



# TEMARIO OPERADOR ETAP

***Consortio de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas "Plan Écija"***

***Agencia de Régimen Especial Ciclo Integral Aguas del Retortillo***

*Avda. de la Guardia Civil, s/n*

*41400 ÉCIJA (SEVILLA)*



## Í N D I C E

<b>I. DESCRIPCIÓN E.T.A.P. ÉCIJA..</b>	<b>5</b>
I.1. INTRODUCCIÓN.....	5
I.2. PROCESOS DE TRATAMIENTO .....	5
I.3. ARQUETA DE REPARTO .....	6
I.4. DECANTACIÓN.....	6
PRUEBAS DE ENSAYO PARA LA COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN.....	8
PRUEBA DEL VASO.....	8
PROCEDIMIENTO DE PUESTA EN MARCHA.....	9
CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE SÓLIDOS.....	9
RESULTADOS DEL TRATAMIENTO.....	9
ZONA DE FANGOS.....	9
CONTROL DE LA CIRCULACIÓN.....	10
TURBIDEZ DEL EFLUENTE.....	10
CONDICIONES PARA EL FUNCIONAMIENTO NORMAL.....	10
PUESTA EN MARCHA DESPUÉS DE UN CESE DE FUNCIONAMIENTO.....	11
CESE DE FUNCIONAMIENTO.....	11
MANTENIMIENTO.....	11
BARRIDO DE FANGOS.....	12
I.5. FILTRACIÓN .....	12
I.6. POSTCLORACIÓN.....	15
I.7. ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN.....	15



<b>II.</b>	<b>TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO .....</b>	<b>15</b>
<b>III.</b>	<b>MANUAL DE CLORACIÓN.....</b>	<b>25</b>
III.1.	ANTECEDENTES .....	25
III.2.	GENERALIDADES .....	25
III.3.	SOLUBILIDAD DEL CLORO GAS.....	26
III.4.	HIPOCLORITOS... ..	26
III.5.	PRINCIPIOS DE LA CLORACIÓN EN EL AGUA.....	27
III.6.	DESINFECCIÓN DEL AGUA.....	31
III.7.	CONTROL DE LA CLORACIÓN.....	31
III.8.	ASPECTOS PRÁCTICOS DE LA CLORACIÓN.....	32
III.9.	ACCIÓN FISILÓGICA.....	41
<b>IV</b>	<b>HIDRÁULICA BÁSICA .....</b>	<b>48</b>
IV.1.	MAGNITUDES HIDRÁULICAS Y SUS UNIDADES DE MEDIDA .....	48
IV.2.	APARATOS DE MEDIDA DE MAGNITUDES HIDRÁULICAS .....	51
IV.3.	HIDROSTÁTICA.....	52
IV.4.	HIDRODINÁMICA.....	56
IV.5.	BOMBAS.....	62
IV.6.	VÁLVULAS.....	70



<b>V.</b>	<b>ELECTRICIDAD BÁSICA.....</b>	<b>72</b>
V.1.	MAGNITUDES ELÉCTRICAS Y SUS UNIDADES DE MEDIDA.....	73
V.2.	APARATOS DE MEDIDA DE MAGNITUDES ELÉCTRICAS.....	76
V.3.	GRADOS Y MODOS DE PROTECCIÓN DE LOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS.....	77
V.4.	TRANSFORMADORES.....	78
V.5.	CORRIENTE ALTERNA.....	83
V.6.	MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA.....	85
V.7.	MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA.....	88
VII.	ANEXOS.....	90



## I. DESCRIPCIÓN DE LA E.T.A.P. DEL CONSORCIO DE AGUAS PLAN ÉCIJA

### I.1 INTRODUCCIÓN

La primera fase de la E.T.A.P. del Consorcio para el Abastecimiento y Saneamiento de Aguas "Plan Écija" (Consortio) fue construida en el año 1968 con una capacidad de tratamiento de 400 l/seg. Posteriormente, en el año 1985, y ante la creciente demanda de la población y la incorporación de nuevos municipios, se construye una segunda fase de 400 l/s. Actualmente la capacidad de tratamiento es de 800 l/s, la cual es superada solo en los meses de máximo consumo: Junio, Julio y Agosto.

Inicialmente se construyó con pocos procesos unitarios de tratamiento, a los que se le han ido incorporando nuevos procesos de tratamiento para poder cumplir con las exigencias del Real Decreto 140/2003, que establece los criterios sanitarios de la Calidad del Agua de Consumo Humano, el Decreto 70/2009, de la Junta de Andalucía, que es el Reglamento de Vigilancia Sanitaria y Calidad del Agua de Consumo Humano de Andalucía y por último, para cumplir las modificaciones del RD 140/2003, establecidas en el R.D. 902/2018.

### I.2 PROCESOS DE TRATAMIENTO

Tipo de proceso de tratamiento realizado: **A2 – Físico Químico y Desinfección**

- Oxidación con permanganato potasio.
- Adición de carbón activo polvo: Adsorción.
- Precloración con cloro gas. Desinfección
- Coagulación - floculación con polihidroxiclورو de aluminio.
- Decantación
- Filtración sobre arena silíceo
- Postcloración con cloro gas. Desinfección



### I.3 ARQUETA DE REPARTO

El agua llega a la planta a través de una conducción impulsada procedente de La Presa de Derivación del Retortillo. Dicha conducción tiene una longitud de 36 Km. El agua se impulsa gracias a dos Estaciones de Bombeo (EBAP) en serie:

- EBAP Écija 1, ubicada en Palma del Río, donde se dosifica Permanganato Potásico.
- EBAP Écija 2, ubicada en la entrada de Écija, donde se dosifica el Carbón Activo.

El agua, cuando llega a la E.T.A.P. procedente de la EBAP Écija 2, desemboca en una arqueta de puesta en carga, donde tiene lugar la dosificación del coagulante (Policloruro de Aluminio).

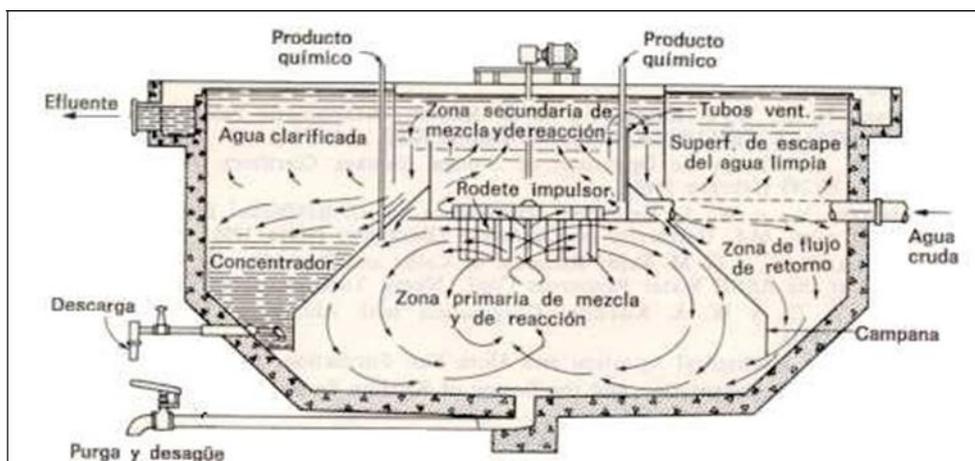
Desde esta arqueta parten dos tuberías que alimentan a cada una de las dos fases de tratamiento que componen la ETAP. Cada conducción alimenta directamente a los decantadores de cada fase.

### I.4 DECANTACIÓN

La decantación es un proceso muy importante en el tratamiento de agua para consumo humano, ya que es donde tiene lugar la eliminación de los sólidos en el agua. Éstos pueden provenir del propio embalse, sobre todo en época de lluvia, como son por ejemplo los limos, lo que provoca un aumento de turbidez.

La fase 1 de tratamiento cuenta con dos decantadores de tipo Accelator, y la fase 2, uno, con la misma capacidad de tratamiento que los dos de la fase 1 juntos. Este tipo de decantadores son de circulación acelerada de fangos, con un cuerpo de base superior circular y fondo en forma de cono.

El decantador Accelator consiste esencialmente en un tanque en el cual el agua bruta entra por su parte inferior, una zona primaria de mezcla y reacción, dos tubos concéntricos de succión que forman la zona de reacción secundaria, una turbina accionada por un moto variador- reductor para el mezclado, un conjunto de canales radiales que desembocan en un canal periférico para la salida del agua tratada y concentradores para la acumulación y purga de fangos.





El agua bruta penetra en la zona primaria de mezcla y reacción, donde se mezcla con los reactivos químicos en presencia de los fangos en suspensión, creados por la floculación de las aguas anteriores. La mezcla es absorbida por la turbina, por un movimiento de vórtice, provocado por la misma, y se incorpora a una segunda zona de mezcla y reacción donde el contacto continuado de los fangos permite que las reacciones del tratamiento se aproximen al equilibrio. Posteriormente pasan a la zona de decantación, en la cual se produce la separación del agua clarificada de los fangos.

En la zona secundaria de mezcla y reacción, la circulación transporta los fangos a la parte lateral inclinada a través del espacio entre los dos tubos, descargándolos en la zona de fangos, el fango circula descendentemente por la pared pasando por debajo de la campana a la zona primaria de mezcla y reacción. Vemos, por tanto, que se ha establecido una especie de circuito cerrado, con la recirculación de los fangos. En la superficie de la zona de fangos tiene lugar la separación del agua, la cual, va subiendo a las capas superiores y a través de los orificios en los canales de salida, sale del tanque en una proporción igual a la del agua bruta de entrada.

En la zona de fangos y en la parte periférica del tanque, están localizados los concentradores, que son unos recipientes en forma de tronco de pirámide cuadrangular donde los fangos se espesan.

El agua sale de los decantadores a través de canales que desembocan en un canal principal y que la conduce hasta la filtración. A la salida del decantador y antes de llegar a la filtración se dosifica una cantidad de cloro gas en Precloración como desinfectante. Esto obedece a estrategias de reducción de Trihalometanos (THMs).

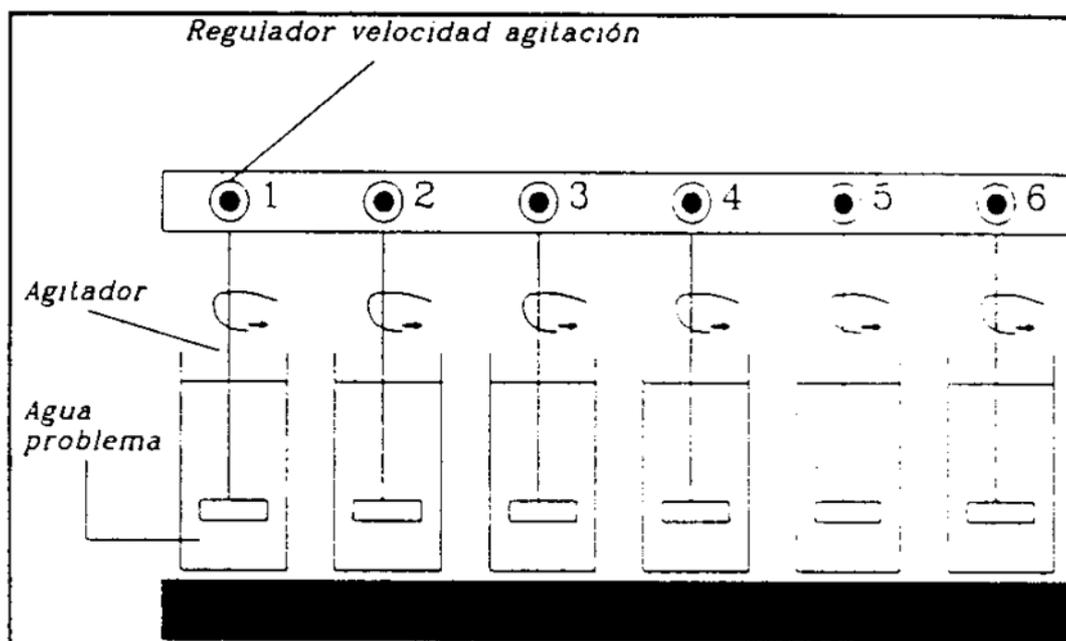
## PRUEBAS DE ENSAYO PARA LA COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

En la práctica de la coagulación-floculación no puede haber normas fijas al ser muchas las variables que intervienen y muy variados los factores que la condicionan, por lo que, además de la experiencia práctica que se tenga sobre el agua problema, es necesario proceder a la realización de pruebas de ensayo que nos delimiten las dosis óptimas de coagulantes y coadyuvantes. Generalmente se utiliza la prueba del vaso.

