

2020

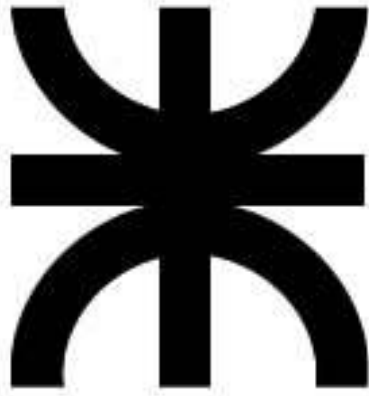
# Instalaciones Industriales

## Instalaciones Auxiliares

**Prof. Ing. Javier Eduardo Salomone**  
**Ing. Luciano Manavella**

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Córdoba





Universidad Tecnológica Nacional

*Facultad Regional Córdoba*

**Título:**

Instalaciones de Agua  
en la Industria

---

**Autores:**

---

Prof. Ing. Javier Eduardo Salomone  
Ing. Luciano Manavella

---

**Lugar, Fecha:**

Córdoba, 2020

## TABLA DE CONTENIDO

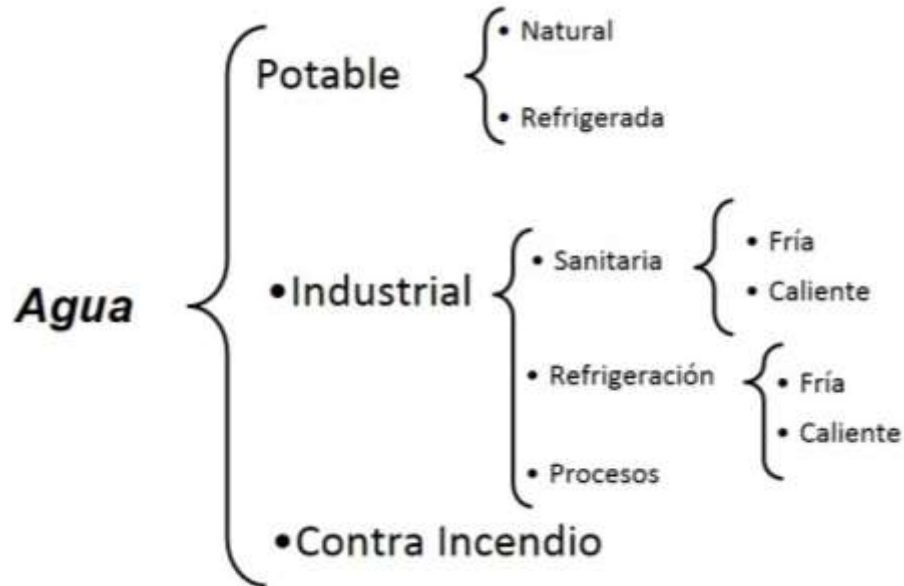
---

Capítulo 4 : Instalaciones de agua en la industria.....	4
1. Consideraciones generales. Distintos tipos. Utilización. ....	4
1.1. Agua potable .....	5
1.2. Consideraciones.....	6
1.3. Agua Industrial.....	7
1.4. Agua contra incendio .....	7
1.5. Tratamiento del agua para uso industrial .....	7
1.6. Decantación.....	8
1.7. Coagulación y floculación.....	8
2. Fuentes naturales de agua, suministros de agua adecuados.....	16
2.1. Aguas pluviales .....	16
2.2. Aguas superficiales .....	16
2.3. Mares .....	17
2.4. Aguas subterráneas .....	17
3. Diseño de instalaciones para la conducción de agua- Tanques de almacenamiento y presión- Sistemas de conducción.....	18
3.1. Tanques de almacenamiento / Presión .....	19
3.2. Sistemas de distribución de agua .....	19
3.3. Sistema Abierto con distribución ramificada .....	19
3.4. Sistema Abierto con distribución en anillo .....	20
3.5. Sistema cerrado.....	20
3.6. Sistemas hidroneumáticos .....	20
3.7. Componentes del sistema hidroneumático .....	21
3.8. Calculo hidráulico de la instalación.....	22
Bibliografía.....	28

## CAPÍTULO 4 : INSTALACIONES DE AGUA EN LA INDUSTRIA

### 1. CONSIDERACIONES GENERALES. DISTINTOS TIPOS. UTILIZACIÓN.

El agua para uso industrial se puede clasificar de la siguiente manera:



Un parámetro importante del agua es el pH o *potencial hidrógeno*, que es la medida de la concentración en iones de hidrógeno expresado en gramos por litro.

Para simplificar, en las aplicaciones prácticas se representan los valores de pH como el logaritmo decimal de la inversa de la concentración de iones de hidrógeno en gramos por litro, es decir:

$$pH = \log_{10} \frac{1}{H^+}$$

siendo  $pH$  el potencial hidrógeno y  $H^+$  la concentración de iones de hidrógeno por litro [g/l].

Cuando el agua pura se ioniza se forman dos iones de distinta polaridad  $H^+$  y  $OH^-$ , liberándose  $10^{-7}$  gramos de iones de hidrógeno por litro.

De esta manera, en función de la ecuación logarítmica anterior, **el pH del agua pura es de 7. Si el pH es menor que 7 entonces las sustancias son ácidas y si es más de 7 son alcalinas.**

La acidez es producida por la presencia de ácidos minerales en forma de sales como sulfatos, nitratos y cloruro de calcio y de magnesio. La alcalinidad en el agua está determinada por los carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio.

**El pH se mide en el laboratorio mediante aparatos apropiados, pero en la práctica, para establecer el pH se emplean sustancias químicas llamadas indicadores que toman un color característico, el que se compara con una tabla de matices que comprende la gama de pH.**

La mayoría de las aguas naturales tienen un pH comprendido entre 6 y 8 que no afecta, en general, las características de potabilidad del agua. Sin embargo, si el agua tiene un pH menor de 5,5 se origina por efecto de la acción de los ácidos, la corrosión de los elementos que entran en contacto como ser las cañerías, bombas, etc.

Si por el contrario, el agua tiene un pH mayor que 10, es fácil que se produzcan depósitos de carbonato de calcio en las cañerías, con tendencia a la formación de incrustaciones.

En los análisis se determina la dureza del agua. Representa la suma de las sales de calcio y magnesio que contiene, estableciéndose para medirla en *mg/l* de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ . Se estima la dureza normal aproximadamente entre 30 y 100 *mg/l*, denominándose *agua blanda* cuando es menor de 30 y más de 100 representa que la misma tiene cierto grado de dureza.

En general, la dureza no ocasiona problemas en la potabilización de las aguas, reconociéndose la misma por la dificultad de generar espuma jabonosa y por formar incrustaciones en los recipientes.

---

### 1.1. AGUA POTABLE

---

El agua potable es aquella que es apta para el consumo humano y bio-animal. Es un cuerpo líquido, trasparente, inodoro, incoloro e insípido, en estado de pureza, compuesto por un volumen de oxígeno y dos de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

Las aguas naturales, procedentes de ríos, mares, lagos, etc., llevan materias en suspensión, sales disueltas y microorganismos, requiriéndose su purificación dado que no todas las aguas son aptas para la alimentación o potables.

El agua potable no es una sustancia pura, sino una solución que contiene pequeñas cantidades de diversas sales como cloruros, sulfatos, hierro, etc. y su falta la hace indigesta o de gusto desagradable, perdiendo su contenido salino.

**Para que el agua sea potable debe tener ciertas características de pureza desde el punto de vista físico o químico, y considerando el aspecto bacteriológico debe contener pocos microorganismos, y ninguno que sea productor de enfermedades.**

Sin embargo, como dichas características del agua potable varían de acuerdo a las distintas zonas y medios de captación, se determinan límites tolerables o aconsejables para las mismas.

**Así, la Ley de Seguridad e Higiene en el Trabajo establece la tabla de valores indicados en el cuadro que se presenta debajo para el agua destinada al uso humano, es decir, la que se**

utiliza para beber, higienizarse o preparar alimentos.

