



# Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

28  
57

**Instrumentación y Control en Potabilización  
de Aguas**

## **Tesis Profesional**

Que para obtener el Título de  
**INGENIERO CIVIL**

**p r e s e n t a**

**CELICA CHAVEZ JAIMES**

México, D. F.

1983



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

# I N D I C E

1.	INTRODUCCION	1
2.	MEDICIONES	38
2.1	Clasificación General	39
A)	Medidores de flujo	39
B)	Medidores de Presión, Nivel y Temperatura	61
C)	Medidores Analíticos	70
D)	Medidores Ópticos	76
3.	TRANSMISION INTERNA DE UNA PLANTA	78
3.1	Mecanismos de Transmisión y Recepción	80
3.2	Señales Neumáticas de Transmisión	82
3.3	Sistemas Electrónicos de Transmisión	86
3.4	Transmisores Electrónicos con balance de movimiento y fuerza	87
3.5	Aplicación de la Transmisión al interior de una planta	89
4.	ELEMENTOS DE CONTROL AUTOMATICOS	90
4.1	Sistemas de control abiertos	93
4.2	Sistemas de control cerrados	95
4.3	Formas de control	96
4.4	Control de calidad	101
4.5	Control de cascada	102
5.	VALVULAS DE CONTROL AUTOMATICAS	104
5.1	Tipos de Válvulas de control	105
5.2	Actuadores de Válvulas de control	111
5.3	Posicionadores	116
5.4	Características de una Válvula de control	117

6.	CONTROL DE DOSIFICADORES QUIMICOS	120
6.1	Control de duración de impulso	121
6.2	Control al vacío	123
6.3	Control Neumático	124
6.4	Control de circuito cerrado	125
6.5	Dosificadores de compuestos químicos	128
6.6	Elección del dosificador	130
7.	INSTRUMENTACION EN PLANTAS POTABILIZADORAS	133
7.1	Control de Velocidad de filtración	137
7.2	Control de flujo	143
7.3	Tipos especiales de filtros	148
7.4	Controles de una estación de bombeo	149
7.5	Tableros de control	150
8.	BIBLIOGRAFIA	153

## 1. I N T R O D U C C I O N

El agua, como ya se sabe, es un elemento vital para el desarrollo del hombre, ya que sin este elemento no es posible su subsistencia. El ser humano solamente consume aquella agua de la cual tiene certeza que al beberla no sufrirá trastornos o enfermedades; por esta razón las Instituciones de Salubridad han clasificado como agua potable aquella que se ajusta a estrictas normas de calidad. En la Ciudad de México la Secretaría de Salubridad y Asistencia establece las siguientes condiciones que deberá cumplir el agua potable.

### I. NORMAS DE CARACTERES FISICOS

Olor - Inodora  
Sabor - Insípida  
Color - 20 Unidades en escala platino - cobalto  
Turbiedad - 10 Unidades en escala sílice

### II. NORMAS DE CARACTERES QUIMICOS

pH - 6 a 8 para aguas naturales no tratadas

	permisible hasta (en mg/l)
Nitrógeno (N) amoniacal	0.50
Nitrógeno (N) proteico	0.10
Nitrógeno (N) de nitritos	0.05
Nitrógeno (N) de nitratos	5.00
Oxígeno (O)	3.00
Sólidos totales	500 - 1000
Alcalinidad total (CaCO <sub>3</sub> )	400
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	300
Dureza permanente (CaCO <sub>3</sub> )	150
Cloruros (Cl)	250
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	250
Magnesio (Mg)	125
Zinc (Zn)	15
Cobre (Cu)	3.00
Fluoruros (F)	1.5
Hierro y Manganeseo (Fe y Mn)	0.30
Plomo (Pb)	0.10
Arsénico (As)	0.05
Selenio (Se)	0.05
Cromo (Cr)	0.05
Compuestos fenólicos (Fenol)	0.001
Cloro libre	0.2 - 1.0

### III. CARACTERES BACTERIOLOGICOS

El agua estará libre de gérmenes patógenos procedentes de contaminación fecal humana. Se considerará que un agua está libre de éstos gérmenes cuando la investigación bacteriológica dé, como resultado final:

- a) Menos de 20 organismos de los grupos Coli y Coliforme por litro de muestra. Definiéndose como organismos de éstos grupos todos los bacilos no esporógenos, Gram negativos, que fermenten el caldo lactosado con formación de gas.
- b) Menos de 200 colonias bacterianas por centímetro cúbico de muestra, en la placa de agar incubada a 37°C por 24 horas.
- c) Ausencia de colonias bacterianas, licuantes de la gelatina, - cromógenas o fétidas, en la siembra de un centímetro cúbico de muestra en gelatina incubada a 20 grados por 48 horas.

En la superficie terrestre las 3/4 partes que la componen es de agua, pero sólo una mínima es utilizada para ser potabilizada sin efectuar grandes trabajos e inversiones, ésto es debido a diversos problemas dentro de los cuales los más comunes son los siguientes:

- Los acuíferos no suministran el caudal requerido.
- La fuente de abastecimiento se encuentra distante de la población o centro de consumo, lo que ocasiona altos costos por transporte del caudal.
- El agua ha sufrido una alta degradación en su calidad Físico-Químico-Biológica debido a una contaminación en forma natural o artificial.

Normalmente el agua de las fuentes de abastecimiento tales como: manantiales, lagos, lagunas, mar, etc., no pueden clasificarse como potable, por lo que su acondicionamiento requiere de plantas potabilizadoras que cuenten con diversos procesos de tratamiento Físico-Químicos.

Para determinar la fuente de abastecimiento y el tipo de planta potabilizadora, se efectúa el siguiente procedimiento:

En función de un determinado caudal de agua potable, se fijan las fuentes de abastecimiento más probables, se efectúan análisis Físicos-Químicos-Biológicos de cada una de ellas. Las muestras a analizar de berán ser de diferentes puntos de la fuente y en diferente estación del año, a fin de poder estimar cuales son las variaciones máximas y mínimas de calidad. Durante este periodo de muestreo cualitativo se verifican -- los caudales de la fuente y se determina si ésta proporcionará la capaci-- dad requerida.

En función de la calidad inicial del agua de cada fuente, se de terminan los procesos de acondicionamiento más probables para cada caso, se definen los tipos de equipo, se estiman los costos de operación de -- la planta, del transporte y distribución del caudal.

La selección final del proceso se efectúa tomando en cuenta que la planta tendrá los costos totales mínimos, su localización tendrá una infraestructura factible y el tiempo de construcción sera el adecuado.

A continuación se mencionan algunas recomendaciones de trata-- miento para cada parámetro de calidad y se presentan diagramas de blo-- ques de los procesos de potabilización a efectuar según la calidad de -- agua inicial.

## NORMAS BACTERIOLÓGICAS:

- 1) Para tubos múltiples, la norma establece menos de 3 bacterias como NMP por 100 ml. de muestra.
- 2) Para filtración en membrana, la norma establece 2 colonias bacterianas por 100 ml. de muestra.

NORMAS DE CARACTERES FISICOS

DETERMINACION	OLOR Y SABOR	
ORIGEN O CAUSA	Prácticamente todos los olores en los suministros de agua natural con excepción del sulfuro de Hidrógeno (H <sub>2</sub> S) son de origen orgánico. Rara vez se deben a un exceso de cloruro, sino más bien a los compuestos formados por la acción del cloro sobre la materia orgánica.	
ASPECTOS FISIOLÓGICOS	Se presentan olor y sabor desagradables, provenientes de las impurezas durante los procesos de putrefacción o descomposición biológica de sustancias orgánicas de origen animal o vegetal.	
ASPECTOS TÉCNICOS	Indeseable en la industria de bebidas, alimentos y en procesos que se llevan a cabo por vía húmeda.	
NORMAS DE CALIDAD	D E S E A B L E	
	Inodora	P E R M I S I B L E
MÉTODOS DE TRATAMIENTO	1) Carbón activado	4) Cloración en punto crítico y carbón activado.
	2) Aeración 3) Aeración y carbón activado	5) Desgasificación

DETERMINACION	COLOR (ESCALA PLATINO COBALTO)	
ORIGEN O CAUSA	En agua superficial, por componentes orgánicos provienen del decoloramiento de la vegetación y por contaminación de desperdicios orgánicos e inorgánicos descargados a los ríos. En agua subterránea componentes orgánicos que han pasado a través de la lignita y turba.	
ASPECTOS FISIOLÓGICOS	Presenta aspecto desagradable.	
ASPECTOS TÉCNICOS	Indeseable en la alimentación de calderas y en los procesos en los que forma parte el agua. Interfiere la acción de los inhibidores de corrosión.	
NORMAS DE CALIDAD	D E S E A B L E	
	5 (1)	P E R M I S I B L E
MÉTODOS DE TRATAMIENTO	1) Coagulación 2) Sedimentación 3) Filtración	4) Adsorción con carbón activado.
		50 (1) <sup>a</sup> 20 (2) <sup>a</sup> (1) <sup>a</sup> = NORMAS OHS.      (2) <sup>a</sup> = NORMAS SSA

DETERMINACION	TURBIDEAD EN UNIDADES DE JACKSON	
ORIGEN O CAUSA	Se debe a materia suspendida en un estado finamente dividida. La turbiedad es una medida de la obstrucción de luz que pasa a través de una muestra de agua.	
ASPECTOS FISIOLOGICOS	Presenta aspecto desagradable.	
ASPECTOS TECNICOS	Altas turbiedades pueden producir azolves, taponamiento, sobrecalentamiento, espumación, depósitos en líneas, equipos de proceso, calderas, etc. Reduce el rendimiento de calderas Interfiere en los procesos que utilizan agua. Interfiere la acción de los inhibidores -- de corrosión.	
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
	5 (1)	25 (1) 10 (2)
METODOS DE TRATAMIENTO	1) Sedimentación y Filtración. 2) Coagulación y Sedimentación 3) Coagulación, sedimentación y filtración.	

DETERMINACION	TEMPERATURA	
ORIGEN O CAUSA	Natural o producida por descargas industriales.	
ASPECTOS FISIOLOGICOS		
ASPECTOS TECNICOS	En aguas con alto contenido de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ libre, una pequeña elevación de la temperatura es suficiente para formar depósitos. Las aguas con elevadas temperaturas afectan la resistencia de tuberías de plástico. En aguas con valores bajos de pH, baja alcalinidad y alto contenido de $\text{CO}_2$ libre hay alta que por corrosión a tuberías metálicas no protegidas y medidores en los sistemas municipales, el cual se incrementa por el aumento en la temperatura.	
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
	12°C - 25°C	
METODOS DE TRATAMIENTO		

NORMAS DE CARACTERES QUIMICOS

DETERMINACION	pH. ACTIVIDAD DE IONES HIDROGENO. ( En unidades de pH. )	
ORIGEN O CAUSA	los ácidos y el dióxido de Carbono libre, bajan el valor de pH. Carbonatos, Hidróxidos, fosfatos, silicatos y boratos aumentan el valor de pH.	
ASPECTOS FISIOLÓGICOS	A pH mayores o menores de la norma establecida ocasiona esfacelación del epitelio bucal.	
ASPECTOS TÉCNICOS	Es el factor más importante en procesos de tratamiento y en la prevención de escamas y corrosión de tuberías, cambiadores de calor, calderas, turbinas, etc. Valores altos de pH provocan precipitación de $CaCO_3$ como escamas en las paredes de tuberías y en equipos de proceso. Valores bajos de pH provocan corrosión en los equipos y accesorios.	
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
	7.0 - 8.5 (1)	6.5 - 9.2 (1) 6.0 - 8.0 (2)
MÉTODOS DE TRATAMIENTO	Valores bajos se incrementan con Alcalis. Valores altos se abaten con Ácidos.	

DETERMINACION	INDICE DE SATURACION (LANGELIER) En unidades de pH:	
ORIGEN O CAUSA	La fórmula para el índice de Langelier o saturación es pH actual - pH saturación, siendo una indicación del grado de inestabilidad con respecto a la deposición y a la solubilización del carbonato de calcio.	
ASPECTOS FISIOLÓGICOS		
ASPECTOS TÉCNICOS	Un valor positivo indica una tendencia a la deposición o incrustación del carbonato de calcio, y un valor negativo indica una tendencia a la disolución o corrosión en las tuberías de conducción por el carbonato de calcio. Variaciones en la temperatura originan cambios en el índice de saturación.	
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
		± 0.5
MÉTODOS DE TRATAMIENTO	1) Desmineralización.	

DETERMINACION	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA* EN MICROMHMS	
ORIGEN O CAUSA	Depende de la cantidad de sales disueltas en el agua. Varía con la concentración y grado de ionización de los constituyentes.	
ASPECTOS FISIOLOGICOS		
ASPECTOS TECNICOS	Imparte características corrosivas al agua.	
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
METODOS DE TRATAMIENTO	1) Ablandamiento 2) Desmineralización 3) Destilación	

DETERMINACION	ALCALINIDAD TOTAL (Alcalinidad F + Alcalinidad A.M.) Como CaCO <sub>3</sub> en mg/l.	
ORIGEN O CAUSA	Proviene de la incorporación de dióxido de carbono en el agua y de la disolución de rocas carbonatadas como la caliza y la dolomita.	
ASPECTOS FISIOLOGICOS	Alcalosis metabólica, se presenta por la ingestión excesiva de bicarbonatos o sus - precursores.	
ASPECTOS TECNICOS	Provoca espumación, acarreo de sólidos en el vapor, formación de CO <sub>2</sub> en el vapor de - calderas, impartiendo a éste carácter corrosivo. Convierte queludizo el acero de las calderas, utilizadas en industrias y baños.	
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
		400 (2)
METODOS DE TRATAMIENTO	1) Ablandamiento por: a) Cal - Soda b) Intercambio iónico ciclo sódico o c) H <sub>2</sub> O hidrogeno	
	2) Desmineralización 3) Destilación	

DETERMINACION	DUREZAS Como $\text{CaCO}_3$ en mg/l	
ORIGEN O CAUSA	La dureza de las aguas puede ser de dos clases: 1) La temporal producida por los bicarbonatos. 2) La permanente: producida por sales fijas como cloruros, sulfatos, etc. La dureza total es igual a la suma de la dureza temporal y la dureza permanente. En la mayoría de los casos es debida al calcio y al magnesio.	
ASPECTOS FISIOLOGICOS		
ASPECTOS TECNICOS	Fuente principal de escamas en equipo de intercambio de calor, calderas, tuberías, líneas, etc. Provoca espumas y lodos de color amarillo en equipos industriales. Consumo excesivo de jabón y energéticos. Indeseable en refinado de metal, plantas de secado y textiles, procesos de alimentos, pulpa y papel, lavado de botellas, fotografía, curtiduría, etc.	
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
	100 (1)	500 (1) 300 (2)
METODOS DE TRATAMIENTO	1) Ablandamiento 2) Destilación 3) Dentro de las calderas con sales orgánicas. 4) Agentes de superficie activa.	

DETERMINACION	CALCIO Como (Ca) en mg/l	
ORIGEN O CAUSA	Proviene de casi todo tipo de suelos y rocas, pero en especial de las calizas, las dolomitas y el yeso. Algunas salmueras contienen grandes cantidades de calcio.	
ASPECTOS FISIOLOGICOS		
ASPECTOS TECNICOS	En sistemas de enfriamiento de Tugar a la formación de escamas.	
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
	75 (1)	200 (1)
METODOS DE TRATAMIENTO	1) Ablandamiento.	

DETERMINACION	MAGNESIO Como (Mg) en mg/l	
ORIGEN O CAUSA	Proviene de la disolución de la mayoría de los suelos y rocas pero especialmente de las dolomitas. Algunas salmueras contienen cantidades abundantes de magnesio.	
ASPECTOS FISIOLOGICOS		
ASPECTOS TECHICOS	Su precipitación en las líneas provoca incrustaciones, las cuales disminuyen el gasto.	
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
	30 (1)	125 (2) 150 (1)
METODOS DE TRATAMIENTO	1) Ablandamiento 2) Destilación	

DETERMINACION	CLORURO Como (Cl) en mg/l.	
ORIGEN O CAUSA	Proviene de la disolución de rocas y suelos en especial evaporitas, se presenta por contaminación de desperdicios y desechos. Antiguas salmueras, agua de mar y salmueras industriales, contienen grandes cantidades de éste elemento.	
ASPECTOS FISIOLOGICOS	Su combinación en exceso con sodio da un sabor salado, actuando también como laxante.	
ASPECTOS TECHICOS	Interfiere en ciertos procesos como el plateado de espejos. En grandes concentraciones incrementa el carácter corrosivo del agua. Aumenta el contenido de sólidos.	
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
	200 (1)	600 (1) 250 (2)
METODOS DE TRATAMIENTO	1) Desmineralización 2) Destilación	

DETERMINACION	FLUORUROS Como ( F <sup>-</sup> ) en mg/l	
ORIGEN O CAUSA	Se encuentra desmineralizado, aunque en cantidades muy pequeñas, en casi todo tipo de suelos y rocas.	
ASPECTOS FISIOLOGICOS	Concentraciones hasta 1.5 mg/l . son benéficas, reduciendo la picadura de los dientes - en los niños, durante la época de calcificación. Exceso de éste elemento por arriba de la norma establecida, daña el esmalte dental, originando manchas ó moteada negruzca sobre éste, fenómeno que se dá sólo en niños ó en la segunda dentición.	
ASPECTOS TECNICOS	Indeseable en la manufactura de ciertos alimentos para niños. De poca o de mucha importancia para muchos usos industriales.	
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
	0.6 (1)	1.7 (1) 1.5 (2)
METODOS DE TRATAMIENTO	1) Adsorción con: a) Hidróxido de magnesio b) Fosfato de calcio c) Carbón de hueso 2) Coagulación con alumbre	

DETERMINACION	SULFATOS Como ( SO <sub>4</sub> ) en mg/l	
ORIGEN O CAUSA	Proviene de la disolución de rocas y suelos que contienen yesos, fierro y compuestos - sulfurosos. Comumente se presenta en aguas de drenaje de minas y algunos desechos industriales.	
ASPECTOS FISIOLOGICOS	Concentraciones altas, actúa como laxantes y su combinación con otros iones imparte al agua sabor desagradable.	
ASPECTOS TECNICOS	Ocasiona incrustaciones en medidores de agua. Forma escamas en calderas. Indeseable en la industria del hielo.	
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
	200 (1)	400 (1) 250 (2)
METODOS DE TRATAMIENTO	1) Desmineralización 2) Destilación	

DETERMINACION	SODIO Como (Na) en mg/l	
ORIGEN O CAUSA	Proviene de la disolución de la mayoría de las rocas y suelos. Se encuentra también en salmueras, agua de mar, desperdicios y drenajes.	
ASPECTOS FISIOLOGICOS	Grandes cantidades en combinación con cloro ocasionan sabor salado.	
ASPECTOS TECNICOS	Altas alcalinidades de sodio son perjudiciales en calderas de alta presión, lavanderías y plantas textiles. Ciertas sales de sodio son perjudiciales en el proceso de manufactura de ciertos procesos celulósicos, dieléctricos, drogas y productos químicos finos, hule - sintético, plásticos, materiales fotográficos y utensilios en los que se deposita plata.	
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
METODOS DE TRATAMIENTO	1) Intercambio catiónico 2) Desmineralización 3) Destilación	

DETERMINACION	SILICE Como $SiO_2$ en Mg/l	
ORIGEN O CAUSA	Proviene de la disolución de la mayoría de las rocas y suelos. Generalmente se presenta en concentraciones bajas de 1 a 30 p.p.m. Concentraciones hasta 100 p.p.m. , suelen concentrarse en aguas altamente alcalinas.	
ASPECTOS FISIOLOGICOS		
ASPECTOS TECNICOS	Forma depósitos en calderas y sistemas de enfriamiento, duros, cristalizados y difíciles de remover. Afecta la eficiencia de las turbinas debido a los depósitos en las hojas de éstas. Un alto contenido de sílice da al papel características de estañado.	
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
METODOS DE TRATAMIENTO	Sílice Coloidal 1) Coagulación y filtración Sílice en Solución 1) Adsorción por intercambio aniónico altamente básico en el proceso de desmineralización.	2) Ablandamiento en cal sodada en frío o Magnesita. 3) Ablandamiento con cal sodada en caliente y Magnesita. 4) Destilación

DETERMINACION	OXIGENO Como O <sub>2</sub> en mg/l	
ORIGEN O CAUSA	Proviene principalmente de la solubilidad del aire en el agua. Se libera durante la fotosíntesis de plantas acuáticas.	
ASPECTOS FISIOLÓGICOS		
ASPECTOS TECNICOS	Efecto corrosivo sobre metales como fierro, acero, fierro galvanizado y latón, los cuales se usan en recipientes donde se conduce o almacena agua; en líneas de agua, equipo de intercambio de calor, calderas, líneas de retorno, etc. Los valores bajos del pH aceleran la velocidad de corrosión, por oxígeno disuelto, mientras que valores altos del pH tienden a retardarla.	
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
MÉTODOS DE TRATAMIENTO	1) Desaeeración 2) Sulfito de Sodio 3) Inhibidores de corrosión.	

DETERMINACION	AMONÍACO Como (N) en mg/l.	
ORIGEN O CAUSA	Se encuentra en concentraciones variables, en aguas superficiales y aguas profundas, siendo un producto de la actividad microbiológica. En aguas superficiales su presencia es evidencia de contaminación. En aguas profundas es muy general, como resultado de procesos naturales de reducción.	
ASPECTOS FISIOLÓGICOS		
ASPECTOS TECNICOS	Provoca corrosión en el cobre, aleaciones de Cinc, formando un ión soluble. En altas concentraciones afecta válvulas y conexiones de bronce.	
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
		0.50 (1)
MÉTODOS DE TRATAMIENTO	1) Desaeeración. 2) Sulfito de sodio. 3) Inhibidores de corrosión.	

DETERMINACION	NITRITOS Como (N) en mg/l.	
ORIGEN O CAUSA	Presente en el agua como compuesto intermediario de óxido-reducción en el ciclo del nitrógeno. (Índice probable de materia orgánica).	
ASPECTOS FISIOLOGICOS		
ASPECTOS TECNICOS	Usando generalmente como inhibidor de corrosión en sistemas de enfriamiento por agua, esto si las tuberías son de fierro y/o acero, pero no para las de cobre ó aleaciones de éste. Sin embargo, en condiciones ácidas, los nitritos no inhiben al fierro.	
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
		0.05 (1)
METODOS DE TRATAMIENTO	1) Destilación 2) Desmineralización	

DETERMINACION	NITRATOS Como $\text{NO}_3$ en mg/l	
ORIGEN O CAUSA	El nitrógeno se encuentra en el agua como $\text{NH}_3$ , $\text{NO}_2$ y $\text{NO}_3$ , dependiendo del grado de oxidación. Proviene de la disolución de rocas ígneas, suelos enriquecidos por legumbres, fertilizantes y aguas de drenaje provenientes de establos.	
ASPECTOS FISIOLOGICOS	Concentraciones mayores de 45 p.p.m. causan metahemoglobinemia en infantes.	
ASPECTOS TECNICOS	Aumenta el contenido de sólidos. No siempre es significativo industrialmente.	
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
		45.0 (1)
METODOS DE TRATAMIENTO	1) Desmineralización 2) Destilación.	

DETERMINACION	DIOXIDO DE CARBONO Como $CaCO_3$ en mg/l.	
ORIGEN O CAUSA	Proviene de la oxidación de la materia orgánica. En la atmósfera se solubiliza en el agua de lluvia. En algunos casos es de origen subterráneo.	
ASPECTOS FISIOLÓGICOS		
ASPECTOS TECNICOS	Imparte al agua bajo valor de pH y carácter corrosivo. Provoca corrosión severa en intercambiadores de calor, tuberías, válvulas, etc. En sistemas de calderas, líneas de vapor y también de retorno.	
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
MÉTODOS DE TRATAMIENTO	1) Aeración 2) Desaeración 3) Neutralización con álcalis.	4) Recubrimiento y neutralización con aminas.

DETERMINACION	FIERRO Como (Fe) en mg/l	
ORIGEN O CAUSA	Proviene de la disolución de suelos, rocas, tuberías, bombas y equipos similares. Concentraciones mayores de 1 ó 2 mg/l. indican generalmente drenaje de zonas mineras u otras fuentes.	
ASPECTOS FISIOLÓGICOS	Grandes concentraciones producen un sabor y olor desagradables.	
ASPECTOS TECNICOS	Forman manchas que destruyen la apariencia sanitaria en fregaderos, excusados, etc. Incrustante en líneas de agua, calderas, etc. Indeseable en la industria textil, de bebidas, de pulpa y papel de alta calidad. Es indeseable en la mayoría de las industrias.	
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
	0,10 (1)	1,0 (1) 0,3 (2) Fe + Mn
MÉTODOS DE TRATAMIENTO	1) Aeración, sedimentación y filtración 2) Aeración, coagulación y filtración 3) Aeración, Neutralización, Asentamiento y filtración.	4) Intercambio catiónico y filtración por contacto. 5) Zeolitas al Manganeso.

DETERMINACION	MANGANESO Como (Mn) en mg/l.	
ORIGEN O CAUSA	Proviene de la disolución de algunos suelos y rocas. Es menos común que el fierro, pero se encuentra asociado con éste y con aguas ácidas.	
ASPECTOS FISIOLOGICOS	Causa sabor y coloración desagradables.	
ASPECTOS TECNICOS	Incrustante en tuberías, válvulas, etc. Produce manchas en trabajos de proceso. Indeseable en la mayoría de las industrias. Mancha los materiales, especialmente cuando el pH se aumenta, en lavanderías u otras operaciones de lavado.	
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
	0.05 (1)	0.50 (1) 0.30 (2) Fe + Mn
METODOS DE TRATAMIENTO	1) Aeración, asentamiento y filtración. 4) Coagulación con alumbre y filtración. 2) Ablandamiento con cal sodada ó zeolitas. 5) Zeolitas al manganeso. 3) Intercambio catiónico ciclo sódico ó -- ciclo hidrógeno.	

DETERMINACION	ACIDO SULFIDRICO Como (H <sub>2</sub> S) en mg/l.	
ORIGEN O CAUSA	La presencia de sulfuro de Hidrógeno en el agua se debe a dos causas: puramente química y/o puramente biológica. Su presencia es más común en agua de pozos, que en aguas superficiales. En otros casos, resulta de las condiciones atmosféricas propias, debido a la presencia de bacterias anaerobias, reductoras de sulfato inorgánico a sulfitos y azufre mismo.	
ASPECTOS FISIOLOGICOS	Causa de olor a huevo podrido, aún en concentraciones pequeñas. El olor no es evidente a concentraciones altas. Incoloro. Flameable. Explosivo. Venenoso. Provoce la muerte en pocos minutos a concentración de 0.20%. Paraliza los centros respiratorios.	
ASPECTOS TECNICOS	Presencia de concentraciones pequeñas de éste gas, imparte al agua características corrosivas. Concentraciones excesivas de sulfuro de hidrógeno exhiben una tendencia agresiva al hierro, acero y aleaciones de cobre, todos en condiciones anaerobias.	
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
	CERO	
METODOS DE TRATAMIENTO	1) Aeración 4) Destilación 2) Cloración 3) Intercambio catiónico básico	

DETERMINACION	COMPUUESTOS FENOLICOS (Expresados en Fenol) en mg/l.	
ORIGEN O CAUSA	Su presencia se debe a contaminación industrial.	
ASPECTOS FISIOLOGICOS	Las huellas de Fenol, del orden de 0.001 mg/l, pueden impartir sabor desagradable al agua, después de la cloración.	
ASPECTOS TECNICOS		
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
	0.001 (1)	0.002 (1) 0.001 (2)
METODOS DE TRATAMIENTO	1) En las plantas potabilizadoras la eliminación de sabores fenólicos, se hace a través de sobrecloración, tratamiento con bióxido de cloro, ozonización y adsorción con carbón activado.	

DETERMINACION	SOLIDOS TOTALES (Sólidos disueltos + Sólidos suspendidos) En mg/l.	
ORIGEN O CAUSA	Proviene de la disolución de minerales que forman los suelos y las rocas, pueden incluir constituyentes orgánicos y agua de cristalización.	
ASPECTOS FISIOLOGICOS	Irritación gastrointestinal.	
ASPECTOS TECNICOS	a) Sólidos disueltos: Altas concentraciones son perjudiciales debido a su interferencia en los procesos y como causa de espumación en calderas. b) Sólidos suspendidos: Provoca taponamiento en líneas, depósitos en equipo de intercambio de calor, calderas, etc.	
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
	500 (1) (2)	1500 (1) 1000 (2)
METODOS DE TRATAMIENTO	1) Ablandamiento 2) Asentamiento 3) Desmineralización	4) Destilación 5) Filtración precedida por coagulación y clarificación.

SUBSTANCIAS QUIMICAS TOXICAS

DETERMINACION	CADMIO Como (Cd) en mg/l.	
ORIGEN O CAUSA	Su origen puede ser natural, industrial ó desprenderse de compuestos de cadmio que se utilizan en la producción de tuberías de plástico.	
ASPECTOS FISIOLOGICOS	Resultados obtenidos en animales de experimentación indican, que cantidades pequeñas pueden tener efectos tóxicos sobre el riñón y el aparato circulatorio.	
ASPECTOS TECNICOS		
NORMAS DE CALIDAD	D E S E A B L E	P E R M I S I B L E
	CERO	0.01 (1)
METODOS DE TRATAMIENTO	1) Destilación	

DETERMINACION	CIANURO Como (CN) en mg/l.	
ORIGEN O CAUSA	Se encuentra en pequeñas cantidades, su presencia se debe generalmente a efluentes industriales.	
ASPECTOS FISIOLOGICOS	El ión cianuro $CN^-$ , es muy tóxico, como los cianuros alcalinos simples forman $CN^-$ -- cuando se disocian en soluciones acuosas, presentan en consecuencia una alta toxicidad.	
ASPECTOS TECNICOS		
NORMAS DE CALIDAD	D E S E A B L E	P E R M I S I B L E
	CERO	0.05 (1)
METODOS DE TRATAMIENTO	1) CLORACION.- Residuos industriales de cianuro se destruyen generalmente por cloración en condiciones alcalinas, por conversión de éstos a cianato, como el $NaCNO$ . 2) Destilación.	

DETERMINACION	ARSENICO Como (As) en mg/l	
ORIGEN O CAUSA	Rara vez se lo encuentra en aguas naturales. La contaminación industrial proporciona las mayores cantidades de este elemento.	
ASPECTOS FISIOLOGICOS	Algunos estudios epidemiológicos parecen indicar que el arsénico tiene acción carcinógena, pero nunca se ha encontrado prueba de que este elemento diluido en el agua potable sea carcinógeno para el hombre. De todas formas es prudente mantener al mínimo la concentración de arsénico en el agua potable.	
ASPECTOS TECNICOS	Nocivo por su toxicidad en la industria alimenticia.	
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
	Cero	0.05 (1) (2)
METODOS DE TRATAMIENTO	1) Destilación.	

DETERMINACION	PLOMO Como (Pb) en mg/l.	
ORIGEN O CAUSA	Su presencia proviene generalmente por el desprendimiento de Pb en tuberías hechas de este elemento.	
ASPECTOS FISIOLOGICOS	Tóxicos por efectos acumulativos. Saturnismo (envenenamiento por plomo), está desapareciendo como enfermedad hídrica, debido a que este material ya no se emplea en instalaciones modernas de agua.	
ASPECTOS TECNICOS		
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
	Cero	0.10 (1) (2)
METODOS DE TRATAMIENTO	1) Destilación.	

DETERMINACION	MERCURIO Como (Hg) en mg/l.	
ORIGEN o CAUSA	Como residuo de procesos industriales (metalúrgicos).	
ASPECTOS FISIOLOGICOS	Los datos toxicológicos existentes indican que el mercurio es un tóxico de efectos - acumulativos y con las informaciones actuales no pueden establecerse una ingestión - diaria admisible para el hombre.	
ASPECTOS TECNICOS	El ión mercurio, presente en bajas concentraciones implica cualidades corrosivas al agua.	
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
	Cero	0.001 (1)
METODOS DE TRATAMIENTO	1) Destilación.	

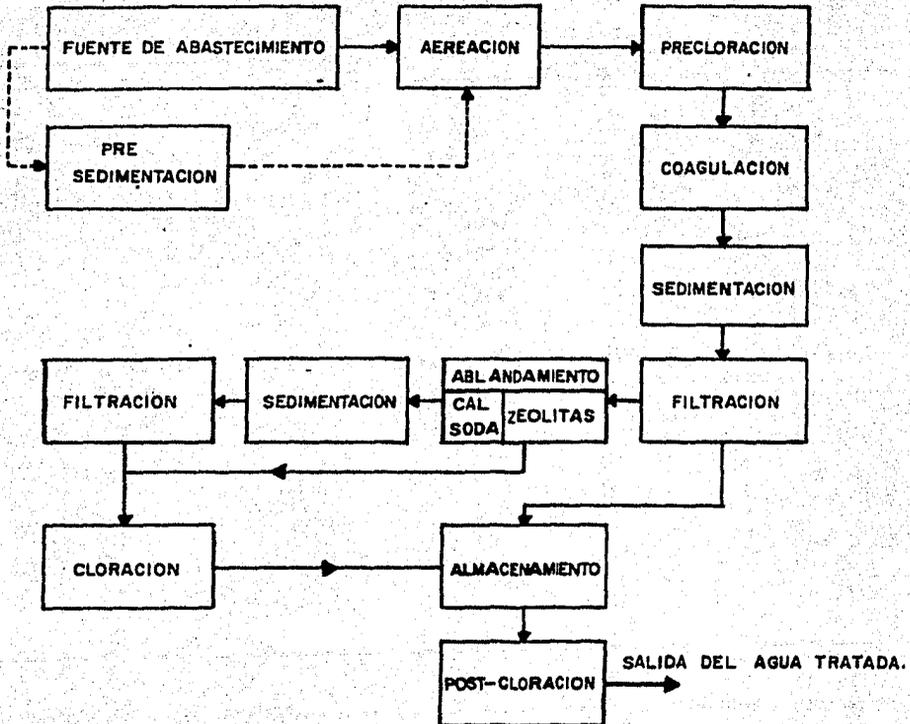
DETERMINACION	CINCO Como (Zn) en mg/l.	
ORIGEN o CAUSA	Las aguas naturales no contienen cinc. Su presencia se debe a la disolución de las tu- berías usadas para su conducción, o por contaminación de desechos industriales.	
ASPECTOS FISIOLOGICOS	Ingerir pequeñas cantidades de éste metal de origen a graves intoxicaciones crónicas.	
ASPECTOS TECNICOS		
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
	5.0 (1)	15.0 (1) 15.0 (2)
METODOS DE TRATAMIENTO	1) Destilación.	

