VISOR DE NIVEL.

Se trata de un tubo de vidrio que se conecta a la pared lateral de tanques abiertos o cerrados, presurizados o no.

Su diámetro interno debe ser superior a 12 mm. para evitar los efectos de la capilaridad. (Ver fig. 9.2).

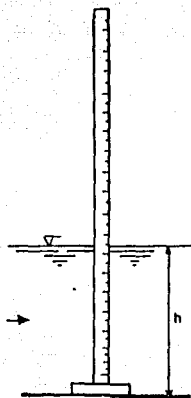


FIGURA 9.1 REGLA LIMNIMETRICA.

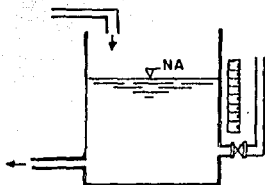


FIGURA 9.2 TUBO PIEZOMETRICO CON VISOR DE NIVEL.

### 9.3 FLOTADOR.

El elemento esencial de un medidor de nivel de agua de este tipo es un flotador, el cual es hecho de material resistente a la corrosión, acoplado a una escala o dispositivo para la transmisión de su movimiento a distancia. (Ver fig. 9.3).

Es empleado normalmente en tanques apoyados, enterrados, semienterrados y elevados, haciéndose variar la configuración geométrica del sistema de transmisión de movimiento del flotador.

La posición de la boya es la que define el nivel del agua, la parte sumergida de la boya debe permanecer prácticamente constante.

En los casos en los que la variación puede provocar errores de medición, este hecho debe considerarse durante la calibración de la escala.

La distancia entre la escala y el flotador no debe exceder de 100 metros.

Se puede esperar que la indicación del nivel sea bastante precisa si las dimensiones del flotador han sido bien determinadas y si los elementos mecánicos para transmisión a distancia de los movimientos del flotador han sido bien equilibrados.

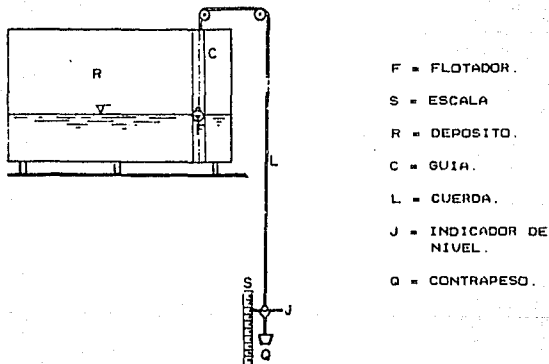


FIGURA 9.3 FLOTADOR.

Entre los errores que pueden ocurrir con este tipo de medidor, se cuentan los siguientes:

- 1.- Cuando no se realiza un mantenimiento adecuado de los componentes móviles del sistema, la fricción entre los elementos que se mueven reduce la sensibilidad del aparato. Para aumentar la fuerza activa, representada por el flotador, se deberán utilizar flotadores con diámetros iguales o superiores a 300 mm.
- 2.- El movimiento de la cuerda que interconecta el flotador con el contrapeso alterará los pesos de los tramos de la cuerda, situados antes y después de las poleas, resultando, como consecuencia, la variación de la línea de agua en el flotador, provocando pequeños errores que tienen que ser tomados en cuenta al diseñar el medidor.
- 3.- La alteración del peso del flotador, causada por corrosión o infiltración de agua dentro del flotador, provocará la variación de su parte sumergida, provocando error en la lectura del nivel de agua del tanque.

#### 9.4 MEDIDOR NEUMÁTICO.

Se utiliza para medir el nivel de agua en situaciones de difícil acceso a la misma, como por ejemplo en pozos tubulares.

Este medidor consiste en un tubo de diámetro pequeño, abierto en el extremo, sumergido bajo el nivel del agua. (Ver fig. 9.4).

Después de introducir aire comprimido al tubo, hasta lograr que se elimine toda el agua que estaba contenida en el mismo, se debe mantener una pequeña y continua alimentación de aire, de forma de garantizar la salida permanente de burbujas por el extremo inferior del tubo. Una vez observada esa condición, se verificará un equilibrio entre la presión interna en el tubo y la altura de agua sobre el punto de descarga del aire. Conviene observar que un exceso de caudal de aire ocasionaría un desequilibrio, debido a la pérdida de carga en la tubería.