Características físicas		Valor Aconsejable	Valor Aceptable	Limite Tolerable
Turbiedad (unidades)		< 0,2	1	3
Color (unidades)		< 2	5	12
Olor (umbral a 60° C)		1	5	10
Sabor <sup>(1)</sup>		-	-	-
Características químicas				
pH	=	pHs	pHs ± 0,2	pHs ± 0,5
Sólidos disueltos totales	mg/l	50-600	1.000	2.800
Alcalinidad total (CaCO <sub>3</sub> )	*	30-200	400	800
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	*	30-100	200	400
Cloruro (Cl)	*	< 100	250	700
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	*	< 100	200	400
Hierro total (Fe)	*	< 0,05	0,10	0,20
Manganeso (Mn)	*	< 0,01	0,05	0,10
Amoniaco (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	*	< 0,05	0,20	1,00
Nitrito (NO <sub>2</sub> )	*	(2)	< 0,1	0,1
Nitrato (NO <sub>3</sub> )	*	< 45	45	(3)
Fluoruro (F <sup>-</sup> )	*	(4)	0,7-1,2	1,8
Arsénico (As)	*	0	0,01	0,10
Plomo (Pb)	*	0	0,01	0,05
Vanadio (V)	*	-	-	-
Características Bacteriológicas				
Bacterias aerobias (Agar a 37° C-24hs.)			por ml	100
Bacterias coliformes:				
Aguas de pozos semisurgentes			por 100 ml	< 2
Aguas superficiales purificadas			por 100 ml	2,2
Ps.Pyocyanea			no debe contener	
Notas				
pHs:PH de saturación con respecto al CO <sub>3</sub> Ca				
(1). No se han fijado valores por la dificultad que ofrece su determinación en laboratorio. El sabor debe ser agradable e inobjetable para todos los usuarios.				
(2). Sobre la base de antecedentes disponibles, no es posible definir este valor.				
(3). Si bien no se establece ningún valor, cuando el agua de provisión contenga más de 45 mg/l de nitrato debe advertirse a la población acerca de la necesidad de utilizar agua de otra procedencia, con un contenido menor de nitrato, para ser destinada a la bebida y preparación de los alimentos del lactante.				
(4). En los casos en que la autoridad de salud competente estime necesaria la fluoración del agua de beber, se debe indicar también los valores a que debe ajustarse la dosificación.				

## 1.2. CONSIDERACIONES

- El agua potable puede ser natural (temperatura ambiente) o refrigerada (12 a 18°C).
- Los materiales empleados para transportarla ni deben agregarle contenido nocivo. Quedan excluidas las cañerías de plomo y de hierro negro para estos casos. Sólo pueden ser latones aleados, plásticos y hierro galvanizado (aunque este último es poco confiable).
- La presión de suministro mínima debe ser de al menos  $1,5 \cdot P_{atm}$ .
- La cantidad de agua potable está condicionada al tipo de industria y al número de operarios. Estos valores se encuentran tabulados; por ejemplo, para la industria tex-

til son 400 litros por operario por día, y para la industria metalúrgica, 40 litros por operario por día.

- En las napas que se encuentran a mayor profundidad existe menos contaminación patológica (filtraciones), pero también hay más contaminación química; de allí por qué no puede consumirse agua de pozo.
- El agua en un tanque debe circular dentro de 24 hs. De estar almacenada más de ese periodo se contamina.
- En el caso de los sanitarios, lo ideal sería no usar agua potable, carente de contaminantes patológicos que degradan los desechos humanos.
- Los reservorios al descubierto producen algas venenosas, por lo cual debemos taparlos, no permitiendo que ingresen contaminantes.

---

### 1.3. AGUA INDUSTRIAL

---

Este tipo de agua se subdivide en tres tipos:

- Sanitaria: Está destinada a la limpieza de sanitarios o baños. Puede no ser potable, pero no debe contener bacterias, virus u organismos patógenos. Para convertirla en potable se necesita un tratamiento (se requiere de una planta potabilizadora).
- De refrigeración: Utilizada para la refrigeración de ciertas máquinas. Puede no ser potable. Normalmente se mezcla con aditivos para evitar evaporación. El pH debe ser 7.
- De procesos: Puede ser potable o no. Su calidad depende y está relacionada con el proceso, es decir, si es una materia prima o no (por ejemplo, para la industria láctea y para la elaboración de bebidas el agua debe ser potable). En cuanto a la presión y el caudal, dependen de la maquinaria a utilizar. Debe tenerse precaución con un pH bajo, que indica contenido de sales; con la dureza del agua; y, que la reserva sea suficiente como para permitir el funcionamiento de la planta por un día.

---

### 1.4. AGUA CONTRA INCENDIO

---

Es el agua destinada a ser utilizada en caso de incendios. Puede no ser potable, ya que su calidad no afecta mucho. Debe preverse una reserva de agua para uso exclusivo, cuyo volumen se determina según norma (NFPA 13/IRAM 3597) realizando un análisis de riesgo de la actividad.

---

### 1.5. TRATAMIENTO DEL AGUA PARA USO INDUSTRIAL

---

- **Tratamientos Básicos**
  - Decantación
  - Coagulación / Floculación ( sulfato de Aluminio)
  - Alcalinización (Hidróxido de Calcio)
  - Desinfección (Cloración)
  - Filtrado
- **Tratamientos Especiales**
  - Desmineralización
    - Zeolitas
    - Resina
  - Catiónicas = Acido Clórico

– Aniónicas = Soda Caustica = Hidróxido de Sodio

– Desoxigenación

A continuación se describirá brevemente cada tratamiento:

---

#### 1.5.1. DECANTACIÓN

La decantación es un método físico utilizado para la separación de mezclas, se usa para separar un sólido de un líquido.

Es necesario dejar reposar la mezcla para que el sólido se separe gravitatoriamente, hace que descienda y sea posible su extracción por acción de la gravedad.

---

#### 1.5.2. COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

Las aguas potables o residuales, en distintas cantidades, contienen material suspendido, sólidos que pueden sedimentar en reposo o sólidos dispersados que no sedimentan con facilidad. Una parte considerable de estos sólidos que no sedimentan pueden ser coloides, las cuales son partículas son tan pequeñas que no pueden eliminarse con filtros.

En los coloides, cada partícula se encuentra estabilizada por una serie de cargas de igual signo sobre su superficie, haciendo que se repelan dos partículas vecinas como se repelen dos polos magnéticos. Puesto que esto impide el choque de las partículas y que formen así masas mayores, llamadas flóculos, las partículas no sedimentan. Las operaciones de coagulación y floculación desestabilizan los coloides y consiguen su sedimentación. Esto se logra por lo general con la adición de agentes químicos y aplicando energía de mezclado.

Los términos Coagulación y Floculación se utilizan ambos indistintamente en colación con la formación de agregados. Sin embargo, conviene señalar las diferencias conceptuales entre estas dos operaciones:

**Coagulación:** Desestabilización de un coloide producida por la eliminación de las dobles capas eléctricas que rodean a todas las partículas coloidales, con la formación de núcleos microscópicos.

**Floculación:** Aglomeración de partículas desestabilizadas primero en microflóculos, y más tarde en aglomerados voluminosos llamados flóculos.

#### **Coloides**

Las especies coloidales halladas en aguas superficiales y residuales incluyen arcillas, sílice, hierro, metales pesados, color ó sólidos orgánicos como por ejemplo residuos de animales muertos.

#### **Mezclado del coagulante**

Para complementar la adición del coagulante se requiere del mezclado para destruir la estabilidad del sistema coloidal.

Para que las partículas se aglomeren deben chocar, y el mezclado promueve la colisión.

Casi siempre es necesaria energía adicional de mezclado. Un mezclado de gran intensidad que distribuya al coagulante y promueva colisiones rápidas es lo más efectivo.

### **Crecimiento de los flóculos**

Una vez que se ha añadido el coagulante y se ha realizado la operación de coagulación se pasa a la formación de flóculos mayores. Puede ocurrir que el flóculo formado por la aglomeración de varios coloides no sea lo suficientemente grande como para asentarse con la rapidez deseada. Por ello es conveniente utilizar productos coadyuvantes de la floculación ó simplemente denominados Floculantes.

Un floculante reúne partículas en una red, formando puentes de una superficie a otra y enlazando las partículas individuales en aglomerados. La floculación es estimulada por un mezclado lento que junta poco a poco los flóculos. Un mezclado demasiado intenso los rompe y rara vez se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. Una buena floculación favorece el manejo del lodo final para su desecación, filtrado, etc.

## **REACTIVOS COAGULANTES Y FLOCULANTES MÁS COMUNES**

### **Coagulantes metálicos**

Históricamente, los coagulantes metálicos, sales de Hierro y Aluminio, han sido los más utilizados en la clarificación de aguas y eliminación de DBO y fosfatos de aguas residuales. Tienen la ventaja de actuar como coagulantes-floculantes al mismo tiempo.

Sin embargo tienen el inconveniente de ser muy sensibles a un cambio de pH. Si éste no está dentro del intervalo adecuado la clarificación es pobre y pueden solubilizar Fe ó Al y generar problemas.

A continuación vemos los más utilizados:

**Sulfato de Alúmina:** Conocido como Alumbre, es un coagulante efectivo en intervalos de pH 6 a 8. Produce un flóculo pequeño y esponjoso por lo que no se usa en precipitación previa de aguas residuales por la alta carga contaminante del agua. Su uso está generalizado en el tratamiento de agua potable y en la reducción de coloides orgánicos y fósforo.

**Sulfato Férrico:** Funciona de forma estable en un intervalo de pH de 4 a 11, uno de los más amplios conocidos. Producen flóculos grandes y densos que decantan rápidamente, por lo que está indicado tanto en la precipitación previa como en la coprecipitación de aguas residuales urbanas o industriales. Se emplea también en tratamiento de aguas potables aunque en algún caso puede producir problemas de coloración.

