



2er 50

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

**INSTRUMENTACION EN LAS ESTACIONES DE MEDICION
DE ENTREGAS DE AGUA EN BLOQUE AL D. F.**

T E S I S

Que para obtener el título de:

I N G E N I E R O C I V I L

P r e s e n t a :

JAIME ESPINOSA LARRAÑAGA

México, D. F.

1981



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INSTRUMENTACION EN LAS ESTACIONES DE MEDICION DE
ENTREGAS DE AGUA EN BLOQUE AL D. F.

I N D I C E

	<u>PAG.</u>
I. INTRODUCCION	1
II. GENERALIDADES DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA AL DISTRITO FEDERAL	5
III. ESTACIONES DE MEDICION DE ENTREGAS DE AGUA EN BLOQUE AL DISTRITO FEDERAL	16
IV. MEDIDORES DE FLUJO	20
1.- Medidores de Carga	20
1.1.- Tubo Venturi	22
1.2.- Medidor de Chiflón o Boquilla de Flujo	28
1.3.- Diafragmas o Placas con Orificio ..	31
1.4.- Tubo Pitot	34
1.5.- Medidor de Codo	42
2.- Medidor de Area	45
3.- Medidor de Desplazamiento Positivo	47
4.- Medidor Ultrasónico	48
5.- Medidores de Flujo en Canales Abiertos ..	49

PAG.

V.	INSTRUMENTACION EN LAS ESTACIONES DE MEDICION DE ENTREGAS DE AGUA EN BLOQUE AL DISTRITO FEDERAL	53
	1.- Sistema Lerma	62
	2.- Sistema Aguas del Norte	70
	3.- Sistema Aguas del Sur	84
	4.- Sistema Pozos Municipales	93
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
	BIBLIOGRAFIA	102

I. - INTRODUCCION

El agua es, con la excepción del aire, la sustancia más importante para la supervivencia del hombre. El hombre, como todas las otras formas de vida biológica, dependen con extremo del aire y pueden sobrevivir mucho más tiempo sin alimentos que sin agua. Las cantidades de agua requeridas directamente para el funcionamiento adecuado de los procesos del cuerpo, son relativamente pequeñas pero imprescindibles.

Además del consumo humano y los requerimientos de salud, el agua también juega un papel social importante y necesario - para el desarrollo de la agricultura, la industria y otros propósitos, el agua es importante en la higiene humana, que también influye en el desarrollo social y económico de la población.

El conocimiento de los procesos y factores que afectan el origen, la existencia y la circulación del agua, es esencial para la captación y usos adecuados de las fuentes de dicha agua. Es importante, para determinar un grado satisfactorio de extracción y uso racional del agua, conocer la cantidad presente, su origen, la dirección y grado de circulación hasta su punto de descarga, el grado de descarga y el de reposición, así como su calidad.

El ciclo hidrológico es el nombre que se le da al proceso físico de circulación del agua en estado líquido, de vapor o sólido, es decir, la evaporación que tiene lugar en la superficie del agua de los océanos y otras masas abiertas de agua, da por resultado la transferencia de vapor de agua a la atmósfera. En ciertas condiciones, este vapor se condensa para formar nubes, las cuales, subsecuentemente, liberan su humedad como precipitación en forma de lluvia, granizo o nieve. La precipitación puede ocurrir sobre los océanos regresando algo del agua directamente a ellos o sobre la tierra en la que los vientos han transportado previamente la humedad del aire y las nubes.

Parte de la lluvia que cae en la tierra, se evapora retornando inmediatamente la humedad a la atmósfera. Del resto, una parte alcanza la superficie del suelo, la moja y fluye hacia las corrientes superficiales y desemboca finalmente en el océano, mientras, otra parte, se filtra en el suelo y entonces, se percola hacia el flujo del agua del suelo a través del cual llega más tarde, hasta el océano. La evaporación regresa parte del agua de la superficie de la tierra, moja la atmósfera, mientras que las plantas extraen algo de esta porción en el suelo mediante sus raíces, y en virtud de un proceso conocido como transpiración, la devuelven a la atmósfera a través de sus hojas.

En cada una de las etapas del ciclo pueden estas ser medi-

das con instrumentos exprofesos o funciones algebraicas, como lo son: el evaporómetro, pluviógrafo, pluviómetro, aforos con molinete, evapotranspirómetro y permedmetro, siendo algunos de ellos los indicadores de la explotación de las fuentes de abastecimiento, es decir, todo sitio susceptible de aprovechamiento del agua para el consumo municipal o doméstico como son: la lluvia, los ríos, los lagos, las aguas subterráneas y hasta el agua de los océanos. Siendo éstos el punto de partida fundamental del sistema de abastecimiento de agua, que se constituye con los sistemas de captación, conducción, regulación, almacenamiento y distribución.

Con el objeto de tener información permanente referente a volúmenes y su variación instantánea del sistema de abastecimiento para la toma oportuna de decisiones, se recomienda -- instalar dispositivos medidores en puntos estratégicos en el sistema, para que los datos aportados por éstos, se tomen como indicadores del volumen explotado en las fuentes o volumen captado, volumen conducido, volumen disponible para la distribución a la población y por consecuencia, las pérdidas, fugas y tomas clandestinas.

En este breve trabajo nos interiorizaremos en los instrumentos medidores y más específicamente en una parte de los elementos de la conducción que se le ha asignado el nombre de "Estaciones de entregas de agua en bloque", cuya característica es la del punto o sitio de recepción de las sumatorias-

de grandes volúmenes captados en las fuentes de abastecimiento y disponible para la regulación, almacenamiento y distribución, el cual constituye el 69.57 por ciento del volumen que consumimos en el Distrito Federal. De tal manera que la cuantificación del volumen instantáneo será un indicador de los recursos en las fuentes, de la conducción, de la disponibilidad en la red de distribución, así como la capacidad y funcionalidad de la infraestructura.

II. - GENERALIDADES DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO
DE AGUA POTABLE DEL DISTRITO FEDERAL.

El sistema de abastecimiento de agua potable del Distrito Federal (D. F.), está constituido por diversos sistemas, de acuerdo con la localización de las fuentes de captación, como siguen, y se pueden observar en la figura número 1.

- a) Sistema Lerma.
- b) Sistema Aguas del Norte.
- c) Sistema Aguas del Sur.
- d) Sistema Pozos Municipales.
- e) Sistema Pozos Particulares.
- f) Sistema de Manantiales.

Los cuales están formados independientemente por sus elementos de captación, conducción, almacenamiento o regulación, - desinfección o cloración y distribución, siendo éstos operados por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal, la Comisión de Aguas del Valle de México de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y por particulares.

El 99.06 por ciento del volumen que consumimos, provienen de 1341 pozos, observándose que la fuente, es el agua subterránea y que la explotación de las fuentes de captación, es por medio de pozos diseminados en el Distrito Federal y en los -

Estados de México e Hidalgo, de los cuales, el 80.61 por ciento de los pozos se encuentran operando con un gasto variable. El resto de los pozos lo constituye el 13.57 por ciento, los cuales se encuentran en reparación y por último, el 5.82 por ciento de los pozos, cuyos mantos están agotados. El por ciento es con respecto a datos del segundo bimestre de 1980.

El 0.94 por ciento restante del volumen total que consumimos, es captado por medio de manantiales localizados al suroeste, del Distrito Federal, como se observan en la figura número 1, señalados con la letra m.

Las características generales de las fuentes de captación por sistema, se han resumido en la tabla número 1.

Cabe señalar con relación a la tabla número 1, que no existe relación alguna entre la cantidad de pozos en las fuentes y el volumen explotado, ya que existen características hidráulicas y de operación diferentes.

Basados en los datos de 1975 a 1980, se tiene el por ciento del volumen total con que operan los sistemas como siguen:

SISTEMA LERMA	24.29 por ciento del volumen total
SISTEMA AGUAS DEL NORTE	23.62 por ciento del volumen total
SISTEMA AGUAS DEL SUR	26.76 por ciento del volumen total
SISTEMA POZOS MUNICIPALES	18.85 por ciento del volumen total
SISTEMA POZOS PARTICULARES	5.54 por ciento del volumen total
SISTEMA DE MANANTIALES	0.94 por ciento del volumen total

SIMBOLOGIA

- + - + LIMITE DEL D.F.

o o POZOS

— CONDUCCIONES

□ P. DE BOMBEO

○ TANQUE

⊥ DISTRIBUCION

m MANANTIAL

△ P. POTABILIZADOR

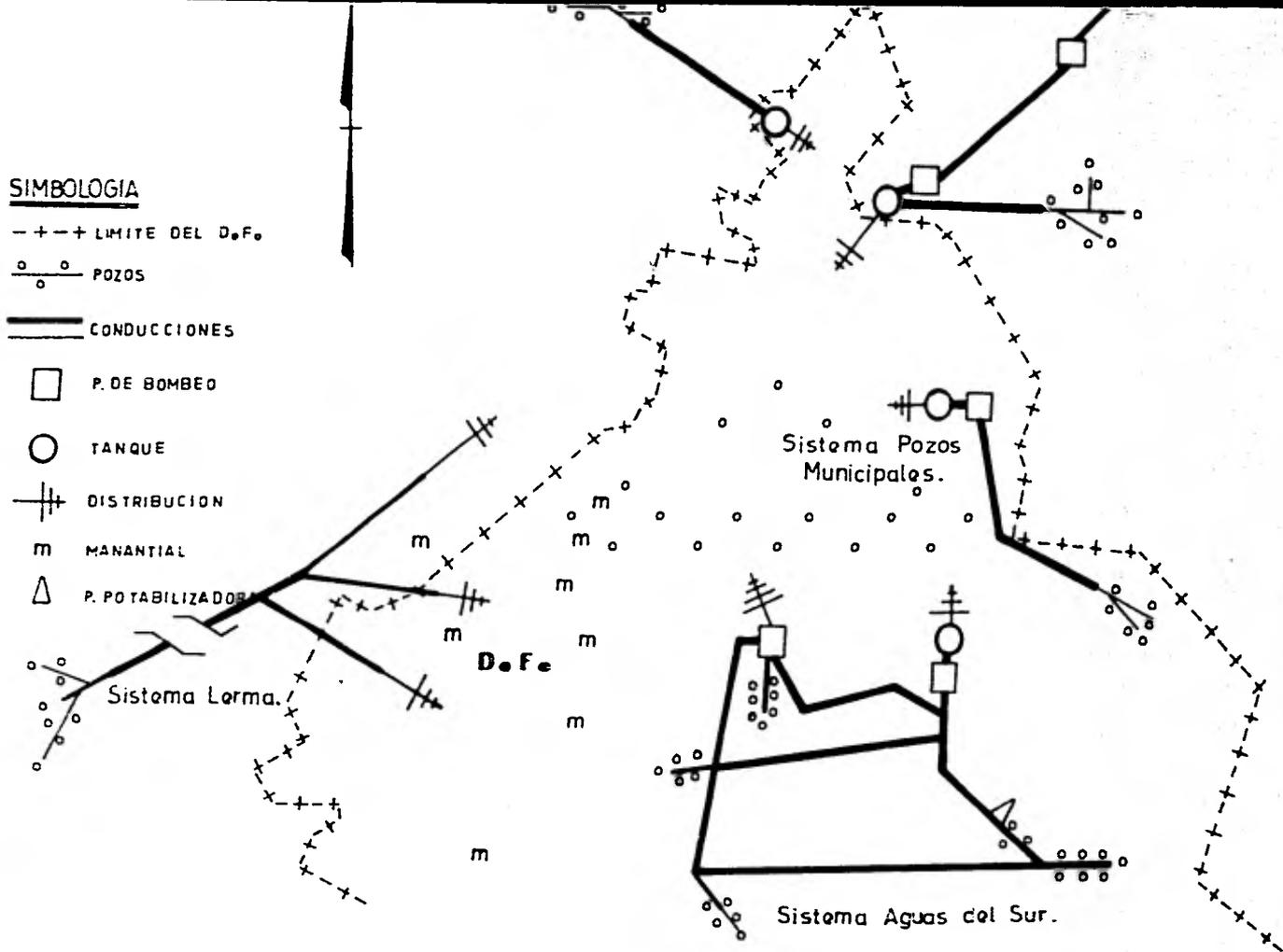


FIGURA Nº1. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DEL DISTRITO FEDERAL.

BIENIENTO DE AGUA DEL DISTRITO FEDERAL.

SISTEMA	OPERACION	MEDIOS DE CAPTACION	ZONA DE CAPTACION	LOCALIZACION DE LA CAPTACION
Lerma	D. D. F. **	230 pozos	Edo. de México	Pte. del Distrito Federal
Aguas del Norte	C. A. V. M. * C. A. V. M. * D. D. F. **	36 pozos 87 pozos 39 pozos	Edo. de Hidalgo Edo. de México Edo. de México	Nte. del Distrito Federal Nte. del Distrito Federal Nte. del Distrito Federal
Aguas del Sur	C. A. V. M. * D. D. F. **	50 pozos 122 pozos	Distrito Federal Distrito Federal	Sur del Distrito Federal Sur del Distrito Federal
Pozos Municipales	D. D. F. ** D. D. F. **	9 pozos 188 pozos	Distrito Federal Distrito Federal	Ote. del Distrito Federal Diseminados en todo el Distrito Federal
Pozos Particulares	Particulares	580 pozos	Distrito Federal	Diseminados en todo el Distrito Federal
Manantiales	D. D. F. **	8 Manantiales	Distrito Federal	SW del Distrito Federal

- * C. A. V. M. - Comisión de Aguas del Valle de México
 ** D. D. F. - Departamento del Distrito Federal

El 47.92 por ciento del volumen total que se entrega al Distrito Federal provienen de las zonas de captación en el Estado de México e Hidalgo, y el 52.08 por ciento restante de las zonas de captación del Distrito Federal.

El agua captada en cada fuente de un sistema se conduce hasta los sitios de desinfección, plantas potabilizadoras, plantas de bombeo o rebombeo, tanques de almacenamiento o regulación y a la red de distribución por medio de conductos abiertos o cerrados.

Las fuentes de captación de agua potable del Distrito Federal como se mencionó anteriormente, son las aguas subterráneas, lo cual implica extremo cuidado en su control de calidad, ya que se pueden contaminar por la infiltración de -- aguas que llevan desechos orgánicos, fecales o industriales.

Para evitar en parte esta contaminación, se cuentan con zonas protectoras, con sistemas de vigilancia, además del establecimiento de medidas preventivas directas, más sin embargo, por la naturaleza de la fuente de captación, algunas de estas no cumplen con las características físicas, químicas y bacteriológicas, por lo cual, para esto último, se recurre al proceso de desinfección, el cual consiste en la adición de agentes químicos al agua para destruir los gérmenes patógenos. Se emplea habitualmente el cloro, cuya aplicación se denomina cloración, otros desinfectantes usuales son el bromo, ozono, luz ultravioleta y compuestos de plata, menos utilizados en nuestro medio y más costosos.

Si el agua no cumple con los requisitos para ser potable, se recurre a un proceso que la transforma, el cual se denomina potabilización.

Los procesos que se llevan a cabo en una planta potabilizada, son generalmente:

Aeración
Mezclado
Floculación
Sedimentación
Filtración
Desinfección

Así mismo, el agua que se capta de la fuente de abastecimiento, no se obtiene con el régimen requerido por la población, por lo que se dispondrá de una estructura que se denomina tanque y se dice que es de regulación o regularización, cuando exclusivamente sirve para ese objeto. Cuando además se retienen volúmenes destinados a otros fines, recibe el nombre de tanque de almacenamiento.

Con los tanques, se logra también mantener una determinada presión del agua en la red de distribución, así como asegurar el servicio continuo del suministro. Estos pueden ser superficiales, elevados o hidroneumáticos, habiendo la necesidad de bombear en algunos casos, para llegar al sitio o elevación del tanque.

A continuación se ilustra, por medio de diagramas de bloque, los elementos que forman cada uno de los sistemas de abastecimiento de agua potable del Distrito Federal.