La presión de equilibrio debe medirse en un manómetro. Esta presión es igual, en metros de columna de agua, a la longitud sumergida del tubo de aire. Conociendo la distancia vertical entre el centro del manómetro y el extremo del tubo de aire, se obtendrá, por diferencia, la profundidad del nivel de agua.

La profundidad "P" del nivel de agua se calcula por la expresión:

$$P = L - H, \text{ donde:}$$

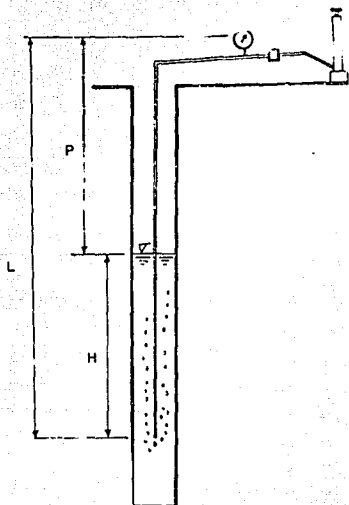


FIGURA 9.4 MEDIDOR NEUMÁTICO.

$L$  = la profundidad del extremo sumergido del tubo de aire, a partir del centro del manómetro, esta dada directamente por la longitud vertical del tubo de aire.

$H$  = la altura de la columna de agua, de la parte sumergida del tubo de aire; esta dada por la lectura del manómetro.



El tubo de aire puede ser de acero, latón, cobre o plástico, de diámetro interno pequeño. Si el tubo fuera colocado en un pozo para uso permanente, el mismo debe ser protegido contra la corrosión y debe ser, de preferencia, continuo, es decir, sin uniones.

Se debe observar que existe estanquidad en los demás puntos del sistema, como pueden ser: conexiones, manómetro, etc.

Además, es necesario conocer con exactitud la profundidad que alcanza el extremo de la tubería de aire.

En el caso de medir el nivel de agua durante un ensayo de bombeo, el extremo del tubo de aire debe quedar como mínimo a 3 metros sobre la entrada de agua al sistema de elevación.

#### 9.5 MEDIDOR CON RESISTENCIA VARIABLE.

El funcionamiento de estos medidores se basa en la variación de la resistencia eléctrica determinada por el agua, esta variación es función de la altura de la lámina líquida. (Ver fig. 9.5).

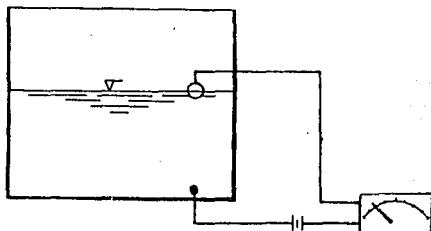


FIGURA 9.5 MEDIDOR DE RESISTENCIA VARIABLE.

Se puede utilizar otro tipo en el que el transmisor es una resistencia de barra (A) sumergida en el tanque (R). La línea de agua varía en la barra, en función de la variación del volumen de agua en el tanque.

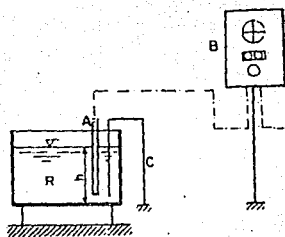


FIGURA 9.6 MEDIDOR DE RESISTENCIA VARIABLE.

La corriente de operación es transmitida a través de la parte no sumergida de la barra, pasando por el agua y por el hilo conductor (C)

Por lo tanto, el agua cierra el circuito eléctrico entre la parte sumergida de la barra y el hilo conductor.

Cuando la superficie del agua sube, la resistencia disminuye, aumentando entonces el valor de la corriente en el circuito de medición y viceversa.

Esa corriente es medida en un amperímetro, con una escala calibrada en metros de columna de agua o volumen, de acuerdo con lo que sea más adecuado localmente. (Ver fig. 9.6).

#### 9.6 MEDIDOR CON ELECTRODOS.

Se instala una serie de electrodos, a alturas diferentes, en un recipiente conectado lateralmente o en el mismo tanque.