**Cloruro Férrico:** Es similar al anterior aunque de aplicación muy limitada por tener un intervalo de pH más corto. Es enérgico aunque puede presentar problemas de coloración en las aguas.

**Aluminato sódico:** Se emplea poco. Su uso más habitual es eliminar color a pH bajo. Además se puede usar en el ablandamiento de agua con cal.

### **Coadyuvantes de la floculación**

Las dificultades que pueden presentar algunos coloides desestabilizados para formar flóculos pesados que sedimentan bien, han dado lugar a la búsqueda de sustancias que ayudan a la formación de estos flóculos.

Los más usados son los siguientes:

**Oxidantes:** Como la percloración, que en parte oxida la materia orgánica y rompe enlaces en los coloides naturales, ayudando a una mejor floculación posterior.

**Adsorbentes:** Las aguas muy coloreadas y de baja mineralización en que los flóculos de aluminio ó hierro tienen muy poca densidad, coagulan muy bien al añadir arcilla que da lugar a que se adsorba y origine flóculos pesados de fácil sedimentación. Otros adsorbentes son la caliza pulverizada, sílice en polvo y carbón activo.

**Sílice activa:** Algunos compuestos inorgánicos pueden ser polimerizados en agua para formar polímeros floculantes inorgánicos. Este es el caso de la sílice activa que presenta una alta efectividad como auxiliar del tratamiento con Alumbre.

### **Alcalinización**

La cal en todos sus formatos – cal viva y cal hidratada – y la dolomía calcinada son los productos alcalinos más efectivos y de menor costo en el tratamiento de aguas de consumo, así como aguas residuales y de lodos. De hecho, la mayoría de la cal que se produce se destina a mejorar la calidad del agua que consumimos las personas y las que utilizan las industrias. En este sentido, la cal permite ablandar el agua, purificarla, eliminar su turbiedad, neutralizar la acidez, eliminar impurezas, etc.

Por todas estas ventajas, en las Estaciones de Aguas Potables se utilizan el óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ) y el hidróxido de calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). La dolomía calcinada ( $\text{CaO MgO}$ ), aunque mucho menos que la cal viva y la cal apagada, también suele emplearse en algunas plantas de tratamiento, por ejemplo para eliminar la sílice del agua. Este método es el más común, puesto que el magnesio de la dolomía ejerce como principal agente reactivo en la eliminación de la sílice.

Gracias al uso de la cal, en las plantas de tratamiento de aguas, se consigue, entre otras cosas, reducir el sabor, olor y color del agua al eliminar la materia en suspensión y, por tanto, la turbiedad de la misma. Además, se elimina el manganeso, los fluoruros y los taninos orgánicos del agua, así como la anteriormente mencionada sílice.

Uno de los aspectos más importantes en este tipo de aplicaciones es la desinfección, ya que agregando cal al agua hasta obtener y mantener un pH de 10.5 a 11.00 durante 24 a 72 horas es posible reducir virus y bacterias, así como eliminar la mayoría de los metales pesados disueltos.

Del mismo modo, mediante el uso de la lechada de cal se puede ajustar el pH del agua para que sea óptimo de cara a los tratamientos posteriores de potabilización.

### **Aguas blandas y aguas duras**

Siguiendo con el tratamiento de aguas de consumo, la cal ofrece otra ventaja a destacar, ya que permite modificar la calidad del agua, bien remineralizando las aguas demasiado blandas o, por el contrario, descarboxinando las aguas demasiado duras.

El primer caso nos sitúa ante aguas de carácter ácido, es decir con un pH bajo. Esto puede deberse a características geológicas, pero también a la influencia humana. Para evitar los posibles efectos en el consumo de este tipo de aguas blandas, es necesario ajustar el equilibrio calco-carbónico, es decir controlar el pH con ablandamiento simultáneo.

Por otro lado, si lo que necesitamos es reducir la dureza del agua la someteremos a un proceso de descarboxinado, evitando los precipitados y las incrustaciones de carbonato cálcico. Para esta aplicación se utilizan el óxido de calcio (CaO) o el hidróxido de calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) como productos químicos dosificados en forma de suspensión (lechada de cal) o disolución (agua de cal), que provocan la precipitación del calcio como carbonato cálcico y del magnesio como hidróxido, consiguiendo reducir la concentración de los cationes calcio y magnesio disueltos.

### **Desinfección**

La cloración es un **medio sencillo y eficaz para desinfectar el agua** y hacerla potable. Consiste en introducir productos clorados (pastillas de cloro, lejía, etc.) en el agua para matar los microorganismos en ella contenidos. Normalmente, tras un tiempo de actuación de unos 30 minutos, el agua pasa a ser potable. Gracias al efecto remanente del cloro, continúa siéndolo durante horas o días (en función de las condiciones de almacenamiento).

El tratamiento del agua por cloración **permite eliminar de forma sencilla y poco costosa la mayor parte de los microbios, las bacterias, los virus y los gérmenes** responsables de enfermedades como la disentería, las fiebres tifoideas y el cólera. No obstante, es incapaz de destruir ciertos microorganismos parásitos patógenos. **La cloración**, por tanto, desinfecta el agua, pero no la purifica por completo.

Al igual que sus derivados clorados, **el cloro es un potente oxidante** que al mezclarse con el agua quema en media hora las partículas orgánicas en ella contenidas, especialmente los virus patógenos y los microbios.

Aunque se necesita una cantidad importante de cloro para neutralizar esta materia orgánica, solo hace falta una parte, el denominado **cloro residual libre**, para tratar posibles contaminaciones posteriores del agua en la red o las viviendas. **Según la OMS, la concentración de cloro libre en el agua tratada debe estar entre 0,2 y 0,5 mg/l.**

### **Filtrado**

Este proceso se utiliza para eliminar del agua partículas sólidas de gran tamaño. Están formados por una malla porosa, donde según el tamaño del poro será el tamaño mínimo de partículas que el elemento filtrante pueda retener.

Existen elementos filtrantes de distintos tipos y materiales. Los más utilizados están contruidos con una malla metálica. Estos tienen la ventaja de que pueden limpiarse y reutilizarse.

Existen también filtros material celulósico, los cuales no pueden limpiarse por lo que son descartables.

### **Desmineralización**

Este proceso consiste básicamente en quitarle al agua algunas sustancias minerales, principalmente el calcio y el magnesio. Estos tienen la particularidad de generar incrustaciones que obstruyen las tuberías y además, actúan como aislantes térmicos. Esto último es altamente perjudicial en las calderas.

Algunos de los métodos utilizados para desmineralizar el agua se describen a continuación:

#### **Zeolitas**

Las zeolitas son aluminosilicatos cristalinos hidratados, que pueden ser de origen natural o sintético. Las zeolitas naturales se formaron como resultado de las erupciones volcánicas mediante reacciones hidrotérmicas de rocas volcánicas de silicio y ricas en álcalis.

Las zeolitas tienen importantes aplicaciones industriales como desecantes o deshidratantes debido a su gran afinidad por el agua, como tamices moleculares porque sus canales y cavidades sólo permiten el paso de moléculas de un determinado tamaño, y como intercambiadores iónicos por sus sitios catiónicos.

#### **Resinas catiónicas y aniónicas**

Las resinas de intercambio iónico son materiales sintéticos, sólidos e insolubles en agua, que se presentan en forma de esferas o perlas de 0.3 a 1.2 mm de tamaño efectivo, aunque también las hay en forma de polvo.

Están compuestas de una alta concentración de grupos polares, ácidos o básicos, incorporados a una matriz de un polímero sintético (resinas estirénicas, resinas acrílicas, etc.) y actúan tomando iones de las soluciones (generalmente agua) y cediendo cantidades equivalentes de otros iones. La principal ventaja de las resinas de intercambio iónico es que pueden recuperar su capacidad de intercambio original, mediante el tratamiento con una solución regenerante.

#### **Osmosis inversa**

La ósmosis inversa (OI) es una técnica de desmineralización basada en membranas y usada para separar sólidos disueltos, tales como iones, de una solución.

Las membranas en general actúan como barreras permeables selectivas que permiten que algunas sustancias (como el agua) permeen a través de ellas mientras retiene otras sustancias disueltas (como iones).

OI ofrece la filtración más fina actualmente disponible, rechazando la mayoría de los sólidos disueltos y suspendidos, al tiempo que impiden el paso de las bacterias y los virus, obteniéndose un agua pura y esterilizada.

Aguas con un elevado contenido de sales como, sodio, calcio, boro, hierro..., cloruros, sulfatos, nitratos y bicarbonatos..., pueden ser tratados con la osmosis inversa hasta alcanzar los límites considerados como “agua aceptable” para su utilización.