DETERMINACION	COBRE Como (Cu) en mg/l.	
ORIGEN O CAUSA	Las aguas naturales no contienen cobre. Su presencia se debe a la disolución de las tuberías por aguas corrosivas, o por contaminación de desechos industriales.	
ASPECTOS FISIOLÓGICOS	Ingerir pequeñas cantidades de éste metal origina intoxicaciones crónicas.	
ASPECTOS TECNICOS		
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
	0.05 (1)	1.5 (1) 3.0 (2)
MÉTODOS DE TRATAMIENTO	1) Destilación .	

DETERMINACION	SELENIO Como (Se) en mg/l.	
ORIGEN O CAUSA	Se presenta por arrastre o infiltración de aguas a través de suelos con altas concentraciones de éste elemento. La principal fuente de Selenio son las emanaciones volcánicas, se encuentra en rocas crutácicas, en especial lutitas y suelos derivados de ellas.	
ASPECTOS FISIOLÓGICOS	Es tóxico en cantidades pequeñas. Constituye un problema cuando se encuentra en vegetales o agua para el ganado.	
ASPECTOS TECNICOS		
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
		0.01 (1) 0.05 (2)
MÉTODOS DE TRATAMIENTO	1) Destilación.	

DETERMINACION	CROMO HEXAVALENTE Como $(Cr^{+6})$ en mg/l	
ORIGEN O CAUSA	Su presencia se debe a contaminación por descargas industriales.	
ASPECTOS FISIOLOGICOS		
ASPECTOS TECNICOS		
NORMAS DE CALIDAD	DESEABLE	PERMISIBLE
		0.05 (2)
METODOS DE TRATAMIENTO.	1) Destilación.	

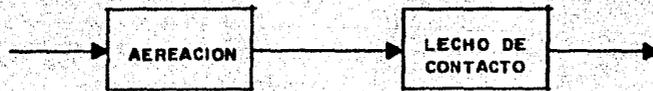
## ESQUEMAS DE BLOQUES DE POTABILIZACION



Una planta Potabilizadora puede operar con la combinación de uno o más de los procesos indicados, según sea la naturaleza de las impurezas que contiene el agua inicial. En el medio rural generalmente, son aplicables procesos de Sedimentación, Filtración y Cloración.

## DESFERRIZACION Y DESMANGANIZACION

a).- Fe y Mn (están en forma soluble)

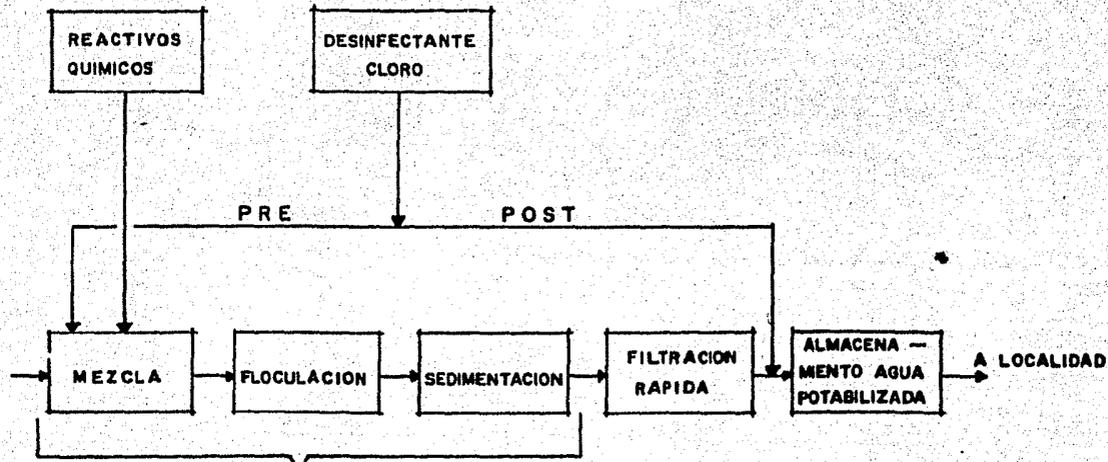


b).- Fe y Mn (están formando complejos orgánicos)

Esquema similar al de clarificación o ablandamiento.

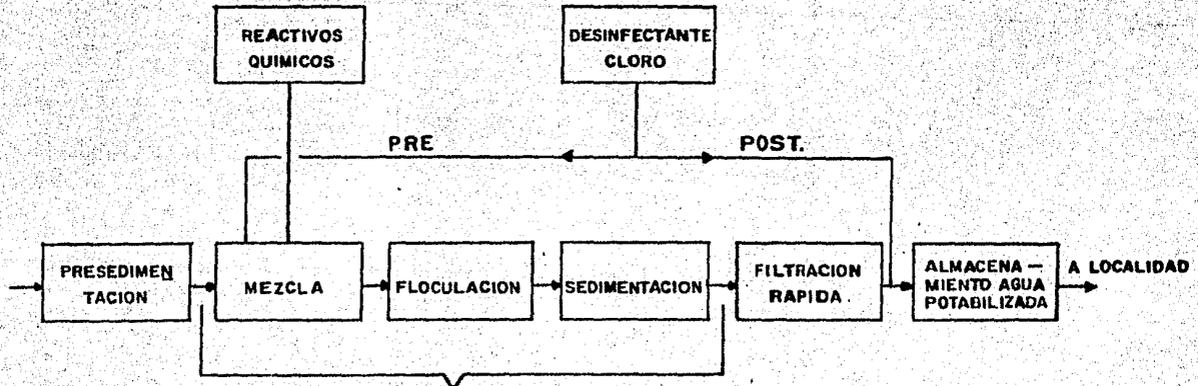
c) - CUANDO TECNICA Y ECONOMICAMENTE NO SON PRACTICOS LOS CASOS ANTERIORES (a), (b)

(1) PARA AGUA CON TURBIEDAD MAYOR DE 100 UNIDADES.



En los sistemas patentados, algunos de ellos, comprenden estos tres aspectos en una sola unidad de proceso.

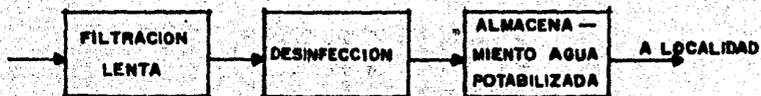
(2) AGUAS CON TURBIEDAD ALTA (más de 1000 unidades) O CON ALTO CONTENIDO DE COLOR.



EN LOS SISTEMAS PATENTADOS, ALGUNOS DE ELLOS  
COMPRENDEN ESTOS TRES ASPECTOS EN UNA SOLA  
UNIDAD DE PROCESO.

## ESQUEMAS DE CLARIFICACION:

- a).- TURBIEDAD = 50 UNIDADES; COLOR = 30 UNIDADES  
TURBIEDAD + COLOR = 80 UNIDADES (aproximadamente) -

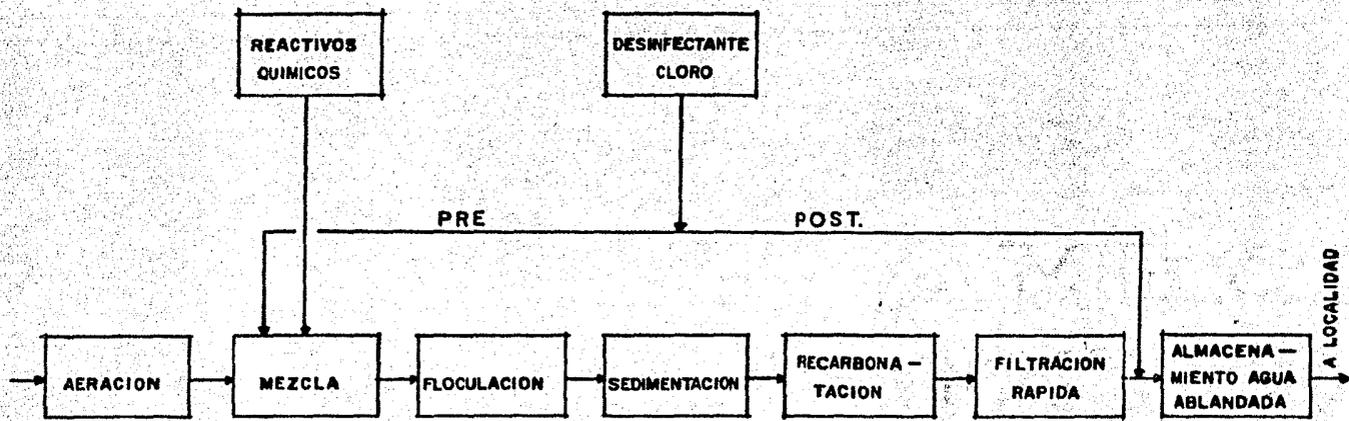


- b).- TURBIEDAD + COLOR > 80 ≤ 100  
CUANDO LA TURBIEDAD Y COLOR SON SUSCEPTIBLES DE REMOCION SIMPLE.

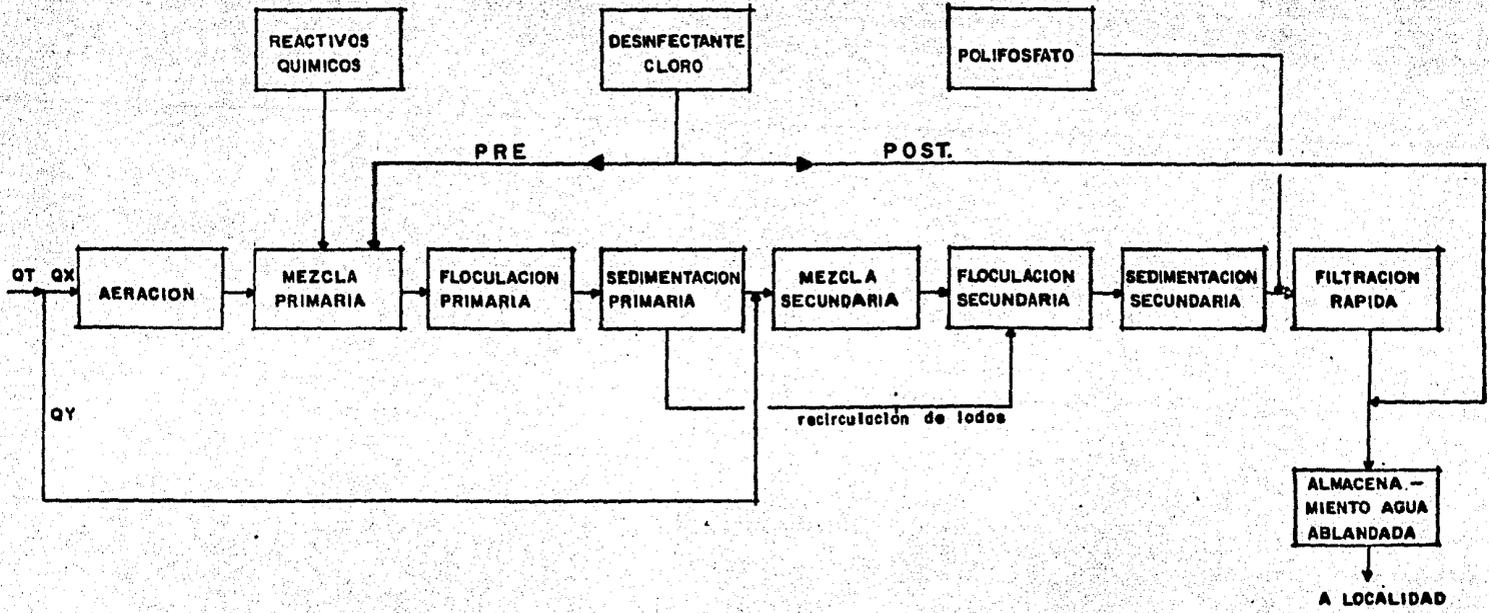


# ESQUEMAS DE ABLANDAMIENTO.

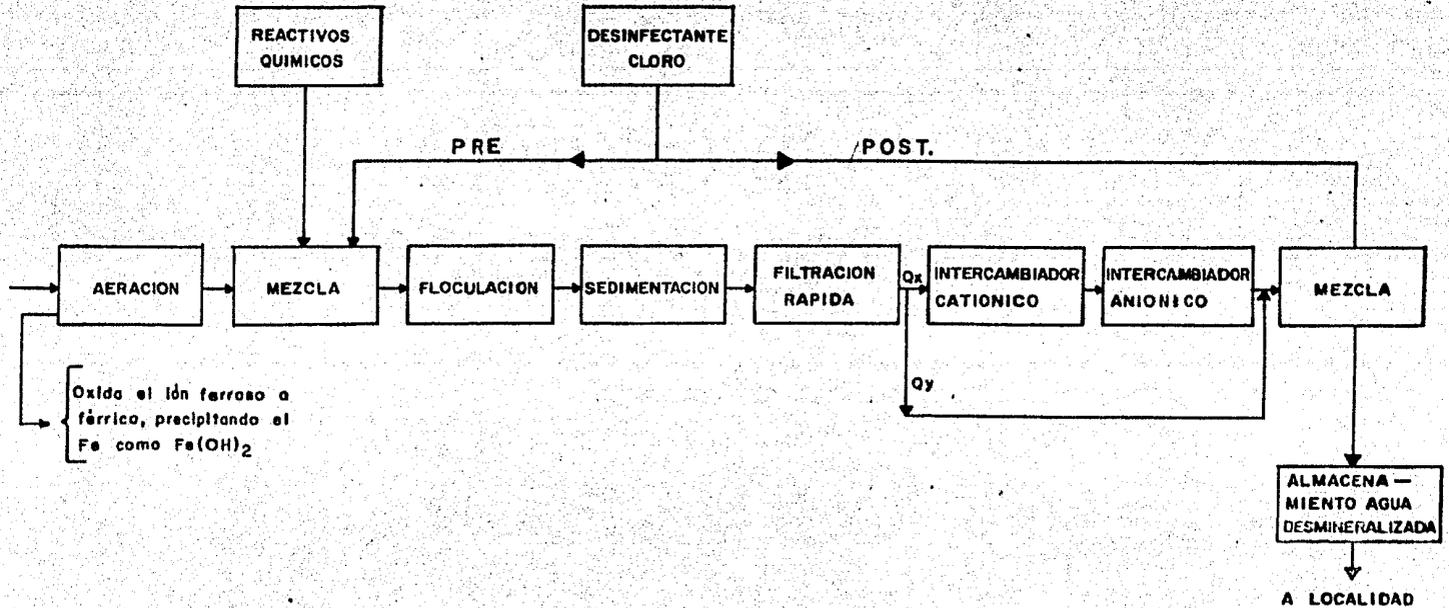
## a) - PROCESO NORMAL



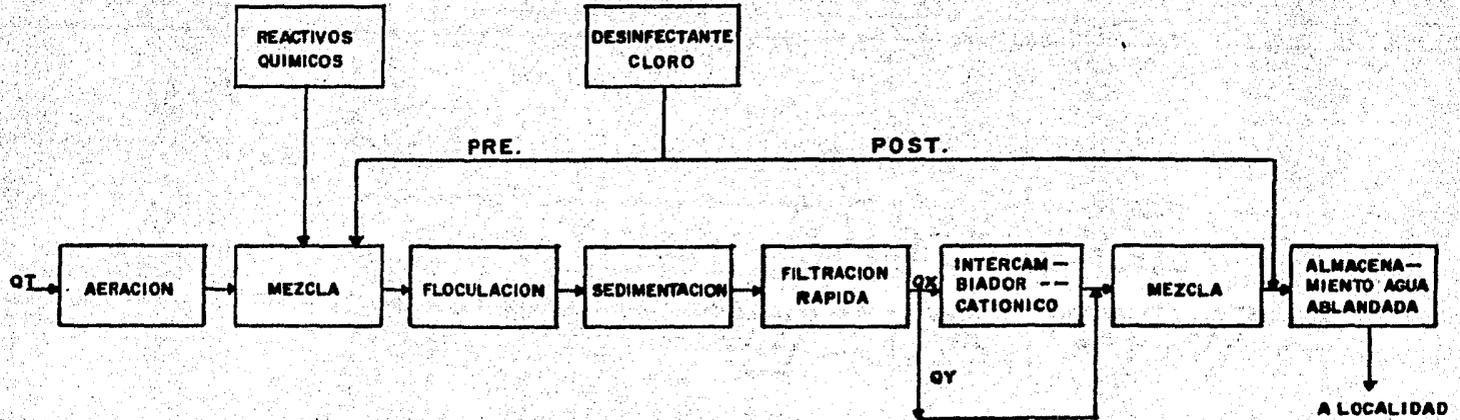
b).- PROCESO BIFURCADO.



## DESMINERALIZACION.

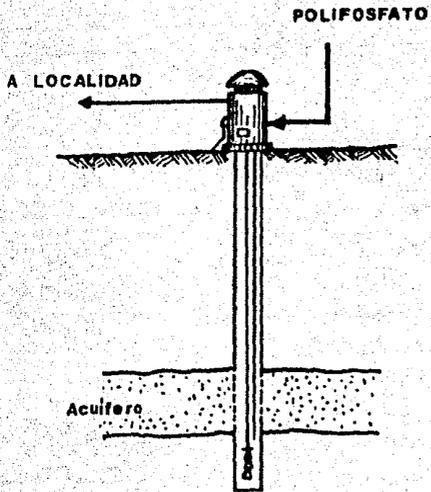


c).- PROCESO MIXTO.

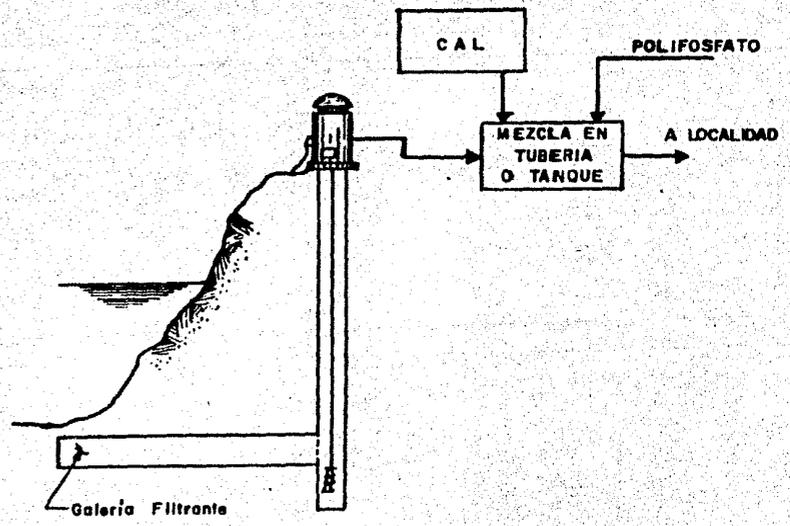


# ESTABILIZACION.

a) — Fe y Mn (Tubercullización)



b) — pHs (Corrosiva)



Hasta aquí, se han mencionado aspectos generales del agua potable y algunos de los conceptos de ingeniería básica y con los cuales se define un proceso, se han indicado también las causas por las cuales no existe un sólo tipo de potabilizadoras.

Ahora bien, la eficiencia de cada una de éstas plantas en la práctica depende en gran parte de su operación. Lograrlo en forma totalmente manual resultaría bastante laborioso y además de exigir un mayor número de operaciones para compensar las instantáneas variaciones de todos los parámetros involucrados como: flujo de agua, dosificación de químicos, cambio en la calidad del agua, comportamiento de los equipos de tratamiento, cambio en los equipos de movimiento de fluidos, etc. - Además operar manualmente una planta resultaría prácticamente imposible, ya que la acción a efectuar debido a un cambio requiere del conocimiento anterior de éste, lo cual sólo puede lograrse con la ayuda de dispositivos de medición o indicación.

Por lo anterior una planta potabilizadora exige la instalación de instrumentación y controles que faciliten su operación y garanticen la calidad del efluente.

En la actualidad el gran crecimiento de las ciudades demanda plantas potabilizadoras de mayor capacidad y éstas a su vez requieren instrumentación más exacta y de mayor precisión.

El tipo de instrumentación a instalar en cada planta potabilizadora, dependerá de los parámetros a medir o controlar para cada caso específico, el grado de automatización deseado y la factibilidad económica disponible.

A continuación se indica un diagrama de tubería e instrumentos, en el cual se muestra una planta potabilizadora para agua de río, los círculos mostrados corresponden a los instrumentos necesarios en cada corriente o equipo. Para identificar el tipo de instrumento especifi



co se ha asignado una nomenclatura de acuerdo a la Sociedad de Instrumentación de América (Instrument Society Of America).

Los instrumentos pueden identificarse fácilmente mediante las siguientes reglas:

1.- La primera letra corresponde al parámetro a medir o controlar

Ejemplo:

P - presión, T - temperatura, A - análisis, F - flujo, etc.

2.- Las siguientes corresponden al tipo de instrumento

Ejemplo: I - indicador, C - controlador, T - transmisor, etc.

De acuerdo a lo anterior

Ⓟ Indicador de presión

Ⓞ Controlador de flujo

Con el fin de facilitar el uso de la simbología y de la interpretación de los diagramas de tuberías e instrumentos, se muestra también un diagrama de simbología, e instrumentación, de aplicación común en el diseño de plantas potabilizadoras.

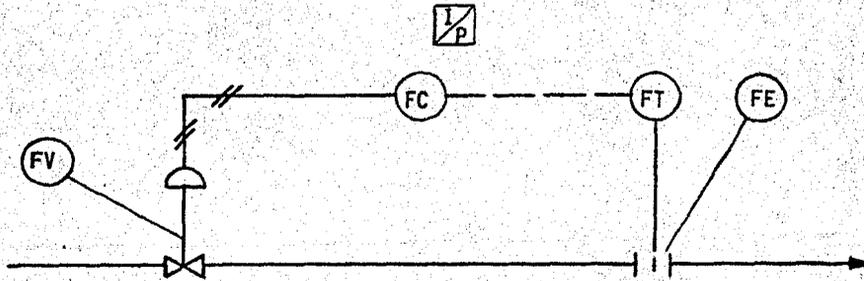
Como podrá notarse en el diagrama de tuberías e instrumentación de la planta potabilizadora, normalmente la mayoría de instrumentos - son con el fin de lograr una indicación local o remota, ésta última podrá identificarse porque el círculo del símbolo aparece dividido horizontalmente.

Ejemplo:



Indicador remoto de flujo, montado en un tablero de instrumentos.

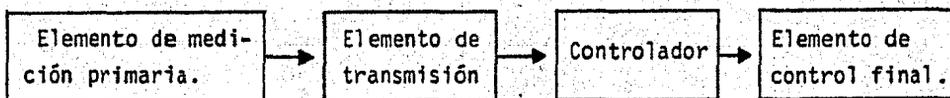
En el caso de la instalación de sistemas de control, se requieren de dos o más instrumentos para efectuar esta acción. A la integración total de éstos se le conoce como lazo de control (LOOP), la clasificación de cada uno de los elementos se efectúa en orden secuencial de acción.



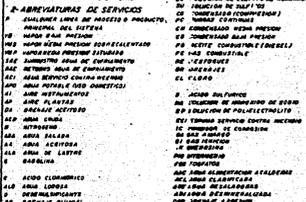
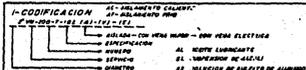
Lazo de control de flujo en una tubería.

Símbolo	Nombre	Clasificación
ⓔ	Elemento de flujo	Elemento de medición primaria
Ⓣ	Transmisor de flujo	Transmisor
Ⓢ	Controlador de flujo	Controlador
Ⓥ	Válvula de control de flujo.	Elemento de control final

Precisamente, este trabajo se presenta en el mismo orden. Se mencionan tipos y características de algunos dispositivos de instrumentación y control aplicables a diversos procesos de potabilización y tratamiento. Se hace notar que su presentación es con el propósito de mostrar sus funciones y características, pero de ninguna manera se recomienda para un caso específico, ya que su selección deberá estar condicionada a la problemática planteada por los criterios de calidad, eficiencia y economía del caso.



### ABREVIATURAS EN LINEAS



### ABREVIATURAS EN INSTRUMENTOS

FUNCION DEL INSTRUMENTO	ABREVIATURA
AL	AL
AP	AP
AR	AR
AS	AS
AT	AT
AU	AU
AV	AV
AW	AW
AX	AX
AY	AY
AZ	AZ
BA	BA
BB	BB
BC	BC
BD	BD
BE	BE
BF	BF
BG	BG
BH	BH
BI	BI
BJ	BJ
BK	BK
BL	BL
BM	BM
BN	BN
BO	BO
BP	BP
BQ	BQ
BR	BR
BS	BS
BT	BT
BU	BU
BV	BV
BW	BW
BX	BX
BY	BY
BZ	BZ
CA	CA
CB	CB
CC	CC
CD	CD
CE	CE
CF	CF
CG	CG
CH	CH
CI	CI
CJ	CJ
CK	CK
CL	CL
CM	CM
CN	CN
CO	CO
CP	CP
CQ	CQ
CR	CR
CS	CS
CT	CT
CU	CU
CV	CV
CW	CW
CX	CX
CY	CY
CZ	CZ
DA	DA
DB	DB
DC	DC
DD	DD
DE	DE
DF	DF
DG	DG
DH	DH
DI	DI
DJ	DJ
DK	DK
DL	DL
DM	DM
DN	DN
DO	DO
DP	DP
DQ	DQ
DR	DR
DS	DS
DT	DT
DU	DU
DV	DV
DW	DW
DX	DX
DY	DY
DZ	DZ
EA	EA
EB	EB
EC	EC
ED	ED
EE	EE
EF	EF
EG	EG
EH	EH
EI	EI
EJ	EJ
EK	EK
EL	EL
EM	EM
EN	EN
EO	EO
EP	EP
EQ	EQ
ER	ER
ES	ES
ET	ET
EU	EU
EV	EV
EW	EW
EX	EX
EY	EY
EZ	EZ
FA	FA
FB	FB
FC	FC
FD	FD
FE	FE
FF	FF
FG	FG
FH	FH
FI	FI
FJ	FJ
FK	FK
FL	FL
FM	FM
FN	FN
FO	FO
FP	FP
FQ	FQ
FR	FR
FS	FS
FT	FT
FU	FU
FV	FV
FW	FW
FX	FX
FY	FY
FZ	FZ
GA	GA
GB	GB
GC	GC
GD	GD
GE	GE
GF	GF
GG	GG
GH	GH
GI	GI
GJ	GJ
GK	GK
GL	GL
GM	GM
GN	GN
GO	GO
GP	GP
GQ	GQ
GR	GR
GS	GS
GT	GT
GU	GU
GV	GV
GW	GW
GX	GX
GY	GY
GZ	GZ
HA	HA
HB	HB
HC	HC
HD	HD
HE	HE
HF	HF
HG	HG
HH	HH
HI	HI
HJ	HJ
HK	HK
HL	HL
HM	HM
HN	HN
HO	HO
HP	HP
HQ	HQ
HR	HR
HS	HS
HT	HT
HU	HU
HV	HV
HW	HW
HX	HX
HY	HY
HZ	HZ
IA	IA
IB	IB
IC	IC
ID	ID
IE	IE
IF	IF
IG	IG
IH	IH
II	II
IJ	IJ
IK	IK
IL	IL
IM	IM
IN	IN
IO	IO
IP	IP
IQ	IQ
IR	IR
IS	IS
IT	IT
IU	IU
IV	IV
IW	IW
IX	IX
IY	IY
IZ	IZ
JA	JA
JB	JB
JC	JC
JD	JD
JE	JE
JF	JF
JG	JG
JH	JH
JI	JI
JJ	JJ
JK	JK
JL	JL
JM	JM
JN	JN
JO	JO
JP	JP
JQ	JQ
JR	JR
JS	JS
JT	JT
JU	JU
JV	JV
JW	JW
JX	JX
JY	JY
JZ	JZ
KA	KA
KB	KB
KC	KC
KD	KD
KE	KE
KF	KF
KG	KG
KH	KH
KI	KI
KJ	KJ
KK	KK
KL	KL
KM	KM
KN	KN
KO	KO
KP	KP
KQ	KQ
KR	KR
KS	KS
KT	KT
KU	KU
KV	KV
KW	KW
KX	KX
KY	KY
KZ	KZ
LA	LA
LB	LB
LC	LC
LD	LD
LE	LE
LF	LF
LG	LG
LH	LH
LI	LI
LJ	LJ
LK	LK
LL	LL
LM	LM
LN	LN
LO	LO
LP	LP
LQ	LQ
LR	LR
LS	LS
LT	LT
LU	LU
LV	LV
LW	LW
LX	LX
LY	LY
LZ	LZ
MA	MA
MB	MB
MC	MC
MD	MD
ME	ME
MF	MF
MG	MG
MH	MH
MI	MI
MJ	MJ
MK	MK
ML	ML
MM	MM
MN	MN
MO	MO
MP	MP
MQ	MQ
MR	MR
MS	MS
MT	MT
MU	MU
MV	MV
MW	MW
MX	MX
MY	MY
MZ	MZ
NA	NA
NB	NB
NC	NC
ND	ND
NE	NE
NF	NF
NG	NG
NH	NH
NI	NI
NJ	NJ
NK	NK
NL	NL
NM	NM
NN	NN
NO	NO
NP	NP
NQ	NQ
NR	NR
NS	NS
NT	NT
NU	NU
NV	NV
NW	NW
NX	NX
NY	NY
NZ	NZ
OA	OA
OB	OB
OC	OC
OD	OD
OE	OE
OF	OF
OG	OG
OH	OH
OI	OI
OJ	OJ
OK	OK
OL	OL
OM	OM
ON	ON
OO	OO
OP	OP
OQ	OQ
OR	OR
OS	OS
OT	OT
OU	OU
OV	OV
OW	OW
OX	OX
OY	OY
OZ	OZ
PA	PA
PB	PB
PC	PC
PD	PD
PE	PE
PF	PF
PG	PG
PH	PH
PI	PI
PJ	PJ
PK	PK
PL	PL
PM	PM
PN	PN
PO	PO
PP	PP
PQ	PQ
PR	PR
PS	PS
PT	PT
PU	PU
PV	PV
PW	PW
PX	PX
PY	PY
PZ	PZ
QA	QA
QB	QB
QC	QC
QD	QD
QE	QE
QF	QF
QG	QG
QH	QH
QI	QI
QJ	QJ
QK	QK
QL	QL
QM	QM
QN	QN
QO	QO
QP	QP
QQ	QQ
QR	QR
QS	QS
QT	QT
QU	QU
QV	QV
QW	QW
QX	QX
QY	QY
QZ	QZ
RA	RA
RB	RB
RC	RC
RD	RD
RE	RE
RF	RF
RG	RG
RH	RH
RI	RI
RJ	RJ
RK	RK
RL	RL
RM	RM
RN	RN
RO	RO
RP	RP
RQ	RQ
RR	RR
RS	RS
RT	RT
RU	RU
RV	RV
RW	RW
RX	RX
RY	RY
RZ	RZ
SA	SA
SB	SB
SC	SC
SD	SD
SE	SE
SF	SF
SG	SG
SH	SH
SI	SI
SJ	SJ
SK	SK
SL	SL
SM	SM
SN	SN
SO	SO
SP	SP
SQ	SQ
SR	SR
SS	SS
ST	ST
SU	SU
SV	SV
SW	SW
SX	SX
SY	SY
SZ	SZ
TA	TA
TB	TB
TC	TC
TD	TD
TE	TE
TF	TF
TG	TG
TH	TH
TI	TI
TJ	TJ
TK	TK
TL	TL
TM	TM
TN	TN
TO	TO
TP	TP
TQ	TQ
TR	TR
TS	TS
TT	TT
TU	TU
TV	TV
TW	TW
TX	TX
TY	TY
TZ	TZ
UA	UA
UB	UB
UC	UC
UD	UD
UE	UE
UF	UF
UG	UG
UH	UH
UI	UI
UJ	UJ
UK	UK
UL	UL
UM	UM
UN	UN
UO	UO
UP	UP
UQ	UQ
UR	UR
US	US
UT	UT
UU	UU
UV	UV
UW	UW
UX	UX
UY	UY
UZ	UZ
VA	VA
VB	VB
VC	VC
VD	VD
VE	VE
VF	VF
VG	VG
VH	VH
VI	VI
VJ	VJ
VK	VK
VL	VL
VM	VM
VN	VN
VO	VO
VP	VP
VQ	VQ
VR	VR
VS	VS
VT	VT
VU	VU
VV	VV
VW	VW
VX	VX
VY	VY
VZ	VZ
WA	WA
WB	WB
WC	WC
WD	WD
WE	WE
WF	WF
WG	WG
WH	WH
WI	WI
WJ	WJ
WK	WK
WL	WL
WM	WM
WN	WN
WO	WO
WP	WP
WQ	WQ
WR	WR
WS	WS
WT	WT
WU	WU
WV	WV
WW	WW
WX	WX
WY	WY
WZ	WZ
XA	XA
XB	XB
XC	XC
XD	XD
XE	XE
XF	XF
XG	XG
XH	XH
XI	XI
XJ	XJ
XK	XK
XL	XL
XM	XM
XN	XN
XO	XO
XP	XP
XQ	XQ
XR	XR
XS	XS
XT	XT
XU	XU
XV	XV
XW	XW
XX	XX
XY	XY
XZ	XZ
YA	YA
YB	YB
YC	YC
YD	YD
YE	YE
YF	YF
YG	YG
YH	YH
YI	YI
YJ	YJ
YK	YK
YL	YL
YM	YM
YN	YN
YO	YO
YP	YP
YQ	YQ
YR	YR
YS	YS
YT	YT
YU	YU
YV	YV
YW	YW
YX	YX
YY	YY
YZ	YZ
ZA	ZA
ZB	ZB
ZC	ZC
ZD	ZD
ZE	ZE
ZF	ZF
ZG	ZG
ZH	ZH
ZI	ZI
ZJ	ZJ
ZK	ZK
ZL	ZL
ZM	ZM
ZN	ZN
ZO	ZO
ZP	ZP
ZQ	ZQ
ZR	ZR
ZS	ZS
ZT	ZT
ZU	ZU
ZV	ZV
ZW	ZW
ZX	ZX
ZY	ZY
ZZ	ZZ



## 2. M E D I C I O N E S

Una planta es un conjunto de elementos, tales como equipos, ductos, accesorios, etc. El éxito de su operación depende de el uso adecuado de los mismos, en la práctica la mejor manera de conocer su correcto funcionamiento, se logra midiendo o cuantificando los fenómenos que ocurren durante su operación, debido a esto, la medición es sin duda la acción más fundamental que se requiere para una planta potabilizadora. Mediante los instrumentos medidores o indicadores, el operador puede conocer la cantidad de agua potable que está produciendo por unidad de tiempo; la presión y temperatura de los fluidos a través de ductos y equipos, el flujo de dosificación de reactivos y el nivel de operación de los tanques de almacenamiento.