A medida que el nivel del agua sube, los electrodos cierran los circuitos respectivos. Pueden encender lámparas, o también hacer variar la corriente en un amperímetro, contando con escala adecuada a la lectura deseada. (Ver fig 9.7).

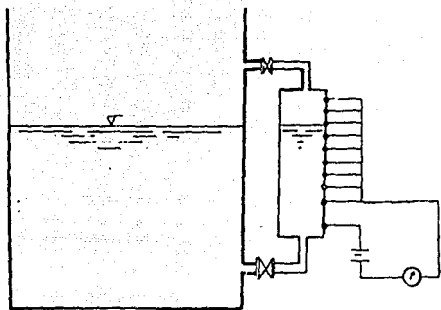


FIGURA 9.7 MEDICION DE NIVEL CON ELECTRODOS.

## A N E X O S

## ANEXO I:

### MEDIDOR PARSHALL (NORMA CETESB E2.150)

El medidor Parshall es una estructura de paredes verticales, constituida a partir de la entrada, por un tramo convergente con fondo en nivel en los sentidos longitudinal y lateral, por un tramo contraído y por un tramo divergente en declive.

#### TRAMO CONTRAÍDO

Es un tramo corto en declive, de sección constante, también se le llama garganta del medidor.

#### ANCHO NOMINAL (Ln)

Es el número que convencionalmente identifica el tamaño del medidor Parshall.

#### CRESTA DEL MEDIDOR PARSHALL

Fondo del tramo convergente.

#### AHOGAMIENTO

Relación  $H_b/H_a$ , donde  $H_a$  es la profundidad en relación a la cresta, obtenida en el piezómetro situado a dos tercios de la longitud  $A$  del convergente, contando esa distancia a lo largo de la pared del convergente, en el sentido de aguas abajo para aguas arriba y a partir de la sección extrema situada aguas abajo del convergente.  $H_b$  es la profundidad en relación a la cresta, obtenida en el piezómetro situado a la distancia horizontal  $x$ , contada de aguas abajo para aguas arriba, a partir de la sección extrema situada aguas abajo de la garganta.

#### FLUJO LIBRE

Ocurre cuando el ahogamiento no excede el valor:

- a) 0.6 para los medidores de ancho nominal: 7, 15 y 22;
- b) 0.7 para los medidores de ancho nominal: 30 a 240.

**FLUJO AHOGADO**

Ocurre cuando el ahogamiento excede los valores citados con anterioridad.

**SECCION DE ENTRADA DEL MEDIDOR**

Es la sección E-E, situada en el tramo del canal inmediatamente aguas arriba del medidor donde el regimen de flujo es sensiblemente uniforme. (Ver fig. A.1).

**SECCION DE SALIDA DEL MEDIDOR**

Es la sección S-S situada en el tramo del canal inmediatamente aguas abajo del medidor donde el regimen de flujo es sensiblemente uniforme. (Ver fig. A.1).

**CARGA DISPONIBLE**

Es la diferencia entre  $H_e - H_s$ , donde  $H_e$  es la carga total en la sección de entrada del medidor y  $H_s$  es la carga total en la sección de salida del medidor. (Ver fig. A.1)

**CARACTERISTICAS DE CONSTRUCCION**

Los medidores deben construirse observando las dimensiones y caudales indicados en la tabla A.1.