- 11 -
SISTEMA LERMA

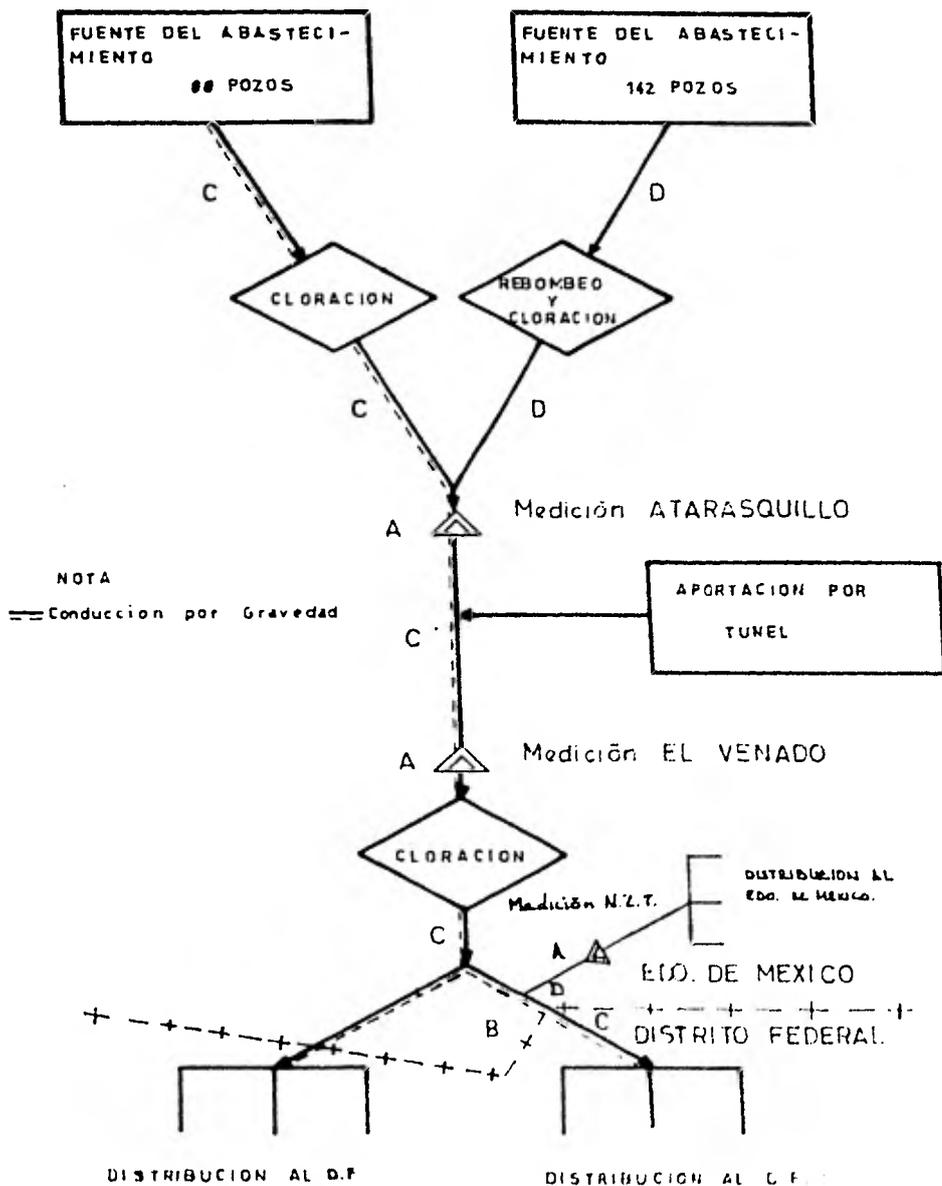
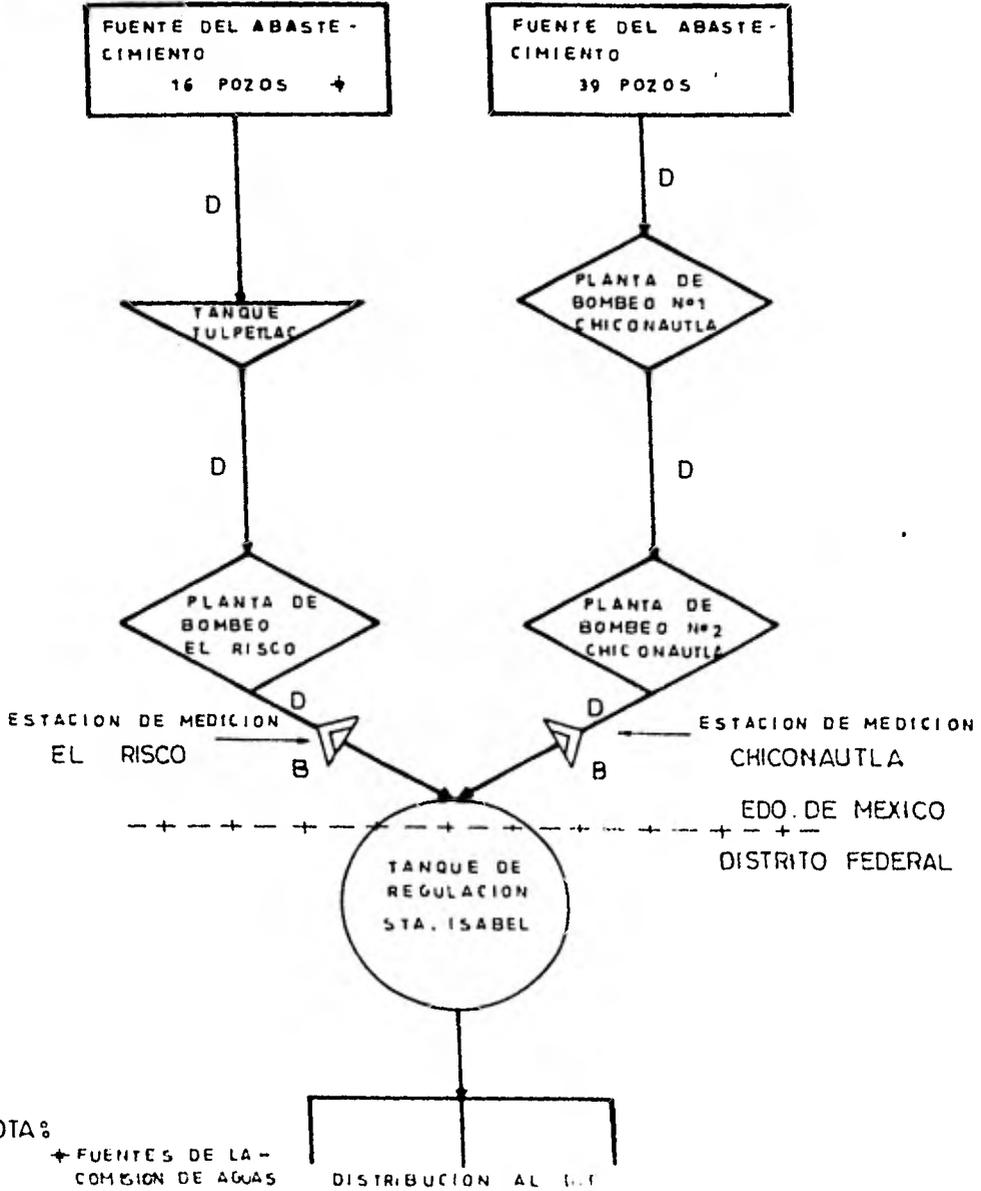


FIGURA N°2

SISTEMA AGÜAS DEL NORTE

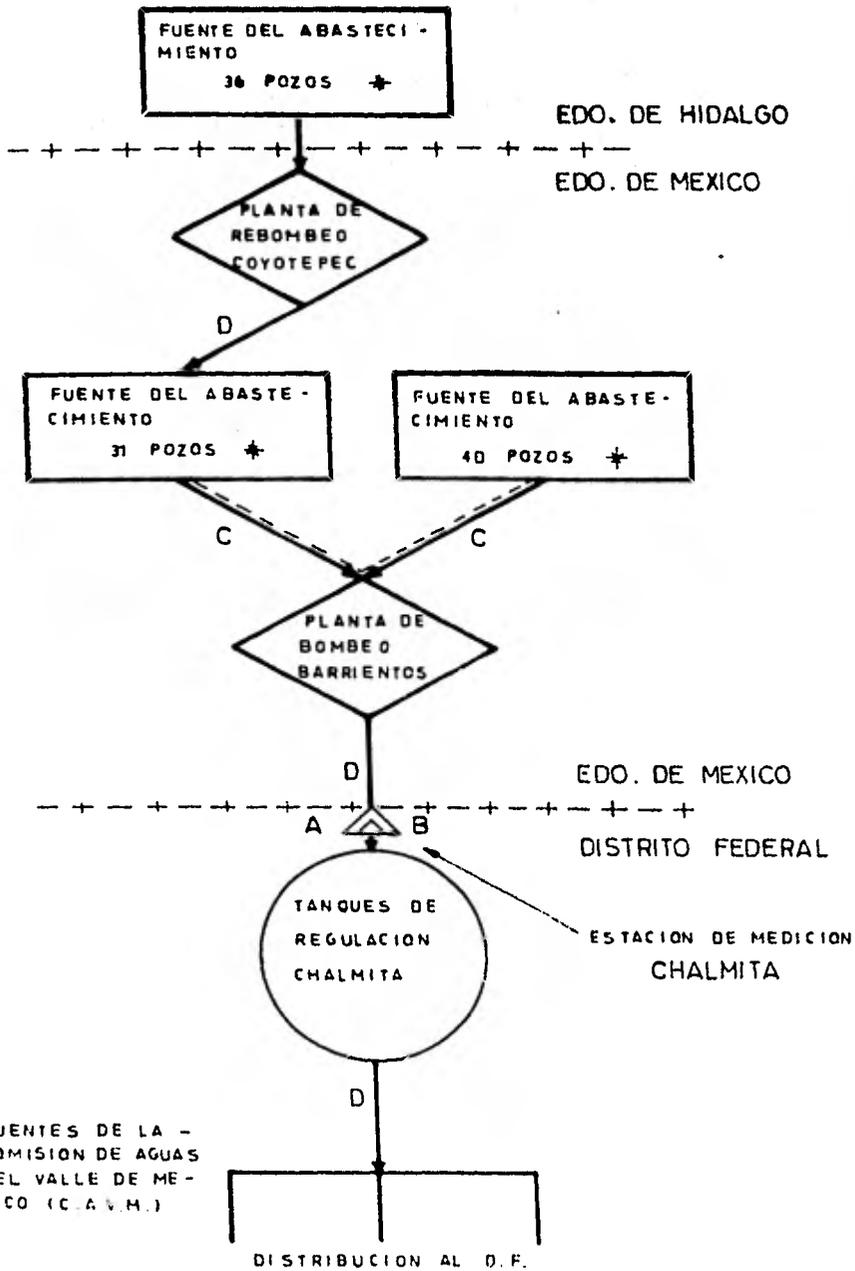


NOTA:

+ FUENTES DE LA COMISION DE AGÜAS DEL VALLE DE MEXICO (C.A.V.M.)

FIGURA N° 3

SISTEMA AGUAS DEL NORTE



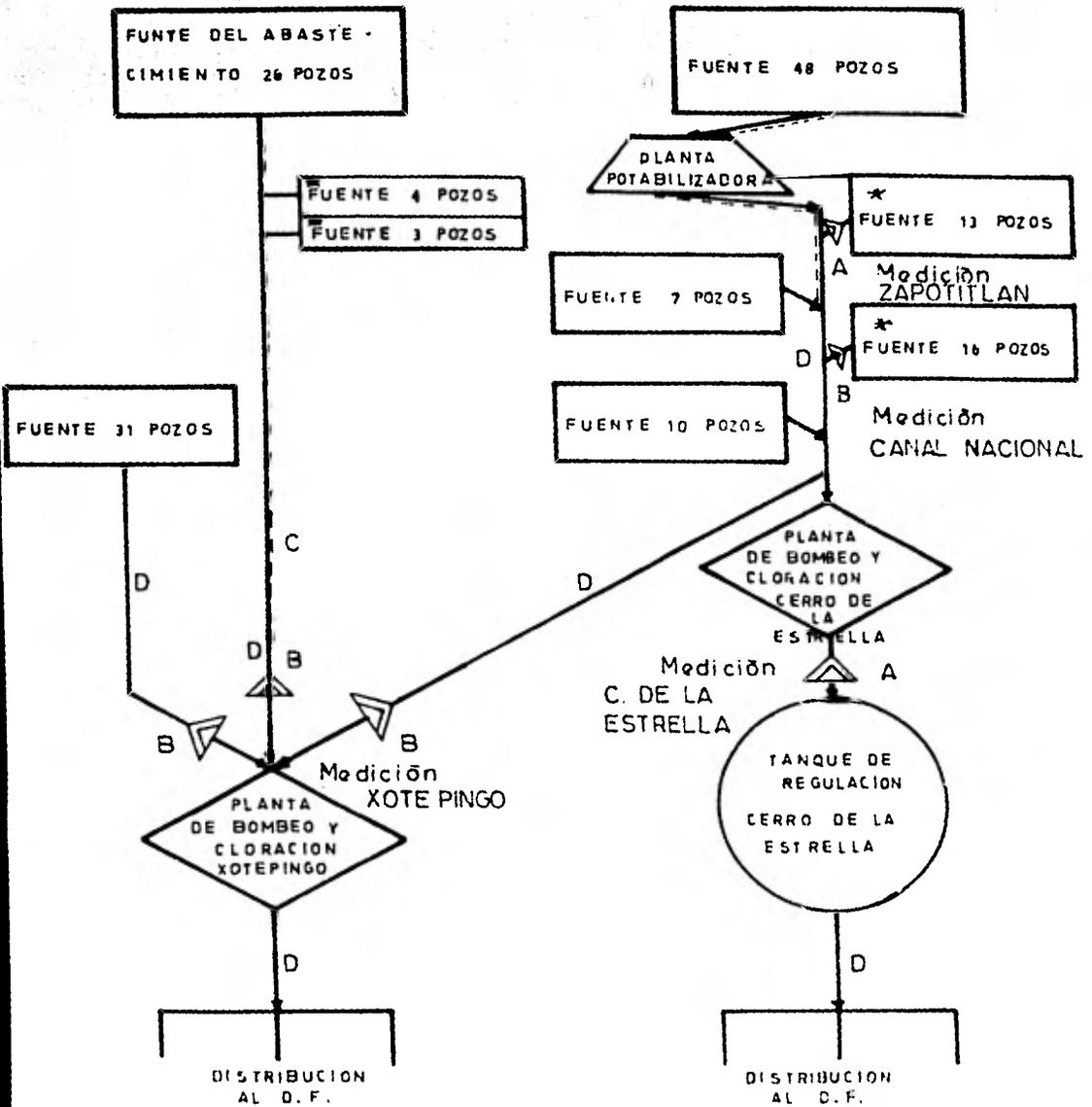
NOTA: * FUENTES DE LA COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO (C.A.V.M.)

DISTRIBUCION AL D.F.

DIAGRAMA DE BLOQUES

FIGURA N°4

SISTEMA AGUAS DEL SUR



NOTA:

* FUENTES DE LA COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO (C. A. V. M.)

FIGURA N°5

SISTEMA POZOS MUNICIPALES

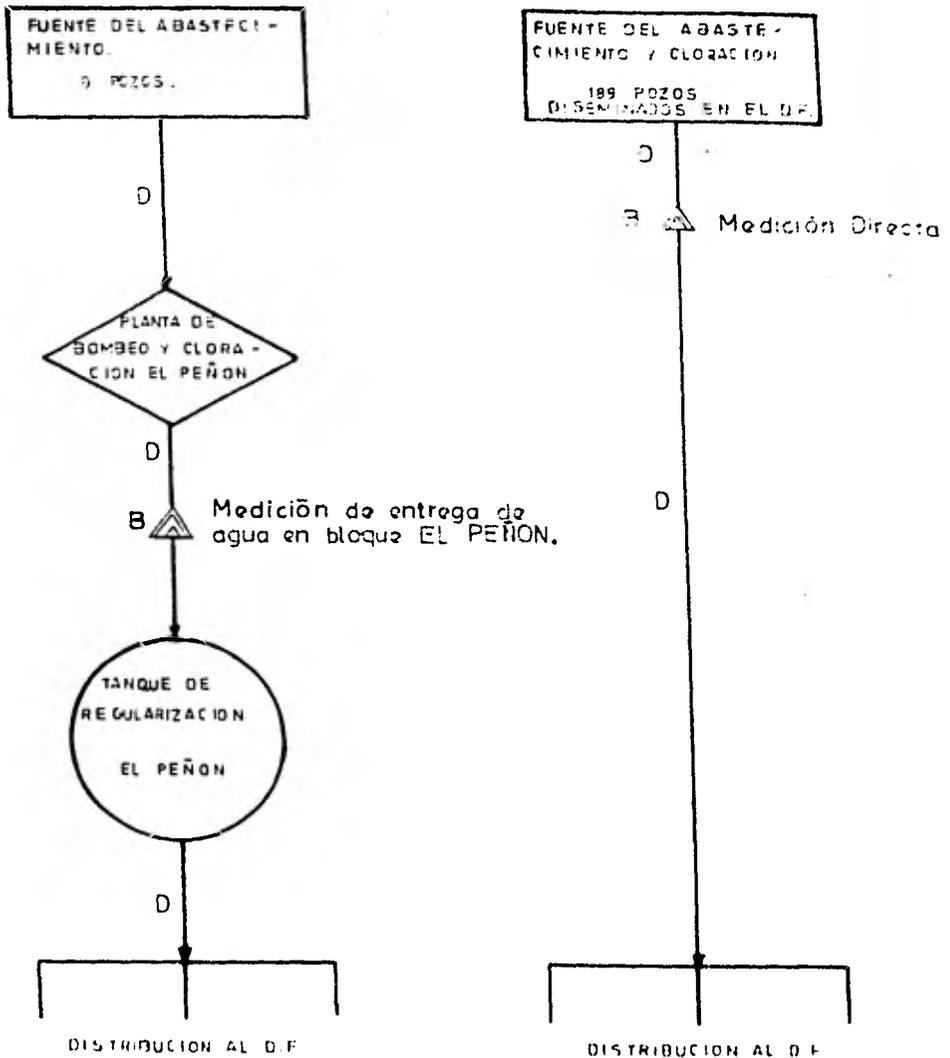


FIGURA Nº6

DIAGRAMAS DE BLOQUE

III.- ESTACIONES DE MEDICIÓN DE ENTREGAS
DE AGUA EN BLOQUE AL DISTRITO FEDE-
RAL.