### PRUEBA DEL VASO

En primer lugar, se realiza la toma de la muestra del agua problema, debiendo recogerse al menos 25 litros con objeto de poder realizar una serie de 4 pruebas si fuese necesario. A continuación se procede como sigue:

- Determinar color, turbidez y pH del agua problema.
- Colocar muestras de un litro en 6 vasos de precipitados que se colocan en los alojamientos provistos de sistema de agitación del aparato.
- Añadir a continuación dosis graduadas de coagulante - floculante y coadyuvante, para favorecer la floculación, a los seis recipientes, los cuales deben mantenerse en agitación.
- Mantener la agitación suave (para la mezcla de reactivos) durante 20 minutos, o más concretamente el mismo periodo de tiempo en que ésta se lleve a cabo en la planta potabilizadora de agua.
- Dejar en reposo todos los vasos durante una hora para que se depositen los flóculos formados.
- Determinar color, turbidez, pH y aluminio del agua decantada de los vasos.
- Si ninguna de las muestras tiene las características de calidad que exige la normativa vigente, se repetirá la prueba utilizando dosis distintas de reactivos tantas veces como sea necesario.
- Los ensayos preliminares son la única manera de determinar si basta con la adición de coagulante - floculante o si es necesario adicionar algún coadyuvante, así como para dilucidar el grado de agitación más eficaz.



## PROCEDIMIENTO DE PUESTA EN MARCHA

- Antes de la puesta en marcha de un decantador para tratamiento físico-químico hay que realizar las siguientes operaciones:
- Comprobar que los motores y reductores han sido lubricados y preparados para su funcionamiento
- Verificar las cargas de reactivos químicos y cargar los dosificadores correspondientes según las instrucciones, así como los dispositivos de dosificación automática.
- Comprobar la alimentación de aire a presión a las electroválvulas de las purgas de fangos.
- Comprobar la alimentación de agua limpia a presión al cojinete guía de la turbina del Accelerator.
- Poner en marcha la turbina a un 75% de su máxima velocidad. Nota: LA VARIACIÓN DE REVOLUCIONES DEL MOTOR-REDUCTOR DEBERÁ REALIZARSE SOLAMENTE CUANDO EL MOTOR ESTE FUNCIONANDO.
- Colocar a cero el temporizador de purga de fangos para una recirculación máxima de sólido.
- Comprobar la apertura y cierre de las válvulas de purga, asegurándose que estén cerradas para una recirculación máxima de sólidos.

## CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE SÓLIDOS

El principio del tratamiento de agua por contacto de sólidos implica la adición de reactivos químicos al agua bruta en presencia de fangos que contienen una alta concentración de sólidos en suspensión. Estos sólidos proporcionan una gran superficie para acelerar la precipitación y de esta forma evitar la formación de precipitados coloidales. La consideración primordial durante el período inicial de funcionamiento es el logro de esta concentración óptima de sólidos en el fango circulante.

## RESULTADO DEL TRATAMIENTO

Cuando se inicia el tratamiento los únicos sólidos presentes son los existentes en la turbidez del agua bruta. Cuando el tratamiento es para clarificación, los diminutos sólidos deben coagularse. Se añade un coagulante-floculante para ayudar a aglomerar estos precipitados coloidales. Al principio, el crecimiento del tamaño de las partículas debido a la coagulación es extremadamente lento, pero luego se acelera rápidamente al aumentar el área de la superficie expuesta por las partículas al aumentar la concentración.

## ZONA DE FANGOS

Mientras el tamaño de las partículas aumenta, las características de la sedimentación van mejorando y empieza a formarse en el fondo del tanque una zona de fangos. Esto va acompañado por una disminución proporcional de la turbidez en la zona de agua clara. En este momento, puede aumentarse gradualmente la proporción del caudal a través de la planta sin peligro de incrementar el arrastre de sólidos en el efluente.

## CONTROL DE LA CIRCULACIÓN

La proporción o escala de la circulación depende de dos factores. Uno es la velocidad de la turbina y el otro es el tamaño o tipo de apertura de descarga de la turbina. Para obtener la adecuada agitación y mezcla en la zona primaria de mezcla y reacción, la velocidad de la turbina debe mantenerse tan alta como sea posible. Entonces, la proporción de la circulación puede controlarse, estrangulando el caudal procedente de la turbina por medio de una banda colocada alrededor de la periferia, la cual cubre una parte de la apertura de descarga de la turbina.

Empezar a funcionar con el bandaje regulable a su máxima abertura. Graduar el motor de forma que la turbina gire a un 75% de su máxima velocidad. Mirar si hay turbulencia en la zona de agua clarificada. Esta turbulencia se presenta en forma de corrientes verticales de fangos espesos que golpea la pared del tanque después de que el fango ha sido descargado del tubo o cilindro de succión, estableciéndose un sentido de circulación de abajo arriba que produce la turbidez en las capas superiores del agua clarificada.

Si existe turbulencia, reducir primero la velocidad de la turbina hasta eliminarla. La proporción o escala de circulación es directamente proporcional al tamaño de la abertura de la turbina. Por lo tanto, si la velocidad de la turbina fuese reducida de 8 r.p.m. a 6 r.p.m., descender el bandaje hasta reducir la abertura a 6/8; luego, aumentar la velocidad de la turbina a 8 r.p.m. Ahora la circulación debería ser la misma que a 6 r.p.m. con la abertura mayor. La velocidad más elevada de la turbina proporciona una mejor agitación en la zona primaria de mezcla.

Recuérdese que es mejor tener una proporción o escala de circulación más bien alta que baja. Esto es especialmente verídico durante el periodo inicial de funcionamiento cuando la consideración primordial es la consecución de una alta concentración en la zona de fangos. La velocidad de la turbina se reducirá siempre que los sólidos se depositen alrededor de la falda de la campana.

## TURBIDEZ DEL EFLUENTE

El exceso de turbidez en el agua de salida puede ser causado por una proporción de circulación demasiado alta, por insuficiente descarga de fangos, por una coagulación incompleta, por un aumento de temperatura del agua bruta o por un tratamiento químico inadecuado. Si se diese esta situación, habrá que comprobar a fondo todas las fases del proceso de decantación.

## CONDICIONES PARA EL FUNCIONAMIENTO NORMAL

Para el funcionamiento normal, la concentración óptima de los sólidos en circulación se sitúa en un 10% en volumen, según sea el tipo de sólidos presentes.

El periodo requerido para llegar a esta concentración varía según el tipo y cantidad de sólidos presentes disueltos en el agua bruta. Cuando se logra la concentración óptima, la superficie de la zona de fangos debe de estar a su nivel normal aproximadamente al nivel de la parte inferior del



cilindro.

El posterior aumento en la concentración de sólidos produce la elevación gradual de la zona de fangos, haciendo que la zona de agua clarificada tenga menos altura; por lo tanto en este momento es cuando deben descargarse los sólidos en la misma proporción que se forman por el tratamiento.

#### PUESTA EN MARCHA DESPUÉS DE UN CESE DE FUNCIONAMIENTO

- Poner en marcha la turbina.
- Recargar los dosificadores de reactivo, y después disponerlos para el funcionamiento. Puede que sea necesario aumentar la velocidad de la turbina por corto tiempo con objeto de que los sólidos decantados vuelvan a estar en suspensión.

#### CESE DE FUNCIONAMIENTO

- Detener los dosificadores y mezcladores de reactivos químicos.
- Si el cese de funcionamiento es por un periodo corto, no detener el motor del ACCELATOR. Si la parada es durante una noche o periodos más largos, detener el motor. Si la parada perjudica el tratamiento posterior por la dificultad de formar fangos, se mantendrá la turbina en marcha siempre que sea posible.

#### MANTENIMIENTO

- Lubricar todos los motores y reductores según las instrucciones del fabricante.
- Inspeccionar periódicamente todas las válvulas de fangos, y demás artificios para el funcionamiento adecuado.
- Limpiar y lubricarlos según instrucciones.

#### BARRIDO DE FANGOS

El barrido de fangos hacia los concentradores es realizado por las rasquetas con una velocidad máxima de 3 metros por minuto, que deberá reducirse cuando las necesidades de purga sean reducidas debido a una disminución en la concentración de fangos o a una turbulencia en la zona de clarificación.

**Nota importante:** Antes de parar los motores de la turbina y del puente, se llevarán los variadores a su velocidad mínima.

#### **NO ACCIONAR LOS VOLANTES DE LOS VARIADORES EN PARADO**

## I.5 FILTRACIÓN

La filtración es también uno de los procesos importantes en el tratamiento de agua de consumo humano, el proceso, consiste, en hacer pasar el agua a través de un lecho filtrante de arena silíceo para eliminar los sólidos que no se hayan retenido en la decantación. La E.T.A.P. dispone de cuatro filtros de arena por cada línea de tratamiento, en total hay 8 filtros.

El agua procedente de los canales de recogida de los decantadores, es conducida, por gravedad, al canal de agua decantada, y repartida a través de canales derivados del mismo, en forma de canales cubiertos. Estos canales cubiertos sirven de pasillo de acceso a cada uno de los filtros. Una vez que el agua llega a la entrada del filtro, ésta se filtra por gravedad a través del lecho de arena quedando retenidas las partículas en los huecos de la arena. El lecho es soportado por un falso fondo a través del cual pasa el agua filtrada en un sentido y el agua de lavado y el aire, en el otro.

El lecho filtrante está formado por una capa de arena silíceo de 600 mm. de altura, de granulometría 0,8 mm., extendida sobre un falso fondo consistente en bloques continuos con una placa porosa en su superficie, fabricadas en polietileno, con ranuras que dejan pasar el agua pero no la arena y que sirven, para la recogida del agua filtrada y para el reparto uniforme del agua de lavado en contracorriente.

Los compartimentos debajo del falso fondo tienen su salida a un canal que une las salidas de todos los filtros, y de éste el agua pasa al canal de salida del agua tratada. El agua lleva generalmente materias en suspensión que generan turbidez y olor. Los elementos que forman la turbidez son capaces de quedar retenidos en los filtros sin tratamiento previo, pero los que forman el "color" (generalmente materias coloidales) deben someterse, antes de ser filtrados, a un tratamiento de floculación o coagulación, para poder ser retenidos por el lecho de arena.

En el proceso de filtración, el agua atraviesa el lecho filtrante de arena de adecuada granulometría en sentido descendente y las partículas en suspensión van siendo retenidas en el lecho.

A lo largo de este proceso, que se denomina SERVICIO, la arena se va colmatando por los elementos retenidos.