L <sub>1</sub>	U	A	T/A	V <sub>c</sub>	E	C	D	F	F	C	E	R	H	P	E	Y	CAUDAL		
																	Flujo libre	Flujo	
																	Min.	Max.	
7	7.6	44.7	31.1	19.8	45.7	17.8	25.0	61.0	15.2	30.5	3.5	5.7	40.6	10.5	76.0	2.5	3.8	0.0014	0.064
15	15.2	82.1	61.4	31.5	81.0	29.4	39.7	61.0	32.5	64.0	7.6	11.4	62.6	30.5	111.2	7.6	11.4	0.0014	0.104
23	22.9	88.0	58.7	66.0	88.0	58.1	57.5	76.2	32.5	65.7	7.6	11.4	40.6	30.5	103.0	1.6	3.8	0.0025	0.120
30	30.5	137.2	91.4	86.5	134.3	65.0	84.5	91.4	61.0	91.4	7.6	12.9	50.8	38.1	149.2	3.8	3.8	0.0031	0.450
45	45.7	164.9	98.5	81.8	134.3	76.2	102.6	91.4	61.0	91.4	7.6	12.9	50.8	38.1	169.6	7.6	3.8	0.0043	0.654
60	61.0	157.4	101.6	120.2	145.5	91.4	149.9	91.4	61.0	91.4	7.6	12.9	50.8	38.1	183.4	7.6	3.8	0.0119	0.871
90	91.4	161.4	111.9	135.3	164.9	121.9	152.2	91.4	61.0	91.4	7.6	12.9	50.8	38.1	222.3	7.6	3.8	0.0121	1.422
120	121.9	182.9	121.9	169.8	179.4	152.4	193.7	91.4	61.0	91.4	7.6	12.9	61.0	45.7	217.1	3.8	3.8	0.0378	1.927
150	152.4	198.1	132.1	204.3	194.3	182.9	210.2	91.4	61.0	91.4	7.6	12.9	61.0	45.7	325.0	7.6	3.8	0.0553	2.473
180	182.9	211.4	142.3	238.8	229.2	215.4	246.7	91.4	61.0	91.4	7.6	12.9	61.0	45.7	344.2	7.6	3.8	0.0324	2.938
210	213.4	238.6	152.4	223.3	226.2	245.0	258.3	91.4	61.0	91.4	7.6	12.9	61.0	45.7	388.0	7.6	3.8	0.0457	2.831
240	243.8	243.8	182.6	302.7	239.1	274.3	319.7	91.4	61.0	91.0	7.6	12.9	61.0	45.7	417.2	7.6	3.8	0.0661	3.403

TABLA A.1 DIMENSIONES (CMS.) Y CAUDALES (M<sup>3</sup>/S) DE LOS MEDIDORES PARSHALL.

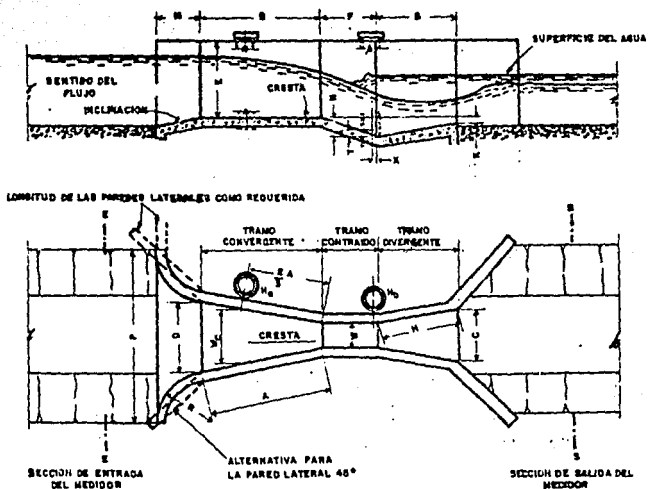


FIGURA A.1 MEDIDOR PARSHALL.

Los medidores Parshall pueden construirse en el campo o ser prefabricados en los siguientes materiales:

- 1.- Concreto armado.
- 2.- Lámina de acero inoxidable.
- 3.- Lámina de acero-carbón revestido.
- 4.- Resinas plásticas reforzadas con fibra de vidrio.

Se recomienda que los medidores de ancho nominal 7, 15 y 22, no sean construidos en concreto.

En los medidores contruidos de resinas plásticas, no se admiten roscas sobre el material plástico. Las roscas deben ser hechas con injertos metálicos rosqueados.

Pueden admitirse refuerzos de metal inoxidable fijados a la estructura de plástico.

Los medidores contruidos de resinas plásticas deben resistir una temperatura mínima de 70° C, y los efectos de los rayos solares sin sufrir ninguna deformación o deterioro.

Los medidores contruidos de resinas plásticas reforzadas con fibra de vidrio o de láminas de acero, formando un único armazón, deben tener una rigidez suficiente como para evitar cualquier deformación durante el funcionamiento, mantenimiento, transporte o movimiento del medidor.

Los medidores prefabricados pueden construirse para ser revestidos externamente con concreto, formando una estructura única con el canal, o para ser instalados en forma biapoyada en las secciones de los canales.