Dada la situación del crecimiento desarticulado de la población del Distrito Federal y la falta de indicadores instantáneos de los recursos para el abastecimiento de agua potable, se hace necesario la cuantificación permanente del volumen instantáneo explotado, y por consecuencia, el volumen instantáneo disponible, además sirven para prever necesidades de la población, específicamente del Distrito Federal - en su conjunto como un todo, o sólo hacia áreas particulares del conjunto, por lo cual, se justifica instalar instrumentos medidores, en los elementos que constituyen el abastecimiento al Distrito Federal, específicamente nos referimos a éstos, en las estaciones de entregas de agua en bloque, cuyas características mencionaremos a continuación.

1.- Localización de las estaciones de medición de entregas de agua en bloque al Distrito Federal.

Las estaciones de medición de entregas de agua en bloque son sólo puntos en las líneas de conducción, con una o varias de las siguientes características:

- 1.1) Punto de recepción del volúmen de agua extraída en las fuentes de captación, en los Estados de México e Hidalgo, disponible para la distribución en el Distrito Federal.
- 1.2) Punto de recepción del volúmen neto de agua extraída de las fuentes de captación y disponible para su distribución.
- 1.3) Punto límite en la conducción entre los Estados de México e Hidalgo, con el Distrito Federal.
- 1.4) Punto de recepción del volúmen captado por la Comisión de Aguas del Valle de México y disponible para su distribución por el Departamento del Distrito Federal.

Cabe subrayar, que el volúmen que transita por estos puntos, es el 69.57 por ciento del volúmen que se consume en el Distrito Federal.

Obsérvese en los anteriores diagramas de bloque, figuras 2, -

3, 4, 5 y 6, la localización de las estaciones de medición por sistema, señalados con la letra A para las estaciones establecidas y con la letra B las estaciones por establecer.

2.- Características hidráulicas en las estaciones de medición.

La conducción del agua en el sistema de abastecimiento, se efectúa por medio de conductos cerrados, trabajando por gravedad o a presión, cuyas características hidráulicas, - en las estaciones de medición, se listan por sistema en la tabla número 2 y que están señaladas en los esquemas de bloque con las letras C y D respectivamente.

AGUA EN BLOQUE AL DISTRITO FEDERAL.

SISTEMA	ESTACION	TIPO DE CONDUCCION	SECCION	MATERIAL DEL CONDUCTO
Lerma	Atarasquillo	Por gravedad	Circular 3.20m ϕ	Concreto armado
	Peña El Venado	Por gravedad	Circular 3.20m ϕ	Concreto armado
	Línea Nzt.	A presión	Circular 0.61m ϕ	Asbesto - Cemento
Aguas del Norte	Chiconautla	A presión	Circular 0.51m ϕ	Acero
	Chiconautla	A presión	Circular 1.22m ϕ	Acero
	El Risco	A presión	Circular 1.22m ϕ	Acero
	Chalmita L.D.	A presión	Circular 1.83m ϕ	Concreto armado
	Chalmita L.I.	A presión	Circular 1.83m ϕ	Concreto armado
Aguas del Sur	Xotepingo Ch.-A	A presión	Circular 1.22m ϕ	Concreto armado
	Xotepingo P - A	A presión	Circular 1.22m ϕ	Acero
	Xotepingo X ₁	A presión	Circular 1.22m ϕ	Acero
	Xotepingo X ₂	A presión	Circular 1.22m ϕ	Acero
	Xotepingo X ₃	A presión	Circular 1.22m ϕ	Acero
	Cerro de la Estrella	A presión	Circular 1.83m ϕ	Concreto armado
	Canal Nacional	A presión	Circular 1.22m ϕ	Acero
	Zapotitlán	A presión	Circular 0.61m ϕ	Acero
Fozos Municipales	El Peñón	A presión	Circular 0.91m ϕ	Concreto armado

El tipo de conducción en la mayoría de las estaciones de medición, es a presión y el material del conducto es de acero.

IV.- MEDIDORES DE FLUJO.

1) Medidores de Carga.

Los medidores de flujo de carga, constituyen el tipo de dispositivo más común, estos medidores determinan la presión diferencial en una restricción al flujo. La presión se puede relacionar con la fuerza por unidad de área y la carga se convierte en una función de la velocidad del flujo y la densidad del medio fluyente. Todas las ecuaciones aplicables, se pueden derivar del teorema de Bernoulli, que establece -- que:

$$\frac{\rho V^2}{2g} + p = \text{cte} \quad \dots\dots?$$

- EN DONDE:
- ρ = Densidad del líquido
 - V = Velocidad del líquido en movimiento
 - p = Presión
 - g = Constante gravitacional

Cuando se coloca una restricción en una tubería, se crea una diferencial de presión, de manera que, en el caso de fluidos no compresibles, la carga "h" se define como:

$$h = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \quad \dots\dots 2$$

EN DONDE: P_1 = Presión aguas arriba de la restricción
 P_2 = Presión en la restricción
 V_1 = Velocidad promedio aguas arriba de la restricción.
 V_2 = Velocidad promedio en la restricción

Para crear la presión diferencial, esta restricción al flujo se genera mediante:

- 1.1) Un tubo venturi.
- 1.2) Una boquilla de flujo.
- 1.3) Una placa con orificio.
- 1.4) Un tubo pitot.
- 1.5) Un medidor de codo.

1.1) El tubo Venturi puede ser:

1.1.1) Tubo Venturi Estandar Tlpico.

1.1.2) Tubo Venturi de Inserción.

1.1.1) Tubo Venturi Estandar Tlpico.

Este dispositivo, analizado por Herschel en el año de 1887 y nombrado por él en honor del distinguido filósofo que primero experimentó con tubos divergentes, es extremadamente simple en su forma y detalles, y consiste meramente de dos secciones cónicas convergentes de tubo, unidas por una sección-corta cilíndrica, como se muestra en la figura número 7. El dispositivo se inserta en la línea de tubería, más o menos de la misma manera que cualquier otra sección del tubo, cuyo gasto vaya a medirse.

Basados en los principios planteados en el teorema de Bernoulli, entre los puntos 1 y 2 (con el medidor horizontal), ver figura número 7, se puede plantear que:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} \quad \dots\dots\dots 3$$

Por otra parte, de la ecuación de continuidad

$$V_1 = \frac{V_2 A_2}{A_1} \quad \dots\dots\dots 4$$

CON:
$$\Delta h = \frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma}$$

y sustituyendo la ecuación 4 en la ecuación 3, se tiene:

$$V_2 = \sqrt{\frac{2g \Delta h}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \dots\dots\dots 5$$

se sustituye la ecuación 5 en la ecuación de continuidad en la garganta, obteniéndose:

$$Q = A_2 V_2 = \frac{A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2g \Delta h} \dots\dots\dots 6$$

la ecuación anterior se afecta de un coeficiente C_c (coeficiente de contracción), con C_d (coeficiente de descarga)

$$C_d = \frac{C_c}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} = \frac{C_c}{\sqrt{1 - m^2}} \dots\dots\dots 7$$

DONDE:
$$m = \frac{A_2}{A_1} \dots\dots\dots 7'$$

m es el grado de estrangulamiento, obteniéndose finalmente:

$$Q = C_d A_2 \sqrt{2g \Delta h} \quad \dots\dots 8$$

Por un análisis dimensional (ver referencia 3), se demuestra que el coeficiente C_d depende del grado de estrangulamiento m , de los efectos viscosos y rugosidad del tubo contenidos en los términos de pérdidas, carga y áreas (A_1, A_2). Valores típicos medios fueron determinados experimentalmente y se presentan en la figura número 8, la cual muestra -- que C_d depende de m y de Re , hasta el límite fijado por la línea LL' a la derecha de la cual, C_d , es independiente de Re y dependiente sólo de m , como se presenta en la figura número 9. En estas figuras el número de Reynolds es:

$$Re = \frac{V_2 D_2}{\nu} \quad \dots\dots 9$$

- DONDE: D_2 = Diámetro de la sección estrangulada
 V_2 = Velocidad media en la misma
 ν = Viscosidad cinemática del líquido

La relación entre D_1 y D_2 varía de 1.5 a 4.0, siendo 2.0 el valor más común.

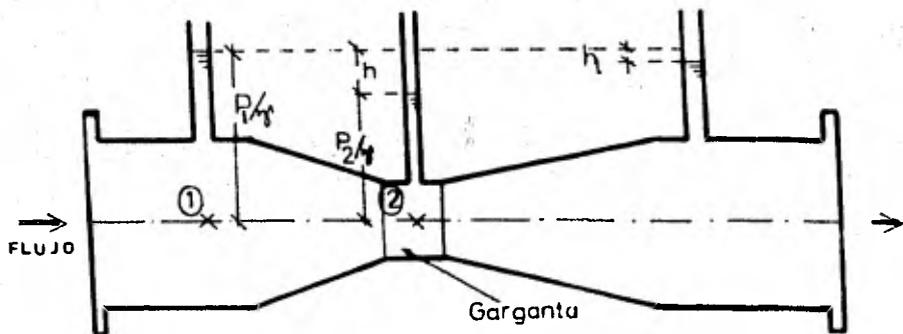


FIGURA N° 7
Medidor Venturi Estándar.

OBTENCION DEL COEFICIENTE C_d
DEPENDIENDO DE m Y DE IR .

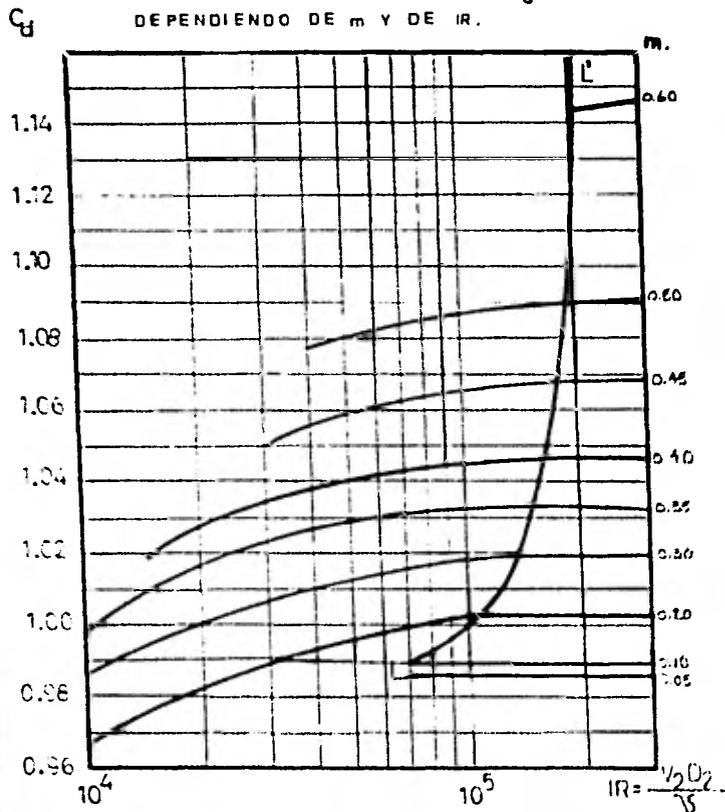


FIGURA N° 8

C_d es independiente de R , y solo depende de m , a la derecha de la línea L .

OBTENCION DEL COEFICIENTE C_d .

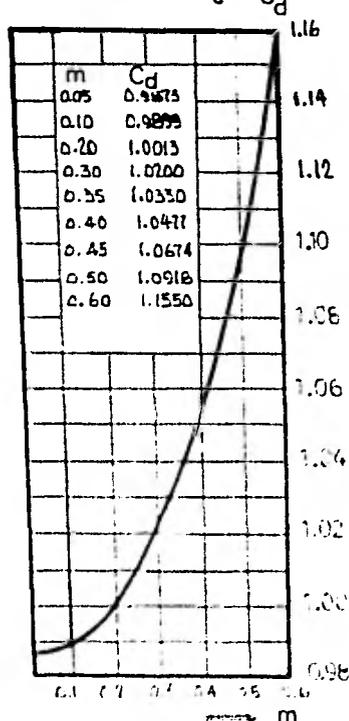


FIGURA N° 9

Oblención del coeficiente C_d , dependiendo del estrangulamiento m .

La sección de entrada del tubo venturi está equipada con conexiones de piezómetro en un anillo de presión anular para promediar la presión aguas arriba y en este punto es donde se hace la conexión de medición de alta presión. En el punto en que se hace la conexión de baja presión, se localiza un anillo similar para la garganta. La carga de presión diferencial se manifiesta en la diferencia de presión entre la entrada y la garganta, ver figura número 7.

1.1.2) Tubo Venturi de Inserción.

El tubo venturi de inserción es una variante del tubo venturi típico estandar, que se puede colocar dentro de una tubería para medir altas presiones. El tubo venturi insertado, se muestra en la figura número 10, cuenta con todas las características mencionadas anteriormente, para el tubo venturi estandar.

El tubo venturi se introduce en la tubería y se sujeta con un anillo robusto que es parte integral del tubo. La conexión de baja presión se hace con esta porción, que también contiene las aberturas del piezómetro y el anillo de presión de la garganta. La conexión de alta presión se hace a través de la pared de la tubería de alta presión, aproximadamente a una distancia igual a un diámetro de tubería aguas arriba, a partir del cono de entrada. Las partes requieren un maquinado de precisión y sumamente cuidadoso y están diseñadas para proporcionar una pérdida mínima de carga de presión.

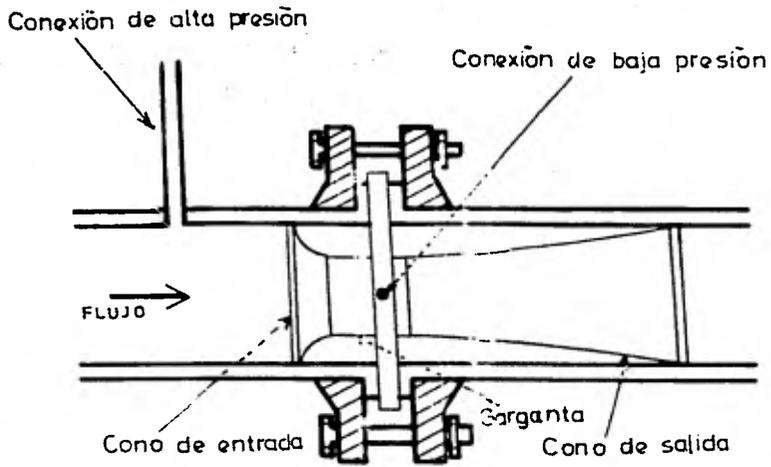


FIGURA Nº 10

TUBO VENTURI DE INSERCIÓN

CORTE LONGITUDINAL.

A.2) BOQUILLA DE FLUJO O MEDIDOR DE CHIFLON.

El dispositivo es similar al tubo venturi de inserción con la excepción de que no tiene el cono de recuperación, el chiflón tiene una forma adecuada para obtener $C_c = 1.00$, y la carga de presión se mide entre una sección localizada aguas-arriba del chiflón, a una distancia igual al diámetro del tubo y otra sección coincidente con la punta del chiflón. En estas condiciones, la ecuación número 7 se transforma en función de los diámetros como sigue:

$$C_d = \frac{C'}{\sqrt{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4}} \quad \dots\dots 10$$

DONDE: $C' = f(R \text{ y } d/D)$

se tiene sustituyendo la ecuación número 10 en la ecuación número 8

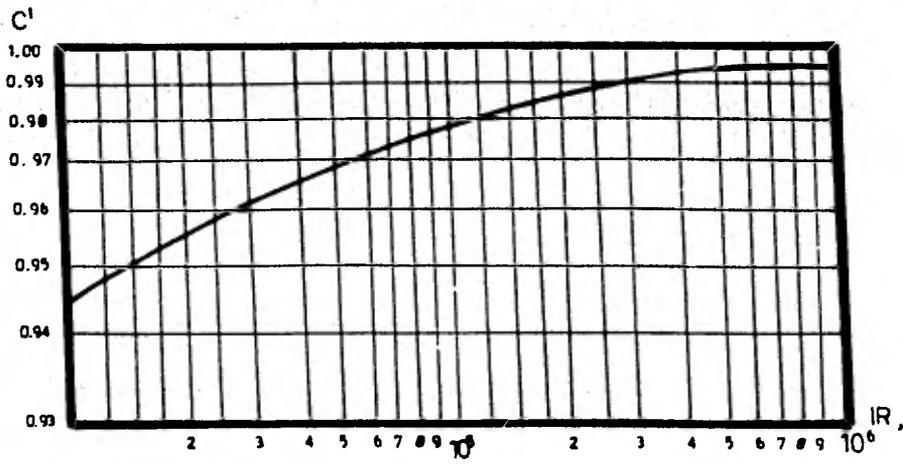
$$Q = \frac{C' A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4}} \sqrt{2g \Delta h} \quad \dots\dots 11$$

en la referencia número 2, se menciona que el valor de C' puede calcularse con la expresión:

$$C' = 0.996 - \frac{0.0036}{d} \dots\dots\dots 12$$

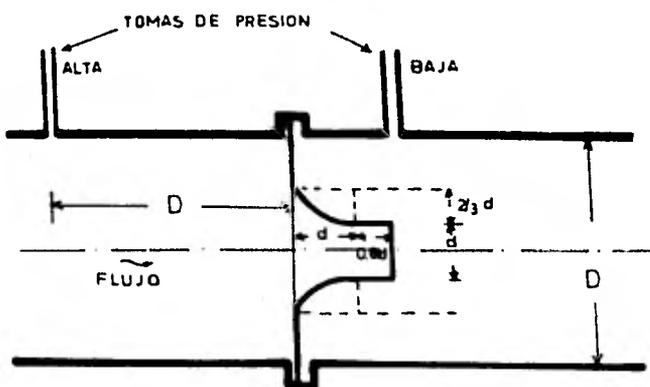
en donde d se expresa en pulgadas. La aplicación de esta --
ecuación número 12, se limita a valores del número de Reynold,
iguales a mayores que $400000 - 100000/d$, así como valores de
 d/D menores de 0.50.