Por lo anterior, un instrumento de medición es aquel que aporta toda la información cuantitativa de las variables o parámetros involucrados en un proceso.

En el presente capítulo se indicarán los instrumentos de medición comúnmente utilizados dentro del acondicionamiento de agua potable.

Con el propósito de facilitar su estudio, se efectuará una clasificación de acuerdo a la variable o parámetro correspondiente.

## 2.1) CLASIFICACION GENERAL :

- A) Medidores de flujo
- B) Medidores de presión, nivel y temperatura
- C) Medidores analíticos
- D) Medidores ópticos

Debido al desarrollo notable de la tecnología de instrumentación no se establece que los tipos mostrados sean los únicos comercialmente existentes.

### A) MEDIDORES DE FLUJO

Los medidores de flujo se utilizan para cuantificar el gasto de agua y de otros líquidos o gases que fluyen por tuberías o sistemas naturales, información que principalmente se utiliza para llevar a cabo los balances de materiales de la planta potabilizadora, también se utilizan como dispositivos auxiliares de lazo de control. Estos aparatos se clasifican en base a su aplicación y principio de operación.

Existen varios tipos de medidores de flujo:

- A.1 ) De presión diferencial
- A.2 ) Magnéticos
- A.3 ) Hélice
- A.4 ) Dispositivos de sistemas abiertos, como: canales y vertedores

Su principio de operación y aplicación se describen a continuación:

#### A.1 ) Medidores de flujo de presión diferencial:

Estos instrumentos son aquellos, cuyo principio de operación es provocar una caída de presión entre dos puntos y mediante una ecuación

ción de relación de ambas variables, determinar el flujo. La ecuación de relación puede determinarse según lo siguiente:

El teorema de Bernoulli establece, que la energía total en un punto de una tubería, es igual a la energía total de cualquier otro punto, si las pérdidas por fricción entre ambos pueden despreciarse. El equilibrio de energía entre los puntos 1 y 2 de una tubería puede expresarse como sigue:

$$\frac{P_2}{\rho} + \frac{(V_{m2})^2}{2g} + Z_2 = \frac{P_1}{\rho} + \frac{(V_{m1})^2}{2g} + Z_1$$

en donde:

- P = presión estática absoluta
- V<sub>m</sub> = velocidad de la corriente del fluido
- Z = elevación de la línea del centro de la tubería
- ρ = densidad del fluido
- g = aceleración debida a la gravedad

Por ejemplo: en un medidor tipo placa de orificio, el cambio en el área de la sección transversal entre la tubería y el orificio, produce otro cambio en la velocidad del flujo, (Fig. 2.1) la velocidad aumenta para poder pasar a través del orificio, puesto que la energía total en la entrada de éste y también en la garganta se mantiene invariable, la carga de velocidad en la garganta deberá aumentar produciendo una reducción correspondiente en la carga estática. Por lo anterior existe una diferencia de carga entre un punto anterior a la restricción y un punto dentro de ésta o corriente abajo de ella. La diferencia de carga o presión que se obtiene está en función de la velocidad, lo que puede relacionarse con el flujo.

Los instrumentos de presión diferencial que miden mecánicamente el flujo, poseen algún dispositivo o restricción en línea para provocar una diferencial de carga.

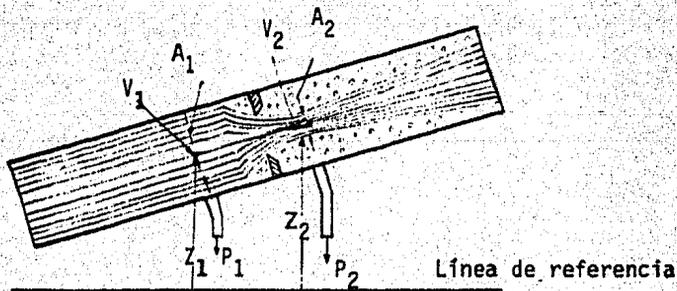


Fig. 2.1 - Placa de orificio para la producción de una diferencial

Las dos fórmulas básicas que pueden ser aplicables tanto a flujos de gases como de líquidos son:

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

$$Q = V A \quad \text{-----} \quad (2)$$

(1) Fórmula de la velocidad de un cuerpo en caída, relaciona la velocidad media de un fluido con la altura de una columna de flujo. Como ejemplo tenemos el tanque abierto lleno de líquido, con un orificio en su base. La velocidad del líquido que atraviesa el orificio es proporcional a la raíz cuadrada de la altura del líquido que contiene el tanque.

(2) Esta fórmula establece que el gasto volumétrico de un fluido es el producto del área de la sección transversal por la que pasa el fluido y la velocidad media del flujo.

En líquidos, es más útil expresar Q en galones por minuto. Por lo que conviene expresar el área del orificio o garganta en función de su diámetro en pulgadas.

$$Q \text{ (gpm)} = 5.667 \times d^2 \sqrt{\frac{h}{G_f}}$$

Esta ecuación se modifica para poder tener en cuenta varios factores, como la contracción del chorro, las pérdidas por fricción, la viscosidad y la velocidad de acercamiento. Esta modificación se logra aplicando un coeficiente de descarga K a la ecuación. Donde K se define como el gasto real dividido por el gasto teórico que atraviesa el dispositivo primario.

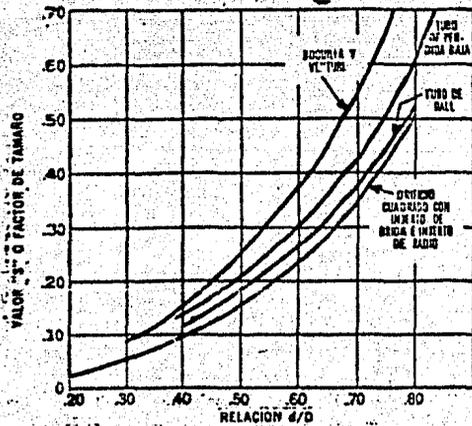
$$Q \text{ (gpm)} = 5.667 K d^2 \sqrt{\frac{h}{G_f}}$$

Puesto que se desconocen tanto K como d, se define otro valor, S que es un factor de flujo que involucra la geometría del elemento primario de flujo.

$$S = K \left(\frac{d}{D}\right)^2 \quad ; \quad \text{como } K d^2 = S D^2$$

$$Q \text{ (gpm)} = 5.667 S D^2 \sqrt{\frac{h}{G_f}}$$

Donde los valores de S se presentan en la siguiente gráfica - en función de B o  $\left(\frac{d}{D}\right)$  para varios dispositivos diferenciales. (Fig. 2.2)



PUNTOS PARA LA GRAFICA

Relación $\beta$ d/D	Orificio cuadrado con injerto de radios	Boquilla y Venturi S	Tubo Lo-Loss S	Tubo de Dall S
.2	.0240	—	—	—
.3	.0543	—	—	—
.4	.0978	.0886	.1048	—
.5	.1568	.1588	.1356	.1170
.6	.2369	.2530	.2098	.1830
.7	.3488	.3781	.3041	.2685
.75	.4222	.5509	.4288	.3770
.80	.5113	.6667	.5111	.4430
.85	—	.816	.6153	.5250
.82	—	1.024	.7592	—
				.5635

Fig. 2.2 - Valores de S de varios dispositivos diferenciales, representados gráficamente en función de las relaciones  $\beta$  (d/D).

Con estas ecuaciones se calcula el flujo a través del dispositivo primario, en condiciones que existen en el instante en que se efectúa la medición. Cuando se trata de líquidos, esta corrección puede aplicarse multiplicando la ecuación por la relación del peso específico relativo del líquido a la temperatura del flujo ( $G_f$ ) dividida por el peso específico del líquido a la temperatura de referencia ( $F_1$ ). De esta manera, Q en galones por minuto, a la temperatura de referencia es:

$$Q = 5.667 SD^2 \sqrt{\frac{h}{G_f}} \times \frac{G_f}{G_1}$$

Simplificando tenemos:

$$Q = 5.667 \frac{SD^2 \sqrt{G_f h}}{G_1}$$

De manera similar, para medir el flujo de gases es posible desarrollar ecuaciones que incluyen las variables de presión y temperatura necesarias para compensar el comportamiento físico de los gases.

$$W \text{ (lb/hr)} = 359 SD^2 \sqrt{h \gamma_f}$$

$$Q \text{ (pies}^2/\text{h)} = 218.4 SD^2 \frac{T_b}{P_b} \sqrt{\frac{h P_f}{T_f G}}$$

De donde :

- $\gamma_f$  - Peso específico del vapor en las condiciones de funcionamiento, en libras por pie cúbico.
- $T_b$  - Temperatura de referencia absoluta
- $P_b$  - Presión de referencia
- $T_f$  - Temperatura de funcionamiento en el dispositivo -- primario.
- $P_f$  - Presión de funcionamiento
- $G$  - Peso específico relativo al aire del gas (peso molecular del gas dividido por el peso molecular del aire o el peso de un volumen de gas a una temperatura y -- una presión dadas, dividido por el peso de un volumen igual de aire a la misma temperatura y presión.

Los dispositivos primarios que se usan en los instrumentos diferenciales de medición todos provienen del tubo de Venturi, desarrollado por Clemens Herschel en 1888. (Fig. 2.3)

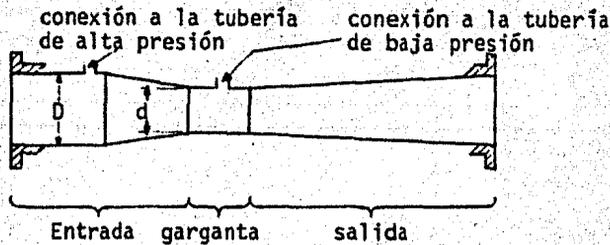


Fig. 2.3 - Tubo Venturi de Herschel ideado para producir una gran diferencial de presión con una pequeña pérdida de carga.

Herschel estaba interesado en un dispositivo que produjera una gran diferencial con sólo una pequeña pérdida de carga, ya que el flujo que trataba de medir se utilizaría en la producción de energía.

Normalmente se debe recomendar medidores que provoquen pequeñas pérdidas de carga, ya que generalmente se carece de mucha energía, ó simplemente significa un costo adicional cuando los medidores solicitan mayor carga y se hace necesaria la inyección por medio de una bomba, lo que resultaría antieconómico.

Poco después del desarrollo del primer tubo de Herschel, apareció el tubo de Venturi de cono corto. (Fig. 2.4) Este tubo tiene el mismo cono de entrada, pero el de difusión es más corto, tiene las mismas características en relación con la medición de un flujo como es el de Herschel, pero no recupera la misma carga. Ambos tubos pueden medir flujos que tienen sólidos en suspensión.

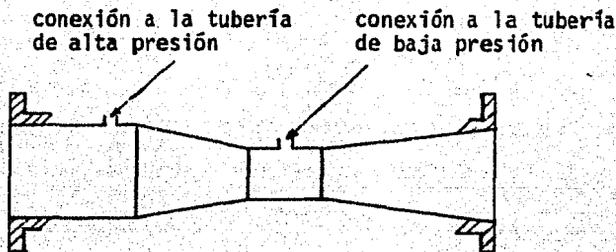


Fig. 2.4 - Tubo de Venturi de cono corto en donde la recuperación de carga es menor.

Ultimamente, se han creado numerosos dispositivos tipo Venturi, que permiten tener menores pérdidas de carga. Los primeros que se diseñaron fueron las boquillas de flujo para manejar materiales que contienen sólidos en suspensión, sin embargo, la pérdida de carga es mayor, ya que no tienen cono de difusión, su uso está algo limitado en el campo del tratamiento de agua, debido a que no se cuenta con la carga hidráulica necesaria.

Con el tubo Dall, se creó una mayor diferencial para flujo determinado, este instrumento amplifica un cambio pequeño puramente estático en la carga, a un valor que puede medirse fácilmente con instrumentos secundarios. De esta manera la pérdida de carga permanente puede - mantenerse en un nivel mínimo.

Posteriormente se idearon los tubos Gentile que son los que utilizan tubos pitot para amplificar la presión de la garganta, estos tubos se recomiendan solamente en donde una medición no se requiere muy exacta, siempre y cuando el fluido esté limpio, la línea sea grande y la velocidad alta. Existen tipos fijos y ajustables, en estos últimos, la inmersión dentro de la tubería puede ser variada para obtener lecturas desde el centro de ésta.

Casi todos los dispositivos de tipo Venturi pueden usarse para flúidos con sólidos en suspensión. Las placas de orificio, pueden usarse con cualquier tipo de flúidos limpios, y en grado muy limitado con aquellos que tienen sólidos en suspensión.

Las placas de orificio que se usan con líquidos que contienen pequeñas cantidades de aire disuelto, deben contar con un pequeño orificio de ventilación que se perfora en la parte superior para permitir que el aire pase a través de la placa y sea disparado al exterior.

Para seleccionar el dispositivo diferencial, primeramente se tendraán que clasificar los flúidos que van a medirse, en limpios y con sólidos en suspensión, deberá tomarse en consideración el costo de operación en términos de la pérdida, la cual se predice mediante la relación del diámetro del orificio o la garganta dividido por el diámetro de la tubería.

En general, cuando el orificio es demasiado pequeño, produce grandes caídas permanentes de presión y es poco económico, cuando un orificio es muy grande, las perturbaciones en la entrada del flujo afectan las mediciones.

En la actualidad existe gran cantidad de dispositivos medidores de flujos, y particularmente en lo que se refiere a un flujo de agua hay una gran gama de productos, como ejemplo presentamos el tipo de medidor variómetro o rotámetro que también se utiliza como indicador de gasto y en las plantas potabilizadoras se instala para dosificaciones de gas-cloro, polímeros y soluciones de reactivos químicos.

Los instrumentos secundarios, miden la diferencial producida en los dispositivos primarios y la convierten en una señal que transmite la información en un movimiento que la indica o registra,

Algunos de los instrumentos secundarios son: el manómetro de mercurio, los medidores de diafragma y varias clases de transmisores -- electrónicos y neumáticos de fuerza-equilibrio y movimiento equi-  
briio.

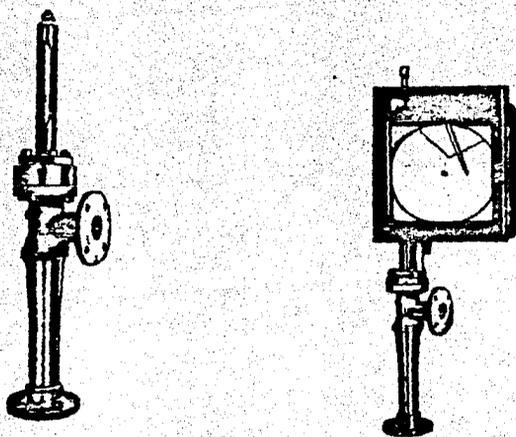


Fig. 2.5 Rotámetro y Rotámetro con registrador

## A.2 ) Medidores de flujo tipo Magnéticos:

Estos medidores de flujo se aplicaron por primera vez en el campo de abastecimiento de agua potable en 1955. El medidor magnético de flujo funciona según un principio totalmente diferente al de los dispositivos de medición anteriores. Estos aparatos de tipo magnético se habían usado anteriormente para medir fluidos de alta conductividad, tales como los metales en estado líquido. Sin embargo en la década de 1950 se produjeron medidores comerciales para fluidos con conductividad relativamente baja como es el agua. Este dispositivo tuvo aceptación inmediatamente en el campo del agua potable y de desecho.

Algunas de las ventajas de estos medidores son:

No tiene pérdida de carga porque no presenta obstrucción al flujo, permite el paso de sólidos en suspensión, no tienen conexiones líquidas y tienen una salida electrónica apropiada para transmitir información al interior de la planta.

El funcionamiento de estos medidores se basa en la ley de inducción electromagnética de Faraday: la tensión (E) inducida en un conductor de longitud (D) que se mueve a través de un campo magnético (H), es proporcional a la velocidad (V) del conductor. La tensión se genera en un plano que es mutuamente perpendicular, tanto a la velocidad del conductor como al campo magnético. Esta ley se expresa matemáticamente como sigue: (en donde C es una constante dimensional)

$$E = CHDV$$

Este medidor utiliza la ley de Faraday para medir la velocidad media de flujo en la siguiente forma: induce un campo magnético a través de una sección de un tubo. El líquido que fluye es el conductor, que se desplaza a través del campo magnético. Conforme el disco se mueve a lo largo del campo magnético, se crea una tensión en el par de electrodos montados en lados opuestos de la pared del tubo. La longitud del conductor es la distancia de un electrodo al

otro, es decir, el diámetro del tubo. Una succión constantes de discos que se desplazan por el campo magnético, produce una tensión cuya magnitud es proporcional a la velocidad promedio del líquido. Puesto que el gasto volumétrico es proporcional a la velocidad promedio del líquido ( $Q=VA$ ),  $Q$  puede igualarse a  $AE/CHD$ , en donde  $A$ ,  $D$  y  $C$  son constantes para un tamaño determinado de tubo.

Con un campo magnético constante, el gasto volumétrico es directamente proporcional a la tensión generada. Esta tensión se mide con un voltímetro calibrado directamente en unidades volumétricas de flujo. La tensión generada es lineal y proporcional a la velocidad promedio del líquido que fluye. El medidor magnético de flujo mide la velocidad volumétrica a la temperatura de flujo, independientemente de los efectos de viscosidad, densidad, turbulencia y material en suspensión. En general, este tipo de instrumentos es útil para la mayoría de los líquidos, excepto algunos compuestos orgánicos y productos de refinarias.

Una de las ventajas de mayor importancia de los medidores magnéticos de flujo es que poseen una precisión considerablemente alta, que fluctúa entre 0.2 y 1.0 por ciento de la escala total, y tienen aplicación en el abastecimiento de agua, cuando se requiere medir el líquido sin ninguna pérdida de carga, también son aplicables en el tratamiento de desechos domésticos e industriales, ya que no requieren conexiones hidráulicas, pueden medir sólidos en suspensión y son capaces de funcionar con gran variedad de flujos.

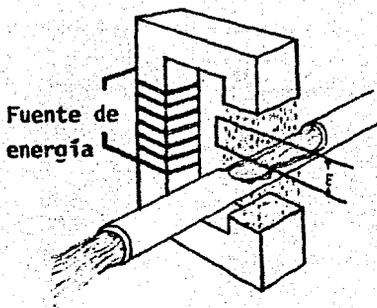


Fig. 2.6 Medidor magnético de flujo .

### A.3 ) Medidores de flujo tipo Hélice:

Estos medidores tienen amplia aceptación en las instalaciones en donde se requiere una simple totalización, ya que se trata de un medidor totalizador.

El medidor de flujo de hélice consiste en una sección de tubería que contiene una hélice y un medio mecánico para transmitir la rotación de la hélice fuera de la sección del tubo, a un cuadrante totalizador. El medidor proporciona un registro de volúmen total que ha pasado por él, en un instante dado. Si se usa un dispositivo detector de la velocidad de pulsación, la señal del medidor puede convertirse a una medición de velocidad que puede usarse para lecturas o registros.

Este tipo de medidor usa esencialmente la carga de velocidad y la convierte en energía mecánica. El equipo de lectura que se proporciona con este dispositivo, consiste en un cable mecánico y un movimiento magnético de tipo de arrastre, para efectuar los registros -- cerca del medidor de hélice. Cuando se requiere una transmisión a mayor distancia, la velocidad de la rotación de la hélice se convierte a una velocidad de pulsaciones que se transmiten y luego se convierten por medios electromecánicos, en un movimiento de la pluma o del indicador.

El medidor de hélice es útil cuando se requieren lecturas frecuentes de totalización. Es básicamente un telémetro, cuando se usa como dispositivo de pulsación. La desventaja de este medidor es - que el servicio requiere la supresión del mecanismo básico de medición del flujo de la tubería. Por otro lado en los medidores de este tipo, todos los mecanismos quedan en el exterior del conducto, - de modo que puede dársele el mantenimiento requerido sin crear perturbaciones en dicho conducto. Su aplicación más común es en instalaciones remotas, en donde se requieren totalizaciones locales.

Fig. 2.7 Medidor de flujo tipo Hélice



#### A.4 ) Dispositivos de sistemas abiertos: Canales y Vertedores.

La medición de flujos en canales abiertos es fundamental en el campo de tratamiento de agua potable. En general, los procesos de potabilización son realizados con sistemas abiertos a presión atmosférica y sus equipos integrantes están conectados mediante canales con un determinado tirante.

A continuación se mencionan algunos de los vertedores y canales utilizados para medición de flujo:

**Vertedores.-** Los vertedores pueden ser definidos como simples aver-turas sobre las cuales un líquido fluye, u obstáculos en el paso de la corriente, obligando que el agua eleve su nivel.

Los vertedores son utilizados en la medición del cauce de pequeños cursos de agua y conductos libres, así como en el control de flujo en canales.

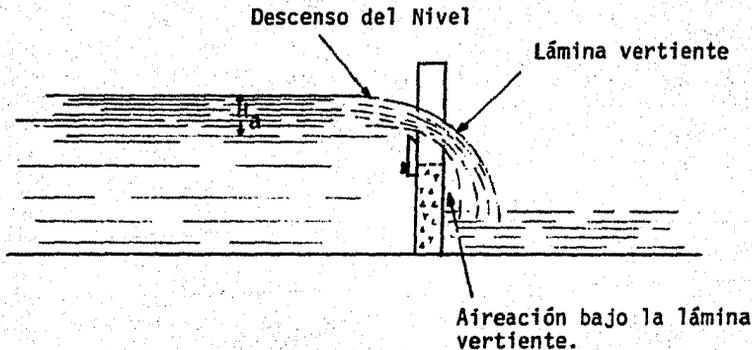


Fig. 2.8 Aireación debajo de la vertiente de un vertedor.

Las formas más usadas de vertedores son: La rectangular, la triangular y la trapezoidal.

El uso de las diferentes formas geométricas, está definido por la magnitud de la corriente en estudio y por las fluctuaciones del gasto. Para determinar el gasto se mide el ancho "L" de la cresta, y la carga H del vertedor, medida a una distancia mínima "d" de la cresta.

El vertedor rectangular, como su nombre lo indica, la escotadura por la que fluye el agua tiene ésta forma, y se obtienen resultados de muy buena precisión, cabe aclarar que cuando la velocidad es notable, tiene influencia sobre el gasto que pasa por el vertedor. También hay que considerar la longitud efectiva de la cresta, ya que puede estar influenciada por contracciones laterales. (Fig.2.9)

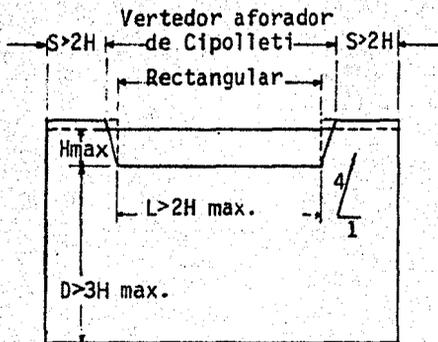


Fig. 2.9 Vertedor rectangular y de Cipolletti.

El vertedor triangular, es muy usado para la medición de caudales pequeños, por la forma de la escotadura, en estos medidores en lugar de medir la longitud de la cresta se toma en cuenta el valor del ángulo por el que fluye el agua, el cual puede ser de 30, 60 ó 90°. Lo cual hace posible una mayor precisión en la medida de cargas correspondientes a caudales reducidos.

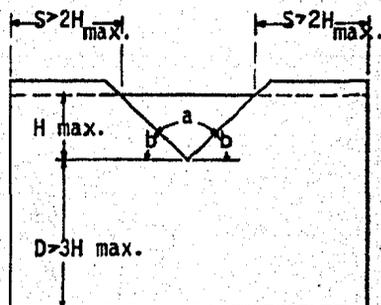


Fig. 2.10 Vertedor aforador en "V"

El vertedor trapezoidal es una combinación de los vertedores rectangulares y triangulares (Fig. 2.9). Cipolletti desarrolló el tipo de vertedores trapezoidales, en los que trató de compensar las contracciones con una ampliación progresiva del manto líquido hacia arriba, obteniendo el vertedor trapezoidal conocido como vertedor - Cipolletti, el cual tiene como característica que las aristas verticales tienen un talud 1:4. Estos vertedores son menos precisos que los rectangulares.

Canales.- La medición del agua en los canales dependerá de las circunstancias y precisión que se requiera.

El uso de vertedores como procedimiento de aforo tiene limitantes, tanto en la instalación como en el manejo, además de los requerimientos de conservación de la estructura, para evitar alteraciones en el escurrimiento, como remanso y desbordamientos por disminución de la capacidad aguas arriba del vertedor, motivadas por la acumulación de los sedimentos que azolvan el canal.

Los vertedores son estructuras sencillas, económicas y con buena eficiencia, pero buscando eliminar los problemas mencionados, el Ingeniero Ralph L. Parshall en 1920, continuó los estudios de V.M. Cone en su medidor Venturi, introduciendo modificaciones a este medidor que le condujeron a una estructura completamente diferente a la idea de Cone y la que llamó "Medidor de Venturi mejorado"; a la que más tarde se le cambió el nombre por el de "Conducto medidor Parshall".

El medidor Parshall tiene las siguientes características:

---- El diseño de la estructura es simple y por lo tanto su construcción resulta barata.

---- La estructura tiene una buena eficiencia, aún teniendo gran variación en el gasto, pues es bastante exacta tanto para grandes como para pequeños gastos.

--- Los sedimentos que trae el agua se transportan eliminándose los azolves en la estructura.

--- La velocidad de llegada no tiene influencia en la determinación del gasto.

--- La pérdida de carga es mucho menor que en otros medidores.

Los medidores Parshall están constituidos por tres partes fundamentales que son : La entrada, la garganta y la salida. La primera se forma con dos paredes verticales convergentes y de un fondo o plantilla que es horizontal; la garganta también la forman dos pare

des verticales pero paralelas. La salida se forma igualmente con dos paredes verticales pero divergentes y el fondo tiene una inclinación suave hacia arriba, además tiene dos tanques de reposo en los que se miden las cargas . (Figura 2.11)

Esta estructura funciona provocando una reducción brusca de la sección para producir el tirante crítico, el cual se relaciona con el gasto.

Los medidores parshall también son aplicados al control de la velocidad en los desarenadores de las estaciones de tratamiento de aguas. Estos medidores deben ser localizados tratando de evitar grandes turbulencias en su sección inicial. Lo ideal es proyectar estos medidores en un tramo recto del canal.

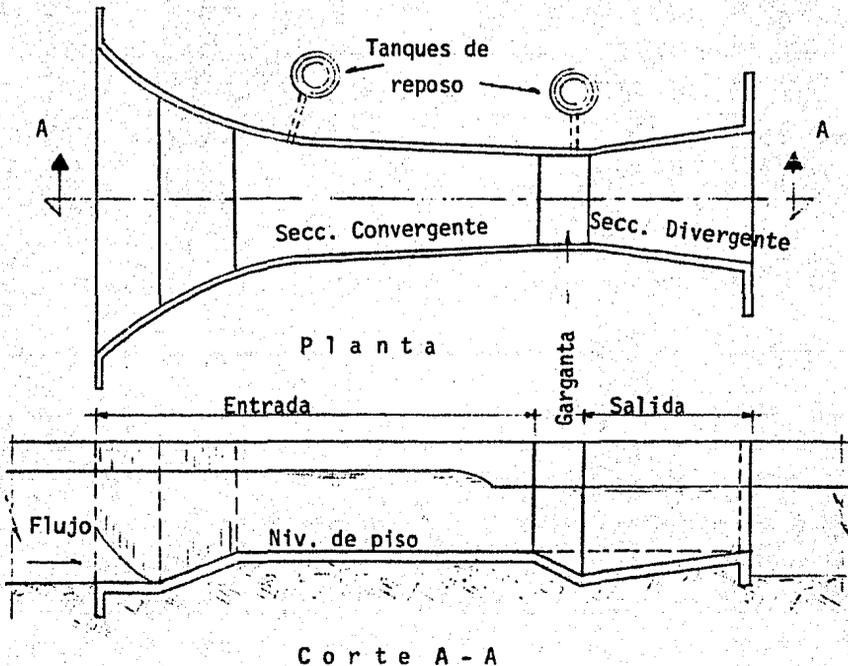


Fig. 2.11 - Medidor Parshall

a) Vertedor de aforo en " V " .

$$30^\circ \quad Q = 0.665 H^{5/2}$$

$$60^\circ \quad Q = 1.432 H^{5/2}$$

$$90^\circ \quad Q = 2.481 H^{5/2}$$

b) Vertedor rectangular con contracciones en el extremo.

$$Q = 3.33 ( L - 0.2H ) H^{3/2}$$

c) Vertedor rectangular sin contracciones en el extremo.

$$Q = 3.33 LH^{3/2}$$

d) Vertedor aforador de Cipolletti.

$$Q = 3.367 LH^{3/2}$$

e) Canalon de Parshall.

Tamaño del canalón (pulgadas)

$$3 \quad Q = 0.992 H^{1.547}$$

$$18 \quad Q = 6.00 H^{1.538}$$

$$6 \quad Q = 2.06 H^{1.58}$$

$$24 \quad Q = 8.00 H^{1.55}$$

$$9 \quad Q = 3.07 H^{1.53}$$

$$36 \quad Q = 12.00 H^{1.566}$$

$$12 \quad Q = 4.00 H^{1.522}$$

$$48 \quad Q = 16.00 H^{1.57}$$

De donde:

Q = Flujo en pie cúbico por segundo

L = longitud de la cresta en pies

H = carga en pies.

En condiciones ideales de laboratorio las mediciones efectuadas en vertedores pueden ser muy precisas, pero en la práctica no se logra por no ser posible reducir a un mínimo el factor de acercamiento y la relación entre flujo y nivel llegan a tener un error de  $\pm 3$  a 5 % que al sumarse al error del instrumento que mide el nivel se logra un ascenso de  $\pm 5$  % o mayor.

Existen tres dispositivos básicos que se utilizan para medir el nivel en canales y vertedores:

- a) Flotador y cable
- b) Flotador dentro del canalón
- c) Tubo de burbujas

a) Dispositivos de flotador y cable.- Estos dispositivos, normalmente se utilizan para medir flujos a través de canales y vertedores; requieren de pozo de flotador en algunas instalaciones como boquillas de flujo y canalones, en vertedores requieren de una limitante para evitar los movimientos horizontales; proporcionan energía suficiente para hacer funcionar los elementos secundarios tales como: controladores, transmisores e integradores. Con éstos dispositivos fácilmente se logra una precisión de  $\pm 1$  % .

b) Flotadores dentro del canalón.- Estos flotadores son fáciles de instalar y no requieren de pozo flotador; en algunas ocasiones alteran la pérdida de carga, lo que provoca un mayor error del dispositivo, normalmente se utilizan como transmisores.

c) Tubo de burbujas .- Estos tubos no requieren pozo de flotador, pueden transmitir sin medios auxiliares hasta una distancia de 1000 pies, si se selecciona adecuadamente un elemento de presión pueden hacer funcionar los elementos secundarios como transmisores o registradores.