Los medidores prefabricados deben ser embridados en el fondo y en las laterales en sus extremos, para su encaje en los canales de concreto.

En el caso de los medidores contruidos de láminas de acero-carbón, la superficie interna debe recibir un revestimiento resistente a la erosión por la acción del agua en movimiento.

Las paredes laterales del tramo contraído deben ser paralelas y verticales.

La cresta del medidor debe estar estrictamente a nivel, a fin de asegurar el mismo caudal para incrementos iguales a lo largo del ancho del medidor.

Deben introducirse esquineras de metal inoxidable perpendicularmente a la dirección del flujo, en todos los cambios de dirección a fin de proteger el fondo del medidor de la erosión y permitir una superficie sólida para la referencia del cero.

Los piezómetros pueden instalarse en cualquiera de los lados del medidor.

En los medidores de pequeñas dimensiones, si existe un acuerdo entre el fabricante y el comprador, los piezómetros pueden ser sustituidos por escalas graduadas.

Las escalas deben ser graduadas en centímetros, siendo la división más pequeña de 0.5 cms. Deben fijarse en la parte interna del medidor, en los lugares indicados para la instalación de los piezómetros.



Las escalas deben tener dimensiones que permitan su fácil lectura.

#### CONDICIONES DE INSTALACION

El medidor Parshall debe ser instalado precedido aguas arriba, bien sea por un reservorio de gran tamaño, en donde la velocidad sea sensiblemente nula, o por un tramo de canal prismático en donde el flujo se haga en régimen uniforme y seguido por un tramo de canal prismático en el cual el flujo sea también uniforme.

El medidor debe tener el mismo eje de los canales de aguas abajo y de aguas arriba.

El medidor Parshall puede instalarse por conveniencia operacional, lo más cerca posible a la compuerta de regulación del caudal aguas arriba, pero suficientemente lejos de la compuerta como para que el flujo en la región de entrada del medidor sea uniforme y completamente libre de remolinos, turbulencias y olas.

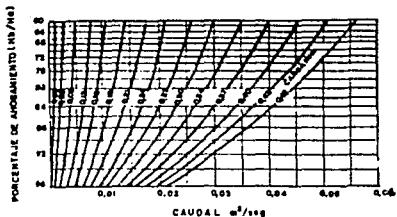
#### CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO Y OPERACION

En el flujo libre, el caudal de un medidor de ancho nominal, Ln, debe determinarse por medio de las siguientes fórmulas:

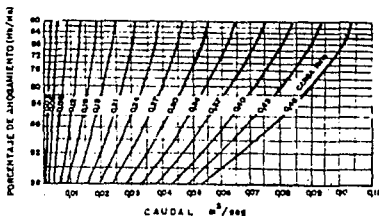
Longitud nominal del medidor (Ln)	Ecuación (Q en m <sup>3</sup> /s, W y Ha en m)
7	$Q = 0.1765 H_a^{1.547}$
15	$Q = 0.381 H_a^{1.55}$
22	$Q = 0.535 H_a^{1.55}$
30 a 240	$Q = 0.372 W (3.281 H_a)^{1.546} W^{0.026}$

En el flujo ahogado el caudal de un medidor de ancho nominal Ln, se obtiene del siguiente modo:

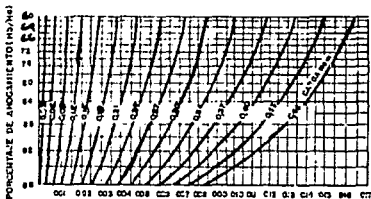
A) Directamente en los siguientes diagramas, en el caso de ancho nominal 7, 15 y 22.