Como los valores de R , mucho menores que 400000, se encuentran
frecuentemente, para tales casos proporciona la curva en la fi
gura número 11, así como en la figura 12 se muestra el medidor
de chiflón de radio largo.



Coeficiente de Descarga. C'

FIGURA Nº 11



Medidor de Chiffon.
CORTE LONGITUDINAL.

FIGURA Nº 12

1.3) DIAFRAGMAS O PLACAS CON ORIFICIO.

Consiste en una placa metálica con orificio (A_0), que puede ser: a) concéntrico, b) excéntrico y c) segmentado, con la suficiente resistencia para no pandearse bajo las presiones diferenciales que tiene que soportar, estando en servicio. En aplicaciones convencionales, se utilizan espesores del material de 2mm (1/6") para tamaños de tubería hasta de 102mm ϕ (4"), 3mm (1/8"), para tamaños de tubería hasta 406mm ϕ (16"). Estas casi siempre se montan en coples de bridas que se atornillan juntos con la tubería o se soldan, según el tamaño y la presión de línea del sistema.

La modificación en las velocidades ocasionan un cambio de presiones antes y después de la obstrucción, cuyo valor determina el gasto. Existen tablas elaboradas por los fabricantes de diafragmas que proporcionan la mejor ubicación, basada en la relación entre el orificio y el tamaño de la tubería. En el caso de tuberías con diámetro mayores de 300mm., se emplean toberas en lugar de diafragmas.

Las ecuaciones de continuidad y de Bernoulli para las secciones 1 y 2 de la figura número 13, son la número 4 y la número 6, obtenidas con anterioridad y con los coeficientes de contracción.

$$C_c = A_2 / A_0 \dots\dots\dots 13$$

y de abertura

$$C_A = A_0 / A_1 \quad \dots\dots 14$$

se obtiene:

$$Q = \frac{C_c A_0}{\sqrt{1 - C_c^2 C_A^2}} \sqrt{2g \Delta h} \quad \dots\dots 15$$

el gasto real es más pequeño al incluir el coeficiente de gastos, finalmente se tiene:

$$Q = C_d A_0 \sqrt{2g \Delta h} \quad \dots\dots 16$$

el coeficiente C_d depende no sólo de la geometría del diafragma y de la rugosidad de las paredes, sino también del número de Reynolds, que incluye el efecto de viscosidad -- del flujo.

De la figura número 14 se puede obtener los valores de C_d para diafragmas tipo VDC estandar de la NACA, las tomas -- piezométricas deben quedar localizadas una pulgada antes y después de la placa. Se observa que para $R > 10^5$, C_d es -- practicamente independiente de R .

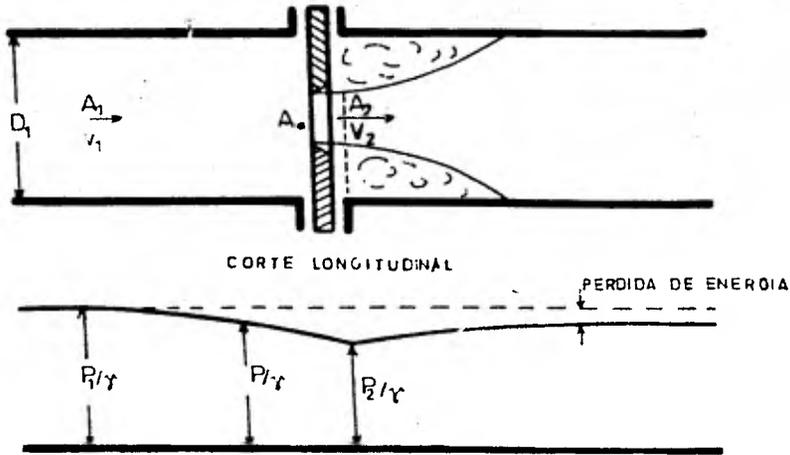
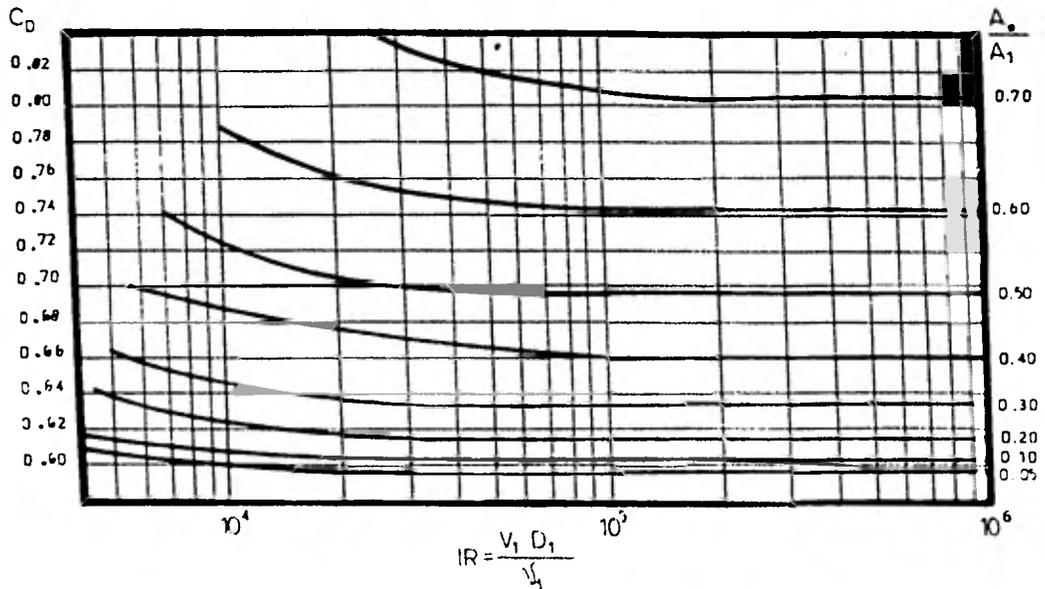


FIGURA Nº 13 Diafragma.



Coefficiente de Gasto para Diafragmas.

FIGURA Nº 14

1.4.1) TUBO DE PITOT.

El tubo de pitot fue diseñado y utilizado primero por Henri Pitot en 1730, en el Río Sena y descubrió que el agua subió en un tubo de vidrio doblado hasta una altura h , arriba de la superficie de la corriente. La porción horizontal del tubo era paralelo a la línea de la corriente en movimiento. También encontró que la carga h , era proporcional al cuadrado de la velocidad en un punto m , en la región no alterada aguas arriba del tubo, como se observa en la figura número-15.

Puede obtenerse una relación entre V y h , considerando que un pequeño grupo de partículas salgan del punto m y se acerquen al tubo con un movimiento desacelerado y con su velocidad, anulándose hasta cero en n . Por la ecuación de Bernoulli, se tiene que:

$$\frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} = 0 + \frac{P_n}{\gamma}, \text{ ó } \frac{P_n}{\gamma} - \frac{P}{\gamma} = \frac{V^2}{2g}$$

.....17

también $\frac{P_n}{\gamma}$ debe ser igual a $\frac{P}{\gamma} + h$, altura de columna de agua dentro del tubo. Sustituyendo estas por $\frac{P_n}{\gamma}$ en la ecuación anterior se tiene:

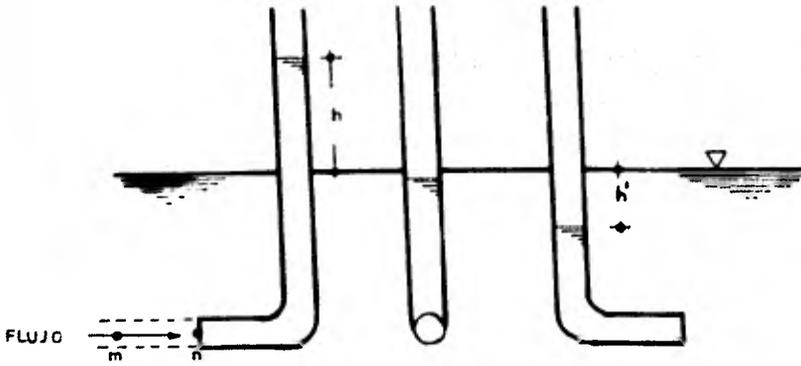


FIGURA Nº 15
OBSERVACIONES DE HENRI PITOT
EN 1730 EN EL RIO SENA.

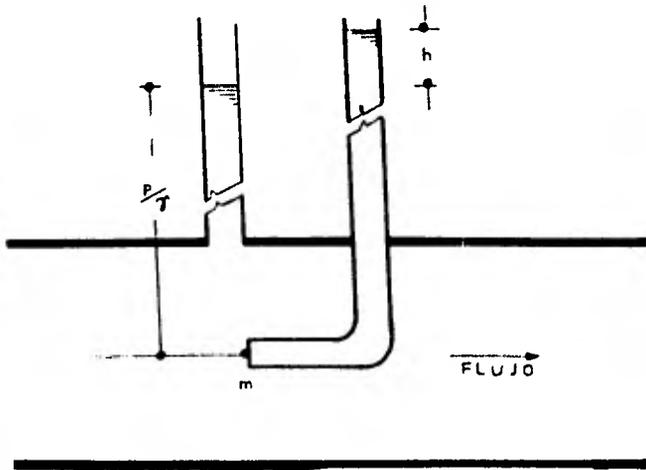


FIGURA Nº 16
PRINCIPIO DEL TUBO PITOT
PARA TUBERIA A PRESION.

$$h = \frac{v^2}{2g}, \quad v = \sqrt{2gh} \quad \dots\dots 18$$

si el tubo se utiliza en una tubería que lleva fluidos a presión, la altura de la columna en el tubo es incrementada por la presión estática y esta última debe medirse separadamente, con el objeto de determinar h . La figura número 16 muestra un método para hacer esto. Un piezómetro ordinario de pared se inserta en un punto ligeramente adelante de la punta del tubo. La diferencia de nivel entre las partículas superiores de las dos columnas, se toma como h . En consideración a la magnitud de la carga de presión estática y a la altura relativamente pequeña de h , se acostumbra determinar h , uniendo las dos columnas a un manómetro diferencial adaptable. Experimentos cuidadosos han demostrado que su lectura usualmente está afectada por la presencia del vástago del tubo de pitot y que la velocidad real está dada por:

$$v = C \sqrt{2gh} \quad \dots\dots 19$$

en la que C tiene un valor algo menor que la unidad y ligeramente variable con la velocidad media del escurrimiento.

El valor de C para este medidor, varía desde aproximadamente 0.86 a 0.89 con la velocidad. Sus fabricantes proporcionan las curvas de calibración con cada aparato. Antes-

de marcar una lectura del manómetro, debe tenerse cuidado en sacar el aire de las líneas de la tubería.

1.4.2) TUBO PITOT TIPO ANNUBAR.

El elemento medidor tipo Annubar, es una versión comercial del tubo pitot.

Aunque el diseño es nuevo, se basa en la ecuación fundamental de flujo de Bernoulli para el equilibrio de energía. Este dispositivo, que es muy sencillo, se compone de un par de sensores de presión, montados perpendicularmente dentro de la corriente del flujo mediante un aditamento roscado o un niple de tubería.

Existe una gama de elementos Annubar a utilizar en tuberías que van desde 127mm ϕ (1/2") hasta 12,700mm ϕ (500"), se muestra un dibujo esquemático del medidor en la figura número - 17.

La mejor recepción de señal, se tiene localizando en la línea, un tramo recto con una longitud recomendable igual a 9 veces el diámetro, de tal manera que el medidor se localice 2/3 L aguas arriba y 1/3 L aguas abajo, teniendo restricciones máximas hasta 24 veces el diámetro aguas arriba por piezas especiales y cambios en el perfil.

Se puede instalar en tuberías, trabajando únicamente a presión horizontales, verticales o inclinadas, teniéndose cuidado al orientar los orificios de toma de presión dinámica, de tal forma que quede perpendicular a la dirección del flujo.

jo como se indica en la figura número 18.

La barra sensora de presión aguas abajo, tiene un orificio que se ubica en el centro de la corriente del flujo para medir dicha presión. La barra sensora de presión aguas arriba, tiene varios orificios, en comparación con uno del tubo de pitot. Estos orificios se ubican críticamente a lo largo de la barra, de manera que cada uno detecta la presión total en un anillo. Cada uno de estos anillos tiene un área transversal exactamente igual a las otras áreas anulares detectadas por cada uno de los demás orificios.

Partiendo de las ecuaciones fundamentales de continuidad y de la energía, se tiene la ecuación siguiente, obtenida en laboratorio por el fabricante.

$$Q = \frac{SND^2 \sqrt{G_f}}{G_1} \sqrt{hn} \dots\dots\dots 20$$

- D = Diámetro interior del tubo en in.
- G_f = Gravedad específica del líquido a su temperatura circulante, comparada con el agua a 60°F, ----- (15,55°C) la cual es aproximadamente igual a 1.
- G_1 = Gravedad específica del líquido a 60°F (15,55°C) comparada con el agua a 60°F (15,55°C), la cual es aproximadamente igual a 1.
- hn = Presión diferencial.
- N = Factor para unidades (incluye 2g, 1/4). Ver tabla número 3.

S = Coeficiente de gasto para sensor de flujo tipo Annubar, que está en función de la geometría y del factor de distribución para flujo turbulento y transitorio.

$$0.53 < S < 0.82$$

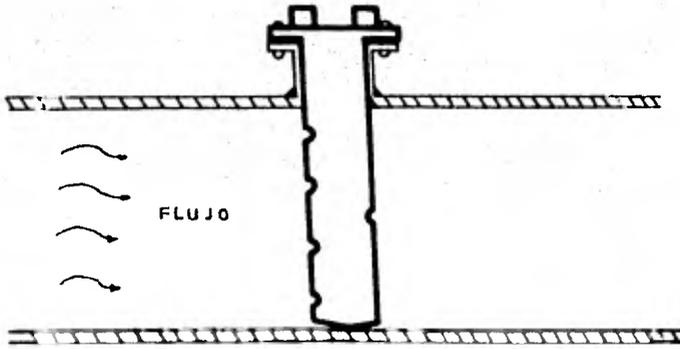
Observando que la única incógnita de nuestra ecuación es h_n , dato o señal que nos proporciona el elemento sensor tipo - - Annubar.

Su instalación es relativamente sencilla en tuberías soldables y no soldables; para el primer tipo se solda un cople y se perfora el tubo, para los segundos que pueden ser de material metálico no soldable, para los cuales se les hace cuerda a la perforación y para tubería no soldable, no metálica, se utilizan abrazaderas o juntas de inserción y silletas.

TABLA No. 3. FACTOR "N", VALORES PARA VARIAS "n" UNIDADES.