<b>Iones y metales</b>	<b>Compuestos orgánicos</b>
Arsénico – Bario – Bicarbonato – Cadmio – Calcio – Carbonato – Cloruro – Cromo – Cobre – Fluoruro – Hierro – Plomo – Magnesio – Manganeso – Mercurio Nitrato – Potasio – Radio – Selenio – Sodio – Sulfato	Benzeno – Tetracloruro de carbono – Diclorobenzeno – Tolueno – Tricloroetileno
<b>Partículas y microorganismos</b>	<b>Pesticidas</b>
Asbestos – Cysts (protozoos) – bacterias – hongos	1,2,4- triclorobenzeno – 2,4-D – Atrazina – Endrin – Heptachlor – Lindane – Pentaclorofenol

Lista abreviada de compuestos químicos, partículas y microorganismos retenidos por los equipos de OI.

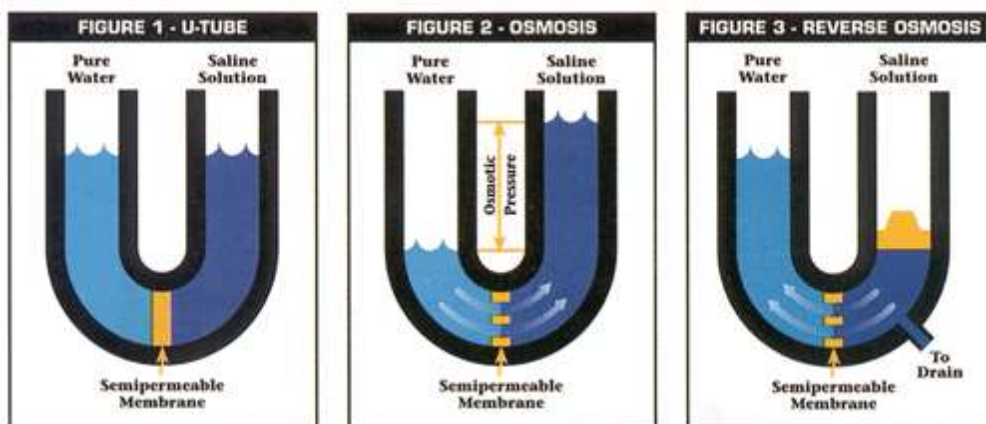
Las membranas filtrantes son la clave y responsables de separar las sales del agua. Dichas membranas pueden considerarse como filtros moleculares. El tamaño de los poros de estos filtros membranas es extremadamente reducido, por lo que se requiere una presión considerable para hacer pasar cantidades de agua a través de ellas. La elección del modelo de membrana más apropiado es según el agua a tratar y su empleo posterior, determinando el tipo de instalación más idónea.

Las suciedades que quedan en las membranas son posteriormente arrastradas y lavadas por la misma corriente de agua. De esta forma el sistema realiza una autolimpieza constante. Esta corriente de agua de desperdicio necesaria, está en relación directa con el tipo de membrana que se utiliza y sus exigencias.

### **PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO**

Para entender el proceso de la ósmosis inversa, empecemos por recordar la ósmosis natural, mecanismo de transferencia de nutrientes en las células de los seres vivos a través de las membranas que la recubren.

En tal sentido, cuando se ponen en contacto dos soluciones de diferentes concentraciones de un determinado soluto (por ejemplo sales), se genera un flujo de solvente (por ejemplo agua) desde la solución más diluida a la más concentrada, hasta igualar las concentraciones de ambas.



Es decir, en otras palabras: si ponemos en contacto, a través de una membrana, agua salada y agua destilada obtendremos un equilibrio entre ambas y quedarán moderadamente saladas. El agua que atraviesa la membrana es "empujada" por la presión osmótica de la solución más salada y el equilibrio del proceso se alcanza cuando la columna hidrostática iguala dicha presión osmótica.

De aquí se deduce que si nuestro interés en el tratamiento es obtener una corriente de agua lo más diluida posible deberemos invertir el fenómeno. Para ello hay que vencer la presión osmótica natural mediante la aplicación en sentido contrario de una presión mayor.

Cuando se logra invertir el fenómeno estamos en presencia de ósmosis inversa o invertida como se ha dado en llamarla.

En resumen: si a una corriente de agua salada se le aplica una fuerte presión, lograremos obtener un equilibrio distinto del anteriormente descrito en el cual se generan simultáneamente dos corrientes:

Una que es la que atraviesa la membrana, queda libre de sólidos disueltos (minerales, materia orgánica, etc.) y de microorganismos (virus, bacterias, etc.): producto o permeado.

La otra se va concentrando en esos mismos productos sin que lleguen a depositarse en la membrana, porque la tapan y se eliminarían en forma continua, constituyendo el concentrado.

## APLICACIONES

Las principales aplicaciones de las membranas de OI incluyen: desalinización (entre las tecnologías de desalinización disponibles hoy, la ósmosis inversa es considerada el proceso de desalinización más económico); remoción/reducción de subproductos de la desinfección (DBP), dureza, color, contaminantes inorgánicos, compuestos orgánicos sintéticos y volátiles, patógenos; y recuperación de aguas residuales para reuso.

Hay que tener en cuenta que aunque las membranas OI también pueden remover sólidos suspendidos y material particulado, cualquier carga de ese tipo puede dañar (obstruir) rápidamente (y algunas veces irreversiblemente) las membranas semipermeables, ya que estas no son porosas y por tanto no son capaces de retrolavado. Por tanto, aunque OI podría reducir los niveles de material particulado (es decir, turbiedad, conteo de partículas, etc.), la

tecnología no es aplicada específicamente para este propósito, y pre-tratamiento para remover este material aguas arriba de las membranas es siempre aplicado.

### **Desoxigenación**

La eliminación de oxígeno del agua es esencial para las calderas de vapor, especialmente las calderas medianas y grandes.

Hay varios métodos principales para eliminar el oxígeno del suministro de agua:

#### **Desoxigenación térmica**

La solubilidad de cualquier gas en agua es proporcional a la presión del gas en la superficie del agua. Cuanto mayor sea la temperatura del agua, menor será la solubilidad del gas, que es la base teórica de la desoxigenación térmica.

La desoxigenación térmica no solo puede eliminar la mayor parte del oxígeno disuelto, sino también eliminar el CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S y otros gases corrosivos en el agua, y no aumenta el contenido de sal en el agua de alimentación. El tipo de desoxidante térmico es diverso, pero no importa qué tipo de estructura del desoxidante térmico, desde el punto de vista general, se puede dividir en dos partes: torre de desgasificación y tanque de almacenamiento de agua. La función de la torre de desgasificación es dispersar el agua en un flujo fino de agua o pequeñas gotas, para maximizar el área de contacto de agua y vapor, a fin de facilitar el proceso de calentamiento del agua y el proceso normal de desorción del gas del agua, y para asegurar suficiente tiempo de ebullición; La función del tanque de almacenamiento de agua es almacenar una cierta cantidad de agua de desoxigenación para proteger las necesidades de agua de la caldera.

#### **Eliminación de oxígeno al vacío**

El principio de la desoxigenación al vacío es similar al de la desoxigenación térmica, y también es la característica de que la solubilidad del gas es cercana a cero cuando el agua está hirviendo y el gas disuelto en el agua se elimina. Debido a que el punto de ebullición del agua está relacionado con la presión, el método de vacío se puede usar a temperatura ambiente para hacer hervir el agua, a fin de permitir que se analice el gas disuelto en el agua.

Obviamente, cuando la temperatura del agua es cierta, cuanto menor es la presión (es decir, cuanto mayor es el vacío), menor es la cantidad de gas residual en el agua.

#### **Eliminación química de oxígeno**

Existen dos métodos de desoxigenación química, uno es permitir que el suministro de agua fluya a través de la torre equipada con carga reductora, de modo que el oxígeno disuelto en el agua y la reacción de carga reductora se consuman o la mayoría del consumo. . Los rellenos reductores comúnmente utilizados son virutas de hierro y resinas reductoras. Otro método de eliminación de oxígeno químico es agregar una cierta concentración de desoxidante químico al suministro de agua, de modo que el oxígeno disuelto y el desoxidante de oxígeno químico en la reacción se reduzcan.

Como el desoxidante químico ingresa a la caldera con el suministro de agua, el desoxidante químico debe ser inocuo para el ciclo de vapor de agua. Los agentes de desoxigenación química comúnmente utilizados son el sulfito de sodio y la hidracina. El sulfito de sodio reacciona más rápido con el oxígeno disuelto, pero el sulfito de sodio aumenta el contenido de sal de la caldera. Y a alta temperatura puede descomponer la producción de H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> y otros gases corrosivos, sistema de vapor de corrosión y tubería de condensado, por lo que el sulfito de sodio es adecuado para calderas de tamaño medio y pequeño. La hidracina es un agente reductor fuerte en solución alcalina, y los productos de reacción con oxígeno disuelto y sus propios productos de descomposición a alta temperatura no aumentarán la salinidad del agua de olla, sino que también prevendrán la formación de escamas de hierro y de cobre, pero amoníaco a bajas temperaturas. La temperatura y la velocidad de reacción del oxígeno disuelto son lentas, inflamables y explosivos, pueden tener un efecto carcinogénico en el cuerpo humano.