(a) Caudal en medidores de ancho nominal 7



(b) Caudal en medidores de ancho nominal 15



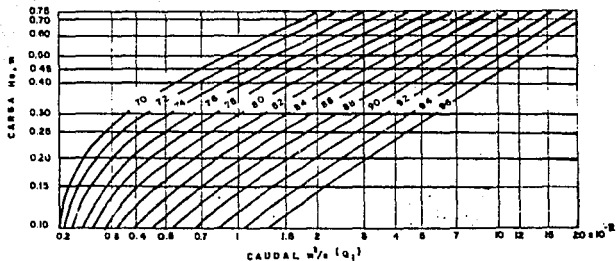
(c) Caudal en medidores de ancho nominal 22

B) Para los demás medidores, del caudal que se obtiene en el flujo libre, se resta el producto del caudal encontrado en el siguiente diagrama, por el factor de multiplicación que se da a continuación:

Ancho Nominal del Medidor  
 $L_n$

Factor de Multiplicación

30	1.0
45	1.4
60	1.8
90	2.4
120	3.1
150	3.7
180	4.3
210	4.9
240	5.4



(d) Caudal en medidores de ancho nominal 30

## CONDICIONES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL MEDIDOR PARSHALL

Para dimensionar el medidor Parshall se deben conocer los siguientes elementos:

- 1.- Sección transversal de los canales aguas arriba y aguas abajo;
- 2.- Intervalo de caudal.
- 3.- Profundidad normal del agua en los canales;
- 4.- Carga disponible.

Como criterio de dimensionamiento se recomienda admitir flujo libre en el medidor, con el ahogo máximo posible en la condición de caudal máximo.

En caso de que el flujo libre no sea viable, se recomienda sobrepasar el ahogo 0.9.

Se considera que el diseño del medidor Parshall con flujo libre es adecuado, cuando satisface las siguientes condiciones:

- 1.- Carga total en la cresta del medidor no superior a la carga total en la sección de entrada;
- 2.- Pérdida de carga en el medidor no superior a la carga disponible. Para los medidores de ancho nominal de 30 a 240, con datos de caudal y ahogo, la pérdida de carga correspondiente en el medidor es proporcionada por el diagrama A,

Si en el canal de aguas abajo hay la posibilidad de acumulación de lodo o de que ocurra cualquier modificación del lecho que vaya a perjudicar en el futuro la condición del flujo libre, se debe verificar el medidor para ver la condición de flujo ahogado.

Si el flujo se mantiene siempre libre, solamente es necesario la instalación del piezómetro en el tramo convergente. Si existe la posibilidad de que el flujo se vuelva ahogado se debe instalar también el piezómetro que corresponda al tramo contraído.

Se escogerá, dentro del grupo de medidores que satisfagan las condiciones anteriores, el medidor de menor ancho.

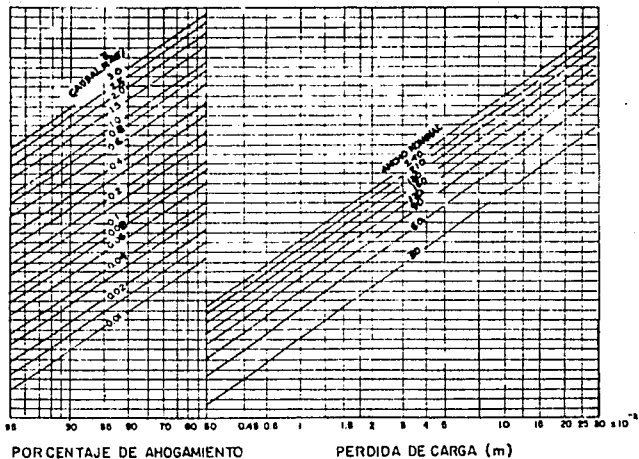


DIAGRAMA A. PERDIDA DE CARGA EN MEDIDORES PARSHALL DE LONGITUD NOMINAL 30 A 240.

PRECISION Y CALIBRACION

La precisión de un medidor Parshall está directamente vinculada a la precisión de su construcción. Si se siguen estrictamente las dimensiones dadas en la tabla A.1, la precisión del medidor en relación al caudal debe ser de 3 %.