A fin de seleccionar el dispositivo más adecuado en un canalón o vertedor, se debe tomar en consideración los siguientes puntos básicos :

- Clase de flujo
- Pérdida aceptable de carga
- Facilidad de instalación
- Precisión requerida

Además en cualquier instalación de estos dispositivos deberán evitarse velocidades excesivas corriente arriba, en general no debe de exceder de 1 pie/seg si se desea una exactitud de  $\pm 3\%$ . El detalle de cada dispositivo se presenta en este capítulo en la clasificación de medidores de nivel.

#### Integradores o totalizadores de flujo:

Un instrumento auxiliar normalmente utilizado en la medición de flujo, es el integrador o totalizador, el cual cuantifica el flujo total que ha pasado en un ducto a través de un tiempo determinado. Motivo por el cual es un dispositivo necesario para determinar consumos.

Para un medidor de velocidad como el canalón ó aforador Parshall, para flujos en canal abierto, el integrador es un auxiliar del sistema detector de velocidad.

El integrador de mayor uso en el campo de tratamiento de aguas, es el de duración de impulso (Fig. 2.13). Cuando está funcionando el motor impulsa la leva a una velocidad constante; y el elemento de medición de un medidor de presión diferencial, mantiene al contador en la parte posterior de la leva. Conforme la leva gira a partir de la posición que se indica en el diagrama, el contactor toca la cara posterior de la leva en el punto A, y permanece en contacto con ella hasta el punto B, gira y se coloca en posición.

Otro tipo de integrador es el de relación de pulsos. En este aparato un miembro giratorio envía una pulsación por cada cantidad unitaria de agua que mide; y la acumulación de las pulsaciones pueden usarse para proporcionar lecturas directas en unidades de flujo.

Otro integrador es el tipo que mide los Watts/hora, en el que un flujo de corriente eléctrica proporcional a la velocidad de flujo, impulsa un medidor de watts/hora, calibrado en unidades de flujo. Su principal aplicación es la de determinar consumos, en donde la totalización precisa del flujo es importante.

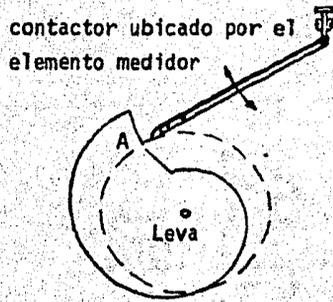


Fig. 2.12 Integrador de tipo de duración de impulso.

## B ) MEDIDORES DE PRESION, NIVEL Y TEMPERATURA.

En una planta potabilizadora, despues de las mediciones de flujo; los de presión, nivel y temperatura constituyen la mayoría de los procesos comunes de medición de variables. Los medidores de presión normalmente se encuentran a la descarga de los equipos generadores de presión, tales como bombas o compresores, recipientes --presurizados, tuberías de entrada y salida del límite de la planta, etc. Los medidores de nivel se encuentran instalados en tanques de almacenamiento de líquidos y en algunos casos en recipientes contenedores de sólidos. También se utilizan, como se ha mencionado ya, como auxiliares para la medición de flujo en sistemas abiertos. Los medidores de temperatura no son muy utilizados en las plantas potabilizadoras, debido a que esta opera con procesos a una temperatura ambiente, sin embargo es un instrumento de gran ayuda cuando el proceso de algún otro tipo de planta opera a diferentes temperaturas.

Los tipos de instrumentos que se utilizan para la medición de presión, nivel o temperatura son muy diversos, y su selección depende del tipo de fluido a que se medirá la variable, el tipo de instalación y la economía del caso específico.

A continuación se mostrarán los tipos de instrumentos más comunes en plantas potabilizadoras.

### B.1) Medidores de presión.-

Los elementos mecánicos de presión, consisten en un ensamble cuyas dimensiones o configuración varían cuando se somete a un cambio de presión. El elemento más sencillo y antiguo es el tubo de Bourdon, que consiste en un tubo semicircular con un extremo cerrado, en donde se localiza una aguja, el otro extremo está conectado a la línea o equipo. (Fig. 2.14)

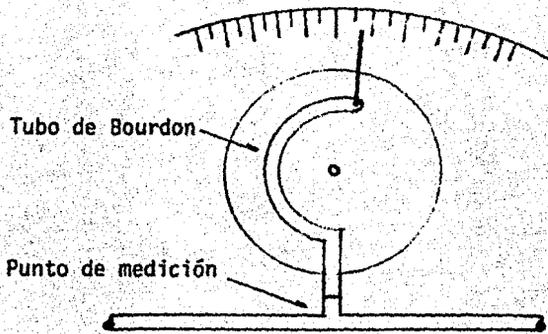


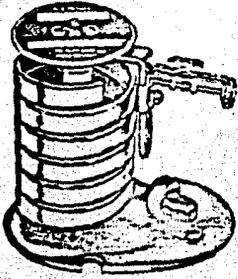
Fig. 2.13 .- Tubo de Bourdon

Cuando existe una variación de presión en el punto de medición esta se transmite provocando un cambio proporcional de posición en el tubo de Bourdon y la aguja, el cambio de posición de la aguja se detecta en una escala de unidades de presión.

Actualmente el tubo de Bourdon ha sido mejorado con la construcción de elementos tipo espiral y helicoidal. El primero de ellos semejante en forma a una bobina plana y el segundo a un resorte; la ventaja que ofrecen, es que producen un mayor movimiento por unidad de presión aplicada, lo que hace que estos dispositivos sean de mayor exactitud.

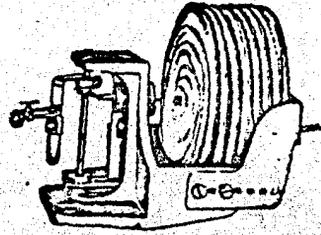
Actualmente los tubos de Bourdon se utilizan como indicadores y los elementos espiral y helicoidal como transmisores, registradores y controladores.

Otros elementos de presión utilizados son los de fuelle y diafragma, que se utilizan para la medición de presiones bajas, ambos elementos son de construcción similar.



A)

Fig. 2.14 Elementos A) helicoidal  
B) De diafragma



B)

Fig. 2.15 Elemento espiral

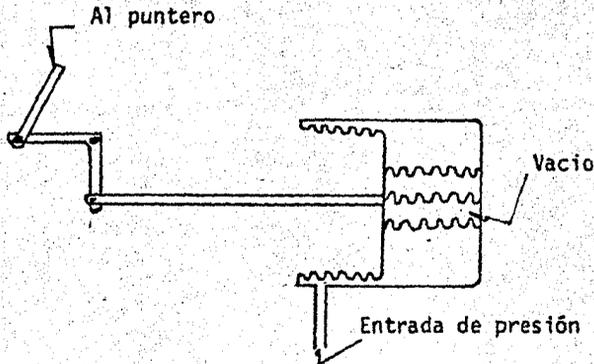
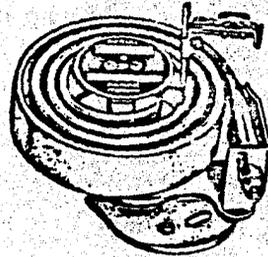


Fig. 2.16 Elemento sensor a base de fuelles

La selección apropiada de los medidores de presión depende del rango de presión a medir y del tipo de fluido.

A continuación se presenta una tabla guía para los tipos de elementos más usuales y los materiales más comunes comercialmente.

## ESCALAS DE MEDICION SEGUN EL TIPO DE ELEMENTO

Escala	Elemento	Material
<b>A L V A C I O</b>		
0-10 a 0.30 plg. de mercurio	Fuelles	latón
0-20 plg de agua a 0.10 plg. de mercurio	Diafragma	Cu-Ni-Mn
0-20 a 0.30 plg. de mercurio	Espiral	Bronce, Be-Cu, Ni-Rango C, acero inoxidable 316
<b>M E D I D O R E S</b>		
0-10 a 0-40 plg. de agua	Diafragma	Cu-Ni-Mn
0-20 plg de agua 0-5 lb/plg <sup>2</sup>	Diafragma	Cu-Ni-Mn
0-100 plg de agua a 0.25 - 1b/plg <sup>2</sup>	Fuelles	Latón
0-5 a 0-29 lb/plg <sup>2</sup>	Fuelles	Acero inoxidable 316
3-15, 3-18, 3-27 lb/plg <sup>2</sup>	Fuelles de recepción	
0-15 a 0-200 lb/plg <sup>2</sup>	Espiral	Latón Bronce, Be-Cu, K-Monel, Ni-Rango C, acero inoxidable 316
0-201 a 0-400 lb/plg <sup>2</sup>	Helicoidal	Latón
0-201 a 0-6000 lb/plg <sup>2</sup>	Helicoidal	Be-Cu, Ni-RangoC, acero - inoxidable 316
0-75 a 0-80000 lb/plg <sup>2</sup>	Helicoidal resistente	Acero inoxidable 316
<b>A B S O L U T O S</b>		
0-100 mm de mercurio a 0-35 lb/plg <sup>2</sup>	Fuelles absolutos	Latón
0-125 mm de mercurio a 0-35 lb/plg <sup>2</sup>	Fuelles absolutos	Acero inoxidable
0-40 a 0-100 lb/plg <sup>2</sup>	Espiral doble absoluta	Bronce, Be-Cu, Ni-Rango C, acero inoxidable 316

## B.2) Medidores de Nivel

### Mediciones de nivel en tanques abiertos.-

Los dispositivos para medir el nivel en tanques o depósitos abiertos, comprenden el tubo de burbujas, la caja de diafragma y el flotador con cable.

El funcionamiento del tubo de burbujas, consiste en proporcionar aire a un tubo sumergido mediante un regulador a presión, un regulador de presión diferencial o un rotámetro de purga. Cuando las burbujas escapan del tubo, la presión del aire en su interior es equivalente a la carga hidráulica del líquido en la base del tubo y mediante un elemento de presión con escala proporcional a dicha carga o nivel, podrán medirse los cambios en el recipiente.

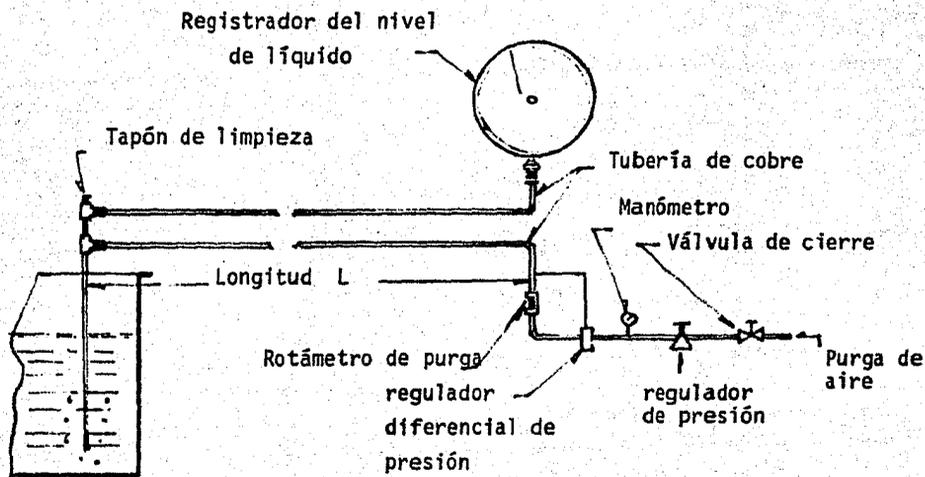


Fig. 2.17 - Tubo de burbujas para la medición del nivel en un tanque abierto.

Otro dispositivo para la medición del nivel es la caja de diafragma, que puede usarse cuando no se tiene energía eléctrica. Este dispositivo mecánico consiste en una cámara de presión semejante a una caja, con un diafragma flexible que cubre la base. La presión hidrostática que se ejerce sobre el diafragma provocará que este se flexione y provoque un cambio de presión en la caja, al transmitir esta presión a una escala proporcional a la carga hidráulica se puede conocer el nivel del recipiente en el cual esta instalado el instrumento.

Los elementos de nivel de diafragma tienen la ventaja de poderse instalar en el interior del tanque y fuera de este, según se muestra en las figuras 2.18 y 2.19

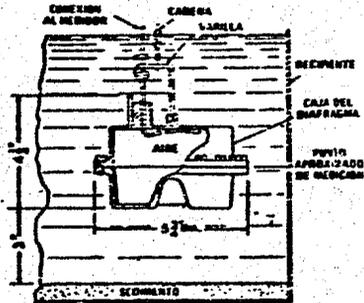


Fig. 2.18 - Caja de diafragma suspendida en cadena

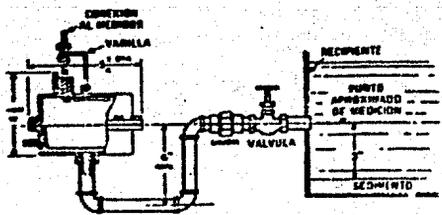


Fig. 2.19 - Caja de diafragma conectada externamente al tanque mediante una tubería.

Los dispositivos con flotadores y cable, consisten básicamente en un flotador y un contrapeso que actúa sobre un tambor; el movimiento del flotador hace que el tambor gire, y este movimiento impulsa un instrumento de pluma o indicador que activa contactos eléctricos y opera un transmisor.

Estos instrumentos también se usan en la medición de niveles para la medición de flujos en canales abiertos.

Cuando el tanque es cerrado, el nivel no es un simple reflejo de la medición de la presión estática. La determinación de la presión en un punto del líquido comprende tanto el peso o presión del líquido como la presión del gas o vapor que queda sobre el líquido dentro del tanque cerrado.

El nivel del líquido de un tanque cerrado puede inferirse midiendo la presión total y corrigiéndola de acuerdo con la presión ejercida encima del líquido. Físicamente se mide utilizando un transmisor de presión diferencial.

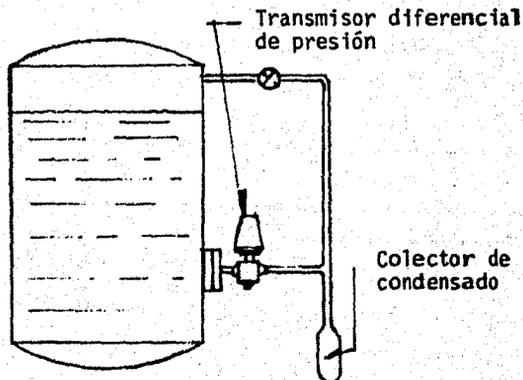


Fig. 2.20 - Medición de nivel en un tanque cerrado

### B.3) Medidores de temperatura

En el campo de tratamiento de aguas potables, la medición de temperatura se limita prácticamente a los procesos de digestión de sedimentos. Existen dos tipos de sistemas para la medición de temperatura. El primero es el térmico de llenado mecánico, que consiste en un bulbo térmico lleno de un líquido o vapor o una combinación de ambos, cuyo volumen cambia con las variaciones de la temperatura.

El segundo es un sistema eléctrico que emplea un termopar, un bulbo de resistencia o una termoresistencia. Estos dispositivos miden la temperatura en función de un cambio de tensión o resistencia producido en el elemento de medición por las variaciones de la temperatura.

Los sistemas mecánicos utilizan un bulbo de medición, un elemento de presión situado en la caja del instrumento y un tubo capilar que conecta el bulbo con dicho elemento. Cuando el sistema se llena con un fluido, las variaciones de la temperatura -- tienden a cambiar el volumen del fluido. Mientras el volumen del tubo y el bulbo no varíen el cambio del volumen se refleja en el movimiento del elemento de presión y en la pluma del instrumento.

Los cambios de temperatura que se registran dentro de la caja del instrumento y a lo largo de la tubería, pueden afectar -- también a la medición de esta variable, sobre todo en sistemas -- de líquidos o gases.

Los sistemas eléctricos, se crearon originalmente para medir las temperaturas extremadamente altas de los hornos. El termopar fué el primer tipo que apareció, y se basa en el siguiente principio eléctrico: cuando dos alambres de diferente composición se conectan por sus extremos, se produce una tensión en los extremos de los alambres paralelos, proporcional a la dife-

rencia de temperatura de las dos juntas. Los termopares se fabrican en numerosas configuraciones, tanto en lo referente a tamaño como a su disposición física. En general, la escala de temperatura de la mayoría de los termopares es demasiado amplia para que sean prácticos en el campo del tratamiento de aguas.

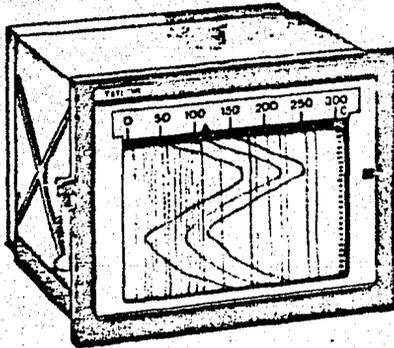


Fig. 2.21 Registrador de temperatura

Otro dispositivo eléctrico para la medición de la temperatura es el bulbo de resistencia. Su funcionamiento se basa en el principio de que un alambre cambia su resistencia al flujo de la corriente en función de las variaciones de la temperatura. Básicamente el bulbo consiste en una bobina de alambre sensible a la temperatura, con recubrimiento metálico. Los cambios de temperatura que se detectan por el extremo del recubrimiento del bulbo, producen cambios en la resistencia del conductor.

La variación de la temperatura requerida es la que determina, si debe especificarse un sistema mecánico de medición o un eléctrico. Los sistemas mecánicos dejan de ser prácticos en los casos en que se requiere una transmisión a larga distancia.

A parte del flujo, la determinación de temperaturas y presiones constituyen la mayoría de los procesos de medición.

### C ) MEDIDORES ANALITICOS

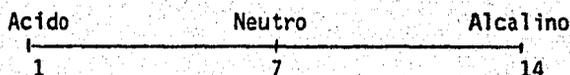
Los medidores analíticos son, una clave parcial para la buena aplicación de procesos más complejos al tratamiento de aguas potables. El análisis continuo de parámetros importantes como el pH, el potencial de oxidación-reducción, la conductividad y el contenido de oxígeno disuelto, tienen una gran importancia en el funcionamiento de las instalaciones modernas.

Este examen se limita a las mediciones que pueden hacerse directamente utilizando un electrodo sensor u otro tipo de detector.

Los sistemas de medición básica del pH comprenden: un electrodo que responde al pH, un electrodo de referencia y un instrumento de medición del potencial. Podemos definir la medición del

pH como la concentración de iones Hidrógeno presentes en una solución. Es decir es una medida de acidez o alcalinidad de una solución. Una solución será ácida cuando exista en ella una mayor concentración de iones Hidrógeno, y será alcalina cuando se encuentre presente una mayor concentración de iones Oxhidrilo.

La acidez o alcalinidad efectiva de un líquido, se expresa comúnmente en pH. Un pH de 7 corresponde a una solución neutra, a medida que el pH aumenta hacia 14, se incrementa la alcalinidad y conforme se aproxima a 1 la acidez aumenta.



El potencial hidrógeno es el logaritmo de la inversa de la concentración de Iones Hidrógeno.

$$\text{pH} = \log \frac{1}{[\text{H}^+]}$$

El pH de una solución puede ser determinado por medición del voltaje de una celda de concentración, comprendiendo dos electrodos de platino, uno sumergido en una concentración de pH conocido y la otra sumergida en la muestra.

El tipo de elemento sensor que se usa, electrodo de pH, celda de conductividad, electrodo del potencial de oxidación-reducción, determina el tipo de medición que debe efectuar el instrumento secundario. Este instrumento es una unidad que detecta el cambio que se produce en una celda, o elemento sensor, a su vez, el instrumento secundario convierte esta medición en una indicación o registro. La mayoría de las mediciones eléctricas de tipo analítico son de corriente directa.

Las mediciones analíticas pueden clasificarse según el tipo - de señales eléctricas que generalmente se miden y relacionan a la medición primaria.

La siguiente tabulación presenta una lista del tipo de señal en función de la medición hecha.

Tipo de señal eléctrica	Medición analítica
Tensión	pH, potencial de oxidación-reducción.
Tensión o amperaje	Cloro residual, oxígeno disuelto.
Amperaje o resistencia	Turbiedad, color.
Resistencia	Conductividad.

En el campo del tratamiento de aguas potables, la solución que se analiza contiene generalmente una combinación de sales, - ácidos y bases. La medición de la conductividad es, por lo tanto la conductividad eléctrica total del agua. Puesto que las concentraciones son normalmente bajas y los compuestos disueltos en el agua son muchos y variados, no es práctico medir la concentración de una sustancia específica por éste medio.

Las celdas de conductividad son los elementos que se usan - para medir la conductancia específica. La conductancia específica es la conductividad media entre las caras opuestas de un cubo de electrólito, que mide un centímetro por lado.

Puesto que la conductividad es la inversa de la resistencia, su expresión algebraica es:

$$C = \frac{I}{R}$$

de donde :

C - conductancia en Ohms  
R - resistencia en Ohms

El flujo de la corriente de un electrodo varía según la temperatura de la solución; por lo tanto, la medición de la conductividad debe tener una compensación de la temperatura.

Existen dos campos básicos en los que se utilizan las mediciones de la conductividad eléctrica. El primero es el de la detección de cambios notables en las grandes masas de agua en lo referente a acidez o alcalinidad, y la segunda es la determinación de la diferencia de conductividad. Esta diferencia entre dos puntos se mide y utiliza para detectar cambios que se producen entre dichos puntos. Esta técnica se utiliza para medir la acción de fluoruros a los abastecimientos públicos de agua potable.

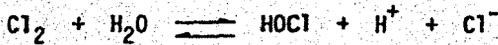
El potencial de oxidación-reducción es una de las mediciones importantes en el exámen general de las condiciones de una corriente. La oxidación se aplica a la pérdida de electrones que sufre cualquier material en una acción química, mientras que la reducción es una reacción en la que un material adquiere electrones.

Las mediciones del potencial de oxidación-reducción se efectúa casi siempre en soluciones acuosas de ácidos, bases y sales.

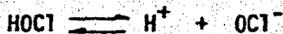
El uso del cloro como agente desinfectante en el tratamiento de aguas, requiere dispositivos para la medición y el registro -- continuos del cloro residual. Todos los dispositivos funcionan -- basados en un principio fundamental; la medición de la energía -- oxidante del cloro en solución.

La terorfa de la cloración y la distinción entre las diferentes formas de cloro, son factores importantes para comprender las mediciones del cloro residual. El cloro es un elemento gaseoso -- que se hidroliza instantáneamente al contacto con el agua, y tiene la capacidad de atraer electrones de otros compuestos, por lo que su poder oxidante es una medida para la desinfección en el -- agua.

La reacción de la hidrólisis es la siguiente:



El ácido hipocloroso ( HOCl ) se disocia en presencia del agua en la siguiente forma:



Esta reacción química depende del pH. Cuanto más bajo es el pH, el porcentaje del ácido hipocloroso presente, es más alto. La interacción entre el cloro o su producto de hidrólisis HOCl y los microorganismos, es lo que produce la desinfección de un líquido.

El cloro en solución, puede medirse utilizando una celda especial, que puede determinar también la concentración del yodo y el bromo; pero no del fluor.

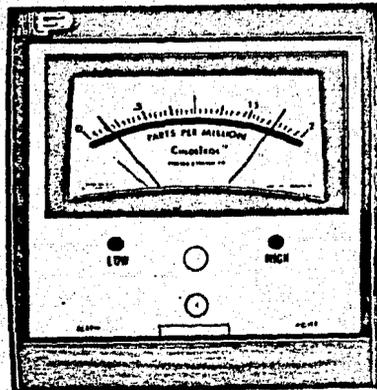
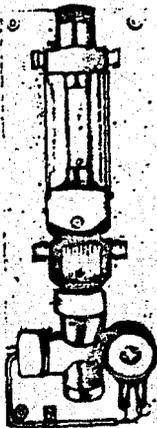


Fig. 2,22 Medidor e Indicador de cloro

Las dos principales aplicaciones del analizador en la determi determinación de cloro residual, se hacen en el tratamiento de los abastecimientos de agua potable. En primer lugar, la medición del cloro residual detiene un tratamiento o conecta un alarma cuando el residuo llega a un nivel bajo dado. En la segunda aplicación, el contenido de cloro, se mantiene en un nivel constante, a pesar del flujo variable. Esta aplicación puede requerir el llamado circuito de control del compuesto, en el que el cloro se dosifica al flujo, pero queda determinado por la medición del residuo.

Estas medidas son convenientes sólo cuando existen grandes - variaciones en el flujo, en la mayoría de los casos bastará con el control común de retroalimentación.

Al diseñar el sistema de control, deberá tomarse en cuenta; que la clase del clorador debe ser la adecuada, y la gama del ins trumento debe satisfacer los requisitos de dosificación.

La aplicación de los analizadores de cloro, el registrador - de cloro residual y el sistema de equilibrio, son los medidores - más comúnmente utilizados en las plantas de tratamiento de agua.

Una de las mediciones más importantes para su aplicación, es la determinación de oxígeno disuelto en la solución. Existen algunos aparatos para determinar el oxígeno disuelto, actualmente el - más práctico es el electrodo de tipo membrana. Este aparato no mide el oxígeno disuelto directamente, lo que realmente mide es el - porcentaje de saturación, o sea la cantidad de oxígeno disuelto -- presente expresada como porcentaje de la cantidad máxima que puede encontrarse presente en la temperatura existente.

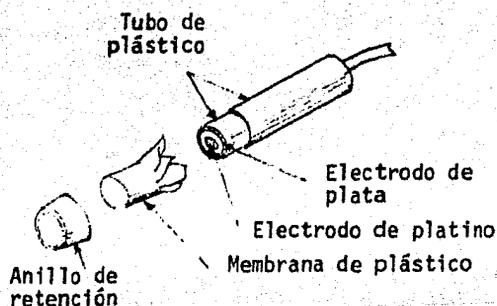


Fig. 2.23 - Electrodo tipo membrana

## D ) MEDIDORES OPTICOS

Existen dos mediciones ópticas básicas que se utilizan en el campo de aguas potables: la turbiedad y el color.

La turbiedad es una característica física del agua, producida por la presencia de partículas extrañas cuyo tamaño es muy pequeño, es decir, la materia coloidal y en suspensión.

La turbiedad describe una propiedad óptica de un líquido que hace que la luz se disperse y sea absorbida, en lugar de ser transmitida en línea recta a través del fluido. Todas las mediciones de turbiedad se basan en esta propiedad.

El dispositivo más sencillo para medir la turbiedad, es el turbidímetro de Jackson, que mide la longitud de la trayectoria de la luz a través del líquido, a la que la imagen de la llama de una vela común desaparece cuando la llama se ve a través de la suspensión.

Otras técnicas turbidimétricas utilizan la medición de la interferencia o la reflexión de la luz de partículas en suspensión, cuando se observa perpendicularmente a la dirección de la trayectoria de la fuente de la luz.

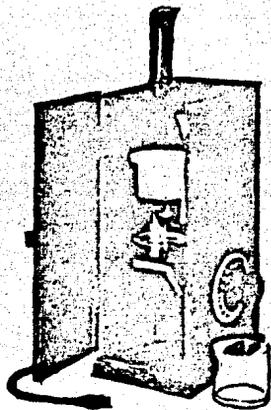


Fig. 2.24 Turbidímetro

El color en las aguas potables o de desecho, es producido - por alguna sustancia química disuelta en ellas. El color real es el que queda en el líquido cuando se ha suprimido la turbiedad, - el color aparente es el que tiene el líquido que contiene sustancias en suspensión y en solución.

El color del agua, se determina por una comparación visual - con discos de vidrio coloreados, previamente calibrados, o con - soluciones estándar de sales de platino y cobalto.

La medición del color, no ha tenido gran interés, ya que - principalmente éste dependerá de la turbiedad.

### 3. TRANSMISION INTERNA DE UNA PLANTA

La transmisión, es una parte muy importante dentro de un - circuito de control, esta deberá ser precisa y sensible a cambios que ocurran dentro del proceso dependiendo de la exactitud requerida en el control.

La medición de esta transmisión y de las señales de control, dentro de una planta potabilizadora se le denomina transmisión in terna de una planta.

Los transmisores están formados generalmente por un elemento primario de medición o sensor, el cual detecta el valor de la variable por medio de principios físicos o químicos simples, pero - algunas ocasiones también constan de elementos secundarios. Un elemento secundario de medición, es todo aquel componente de un - instrumento que detecta o infiere la magnitud escalar inducida -- por un elemento primario cuando este no es capaz de detectarlo o cuantificarlo directamente.

Las distancias entre el supervisor de la planta y las unida des que van a controlarse pueden ser grandes, sobre todo en plan tas que tienen grandes unidades de tratamiento.

En las plantas de tratamiento de aguas potables, los filtros que requieren la mayor parte de la instrumentación, se alojan generalmente en un sólo edificio, mientras que en las aguas de desecho, pueden existir varias unidades externas muy dispersas.

La seguridad es importante en la consideración de una transmisión electrónica de señales, las temperaturas extremadamente bajas pueden crear un problema en la transmisión, no existen peligros debidos a gases explosivos en la planta común de tratamiento de aguas potables; pero en la sección del digestor de las planta de tratamiento de desechos, los gases pueden constituir un peligro inminente. Este peligro de los gases puede tener una gran influencia en la elección del medio de transmisión.

Todas las mediciones de procesos relativamente sencillas, como el filtrado paralelo de agua, pueden registrarse sin mayores problemas. En las grandes instalaciones donde se tienen muchos -- filtros, con frecuencia es mejor asignar las mediciones individuales a varios intervalos en lugar de registrar cada uno en las gráficas de un sólo instrumento.

La selección del método casi siempre determina el medio de transmisión, sea neumático o electrónico. Si se escoge una transmisión electrónica, la selección entre el registro individual y el registro de mediciones individuales a intervalos en una gráfica, determina también si la señal será de tipo discontinuo de duración de impulso o si será continua en miliamperes o milivolts.

La existencia de una gran variedad de formas de transmisión requiere un análisis minucioso para poder llegar a la selección adecuada. Si se hace una selección poco acertada cuando se está diseñando una planta, se producirán efectos graves en el proceso, en el personal y en los costos de operación durante muchos años.

### 3.1 ) Mecanismos de transmisión y recepción

Los sistemas de transmisión usan métodos de balance de movimiento o de fuerzas para efectuar mediciones y transmisiones. Daremos un ejemplo de estos dos tipos básicos de mecanismos para ilustrar las diferencias entre ambos.

El tipo de instrumento más antiguo y común es el llamado de balance de movimiento, en el que una variable, como la presión produce un movimiento proporcional. En el tubo sencillo de Bourdon, la presión produce una deformación en el tubo; luego el tubo sufre una desviación y mueve una aguja indicadora.

Otro ejemplo es el manómetro común de mercurio, en donde la presión diferencial ejercida sobre un dispositivo primario, como un tubo de Venturi o una placa de orificio, tiene la oposición del peso de una columna de mercurio. En condiciones de equilibrio la presión diferencial producida por el dispositivo primario y la carga diferencial de mercurio son iguales. El movimiento de la columna de mercurio se detecta con un flotador; a su vez, este actúa sobre una aguja indicadora en el instrumento secundario.

Los instrumentos locales con montaje directo son siempre aparatos de balance de movimiento, y todos los registradores y receptores electrónicos y neumáticos son dispositivos con balance de movimiento, porque se requiere un movimiento para activar una aguja indicadora.

Los instrumentos con balance de movimiento tienen un uso muy difundido y constituyen una necesidad en donde se requiere un indicador y un registrador directamente conectados al punto de medición y también se usan cuando la información debe transmitirse.

Los instrumentos con balance de fuerza no proporcionan por sí sólo una indicación local; pero su funcionamiento requiere - tan solo un movimiento pequeño, eliminando los problemas de fricción y desgaste. En general, estos instrumentos son más satisfactorios como dispositivos de medición. Puesto que siempre se requiere un movimiento para activar una aguja indicadora, los instrumentos con balance de fuerza son siempre transmisores; pero - los transmisores pueden usarse con indicadores y registradores - locales de balance de movimiento.

El "sube y baja" es básicamente, un dispositivo de balance de fuerzas, en donde si una variable medible produce una fuerza, esta puede tener la oposición de otra fuerza medible, mediante - un sistema transmisor detector.

El transmisor de presión diferencial, que se usa muy frecuentemente en la medición de flujos, es un dispositivo de balance de fuerzas. Los cambios en la presión diferencial producen un pequeño desplazamiento de una chapaleta en un sistema neumático de detección, esto aumenta la presión externa del transmisor que, a su vez, se opone a la fuerza original. Básicamente las dos fuerzas se oponen entre sí y el desplazamiento es tan pequeño que puede despreciarse. La contraparte electrónica de este transmisor es similar, excepto en que la fuerza de equilibrio es magnética y no neumática.

Algunos mecanismos del transmisor y receptor se clasifican como servomecanismos, estos comprenden todos los dispositivos de balance de movimiento. En esta clasificación se incluyen ciertos tipos de equipo de telemetría e instrumentación electrónica-neumática. Los servomecanismos proporcionan una gran cantidad de energía para el funcionamiento de un instrumento. Básicamente el servomecanismo detecta la medición y luego la amplifica para proporcionar movimiento a una aguja indicadora o a algún aparato adicional. Es preferible evitar el uso de servomecanismos, excepto cuando se requieren grandes cantidades de energía.

### 3.2 ) Señales Neumáticas de transmisión .

Las señales neumáticas y eléctricas, son los dos medios básicos de transmisión. La transmisión neumática ha tenido un mayor uso, debido probablemente a que es mecánica en su mayor parte, sencilla, accesible y de fácil comprensión para un mecánico experimentado.