Esto produce una elevación en la cota de agua del filtro, lo cual es detectado por un elemento situado a la altura de la lámina de agua. Este elemento tiene como misión abrir o cerrar la válvula de salida de agua filtrada.

A medida que el filtro se vaya colmatando, el nivel de agua irá subiendo, por lo que el elemento detector de nivel mandará abrir más a la válvula salida de agua filtrada, manteniéndose en todo momento el nivel del filtro en unos márgenes ya prefijados.

Si por cualquier motivo el agua de alimentación al filtro dejara de entrar, este elemento detectaría el descenso de nivel en el filtro, ya que la válvula de salida seguiría abierta, entonces mandaría cerrar a la válvula de salida de agua filtrada, manteniendo el nivel de agua en el filtro.

Durante el servicio se mantienen abiertas las válvulas de entrada de agua a filtrar (por la parte

superior del filtro y la de salida de agua filtrada a utilización (parte inferior del filtro).

Para realizar la operación de lavado se cierran/las válvulas mencionadas anteriormente y se realizan las siguientes operaciones:

a) Esponjamiento con aire.

Los elementos retenidos y la arena, son sometidos a una agitación violenta por medio de aire para que se separen. Se procede a abrir la válvula de salida de agua de lavado y se pone en servicio el grupo motosoplante. Con un retardo de 1 ó 2 segundos se abre la válvula de entrada de aire al filtro. Esta etapa tiene una duración aproximada de cinco minutos, pudiéndose ampliar según la calidad del lavado.

Una vez transcurrido el tiempo de agitación por aire, se cierra la válvula de entrada aire al filtro y con un retardo de 1 ó 2 segundos se para el grupo motosoplante. La válvula de salida de agua de lavado se deja como estaba ya que es la misma por la que saldrá el agua en la fase de lavado.

b) Lavado por agua

Una vez separados los sólidos retenidos y la arena, se procede a pasar agua en sentido contrario al de servicio (de abajo hacia arriba) con el fin de enviar la suciedad al drenaje, fuera del filtro.

Si se realiza el lavado con excesiva velocidad, esto es, con excesivo caudal de agua a contracorriente, se puede producir el hecho indeseable de perder la arena al ser arrastrada por el agua. Por tanto, es muy importante controlar el caudal de paso regulando con la válvula situada en la impulsión de la bomba de agua de lavado y comprobando que no sale arena por la salida de agua de lavado.

El tiempo de duración de esta fase se estima en 10 minutos como término medio, pero la práctica nos dirá realmente el tiempo necesario para que el agua de lavado salga limpia. En este momento se parará la bomba de agua de lavado, se cerrarán las válvulas que se tenían abiertas, y se procederá a su puesta en servicio, abriendo de nuevo las válvulas de entrada de agua a filtrar y la salida de agua filtrada a utilización.

El funcionamiento de estos filtros puede ser manual o automático.

## FILTROS DE ARENA ABIERTOS. SECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO

La válvula de salida de agua del filtro está dirigida por un sistema neumático y su apertura la determina el control de nivel neumático instalado en la superficie del agua de aquel.

En condiciones de SERVICIO se tiene abierta la válvula de entrada de agua al filtro y una electroválvula (EV-3) permite el paso de aire del regulador de nivel al cabezal de la válvula de salida de agua. De esta manera se mantiene el nivel constante en el filtro.

Al ir aumentando la pérdida de carga en el filtro, como consecuencia de los elementos filtrados, el nivel de agua tendería a subir. El regulador de nivel envía una señal mayor y la válvula de salida abre más, con lo que se restablece el nivel de agua.

Cuando la pérdida de carga (obstrucción en la arena) llega a alcanzar el valor fijado en el detector de pérdida de carga, el filtro debe lavarse. Las fases de LAVADO son las siguientes:



- **Aprovechamiento:** Para comenzar el lavado es necesario vaciar el filtro hasta la cota de vertedero. Se cierra la válvula de entrada de agua al filtro y se anula la señal neumática del regulador de nivel a la válvula de salida (cierra EV-3). Se abre una nueva electroválvula EV-2 y se le da una señal neumática fija a la válvula de salida, abriéndose totalmente, y vaciándose el filtro aprovechando el agua del interior.
- **Vaciado:** Esta operación se realiza cuando no se realiza el Aprovechamiento. En lugar de vaciar el filtro hacia la salida de agua filtrada, se abre la válvula de salida de lavado y el agua se pierde a drenaje. La diferencia con la operación anterior es el tiempo que tarda en vaciarse, que en este caso es mucho menor. En condiciones normales se emplea la situación a) y no la b).
- **Lavado con aire:** Cuando el nivel del filtro alcanza la cota adecuada (detectado por un sensor de nivel). Se abre la válvula de salida de lavado, en la parte baja del filtro, y se abre la válvula de entrada de aire de lavado. Momentos después se arranca el grupo motosoplante y se inyecta aire al filtro durante un tiempo que oscila entre 5 y 10 minutos. Se para la soplante y cierra la válvula de entrada de aire.
- **Lavado por agua:** Tras unos segundos de reposo arranca la bomba de lavado y abre la válvula de entrada de agua de lavado al filtro, durante un tiempo establecido de aproximadamente 5 minutos. Después de este tiempo cierra la válvula de entrada de agua de lavado y se para la bomba.
- **Llenado lento:** Una vez acabada la etapa anterior se cierra la válvula de salida de lavado (salida a drenaje) y se comienza a llenar al filtro. Para ello se abre la válvula de entrada de agua al filtro y una electroválvula (EV-1) da un paso de aire regulado a la válvula de salida de agua filtrada abriéndola parcialmente (20 - 30% aprox.) De esta forma se llena el filtro lentamente. Al alcanzar el nivel adecuado de agua, un detector de nivel hace que se cierre la electroválvula EV-1 y se abra la electroválvula-3, dando paso de aire desde el regulador de nivel a la válvula de salida de agua filtrada. El filtro se encuentra de nuevo en SERVICIO y se ha terminado la operación de LAVADO.

## RECUPERACIÓN DE AGUA DE LAVADO

Las aguas de lavado son conducidas hasta un depósito de almacenamiento y homogeneización desde son bombeadas de nuevo a la arqueta de reparto para ser introducidas de nuevo en el proceso.

El depósito de recuperación tiene un rebosadero de seguridad, para el caso en que las bombas de recuperación no funcionen, que evacua el agua a la arqueta de purga de fangos, desde donde parte el drenaje general de la instalación.

El mando de las bombas es manual y cada bomba tiene un sistema electrónico de control de nivel para protegerla por nivel bajo.

El funcionamiento normal de las bombas será automático y la primera se podrá en marcha en el momento en que el nivel de agua en el depósito alcance a cubrir el cuerpo de la bomba. La segunda bomba entrará en funcionamiento antes de que el nivel llegue al rebosadero de seguridad.

Se comprobará que tanto las válvulas de aspiración como de impulsión de las bombas están abiertas.

Se efectuará una limpieza periódica del depósito de recuperación.

El agua filtrada, sale de los filtros y pasa a una galería o depósito donde tiene lugar la



postcloración, en la que se dosifica cloro en una concentración suficiente para que el agua tratada salga de la E.T.A.P, dentro niveles de cloro residual libre determinados.

## I.6. POSTCLORACIÓN

El agua filtrada sale de los filtros y pasa a una tubería donde tiene lugar el proceso de postcloración, donde se inyecta cloro en una concentración suficiente para que el agua tratada salga de la E.T.A.P con una concentración de cloro residual que garantice su potabilidad a lo largo de toda la red, y a continuación, pasa a los depósitos de agua tratada.

## I.7. ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN

El agua, una vez desinfectada, pasa a un depósito de almacenamiento – regulador de 50000 m<sup>3</sup> de capacidad, consistente en una balsa de cubierta flotante, o bien al depósito de cabecera, de 15.000 m<sup>3</sup> de capacidad. Dichos almacenamientos se encuentran ubicados en el recinto de la ETAP.

## II. TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO EN LA ETAP DE ÉCIJA

El tratamiento físico-químico se utiliza para la eliminación de materias en suspensión y en disolución que deterioran las características físico-químicas y organolépticas del agua, así como la eliminación de bacterias y otros microorganismos que pueden alterar nuestra salud, esto se consigue a lo largo de todo un proceso en las Estaciones de Tratamiento de Agua Potable, que tienen como objetivo el suministrar un agua que cumpla con los requisitos establecidos en el R.D. 140/2003, el Decreto 70/2009 de la Junta de Andalucía y el R.D. 314/2016, así como las modificaciones realizadas tras la publicación del RD 902/2018.

El tratamiento del agua es un proceso físico-químico, mediante el cual se eliminan una serie de sustancias y microorganismos que implican riesgo para el consumo o le comunican un aspecto o cualidad indeseable y la transforma en un agua apta para el consumo.

Las aguas superficiales destinadas al consumo humano se clasifican según el grado de tratamiento al que deben someterse para su potabilización.

La ETAP del Consorcio Plan Écija, por el número de procesos unitarios de tratamiento de que dispone, está clasificada como A2 que significa Tratamiento Físico-Químico y Desinfección.

El agua que entra en la ETAP, agua bruta, se somete a una serie de ensayos y análisis físicos químicos y bacteriológicos que determinan el estado y características de esta agua y, por tanto, dan las pautas del tratamiento a seguir. Igualmente es necesario realizar distintos análisis a lo largo de las distintas fases del tratamiento con objeto de comprobar la eficacia de cada uno de ellos. Finalmente se realizan los correspondientes análisis y controles al agua, una vez completado el proceso de tratamiento, y así conocer las características finales del agua tratada.

El agua bruta que llega a la ETAP, procedente de la Presa de Derivación del Retortillo, generalmente es de buena calidad, aunque puede variar según la época del año y las dinámicas de



desembalse de la CHG. Los problemas principales que se pueden encontrar son:

En el embalse viven multitud de seres vivos, unos más grandes y otros más pequeños, a los que no podemos ver porque son microscópicos, los denominamos microorganismos y son fundamentalmente bacterias, algas, hongos, virus, protozoos, etc. El agua bruta, normalmente, no cumple el R.D. 140/2003 y el Decreto 70/2009 de la Junta de Andalucía, en lo referido a coliformes totales y en algunas ocasiones, incumple, otros parámetros microbiológicos.

En época de lluvias y gran aportación de agua al embalse, el agua bruta puede no cumplir con lo establecido en el R.D. 140/2003 y el Decreto 70/2009 de la Junta de Andalucía, en lo referido a la turbidez.

Cuando el agua del embalse procede de la toma inferior, el agua bruta puede no cumplir con lo establecido en el R.D. 140/2003 y el Decreto 70/2009 de la Junta de Andalucía, en lo referido al hierro y manganeso.

En época de lluvias, el agua que llega al embalse arrastra materia vegetal que se descompone formando los precursores de los trihalometanos, como son los ácidos fúlvicos y ácidos húmicos. Para minimizar la formación de trihalometanos, la ETAP del Consorcio, cuenta con un tratamiento de Permanganato en la captación (EBAP Écija 1) y otro con Carbón activo en Polvo (CAP)(EBAP Écija 2).

Como complemento a estos tratamientos, se ha trasladado el punto de inyección de cloro en Precloración hasta la salida de los decantadores a fin de minimizar el contacto entre los precursores y el cloro gas.

**Presencia de plaguicidas, en época de lluvias procedente del lavado de suelos agrícolas.** Suelen aparecer en épocas muy concretas de lluvias y en cantidades muy pequeñas. Para su eliminación se cuenta con el Carbón activo en Polvo (CAP), con una alta eficacia contrastada.