L	W	A	T/A	V <sub>1</sub>	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	Caudal Flujo libre m <sup>3</sup> /s m <sup>3</sup> /min
7	7.6	46.7	31.1	19.8	45.7	17.8	15.9	61.0	15.7	30.5	7.5	5.7	40.4	30.5	74.0	2.5	1.8	0.0025	0.1138											
15	15.7	82.1	41.4	31.5	61.0	19.4	19.7	61.0	32.5	61.0	7.6	11.4	40.4	30.5	92.2	2.6	2.6	0.0014	0.1174											
22	22.9	88.0	56.7	46.0	86.6	36.1	37.5	74.7	32.5	45.7	7.6	11.4	40.4	30.5	103.0	2.6	2.6	0.0023	0.2370											
30	30.5	177.2	91.4	66.1	134.1	61.0	64.9	91.4	61.0	91.4	7.6	22.9	50.8	18.1	149.2	2.6	2.6	0.0011	0.9450											
45	45.7	164.8	96.5	81.6	124.3	74.7	102.6	91.4	61.0	91.4	7.6	22.9	50.8	18.1	187.4	2.6	2.6	0.0047	0.6766											
60	61.0	157.4	101.6	120.2	149.5	91.4	149.9	91.4	61.0	91.4	7.6	22.9	50.8	18.1	183.4	2.6	2.6	0.0119	0.9332											
90	91.5	167.4	111.0	135.3	164.5	121.0	157.2	91.4	61.0	91.4	7.6	22.9	50.8	18.1	222.3	2.6	2.6	0.0173	1.4272											
120	121.7	182.9	121.9	149.8	179.4	152.4	193.7	91.4	61.0	91.4	7.6	22.9	50.8	18.1	271.1	2.6	2.6	0.0348	1.9272											
150	152.4	198.1	132.1	204.3	194.3	182.9	230.2	91.4	61.0	91.4	7.6	22.9	50.8	18.1	303.0	2.6	2.6	0.0431	2.4379											
180	182.9	213.4	142.2	238.8	209.2	213.4	264.7	91.4	61.0	91.4	7.6	22.9	50.8	18.1	344.2	2.6	2.6	0.0738	2.1708											
210	213.4	228.6	151.6	273.1	214.7	243.8	303.2	91.4	61.0	91.4	7.6	22.9	50.8	18.1	381.0	2.6	2.6	0.0950	2.4377											
240	243.8	243.8	162.6	307.7	219.1	274.3	339.7	91.4	61.0	91.0	7.6	22.9	50.8	18.1	417.2	2.6	2.6	0.0941	1.9507											

TABLA A.1 DIMENSIONES (CMS.) Y CAUDALES (M<sup>3</sup>/S) DE LOS MEDIDORES PARSHALL.

A fin de obtener exactamente los valores previstos en esta norma dentro del rango de error previsto, se recomienda que cada medidor Parshall sea calibrado en el lugar de su instalación.

Se recomienda igualmente, para propósitos de calibración, aplicar métodos de medición de caudal que permitan mediciones con un error máximo de  $\pm 1\%$ .

ANEXO II

PRINCIPALES FABRICANTES DE MEDIDORES

Entre los principales fabricantes de medidores se cuentan los siguientes:

- Delaune
- Azteca
- Ingeniería y Sistemas del Agua, S.A.
- Intensa, S.A.
- Neptune.

## ANEXO III

### PRINCIPALES MEDIDORES COMERCIALES

Los principales tipos de medidores existentes a nivel comercial son los siguientes:

#### A) MEDIDORES:

- De turbina.
- Magnéticos.
- Sónicos.

#### B) TUBOS:

- Venturi.
- Tobera.
- Placas de orificio.
- De pitot:
  - 1.- Simplex.
  - 2.- Modificado (tipo Annubar).



## CONCLUSIONES

En base a lo expuesto anteriormente, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- A) Se debe tener muy en cuenta la relación técnico-administrativa para el adecuado funcionamiento del sistema de macromedición que se quiera considerar.

Este aspecto basa su importancia en el sistema político-administrativo imperante en las dependencias gubernamentales (hay que recordar que todo lo concerniente al abastecimiento de agua potable es manejado por entidades del gobierno, ya sea la S.A.R.H., la D.G.C.D.H., la C.E.A.S., etc.), por lo tanto es de gran importancia que un aspecto básicamente técnico, como lo es la implementación de programas de medicina, se adapte a las condiciones de trabajo de dichas dependencias.

Las consecuencias que podría provocar un mal manejo de la relación técnico-administrativa sería principalmente el retraso del proceso de implementación del sistema de macromedición, ocasionando con esto el aumento del costo de dicho programa de medicina y llegarlo a considerar como ineficiente.