Los primeros instrumentos neumáticos funcionaron al vacío, -ésto es que la presión de salida reducida a una escala absoluta estaba entre el cero absoluto y la presión atmosférica de 14.7 - libras por pulgada cuadrada, al nivel del mar.

Con el transcurso del tiempo, se adoptó en la industria el estándar de 3 a 15 libras por pulgada cuadrada. Como aún no existe un valor de señal electrónica universalmente aceptado, la relación de la señal máxima a la mínima es casi siempre igual que la neumática 5:1 .

En un sistema de transmisión o control neumático, la señal de aire se hace variar mediante un dispositivo de chapaleta y boquilla que ajusta el sistema de contrapresión. Este sistema se, -ilustra en la siguiente figura.

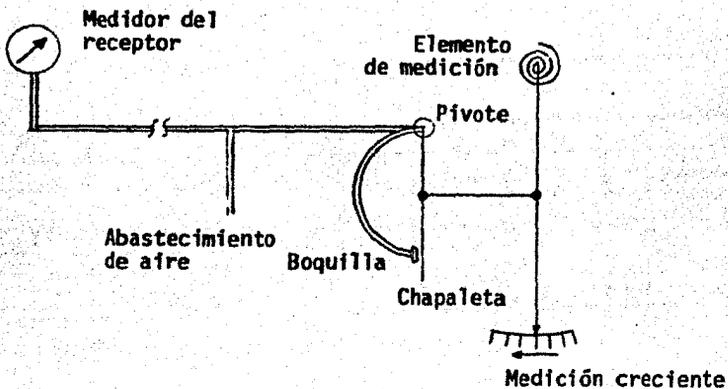


Fig. 3.1 Diagrama de un sistema sencillo de Chapaleta-boquilla y relevador.

En el caso más sencillo, la contrapresión aumenta a medida que la chapaleta se acerca a la boquilla. Esta acción produce un cambio ínfimo en la contrapresión, a menos que se agregue un restrictor a la línea de abastecimiento. Esta disposición, ejerce la principal presión en el restrictor, ya que la boquilla es mayor que este, y aumenta los cambios en la contrapresión.

Cuando la señal sea relativamente débil en cuanto al volumen de aire con la relación a la energía del receptor, debe agregarse un relevador para amplificar la energía.

En un sistema completo de chapaleta-boquilla (Fig. 3.2), la contrapresión del sistema actúa a través de un diafragma y una válvula piloto para hacer variar la presión de salida del relevador entre 3 y 15 libras/plg<sup>2</sup>. La presión producida es suficiente para hacer funcionar los registradores y los controles. Si el sistema es de balance de fuerzas o de movimiento seguirá teniendo la disposición de chapaleta-boquilla y un relevador.

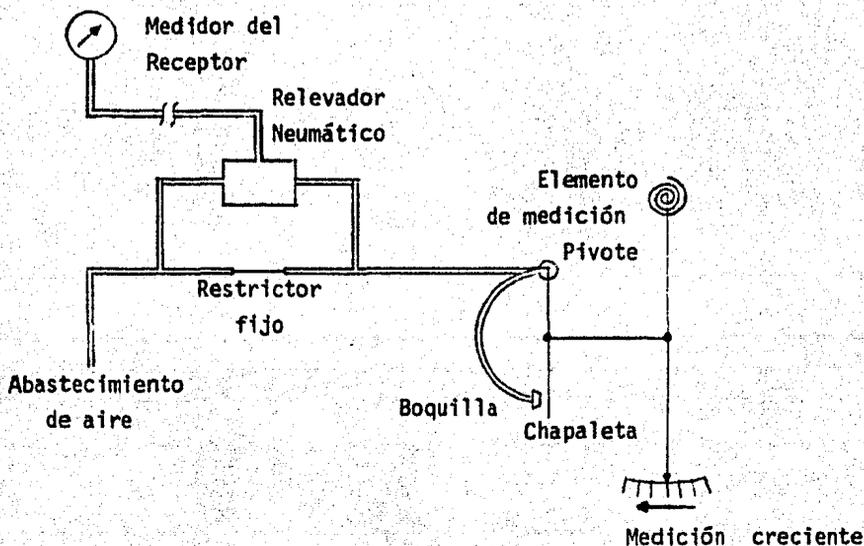


Fig. 3.2 Sistema completo de chapaleta-boquilla

Algunos relevadores neumáticos poseen un restrictor o tipo -reductor fijo como parte de su mecanismo. La contrapresión ejercida sobre la boquilla hace que se ejerza presión sobre el diafragma metálico; ésta presión desplaza parcialmente la válvula de postillón, permitiendo que pase aire por el orificio de salida, proveniente del de entrada. En forma análoga, una reducción de la medición y de la contrapresión de la boquilla hace que la válvula de postillón vuelva a asentarse parcialmente, acción que expelle el exceso de presión de aire hacia la atmósfera. La presión de --aire se estrangula continuamente entre la salida y el orificio.

Existen dos tipos de relevadores neumáticos: con purga y sin purga. La principal diferencia entre ambos, se debe al diseño interno de la válvula. El relevador sin purga requiere casi siempre un mantenimiento más cuidadoso, para evitar espacios muertos, que el de purga, y no ahorra mucho aire.

El mecanismo de transmisión, en transmisores de balance de movimiento, utiliza elementos comunes de medición para proporcionar el movimiento necesario al indicador. Básicamente, no existe un movimiento en el mecanismo de balance de fuerza, por lo que la lectura se toma mediante un mecanismo receptor independiente.

En la figura 3.3 se ilustra un diagrama esquemático de un -transmisor de presión de balance de fuerzas. La fuerza de medición o presión, se ejerce sobre uno de los extremos de una palanca con pivote en el centro. En sentido opuesto al pivote, se encuentra un elemento de retroalimentación, activado por la salida del relevador neumático. La salida del relevador se controla debido a una relación chapaleta-boquilla y la palanca actúa como -chapaleta. Al moverse el punto del pivote, se cambia la distancia de este dispositivo, al reducirse la distancia, se incrementa  $L_1$ . Para suprimir una parte de la distancia, como se requiere con frecuencia el transmitir el nivel de tanques elevados, se agrega un resorte de supresión para oponerse a  $F_1$ .

Entonces, la ecuación de balance de fuerzas se convierte en:

$$L_1 (F_1 - F_4) = L_2 (F_2 - F_3)$$

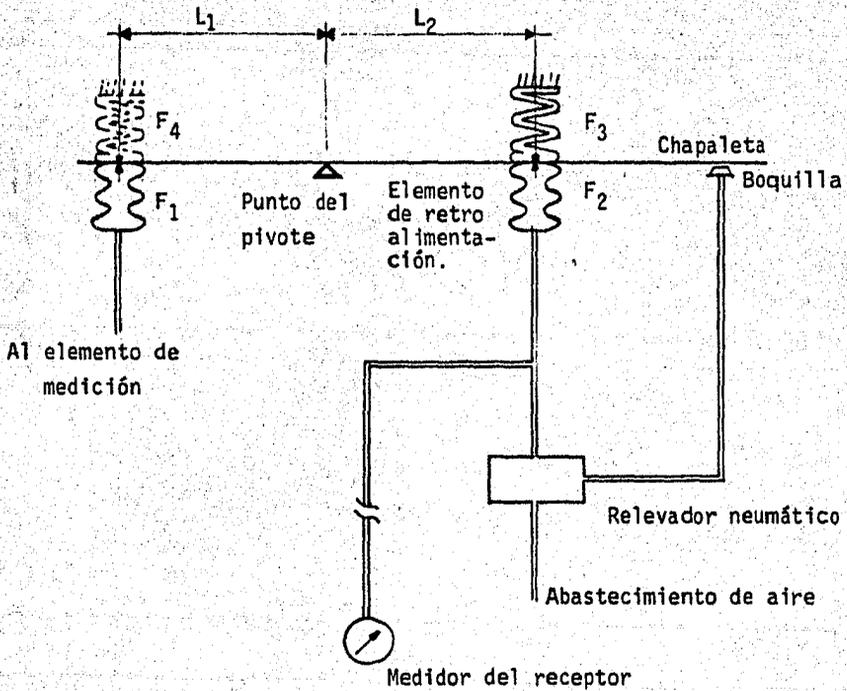


Fig. 3.3 Diagrama de un transmisor de presión con equilibrio de fuerzas.

### 3.3 ) Sistemas electrónicos de transmisión .

Estos sistemas envían un tipo diferente de señal que los sistemas de telemetría. En los primeros, la señal es continua y en los últimos es intermitente. Las señales electrónicas no se transmiten normalmente por líneas telefónicas excepto de las distancias son pequeñas. Cuando se usan líneas de teléfono, se utilizan transmisores auxiliares para hacer que la señal sea compatible. Los sistemas electrónicos proporcionan una transmisión instantánea y continua, sin problemas de aire comprimido, temperaturas excesivamente bajas o humedad.

Estos sistemas han tenido muchas aplicaciones en el campo del tratamiento de aguas potables y de desecho.

Este estudio se limita a sistemas electrónicos de transmisión modernos, que son totalmente de estado sólido, es decir que carecen de tubos al vacío o dispositivos similares. Estos transmisores pueden ser de balance de movimiento o de balance de fuerzas, y se usan varios tipos de señales de transmisión.

El parámetro de la señal que se usa con más frecuencia en la transmisión es el amperaje, porque no es afectado por las características de las líneas de energía y es inmune a las tensiones inducidas del tipo de corriente alterna. El instrumento receptor, puede usarse como dispositivo de tensión, haciendo pasar la corriente que se desarrolla por una resistencia dentro de la unidad.

En las primeras instalaciones se utilizaron señales en milivolts, pero actualmente predominan las de miliamperes. El uso de éstas señales en miliamperes permite la construcción de circuitos en serie.

La instrumentación electrónica, puede usarse para efectuar - telemetrías continuas, pasando de una señal en miliamperes a otra de audiofrecuencia. No existe una señal universal de transmisión; pero la mayoría de los sistemas utilizan una proporción entre la señal mínima y la máxima de 1 a 5 . En general, los transmisores y los receptores pueden hacerse compatibles entre si, gracias a - esta relación. Los sistemas de miliamperes, son sistemas de dos - conductores, excepto cuando se requiere que toda la energía pro-- venga del tablero. Los transmisores de campo montados pueden en-- contrarse generalmente en receptáculos a prueba de explosiones y de la acción de la interperie.

#### 3.4 ) Transmisores electrónicos con balance de movimiento y - fuerza.

En general los transmisores electrónicos con balance de - movimiento, utilizan un transformador de núcleo variable. (Fig. - 3.4). Las variaciones lineales o de rotación en la posición del núcleo del transformador cambian el flujo de corriente en los dos lados del transformador. Este cambio en la salida es proporcional a la posición del núcleo, que se sitúa con un elemento de medición. Si el receptor de equilibrio de movimiento es del tipo de servomecanismo, un servomotor será el que impulse la aguja.

El funcionamiento de los transmisores electrónicos con balan- ce de fuerzas es similar al neumático. Las variaciones en la sali- da del detector se rectifican, amplifican y conducen a través de - la bobina de retroalimentación, con balance de fuerzas que se co-- necta en serie con la fuente de energía y el receptor. La bobina - de retroalimentación aplica una fuerza igual y opuesta a la del e- lemento sensor y mantiene el sistema en un balance continuo de -- fuerzas.

Los tratamientos de balance de movimiento son seguros y pueden proporcionar una indicación directa local. Los transmisores de balance de fuerzas ofrecen un diseño mecánico perfeccionado, que reduce el mantenimiento y hace aumentar su seguridad. Su diseño proporciona también la conveniencia de cambiar de escala o alcance, pero no proporciona una indicación de medición en el caso de que falle la energía.

La ventaja principal de los transmisores de balance de fuerzas es la sencillez del cambio de escala. Si los flujos de la escala u otras variables se calculan incorrectamente; cuando la planta se está diseñando, se puede volver a calibrar fácilmente las escalas de los instrumentos de balance de fuerzas.

Cuando los transmisores son de tipo de balance de movimiento este cambio es costoso y lento.

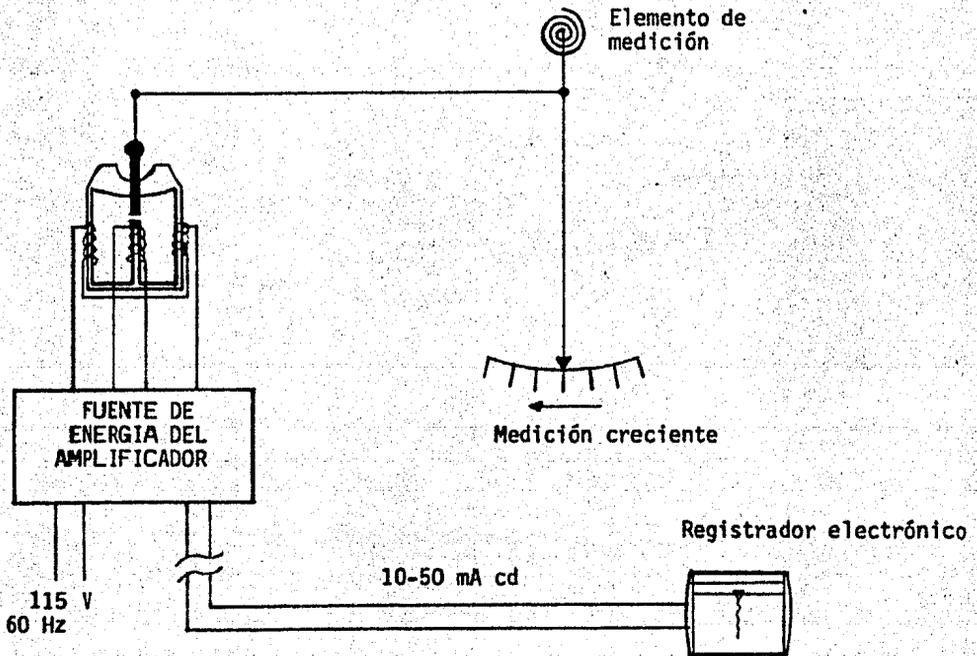


Fig. 3.4 Los transmisores electrónicos de balance de movimiento usan un transformador de núcleo variable.

### 3.5 ) Aplicación de la transmisión al interior de una planta .

Cuando se requiere una transmisión directa, sin control, la técnica neumática es satisfactoria hasta distancias de 300 metros. Cuando se usan controladores montados en un tablero, la distancia entre éste y el punto de control debe limitarse a 60 metros. Esta limitación se debe a la demora de la transmisión.

Cuando cambia una medición, la presión de aire dentro de la tubería entre el transmisor y el receptor, debe cambiar también. La posible pérdida de varios segundos no es factor importante en el registro, pero puede serlo en el control automático.

La transmisión y el control electrónico son instantáneos, por lo que no se tienen limitaciones en la distancia.

La transmisión neumática ha tenido un uso muy difundido y excelente resultados. El congelamiento de las líneas de aire puede prevenirse totalmente si el abastecimiento de aire se seca debidamente. La instrumentación neumática sólo es satisfactoria en una planta de tratamiento de agua ubicada en un edificio único o en un clima templado.

En instalaciones extremadamente grandes, la distancia constituye una limitación para los instrumentos neumáticos, sobre todo cuando debe ejercerse algún control. La instrumentación futura de éstas plantas será probablemente electrónica en su mayor parte.

Cuando la instalación es pequeña, con sólo uno o dos registradores, la instrumentación electrónica es la más apropiada. La instrumentación electrónica eliminará la necesidad de usar un sistema de aire comprimido y será totalmente compatible con los sistemas de control de la supervisión.

La instrumentación electrónica es ideal y eliminará totalmente el sistema de aire comprimido.

#### 4. ELEMENTOS DE CONTROL AUTOMATICOS

Un sistema de control es una serie de unidades combinadas para producir un resultado útil con pequeña o ninguna supervisión humana. Los sistemas de control se dividen en:

- Abiertos
- Cerrados

En los sistemas de control abierto, la salida del proceso no tiene efecto alguno sobre la entrada del proceso. Por lo contrario, en los sistemas de control cerrado si tiene efecto la salida del proceso sobre la entrada.

Entendiendo por proceso, cualquier operación o serie de operaciones que producen un resultado final deseado. Los procesos pueden involucrar operaciones mecánicas, eléctricas o reacciones químicas.

En el siguiente diagrama de bloques de la figura, se encuentran las partes que forman un sistema de control de "LOOP" cerrado.

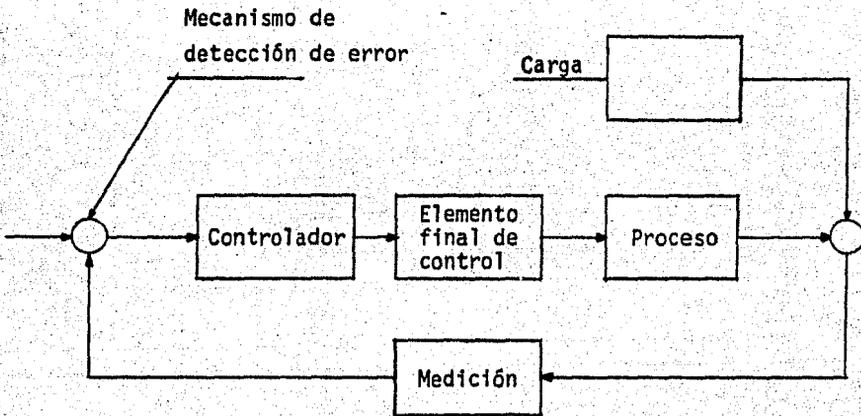


Fig. 4.1) Partes de un sistema de control

Un "LOOP" es un arreglo retroalimentado de un sistema de control, que puede modificar la variable controlada cuando existe alguna alteración dentro del proceso.

La manera en que funciona es la siguiente: Un control de retroalimentación mide la variable controlada y toma acción correctiva sobre la variable manipulada siempre que la variable controlada se desvíe del punto de ajuste del controlador. Todo esto se lleva a cabo después del hecho, lo cual implica que la corrección ocurre después de que aparece el error. Se dice que es un sistema de retroalimentación debido a que la información fluye de la salida del proceso hacia la entrada del mismo.

Las partes básicas de que consta este sistema son:

- Elemento primario de medición, que es la parte sensible, encargada de transmitir la señal directamente del lugar de proceso, la transmisión la da en forma de señal de salida electrónica o neumá-

tica hacia el instrumento encargado de mantener constante la variable controlada.

- Elemento de control, que consiste en un instrumento electrónico o neumático al cual se le ha fijado un valor de operación de la variable controlada, alrededor de este deberá permanecer el control con oscilaciones mínimas posibles. La señal de salida del instrumento transmisor se lleva hasta el controlador, en donde se efectúa una comparación entre el valor fijo de la variable controlada y el obtenido; si existe una desigualdad entre éstos valores, la señal correctiva se produce y transporta al elemento final de control.

- Elemento final de control es el dispositivo a cuyo cargo se encuentra la modificación directa de la variable manipulada.

Además de estas partes básicas, podemos tener adicionales como por ejemplo: un transductor de señal para convertir señal eléctrica a neumática, un extractor de raíz cuadrada para linealización de flujo cuando se utilice transmisor de presión diferencial, un registrador de señal, alarmas, etc.

El propósito de la aplicación y sus características hidráulicas, determinan el tipo de sistema de control y las formas de control que deben seleccionarse para una aplicación determinada. Deberá tomarse en cuenta la naturaleza del proceso, antes de escoger el tipo de control, el grado de control necesario y el tamaño de las válvulas.

Cualquier problema de control es influido por tres consideraciones básicas: la naturaleza del control que se requiere, el grado de perturbación que el proceso puede tolerar, y el costo para proporcionar el control deseado. Para tomar las decisiones correctas, deberá considerarse también los tipos de control disponibles, las limitaciones de cada uno de ellos y las ventajas o desventajas relativas de unos con relación a otros.

Es importante diferenciar el control automático del semiautomático. La operación remota de válvulas y bombas y el desempeño de otras funciones de supervisión, son semiautomáticas.

El control automático, consiste básicamente en equilibrar la oferta con la demanda durante un espacio de tiempo, como por ejemplo, el control de un filtro de arena rápida equilibra esencialmente el abastecimiento del filtro con la demanda de un sistema de distribución controlando el nivel del pozo de agua clarificada mediante un sistema de válvulas, bombas u otros dispositivos. Otros ejemplos son los controles del clorador y el dosificador de compuestos químicos.

En todos los casos la oferta debe ser cuando menos igual a la demanda máxima que puede esperarse. Por ejemplo la capacidad hidráulica de una planta debe ser siempre mayor que la demanda máxima que se haya calculado.

#### 4.1 ) Sistemas de control abierto

El sistema de control, es básicamente un anillo compuesto por elementos de control. Un circuito de control típico de flujo cerrado, contiene un elemento de medición, un controlador, el proceso y un elemento final, que puede ser una válvula. El elemento sensor mide el flujo y envía una señal al controlador; este compara esta medición con un punto de referencia, que se marca en el cuadrante del controlador. Si existe una diferencia entre ambos valores, el controlador ajusta la válvula para corregir el flujo y reduce la diferencia a cero.

En la industria del tratamiento de aguas potables, existen muchas aplicaciones del llamado sistema de control abierto, en el que la sección de medición del circuito se suprime y el proceso no llega a formar un circuito o sistema cerrado.

La mayoría de los cloradores de dosificación proporcional son ejemplos del control de sistema abierto, ya que establecen una proporción entre el cloro y el flujo de agua -mientras mayor es el flujo, más cloro agrega el clorador. El eslabón faltante en este caso, es la falta de medición del contenido de cloro, o la demanda de cloro del agua. La demanda de cloro del agua que pasa por el sistema -- puede variar, pero la cantidad de cloro introducido en el agua no - variará, siempre que el gasto se mantenga constante.

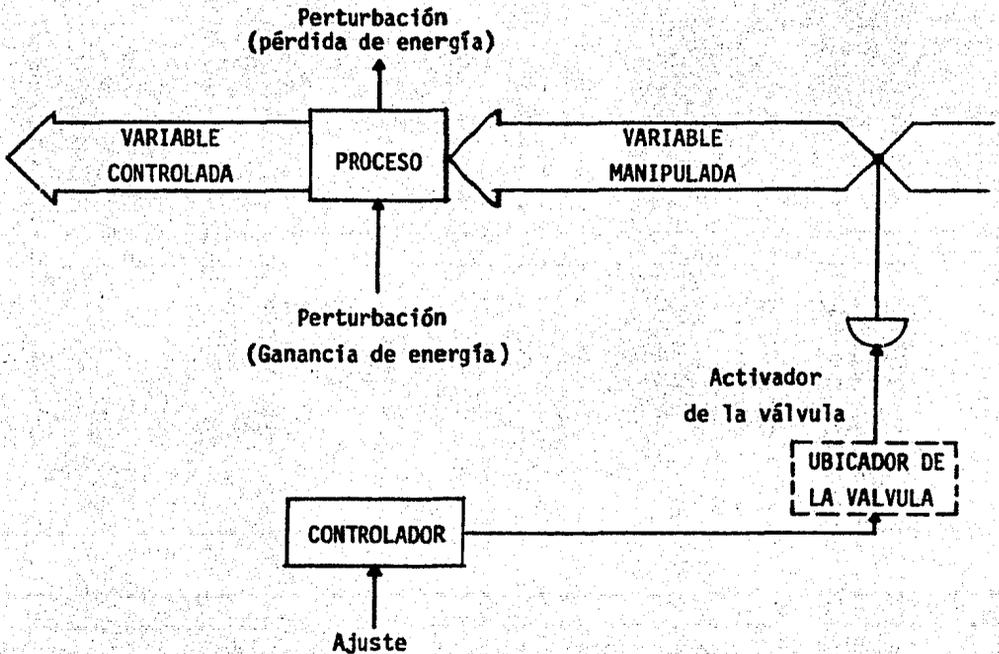


Fig. 4.2 En el control de anillo abierto, la sección de medición del circuito desaparece y el proceso no llega a cerrar el anillo. La oferta se modifica sin conocer la demanda.

#### 4.2 ) Sistema de control cerrado

En este tipo de control, se añade al sistema la medición del efecto en el proceso, de modo que el controlador puede comparar la operación del tratamiento con un punto de referencia y efectuar los ajustes necesarios. Para proporcionar un control de sistema cerrado a un clorador se requiere que se agregue un analizador de cloro residual. Mediante la retroalimentación de información, el analizador proporciona una medición del cloro residual, que se compara con el residual deseado. Así la descarga del clorador se basa directamente en la satisfacción de la demanda de cloro del agua.

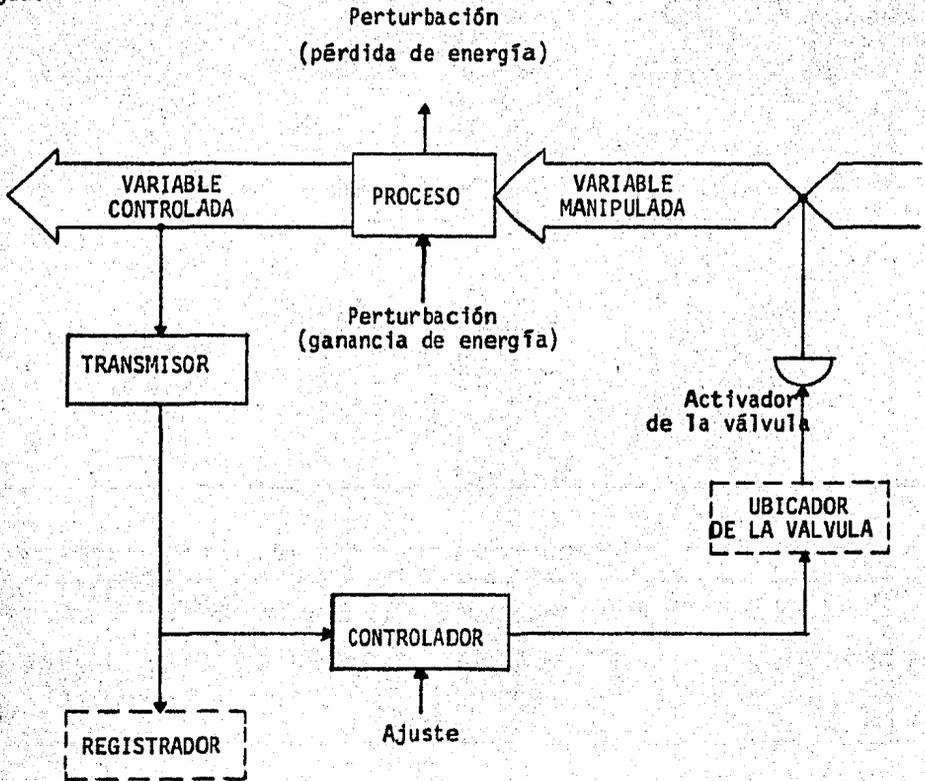


Fig. 4.3 En el control de sistema cerrado, la medición del efecto del proceso reside en el circuito, y el controlador puede compararlo con un punto de referencia y efectuar los ajustes necesarios.

#### 4.3 ) Formas de control

Para mejorar un sistema de control, se necesita un controlador que haga lo siguiente:

- Cuando ocurra un cambio de carga, el controlador tenga alta ganancia para evitar que la variable durante la respuesta transitoria, se desvíe grandemente del punto de ajuste.
- Después, que el controlador tenga baja ganancia, para que no tienda a la inestabilidad.
- Cuando el sistema de control opere bajo condiciones de régimen permanente, que se incremente la ganancia con el objeto de reducir al mínimo el "offset".

Los principios de funcionamiento de los controladores, se basan en variar automáticamente la ganancia del controlador cuando ocurre un disturbio, para poder obtener un control exacto y estable.

El controlador es un mecanismo que responde a cualquier error indicado por el mecanismo detector de error. Este detector de error es un dispositivo que compara la variable medida con el valor deseado de la variable y la diferencia es el error.

Un controlador proporcional estrangula continuamente una válvula u otro dispositivo de control para equilibrar la entrada del proceso con la demanda. Este controlador se usa para equilibrar la oferta de los filtros de arena rápida en función de la demanda del pozo de agua clarificada, que a su vez refleja la demanda del sistema de distribución.

El cambio en el nivel del pozo de agua clarificada que se requiere para mover una válvula de control para el efluente del fluido, de una posición totalmente abierta a totalmente cerrada, se conoce como la banda proporcional del controlador.

Controlador proporcional  
y reajustador de flujo

Controlador proporcional  
de nivel

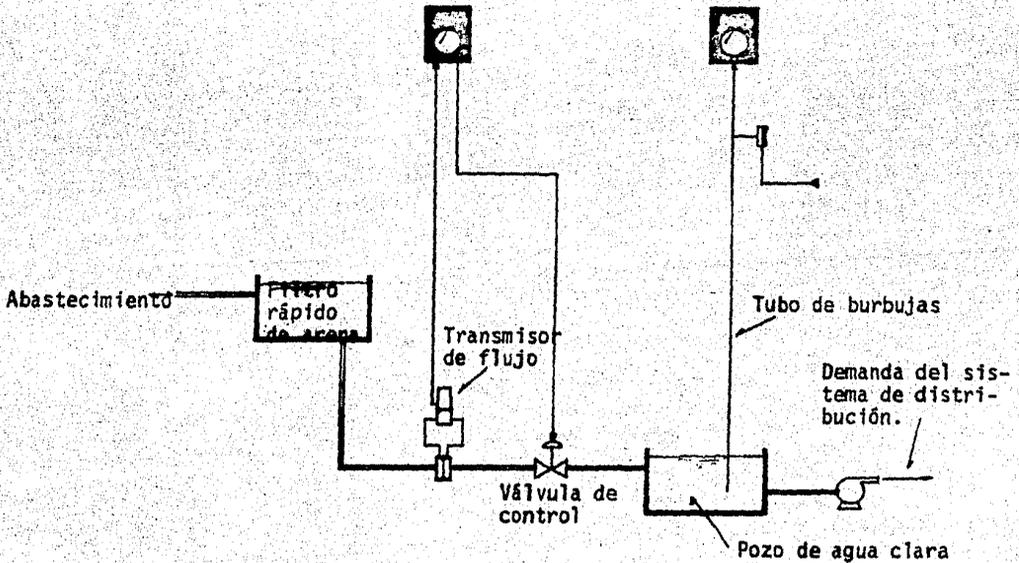


Fig. 4.4 Controlador proporcional que se usa para equilibrar la velocidad del efluente del filtro, en función de la demanda del sistema de distribución.

La banda proporcional se expresa como un porcentaje de la escala total de medición, y puede ajustarse para obtener un control estable en las condiciones variables de un proceso.

Con el control proporcional, cada posición de la válvula corresponde a un nivel dado del pozo de agua clarificada. Por lo que el nivel puede estabilizarse en cualquier posición, dentro de la banda proporcional dependiendo del flujo requerido por el sistema de distribución.

En una operación normal, el nivel fluctúa muy poco para poder mover la válvula a lo largo de su recorrido total. Mientras más angosta es la banda proporcional, es más pequeña la zona del nivel - en la que el proceso se estabilizará, sin embargo, en cualquier aplicación dada existe un límite bajo para la banda proporcional. - Si se desciende por debajo de este valor, el controlador establece rá un ciclo.

En ocasiones, un transmisor neumático de nivel puede servir - para los mismos fines que un controlador proporcional. La señal del transmisor ajusta los puntos de referencia del flujo en cada uno de los controladores del efluente del filtro y efectúa un trabajo sa--tisfactorio.

La acción de reposición automática se añade al control proporcional con el fin de mantenerlo en un punto determinado, a pesar de las variaciones en la demanda. La reposición permite que la posi--ción de la válvula cambie de acuerdo a la relación con el cambio, siempre que dicha medición no esté precisamente en el punto de referencia.

El controlador de arena rápida, requiere una acción proporcional y otra de reposición. La demanda que pesa sobre los filtros varía y la capacidad de los filtros para abastecer el pozo de agua -- clara es afectada por la pérdida de carga a través del lecho del -- filtro.

El control proporcional más la acción de reposición se utiliza ampliamente para controlar procesos de flujos y calentamiento que - tengan tiempos de retraso y también para controlar el pH del proceso.

Con la acción de reposición, puede ocurrir un fenómeno llamado enrollamiento del controlador. Este enrollamiento, resulta cuando se desconecta un controlador de su válvula o sucede algo que rompe el círculo de control. El controlador reacciona inmediatamente ante

lo que siente que es una desviación entre la medición y el punto de referencia. Al esforzarse en corregir la desviación, el controlador abre o cierra completamente la válvula. Cuando se cierra de nuevo el círculo de control y vuelve a funcionar el proceso, el controlador comienza a actuar con la válvula abierta o cerrada.

En el control de filtro de arena rápida, se produce el enrollamiento cuando se cierra un filtro para lavarlo, sin que se cierre al mismo tiempo la válvula efluente del filtro. Por lo que la válvula estará completamente abierta en el momento en que vuelva a ponerse en servicio el filtro. En controlador proporcional utilizado en un pozo de agua clara, no se enrollará cuando se cierra la planta y no pasen demandas sobre el pozo.

La acción proporcional produce una respuesta de la válvula, proporcional a la desviación de la medición con relación al punto de referencia. La respuesta de reposición es proporcional al tiempo durante el cual la medición está alejada del punto de referencia. La respuesta de derivación es proporcional a la rapidez con que se inicia la medición a partir del punto de referencia. A la acción derivada se le llama acción de anticipación.