Cuando el agua bruta sale del embalse dosificamos:

- Permanganato potásico para eliminar hierro, manganeso y materia orgánica. Es un tratamiento químico ya que se produce una reacción de oxidación-reducción.
- Carbón activo en polvo para eliminar micro contaminantes orgánicos (plaguicidas y otros). Es un tratamiento físico ya que la eliminación se produce por adsorción.

Cuando el agua bruta llega a la ETAP:

- Dosificación de cloro como desinfectante (biocida). Es un tratamiento químico para eliminar todos los microorganismos. En el caso de la ETAP de Écija, para minimizar la formación de trihalometanos se está dosificando a la salida de decantación.
- Dosificación de policloruro de aluminio. Se utiliza como coagulante-floculante para la eliminación de sólidos como son los que producen la turbidez, los precipitados en la reacción de oxidación reducción con el permanganato potásico y para la eliminación del carbón activo en polvo. Es un tratamiento físico-químico.
- Decantación: es un proceso físico que consiste en que las partículas, con suficiente peso, vayan depositándose en el fondo del decantador.
- Filtración: es un proceso físico que consiste en hacer pasar el agua por arena sílicea para retener los sólidos que no hayan decantado.

Para la realización de un tratamiento físico-químico es necesario ajustar las cantidades de reactivos a



dosificar, pues sobre todo en los tratamientos químicos hay que ajustar la dosificación a la concentración del elemento que se quiera eliminar o disminuir, basada en una reacción química.

Para dosificar, hay que tener claras las unidades que vamos a manejar, que son:

### 1. Medida de caudal

La medida de caudal es muy importante, ya que toda la dosificación de reactivos se va a realizar en función del mismo. El caudal de entrada en la ETAP se mide en litros/segundo.

- Litro (l) = 1.000 centímetros cúbicos (cm<sup>3</sup>)
- Metro cúbico (m<sup>3</sup>) = 1.000 litros (l)
- Hectómetro cúbico (Hm<sup>3</sup>) = 1.000.000 m<sup>3</sup>

Para pasar de litros por segundo a metros cúbicos hora:

**EJEMPLO:**

¿Cuántos metros cúbicos/hora equivalen a 1.500 litros/segundo?

**SOLUCIÓN**

$1.500 \text{ l.} \times 3.600 \text{ seg.} = 5.400.000 \text{ l/h}$  dividido por  $1.000 \text{ l/m}^3 = 5.400 \text{ m}^3/\text{hora}$

Litros/segundo multiplicado por 3.600 segundos que tiene una hora y dividido por 1.000 litros que tiene un metro cúbico

1 metro cúbico por segundo es igual que:

- 1.000 litros por segundo
- 60.000 litros por minuto



## 2. Cantidades de los distintos reactivos a dosificar

Antes de dosificar un reactivo debemos conocer la analítica del agua, saber cuáles son los parámetros que vamos a tratar y en que concentración nos llegan en el agua bruta. A partir de ese momento se calculan las dosis de reactivos químicos que vamos a dosificar para la eliminación total o parcial de los contaminantes presentes en el agua bruta. Según el parámetro a tratar y dependiendo de la forma de eliminarlo, la dosificación puede estar basada en las indicaciones del fabricante o basado en reacciones químicas.

Para poder realizar los cálculos debemos conocer las unidades a emplear:

Kilogramo (kg) = 1.000 gramos

Gramo (gr) = 1.000 miligramos

Miligramo (mg) = 1.000 microgramos ( $\mu\text{gr}$ )

En general, las concentraciones de los parámetros en el R.D. 140/2003 y en el Decreto 70/2009 de la Junta de Andalucía, vienen expresadas en miligramos y en microgramos por litro.

A la concentración miligramo por litro (mg/l), se llama también parte por millón (p.p.m.). Significa la cantidad de una sustancia en un litro de agua, expresada en miligramos. Es una unidad que se utiliza constantemente en la ETAP.

### EJEMPLO:

Se analizan los nitratos en el agua bruta y el resultado es de 30 mg/l, podemos decir también que tiene 30 p.p.m. de nitratos

## 3. Tanto por ciento (%)

Hay reactivos para tratamiento de agua, que no tienen riqueza del 100%, por tanto, para dosificar hay que calcular la cantidad de reactivo comercial que debemos dosificar.

### EJEMPLO:

Tenemos hipoclorito sódico comercial con una riqueza en hipoclorito sódico del 15%, esto quiere decir que en cada kilo del producto comercial hay 150 gramos de hipoclorito sódico.



### PROBLEMA

Nos llegan a la ETAP 1.500 l/seg y debemos dosificar 5 p.p.m. de hipoclorito sódico. ¿Qué cantidad de hipoclorito sódico comercial debemos dosificar a la hora?

### SOLUCIÓN:

1.500 l/seg multiplicado por 5 p.p.m. (o miligramos por litro (mg/l) que debemos dosificar) =  
 $7.500 \text{ mg/s} = 7,5 \text{ gr/seg}$  multiplicado por 3.600 seg. que tiene una hora =  $27.000 \text{ gr/h} = 27 \text{ kg/h}$

El hipoclorito sódico comercial tiene una riqueza del 15%, por lo que sabemos que en cada kilo del producto comercial hay 150 gr de hipoclorito. Como necesitamos 27 kg/h, la operación sería:

$150 \text{ gr} = 0,150 \text{ kg}$ ,

Luego,

$27 \text{ kg/h}$  dividido por  $0,150 \text{ gr/kg} = 180 \text{ kg/hora}$  de hipoclorito sódico deberemos dosificar.

También podemos resolver el problema pasando los litros por segundo a metros cúbicos por hora:

$1.500 \text{ l/seg} = 5.400 \text{ m}^3/\text{hora}$

5 p.p.m. o miligramos por litro multiplicado por 1.000 litros que tiene un metro cúbico =  
 $5.000 \text{ mg/m}^3 = 5 \text{ gr/m}^3$

como tenemos  $5.400 \text{ m}^3/\text{h}$

$5.400 \text{ m}^3/\text{h} \times 5 \text{ gr/m}^3 = 27.000 \text{ gr/h}$

$27.000 \text{ gr/h} : 1.000 = 27 \text{ kg/h}$

$27 \text{ kg/h} : 0,150 \text{ gr /kg} = \mathbf{180 \text{ kg /h de hipoclorito sódico debemos dosificar.}}$

Además de saber los kilos que se deben dosificar, se debe de saber los litros, pues las bombas dosificadoras dosifican por caudal, no por peso. Para ello, necesitamos conocer la densidad del producto.

#### 4. Densidad

Es la medida de la cantidad de masa por unidad de volumen. Cada sustancia tiene su densidad, no pesa lo mismo un litro de agua que un litro de ácido sulfúrico, un litro de agua pesa un kilo y un litro de ácido sulfúrico concentrado pesa 1,84 kilos, por tanto la densidad del agua es 1 kg/l y la del ácido sulfúrico es 1,84 kg/l.

##### **PROBLEMA**

¿Cuántos litros de hipoclorito sódico debemos de dosificar en una hora, sabiendo que la densidad del hipoclorito comercial es de 1,24 gr/ cm<sup>3</sup>?

Como la densidad viene expresada en gr/cm<sup>3</sup>, multiplicamos por 1.000 y nos da el peso de un litro.

Siguiendo con el problema anterior

$$1,24 \text{ gr/cm}^3 \times 1.000 = 1.024 \text{ gr/l} = 1,24 \text{ kg/l}$$

Como tenemos que dosificar 180 kg, debemos de dividir por lo que pesa un litro y nos dará los litros a dosificar en una hora.

$$180 \text{ kg/hora} : 1,24 \text{ kg/l} = 145,16 \text{ l/h}$$

Ahora conocemos los litros y ya se puede ajustar la bomba dosificadora.



## 5. Preparación de cubas de reactivos

Hay reactivos que se dosifican tal y como llega a la ETAP el producto comercial, pero hay otros que hay que preparar soluciones de concentración conocida y de esa forma poder dosificar la cantidad que en cada caso se necesite para el problema a tratar, cantidad que viene determinada, en la mayoría de los casos, por la estequiometría de las reacciones químicas que se producen.

Las soluciones deben de tener una concentración, que no sea demasiado alta porque entonces se dosifican pocos litros/hora, ni tampoco demasiado baja porque obliga a preparar cubas constantemente. Debe tener una concentración adecuada al problema a tratar.

Para la preparación de una solución de un reactivo, se necesita conocer primero el volumen de la cuba. Las cubas pueden ser cilíndricas o pueden ser en forma de prisma rectangular o cuadrado (dependiendo que la base sea un rectángulo o un cuadrado)

El volumen de una cuba cilíndrica se calcula por la fórmula:

$$\pi \times r^2 \times h = m^3$$

siendo

$$\pi = 3,1416$$

r = radio de la cuba expresado en metros

h = altura hasta donde se va a llenar la cuba, expresada en metros

### EJEMPLO:

Tenemos una cuba de 1,80 m de diámetro y tiene una altura total de 2,50 m. La queremos llenar hasta la altura de 2 m, ¿Cual es el volumen hasta los 2 m de altura?

Aplicando la formula anterior:

$$r = 0,9 \text{ m por tanto } r^2 = 0,81 \text{ m} \quad \text{y} \quad h = 2 \text{ m}$$

$$\text{Volumen de la cuba hasta los 2 metros} = 3,1416 \times 0,81 \times 2 = 5,089 \text{ m}^3 = 5.089 \text{ l.}$$

En el caso de una cuba en forma de prisma rectangular o cuadrado, el volumen de la cuba se calcula:

En el caso de un prisma rectangular la fórmula para calcular el volumen es:

Lado 1 x lado 2 x h donde

Lado 1 es la medida de un lado de la base. Lado 2 es la medida del otro lado de la base.

Y h es la altura.

En el caso de que la cuba tenga la base cuadrada la formula es la misma, solo que los lados son iguales.



**EJEMPLO:**

Tenemos una cuba de base rectangular, las medidas de los lados de la base son, uno 1,20 m y el otro 1,50 m y la altura de la cuba es de 1,80 m ¿Cuál es el volumen de la cuba hasta 1,60 m. de altura?.

Aplicando la formula anterior:

lado 1 = 1,20 m lado 2 = 1,50 m

Altura hasta la que queremos calcular el volumen (h) = 1,60m

Volumen de la cuba hasta 1,60 m =  $1,20 \times 1,50 \times 1,60 = 2,88 \text{ m}^3 = 2.880 \text{ l}$ .

Una vez que conocemos el volumen de la cuba y la cantidad de reactivo que vamos a dosificar, debemos de calcular que concentración de reactivo es la adecuada.

**EJEMPLO:**

Tenemos hierro y manganeso en el agua bruta, en concentraciones que superan lo establecido en el R.D.140/2003 y el Decreto 70/2009 de la Junta de Andalucía. Para la eliminación o disminución de dichos metales, debemos de dosificar permanganato potásico en la ETAP.

Los datos que tenemos son:

Hierro 300 microgramos ( $\mu\text{gr}$ ). Manganeso 200 microgramos ( $\mu\text{gr}$ )

Vamos a dosificar 0,2 p.p.m. de permanganato potásico

Volumen de la cuba 2.000 litros

Caudal de agua bruta entre 1.000 y 1.500 l/seg

El permanganato potásico comercial viene solido en envases de 25 kg.

Lo primero que tenemos que calcular es la cantidad de permanganato potásico que tenemos que añadir al agua bruta cada hora, para ello es necesario calcular los metros cúbicos/hora.