- B) Se debe considerar la dificultad que hay para la realización de buenos programas de medicina en países subdesarrollados, como lo es el nuestro, ya que no se cuenta con los suficientes recursos económicos. Además es necesario tomar en cuenta el atraso tecnológico en que vivimos, lo que lleva a considerar la adquisición de medidores, de refacciones, así como la necesidad de la contratación de técnicos especializados, con el fin de capacitar al personal de la entidad. Este último aspecto es quizá el que más dificultades presenta, por lo que se puede optar por la adquisición de bibliografía especializada y buscar de este modo la capacitación del personal de medicina.

El aspecto de la capacitación del personal es de suma importancia para el adecuado desarrollo del sistema de medicina, ya que se involucra en todos los puntos esenciales técnicos. Entre estos se pueden citar los siguientes:

- 1.- Adquisición del equipo necesario.
- 2.- Adquisición de los medidores requeridos.

- 3 - Colocación de los medidores.
- 4 - Mantenimiento de los medidores.
- 5 - Calibración de los medidores.
- 6 - Interpretación de resultados.

C) El considerar estos puntos nos debe llevar hacia la correcta implementación del sistema de macromedición; lo que tendría como consecuencia directa la detección y corrección de fugas de agua.

De este modo se logrará una adaptación a el cobro por el servicio de abastecimiento de agua potable más real, lo que redundaría en una ostensible mejoría, desde el punto de vista económico, en las entidades encargadas del abasto de agua potable. Para los usuarios significaría, básicamente, el percibir realmente la cantidad de agua que se les está cobrando.

D) La implementación de adecuados programas de medición, así como la realización de campañas de concientización del uso racional del agua, son dos opciones importantísimas encaminadas hacia el cuidado y uso racional y adecuado del agua, sobre todo en ciudades tan grandes y complejas, como lo es la ciudad de México, ya que hay que considerar que el agua es un elemento primordial tanto para el desarrollo, en todos aspectos, de un país, como para la subsistencia de sus habitantes.

E) Se debe tener en cuenta que para lograr el adecuado funcionamiento de los medidores, es preciso llevar a cabo las indicaciones que se dan tanto para su instalación, puesta en operación, mantenimiento, etc., ya que de hacer caso omiso de alguna(s) de estas recomendaciones se corre el riesgo de no lograr una correcta medición y de afectar el funcionamiento del medidor que se este usando.

F) A los trabajos de verificación de los equipos de medición, tanto en laboratorio como en el campo, se les debe dar gran importancia para que se pueda garantizar la confiabilidad del sistema de medición.

G) El conocimiento de las reales características, tanto físicas como químicas, del agua es otro aspecto muy importante para evitar el deterioro del equipo de medición.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. Fluid meters; their theory and application. 6. ed. New York, ASME, 1971.
- 2.- ASTM D 1941 - 67 - Standard Method for Open Channel Flow Measurement of Water and Waste by the Parshall flume
- 3.- BENSON, J. M. Thermal flow sensors instrumentation technology, 1971.
- 4.- CETESB. Gerencia de Desenvolvimento de Qualidade y Normas Técnicas. Relacionado a los hidrómetros. Sao Paulo, 1980.
- 5.- CREUS, Antonio. Instrumentación industrial. 2a edición. México, Ed. Pub. Marcombo, S.A., 1979.
- 6.- DEGREMONT. Manual Técnico del Agua. 1973.
- 7.- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL. Desarrollo de un medidor de flujos. México, Instituto de Ingeniería, U.N.A.M., 1983.
- 8.- FOMENTO ESTADUAL DE SANEAMIENTO BASICO Y CENTRO TECNOLÓGICO DE SANEAMIENTO BASICO. Pitometría, 1970.
- 9.- HERNING, Fritz. Transporte de fluidos por tuberías. Traducción: J. R. Estebanéz E. 1a. edición, España, 1976. 181 pp.
- 10.- HUEB, J. A. Pitometría. Lima, CEPIS, 1984.
- 11.- SABESP. Pitometría aplicada a diagnósticos de sistemas de abastecimiento de agua potable.
- 12.- SOTELO, Gilberto. Hidráulica General: Vol. I Fundamentos, 3a. edición, México, 1979. 561 pp.