Los sistemas de control de flujo, nivel, presión y calidad son los de mayor interés en el campo de agua potable. La elección del método y el dispositivo de control, depende de la naturaleza de la variable y de la aplicación.

Si se utilizara el control proporcional y de reposición, el nivel del pozo de agua clara podría mantenerse constante. El control proporcional aplicado a un pozo de agua clara, hace que el índice de filtración se duplique.

En el caso del control de nivel para un tanque de clarificación, el controlador proporcional actúa sobre la válvula de control ubicada a la entrada de agua del tanque. Si se usan válvulas gran-

des, es necesaria la acción más lenta del control proporcional para eliminar el golpeteo del agua.

Los problemas de control de flujo requieren normalmente el control proporcional más reposición, ya que el punto de referencia debe mantenerse en tolerancias bajas.

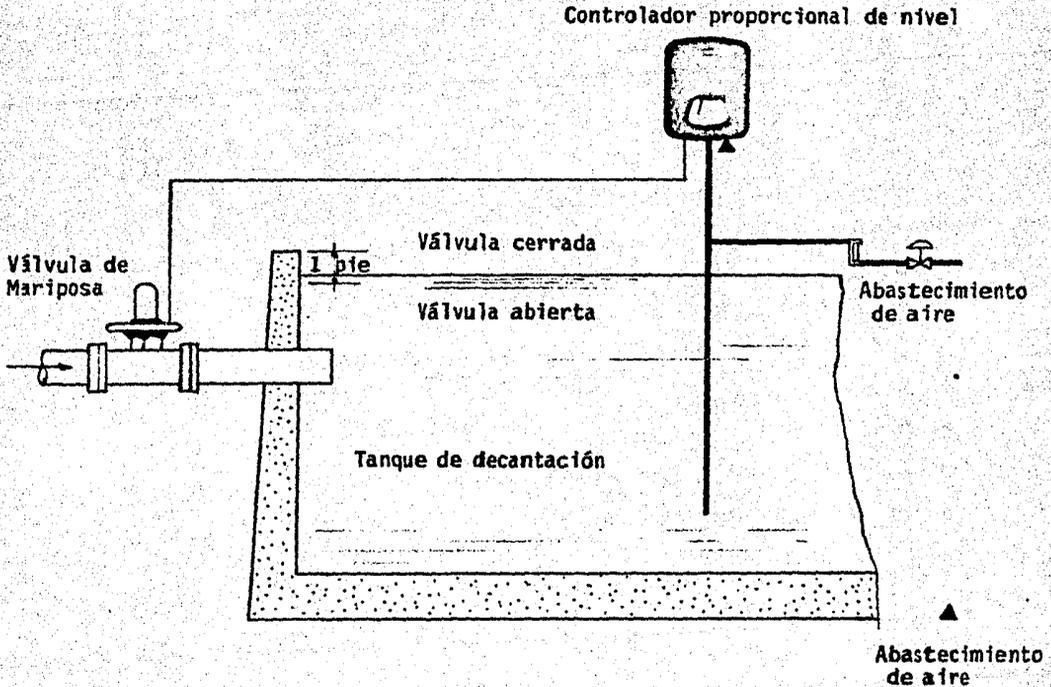


Fig. 4.5 Sistema de control de nivel para un tanque de decantación.

Un circuito típico de control de flujo, consiste en un dispositivo primario, un transmisor de flujo, un controlador y una válvula de control. En las estaciones de bombeo se hace variar con frecuencia la velocidad del motor de impulso de las bombas para controlar el flujo. En estos casos, la bomba impulsada a motor puede

de considerarse como la válvula, aunque la válvula disipa energía, el control de la bomba limita la cantidad de energía que pasa a la corriente.

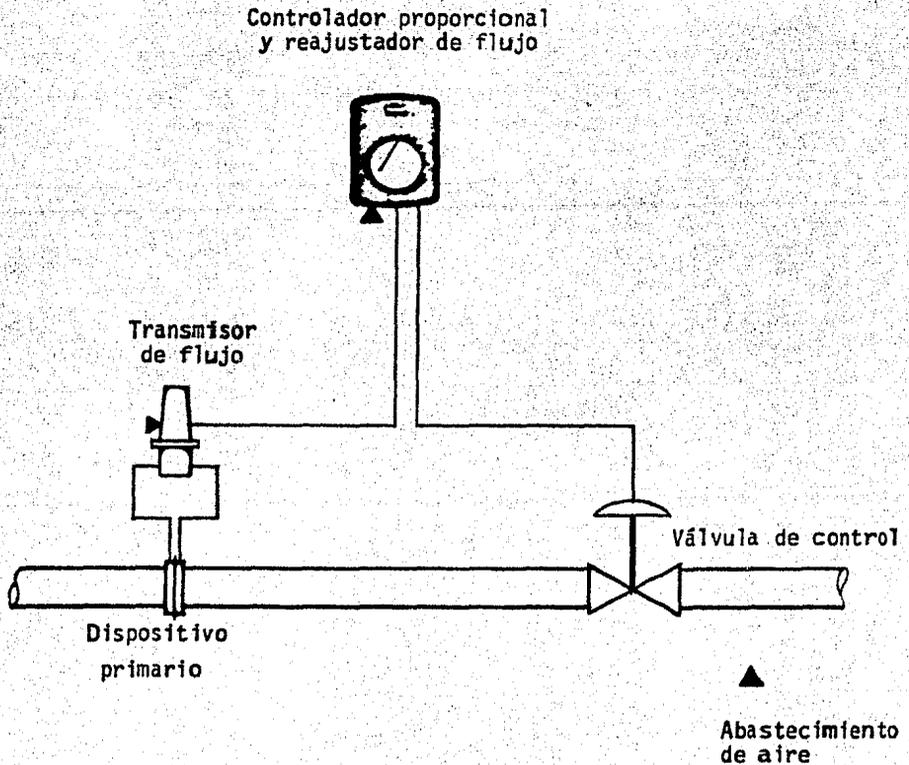


Fig. 4.6 Anillo de control de flujo

#### 4.4 ) Control de calidad

El control de calidad es muy importante en el tratamiento de agua potable. Algunos factores especiales que intervienen en el control de la calidad no existen en el control de variables físicas comunes, como el nivel, la presión o el flujo. Por ejemplo, el tiempo de retraso puede ser una consideración importante. Si se desea controlar el pH mediante la adición de cal, ésta debe mezclarse perfectamente y reaccionar con el líquido, o de lo contrario la lectu-

ra del pH será errónea. El tiempo que requiere una muestra para salir de la línea de proceso y llegar al elemento sensor del instrumento de medición, constituye un retraso. Por lo cual los elementos sensores, deben colocarse en la línea de proceso, o tan cerca como sea posible del punto donde se obtiene la muestra.

El control del pH requiere normalmente algún equipo dosificador con un alcance amplio, dosificadores y válvulas de dimensiones apropiadas y posiblemente un equipo con escala lineal para la medición de la concentración de iones de hidrógeno.

El cloro residual, sufre el efecto fuerte del tiempo de muestreo. El tiempo que requiere la muestra para salir del punto de muestreo y llegar al mecanismo sensor debe agregarse al tiempo que requiere el cloro para ser agregado y para que el licor clorado llegue al punto en donde se mide su residuo.

#### 4.5 ) Control en cascada

El control de cascada, se usa frecuentemente en el campo del tratamiento de agua. Este método involucra dos controladores interconectados de manera que un controlador determine el punto de ajuste del otro controlador. Cada controlador mide una variable diferente pero relacionada. La configuración usual se muestra en la siguiente figura. ( Fig. 4.7 )

La ventaja principal de utilizar el control en cascada, es que los cambios de carga que afectan a la variable secundaria pueden ser corregidos por el controlador secundario antes de que estos cambios se hagan sentir en la variable secundaria, pudiéndose mejorar la respuesta total del sistema.

El sistema en que se determina la rapidez de retención del pozo de agua clarificada es un sistema elemental de control en cascada. - Otro sistema en cascada, es el que tiene un controlador de presión -

que determina los controladores de flujo en bombas individuales que convergen en un tubo múltiple común. En ambos casos, la variable -- más importante es la que se regula mediante el controlador primario o principal. El controlador secundario auxiliar hace que cada bomba o filtro contribuya al control del primario. Cuando se tienen controladores individuales de flujo, cada filtro contribuye con la -- misma cantidad de agua; a su vez, la suma del flujo de los filtros satisface los requisitos del pozo de agua clarificada.

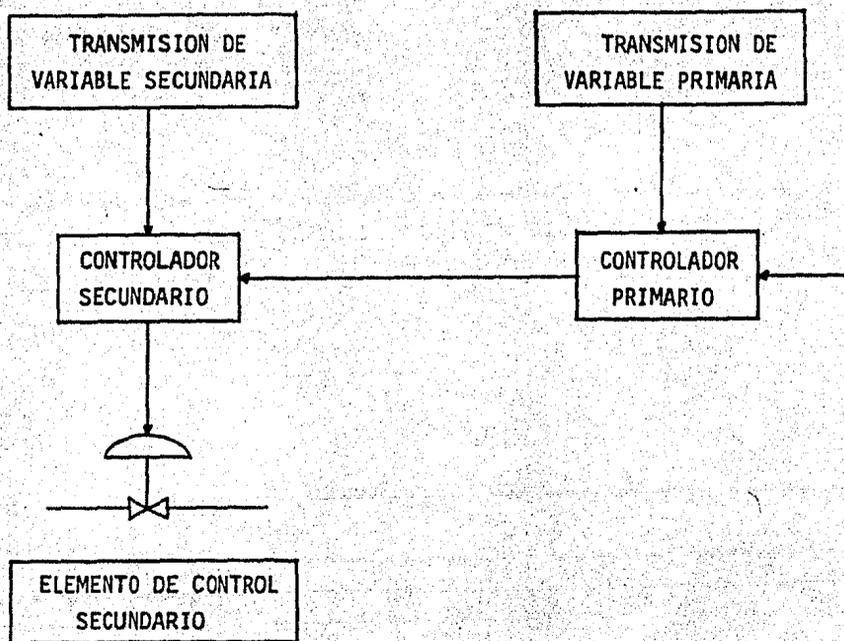


Fig. 4.7 Configuración del control en cascada

## 5. VALVULAS DE CONTROL AUTOMATICAS

Las válvulas de control automático, son los elementos finales de control en los sistemas de agua potable.

La mayoría de las válvulas tienen ciertas características estructurales en común, como son: un cuerpo capaz de soportar la presión, temperatura, corrosión, abrasión y otras propiedades de el fluido de proceso.

Válvulas de diferentes tipos son usadas en los sistemas de agua potable dependiendo de los propósitos específicos dentro del sistema.

Generalmente las válvulas de control automático, se usan para bloqueo ó control modulante; el bloqueo sirve para aislar la totalidad o parte del sistema, para efectuar diversas tareas como el mantenimiento, pruebas, etc.

Por ejemplo, si se controla el cloro residual, por la manipulación del índice de alimentación del clorador, éste actuará como válvula de control. De modo similar, si se controla el flujo haciendo variar la velocidad de la bomba, ésta actuará como válvula de control.

En un sistema de control de flujo, la válvula de control disipa energía para mantener el flujo en el valor previsto y equilibrar la ecuación hidráulica. Si se disipa 25 por ciento de la carga disponible en las tuberías de un sistema de control, hasta el 75 por ciento restante de la carga total, puede ser usado por la válvula para controlar el flujo. Para que pueda existir control, debe producirse esa pérdida de energía. Si puede controlarse el flujo o cualquier otra variable con la válvula casi abierta, es probable que ni siquiera se necesite el control.

Si la pérdida de carga del sistema de flujo es muy pequeña, bastará con una válvula de tamaño de la línea; no obstante si la pérdida de carga es mayor y la válvula es del tamaño de la línea, dicha válvula sólo tendrá una capacidad limitada para abarcar un valor amplio.

Las válvulas de control automático, pueden ser accionadas por medios eléctricos, hidráulicos o neumáticos.

A continuación, se mencionan los tipos más comunes de válvulas usadas en los sistemas de agua potable.

### 5.1 ) Tipos de válvulas de control

Válvulas tipo globo.- Son las más utilizadas, están constituidas fundamentalmente por el cuerpo que guía el fluido, además de sostener el asiento y un tapón de movimiento longitudinal que permite el mayor o menor paso del fluido al separarse del asiento.

Válvulas tipo mariposa.- Son válvulas de acción rotatoria y constan de un cuerpo de forma anular del tamaño de la tubería donde va a ser instalada. La parte móvil es un disco, cuyo diámetro coincide con el diámetro interno del cuerpo; el disco gira -- desde 0° a 90° por medio de una flecha conectada al actuador de la válvula.

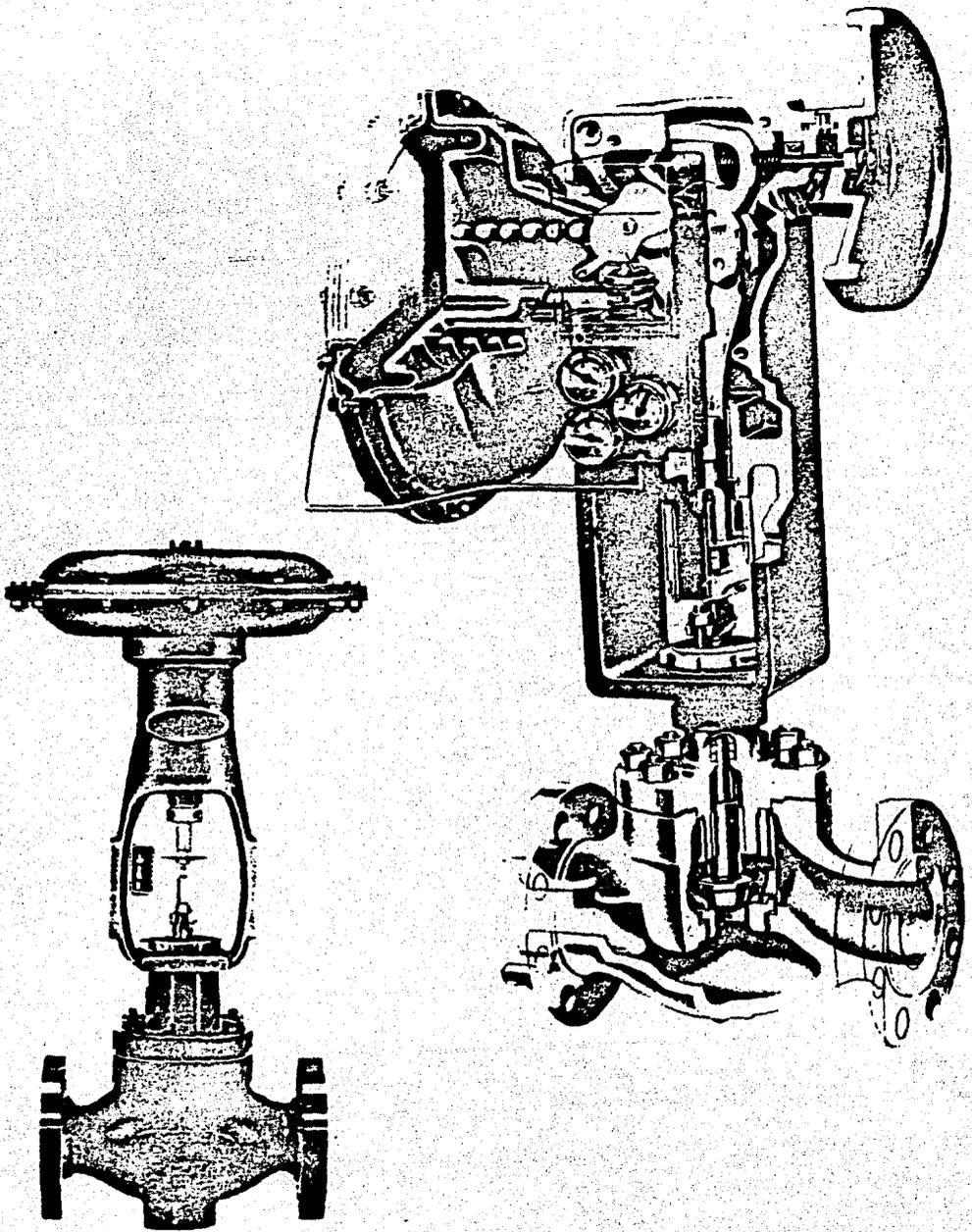


Fig. 5.1 A) Válvulas de control tipo Globo

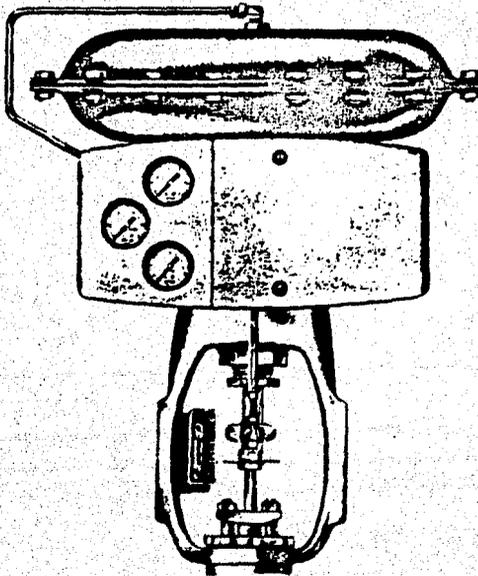
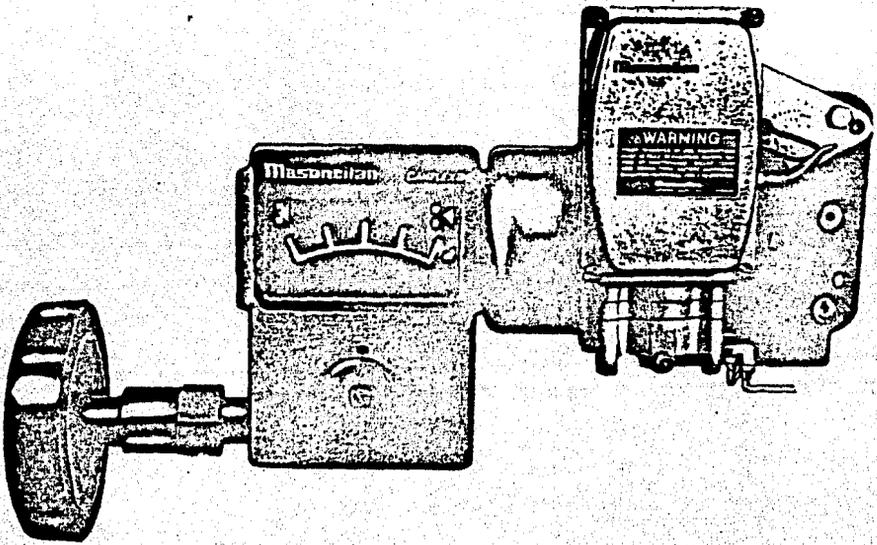


Fig. 5.1 B) Válvulas de control tipo Globo

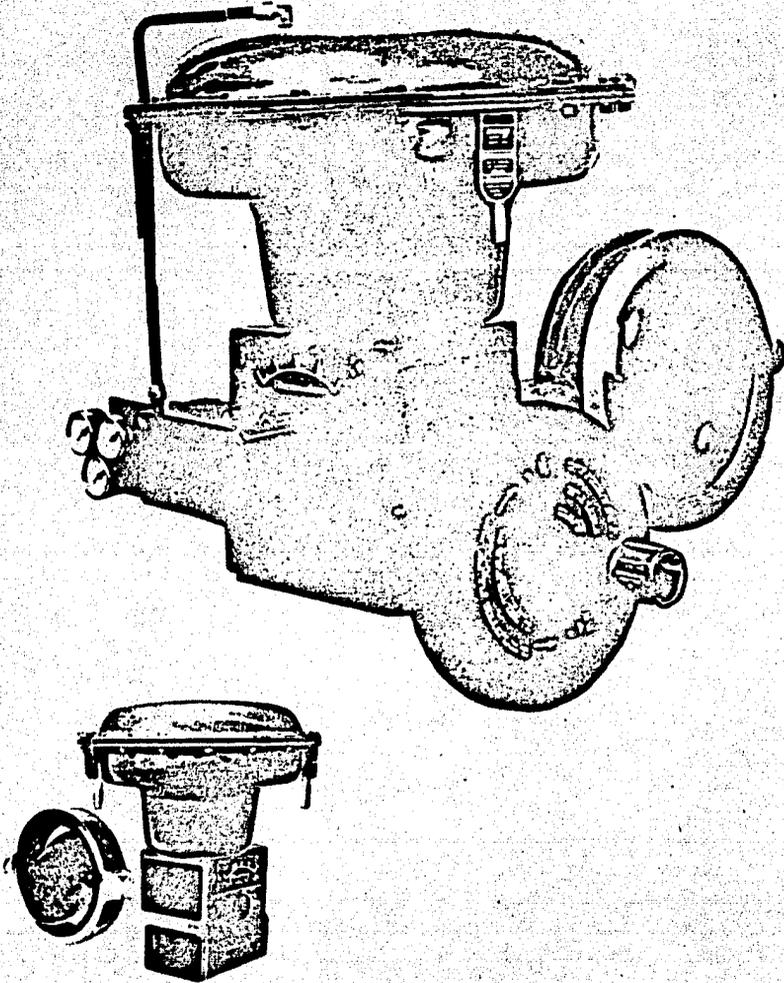


Fig. 5.2 Válvulas de control tipo Mariposa

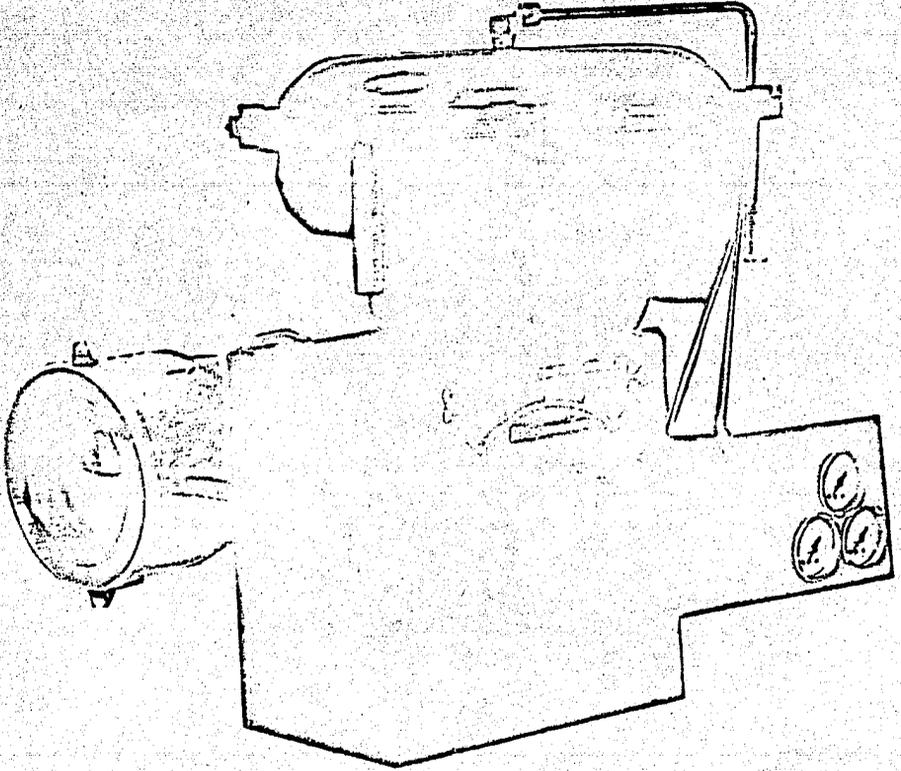


Fig. 5.3 A) Válvulas de control tipo Bola

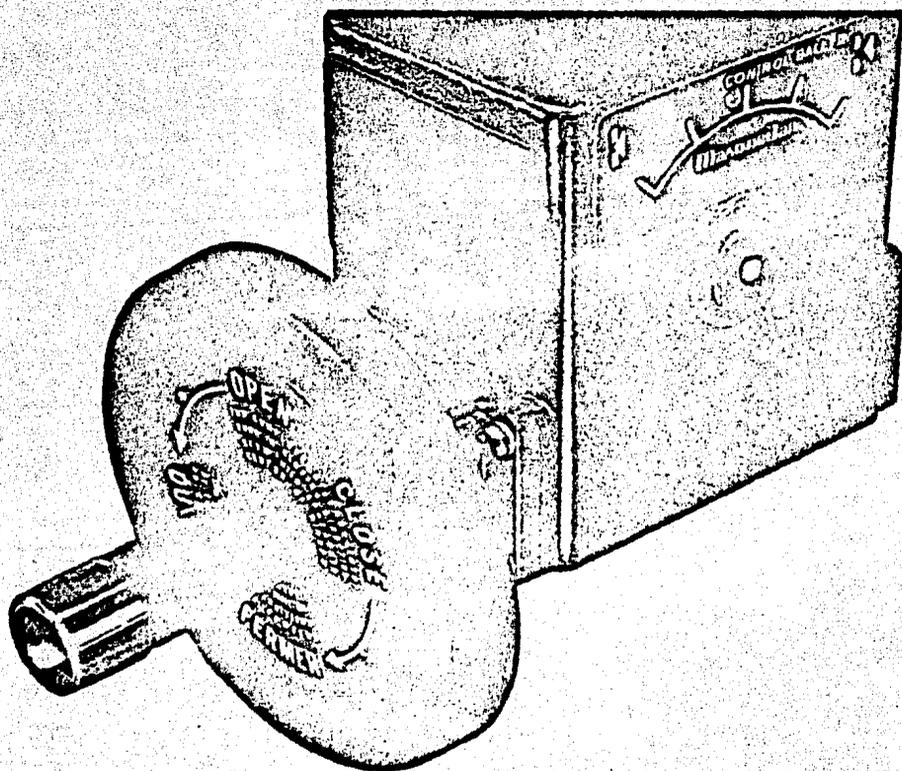


Fig. 5.3 B) Válvulas de control tipo Bola

**Válvulas tipo bola.-** El cuerpo de este tipo de válvulas - contiene una esfera con un corte adecuado para que al girar produzca la modulación del flujo. La esfera puede ser completa o sólo un segmento esférico conectado por una flecha al actuador de la válvula.

## 5.2 ) Actuadores de válvulas de control automático

El paso final en la especificación de la válvula de control, es usualmente la selección del actuador.

Si una fuente de suministro de aire es disponible, el actuador operado por diafragma o pistón neumáticos es la selección más económica.

Si la válvula está localizada a gran distancia del controlador, el diseñador de proceso frecuentemente opta por el control electrónico, usando entonces un transductor electro-neumático en la válvula. En caso de no disponer de señal de aire podremos usar un actuador eléctrico o electro-hidráulico.

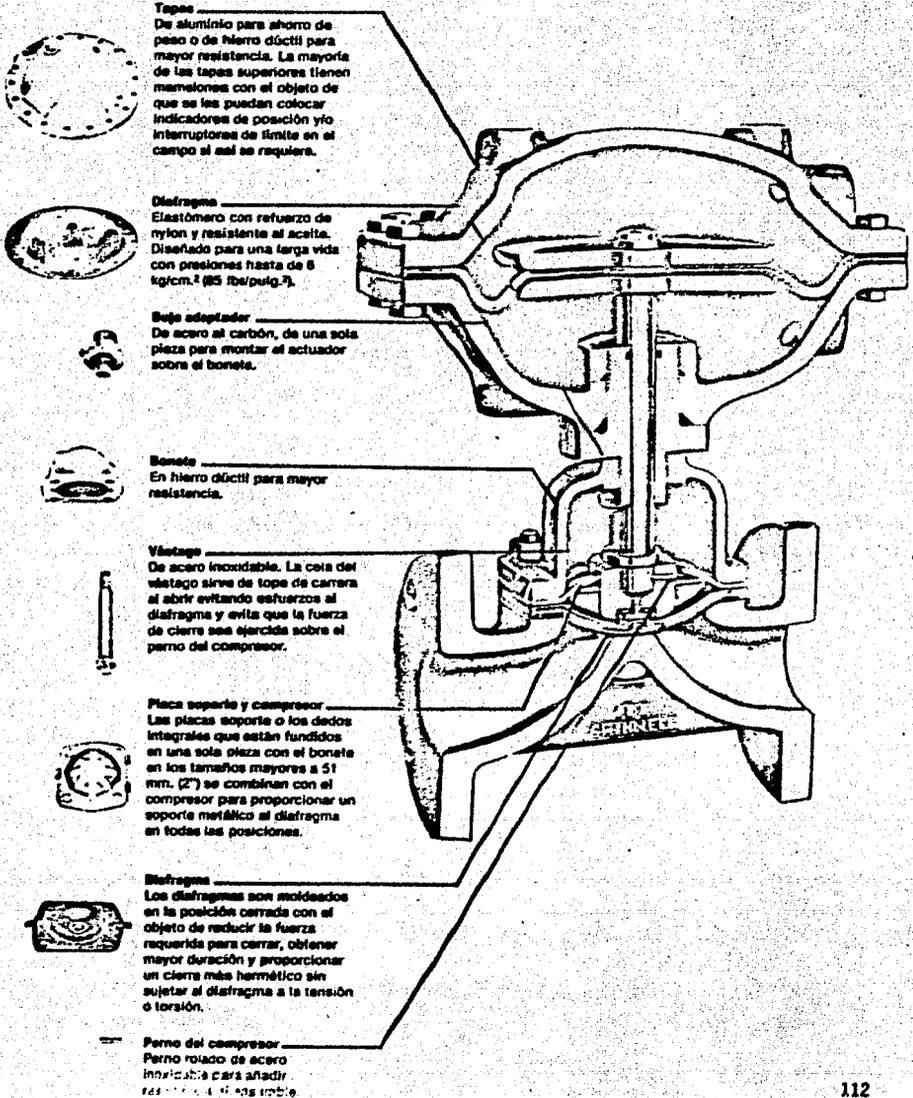
**Actuadores Eléctricos.-** Estos actuadores han estado limitados a los de tipo de motor eléctrico, ubicando la válvula por medio de engranes. No tiene muchas aplicaciones a causa de su precio y porque no puede adaptarse fácilmente al control como otros tipos de actuadores.

**Actuadores hidráulicos.-** Excepto por un cambio de materiales para reducir a un mínimo la fricción del pistón con las paredes del cilindro, los actuadores hidráulicos son prácticamente iguales que los neumáticos.

**Actuadores neumáticos.-** Estos actuadores básicamente son de dos tipos: el cilindro neumático y el actuador de diafragma o motor de aire. El cilindro neumático es una versión modificada --

Fig. 5.4

## Características generales de los actuadores



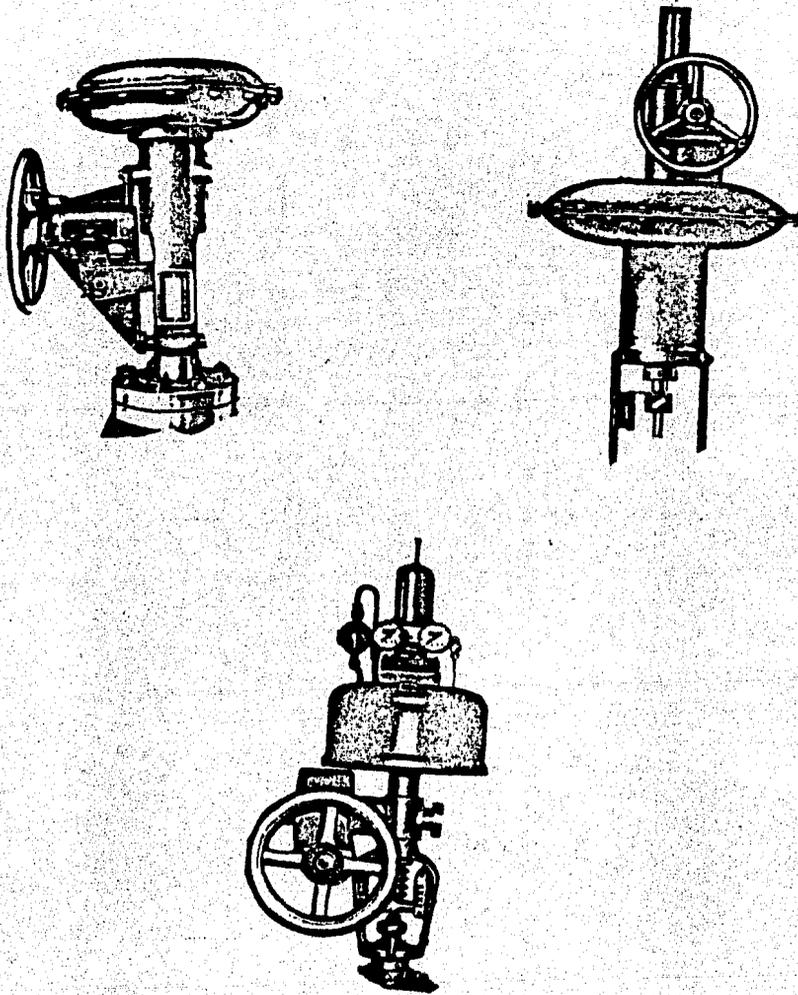


Fig. 5.5 Actuadores de Válvulas de control automático



Fig. 5.6 Actuadores Neumáticos

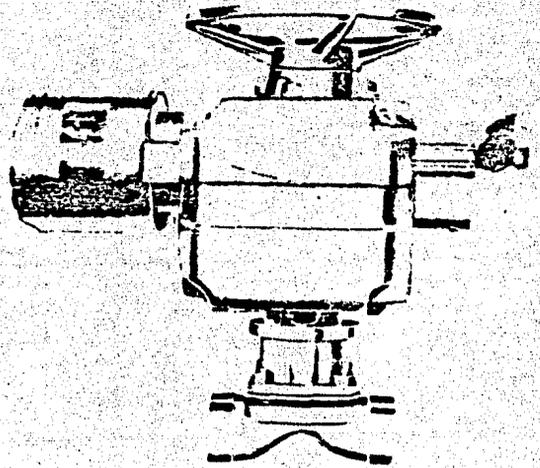


Fig. 5.7 Actuadores Eléctricos

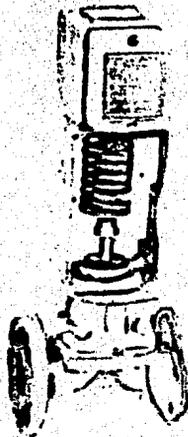


Fig. 5.8 Actuadores Hidráulicos

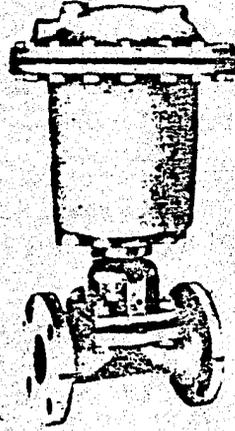
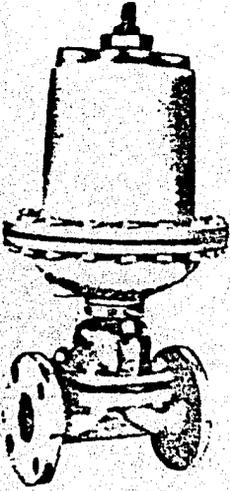


Fig. 5.9 Válvulas operadas Neumáticamente

del cilindro hidráulico típico que es usado en plantas de tratamiento de agua. La modificación, consiste en que el neumático está construido con materiales diferentes que el hidráulico, para combatir los efectos corrosivos del agua.