Como el caudal oscila entre 1.000 y 1.500 l/seg, debemos de preparar una tabla y pasar los litros/segundo a metros cúbicos/hora.



$$1.000 \times 3.600 : 1.000 = 3.600 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$1.100 \times 3.600 : 1.000 = 3.960 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$1.200 \times 3.600 : 1.000 = 4.320 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$1.300 \times 3.600 : 1.000 = 4.680 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$1.400 \times 3.600 : 1.000 = 5.040 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$1.500 \times 3.600 : 1.000 = 5.400 \text{ m}^3/\text{h}$$

Por tanto se van a tratar, en la ETAP, entre 3.600 y 5.400 m<sup>3</sup>/h.

Como debemos de dosificar 0.2 p.p.m. (miligramos por litro), vamos a pasar los miligramos/litro a gramos/metro cubico, para ello lo único que tenemos que hacer es multiplicar por 1.000.

$$0,2 \times 1.000 = 200 \text{ miligramos/m}^3 = 0,2 \text{ gramos/m}^3$$

Como tenemos el caudal en m<sup>3</sup>, solo tenemos que multiplicar el caudal por los gramos/m<sup>3</sup> de permanganato potásico para saber la cantidad que debemos añadir a la hora.

$$3.600 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,2 \text{ gr/m}^3 = 720 \text{ gr/h}$$

$$3.960 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,2 \text{ gr/m}^3 = 792 \text{ gr/h}$$

$$4.320 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,2 \text{ gr/m}^3 = 864 \text{ gr/h}$$

$$4.680 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,2 \text{ gr/m}^3 = 936 \text{ gr/h}$$

$$5.040 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,2 \text{ gr/m}^3 = 1.008 \text{ gr/h}$$

$$5.400 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,2 \text{ gr/m}^3 = 1.080 \text{ gr/h}$$



Ya sabemos que vamos a añadir al agua bruta entre 720 y 1.080 gr/h de permanganato potásico en solución cada hora, por tanto vemos que podemos gastar un envase de permanganato en aproximadamente un día.

El volumen de la cuba, hasta el volumen que queremos llenar, es de 2.000 litros, si a los 2.000 litros de agua le añadimos 25 kg de permanganato potásico, tendremos una solución con una concentración de:

$$25 \text{ kg} = 25.000 \text{ gr}$$

$$25.000 \text{ gramos} : 2000 \text{ litros} = 12,5 \text{ gr/l}$$

Tenemos la solución con una concentración de 12,5 gr/l y queremos dosificar entre 720 y 1.080 gr/h, pues si en un litro tenemos 12,5 gr para dosificar 720 gr/h :

$$720 \text{ gr/h} : 12,5 \text{ gr} = 57,6 \text{ litros/hora}$$

$$1.080 \text{ gr/h} : 12,5 \text{ gr} = 86,4 \text{ litros/hora}$$

Por los caudales que nos salen vemos que la concentración de 12,5 gr/l es correcta, pues son caudales adecuados para las bombas dosificadoras.

Si el caudal de agua bruta es mayor o si hay que dosificar más p.p.m. de reactivo, tendríamos que recalcular la concentración de la cuba pues al aumentar los litros/hora la duración de la cuba sería menor.

Por otro lado, si el caudal de agua bruta es menor o si hay que dosificar menos p.p.m. de reactivo, tendríamos que recalcular la concentración de la cuba pues al disminuir los litros/hora la duración de la cuba sería mayor.

### III. MANUAL DE CLORACIÓN

---

#### III. 1 ANTECEDENTES

El cloro fue descubierto, en su estado gaseoso, en un laboratorio sueco en 1774. Fue en 1810 cuando se le identificó como elemento químico, y recibió la denominación de cloro, derivada del nombre griego "chloros" (verde pálido), a causa de su característico color. Fue algunas décadas después cuando se descubrió su efecto desinfectante.

Las primeras referencias al uso del cloro en la desinfección del agua datan de hace más de un siglo. Se utilizó durante un corto periodo de tiempo en Inglaterra, en el año 1854, combatiendo una epidemia de cólera, y fue utilizado de forma regular en Bélgica a partir de 1902.

A través del tiempo transcurrido desde estas relativamente cercanas fechas, el cloro se ha acreditado como el más eficaz de los medios utilizados en la desinfección del agua, bien sea directamente o en forma de compuestos que lo contienen. El desarrollo experimentado durante los últimos cincuenta años en los métodos y equipos utilizados a este fin, han facilitado su adopción con carácter general para el tratamiento del agua.

La utilización del cloro gaseoso es la forma más habitual, aunque requiere el empleo de materiales y equipos apropiados. En pequeñas instalaciones, abastecimientos rurales o para emergencias, la utilización de soluciones de diversos productos químicos que contienen cloro, puede ser más satisfactoria y económica. Entre estos productos están los hipocloritos, las cloraminas (combinaciones del cloro con el amoníaco), el hipoclorito de cal (polvos de gas o cloruro de cal), etc.

#### III. 2 GENERALIDADES

El cloro es un gas amarillo verdoso, con un olor irritante característico que denuncia su presencia, incluso en concentraciones muy débiles.

Es dos veces y media más pesado que el aire; liberado accidentalmente se esparce a ras del suelo.

En estado líquido es de un color amarillo, tanto más claro cuanto más baja es la temperatura.

En frío, el cloro seco no ataca los metales o las aleaciones corrientes (hierro, acero, ciertos aceros inoxidables, níquel, cobre, latón, bronce, plomo); por el contrario, en presencia de humedad su agresividad es muy grande.

En caliente, el cloro seco reacciona con casi todos los elementos; ataca, por ejemplo, rápidamente el acero a partir de 149°C. La mayor parte de los hidrocarburos reaccionan rápidamente con el cloro.

Las mezclas constituidas por hidrógeno y más de un 4 por 100 de cloro, o de cloro y más de un 4 por 100 de hidrógeno, son muy explosivas y sensibles a la acción de la luz.

En presencia de cloro, los vapores húmedos de amoníaco forman una nube de cloruro de amonio. Esta reacción permite detectar las fugas de cloro aunque sean muy débiles.

El símbolo químico del cloro es Cl. Pertenece al grupo de los halógenos. Su número atómico es 17.

El cloro tiene gran capacidad de reacción, es tóxico y produce efectos nocivos sobre el organismo humano. No arde, y por sí mismo no es inflamable ni explosivo.

En la naturaleza no se encuentra libre, pero combinado está muy extendido. Hay ácido clorhídrico en los gases de los volcanes, y el jugo gástrico de los mamíferos; como cloruro sódico, potásico y magnésico, principalmente, se encuentra en el agua del mar y en yacimientos salinos. En los reinos vegetal y animal los cloruros están presentes en la sangre, orina, leche, tejido muscular, etc. Fuera de nuestro planeta se ha identificado cloro en nebulosas, estrellas, y como cloruro sódico, en meteoritos.

Industrialmente, el cloro se obtiene por electrolisis del cloruro de sodio o de potasio en celdas electrolíticas que pueden ser de tres tipos: de mercurio, de diafragma y de membrana.

Un litro de cloro equivale a 456,8 litros de Cl<sub>2</sub> gaseoso a 0°C y 1 atmósfera.

### III.3 SOLUBILIDAD DEL CLORO GAS

El cloro gas es poco soluble en agua. La solubilidad del cloro en agua es de una naturaleza un poco especial, puesto que la disolución va acompañada de una hidrólisis del cloro, con formación de ácido clorhídrico y de ácido hipocloroso disueltos. Estas "soluciones" tienen olor a cloro y lo desprenden por calentamiento moderado, pero se comportan químicamente bien como una solución ácida, o bien como una solución oxidante.

### III.4 HIPOCLORITOS

Los hipocloritos son sales del ácido hipocloroso: se comercializan en forma seca o líquida. Su disolución en el agua da lugar a un equilibrio similar al originado por el cloro gas. La principal diferencia es el valor del pH resultante. Las soluciones de hipocloritos contienen un exceso de álcali, lo que tiende a incrementar el pH.

El hipoclorito de calcio es la forma más frecuente de comercialización como producto sólido, y el hipoclorito sódico como líquido.

Estos productos tienen un poder oxidante equivalente al cloro gas, y pueden ser utilizados para los mismos fines en el tratamiento del agua. La elección del producto más conveniente depende de aspectos técnicos y económicos. Los hipocloritos son especialmente indicados para resolver emergencias en el campo de la desinfección, así como para pequeñas instalaciones, proporcionando resultados similares a los obtenidos con el uso del cloro gas. Aunque no se puede establecer con



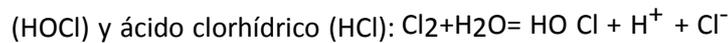
carácter terminante, la experiencia aconseja utilizar el hipoclorito para los pequeños abastecimientos de hasta 2.000 personas.

### III.5 PRINCIPIOS DE LA CLORACION DEL AGUA

El objetivo fundamental perseguido con la cloración del agua es la desinfección. En la actualidad este objetivo se cumple con total garantía, siempre que se apliquen los métodos adecuados y se ejerza un control técnico.

#### REACCIONES CON EL AGUA.

Cuando se añade cloro al agua químicamente pura se forma una mezcla de ácido hipocloroso



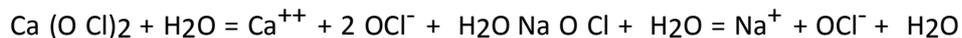
Esta reacción tiene lugar en pocos segundos y a temperatura normal. En función de la temperatura y del pH de la disolución, el ácido hipocloroso se ioniza o disocia en hidrógeno e ion hipoclorito. Esta reacción es prácticamente instantánea y reversible.



La proporción de  $\text{OCl}^-$  y de  $\text{HOCl}$  en función de la temperatura y el pH viene indicada en la figura 1.

En la figura 1, apreciamos que con niveles del pH por debajo de 6, el cloro existe predominantemente en forma de  $\text{HOCl}$ , mientras que para niveles del pH superiores a 8 existe en forma de  $\text{OCl}^-$ . El pH normal en el agua de un abastecimiento es el que corresponde a una presencia conjunta del ácido hipocloroso y de ion hipoclorito. Al cloro que existe en el agua en forma de ácido hipocloroso y de ion hipoclorito se le denomina cloro libre.

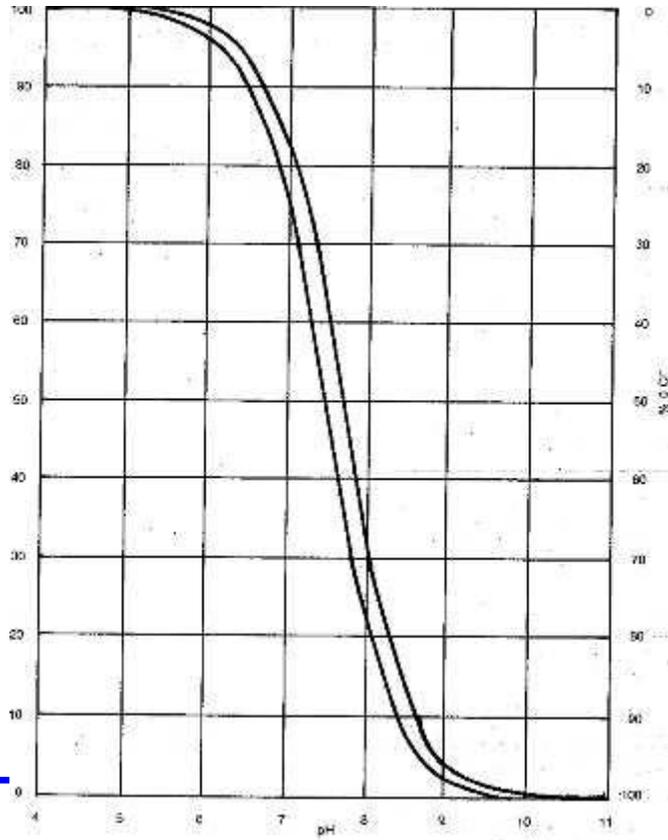
Los compuestos que contienen cloro, como por ejemplo el hipoclorito de calcio  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$  y el hipoclorito de sodio  $\text{NaOCl}$ , se ionizan en el agua y dan lugar a iones hipoclorito:



También se establece un equilibrio entre los iones hipoclorito y los iones hidrógeno en función del pH. Por tanto, se establece el mismo tipo de equilibrio independientemente de que se utilice cloro, gas o compuestos de cloro en forma de hipocloritos. La única, pero importante diferencia es el pH resultante, y por tanto las cantidades relativas de  $\text{HOCl}$  y de  $\text{OCl}^-$  existentes en el equilibrio. El cloro tiende a disminuir el pH inicial, mientras que los hipocloritos tienden a aumentarlo.