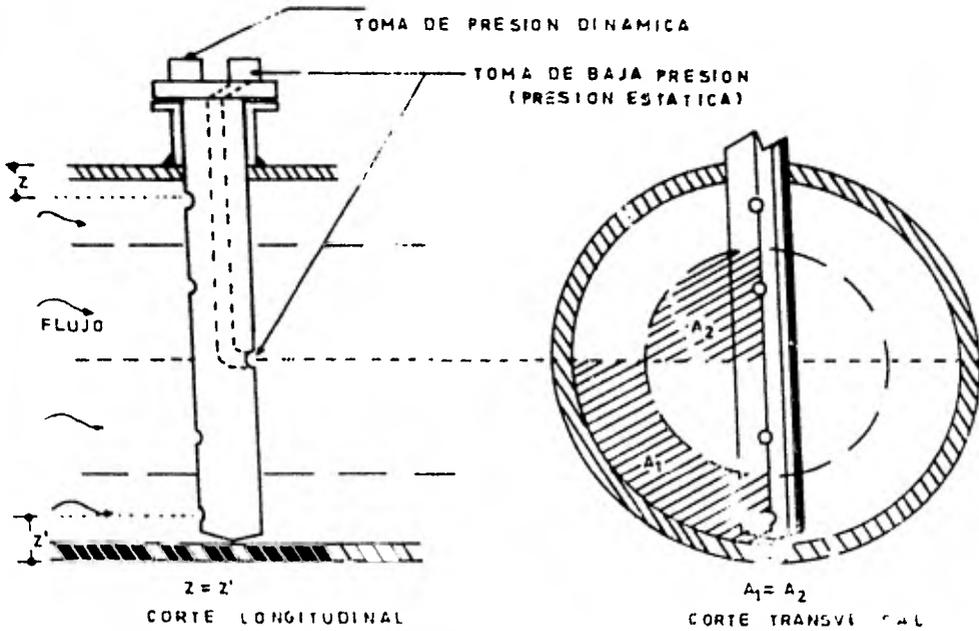
Q_t , Volúmen	h_n , UNIDADES DE PRESTION DIFERENCIAL			
	IN. DE H_2O^*	IN. DE Hg*	Kg/cm ²	P. S. I.
GPM	5.667	20.88	112.5	29.84
GPH	340.0	1,252.0	6750.0	1790.0
CFM	0.7576	2.791	15.04	3.990
CFH	45.46	167.5	902.5	239.4
LPM	21.45	79.02	425.8	113.0

* Para una temperatura de 68°F (20°C).



MEDIDOR TIPO ANNUBAR PARA ALTA VELOCIDAD.

FIGURA Nº 17



ORIENTACION DEL MEDIDOR TIPO ANNUBAR.

FIGURA Nº 18

1.5) MEDIDOR DE CODO.

Consiste en medir la diferencia de presiones que se genera entre el intrados y el extrados de una curva en una tubería. En la figura número 19, se detalla la disposición de las tomas piezométrica.

El gasto se obtiene de la ecuación:

$$Q = C_d KA \sqrt{2g \Delta h} \quad \dots\dots 21$$

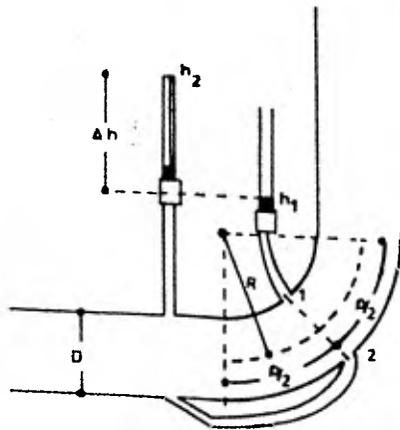
donde A es el área de la tubería, $\Delta h = h_2 - h_1$, la diferencia de cargas de presión (expresada en metros de columna de agua) entre el extrados y el intrados, g la aceleración de la gravedad, C_d y K son coeficientes sin dimensiones, el primero de gasto y el segundo de forma, depende de la relación R/D radio del codo a diámetro del tubo, de acuerdo con la tabla 4.

TABLA No. 4.- COEFICIENTE C_d y K PARA EL MEDIDOR DE CODO.

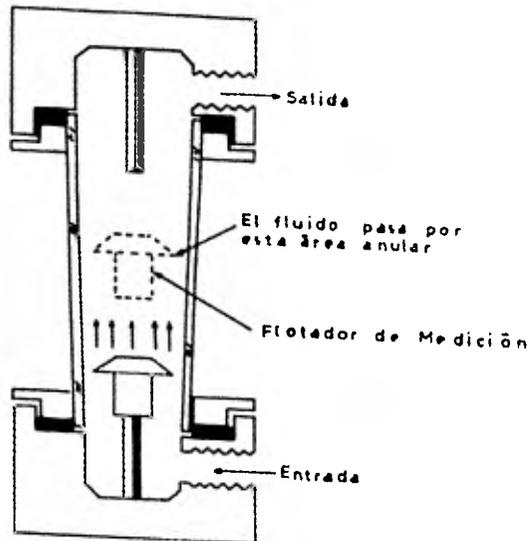
R/D	1.0	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00
C_d	1.23	1.10	1.07	1.05	1.04	1.03	1.03	1.02	1.02
K	0.570	0.697	0.794	0.880	0.954	1.02	1.02	1.14	1.20

El coeficiente de gasto (C_d), y el coeficiente de forma (K) dependen de la relación del radio del codo a diámetro del tubo (R/D).

Información obtenida de la referencia No. 3.



AFORADOR DE CODO.
FIGURA Nº 19



CORTE TRANSVERSAL DE UN MEDIDOR DE
FLUJO DE AREA VARIABLE.

FIGURA Nº 20

2) MEDIDORES DE AREA.

Se componen de dos partes, como se puede observar en la figura número 20. Las dos partes básicas son un tubo ahusado de vidrio colocado verticalmente dentro de un sistema de tubería, insertando el extremo grande en la parte superior y un flotador medidor que puede moverse en sentido vertical dentro del tubo de vidrio. El fluido corre a través del tubo de abajo hacia arriba y cuando no hay ningún flujo, el flotador descansa en la base del tubo ahusado.

Conforme el flotador asciende hacia el extremo más amplio del tubo ahusado, se abre un pasaje anular entre la pared interna de tubo de vidrio y la periférica del flotador. Esto forma una abertura concéntrica a través de la cual pasa el fluido. El flotador sigue ascendiendo hasta que el pasaje anular es lo bastante grande para dar paso a todo el material que recorre la tubería. La presión debida a la velocidad del fluido, también desciende hasta que se equilibra con el peso del flotador.

La ecuación básica para el medidor, es idéntica a la de los medidores de placa, boquilla y venturi. Esta ecuación básica es:

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

- DONDE: C = Coeficiente de descarga determinado experimentalmente y que carece de dimensiones.
- A = Area de paso de la restricción.
- h = Diferencial producida por la restricción - para el gasto, en unidades de longitud de altura del líquido fluyente.
- Q = Gasto.
- g = Aceleración de la gravedad.

Los medidores de área tienen la desventaja de que se deben montar y mantener en posición vertical durante su uso, ya que la gravedad es uno de los factores para indicar el valor del flujo. El gasto varía directamente con el área A, de la ecuación. Esta clase de medidores permite medir gastos sin utilizar la función cuadrada de la expresión anterior número 22.

Son adecuados particularmente para flujos pequeños y se -- pueden usar para gastos menores de 1.6 Lts/seg.

Los diámetros de los flotadores de 1.58mm (1/16") a 9.52mm (3/8") y el material del flotador, puede ser de zafiro, -- acero inoxidable o vidrio.

3) MEDIDORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO.

Los medidores de flujo de desplazamiento positivo básicamente capturan y liberan un volumen fijo de fluido mediante alguna acción de bombeo, que se puede realizar mediante un pistón, una aleta giratoria, un diafragma o una bomba peristáltica. Por lo general, estos medidores cuentan el número total de ciclos que se producen e indican o registran un volumen de flujo integrado. Estos dispositivos de flujo también se pueden considerar como bombas volumétricas que emiten un volumen fijo por cada movimiento del pistón, aleta o diafragma. La velocidad de flujo se determina mediante la frecuencia -- del ciclo.

Estos dispositivos existen en tamaños de 12.7mm (1/2") a -- 406.4mm (16"), son fáciles de instalar, pueden tener una precisión hasta de 0.1%, en general no requieren energía eléctrica o abastecimiento de aire. Algunos utilizan motores -- eléctricos para producir volúmenes determinados y para fines de control, pueden necesitar energía eléctrica, neumática o hidráulica, o bien, una combinación de éstas.

4) MEDICION ULTRASONICA.

La región ultrasónica se define como el rango de frecuencias superiores a 20,000 Hz., que son ondas de sonido pero tienen una tonalidad más alta que las que detecta el oído humano, - es decir, vibraciones mecánicas en que interviene el movimiento del medio en el que se desplaza o viajan.

Las mediciones ultrasónicas, se llevan a cabo utilizando una técnica de transmisión completa, entre el transductor transmisor y transductor receptor, mediante la reflexión directa -- con un transductor transmisor y receptor a la vez, o dos -- transductores encontrados o formando un cierto ángulo.

Se establece una relación entre la diferencia de frecuencia transmitida y la captada y con el rango de velocidad mínima y máxima a la cual opera la tubería se calibra el instrumento medidor.

Conociendo la velocidad y el área de la tubería, podemos -- aplicar la ecuación de continuidad, para obtener finalmente el gasto. Estos medidores operan únicamente en tuberías de acero y que se encuentren trabajando a presión.

5) MEDIDORES DE FLUJO EN CANALES ABIERTOS.

El gasto o volúmen de agua que pasa por la sección transversal de una corriente en la unidad de tiempo, se determina mediante una serie de operaciones, que constituyen lo que se llama un aforo. El gastos depende directamente del área (A) de la sección transversal de la corriente y de la velocidad-media del agua (V), obteniéndose el gasto por la multiplicación de estos dos factores.

5.1) Vertedores y Orificios.

Estos métodos consisten en interponer en el cauce, una cortina para represar el agua y obligarla a pasar por una escotadura (vertedor), o un orificio, practicados en la propia cortina. En ambos casos, el gasto depende de la amplitud de la parte vertedora y de la altura del agua sobre la cresta del vertedor o sobre el centro de orificio.

Estos Dispositivos deben emplearse, de preferencia, para aforar pequeños caudales, su precisión es de aproximadamente -- 2 por ciento.

5.2) Medidor Parshall.

Este medidor, ideado por el Ingeniero R. I. Parshall, se utiliza para el aforo de canales y pequeños ríos, se autolím-

pian y funcionan con una pequeña pérdida de carga. La pérdida es aproximadamente un cuarto de la que se produce en los vertedores.

Este medidor consta de las siguientes partes fundamentales, considerando al describirlo, que se avanza en la dirección de la corriente:

- 1.- Una transición de entrada, formada por dos muros convergentes apoyados en un piso a nivel.
- 2.- Una garganta formada por dos muros paralelos apoyados en un piso inclinado hacia abajo, cuya intersección con el de la entrada, forma la cresta del medidor.
- 3.- Una transición de salida formada por dos muros divergentes, apoyados en un piso inclinado hacia arriba o la longitud de la cresta, es la distancia que hay entre los dos muros paralelos que forman la garganta.

Para medir los niveles del agua, antes y después de la cresta, se instalan dos pozos amortiguadores que se comunican, uno con la transición de entrada y el otro con la garganta del medidor.

Las cargas se miden tomando como plano horizontal de comparación, el que pasa por la cresta, pudiendo leerse directa-

mente en una escala instalada en cada pozo, o registrar - las fluctuaciones por medio de limnigrafos.

El gasto se calcula en función de las cargas observadas - antes y después de la cresta y de la longitud de ella.

5.3) Método de sección velocidad.

Se determina separadamente la sección transversal de la - corriente y la velocidad del agua; la sección por medio - de sondeos o métodos topográficos y la velocidad por cual - quiera de los métodos que se citan a continuación:

5.3.1) Flotadores.

Son cuerpos más ligeros que el agua y que conducidos en - suspensión por la corriente, adquieren una velocidad que - resulta, según la clase de flotador empleado (superficia - les o sumergidos), más o menos igual a la de dicha corrien - te. La velocidad se mide tomando el tiempo que emplean - en recorrer un tramo de longitud conocida, siendo dicha - velocidad, el cociente de dividir la longitud del tramo - entre el tiempo empleado en recorrerla.

5.3.2) Molinete.

Es un aparato provisto de una hélice o una rueda de copas,

que accionada por la corriente, gira alrededor de un eje --
montado en un dispositivo de suspensión, transmitiendo su
movimiento a un sistema registrador que permite conocer el
número de vueltas que da la hélice en un tiempo determinado.

En cada aparato, la relación entre el número de revolucio--
nes en determinado tiempo y la velocidad de la corriente, --
se conoce por observaciones de laboratorio hechas con ante-
rioridad.

5.3.3) Pendiente hidráulica.

Con la pendiente superficial (S), que tiene la corriente en
un momento dado; el radio hidráulico (r), o relación que --
hay entre el área (A) de la sección transversal media y el
perímetro mojado (P) de la misma sección y un coeficiente --
experimental (C), que depende de la naturaleza del cauce y--
de los factores antes mencionados, se obtiene la velocidad--
media de la corriente, de acuerdo con la expresión:

$$v = C \sqrt{rS}$$

V. - INSTRUMENTACION EN LAS ESTACIONES DE MEDICION DE ENTREGAS DE AGUA EN BLOQUE.

Los instrumentos son herramientas o dispositivos indispensables, con la finalidad de obtener información de las variables de un proceso para su control.

El instrumento o el sistema de instrumentos pueden ser mecánicos neumáticos, hidráulicos, eléctricos, electromecánicos o una combinación de dos o más de estas formas. Cada instrumento o sistema de instrumentos tienen las tres siguientes funciones básicas:

1. Elemento Primario o Detector.
2. Elemento Transductor o Dispositivo Intermedio de Transferencia.
3. Receptor o Dispositivo Final.

En nuestro caso particular, el elemento primario o detector, puede ser utilizando alguno de los tratados en el capítulo IV (medidores de flujo), los cuales pueden realizar mediciones de flujo para gastos pequeños, medianos y grandes. La precisión de la medición y la aplicación final son los factores que determinan el tipo de medidor y su costo. En la tabla número 5, se presenta una lista de los diferentes instrumentos de medición de flujo, los medios para los que son apropiados, el volumen eficiente, su costo relativo, la pérdida de carga y su precisión comparativa.

TABLA No. 5
COMPARACION RELATIVA DE LOS MEDIDORES DE FLUJO

T I P O	DETECTOR DE FLUJO	COSTO RELATIVO	VOLUMEN DE FLUJO	PERDIDA DE CARGA	EXACTITUD RELATIVA
Medidor de Carga	Tubo Venturi Tubo Venturi de Inserción Boquilla de flujo Placa con orificio Tubo Pitot Pitot tipo Annubar Medidor de codo	Alto Mediano Mediano Bajo Bajo Bajo Mediano	Pequeño a grande Pequeño a grande Pequeño a grande Pequeño a mediano Pequeño a mediano Pequeño a grande Pequeño a mediano	Muy baja Baja Mediana Mediana a alta Baja a mediana Baja Mediana a alta	Alta Medianas Medianas Medianas a baja Medianas Medianas Medianas a baja
Medidor de Area	Medidor de área	Mediano	Bajo a alto	Mediana	Mediana
Medidor de Flujo de Masa	Medidor de desplazamiento positivo	Mediano	Bajo	Alta	Alta
Medidor Ultrasónico	Medidor ultrasónico	Alto	Pequeño a grande	Sin pérdidas	Medianas
Canal Abierto	Vertedor, Parshall, Sección Velocidad	Bajo	Grande	Mediana a alta	Bajas

LA ELECCION DEL MEDIDOR ESTARA SUJETO A LA FINALIDAD DE LA MEDICION, O CARACTERISTICAS ESPECIFICAS DEL FLUJO.

El dispositivo que convierte un tipo de movimiento o señal en -- otro es un transductor, dependiendo de la elección u operación - del elemento primario sujetará al transductor a la recepción de cierta señal, que podrá ser: presión, masa, volúmen, intensidad de corriente (mA) y frecuencia para convertirlas por medios mecánicos, electromecánicos, eléctricos o electrónicos, en información para ser interpretados fácilmente por el instrumentista u - operadores.

Los instrumentos transductores de presión por medios mecánicos, - se pueden clasificar en dos grupos: el primero incluye, aquellos en que la medición de presión se efectúa balanceando una fuerza desconocida con otra conocida. El segundo grupo incluye a los - que emplean una deformación cuantitativa de una membrana eldstica para determinar la presión.

Los instrumentos transductores de presión por medios electromecánicos, utilizan un medio mecánico para detectar la presión y un medio eléctrico para indicar o registrar la presión detectada.

Por último, los instrumentos electrónicos, dependen de algún cambio físico que pueden detectar, indicar o registrar electrónicamente.

La presión a la que nos referimos, se mide ya sea como un valor absoluto, que es la fuerza total ejercida, o como un valor diferencial, que es la diferencia algebraica entre el valor absoluto

y el valor que se obtiene de considerar la atmósfera circundante en el tiempo y el lugar de la medición. En forma de ecuación las presiones del medidor y el vacío se pueden expresar como:

$$P_m = P_{ab} - P_{at}$$

$$P_v = P_{at} - P_{ab}$$

EN DONDE: P_m = Presión manométrica
 P_{ab} = Presión absoluta
 P_{at} = Presión atmosférica
 P_v = Presión de vacío

El receptor o dispositivo final es el elemento receptor de la información de las variables procesada por el transductor, así mismo, nos informa en una forma fácil para su interpretación, los elementos se dividen como sigue:

1) ELEMENTOS IMPRESOS.