El motor de aire consiste en un dispositivo de diafragma opuesto a un resorte, en el que el aire a presión aplicado a uno de los lados del diafragma, se opone a la fuerza del resorte, ubicando al mismo tiempo la válvula interna. Cuando se retira el aire del motor el actuador se desplaza en dirección contraria.

Gracias a este dispositivo, puede hacerse que las válvulas se ubiquen con seguridad, ya sea en posición abierta o cerrada. Las condiciones específicas y las fuerzas hidráulicas que intervienen determinan el tamaño del motor usado con una válvula. En general los motores de aire pueden usarse con válvulas de mariposa de 250 milímetros de diámetro o menor, para servicios de agua.

### 5.3 ) Posicionadores

Los posicionadores son el complemento de los actuadores y son muy utilizados en control modulante.

El posicionador es un dispositivo que recibe la señal de control y una medición de la posición del vástago de la válvula; compara las dos señales y manda al actuador una señal de corrección que hace que el actuador lleve a la válvula exactamente a la posición requerida.

Los posicionadores reducen el tiempo de respuesta del actuador y en algunos casos proporcionan señales amplificadas de presión en casos donde se requieren fuerzas relativamente grandes en el actuador.

#### 5.4 ) Características de una válvula de control.

Se entiende por característica de una válvula, a la función que relaciona la apertura de la válvula con el porcentaje de flujo que pasa por ella.

Se obtienen distintas relaciones mediante el uso de tapones de diferentes formas.

Las tres características de flujo más comunes de una válvula son: de apertura rápida, lineal y de igual porcentaje. Ellas son - una medida de la inherente capacidad de flujo de una válvula con -- una caída de presión constante a través de ella conforme el tapón - viaja.

Característica de apertura rápida: permite grandes flujos desde el principio de la carrera del vástago de la válvula. Esta característica normalmente se emplea para control abierto-cerrado.

Característica lineal: Se obtiene igual porcentaje de flujo a igual porcentaje de carrera del vástago.

Característica de igual porcentaje: a incrementos iguales de apertura, se tienen incrementos iguales pero en proporción al flujo. - Con esto se obtienen cambios pequeños de flujo cuando la válvula - está próxima al cierre y cambios grandes de flujo en aperturas mayores.

La aplicación apropiada de las válvulas de control en el campo de la Ingeniería sanitaria, exige que se tomen en cuenta muchas -- consideraciones que no figuran normalmente en los diseños.

Se lograrán resultados mucho más satisfactorios en el funcionamiento de los sistemas de válvulas de control, si se toman en cuenta las características hidráulicas de las válvulas de control y su influencia sobre un sistema hidráulico total.

Existen diferentes métodos para instalar válvulas de control en las tuberías, y los más comunes son por medio de conexiones de roscadas, con bridas y soldadas.

Las conexiones roscadas, son muy comunes en válvulas pequeñas hasta de dos pulgadas y son más económicas que con extremos bridados. Las roscas son usualmente especificadas como "hembra" en el cuerpo y como "macho" en la tubería. Este tipo de conexiones no es recomendable para servicios a temperaturas elevadas y su mantenimiento es difícil, ya que para retirar la válvula de la tubería, es necesario cortar una parte de ésta última y desenroscarla.

Conexiones con bridas.- Las válvulas con extremos bridados - pueden ser fácilmente removidas de la línea y son apropiadas para el uso a través del rango de presiones, para las cuales la mayoría de las válvulas son fabricadas. Las conexiones con bridas, son usadas en un rango de temperaturas desde cero absoluto hasta 1500°F y son disponibles para todos los tamaños de válvulas.

Conexiones soldadas.- Estas conexiones tienen la ventaja de ser herméticas a cualquier presión y temperatura y son económicas - en principio. Las válvulas con este tipo de conexiones son más difíciles de retirar de la línea y están limitadas a los materiales soldables.

El bonete, normalmente proporciona un medio de montaje del - actuador al cuerpo, además de contener los empaques para sello.

En una válvula de globo, el bonete está hecho del mismo material del cuerpo, ya que estará sujeto a las mismas condiciones de presión, temperatura y corrosión que el cuerpo.

El tipo de conexiones más común entre el cuerpo y el bonete - es la brida perñada, sin embargo el bonete usado en válvulas de globo para alta presión va roscada al cuerpo.

La selección de la configuración de la válvula, depende de la máxima caída de presión esperada, del tipo de fluido y de las limitaciones de la temperatura.

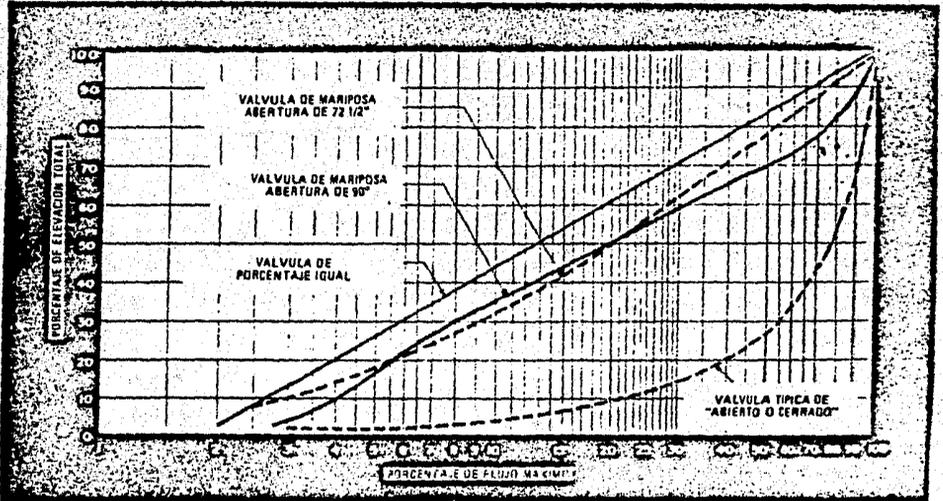


Fig. 5.10 Curvas características de las Válvulas de control

## 6. CONTROL DE DOSIFICADORES QUIMICOS

El control de los dosificadores químicos se basa en los principios de los sistemas de control de circuito abierto y cerrado.

El sistema de circuito abierto, no tiene retroalimentación, de modo que el dosificador se hace funcionar de acuerdo a una proporción con alguna variable. No se ejerce una verificación cruzada de la precisión del dosificador ni de la cantidad de material suministrado.

Por ejemplo, cuando un clorador de circuito abierto, funciona correctamente, suministra cloro en proporción al gasto, pero no com pensa los cambios de la demanda de cloro.

La adición de cal en proporción al flujo de agua, es otro ejemplo de un sistema de circuito abierto. Este método es adecuado para controlar la corrosión, a condición de que no cambien las características del agua, en cuyo caso variarían las cantidades necesarias de cal.

## 6.1 ) Control de duración de impulso

En este tipo de control, un integrador o totalizador de duración de impulso hace funcionar el dosificador de compuestos químicos en proporción al flujo. Los integradores de duración de impulso consisten, en una leva giratoria y un contactor (Fig. 6.1). La posición del contactor está determinada por el gasto.

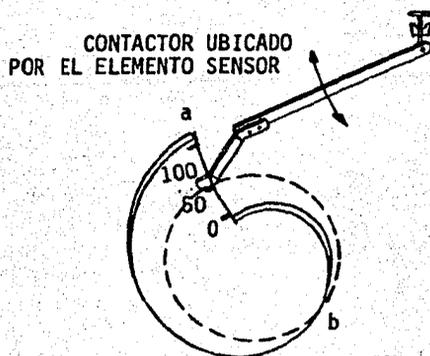


Fig. 6.1 Integrador de duración de Impulso

Los controles de arranque del motor pueden operar los dosificadores en paralelo con el cierre del contactor utilizando un relevador.

En la siguiente figura, se muestra un medidor de flujo conectado directamente a un controlador de duración de impulso. Deberá utilizarse un transmisor de flujo cuando el sistema de registro esté por encima del gradiente hidráulico.

Los productos químicos, se aplican sólo parte del tiempo cuando hay cierto flujo de agua no tratada, estos productos se descargan en unidades de proceso de gran capacidad, como cuando se usan -

bombas de dosificación, o cuando en un tanque de solución de químicos con una capacidad mínima para la operación de bombeo se utilizan dosificadores de productos químicos secos. Las grandes capacidades de las unidades compensan la intermitencia de la alimentación.

La técnica de control de duración de impulso es la utilizada con mayor amplitud en el campo de la Ingeniería sanitaria. Lo único que se necesita para establecer un sistema de control semejante, es la adición de un relevador portador de carga a un integrador medidor de flujo, y el empleo de un motor trifásico con un dispositivo de arranque en una bomba dosificadora o un dosificador de productos químicos. En el caso de un clorador, son necesarias otras disposiciones más complejas, ya que la señal de impulso debe transmitirse a un vacío.

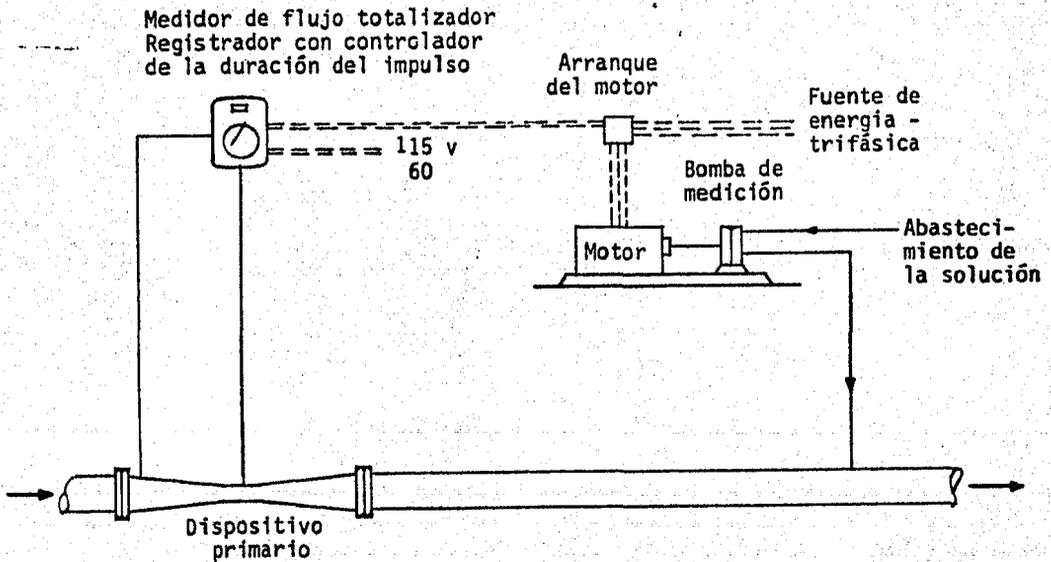


Fig. 6.2 Control de duración de impulso en una bomba de medición.

## 6.2 ) Control al vacío

El control de vacío es un sistema de control de circuito - abierto, que sólo se aplica a los cloradores. Este sistema consiste en un instrumento de flujo que controla por medio de un dispositivo chapaleta-boquilla, la entrada de aire a la línea de vacío del clorador para mantenerlo en un valor que varía en forma directamente - proporcional a la diferencial de presión o al cuadrado del flujo. El vacío es producido por el inyector del clorador y este mismo es el que hace funcionar normalmente un clorador de solución.

En los dispositivos primarios que miden el flujo por medio de la técnica diferencial, el flujo es proporcional a la raíz cuadrada de la presión diferencial. Esta misma relación se aplica a un clorador.

El control al vacío de los cloradores es independiente de cualquier fuente de energía, ya que utiliza el vacío generado por el agua que fluye por el inyector de cloro, por lo tanto, el control al vacío es ideal para instalaciones remotas y no atendidas.

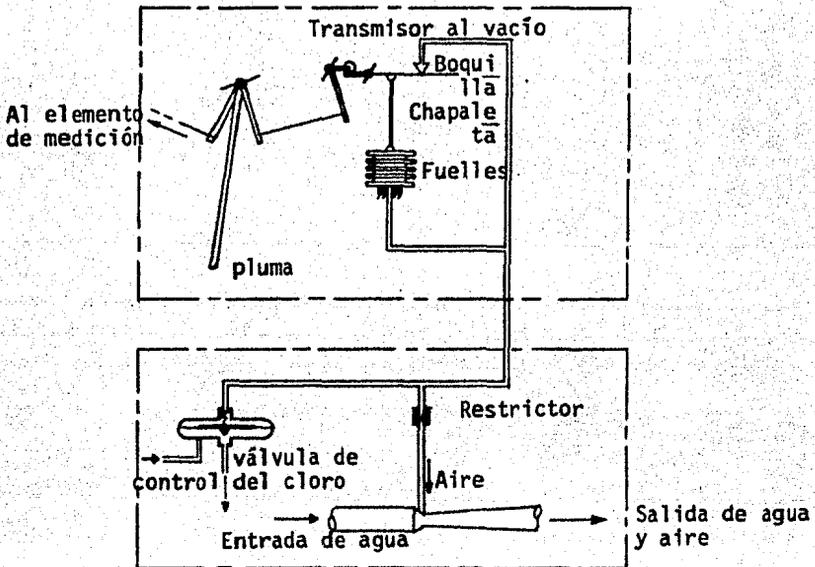


Fig. 6.3 Control de circuito abierto de un clorador mediante el vacío.

### 6.3) Control neumático

En el control neumático de los alimentadores o dosificadores de productos químicos, se utiliza la señal neumática ordinaria de 3 a 15 libras. La señal debe ser uniforme con el flujo, en éste caso la señal neumática puede aplicarse de diferentes formas, según el tipo de alimentador de que se trate. En los dosificadores que tienen dos ajustes, como es la velocidad de funcionamiento y volumen de dosificación, uno de los ajustes puede hacerse proporcional al flujo y el otro a la dosificación. Con frecuencia se utiliza la señal neumática para hacer variar la velocidad en proporción al flujo.

La dosificación, se controla, mediante el ajuste del avance u otra graduación de la dosificación. Si puede activarse neumáticamente el ajuste del volumen, podrá efectuarse a control remoto.

En el caso de una bomba dosificadora, la señal neumática hace variar linealmente la velocidad del motor, y el avance de la bomba es el que ajustará la dosificación.

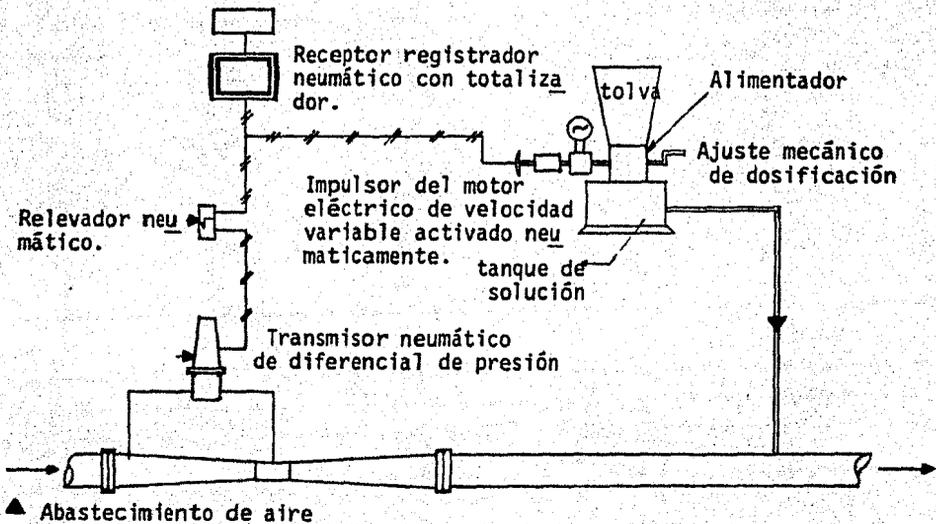


Fig. 6.4 Control neumático de circuito abierto de dosificador

La señal proporcional al flujo la da un transmisor neumático y se aplica a un relevador de relación. La dosificación puede ajustarse haciendo variar el ajuste de proporción, por lo que la cantidad que va al alimentador es igual al producto del flujo por la dosificación.

El control electrónico, proporciona una señal que varía continua y proporcionalmente al flujo. Por medio de un control electrónico, resulta más fácil hacer variar la velocidad del motor que impulsa un alimentador. En las instalaciones recientes se está utilizando el control electrónico debido a su precisión y simplicidad, ya que también elimina la necesidad de un compresor de aire.

#### 6.4) Control de circuito cerrado

El control de dosificadores mediante un circuito cerrado, requiere la medición de la cantidad de material que se dosifica o de su efecto en la corriente del proceso. En el control del circuito cerrado del residuo de cloro, requiere la medición continua de este elemento en la corriente de agua. Este tipo de control es similar al de circuito abierto, excepto por la medición que retroalimentará al controlador. Este tipo de control se utiliza con mayor frecuencia en el tratamiento de agua, debido a que es difícil obtener buenas mediciones en el tratamiento de los albañales.

La mayoría de los sistemas de control de circuito cerrado, usan dispositivos neumáticos. Un sistema típico de control de esta clase para la dosificación de compuestos químicos en solución como la sosa cáustica o el alumbre, es muy semejante a cualquier otro sistema de control ordinario de flujo, excepto por el tamaño y la naturaleza de los elementos de control.

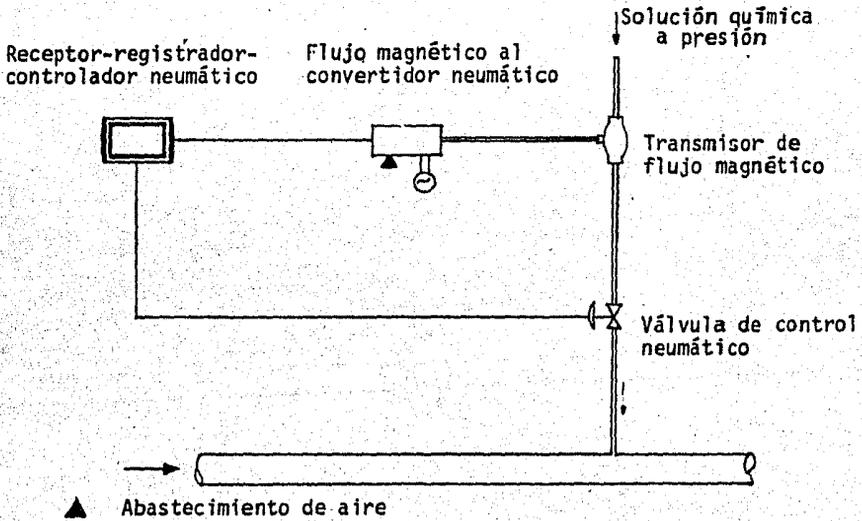


Fig. 6.5 Sistema de circuito cerrado de alimentación de solución.

Todos los dosificadores de compuestos químicos secos, usan un tanque de solución, en el que el compuesto seco se prepara como solución acuosa o como mezcla. Los cambios en la cantidad del compuesto químico seco que se está dosificando deben hacer variar la concentración de la solución del tanque antes de que se deje sentir su efecto total.

El control neumático de los dosificadores se efectúa cambiando el avance del dosificador, cuando opera a una velocidad constante. Según el diseño del dosificador, esto puede lograrse interviniendo normalmente un motor de aire.

Estos métodos de control utilizan un controlador independiente que puede desempeñar cualquiera de las funciones normales de control, proporcional, proporcional con reposición o con tanque derivado.

El llamado controlador de entrada, en el que las funciones normales de control se convierten en una señal de duración de impulso, se usa más frecuentemente en sistemas de control eléctrico.



## 6.5 ) Dosificadores de compuestos químicos

Los dosificadores, son dispositivos muy flexibles, que pueden combinarse con gran número de accesorios y numerosa variedad de configuraciones, para producir cualquier resultado deseado.

El control de dosificadores de compuestos químicos es una función de su diseño, de su método de operación, ajuste y de su finalidad. Para lograr un control efectivo de estos dosificadores es necesario conocer todos los tipos existentes, las formas de operación, sus limitaciones y la precisión de las diferentes clases de aparatos existentes.

Una forma de variar la velocidad de un dosificador, es regulando la velocidad del motor que lo impulsa. En una operación de arranque y paro, generalmente se usa un motor trifásico y un dispositivo de arranque sobre la línea. Los motores monofásicos de polos compensados se usan ocasionalmente con pequeñas bombas de dosificación.

Los dosificadores volumétricos descargan un volumen medio de compuestos químicos, ya sean líquidos o secos por unidad de tiempo. El dosificador de sales secas, consiste en una tolva que contiene las sales, un dosificador y un tanque de solución. El sistema permite el paso de las sales secas a una velocidad controlada de la tolva, pasando por el dosificador al tanque de solución. Este tanque está siendo abastecido constantemente de agua. Después de la agitación necesaria, la solución o mezcla de compuesto y agua pasa sobre un vertedor hacia el sistema de tratamiento.

La precisión de un dosificador de sales secas está limitado por el grado de apelmazamiento de la sal seca, puesto que se está midiendo un volumen y no un peso. La precisión fundamental del sistema de dosificación se altera si cambia la densidad del material seco.

El diseño del dosificador debe compensar las características de derrame de las sales secas, es decir el fenómeno que producen algunas sales secas que hacen que fluyan en forma semejante al agua cuando tienen un tamaño determinado de grano y ciertas disposiciones en la distribución. El grado de apelmazamiento depende de la cantidad de sal seca que se encuentra en la tolva del dosificador.

En general se considera que los dosificadores volumétricos de sales secas son precisos, dentro de un 5 %. Sus limitaciones, se deben a las variables fundamentales producidas por cambios en la densidad del compuesto químico.

Además de la operación de encendido-apagado, los dosificadores volumétricos de sales secas pueden controlarse cambiando la velocidad de operación o la longitud del avance mecánico. En el control continuo de circuito cerrado o abierto, la velocidad del motor o tiempo de funcionamiento es la variable más usada, siendo el avance mecánico el que determina la capacidad máxima del dosificador en condiciones determinadas.

Aunque una bomba de dosificación es un dosificador volumétrico de solución, su precisión es superior a la del dosificador volumétrico de sales secas, debido a las características de la solución. El apelmazamiento no es un problema como lo es en un dosificador de sales seca, y la única limitación es la precisión mecánica de la bomba de dosificación.

Los dosificadores gravimétricos pesan los productos químicos que deben agregarse y por lo general solo se usan para los compuestos químicos secos. Existen muchas variaciones de los dosificadores gravimétricos, desde el tipo que pesa la cantidad de compuestos sobre una banda móvil, hasta los que pesan el cambio de peso del compuesto dentro de la tolva de almacenamiento. Estos dosificadores poseen sistemas internos de control, de modo que los instrumentos neumáticos o electrónicos se usan como partes integrantes del dosificador para controlar la relación de dosificación.

En el control de un dosificador gravimétrico moderno, un circuito externo de control, que es el controlador principal, ajusta a un control auxiliar, que es una parte integrante del dosificador.

#### 6.6) Elección del dosificador

Cuando se trata de seleccionar un dosificador para un sistema particular, deben tomarse en cuenta varios factores: Conocer - si es necesaria una precisión extrema, si son muy importantes los ahorros que se obtienen de compuestos químicos para justificar el uso de un dosificador gravimétrico, etc.

En una planta de capacidad media, se obtienen pocas ventajas al usar un dosificador gravimétrico para cualquiera de los químicos comunes. Si los compuestos químicos que se dosifican son polielectrolitos que requieren dosis precisas para ser efectivos y el potencial Z se usa para determinar la dosificación adecuada, puede justificarse el uso de un dosificador sumamente preciso.

La precisión de los dosificadores varía ligeramente de unos a otros, pero en general constituye un factor correcto para usarla con fines de diseño. Los cloradores difieren en si funcionan o no de acuerdo con el tamaño de un orificio o por el control de vacío. El control de vacío, depende de la capacidad del regulador de presión de cloro para mantener la presión de cloro en el extremo de carga del clorador.

La precisión del sistema depende no sólo del dosificador, si no también de la instrumentación que dirige su funcionamiento. La precisión de los dosificadores de sales secas que funcionan - respondiendo a un sistema de circuito cerrado, depende del diseño del sistema en particular y de su capacidad para controlar la variable en el punto de referencia.

Para grandes instalaciones, cuando se desea dosificar proporcionalmente al flujo, se pueden obtener reducciones de costos importantes de compuestos químicos, utilizando sistemas de retroalimentación, con medidores magnéticos de flujo y válvulas de control.

El sistema de control de circuito abierto, es la técnica más empleada para agregar compuestos químicos en proporción al flujo. Este sistema utiliza casi siempre en dosificador de compuestos secos, gravimétrico o volumétrico, o bien una bomba de dosificación u otro tipo de dispositivo de dosificación volumétrica de soluciones.

El único sistema de dosificación de circuito cerrado que descarga los compuestos químicos proporcionalmente al flujo, utiliza un dispositivo de medición, un medidor magnético de flujo, un controlador y una válvula.

En un sistema de control de circuito cerrado, que responde a los cambios de variables como el pH, generalmente se encuentran dificultades debido a los grandes retrasos de la determinación del pH. Se producen retrasos reales en el sistema de medición y retrasos en el tiempo de reacción del proceso.

Estos problemas hacen que el uso de la cal como reactivo, para la corrección del pH, sea muy impráctico, excepto en procesos en los que el pH cambie muy lentamente y que el flujo varíe muy poco. Las combinaciones de dosificador que preparan una lechada de cal y la bombean por un sistema de recirculación son más efectivas porque pueden eliminar el retraso en el tanque de solución.

Se pueden efectuar modificaciones en un dosificador, que ayudan cuando se utiliza un control por retroalimentación para controlar el fluoruro o el pH.

Un dosificador volumétrico, puede modificarse de tal forma que prepare una solución de concentración básicamente constante. El flujo de la solución se regula mediante una válvula de control situada a la salida del tanque de solución, necesitando instalar controles de nivel en el tanque, ya que el arranque y la determina

ción del dosificador se basan en el nivel del tanque de solución. Esta modificación logra realmente que el dosificador constituya un dispositivo para convertir un compuesto químico seco en una solución de concentración relativamente constante.

Desde el punto de vista mecánico, la aplicación de la instrumentación a dosificadores es una función del diseño del dosificador, - por lo tanto, las técnicas relacionadas con el diseño del dosificador, deben evaluarse minuciosamente antes de aplicar una instrumentación.

La instrumentación básica para el control del dosificador es - muy parecida en todos los fabricantes. Las variaciones reales se registran en el diseño de los dosificadores.

## 7. INSTRUMENTACION EN PLANTAS POTABILIZADORAS

La instrumentación y automatización en una planta de tratamiento de agua, es una decisión de diseño. El control más sofisticado no es siempre el óptimo.

En efecto, la primera pregunta que un ingeniero debe hacerse es: ¿Es necesario el control para el proceso?

Los grados de control pueden ser diseñados dentro de un proceso como sigue:

- Sin control
- Control manual
- Control supervisado
- Control automático
- Control computarizado

Esto es determinado por alguna forma de control necesaria, - debiendo ser evaluados los siguientes factores:

- Tamaño y complejidad de la planta
- Horas de operación por día
- Posibilidad de entrenamiento al personal de instrumentación
- Estimación del número de elementos de control

- Tiempo de respuesta de las variables del proceso
- Frecuencia de la supervisión del operador
- Economía en el diseño de la planta

El control manual será a la larga el más caro entre los sistemas mencionados. La opción de no tener un control no es una alternativa práctica, ya que el proceso no podrá ser operado satisfactoriamente con costos efectivos.

La instrumentación es usada y operada por la facilidad con que se desarrollan varios servicios, incluyendo la medida y el control de parámetros del proceso. Usualmente se justifica el capital invertido en el hecho de que el sistema dará un aumento de eficiencia, una economía de operación y una mano de obra reducida.

La estación de bombeo es considerada por muchos como el corazón de la planta, pero las instalaciones de medición también son necesarias. Los parámetros en los monitores de la estación de bombeo son: niveles, gastos, presiones y alarmas de los interruptores de protección de los motores y las bombas.

El funcionamiento de los controles de nivel del recipiente - al cual está conectada una bomba de una planta de tratamiento debe ser uniforme y dar una carga constante para el pretratamiento del proceso. Se debe tener cuidado en la selección conveniente de la instrumentación, porque la estación de bombeo deberá estar libre de altas turbulencias o pérdidas de velocidad y algunas veces expuesta a la corrosión.

La variable usada para el control, es la elevación de la superficie del agua, cuando el promedio del bombeo es variado por la mezcla de incrementos como operadores flotantes y neumáticos, el sistema de control eléctrico es comercialmente usado.

La medida de los datos del motor de la bomba son necesarios - para la determinación de cómo está operando la estación de bombeo. Deberán probarse el voltaje, la potencia, las revoluciones, la temperatura, la velocidad, las vibraciones y presiones de succión y -

descarga, éstos datos serán usados para el cálculo del costo de tratamiento, cálculo de eficiencia, mantenimiento preventivo y el mantenimiento de rutina. Las mediciones podrán ser obtenidas usando un voltmetro, un amperímetro, un manómetro, etc.

Normalmente la planta consiste en una serie de seis unidades por las que pasa el agua. Algunas de estas, como es la filtración se componen de trayectorias paralelas cuyo número es determinado por el tamaño y la capacidad de la planta.

Una planta de tratamiento de agua nunca satisface directamente la demanda de una comunidad, produce a una velocidad relativamente constante y almacena el exceso de producción para responder a demandas futuras. Las distancias de transmisión en una planta de tratamiento de agua potable, son relativamente cortas, ya que por lo general las unidades se alojan en una misma estructura, por lo que se puede usar la transmisión neumática.

Hay varios hechos fundamentales de control que determinan el diseño del sistema de control para una planta de tratamiento de agua potable. El más importante es, que las variables de un circuito determinado de control deben tener una relación entre sí.

Por ejemplo: no siempre se puede establecer una velocidad de filtración midiendo el nivel de agua en el asentamiento, si en uno de los extremos del depósito existe un vertedor, debe usarse el nivel del filtro, porque el del depósito está hidráulicamente aislado del nivel de los filtros. Si los vertedores están sumergidos, la pérdida de energía es suficientemente grande para que las variaciones del nivel en las cámaras de sedimentación, se anulen por las pérdidas en los vertedores del efluente.

Teóricamente, se puede igualar el gasto que sale de los filtros con el que entra a la planta, o con el efluente que sale del pozo de agua clarificada y que llega al depósito gracias a las bombas de alto servicio.

Esto en la práctica no es posible, para controlar el flujo de agua, las válvulas deben hacer variar los gastos. Si el gasto cambia, los niveles deben cambiar en cualquiera de los diversos tanques abiertos, como los depósitos de sedimentación, los filtros, los pozos de agua clarificada, etc. Sin embargo el cambio en los niveles puede ser lento, debido al tamaño del tanque y puede requerir hasta una hora o un día para efectuar un cambio en el flujo de entrada de algunos tanques. Los métodos de control, que consisten en la igualación efectiva de los flujos, sin mediciones o compensaciones intermedias del nivel, es raro que proporcionen buenos resultados.

La instrumentación para la medida de las pruebas de flujo de agua, incluirán medidores magnéticos, tubos Venturi, tubos de flujo, medidores tipo turbina, vertedores, canales Parshall, medidores de área variable, boquillas, medidores de diafragma de desplazamiento positivo, etc.

Las mediciones del flujo son importantes porque son datos necesarios para la determinación de la eficiencia de la bomba, para el cálculo del costo del tratamiento y para los promedios diarios de flujo.