Figura 1. Distribución del HOCl y del OCl<sup>-</sup> en el agua en función del pH.



## REACCIONES CLORO-AMONÍACO

Las reacciones del cloro con compuestos inorgánicos del nitrógeno, tales como el amoníaco, tienen una gran importancia en los procesos de cloración del agua. Cuando se añade cloro a un agua que contenga amoníaco, el amoníaco reacciona con el HO Cl para formar cloraminas, que al igual que el HO Cl tienen poder oxidante.

Las reacciones entre el cloro y el amoníaco pueden estar representadas por:



La proporción de los productos resultantes de la reacción es función de la temperatura, del pH, del tiempo transcurrido y de la proporción inicial Cl:NH<sub>3</sub>. Para valores altos de esta proporción, bajas temperaturas y bajos niveles del pH, se favorece la formación de dicloramina.

El cloro también reacciona con compuestos orgánicos del nitrógeno, tales como las proteínas y los aminoácidos, dando lugar a complejos orgánicos del nitrógeno, tales como las proteínas y los aminoácidos, dando lugar a complejos de cloramina. El cloro que existe en el agua, combinado químicamente con amoníaco-nitrógeno o compuestos orgánicos del nitrógeno se denomina cloro útil combinado.

## OTRAS REACCIONES DEL CLORO

La reacción entre el sulfuro de hidrógeno y el cloro es un ejemplo característico de su efecto sobre las sustancias inorgánicas reductoras:



Teóricamente, una parte de H<sub>2</sub>S puede ser oxidada por 8,5 partes de cloro, y aproximadamente 10 partes de alcalinidad (en forma de Ca CO<sub>3</sub>).

Los nitritos, presentes en algunas aguas, particularmente las contaminadas por vertidos domésticos e industriales, también son oxidados por la acción del cloro y pasan a nitratos. Cada parte de nitrito consume 1,5 partes de cloro.



Puede que en el agua existan sustancias orgánicas reductoras en pequeña concentración. Sin embargo, algunas de estas sustancias pueden ejercer una influencia fundamental en el proceso de la cloración, en función de la concentración de cloro y el tiempo de contacto. Algunas sustancias orgánicas disueltas en el agua reaccionan rápidamente con el cloro, pero, generalmente, el tiempo requerido para que se complete el proceso de reacción es cuestión de horas. Bajo ciertas condiciones pueden formarse productos de cloro-adición, o de cloro-sustitución, y bajo otras condiciones, estas sustancias orgánicas pueden oxidarse completamente. Los compuestos del cloro con estas sustancias orgánicas tienen por lo general un bajo poder bactericida, y complican el proceso de la cloración por originar un elevado consumo de cloro y dar lugar a molestos olores y sabores.

### CONTENIDO EN CLORO.

Este concepto de "contenido en cloro" se estableció en los principios de la práctica de la cloración, con objeto de poder comparar la capacidad desinfectante de los compuestos del cloro, con la del cloro gas, cuando se creía que éste se aprovechaba al 100 por 100 en las reacciones de desinfección. El contenido en cloro de una disolución se determina midiendo el yodo que la solución libera al mezclarla con una solución acidificada de yoduro. El peso del cloro elemental, Cl<sub>2</sub>, requerido para liberar su equivalente de yodo y referido a un litro, es el "contenido en cloro" de la solución. También conocido como "cloro activo" y se expresa en gramos por litro o por kilo.

La tabla 1 nos facilita la equivalencia entre distintos productos utilizados en la cloración.

**Tabla 1. Equivalencia en poder oxidante de diversos productos**

	Cloro	Hipoclorito sódico (13% Cl)	Hipoclorito cálcico (70% Cl)	Cloruro de cal (35% Cl)	Clorito sódico (80%)	Bióxido de cloro	Oxígeno activo	Peróxido de hidrógeno (50%)	Peróxido sódico (95%)	Perborato sódico (10% O act.)
Cloro	1	7,89	1,43	2,86	0,79	0,38	0,23	0,96	1,16	2,27
Hipoclorito sódico (13% Cl)	0,13	1	0,19	0,37	0,10	0,05	0,03	0,12	0,15	0,29
Hipoclorito cálcico (70% Cl)	0,70	5,38	1	2,00	0,55	0,26	0,16	0,67	0,81	1,59
Cloruro de cal (35% Cl)	0,35	2,69	0,50	1	0,28	0,13	0,08	0,34	0,40	0,79
Clorito sódico (80%)	1,28	9,73	1,81	3,62	1	0,48	0,29	1,21	1,47	2,87
Bióxido de cloro	2,63	20,24	3,76	7,53	2,08	1	0,60	2,53	3,05	5,97
Oxígeno activo	4,44	33,43	6,22	12,43	3,43	1,65	1	4,17	5,04	9,87
Peróxido de hidrógeno (50%)	1,04	8,01	1,49	2,98	0,82	0,40	0,24	1	1,21	2,36
Peróxido sódico (95%)	0,86	6,63	1,23	2,47	0,68	0,33	0,20	0,83	1	1,96
Perborato sódico (10% O act.)	0,44	3,39	0,63	1,26	0,35	0,17	0,10	0,42	0,51	1

### III.6 DESINFECCIÓN DEL AGUA



La mayor parte de las aguas, aún en el caso de que sean totalmente claras, o hayan sido sometidas a un tratamiento especial, se encuentran, generalmente, contaminadas por microbios nocivos para el organismo humano. Por ello se precisa una desinfección eficaz del agua.

La desinfección es extraordinariamente importante, tanto desde el punto de vista higiénico como desde el punto de vista estético. Su primer objetivo consiste en evitar la transmisión

de enfermedades; el segundo consiste en evitar el desarrollo de algas microscópicas que enturbian el agua, comunicándole un color verdoso.

### III.7 CONTROL DE LA CLORACIÓN

#### DEMANDA DEL CLORO

El cloro en el agua es un agente químico muy activo. Si una pequeña cantidad de cloro se agrega al agua, reaccionará con la gran cantidad de sustancias disueltas o suspendidas en ella, y entonces su poder como agente desinfectante quedará anulado. Así, el cloro reacciona rápidamente con el ácido sulfhídrico, lo cual da como resultado que no habrá desinfección. El manganeso, el hierro y los nitritos reaccionan de forma similar con el cloro, y por ello no se lleva a término ninguna desinfección.

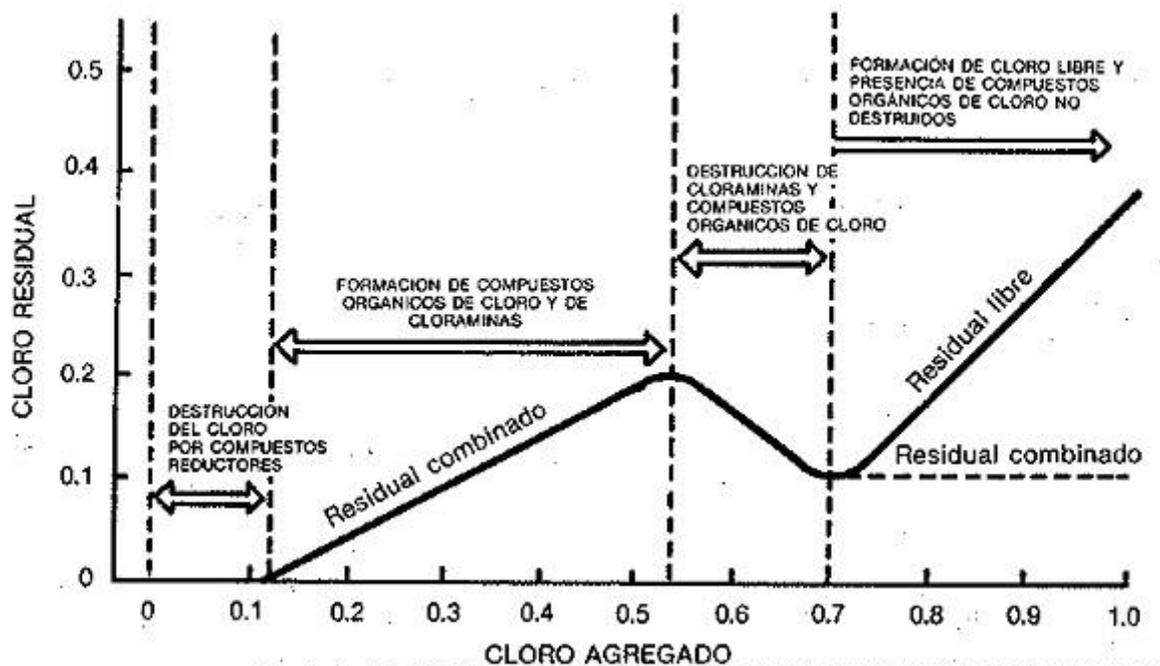
Si se agrega la cantidad suficiente de cloro para que reaccionen con los anteriores tipos de compuestos (compuestos reductores), y luego se continúa añadiendo, el exceso de cloro que se adicione, reaccionará con cualquier materia orgánica presente para producir compuestos orgánicos de cloro, los cuales tienen poca o ninguna acción desinfectante y pueden causar sabores y olores.

Si a partir de aquí se continúa agregando cloro en cantidad suficiente para que reaccione con todas las sustancias reductoras, la materia orgánica y el amoníaco, un poco más de cloro que se añada quedará como cloro residual libre disponible, el cual es un agente desinfectante muy activo.

En la figura se representa gráficamente todo lo dicho con anterioridad. La curva en cuestión se conoce como "curva de demanda de cloro".

Ello explica el hecho que si en varios vasos se introducen dosis crecientes de cloro, y se determina al cabo de una hora el cloro residual, se observa, a veces, que este valor en lugar de aumentar de forma regular, pasa por un máximo, después decrece, pasa por un mínimo y crece, por último, regularmente.

El "break point" es la dosis de cloro correspondiente al mínimo de la curva, en el que se ha consumido todo el cloro necesario para eliminar el amoníaco y se han destruido parcialmente las cloraminas que pudieran haberse formado. Como la mayor parte de los compuestos que se han ido formando desprenden malos olores, el "break point" (punto de ruptura), es la dosis que corresponde al mínimo sabor a cloro del agua, a partir del cual se empiezan a cumplir las garantías higiénicas.



El agua de consumo deberá contener en todo momento cloro residual libre o combinado u otros agentes desinfectantes, a las concentraciones que marca el R.D. 140/2003 y el Decreto 70/2009 de la Junta de Andalucía.

La medida del cloro residual libre o combinado se puede realizar puntual o en continuo, para ello se utilizan analizadores que utilizan métodos colorimétricos o amperométricos de medida.