- 1.1) Cartas gráficas circulares.
- 1.2) Cintas magnéticas.
- 1.3) Papel milimétrico, logarítmico.

2) ELEMENTOS INDICADORES.

- 2.1) De cartulina.

2.2) Integrador eléctrico.

2.3) Exhibición digital.

Los elementos receptores pueden informar en una forma directa o indirectamente, es decir, la información solicitada como presión, diferencial de presión, velocidad, nivel, gasto, etc., se obtiene directamente, u obtener estos mismos afectados por un coeficiente o factor para el caso de los indirectos, datos que proporcionará el fabricante o estándar indicada en los aparatos.

Los instrumentos o sistemas de instrumentos, deben escogerse con sumo cuidado con el fin de satisfacer cada aplicación específica, para lo cual debe tenerse un conocimiento profundo, tanto del -- instrumento como del sistema de operación.

La calibración es parte esencial de la medición y control, es la única garantía de que los instrumentos tienen la exactitud y el rango requerido para mantener en operación y en condiciones económicamente controladas los sistemas. La calibración se debe efectuar de un modo periódico y requiere de un estándar para comparar valores. Por lo tanto, la calibración se puede definir, - con toda sencillez, como la comparación de valores específicos - de entrada y salidas de un instrumento, con un estándar de referencia.

Aunque la calibración no garantiza el buen funcionamiento de un instrumento, por lo general indica si su funcionamiento puede sa

tisfacer o no las especificaciones de precisión y rango en -- las que se va a utilizar.

En las estaciones de medición se cuenta con algún tipo de instalación y otras carecen de estos, siendo estos últimos, los- sitios de mayor cuidado ya que la interrupción de flujo afec- taría a gran parte de la población del Distrito Federal. Pa- ra lo cual, partiremos del inventario de las instalaciones -- existentes en el sistema, resumidas en la tabla número 6 y -- que se indicó su localización en las figuras 2, 3, 4, 5 y 6 - con la letra "A".

Para las Estaciones que no cuentan con elemento primario, la- elección del equipo estará sujeta a:

1. Las características hidráulicas existentes en los sitios- de medición, algunas de ellas se resumieron en la tabla - número 2, en la página número 19 .
2. Que la medición sea económica y confiable, auxiliándonos- de la tabla número 5 de la página número 54.
3. Que los instrumentos cuenten con los elementos necesarios para tener información permanente sin que afecte su opera- ción las carencias locales.

En las Estaciones de Medición se carece de elementos transduc

INVENTARIO DE ELEMENTOS PRIMARIOS Y TRANSDUCTORES EN LAS ESTACIONES
DE MEDICION DE ENTREGAS DE AGUA EN BLOQUE AL DISTRITO FEDERAL

S I S T E M A	ESTACION	ELEMENTO PRIMARIO	TRANSDUCTOR	OBSERVACIONES
Lerma	Atarasquillo El Venado Línea N.Z.T.	Medidor en canal abierto Medidor en canal abierto Venturi	Limnógrafo-Molinete Limnógrafo-Molinete Electromecánico	Operando a la fecha Operando a la fecha Descompuesto el trans- ductor
Aguas del Norte	Chiconautla Aux. Chiconautla * Risco * Chalmita L. D. * Chalmita L. I.	No tiene No tiene No tiene Venturi No tiene	No tiene No tiene No tiene No tiene No tiene	No se utiliza el equi- po primario
Aguas del Sur	Xotepingo P. A. Xotepingo CH. A. Xotepingo X _{1,2,3} Cerro de la Estrella * Canal Nacional * Zapotitlán	No tiene No tiene No tiene Venturi No tiene Tobera	No tiene No tiene No tiene No tiene No tiene No tiene	No se utiliza el equi- po primario No se utiliza el equi- po primario
Pozos Municipales	El Peñón	No tiene	No tiene	

* Entregas de agua en bloque de la Comisión de Aguas del Valle de México (C.A.V.M.) para suministro al Distrito Federal.

La medición es poca o casi nula.

tores como se observa en la tabla número 6 de la página número 59. Para la elección de este elemento, se sujetará a:

1. Que el elemento sea capaz de captar la señal que le envía el elemento primario, y transferirla en señal transmitida final.
2. Que el rango de operación sea adecuado.
3. Que el elemento sea capaz de informar o detectar permanentemente la variable procesada, así como capaz de sustituir en un lapso de tiempo las deficiencias locales, para que no sea afectado su funcionamiento.

Por último, el elemento final o receptor estará sujeto a la finalidad de la medición, así mismo como la forma en que se necesita dicha información, la cual puede ser una de las siguientes o una combinación de dos o más de éstos:

1. Información permanente impresa.
2. Elemento capaz de controlar permanentemente un proceso.
3. Indicador instantáneo.
4. Variable acumulativa en función del tiempo.

Hay varios fabricantes de los elementos mencionados, con la particularidad de que parten de los mismos principios básicos tratados en los capítulos IV y V.

A continuación analizaremos el equipo de medición por sistema y por estación.

SISTEMA LERMA

Este sistema tiene constituido tres estaciones de medición de flujo, como se observa en el diagrama de bloques de la figura número 2 de la página número 11, dos de ellas operando desde el año de 1954 a la fecha.

La primera, denominada estación de medición de flujo en canal abierto Atarasquillo, localizada cerca del pueblo del mismo nombre en el Estado de México. En dicha estación confluyen el Ramal Norte proveniente de la fuente de captación de 142 pozos conducida a presión y el Ramal Sur proveniente de la fuente de captación de 88 pozos conducida por gravedad, convergiendo aguas arriba en una longitud de 150 m. de la estación de medición, en cuya estación se cuenta con la infraestructura para la medición de flujo en canal abierto con el empleo del método de sección velocidad cuyos elementos se mencionan a continuación:

1. Sección de aforo.
2. Estructura de aforo.
3. Escala.
4. Registrador de altura (limnógrafo).
5. Equipo necesario para la medición de la sección y la velocidad.

Siendo ésta una estación de puente de acuerdo a la clasifica-

ción del medio utilizado para cruzar la corriente (referencia número 6), la velocidad se obtiene mediante el empleo del -- transductor conocido como molinete aplicando el método de los $\frac{2}{10}$ y $\frac{8}{10}$, teniendo los elementos necesarios para la elaboración de la curva elevaciones - gasto.

En dicha estación se inicia la conducción del Sistema Lerma - por gravedad con una sección circular de 3.20 m. de diámetro, siendo el punto de partida del 22.55 por ciento del volúmen total que ingresa al Distrito Federal, sumándose por aportación de túnel el 1.74 por ciento, medidos en la segunda estación de medición en canal abierto a 14.333 Km. aguas abajo conocida con el nombre de Peña El Venado, localizada a 1.5 Km. del Pueblo de San Bartolito, Edo. de México, por consiguiente, el volúmen aforado es del 24.29 por ciento del volúmen total que ingresa al Distrito Federal, teniéndose las mismas características que la primera estación de aforos.

La tercera y última estación de medición de este sistema, es una derivación de la línea de conducción para abastecer a los Municipios de Naucalpan, Zaragoza y Tlalnepantla en el Estado de México, cuyo nombre se conoce como Línea El Obraje N.Z.T., situada a 750 m. aguas abajo de la estación de medición Peña-El Venado, restando el 2.45 por ciento al volúmen aforado en la estación Peña El Venado, ya que dicho volúmen no ingresa al Distrito Federal.

En la estación de medición El Obraje N.Z.T., se cuenta con un elemento primario de carga tipo venturi standar (ver figura - número 7) cuyas características se mencionan a continuación:

SECCION 1

$$d_{\text{ext}} - 1 = 771 \text{ mm.}$$

$$d_{\text{int}} - 1 = 761 \text{ mm.}$$

$$e_{\text{de pared}} = 5 \text{ mm.}$$

$$P_1 = 0.16 \text{ Kg/cm}^2$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4} (D_1)^2 = 0.785 (0.761)^2 = 0.455 \text{ m}^2$$

SECCION 2

$$d_{\text{ext}} - 2 = 580 \text{ mm.}$$

$$d_{\text{int}} - 2 = 567 \text{ mm.}$$

$$e_{\text{de pared}} = 8 \text{ mm.}$$

$$P_2 = 0.07 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (prácticamente la atmosférica)}$$

$$A_2 = \frac{\pi}{4} (D_2)^2 = 0.785 (0.567)^2 = 0.252 \text{ m}^2$$

Para obtener el gasto que pasa por el venturímetro, se utiliza la expresión número 8.

$$Q = C_d A_2 \sqrt{2g \Delta h}$$

Donde el coeficiente de descarga C_d se obtiene de la figura - número 9, a partir del estrangulamiento m .

$$m = \frac{A_2}{A_1} = \frac{0.252}{0.455} = 0.554$$

$$C_d = 1.125$$

$$Q = 1.125 \times 0.252 \sqrt{19.62 \Delta h}$$

Por consiguiente:

$$\Delta h = 0.634 Q^2$$

Planteando la ecuación de Bernoulli entre las secciones de alta y baja presión, conjuntamente con la ecuación número 8, se obtiene que el gasto máximo que puede pasar por el venturímetro sin que se genere presiones negativas es igual o mayor a $1.6 \text{ m}^3/\text{seg}$.

Ecuación de Bernoulli:

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

$$\text{Donde: } hf = 0.21$$

$$\frac{P_1}{\gamma} = 1.6 \text{ m (medido en campo)}$$

$$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_1}{\gamma} - \Delta h$$

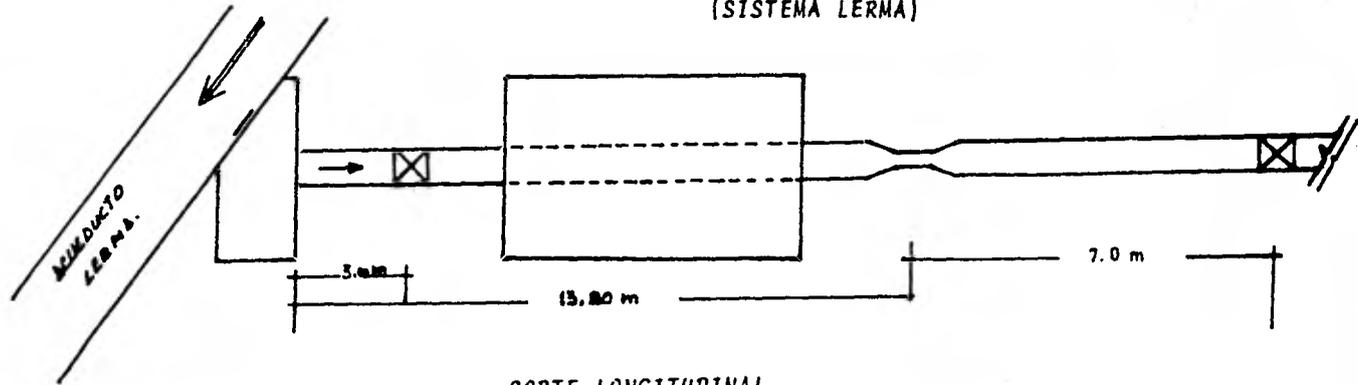
Q (m ³ /seg)	Δh (m)	$P_2/\gamma = P_1/\gamma - \Delta h$ (m)
1.2	0.913	0.687
1.3	1.071	0.528
1.4	1.243	0.357
1.5	1.426	0.173
1.58	1.6	0.0
1.6	1.623	-0.023
1.7	1.832	-0.232

Para evitar errores en las lecturas con gastos grandes (arriba de 1.5 m³/seg), es recomendable que se cambie de lugar el venturímetro a un sitio más alejado de donde se encuentra actualmente, esto tendría la ventaja de una mayor sensibilidad en los aparatos transductores al aumentar la presión.

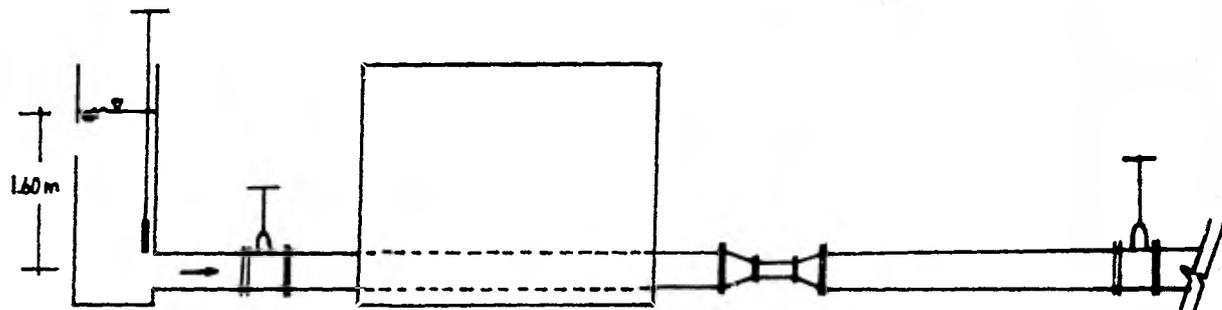
Si se mantiene en las condiciones actuales, (ver figura número 21), se recomienda controlar el gasto a la línea, con la válvula de compuerta que se tiene aguas abajo del venturímetro.

Se considera que el rango de operación del transductor será un 80 por ciento del gasto máximo:

INSTALACION ACTUAL EN LA ESTACION DE MEDICION N.Z.T.
(SISTEMA LERMA)



CORTE LONGITUDINAL



CORTE TRANSVERSAL

FIGURA No. 21

LOCALIZACION DEL VENTURIMETRO CON RESPECTO AL ENBALSE

$$\text{Gasto m\u00ednimo} = 0$$

$$\text{Gasto m\u00e1ximo} = 0.80 (1.6 \text{ m}^3/\text{seg}) = 1.28 \text{ m}^3/\text{seg}.$$

Para los cuales les corresponde las respectivas Δh .

$$\Delta h_1 \text{ m\u00ednimo} = 0$$

$$\Delta h_1 \text{ m\u00e1ximo} = 0.634 (1.28)^2 = 1.038 \text{ m} = 40.87''.$$

Ajust\u00e1ndonos al rango comercial de transductor seg\u00fan la tabla n\u00famero 7, se tiene el rango del transductor de presi\u00f3n diferencial de 0 a 50" de agua. (1,270mm).

TABLA No. 7 RANGO DE TRANSDUCTORES DE PRESION
DIFERENCIAL COMERCIAL

RANGO	
0	- 20" de agua (508mm)
0	- 50" de agua (1,270mm)
0	- 100" de agua (2,540mm)
0	- 200" de agua (5,080mm)
0	- 400" de agua (10,160mm)

Teni\u00e9ndose otros rangos poco usuales, con la facilidad del cambio de la unidad medidora o rango del instrumento.

El elemento receptor ser\u00e1 el que nos proporcione la informaci\u00f3n permanente e impresa.

Este sistema es el único que cuenta con elementos de medición con la única objeción de la baja exactitud relativa -- del equipo de medición en canales abiertos, más sin embargo, es un buen indicador de la entrega de agua en bloque al Dis
trito Federal, ya que constituye el 21.84 por ciento del vo
lúmen que se distribuye y consume en el Distrito Federal.

SISTEMAS AGUAS DEL NORTE

El sistema opera con dos puntos de recepción de entrega de -- agua en bloque, como se observa en las figuras número 3 y número 4 de las páginas número 12 y 13. Siendo estos el tanque de regulación y almacenamiento Sta. Isabel, localizado entre la Avenida Insurgentes Norte y Río de los Remedios, colindando con el Municipio de San Juan Ixhuatepec en el Estado de México y el segundo punto el tanque de oscilación y almacenamiento Chalmita de Guadalupe, localizado atrás del Reclusorio Norte.

En el primer sitio convergen tres líneas de conducción, una de la Comisión de Aguas del Valle de México y dos del Departamento del Distrito Federal.

En la primera estación de medición asignada con el nombre de El Risco, para la elección del elemento primario se recurrirá a la tabla número 5, considerando las características existentes en el sitio resumidas en la tabla número 2.

Se selecciona el medidor de carga Pitot tipo Annubar para tubo de acero de 48" de diámetro interior, considerando para la localización del medidor las restricciones dadas por el fabricante comentadas en el capítulo IV. Se hace necesaria la -- construcción de una estructura o caja para alojar dicho medi-

don, así como para tener fácil acceso al mismo.

Para la obtención del gasto se recurre a la expresión número 20.

$$Q = \frac{S N D^2}{60} \sqrt{\frac{G_f}{G_1}} \sqrt{hn}$$

Sustituyendo valores:

$$Q = \frac{0.72 \times 21.45 \times 48^2}{60} \sqrt{\frac{1}{1}} \sqrt{hn}$$

Simplificando a su mínima expresión:

$$Q = 593.05 \sqrt{hn}$$

Donde: Q, en lts/seg.

hn, en in

En consecuencia:

$$hn = \left(\frac{Q}{593.05} \right)^2$$

La señal existente de presión diferencial entre las tomas de presión del elemento primario se transmitirán al transductor de presión diferencial a través de tuberías de cobre de ---- 12.7 mm. de diámetro, previendo la instalación de válvulas - eliminadoras de aire automáticas.