Por lo tanto, la hidracina se usa comúnmente en calderas de presión media y alta.

---

## 2. FUENTES NATURALES DE AGUA, SUMINISTROS DE AGUA ADECUADOS

---

Las fuentes de suministro del agua se pueden clasificar, según el origen, en:

- **Aguas pluviales.**
- **Aguas superficiales.**
- **Mares.**
- **Aguas subterráneas.**
- **Redes domiciliarias.**

---

### 2.1. AGUAS PLUVIALES

---

El agua proveniente de las lluvias; es agua pura puesto que puede considerarse como destilada, debiendo en su captación tener cuidado que no queden en contacto con elementos extraños y suciedades.

Estas aguas no tienen prácticamente relevancia a nivel industrial.

---

### 2.2. AGUAS SUPERFICIALES

---

Se incluyen aquí el agua de lagos y ríos. Estas aguas tienen la misma procedencia, ya que se originan por acumulación de aguas pluviales que se han deslizado a través del terreno hasta reunirse en dicho lugar.

Estas aguas generalmente están contaminadas en virtud de que contienen materias disueltas o en suspensión, de modo que no pueden utilizarse si no se realiza un tratamiento adecuado para su potabilización.

En general, estas aguas no sólo contienen sustancias minerales, sino que además pueden contar con materias orgánicas y bacterias procedentes de la descomposición de las mismas.

También deben ser tenidas en cuenta las arenosidades, que son otro factor a tratar y tener en cuenta. Por lo general, la toma de este tipo de aguas se realiza a 2/3 de la profundidad total, medidos desde el nivel del río o lago.

Este tipo de fuente de provisión es la preferible para el abastecimiento de grandes ciudades, fundamentalmente por su volumen y seguridad de rendimiento.

---

### 2.3. MARES

El aprovechamiento del agua de mar requiere procesos de desalinización, cuyos métodos están en continua evolución. Los sistemas más utilizados son: destilación, cristalización y membrana.

---

### 2.4. AGUAS SUBTERRÁNEAS

Los acuíferos son **reservorios** de agua que están ubicados debajo de la superficie terrestre. Estos acuíferos permiten la circulación del agua a través de diversas grietas y de la porosidad de su estructura.

En los acuíferos es posible diferenciar entre el **nivel freático** (el sector superior), la **zona de saturación** (el espacio donde los poros rocosos se llenan de agua) y la **capa impermeable**. Sobre el nivel freático, y antes de la superficie, se encuentra otro sector conocido como zona de aireación.

Se pueden hacer muchas clasificaciones de los acuíferos, ya que son numerosas las modalidades que existen. No obstante, entre las agrupaciones más frecuentes podemos encontrar las siguientes:

-En base a lo que es su comportamiento hidráulico, nos topamos con los acuíferos confinados, que son los que están entre dos capas impermeables; los semi-confinados; los subestimados o libres, que se hallan en contacto directo con lo que es el área subsaturada del suelo; y los costeros.

-Según lo que es su estructura, se pueden clasificar en dos grandes grupos: los libres y los confinados.

-Partiendo del criterio de lo que son sus texturas, nos encontramos con los fisurales y los porosos.

-Si nos sustentamos en lo que es el comportamiento hidrodinámico, están los acuíferos, los acuícludos, los acuitardos y los acuífugos.

Las aguas subterráneas se acumulan en los mantos permeables sobre las capas impermeables que se forman en la corteza terrestre, originando lo que se denomina napas de agua.

A la primera napa se la denomina freática, la que generalmente se encuentra contaminada debido a la proximidad del nivel superficial por la filtración de desechos orgánicos, pozos negros, etc.

Las napas subsiguientes, ya sea la segunda o tercera napa, en general, suelen ser prácticamente puras, pero es necesario que en el proceso de captación se eviten contaminaciones. Lo normal es que a mayor profundidad, mayor pureza, pero a ello están asociados mayores costos de excavación.

En muchos casos es necesario su análisis previa utilización puesto que puede requerirse algún tratamiento especial para ser consumida.



#### Redes domiciliarias

Estas aguas son aquellas que las empresas distribuidoras se ocupan de obtener, tratar y distribuir entre los usuarios. El 25% del agua es provista por el Estado.

El agua, normalmente proveniente de ríos, se trata con una serie de procesos que incluyen: coagulación, decantación, alcalinización, desinfección y filtrado.

El agua tratada se deposita en grandes depósitos de reserva y de allí por bombeo es conducida a depósitos de distribución elevados. El agua llega a estos depósitos por medio de grandes canalizaciones de hormigón de hasta 5 metros de diámetro, conformando lo que se denominan ríos subterráneos que constituyen de por sí una gran reserva de agua en caso de emergencia.

A partir de dichos depósitos se efectúa la distribución a los medios de consumo. Se utilizan cañerías de gran diámetro denominadas maestras que se proyectan formando circuitos amplios. Después de ellas siguen las cañerías distribuidoras que se emplean frente a los distintos predios, desde las que se abastece a la red interna mediante las conexiones de agua.

### 3. DISEÑO DE INSTALACIONES PARA LA CONDUCCIÓN DE AGUA- TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y PRE-SIÓN- SISTEMAS DE CONDUCCIÓN

A continuación veremos una serie de consideraciones a tener en cuenta en las instalaciones de agua:

- Se necesitan de instalaciones particulares para cada tipo de agua, denominadas instalaciones auxiliares de agua.
- Se deben considerar reservas para uno o dos días de trabajo en caso de algún problema de desabastecimiento, para cada tipo de agua.
- Se debe asignar una calidad al suministro.

- La velocidad del fluido para evitar impurezas no debe ser menor de  $0,3 \text{ m/s}$  y se acepta hasta un máximo de  $6 \text{ m/s}$ . En la práctica, para evitar ruidos y chillidos molestos en la instalación, se utilizan velocidades de fluido entre  $1$  y  $2 \text{ m/s}$ .
- La base del tanque (lo ideal) debe estar a  $15 \text{ m}$  de altura para asegurar una presión de funcionamiento de  $1,5 \text{ kg}$ . Si se necesita mayor presión, habrá que darle mayor altura. Aquí se pone de manifiesto una relación de compromiso técnica-económica, en función de costos y volúmenes, ya que a mayor altura se requieren estructuras más costosas. En la práctica, en general se toma  $h \leq 20 \text{ m}$ ; si se requiere más presión hay que recurrir a sistemas hidroneumáticos.
- Hay que considerar las pérdidas en las cañerías, las válvulas y accesorios existentes en la instalación. Estos valores de pérdida deben sumarse a la altura de pérdida.
- En casos de problemas de tanque debería haber algún sistema alternativo, por ejemplo, alguna perforación propia o algo que brinde una provisión adicional.

### 3.1. TANQUES DE ALMACENAMIENTO / PRESIÓN

El almacenamiento de agua puede hacerse en:

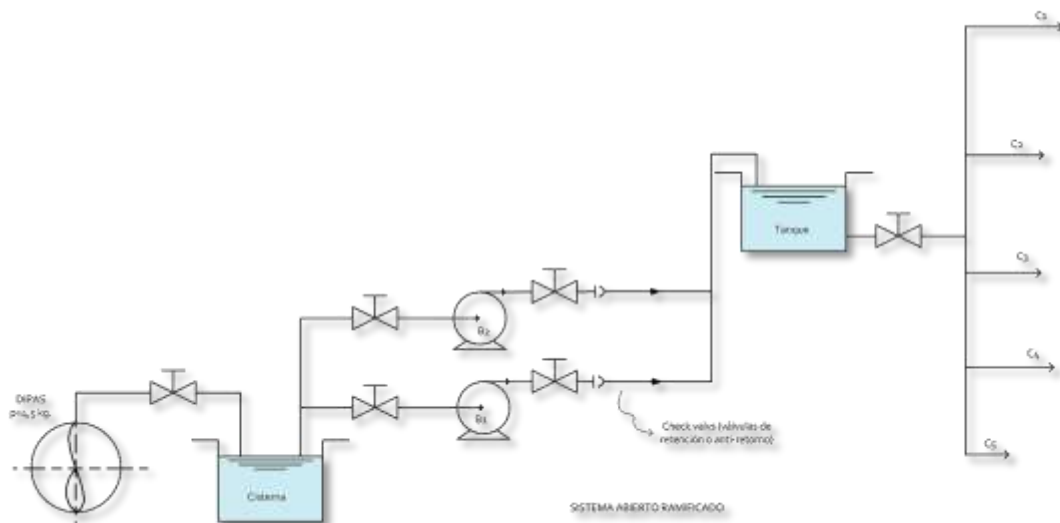
- Cisternas, con sistema de bombeo.
- Tanques elevados.
- Sistemas mixtos (una parte con cisternas y otra con tanques).