### III.8. ASPECTOS PRÁCTICOS DE LA CLORACIÓN

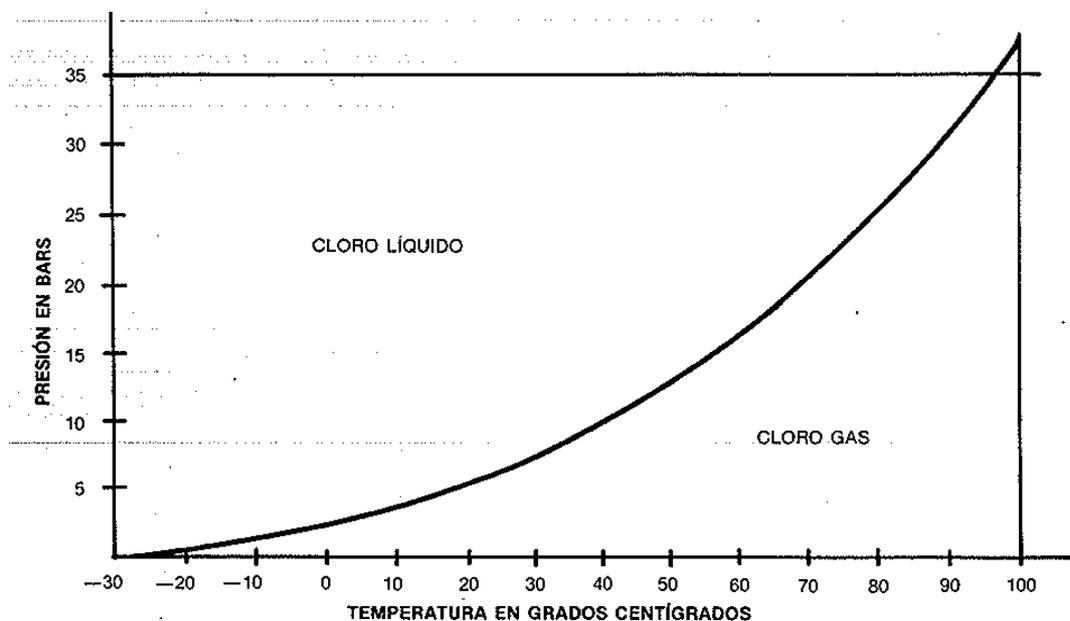
#### SUMINISTROS DEL CLORO

El cloro que se utiliza en las instalaciones de cloración, bien sean estos pequeños equipos como pueden ser los que se emplean en la cloración de pozos y en las cloraciones complementarios a la salida de los depósitos de la red de distribución, o bien sea los equipos que deben dosificar mayores cantidades de cloro, como en las estaciones de tratamiento de agua superficial, pueden ser suministradas por los fabricantes en envases de diversa capacidad. Esta puede variar desde botellones de 50 y 100 kg hasta contenedores de 1.000 kg. Inclusive se puede suministrar a granel, mediante camiones cisterna. En todos ellos el cloro está a presión en fase líquida en equilibrio con



la parte gaseosa. En la figura se indica la curva de presión del cloro gas cuando está en equilibrio con el cloro líquido, en función de la temperatura. Es una curva importante para el control de funcionamiento de instalaciones de cloración en las que se utilizan evaporadores para forzar la vaporización del cloro líquido a cloro gas. En un punto con condiciones de presión y temperatura por debajo de la curva de equilibrio, el cloro se encuentra en fase gaseosa y temperatura por encima se encuentra en fase líquida.

Curva de equilibrio cloro líquido-cloro gas.



Los botellones tienen una única tubería de salida, que toma el fluido de la parte alta del recipiente, y por tanto el cloro sale en forma de cloro gas. A 21°C la velocidad normal de evaporación de cloro líquido a cloro gas es de 3 kg/hora aproximadamente, en un cilindro o botellón de 50 kg. Esto quiere decir que no se puede extraer más cantidad de cloro a un solo botellón de la citada, y que si queremos trabajar con este tipo de envases y las necesidades de la instalación requieren mayor cantidad de cloro, hay que montar varios botellones en paralelo. Los contenedores de cloro tienen, en cambio, dos tomas de salida de cloro. Una por la parte superior, por la que sale cloro líquido, y otra por la parte inferior por la que sale cloro líquido, que es la que se utiliza si la instalación dispone de un evaporador para aumentar el rendimiento de la instalación. Los contenedores deben trabajar siempre en posición horizontal, mientras que los botellones lo hacen en posición vertical.



La velocidad de evaporación de un contenedor de cloro de 1.000 kg es de aproximadamente 10 kg/hora, según sea la temperatura ambiente y la presión a que funcione la instalación.

### CANTIDAD DE CLORO QUE SE PRECISA

La capacidad de cloración dependerá del sistema de tratamiento adoptado. Si el agua a tratar contiene cantidades importantes de amoníaco, y el diseño de la planta incluye pre-cloración y post-cloración, se requerirá un fuerte consumo de cloro muy superior, por ejemplo, a la de un agua con poco amoníaco que se puede eliminar por procesos biológicos, y que sólo necesita una pequeña adición de cloro al final del tratamiento, para conseguir su potabilidad bacteriológica.

### PUNTO DE APLICACIÓN

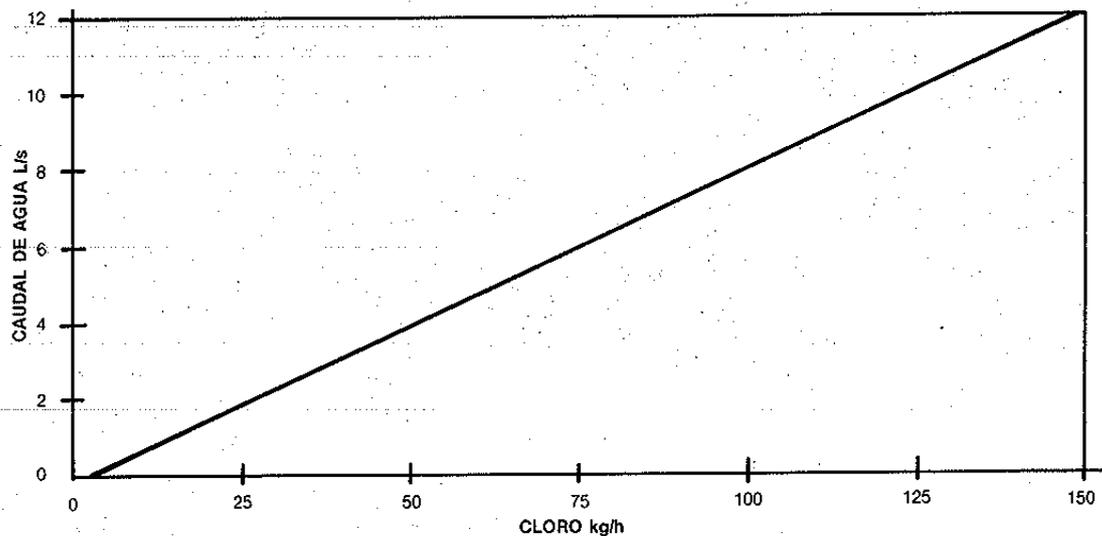
El punto de aplicación del cloro también depende del tipo de tratamiento a seguir. Aunque modernamente empieza a haber opiniones contrapuestas a la conveniencia de la precloración, lo más habitual, hasta la fecha, es que en las estaciones de tratamiento exista precloración y post-cloración, siendo en la primera de las aplicaciones en donde se emplea más cloro. Es conveniente que el punto de aplicación esté situado de tal forma que el agua esté en contacto con el cloro dos o tres minutos antes de que se le añadan otros productos químicos, como floculantes. Es necesario que la adición del agua clorada se efectúe mediante un difusor que favorezca la mezcla con el agua a tratar al mismo tiempo que se evitan las pérdidas de cloro en la superficie del agua.

Las tuberías que conducen el agua clorada desde el inyector hasta el difusor en el punto de aplicación, deben ser, lógicamente, de material resistente al cloro, utilizándose habitualmente cloruro de polivinilo por su duración, coste y facilidad de montaje.

### INYECTORES

En los inyectores, como ya se ha avanzado anteriormente, se mezcla el cloro gas con un flujo de agua auxiliar, obteniéndose agua fuertemente clorada, pudiéndose alcanzar una concentración de hasta 3.500 p.p.m. de cloro. En la figura se indica la cantidad mínima necesaria de agua auxiliar en función de la cantidad de cloro que se desea dosificar para una concentración de la solución de 3.500 p.p.m.

Caudal mínimo de agua requerido por los inyectores para 3.500 p.p.m. de cloro.



### MÉTODOS DE CONTROL

El método de control del cloro en el agua dependerá de la variabilidad de la calidad del agua y del grado de automatismo que se pretenda tener en la estación de tratamiento. Puede ser totalmente manual, tanto en la precloración como en la postcloración, semiautomática, por ejemplo, precloración manual y postcloración automática, o totalmente automática, tanto en la precloración como en la postcloración.

Si la calidad del agua de entrada es constante, puede bastar que la dosificación automática de la precloración se realice proporcionalmente al caudal de entrada en la Planta. Si la calidad es variable habrá que disponer de un analizador automático de cloro residual que corrija la dosis de cloro en función de la demanda. Si se sigue el sistema de precloración al break-point no basta con controlar el cloro residual que puede ser libre y/o combinado, sino que es preciso conocer el cloro libre en un punto estratégico de la planta para tener la seguridad de que se está clorando en un punto situado a la derecha del punto de ruptura, ya que de no ser así podría ocurrir que se efectuasen correcciones en la dosificación del cloro, contrarias a las pertinentes.

### ALOJAMIENTO DE LOS EQUIPOS

El edificio donde se alojan los equipos de cloración debe reunir unas condiciones que algunos casos son convenientes y en otros son imprescindibles, para la adecuada utilización y funcionamiento de los mismos.

No debe escatimarse espacio. Hay que evitar que en el movimiento de botellas y contenedores, y en el de las personas, se produzcan golpes que pueden dar lugar a rotura de tuberías, uniones flexibles, equipos, etc., que pueden a su vez provocar escapes de cloro gas, o lo que



es peor, de cloro líquido. Por ello, debe dimensionarse el edificio con suficiente amplitud para que no se produzcan accidentes

El edificio debe disponer de buena ventilación, forzada equipándolo con extractores capaces de renovar el aire en tres o cuatro minutos. Puesto que el cloro es más pesado que el aire, los extractores deben estar situados cerca del suelo.

Por otra parte, en aquellas instalaciones en las que se disponga de torre de absorción o neutralización de escapes de cloro, el edificio donde se ubiquen los bidones debe estar permanentemente cerrado para que si se produce un escape de cloro, el aire quede inicialmente confinado en el interior y pueda ser evacuado al lugar adecuado.

En cuanto a la temperatura, se recomienda que en el espacio en donde están emplazados los cloradores, no descienda por debajo de los 18°C. En caso de precisarse radiadores, éstos no deben estar muy próximos a los bidones.

Hay que prever lógicamente un suministro de energía eléctrica que no es despreciable, ya que los cloradores, analizadores de cloro, válvulas motorizadas y especialmente los evaporadores, consumen energía. Éstos últimos, por ejemplo, tienen un consumo, para una capacidad de evaporación de 160 kg/hora de cloro, de 15 kw con tres resistencias de 5 kw cada una. El equipo de alumbrado será el adecuado para resistir el ambiente, en general bastante corrosivo.