CALCULO DEL RANGO DEL TRANSDUCTOR

El gasto promedio que conduce o entrega la Comisión de Aguas del Valle de México en dicho sitio es de 600 lts/seg., dato que sujetará el rango de operación del transductor.

$$Q_{\min} = 0$$

$$Q_{\max} = 1.50 Q_{\text{prom}} = 1.50 \times 600 = 900 \text{ lts/seg}$$

Sustituyendo el Q_{\max} en la expresión simplificada de h_n , se tiene:

$$h_n = \Delta h_{\min} = 0$$

$$h_n = \Delta h_{\max} = 2.30 \text{ in}$$

Rango de operación de 0 - 2.30" de agua, ajustándose al rango comercial de la tabla número 7 se tiene el rango de 0 - 5" - de agua.

La segunda estación de medición es asignada con el nombre de Chiconautla, ya que está localizada en las instalaciones de la planta de bombeo con el mismo nombre.

Los sitios de medición estarán localizados en la línea de --conducción entre la planta de bombeo de Chiconautla y el tan que Sta. Isabel, existen dos líneas de conducción, una de --

1,219mm de diámetro (48") y la otra de 508mm de diámetro - - (20"), ambas de acero. Para estas líneas se selecciona el - - medidor de carga Pitot, tipo Annubar para tubo de acero de - - 1,219mm de diámetro (48") y de 508mm de diámetro (20") res-- - pectivamente, considerando los comentarios anteriores de la - - estación de medición El Risco.

Para la obtención del gasto en la línea de 1,219mm de diámetro, se recurre a la expresión número 20, también analizada y simplificada anteriormente.

$$Q = 593.05 \sqrt{hn}$$

Donde:

Q, en lts/seg.

hn, en in

En consecuencia:

$$hn = \left(\frac{Q}{593.05} \right)^2$$

Cálculo del rango del transductor.

La planta de bombeo cuenta con 5 unidades de bombeo, con un gasto por unidad de 750 lts/seg., teniéndose en operación - de 2 a 3 unidades, por consiguiente, los gastos son:

$$Q_{\min} = 0$$

$$Q_{\max} = 3,750 \text{ lts/seg.}$$

$$Q_{\text{oper}} = 2,250 \text{ lts/seg.}$$

Sustituyendo el Q_{\max} y $Q_{\text{operación}}$ en la expresión simplificada de h_n , se tiene:

$$\Delta h_{\min} = 0$$

$$\Delta h_{\max} = 39.98 \text{ in (1,015.5 mm)}$$

$$\Delta h_{\text{oper}} = 14.39 \text{ in (365.5 mm)}$$

Rango de operación de 0 - 14.39 in de agua (365.5mm)

Rango máximo de 0 - 39.98 in de agua (1,015.5mm)

Rango comercial de 0 - 50.0 in de agua (1,270mm)

Para la obtención del gasto en la línea de 20" de diámetro - se recurre a la expresión número 20.

$$Q = \frac{S N D^2}{60} \frac{\sqrt{G_f}}{G_1} \sqrt{h_n}$$

Sustituyendo valores:

$$Q = \frac{0.72 \times 21.45 \times 20^2}{60} \frac{\sqrt{1}}{1} \sqrt{h_n}$$

Simplificando a su mínima expresión:

$$Q = 102.96 \sqrt{hn}$$

Donde: Q, en lts/seg.

hn, en in

En consecuencia:

$$hn = \left(\frac{Q}{102.96} \right)^2$$

CALCULO DEL RANGO DEL TRANSDUCTOR

La planta de bombeo cuenta con 3 unidades de bombeo, con un gasto por unidad de 150 lts/seg., teniéndose en operación de 1 a 2 unidades, por consiguiente:

$$Q_{\text{mfn}} = 0$$

$$Q_{\text{máx}} = 450 \text{ lts/seg.}$$

$$Q_{\text{op}} = 300 \text{ lts/seg.}$$

Sustituyendo el $Q_{\text{máx}}$ y Q_{op} en la expresión simplificada de hn , se tiene:

$$\Delta h_{\text{mín}} = 0$$

$$\Delta h_{\text{máx}} = 19.10 \text{ in (485 mm)}$$

$$\Delta h_{\text{oper}} = 8.49 \text{ in (216 mm)}$$

Rango de operacion de 0 - 8.49 in de agua (216mm)

Rango máximo de 0 - 19.10 in de agua (485mm)

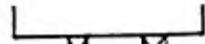
Rango comercial de 0 - 20.0 in de agua (508mm)

El segundo sitio de la medición en el sistema, se localiza en la línea de conducción entre la planta de bombeo de Barriento y los tanques de Chalmita en dos líneas de 1,829mm de diámetro -- (72") de concreto armado. En este sitio transita el 65.88 por ciento -- del volúmen total que entrega la Comisión de Aguas del Valle de México al Distrito Federal y constituye el 14.44 por ciento del volúmen total que se consume en el Distrito Federal.

La medición es importante por las características antes mencionadas, así como la facilidad de medición en dos puntos dis tan tes en la misma línea, ya que a 600 m. aguas arriba del -- tanque, tiene la Comisión de Aguas del Valle de México, ele men tos primarios de carga tipo Venturi standar, y el Departa men to del Distrito Federal cuenta también con un ele men to pri mario de carga tipo Venturi standar en la línea derecha situa do a 150 m. aguas arriba de la torre de control como se obse ra en la figura número 22. Quedando por instrumentar con ele men to primario la línea izquierda, seleccionando el tubo Pi--

CROQUIS DE LOCALIZACION DE LOS MEDIDORES DE FLUJO EN EL SISTEMA DE AGUAS DEL NORTE, EN LA ENTREGA A LOS TANQUES DE CHALMITA.

ACUEDUCTO-BARRIENTOS



VENTURI DE LA C.A.V.M.



VENTURI DEL D. D. F.



INSTALACION DE ANNUBAR



DISTRIBUCION AL D.F.

600 m.

150m.

- 11 -

FIGURA No. 22

tot, tipo Annubar de 1,829 mm de diámetro interior (72") y con accesorio complementario para sujetarlo a la tubería una silleta - --- de acero, haciéndose necesario la construcción de una estructura o caja para alojar dicho instrumento así mismo como tener fácil acceso para su mantenimiento y revisión.

Para este elemento tipo Annubar el gasto se obtiene a partir de la expresión número 20.

$$Q = \frac{S \cdot N \cdot D^2}{60} \sqrt{\frac{G_f}{G_1}} \sqrt{hn}$$

Sustituyendo valores:

$$Q = \frac{0.72 \times 21.45 \times 72^2}{60} \sqrt{\frac{1}{1}} \sqrt{hn}$$

$$Q = 1334.36 \sqrt{hn}$$

Donde: Q, en lts/seg.

hn, en in

En consecuencia:

$$hn = \left(\frac{Q}{1334.36} \right)^2$$

El gasto máximo corresponde a la situación de tránsito del flujo total por esta línea, para lo cual consideraremos el 1.25 por ciento del gasto medio total, y para el gasto de operación se considera el 50 por ciento del gasto máximo.

$$Q_{\text{medio total}} = 5000 \text{ lts/seg.}$$

$$Q_{\text{máx. total}} = 1.25 \times 5000 = 6250 \text{ lts/seg.}$$

$$Q_{\text{operación}} = 6250 \times 0.50 = 3125 \text{ lts/seg.}$$

Gastos que consideraremos para el cálculo del rango del trans
ductor en la expresión de la presión diferencial h_n .

$$h_{n_{\text{mín.}}} = 0$$

$$h_{n_{\text{máx.}}} = 21.93 \text{ in de agua (557 mm)}$$

$$h_{n_{\text{oper.}}} = 5.48 \text{ in de agua (139 mm)}$$

Rango máximo de 0 - 21.43 in de agua (557 mm)

Rango de operación de 0 - 5.48 in de agua (139 mm)

Rango comercial de 0 - 20.0 in de agua (508 mm)

Para la línea derecha se efectuará la rehabilitación del elemento primario y las conexiones entre este elemento y el trans
ductor, considerando el inventario de las estaciones que se mencionan en la tabla número 6.

Las características del venturímetro son las siguientes:

$$Q_{\text{int} - 1} = 72'' = 1.8288 \text{ m.}$$

$$Q_{\text{int} - 2} = 48'' = 1.2192 \text{ m.}$$

$$e_{\text{de pared}} = 5/8'' = 0.0159 \text{ m.}$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4} (D_1)^2 = 0.785 \times 1.8288^2 = 2.625 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{\pi}{4} (D_2)^2 = 0.785 \times 1.2192^2 = 1.167 \text{ m}^2$$

Para obtener el gasto que pasa por el venturímetro se utiliza la expresión número 8.

$$Q = C_d A_2 \sqrt{2g\Delta h}$$

Donde el coeficiente de descarga, se obtiene de la figura número 9, a partir de la relación de estrangulamiento m .

$$m = \frac{A_2}{A_1} = \frac{1.167}{2.625} = 0.444$$

$$C_d = 1.068$$

Sustituyendo en la ecuación de gasto se tiene:

$$Q = 1.068 \times 1.167 \sqrt{19.62 \Delta h}$$

$$Q = 5.52 \sqrt{\Delta h}$$

Donde: Q, en M³/seg.

Δh, en M.

En consecuencia:

$$\Delta h = \left(\frac{Q}{5.52} \right)^2$$

Para el cálculo del rango del transductor de presión diferencial consideraremos los gastos analizados anteriormente en la línea izquierda y aplicamos en la expresión de gasto:

$$\text{Para } Q_{\text{máx total}}, \Delta h = \left(\frac{6.250}{5.52} \right)^2 = 1.282 \text{ m} = 50.47''$$

$$\text{Para } Q_{\text{operación}}, \Delta h = \left(\frac{3.125}{5.52} \right)^2 = 0.32 \text{ m} = 12.62''$$

Rango máximo de 0 - 50.47 in de agua. (1,282 mm)

Rango operación de 0 - 12.62 in de agua. (320 mm)

Rango comercial de 0 - 50.00 in de agua. (508 mm)

Para las instalaciones con que cuenta la Comisión de Aguas -- del Valle de México, se sujetará a los anteriores comentarios de gastos, partiendo de las características de los venturímetros las cuales son iguales para ambas líneas:

$$Q_{\text{int} - 1} = 53.250'' = 1.353 \text{ m.}$$

$$Q_{\text{int} - 2} = 35.656'' = 0.905 \text{ m.}$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4} (D_1)^2 = 0.785 \times 1.353^2 = 1.437 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{\pi}{4} (D_2)^2 = 0.785 \times 0.905^2 = 0.643 \text{ m}^2$$

Relación de estrangulamiento m .

$$m = \frac{A_2}{A_1} = \frac{0.643}{1.437} = 0.447$$

De la figura número 9 se obtiene C_d en función del estrangulamiento m .

$$C_d = 1.069$$

Sustituyendo en la expresión de gasto número 8.

$$Q = C_d A_2 \sqrt{2g\Delta h}$$

$$Q = 1.069 \times 0.643 \sqrt{19.62 \Delta h}$$

$$Q = 3.04 \sqrt{\Delta h}$$

Donde: Q , en $M^3/\text{seg.}$

Δh , en M .

En consecuencia:

$$\Delta h = \left(\frac{0}{3.04} \right)^2$$

$$\Delta h_{\text{mín}} = 0$$

$$\Delta h_{\text{máx}} = \left(\frac{6.25}{3.04} \right)^2 = 4.23 \text{ m} = 166.53 \text{ in de agua}$$

$$\Delta h_{\text{oprs}} = \left(\frac{3.125}{3.04} \right)^2 = 1.06 \text{ m} = 41.73 \text{ in de agua}$$

Rango máximo de 0 - 166.53 in de agua (4,230 mm)

Rango de operación de 0 - 41.73 in de agua (1,060 mm)

Rango comercial de 0 - 100.00 in de agua (2,540 mm)

Se observa que en el análisis de rangos de los transductores de las líneas de Chalmita el comercial es menor que el rango máximo ya que dicha situación sólo se presenta en emergencia de reparación y con gasto máximo.

SISTEMA AGUAS DEL SUR

Este sistema cuenta con dos puntos de recepción de entrega de agua en bloque de la Comisión de Aguas del Valle de México, estación de Zapotitlán con 1.89 por ciento del volúmen total y la estación de Canal Nacional con 3.51 por ciento del volúmen (ver figura número 5).

En base a la tabla número 6 de la página número 59, analizaremos sus elementos primarios y determinaremos el rango del transductor.

Para la estación de Zapotitlán que cuenta con una tobera de 609.6mm x 449mm (24" x 17.677"), la expresión de gasto es la número 8, para la cual partiremos de las siguientes características:

$$D_{1 \text{ int nominal}} = 24" = 609.6 \text{ mm.}$$

$$D_{1 \text{ int real}} = 22.626" = 574.7 \text{ mm.}$$

$$D_{2 \text{ int real}} = 17.677" = 449.0 \text{ mm.}$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4} D_1^2 = 0.785 \times 0.5747^2 = 0.259 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{\pi}{4} D_2^2 = 0.785 \times 0.4490^2 = 0.158 \text{ m}^2$$

$$m = \frac{A_2}{A_1} = \frac{0.158}{0.259} = 0.610$$

De datos proporcionados por el fabricante, tenemos que para una diferencia de presión de 135.22 pulgadas de agua, el gasto es de 1.2 m³/seg.; por lo que el coeficiente de descargas es:

$$Q = C_d A_2 \sqrt{2g\Delta h}$$

$$C_d = \frac{Q}{A_2 \sqrt{2g\Delta h}}$$

$$\Delta h = 135.22" = 3.435 \text{ m.}$$

Sustituimos:

$$C_d = \frac{1.2}{0.158 \sqrt{19.62 \times 3.435}} = 0.9252$$

Para la obtención del rango del transductor de presión diferencial, consideraremos los siguientes gastos:

$$Q_{\text{medio}} = 600 \text{ lts/seg.}$$

$$Q_{\text{máx.}} = 1.50 (Q_{\text{med}}) = 900 \text{ lts/seg}$$

Sustituimos en la ecuación de gasto:

$$Q = 0.9252 \times 0.158 \sqrt{19.62 \Delta h.}$$

$$Q = 0.6475 \sqrt{\Delta h.}$$

$$\Delta h = 2.385 Q^2$$

$$\Delta h_{\text{medio}} = 2.385 \times 0.6^2 = 0.8586 \text{ m} = 33.80 \text{ in}$$

$$\Delta h_{\text{máxi}} = 2.385 \times 0.9^2 = 1.9318 \text{ m} = 76.06 \text{ in}$$

Rango máximo de 0 - 76.06 in de agua (1,932 mm)

Rango operacion de 0 - 33.80 in de agua (859 mm)

Rango comercial de 0 - 100.0 in de agua (2,540 mm)

Para la estación de medición de Canal Nacional, que no cuenta con elemento primario seleccionamos el elemento Pitot, tipo Annubar de 1,219 mm. (48") de diámetro interior, cuya instalación estará localizada sobre el conocido tubo puente de Canal Nacional, en la Colonia Lomas Estrella.

Para este elemento tipo Annubar, el gasto se obtiene a partir de la expresión número 20.

$$Q = \frac{S N D^2}{60} \frac{\sqrt{G_f}}{G_1} \sqrt{hn}$$

Sustituyendo valores:

$$Q = \frac{0.72 \times 21.45 \times 48^2}{60} \frac{\sqrt{1}}{1} \sqrt{hn}$$

$$Q = 593.05 \sqrt{hn}$$

Donde: Q, en lts/seg.

hn, en in.

En consecuencia:

$$h_n = \left(\frac{Q}{593.05} \right)^2$$

Para la determinación del rango del transductor de presión diferencial, consideremos los siguientes gastos:

$$Q_{\text{medio}} = 1500 \text{ lts/seg.}$$

$$Q_{\text{máx}} = 1.50 (Q_{\text{med}}) = 1.50 \times 1500 = 2250 \text{ lts/seg}$$

$$h_{n_{\text{mín}}} = 0$$

$$h_{n_{\text{máx}}} = \left(\frac{2250}{593.05} \right)^2 = 14.39 \text{ in de agua (365.5 mm)}$$

$$h_{n_{\text{op}}} = \left(\frac{1500}{593.05} \right)^2 = 6.39 \text{ in de agua (162.0 mm)}$$

Rango máximo de 0 - 14.39 in de agua (365.5 mm)

Rango de operación de 0 - 6.39 in de agua (162.0 mm)

Rango comercial de 0 - 20.00 in de agua (508.0 mm)

El volúmen entregado por la Comisión de Agua del Valle de México se integra a la línea de conducción del Departamento -- del Distrito Federal, cuyos puntos de entrega de agua del --

sistema son la planta de bombeo Cerro de la Estrella y de Xotepingo.