### 3.2. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

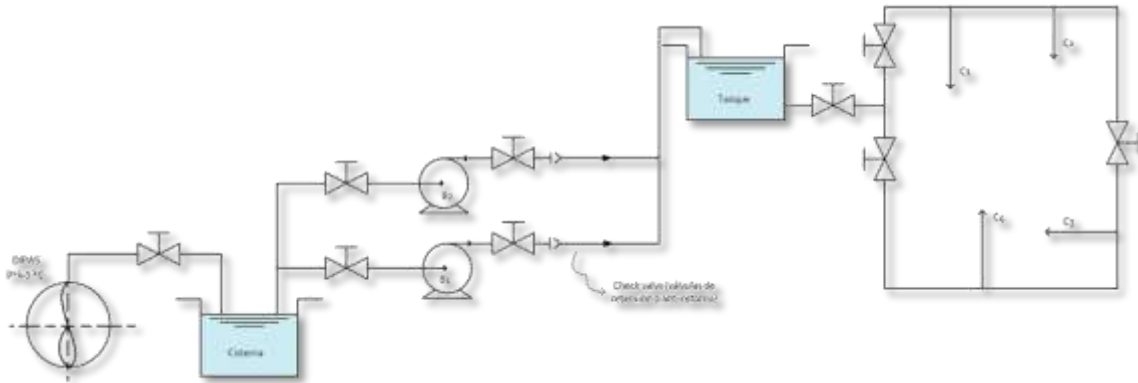
A continuación se presentan los esquemas de los sistemas de conducción más comunes. Ellos son: abiertos, donde el fluido ingresa al sistema y se transforma de alguna manera (se utiliza y consume); cerrados, donde el agua se reaprovecha (el agua es utilizada y vuelta a utilizar una y otra vez).

Los sistemas abiertos pueden tener distribución ramificada, donde para el mantenimiento se debe cortar la provisión de toda la planta, o en anillo, donde para el mantenimiento se puede ir cortando por sectores, sin dejar toda la planta sin servicio.

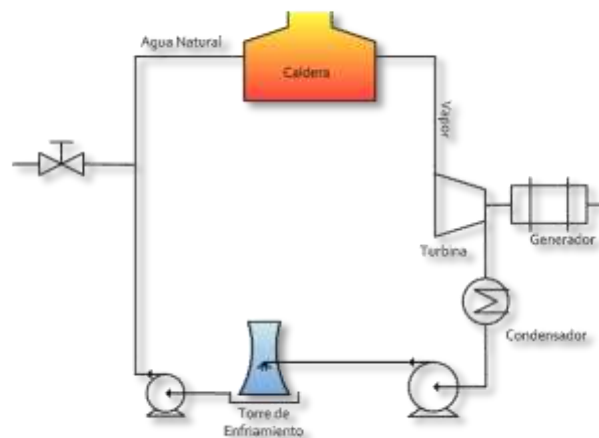
### 3.3. SISTEMA ABIERTO CON DISTRIBUCIÓN RAMIFICADA



### 3.4. SISTEMA ABIERTO CON DISTRIBUCIÓN EN ANILLO



### 3.5. SISTEMA CERRADO



### 3.6. SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS

Entre los diferentes sistemas de abastecimiento y distribución de agua en edificios e instalaciones, los equipos hidroneumáticos han demostrado ser una opción eficiente y versátil, con grandes ventajas frente a otros sistemas; este sistema evita construir tanques elevados, colocando un sistema de tanques parcialmente llenos con aire a presión. Esto hace que la red hidráulica mantenga una presión excelente, mejorando el funcionamiento de máquinas, filtros, regaderas, llenado rápido de depósitos en excusado, operaciones de fluxómetros, riego por aspersión, entre otros; demostrando así la importancia de estos sistemas en diferentes áreas de aplicación. Así mismo evita la acumulación de sarro en tuberías por flujo a bajas velocidades. Este sistema no requiere tanques ni red hidráulica de distribución en las azoteas de los edificios (evitando problemas de humedades por fugas en la red) que dan tan mal aspecto a las fachadas y quedando este espacio libre para diferentes usos.

Los sistemas hidroneumáticos se basan en el principio de compresibilidad o elasticidad del aire cuando es sometido a presión, funcionando de la siguiente manera: El agua que es suministrada desde el acueducto público u otra fuente, es retenida en un tanque de almacenamiento; de donde, a través de un sistema de bombas, será impulsada a un recipiente a presión (de dimensiones y características calculadas en función de la red), y que posee volúmenes variables de agua y aire. Cuando el agua entra al recipiente aumenta el nivel de

agua, se comprime el aire y aumenta la presión, cuando se llega a un nivel de agua y presión determinados ( $P_{\text{máx}}$ ), se produce la señal de parada de bomba y el tanque queda en la capacidad de abastecer la red; cuando los niveles de presión bajan, a los mínimos preestablecidos ( $P_{\text{mín}}$ ) se acciona el mando de encendido de la bomba nuevamente. Como se observa la presión varía entre  $P_{\text{máx}}$  y  $P_{\text{mín}}$ , y las bombas prenden y apagan continuamente. El diseño del sistema debe considerar un tiempo mínimo entre los encendidos de las bombas conforme a sus especificaciones, un nivel de presión ( $P_{\text{mín}}$ ) conforme al requerimiento de presión de instalación y una  $P_{\text{máx}}$ , que sea tolerable por la instalación y proporcione una buena calidad de servicio.

$$P_{\text{mín}} = z + \frac{v^2}{2g} + h_f + P_{\text{consumo}}$$

Normalmente,  $P_{\text{máx}} = 60$  mca y

Mientras mayor sea el diferencial de presión y menor el tiempo entre partidas de los motores, más pequeña resulta la capacidad del estanque de presión. El pulmón que se forma en el tanque metálico es importante porque sirve para amortiguar el golpe de Ariete.

Las bombas estarán funcionando entre dos puntos de operación de presión y por consiguiente de caudal, por lo que al no ser un punto único, no podrá estar permanentemente en su punto óptimo de eficiencia. Para reducir la brecha entre las presiones hay que hacer funcionar más seguido las bombas; esto está limitado a 4 o 5 veces por hora porque las bombas no pueden ser arrancadas tan seguido ya que la instalación eléctrica no lo toleraría.

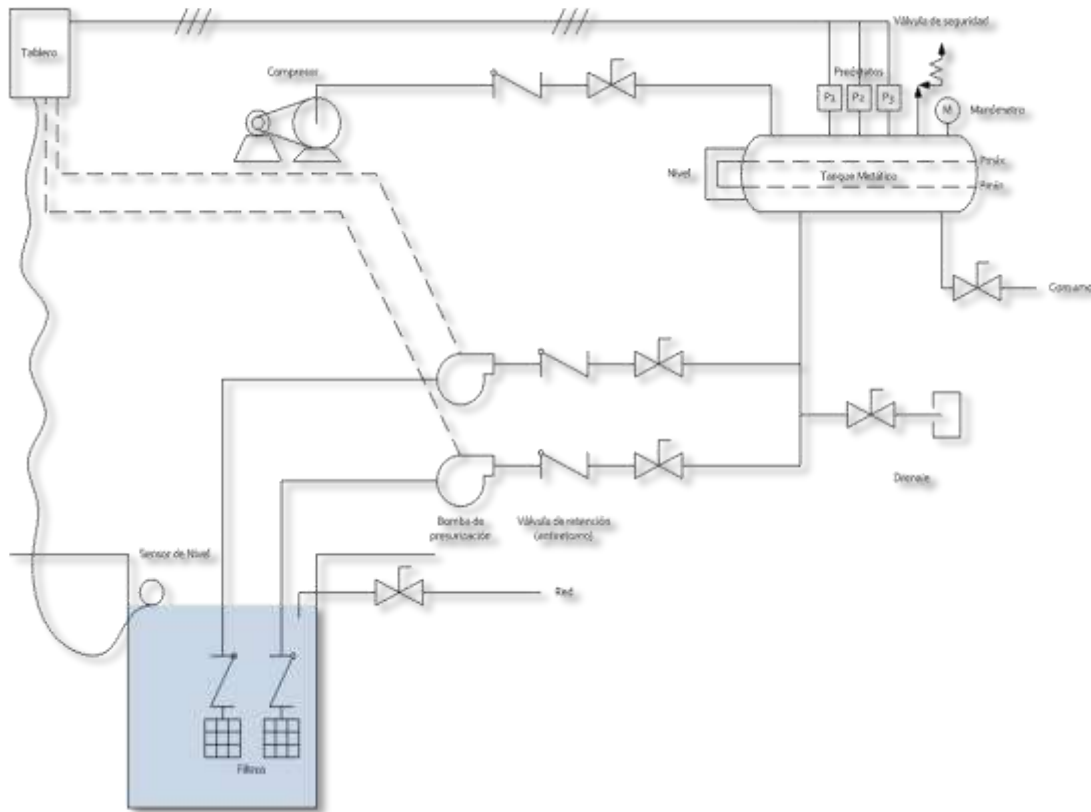
Ver esquema de la página siguiente.