Deberá tenerse cuidado en la selección de los aparatos de medición para que no tengan obstrucciones donde los azolves puedan acumularse.

Las alarmas, son el aspecto más importante de la instrumentación de una estación de bombeo, los relevadores son usados en circunstancias cuando se aplica un control central, es así como el operador es alertado para prevenir cualquier obstrucción de la estación de bombeo, es importante que este sistema de control sea localizado en la estación y tenga un mantenimiento constante, las señales de alarma deberán incluir los niveles altos y bajos del agua, para que la bomba no trabaje en vacío.

La operación de la bomba, la sobrecarga, y la pérdida de potencia también deberán estar protegidos con el sistema de alarma. Las alarmas visuales son una buena elección en caso de que los parámetros no causen una situación de emergencia si hay un mal funcionamiento

La combinación audiovisual será usada en áreas críticas con un interruptor manual para silenciar el audio y la alarma visual se mantendrá hasta que la situación sea corregida.

El agua que entra por el extremo superior de una planta de tratamiento de agua fluye a través de las unidades por la acción de la gravedad, hasta llegar al pozo de agua clarificada, en donde se almacena hasta ser bombeada para hacerla llegar al consumidor. Se pueden usar bombas de poco empuje para ayudar a que el agua llegue a la planta, pero el flujo por la planta generalmente se efectúa por gravedad.

La mayoría de las plantas de tratamiento de agua potable, utilizan la coagulación química, el ablandamiento, la filtración, etc., y pueden operar a una velocidad constante de producción o responder a la demanda de bombas de alto servicio, estas demandas no deben igualarse a las del sistema de distribución. Las bombas sacan agua del pozo de agua clarificada para conducirla a los depósitos, los cuales compensan el déficit entre la demanda y la oferta.

### 7.1) Control de velocidad de filtración

La filtración se emplea para obtener una mayor clarificación, y generalmente se aplica después de la sedimentación.

Existen varios tipos de filtros con características que varían de acuerdo con su empleo.

Para uso doméstico, existen en el mercado unidades filtrantes pequeñas, algunas combinadas con sistemas de potabilización. Cuando se adquiere algún aparato de estos, es importante recordar que la función principal de un filtro es la de eliminar materias en suspensión, pudiendo no eliminar ciertas bacterias, quistes, etc., por lo que por si solos no garantizan la potabilidad del agua. Para lograr esto último, deben tener, además del filtro algún dispositivo de potabilización.

Para controlar la velocidad de filtrado en las plantas de tratamiento de agua potable, se utilizan varios sistemas básicos:

Sistema tipo 1.- En este sistema, el nivel del pozo de agua clarificada determina el ajuste de los controladores de la velocidad del efluente en los filtros individuales. El nivel del filtro determina la velocidad del efluente. Si un cambio en la demanda reduce el nivel del pozo de agua clarificada y aumenta la rapidez de filtración, el nivel del filtro desciende levemente y admite una mayor cantidad de agua a la planta. La rapidez de entrada a la planta se iguala con la demanda de distribución.

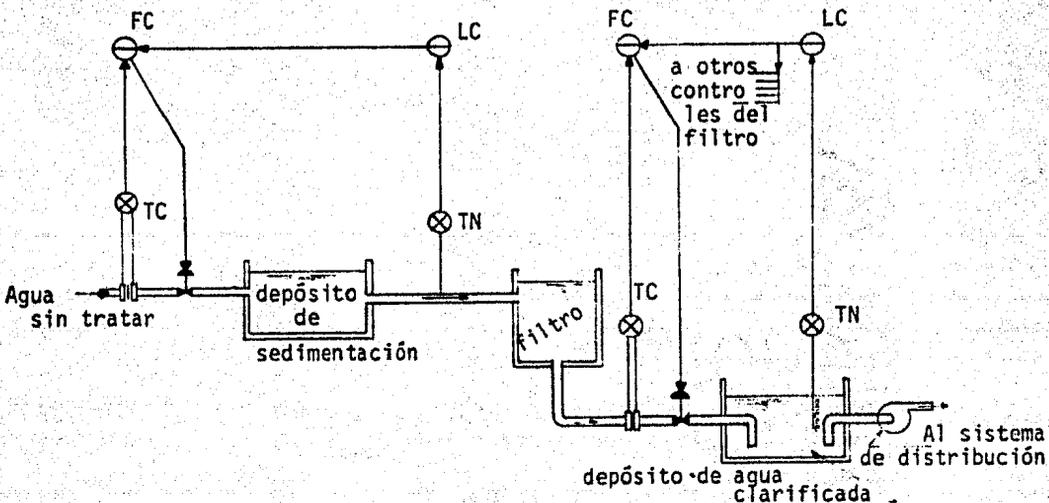


Fig. 7.1 Instrumentación de una planta de filtración del tipo 1

Sistema tipo 2.- En este sistema, el nivel del filtro determina la rapidez de filtración y el del pozo de agua clarificada establece la rapidez de entrada a la planta. El controlador de nivel del filtro, ajusta el punto de referencia de los controladores del efluente del filtro. Las ventajas de este sistema son: los cambios en la rapidez de filtración son lentos y no siguen exactamente la demanda del sistema de distribución, como sucede en el tipo 1.

El sistema tipo 2 es a prueba de fallas, porque las válvulas del efluente del filtro se cierran automáticamente cuando falla el abastecimiento de agua, dejando llenos los depósitos de filtrado. Esto elimina la necesidad de enjuagar los filtros cuando se restablece el abastecimiento antes de continuar el filtrado. Los filtros vuelven automáticamente a funcionar cuando se restablece el abastecimiento y la planta comienza a efectuar sus operaciones.

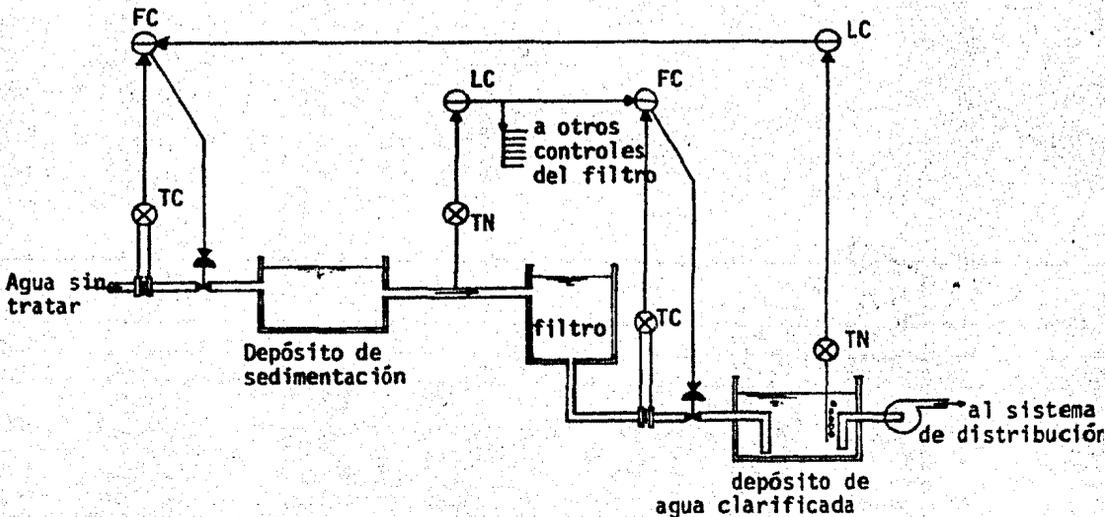


Fig. 7.2 Instrumentación de una planta de filtración del tipo 2 .

Existe otro sistema que es una combinación de los dos tipos anteriores, y funciona como el tipo 1 cuando la rapidez de abastecimiento satisface la demanda del sistema de distribución. Esto es en condiciones normales, la rapidez del efluente del filtro se determina por el nivel del pozo de agua clarificada y el nivel del filtro controla el efluente a la planta.

Este sistema tiene además de la instrumentación del tipo 1 - un segundo controlador del nivel del filtro y un selector de límite inferior. Durante su funcionamiento normal, el segundo controlador envía una señal que alimenta al relevador del selector del límite inferior. El punto de referencia y la banda proporcional - del controlador, se ajustan de tal forma que los niveles normales del filtro quedan afuera y arriba de la banda, y son superiores - al nivel medio del filtro.

Al mismo tiempo, el controlador del nivel del pozo de agua clarificada, envía una señal de estrangulamiento. El relevador selector de límite bajo, escoge la menor de las dos y repite la señal para establecer el índice en los controladores de flujo del efluente del filtro.

Si el abastecimiento falla, la señal que proviene del segundo controlador de nivel del filtro, disminuye conforme baja el nivel. Cuando la señal es inferior a la que se transmite desde el pozo de agua clarificada, la señal del nivel del filtro se selecciona mediante el relevador selector de límite inferior, y se usa para controlar la filtración. Esta acción equilibra la velocidad de salida con el abastecimiento del filtro, o si falla este último, cierra las válvulas del efluente del filtro.

El restablecimiento del abastecimiento, invierte el proceso de selección y la planta vuelve a su funcionamiento normal. Este sistema asegura un funcionamiento a prueba de fallas, porque las cajas de distribución de los filtros están siempre llenas cuando la planta se cierra.

No se debe exagerar la importancia de tener las cajas de los filtros llenas, cuando una planta de tratamiento falla o tiene que pararse. Cuando un filtro ha quedado vacío, generalmente debe lavarse antes de volver a prestar servicio. Si esto no se hace, estará lleno de aire y no filtrará el agua. Si el abastecimiento falla, pero las bombas de alta capacidad siguieran funcionando, los filtros se secarían, y el pozo de agua clarificada se vaciaría, -- por lo que no habría agua para enjuagar los filtros y la planta -- quedaría fuera de servicio.

Sistema tipo 3.- En este sistema las variaciones en el nivel del pozo de agua clarificada ponen en marcha y detienen las bombas de baja capacidad que conducen el abastecimiento de agua no tratada al depósito de sedimentación. Los cambios resultantes en el nivel del filtro, determinan la rapidez del flujo por los filtros.

Solo en grandes instalaciones se requiere más de un transmisor y un controlador para el nivel del filtro. Se puede efectuar una medición representativa de todos los niveles de todos los filtros con un sólo instrumento, determinando el nivel abajo del vertedor del clarificador y la corriente arriba de las válvulas del afluente del filtro.

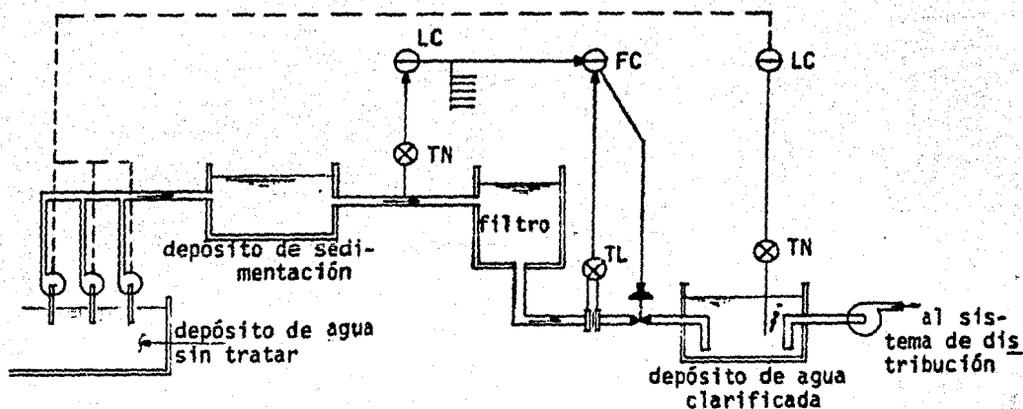


Fig. 7.3) Instrumentación en una planta de filtración tipo 3.

Otra técnica para controlar la rapidez de filtración se basa en que el flujo del efluente y el afluente sea igual si el nivel del tanque se mantiene constante. La rapidez de filtración es igual al del abastecimiento de agua no tratada cuando el nivel del filtro permanece constante. Esto se logra midiendo el nivel del filtro y regulando la válvula de control del efluente. Posteriormente el flujo de agua no tratada puede determinarse por el nivel del pozo de agua clarificada.

El sistema se autorregula y es a prueba de fallas, se eliminan también, un dispositivo primario de flujo, y un transmisor en cada filtro. A la entrada de cada filtro, se requiere un espacio atmosférico y un vertedor o codo vertical.

Las formas de control que se usan en estos sistemas, son proporcionales con reposición para los flujos y proporcionales para los niveles.

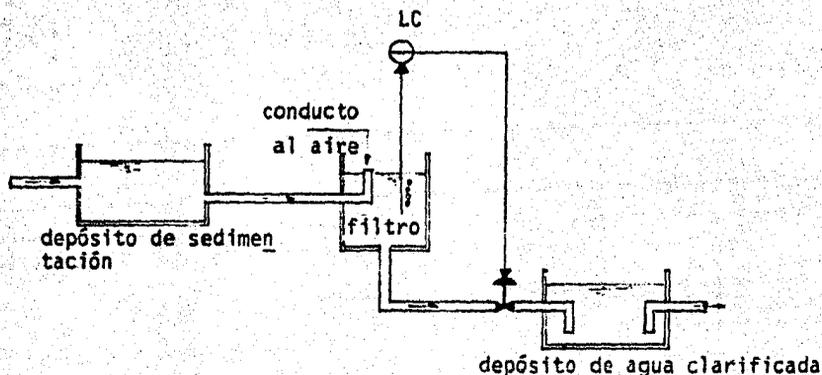


Fig. 7.4 Control del nivel para la velocidad de filtración

## 7.2) Control de flujo

Las técnicas que se usan más comúnmente para controlar la rapidez de filtración, se basan en el control de flujo del efluente de cada filtro. Este flujo debe medirse y controlarse con una mínima disipación de carga.

El circuito de control de flujo, debe contener un dispositivo primario, generalmente del tipo diferencial, como es un tubo Venturi o una placa de orificio, un transmisor, un controlador - y una válvula de control.

El tubo Venturi produce una diferencial relativamente alta y una pérdida permanente de carga, que es un porcentaje reducido de la diferencial. Otros dispositivos primarios, pueden producir una pérdida de carga que sea un porcentaje elevado de la diferencial; pero puesto que la diferencial es reducida, la pérdida real de carga puede ser inferior a la del tubo Venturi.

El exceso de la carga del filtro que no se disipe por la tubería o en un dispositivo primario, deberá disiparse en la válvula de control. El flujo sólo podrá ser controlado, si se asegura la disipación de la carga en la válvula; el diseñador deberá revisar también el tamaño y tipo de los dispositivos primarios seleccionados para los efluentes de filtración y las válvulas de control que van a usarse.

La mayoría de los dispositivos primarios se instalan en el efluente de filtración, con trayectorias directas muy cortas, inmediatamente después de un codo o una T. Estos dispositivos repetirán con mucha precisión una diferencial para el mismo flujo, pero no son dispositivos precisos de medición.

Debido a las limitaciones de espacio en las galerías normales de las tuberías, no se pueden lograr las condiciones ideales de instalación corriente arriba para el dispositivo primario en el efluente de filtración.

La medición precisa del flujo de filtros individuales, no es una práctica factible en la mayoría de las plantas de filtrado. En términos de la medición absoluta de un flujo, la precisión notable no es muy importante en lo que respecta al control; la necesidad primordial es la reproducibilidad, más que la exactitud. Las medidas precisas sólo aparecen cuando se calcula la producción total de la planta, totalizando los gastos de cada uno de los filtros. Este método es recomendable cuando constituye el único medio para determinar la producción de una planta.

La medición de la pérdida de carga o pérdida por fricción a través del filtro, es el método tradicional para determinar hasta que punto ha obstruido el filtro debido al material acumulado. - Este método consiste en medir la diferencia de carga entre el líquido que se encuentra encima del filtro y el que sale de éste.

Los transmisores de balance de fuerza han hecho que la medición de las pérdidas de carga sea sencilla y segura. Estos dispositivos eliminan la necesidad de utilizar cápsulas de mercurio - en los aparatos de medición, suprimen las pantallas en las conexiones de los filtros y no son afectadas por las grandes acumulaciones de sólidos.

Existen varios problemas relacionados con la medición de las pérdidas de carga que no afectan directamente a la instrumentación. El más común, es la entrada de aire a las tuberías de conducción - que van al transmisor, esto se produce por que generalmente el agua de las tuberías tiene un elevado contenido de gases disueltos, sobre todo en la toma de alta presión.

Cuando el agua se calienta a la temperatura ambiente de la galería de las tuberías, los gases abandonan la solución y tienden a obstruir con aire esas líneas de conducción, indicando falsas presiones. Las tuberías deben ser grandes y tener una pendiente adecuada, para que los gases acumulados que han abandonado la solución puedan escapar hacia arriba, volviendo al filtro.

Una de las causas principales, para no obtener mediciones precisas de pérdidas de carga, es no purgar las tuberías y los instrumentos, también puede ser el uso de tubos de diámetros pequeños.

Los transmisores de pérdidas de carga deben colocarse siempre a grandes distancias a lo largo de la galería.

Los métodos tradicionales de control de la contracorriente, invierten el flujo de agua a través del filtro. El resultado es una expansión del lecho, la limpieza y la eliminación de los materiales acumulados. Una vez limpio el lecho, las propiedades hidráulicas del sistema son relativamente constantes, dejando un margen necesario para las variaciones en la carga de abastecimiento. Cuando se utiliza un depósito, el problema de control, se transforma en regular el flujo con un dispositivo primario.

La mayor parte del control relativo a la contracorriente, gira en torno a la disposición de una serie de válvulas. Las técnicas empleadas comprenden desde el manejo manual de las válvulas, hasta los sistemas autoiniciadores, semiautomáticos o completamente automáticos.

En el manejo manual-remoto, un operador situado ante un tablero de control central o ante una consola para cada filtro, tiene a su disposición los medios para manejar remotamente las válvulas de las galerías de tubos. Las válvulas hidráulicas de cuatro posiciones que se usaban anteriormente, están siendo reemplazadas por válvulas que usan señales de control neumático o control eléctrico.

La operación remota utiliza aire como señal de control y agua o aire como medio hidráulico o neumático respectivamente para accionar las válvulas. Este sistema elimina la necesidad de conducir por tuberías el medio activador hasta la consola del filtro y permite además el uso de tubos de 1/4 de pulgada de diámetro para transportar la señal de control. Esta señal hace funcionar una válv

vula piloto de cuatro posiciones, que después puede dirigir el - aire o el agua hacia el operador de cilindro. Hay interruptores de límite que indican la posición de la válvula.

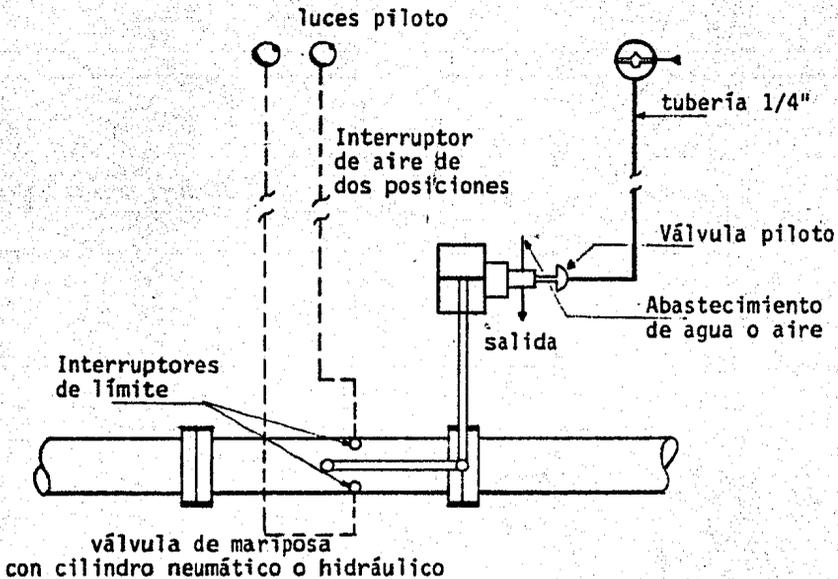


Fig. 7.5 Válvula de abertura y cierre con control remoto

Un sistema de ubicación remota, utiliza un regulador de aire para hacer funcionar un posicionador de válvula, la cual se - coloca en un punto determinado por la presión de aire que puede leerse en un manómetro colocado junto al regulador. En un sistema completamente manual de contracorriente, el operador puede estrangular remotamente la válvula, observando al mismo tiempo - la lectura de un medidor de flujo. Además de la válvula y de los accesorios de control, este sistema ocasionalmente contiene un - medidor de flujo y un instrumento de registro o indicador de la línea de contracorriente.

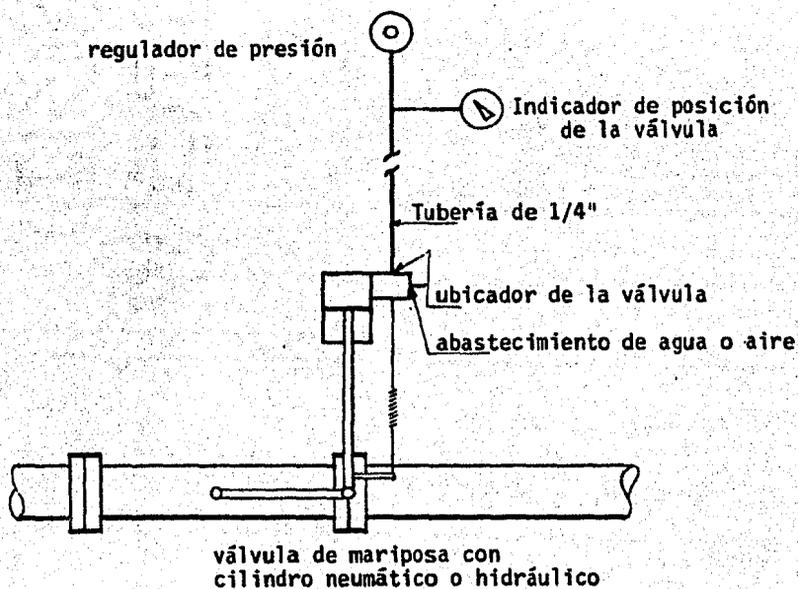


Fig. 7.6 Válvula de estrangulamiento con control remoto

El control semiautomático de enjuague usa un interruptor en serie, activado manualmente para accionar las válvulas en el orden adecuado.

El control totalmente automático del enjuague de los filtros en válvulas en serie ajustados cronológicamente, que comienzan una gran pérdida de carga o con la acción de un operador. Estos sistemas, normalmente contienen un cronómetro de tipo de leva, que acciona la válvula del solenoide o los relevadores. Estos a su vez pueden accionar operadores neumáticos, hidráulicos y eléctricos para establecer el orden deseado.

Algunos sistemas automáticos cuentan con seguros eléctricos para tener la certeza de que las válvulas funcionan en el orden debido, si no es así, la sucesión se detiene y el filtro vuelve a su operación normal.

### 7.3 ) Tipos especiales de filtros

**Filtro Hardinge de enjuague automático:** Este filtro está formado por un lecho poco profundo de arena sostenido por placas porosas, dividido en compartimientos angostos y secciones verticales.

El enjuague de éstos filtros, se inicia con el nivel elevado de un filtro, indicando una mayor pérdida de carga en la arena. Esto hace que el mecanismo de enjuague se desplace a lo largo del puente enjuagando una sección tras otra. El equipo para el control del enjuague y los dispositivos de iniciación, son parte integrante del filtro, mientras que el control del abastecimiento hacia el filtro y la satisfacción que la planta da a la demanda, no pertenece al mecanismo básico del filtro.

En la siguiente figura (Fig. 7.7) se ilustra el sistema de control neumático de una instalación de Hardinge, se puede observar los puntos en los que las señales de flujo pueden desviarse para que los compuestos químicos y el cloro puedan dosificarse en forma proporcional al flujo.

Los controles normales para filtros de presión, son parte del mismo filtro, y consisten en dispositivos elementales para el control del flujo y válvulas de salidas múltiples para el enjuague.

**Filtro de tierra de diatomáceas:** Estos filtros funcionan generalmente a una velocidad constante, hasta que se produce una pérdida excesiva de carga, y cuando pasa esto debe limpiarse.

Estos filtros, cuentan con dos manómetros individuales que miden la pérdida de carga.

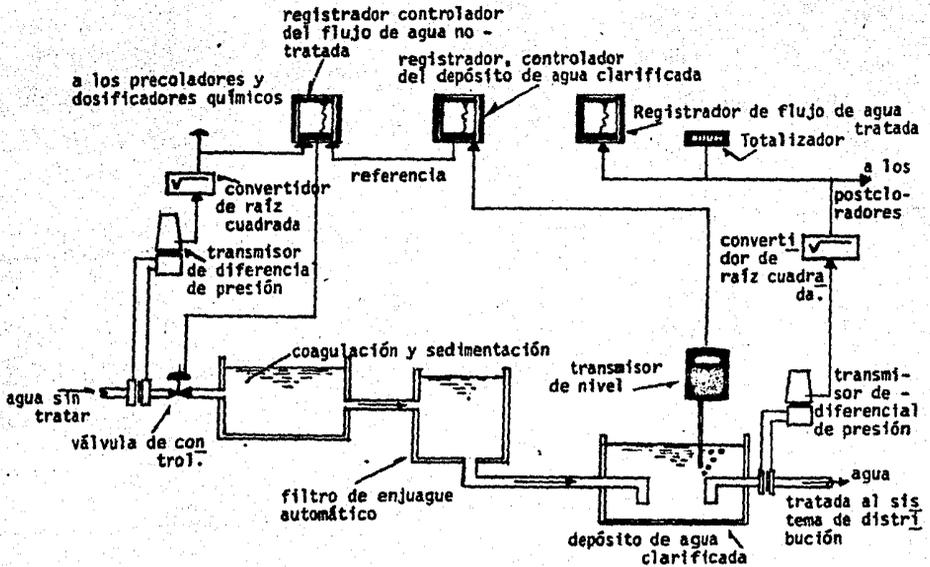


Fig. 7.7 Sistema neumático de control para una instalación de Hardinge.

#### 7.4 ) Controles de una estación de bombeo

Las estaciones de bombeo, se controlan con bombas de arranque y detención, que operan manualmente o en respuesta a una medición o bien iniciando y alternando la velocidad de las bombas. El control de las estaciones de bombeo con empuje reducido, en las plantas de tratamiento, normalmente es una función de supervisión; ya que las bombas inician su funcionamiento en respuesta a las demandas de la planta o ante la orden de un operador que la envía desde un punto remoto.

Las bombas de alto servicio y las estaciones de bombeo, requieren generalmente un sistema de control adaptado a las demandas de un sistema de distribución.

El sistema más sencillo y generalmente usado en el control remoto de abastecimientos de agua, la transmisión del nivel de un tanque o un depósito elevado acciona una o varias bombas. El sistema de distribución debe ser flotante en la estación de bombeo, como es normalmente en el caso de las Ciudades pequeñas.

Cuando no es práctico o no se puede proporcionar un almacenamiento elevado, normalmente se usan sistemas profundos de almacenamiento y bombas de elevación. El control depende de la complejidad del sistema, una serie de bombas comienzan a funcionar o se detienen en respuesta a la presión o al flujo, o se ponen en marcha y se hace variar su velocidad para mantener una presión constante en el servicio de distribución.

Un sistema típico de una estación de bombeo, está equipado con un dispositivo primario y un transmisor de presión diferencial del tipo de raíz cuadrada. Además de sus funciones de registro, un registrador electrónico de flujo alimenta una señal a un generador de relación con punto de referencia, que pasa finalmente a un controlador de presión. La presión diferencial se convierte en el punto de referencia para el controlador de presión que opera un control impulsor de velocidad variable para la bomba. ( Fig. 7.8)

#### 7.5 ) Tableros de control.

El diseño de un tablero de control, es un factor importante para la operación efectiva de cualquier sistema de control. La presentación apropiada de la información de control, determina la efectividad con que el personal de operación y supervisión utiliza estos datos.

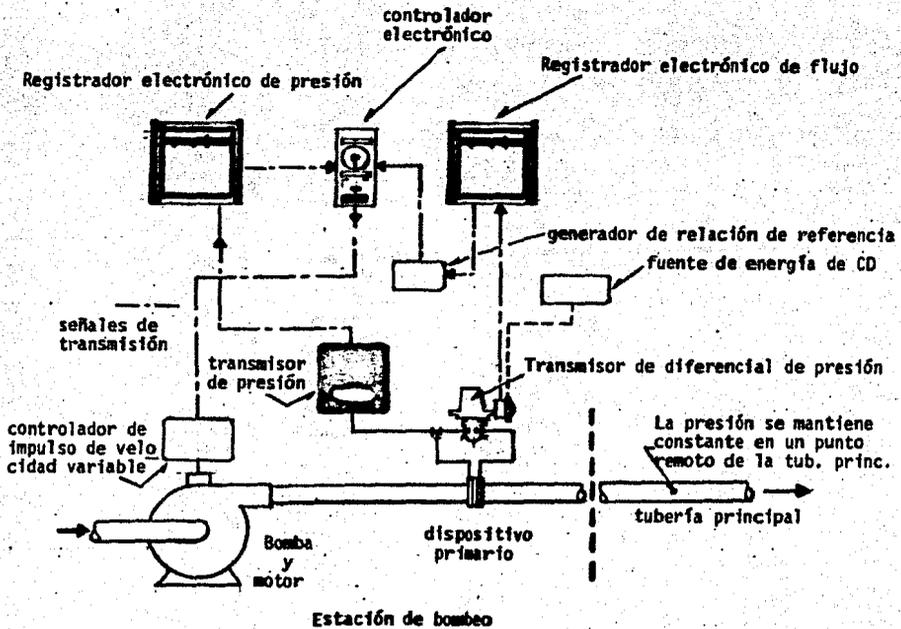


Fig. 7.8 Sistema electrónico de control de presiones de las tuberías principales de agua a gran distancia.

Los buenos sistemas de control, con instrumentos montados en la localidad, funcionan sin mayores problemas; sin embargo no tienen gran efectividad como un plan de control para operaciones generales, ya que no se dispone de datos pertinentes para llevar a cabo una supervisión del funcionamiento y para la toma de decisiones

La necesidad de los tableros centrales de control, ha dado por resultado una transformación de instrumentos ordinarios de grandes rectángulos a instrumentos neumáticos y electrónicos contenidos en receptáculos pequeños.

La cantidad de datos registrados e indicados que se requieren es directamente proporcional al tamaño de la planta.

El control puede constituir una función independiente, reteniéndose por ellos registros en caso de que un controlador esté fuera de servicio por reparaciones.

En las instalaciones de tratamiento de agua, el tipo principal de dispositivos que se utilizan con mayor frecuencia, son los instrumentos tipo componente de menor tamaño, neumático y electrónicos.

En una instalación de tratamiento complejo, que comprende un tratamiento secundario o en una estación compleja de bombeo, los tableros de gráficas con indicadores, los interruptores, etc., y situados en el diagrama de proceso satisfacen una finalidad muy útil, tanto para la operación real como para el adiestramiento de los trabajadores.

Además un tablero de gráficas permite una explicación más clara del proceso y de las operaciones de la instalación.

Para equipar debidamente las plantas de tratamiento de agua y las estaciones accesorias de bombeo con los instrumentos y los sistemas de control necesarios, es preciso tener un conocimiento profundo de la medición de flujos, el control de la dosificación, las válvulas, etc., a fin de lograr un diseño racional. Estos conocimientos pueden dar como resultado, plantas de tratamiento de agua muy perfeccionadas, que sean más fáciles de operar, aseguren mejores productos y requieran menor fuerza de trabajo.

## 8. BIBLIOGRAFIA

1. Agua, su Calidad y Tratamiento  
American Water Works Association  
Primera Edición - 1968
2. Elementos de Escurrimiento Superfficial  
Memorandum Técnico, S.R.H.  
Junio 1974
3. Teorfa, Diseño y Control de los Procesos de Clarificación  
del Agua. CEPIS 13  
Julio 1975
4. Manual de Agua para Usos Industriales  
American Society for Testing and materials  
Tercera Edición - 1976
5. The Treatment of Industrial Wastes  
Edmundo B. Besselievre  
Max Schwartz  
Segunda Edición 1976
6. Manual de Hidráulica  
J. M. de Azevedo Nietto  
Guillermo Acosta Alvarez  
Edición 1976
7. Ingeniería Sanitaria  
W. A. Hardenbergh  
Edward B. Rodie  
Quinta Edición - 1977

8. Manual de Tratamiento de Aguas  
Departamento de Sanidad del Estado de New York  
Primera Edición - 1979
9. Manual de Normas de Proyecto para Obras de Aprovechamiento  
de agua Potable en Localidades Urbanas de la República Mexicana  
S.A.H.O.P.  
Octubre - 1979
10. Normas Técnicas para el Proyecto de Plantas Potabilizadoras  
S.A.H.O.P.  
Octubre - 1979
11. Instrumentación y Control en el tratamiento de Aguas Potables,  
Industriales y de Desecho  
Russel H. Babcock  
Segunda Edición 1980
12. Manual de prácticas, No. 21  
Instrumentación en Plantas de Tratamiento de Agua de Desecho  
Water Pollution Control Federation Washi,  
D. C. 20037
13. Instrumentation in Wastewater Treatment Plants  
Water Pollution Control Federation
14. Operators Manual of Automation and Instrumentation  
American Water Works Association
15. Catálogos y Manuales de Instrumentación  
Sybron - Taylor  
Foxboro  
Fischer - Porter  
Masoneilan