La primera, cuenta con un Venturi localizado entre la línea de conducción de la planta de bombeo y el tanque de almacenamiento y regulación con el mismo nombre, con las siguientes características:

$$\phi_{\text{int} - 1} = 182.88 \text{ cm.}$$

$$\phi_{\text{int} - 2} = 103.80 \text{ cm.}$$

$$e_{\text{pared}} = 10 \text{ mm.}$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4} D_1^2 = 0.785 (1.8288)^2 = 2.625 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{\pi}{4} D_2^2 = 0.785 (1.038)^2 = 0.846 \text{ m}^2$$

La relación de estrangulamiento m es:

$$m = \frac{A_2}{A_1} = \frac{0.846}{2.625} = 0.322$$

De la figura número 9, considerando $m = 0.322$, se obtiene:

$$C_d = 1.024$$

El gasto se obtiene aplicando la expresión número 8.

$$Q = C_d A_2 \sqrt{2g\Delta h}$$

$$Q = 1.024 \times 0.846 \sqrt{19.62 \Delta h}$$

$$Q = 3.837 \sqrt{\Delta h}$$

Donde: Q, en M³/seg.

Δh , en M.

En consecuencia, la presión diferencial es:

$$\Delta h = \left(\frac{Q}{3.837} \right)^2$$

CALCULO DE RANGO DEL TRANSDUCTOR

En la planta de bombeo Cerro de la Estrella, el sistema de bombeo es con carga positiva de succión y descarga libre - (tipo II, según referencia número 10), contando con 4 equipos de bombeo con un gasto por unidad de 1000 lts/seg., -- siendo el número de bombas en operación de 2 a 3 unidades, teniéndose los siguientes gastos:

$$Q_{\min} = 0$$

$$Q_{\max} = 4000 \text{ lts/seg.}$$

$$Q_{\text{oper}} = 3000 \text{ lts/seg.}$$

Para el cálculo del rango del transductor de presión diferencial consideraremos los gastos analizados anteriormente en la expresión de presión.

$$\text{Para } Q_{\text{máx}}, \Delta h = \left(\frac{4.0}{3.837}\right)^2 = 1.087 \text{ m} = 42.79 \text{ in}$$

$$\text{Para } Q_{\text{oper}}, \Delta h = \left(\frac{3.0}{3.837}\right)^2 = 0.611 \text{ m} = 24.055 \text{ in}$$

Rango máximo de 0 - 42.79 in de agua (1,087 mm)
Rango de operación de 0 - 24.055 in de agua (611 mm)
Rango comercial de 0 - 50.00 in de agua (1,270 mm)

Para la segunda entrega de agua en bloque, que es la planta de bombeo Xotepingo, entran una línea de 48" de diámetro con tubería de concreto armado cuyo nombre es línea de pozos auxiliares, una línea de 48" de diámetro con tubería de acero cuyo nombre es línea Chalco - Amecameca y por último 3 tubos de 48" de diámetro de acero de la línea Acueducto Viejo Xochimilco. Para los cuales se ha seleccionado el elemento primario-tubo Pitot tipo Annubar para tubo de 48" de diámetro con la respectiva silleta para la fijación en el tubo de concreto armado y la estructura para alojar dicho medidor, así como para tener fácil acceso para el mantenimiento y revisión, localizados en las instalaciones de la planta.

La expresión de gasto es la número 20.

$$Q = \frac{S N D^2}{60} \frac{\sqrt{G_f}}{G_1} \sqrt{hn}$$

Sustituyendo valores:

$$Q = \frac{0.72 \times 21.45 \times 48^2}{60} \frac{\sqrt{1}}{1} \sqrt{hn}$$

$$Q = 593.05 \sqrt{hn}$$

Donde: Q, en lts/seg.

hn, en in.

La expresión de presión diferencial es:

$$hn = \left(\frac{Q}{593.05} \right)^2$$

Donde:

$$Q_{\text{prom}} = 800 \text{ lts/seg (de cada línea)}$$

$$Q_{\text{máx}} = 1.50 Q_{\text{prom}} = 1.50 (800) = 1200 \text{ lts/seg}$$

El rango del transductor de presión diferencial es:

$$\text{Para } Q_{\text{máx}}, hn = \left(\frac{1200}{593.05} \right)^2 = 4.09 \text{ in de agua (104 mm)}$$

$$\text{Para } Q_{\text{op}}, hn = \left(\frac{800}{593.05} \right)^2 = 1.82 \text{ in de agua (46 mm)}$$

Rango máximo de	0 - 4.09 in de agua (104 mm)
Rango de operación de	0 - 1.82 in de agua (46 mm)
*Rango comercial de	0 - 5.00 in de agua (127 mm)

* (Rango de transductores poco usual pero se fabrican).

SISTEMA POZOS MUNICIPALES

Este sistema está constituido por dos diferentes formas de - abastecer al Distrito Federal, una lo constituyen la inyec- - ción directa a la red de distribución de 188 pozos aislados- diseminados en el Distrito Federal, aportando el 17.42 por - ciento del volúmen total, para los cuales la medición será - directa pudiéndose aplicar algunos de los instrumentos de me- - dición de flujo tratados en los capítulos IV y V, cuyo análisis se sale del alcance del objetivo de este breve trabajo.

El segundo tipo constituye una entrega de agua en bloque al- Distrito Federal, con punto de recepción el tanque de almace- - namiento y regulación El Peñón, ver figura número 6 de la pá- - gina .

El elemento primario se localizará en la línea de conducción entre la estación de bombeo El Peñón y el tanque, cuyo tipo- de conducto es de concreto armado marca Lock Joint, de 914mm (36") de diámetro interno. Seleccionando de la tabla - número 5 de la página número 54 el elemento primario tubo pi- tot, tipo annubar, cuyo accesorio complementario será una si- - lleta, que sujetará al elemento primario a la tubería, suje- tándose la localización del punto de medición a las restric- ciones recomendadas por el fabricante, las cuales se trata- ron en el capítulo IV página número 38, haciéndose una estruc- - tura o caja de concreto armado para alojar el elemento prima-

rio así como tener fácil acceso al mismo.

La señal hidráulica existente de presión diferencial entre -- las tomas de alta y baja presión se transmitirán al transduc-- tor de presión diferencial a través de tubería de cobre de -- 12.7 mm. de diámetro, previendo la instalación de válvulas -- eliminadoras de aire automáticas.

Cálculo de rango del transductor.

En la planta de bombeo El Peñón, el sistema de bombeo es con-- carga positiva de succión y descarga libre (tipo II según re-- ferencia número 10), contando con 5 bombas cuyo gasto por uní-- dad es de 200 lts/seg.- operando con un motor de 300 H.P. y - 1470 R.P.M., siendo el número de bombas en operación de 2 a 3 unidades, teniéndose los siguientes datos:

$$Q_{\min} = 0$$

$$Q_{\max} = 5 \times 200 \text{ lts/seg} = 1,000 \text{ lts/seg}$$

$$Q_{\text{op}} = 3 \times 200 \text{ lts/seg} = 600 \text{ lts/seg}$$

Para el elemento primario tipo annubar, la expresión de gasto es la número 20.

$$Q = \frac{S N D^2}{60} \frac{\sqrt{G_f}}{G_1} \sqrt{hn}$$

Sustituyendo y reduciendo a su mínima expresión se tiene:

$$Q = \frac{0.72 \times 21.45 \times 36^2}{60} \frac{\sqrt{1}}{1} \sqrt{hn}$$

$$Q = 333.59 \sqrt{hn}$$

Donde: Q, en lts/seg

hn, en in

Por consiguiente:

$$\Delta h = hn = \left(\frac{Q}{333.59} \right)^2$$

Para $Q_{\min} = 0$ se tiene $\Delta h = 0$

Para $Q_{\max} = 1000$ lts. se tiene $\Delta h = 8.99''$ (228 mm)

Para $Q_{op} = 600$ lts. se tiene $\Delta h = 3.23''$ (82 mm)

Rango máximo 0 -- 8.99" de agua (228 mm)

Rango operación 0 -- 3.23" de agua (82 mm)

Rango comercial 0 -- 20.0" de agua (508 mm)

Generalizando en las estaciones de medición, la señal existente de presión diferencial entre las tomas de presión del elemento primario, se transmitirán al transductor de presión diferencial a través de tubería de cobre de 1/2" ó 1/4" de diámetro, siendo la longitud de esta lo más corta posible, procurando mantener una pendiente de una pulgada por pie o mayor, - previendo también la instalación de válvulas eliminadoras de aire automáticas.

Se situará el transductor lo más cerca posible del elemento primario, tomándose las medidas necesarias para que la señal enviada sea lo más representativo de la variable procesada, - ya que fugas, sobre voltaje o falta de energía eléctrica, propiciarían una medición incorrecta o información discontinua.

En la tabla número 8 se han resumido los elementos detectores y los transductores, así como su rango.

Observaciones referentes a la tabla número 8:

- * Rango de los transductores poco usuales.
- ** Mismo volúmen aforado en dos puntos de la misma conducción.

En las ecuaciones de gasto Δh , se tiene en pulgadas.

TABLA No. 8
ELEMENTOS DETECTORES Y RANGO DE TRANSDUCTORES

SISTEMA	ESTACION	ELEMENTO PRIMARIO O SENSOR	RANGO DEL TRANSDUCTOR mm COLUMNA DE AGUA	ECUACION DE GASTO m ³ /seg	PORCENTAJE DEL VOL. TOTAL APO RADO ENTREGADO POR		PORCENTAJE DEL VOL. TOTAL ENTREGADO POR SISTEMA	PORCENTAJE DEL VOL. EN ENTREGAS DE AGUA EN BLOQUE AL D. F.
					CA%K	DDF		
LERMA	Atarasquillo El Venado Línea N.Z.T.	Sección-Velocidad Sección-Velocidad Venturi	— — 0-1,270mm	Q = AV Q = AV Q=0.20 \sqrt{h}		22.55** 24.29** -2.45	21.84	31.39
AGUAS DEL NORTE	El Risco Chalmita L.T. Chalmita L.D. Chiconauhtla 48" Chiconauhtla 20" Chalmita L.I. Chalmita L.D.	Annubar Venturi Venturi Annubar Annubar Annubar Venturi	0-127mm 0-2,540mm 0-2,540mm 0-1,270mm 0-508mm 0-508mm 0-1,270mm	Q=0.59305 \sqrt{h} Q= 0.48 \sqrt{h} Q= 0.48 \sqrt{h} Q=0.59305 \sqrt{h} Q=0.10296 \sqrt{h} Q=1.33436 \sqrt{h} Q= 0.88 \sqrt{h}	2.05 **7.22 **7.22 6.26 0.84 **7.22 **7.22	23.62	33.95	
AGUAS DEL SUR	Zapotitlán Canal Nacional Cerro de la Estrella Xotepingo P.A. Xotepingo Ch.A. Xotepingo A ₁ Xotepingo A ₂ Xotepingo A ₃	Tobeta Annubar Venturi Annubar Annubar Annubar Annubar Annubar	0-2,540mm 0-508mm 0-1,270mm 0-127mm 0-127mm 0-127mm 0-127mm 0-127mm	Q=0.103 \sqrt{h} Q=0.59305 \sqrt{h} Q= 0.612 \sqrt{h} Q=0.59305 \sqrt{h} Q=0.59305 \sqrt{h} Q=0.59305 \sqrt{h} Q=0.59305 \sqrt{h} Q=0.59305 \sqrt{h}	1.89 3.51 5.69 2.32 2.32 2.31 2.32 2.32	22.68	32.60	
POZOS MUNICIPALES	El Peñón	Annubar	0-508mm	Q=0.33359 \sqrt{h}	1.43	1.43	2.05	
T O T A L E S					21.92%	47.65%	69.57%	100.00%

LA DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE VOLUMEN TOTAL ENTREGADO POR SISTEMA, SE DEDUCE DE SUS RESPECTIVOS DIAGRAMAS DE BLOQUE

- 97 -

VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las obras de ingeniería sanitaria son aquellas que transforman el medio en que se desarrolla el hombre, proporcionando a la sociedad un ambiente de comodidad y seguridad, en particular las características que debe cumplir un buen abastecimiento de agua potable son:

1. Cantidad requerida,
2. Calidad.
3. Presión.

Características que se deben estar muestrando en una forma instantánea y continua para que la toma de decisiones sea -- adecuado y oportuna o para que formen parte de los datos estadísticos para efecto de diseño y control.

Hoy en día en que nos enfrentamos en la carrera contra el -- tiempo, el desarticulado crecimiento de la población, lo desordenado de los asentamientos humanos y el uso inadecuado -- de los recursos, se justifica la inversión de la instrumentación de 19 estaciones de medición de flujo en las entregas -- de agua en bloque, el cual cubre el 100 por ciento de las entregas y constituye el 69.57 por ciento del volumen total -- que se consume en el Distrito Federal, así como el mismo -- por ciento de información instantánea y permanente.

Se hace notar que con una mínima inversión para instrumentar completamente el sistema, aplicando algunos de los elementos descritos en el capítulo IV y V, nos aportarían un cúmulo de información, primeramente, para obtener datos instantáneos - reales, en segundo, para determinar la capacidad de la infra estructura hidráulica y por último, para prever en un futuro no lejano el plan de desarrollo hidráulico acorde a la ideo-sincracia, costumbres y estratos sociales de los ciudadanos del Distrito Federal.

Del 30.43 por ciento del volúmen total que falta por instrumentar, lo constituyen el sistema de pozos municipales, pozos particulares y pozos aislados en los sistemas, los cuales se encuentran diseminados en el Distrito Federal, que inyectan directo a la red o son explotados para fines particulares, para los cuales la medición deberá ser directa, aportándonos información del 29.49 por ciento del volúmen total y por último, para el 0.94 por ciento del volúmen total restante, la medición será en el sistema de manantiales.

Las técnicas usadas para obtener la medición de flujo dependen de la información requerida, los aspectos económicos de la aplicación y la precisión de la medición necesaria.

Como RECOMENDACIONES tenemos:

1. Primeramente, estar conscientes de la importancia y necesidad de la medición para tener información permanente referente a las variables presentes en los sistemas de abastecimiento de agua existente o en proyecto.
2. Determinar el tipo de variable a procesar.
3. Determinar el punto o sitio de interés de la medición.
4. Resumir el mayor número de datos o características hidráulicas existentes o de proyecto para la elección apropiada del equipo. Existe en el mercado una gran cantidad de elementos, los cuales parten de los mismos principios fundamentales tratados en el capítulo de medidores de flujo.
5. La elección del medidor estará sujeto a la finalidad de la medición y características específicas del flujo y se hace necesario el conocimiento del equipo para acatar las restricciones recomendadas por el fabricante.
6. Prever una instalación auxiliar para la verificación periódica del equipo de medición.
7. Contar con un programa de calibración, revisión y mantenimiento de las instalaciones.

8. El equipo de medición nos proporcionará información relativa de la variable o variables procesadas, es decir, que no se debe tomar como datos absolutos ya que cada tipo de medidor cuenta implícitamente con un coeficiente de - - - inexactitud.

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

1. DINAMICA DE LOS FLUIDOS
Daily, Harleman
Editorial Trillas
México, 1975

2. HIDRAULICA
George E. Russell
Editorial C.E.C.S.A.
E.E.U.U., 1971

3. HIDRAULICA (APUNTES F.I.)
Ing. Gilberto Sotelo Avila
Editorial F.I. (U.N.A.M.)
México, 1971

4. INSTRUMENTACION INDUSTRIAL
Harold F. Soisson
Editorial Limusa
México, 1980

5. INGENIERIA SANITARIA
Ing. Ernesto Murgula Vaca
Edición Autor
México, 1979

6. INSTRUCTIVO PARA AFORO DE CO-
RRIENTES
Secretaría de Recursos Hi-
drúlicos (S.R.H.)
México, D. F., 1964

7. SUBPROGRAMA DE MEDICION HIDRAU-
LICA DEL DISTRITO FEDERAL
Ing. Fco. J. Rodríguez /
Ing. Manuel Alvarez
D.D.F.
México, 1979

8. MANUAL DE SANEAMIENTO, VIVIENDA
AGUA Y DESECHOS.

*Dirección de Ingeniería Sa-
nitaria
Secretaría de Salubridad y
Asistencia
LIMUSA 1978*

9. NORMAS DE PROYECTO PARA OBRAS DE
PROVISIONAMIENTO DE AGUA POTABLE
EN LOCALIDADES URBANAS DE LA RE-
PUBLICA MEXICANA.

*Secretaría de Recursos Hidráulicos
Reproducidas por el Departamento
de Ingeniería Sanitaria
U. N. A. M. 1980*

10. MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES

*Sección E. (Hidráulica)
Comisión federal de Electrici-
dad
México 1970*

11. INSTRUMENTACION Y CONTROL EN EL TRA-
TAMIENTO DE AGUAS POTABLES, INDUSTRIA
LES Y DE DESECHO

*Russell H. Babcock
LIMUSA 1980*

12. PRINCIPLES AND PRACTICE OF FLOW METER
INGENEERING.

*L. K. Spink
The Foxboro Company 1961*