### 3.7. COMPONENTES DEL SISTEMA HIDRONEUMÁTICO

Un sistema hidroneumático debe estar constituido por los siguientes componentes:

- El flotante, que es un sensor de bajo nivel de agua, que le acusa al tablero para que entre agua proveniente de la red cuando sea necesario, evitando así desbordes de la cisterna.
- Un tanque de presión: Consta de un orificio de entrada y uno de salida para el agua (en este se debe mantener un sello de agua para evitar la entrada de aire en la red de distribución), y otro para la inyección de aire en caso de que este falte. Suelen ser de entre 1500 y 3000 litros.
- Un número de bombas acorde con las exigencias de la red. (Una o dos en caso de viviendas unifamiliares y dos o más para edificaciones mayores y plantas industriales).
- Interruptor eléctrico para detener el funcionamiento del sistema, en caso de faltar agua en el estanque bajo.
- Válvulas de purga en las tuberías de drenaje.
- Válvula de retención en cada una de las tuberías de descarga de las bombas al estanque hidroneumático, check valves.
- Conexiones flexibles para absorber las vibraciones.
- Válvula de aislamiento entre la bomba y el equipo hidroneumático; entre este y el sistema de distribución.
- Manómetro.
- Válvulas de seguridad de sobrepresión.

- Dispositivo para control automático de la relación aire/agua, llamados presostatos.
- Interruptores de presión para arranque a presión mínima y parada a presión máxima, arranque aditivo de la bomba en turno y control del compresor.
- Indicador exterior de los niveles en el tanque de presión, llamado nivel.
- 



### 3.8. CALCULO HIDRÁULICO DE LA INSTALACIÓN

#### Consideraciones

Fluido incompresible.

Tuberías cerradas y completamente llenas de fluido.

#### 1. Recolección de datos

Es necesario determinar el caudal y la presión requerida en los puntos de consumo. Tener en cuenta el fluido de trabajo (densidad y viscosidad cinemática).

#### 2. Dividir el sistema de tuberías en tramos

- Definir la longitud recta de tubería desde el inicio hasta el punto de consumo.
- Cuantificar la cantidad y tipos de accesorios (codos, te, válvulas, etc.) en el tramo considerado.
- Si en el tramo considerado existen varios puntos de consumo, tener en cuenta el factor de simultaneidad.

#### 3. Seleccionar la velocidad de circulación del fluido dentro de la tubería.

Se debe seleccionar una velocidad de circulación del fluido dentro de la tubería. Valores recomendados entre 0.5 y 2 m/seg. En algunos casos puede utilizarse hasta 6 m/seg.

#### 4. Calcular el diámetro interno del tubo

$$Q = A \times V = \left(\frac{\pi \times d^2}{4}\right) \times V \therefore d = \sqrt[2]{\frac{4 \times Q}{V \times \pi}}$$

Q: Caudal

V: Velocidad del fluido

d: diámetro interior de la tubería

#### 5. Seleccionar la tubería comercial más próxima al valor calculado

#### 6. Recalcular la velocidad del fluido y verificar que este dentro de los valores recomendados

#### 7. Calcular el número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho \times V \times d}{\mu}$$

$\rho$ : densidad del fluido

V: Velocidad del fluido

d: diámetro interior de la tubería

$\mu$ : viscosidad cinemática del fluido

#### 8. Calcular las pérdidas primarias o por fricción ( ecuación de Darcy – Weisbach)

$$h_f = \frac{f \times L \times V^2}{d \times 2 \times g}$$

f: factor de fricción

L: Longitud recta de la tubería

V: Velocidad del fluido

d: diámetro interior de la tubería

g: aceleración de la gravedad

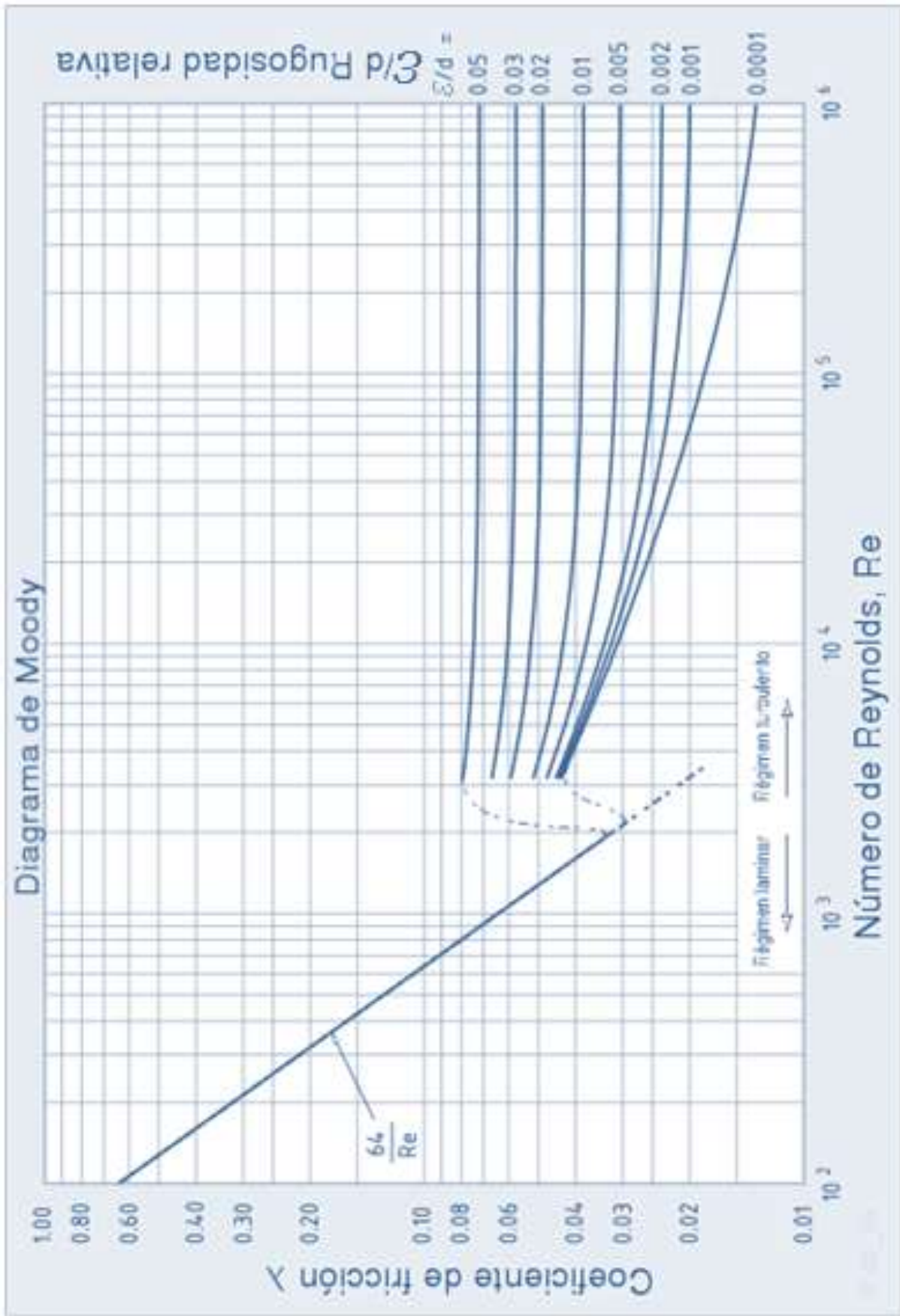
#### NOTA

La ecuación de Darcy– Weisbach puede usarse sin restricción para flujo de agua, aceites y otros líquidos en tuberías. Sin embargo, cuando se presentan velocidades muy altas en la tubería causan que la presión en la salida sea igual a la presión de vapor del líquido, aparece el fenómeno de la cavitación y los valores calculados para el caudal son inexactos.

- Si el Re es menor a 2000 el “flujo es laminar” y el factor de fricción es igual a:

$$f = \frac{64}{Re}$$

- Si el Re es mayor a 4000 el “flujo es turbulento” y el factor de fricción se obtiene del Diagrama de MOODY:



Además del Re, para poder obtener el factor de fricción es necesario conocer la rugosidad relativa. En el interior de los tubos comerciales existen protuberancias o irregularidades de diferentes formas y tamaños cuyo valor medio se conoce como rugosidad absoluta.

Un mismo valor de rugosidad absoluta puede ser muy importante en tubos de pequeño diámetro y ser insignificante en un tubo de gran diámetro, es decir, la influencia de la rugosidad absoluta depende del tamaño del tubo. Por ello, para caracterizar un tubo por su rugosidad resulta más adecuado utilizar la rugosidad relativa, que se define como el cociente entre la rugosidad absoluta y el diámetro de la tubería.

Material	Aspereza de superficie $\epsilon$ , mm
Tubos estirados (latón, plomo, vidrio y similares)	0.00152
Acero comercial o hierro	0.0457
Hierro fundido asfaltado	0.122
Hierro galvanizado	0.152
Hierro fundido	0.259
Duelas de madera	0.183–0.914
Concreto	0.305–3.05
Acero remachado	0.914–9.14

\*Moody, *Trans. Am. Soc. Mech. Eng.* **66**, 671-684 (1944); *Mech. Eng.* **69**, 1005-1006 (1947). King y Brater, *Handbook of Hydraulics*, 6a. ed. pp. 6-12 y 6-13, McGraw-Hill, New York, 1976, presentan valores adicionales  $\epsilon$  para varios tipos o condiciones, de concreto, hierro forjado, acero soldado, acero remachado y tuberías de metal corrugado. Para convertir milímetros a ft, multiplicar por  $3.281 \times 10^{-3}$ .

### 9. Calcular las pérdidas secundarias o localizadas

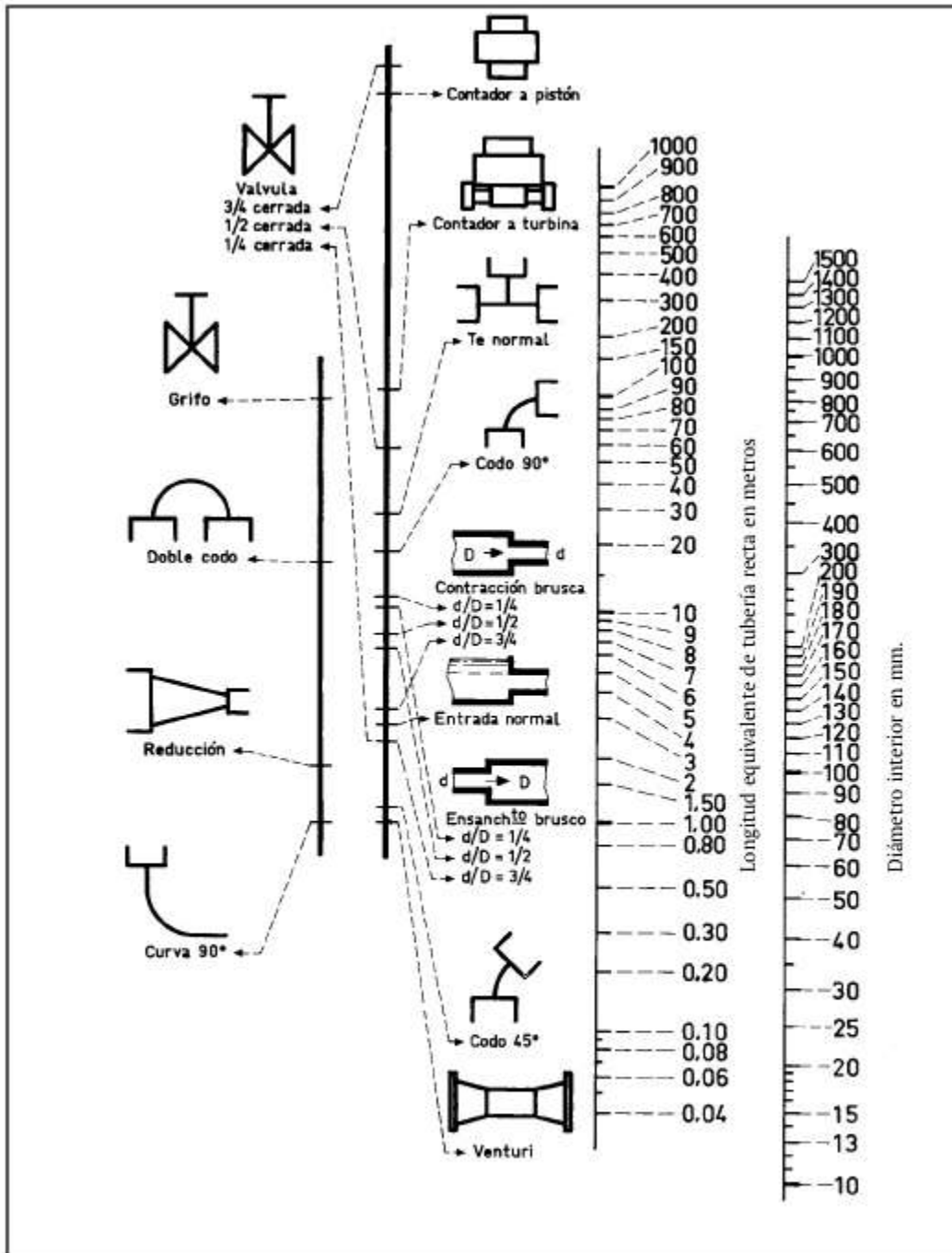
$$h_l = K \times \frac{V^2}{2 \times g}$$

$K$ : factor de pérdidas localizadas

#### Valores de $K$ para diversos accesorios

Válvula esférica, totalmente abierta	$K = 10$
Válvula de ángulo, totalmente abierta	$K = 5$
Válvula de retención de clapeta	$K = 2,5$
Válvula de pié con colador	$K = 0,8$
Válvula de compuerta abierta	$K = 0,19$
Codo de retroceso	$K = 2,2$
Empalme en T normal	$K = 1,8$
Codo de 90° normal	$K = 0,9$
Codo de 90° de radio medio	$K = 0,75$
Codo de 90° de radio grande	$K = 0,60$
Codo de 45°	$K = 0,42$

- Si se tiene como dato la longitud equivalente de los accesorios, directamente se utiliza la ecuación de Darcy – Weisbach considerando como longitud la suma de la longitud recta y la longitud equivalente.



Ábaco para el cálculo de pérdidas de carga adicionales

**10. Calcular las pérdidas totales del tramo**

$$H_T = h_f + h_l$$

**11. Finalmente, el cálculo de la bomba, se debe plantear la ecuación de Bernoulli en los puntos extremos (inicio y fin del tramo) para determinar la altura que debe suministrar la misma.**

$$\frac{P_1}{\rho \times g} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2 \times g} - H_T + H_B = \frac{P_2}{\rho \times g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2 \times g}$$

$\frac{P_1}{\rho \times g}$ : Altura de presión

$Z_1$ : Altura geodesica

$\frac{V_1^2}{2 \times g}$ : Altura de velocidad

$H_T$ : sumatoria de pérdidas hidráulicas

$H_B$ : Altura proporcionada por la bomba

También es posible determinar las pérdidas de carga utilizando ecuaciones empíricas. Aquí aparece la ecuación de Hazen-Williams.

Al aplicar esta ecuación es muy importante respetar las unidades de cada parámetro. Además, dicha ecuación se limita a utilizarse solamente para agua como fluido de trabajo, bajo régimen turbulento.

$$h_c = \frac{10,7 \times L_e \times Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,78}}$$

$h_c$ : pérdida de carga en m. c. a

$L_e$ : Longitud total en m. (es la suma de longitud recta y longitud equivalente)

$Q$ : Caudal en  $m^3/seg$

$C$ : Coeficiente adimensional (depende del material de la tubería y el estado)

$D$ : diametro interior del tubo en m.

En la siguiente tabla se muestran los valores del coeficiente (C) de Hazen-Williams para los distintos materiales, clase y estado de los tubos:

Material, clase y estado del tubo	c
Tuberías de plástico nuevas	150
Tuberías muy pulidas (fibrocemento)	140
Tuberías de hierro nuevas y pulidas	130
Tuberías de hormigón armado	128
Tuberías de acero nuevas	120
Tuberías de palastro roblonado nuevas	114
Tuberías de acero usadas	110
Tuberías de fundición nuevas	100
Tuberías de palastro roblonado usadas	97
Tuberías de fundición usadas	90-80

## BIBLIOGRAFÍA

---

Dennis A. Snow. (2002). *Plant Engineer's Reference Book*. OXFORD AUCKLAND BOSTON JOHANNESBURG MELBOURNE NEW DELHI: Butterworth-Heinemann.

*Wikipedia The Free Encyclopedia*. (2010). Retrieved from [http://en.wikipedia.org/wiki/Main\\_Page](http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page):  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Katabatic\\_wind](http://en.wikipedia.org/wiki/Katabatic_wind)

*Wikipedia The Free Encyclopedia*. (2010). Retrieved from [http://en.wikipedia.org/wiki/Main\\_Page](http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page):  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Anabatic\\_wind](http://en.wikipedia.org/wiki/Anabatic_wind)