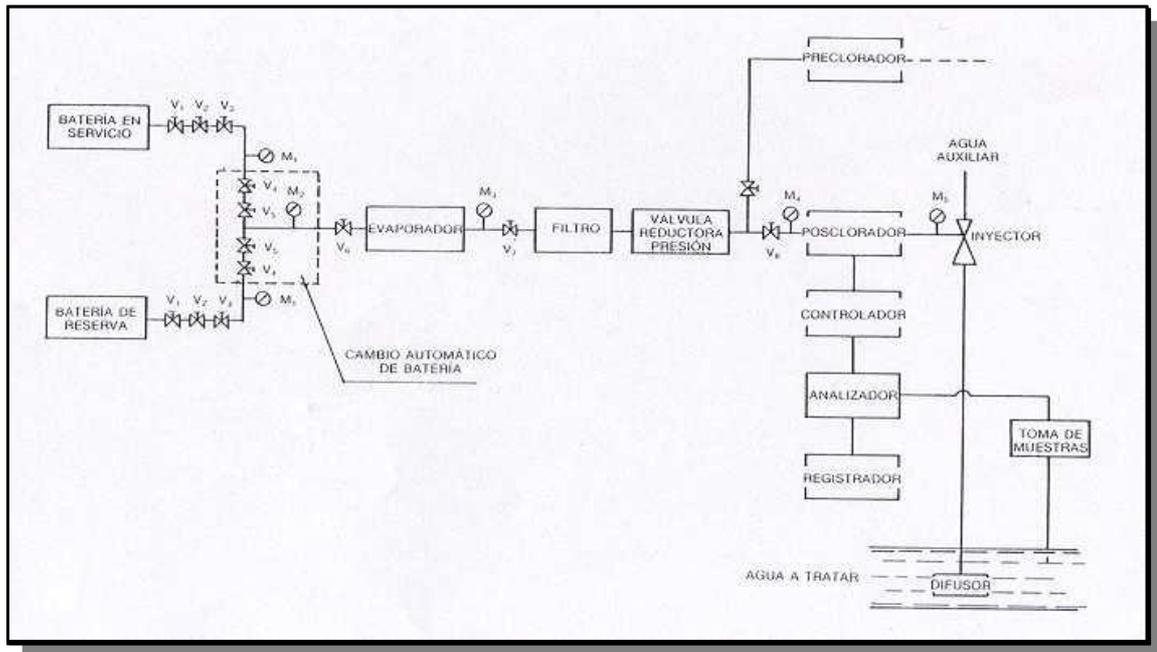
## EQUIPOS Y OPERACIÓN

Una instalación de cloración consta de una serie de equipos más o menos sofisticados. En el esquema se indica esquemáticamente los equipos de que consta una estación completa de cloración, ya que en instalaciones más sencillas o de menor capacidad, se puede prescindir, por ejemplo, del evaporador, del registrador, etc.

En el esquema se observa primeramente que hay una batería de botellas o contenedores en servicio, de cuyas capacidades ya hemos hablado. Es muy útil que, en el caso de los contenedores, éstos se apoyen sobre una báscula que permita conocer en cada momento la cantidad de cloro que contienen, y por tanto prever con antelación su agotamiento.

Es imprescindible disponer de una batería en reserva, y conectada a la instalación, para evitar los tiempos muertos que se producen al agotarse la batería, y tener ésta que ser sustituida. Cada contenedor tiene dos válvulas, una de salida de cloro gas y otra de salida de cloro líquido de las que evidentemente sólo se utiliza una, según se trabaje con cloro gas o cloro líquido respectivamente. Una medida prudente de seguridad es tener colocada permanentemente la llave en la válvula V1 del bidón que esté en servicio, ya que el mayor riesgo de escape de cloro está precisamente en el racord de unión de la unión flexible con la salida del bidón, bien sea por desgaste de rosca o por acoplamiento defectuoso de ambos.

En caso de escape de cloro es relativamente sencillo acceder a la instalación con los equipos de respiración adecuada y, si está colocada la llave, cerrar rápidamente la salida del bidón, evitándose así que todo el bidón se vacía, que es lo peor que puede pasar, sobre todo si se está tomando cloro líquido del mismo. En cambio, si la llave no está puesta, es, es muy probable que con el tiempo que se pierde y los nervios en que se encuentra el operador, éste no atine a localizar la llave, colocarla y cerrar la válvula.



Después de la válvula de salida del contenedor hay otras dos válvulas auxiliares, la V2 de la unión flexible, y la V3 de la batería. Hay que abrir las en este orden. En cada batería existe un manómetro. M1 que indica la presión del cloro líquido. A continuación se hallan las válvulas para el cambio de batería, que puede ser manual o automático. En este caso, hay una válvula motorizada V4, una válvula manual V5, y un manómetro de contactos M2 que la detectar un descenso de presión actúa sobre el automatismo de cambio de batería que hace que se cierre primero la válvula de la batería en servicio que está a punto de agotarse, y se abra a continuación la válvula de la batería en reserva. Se ha de hacer en este orden para que no pase cloro líquido de los bidones llenos a los bidones vacíos.

Seguidamente se encuentra el evaporador con válvulas de entrada y de salida V6 y V7 respectivamente. El evaporador se utiliza cuando la cantidad de cloro gas que precisan los equipos de cloración no se puede obtener fácilmente de las tomas de cloro gas de los contenedores. Está formado por una cuba de acero en cuyo interior se encuentra en equilibrio el cloro líquido y el cloro gas. El cloro líquido entra por un tubo que penetra hasta el fondo del botellón, y el cloro gas sale por un tubo que toma el fluido de la parte alta del botellón. Externamente a este botellón hay otra cuba llena de agua que es calentada por resistencias. Normalmente, el termostato de regulación de la temperatura del agua se regula entre 70 y 80°C. Dispone también de termostatos de alarma por baja y alta temperatura.



Para evitar pérdidas de agua por evaporación es conveniente añadir una pequeña cantidad de aceite que aísla el agua de la atmósfera. Hay un automatismo que en caso de descender la temperatura por debajo de la mínima, cierra inmediatamente la válvula reductora de presión, impidiéndose así que pase color líquido del evaporador al resto del circuito, especialmente al clorador. Todos los evaporadores deben estar equipados con protección catódica, normalmente a base de electrodos de magnesio, que protegen a la cuba de agua y la parte externa de la cuba de cloro de la agresión del agua. En caso de tener que desmontar alguno de los equipos posteriores al evaporador, si se prevé que el paro va a ser de corta duración, no es preciso agotar todo el cloro que hay desde la salida de los contenedores. Basta cerrar la válvula V7 de salida de evaporador, y como la cuba de cloro del mismo está caliente, para mantener el equilibrio cloro líquido-cloro gas, y de acuerdo con la curva de la figura, todo el líquido retrocede hacia los contenedores. Esta operación es útil realizarla también cuando se quiere agotar todo el cloro líquido de la instalación, ya que haciéndolo previamente el agotamiento, se reduce considerablemente el tiempo del mismo.

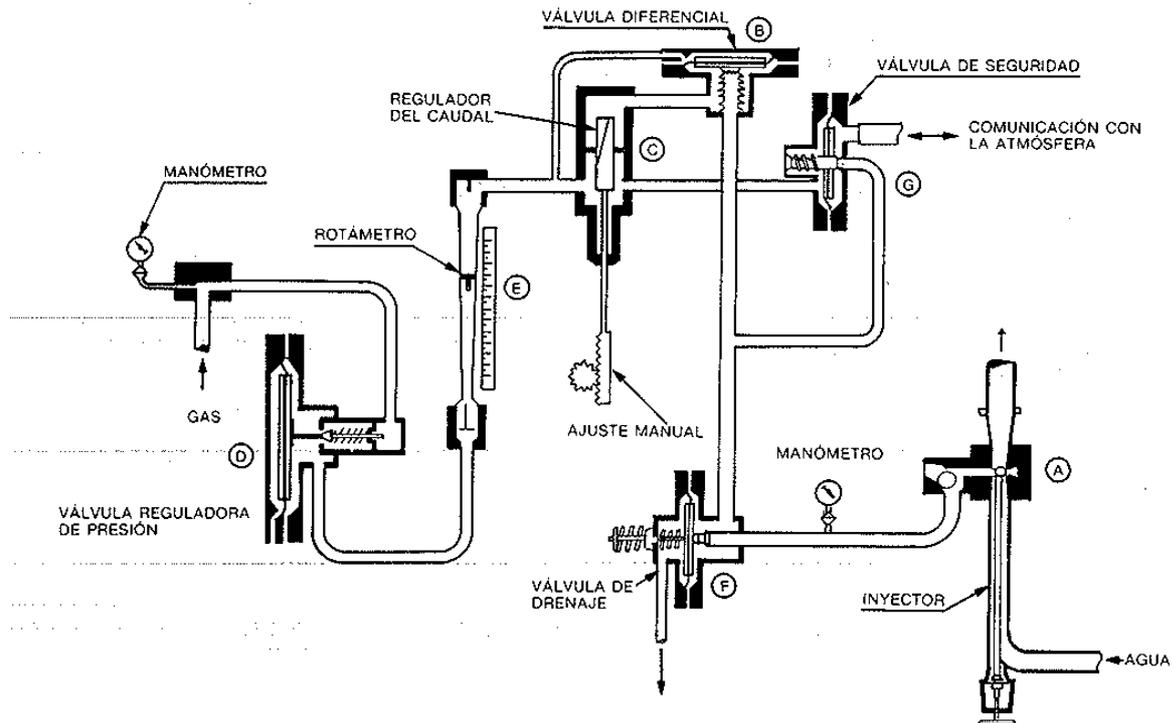
Después del evaporador hay un filtro que tiene por misión evitar que pequeñas impurezas que contiene el cloro alcancen la válvula reguladora de presión y el clorador. Normalmente el material filtrante es de fibra de vidrio.

La válvula reductora de presión es una de las partes más delicadas de la instalación, y que requiere una especial atención, ya que si no funciona correctamente puede crear problemas en el clorador. Tiene por misión reducir la presión del gas a la salida del evaporador para que cloro se mantenga en fase gaseosa en el resto del circuito. Si se reduce excesivamente la presión, la alimentación del clorador es insuficiente. Pero si se reduce poco la presión puede dar lugar a la relicuación del cloro, entrando cloro líquido en el clorador y provocando la obstrucción del mismo.

De la mencionada curva de equilibrio cloro líquido-cloro-gas representada en la figura anteriormente, se desprende que si a una determinada temperatura aumenta la presión, el cloro puede pasar a cloro líquido, lo que debe evitarse a toda costa a la salida del evaporador.

Otra misión es la de cerrarse si, por cualquier razón (fallo de las resistencias calefactoras, suciedad de la cuba, etc.) el evaporador no puede aportar todo el cloro gas que se le exige y la temperatura del mismo desciende por debajo del valor de alarma de temperatura establecido.

El clorador es también un equipo delicado que tienen por misión regular la cantidad de cloro que se quiere dosificar y suministrarlo al inyector para mezclarlo con el flujo de agua auxiliar. Los de mayor capacidad permiten dosificar hasta 160 kg/h, cubriendo cada uno variaciones de caudal de hasta 1/20 de su capacidad máxima. En la figura está representado el esquema funcional de un clorador de 160 kg/h. Este clorador se caracteriza en que el cloro se encuentra después de la primera válvula reguladora por debajo de la presión atmosférica. El principio de funcionamiento es el siguiente:



Esquema funcional clorador.

La circulación de agua a través del inyector A produce el vacío que es transmitido hasta la válvula diferencial B que mantiene una presión diferencial constante en el regulador de caudal C. El gas a presión entra en el clorador, habiendo en la entrada una pequeña resistencia calefactora para reducir el depósito de impurezas y prevenir la relicuación cuando se para el clorador sin que se haya cerrado previamente la entrada. El gas pasa a través de una válvula reguladora de presión D, que reduce la presión por debajo de la presión atmosférica, y a continuación un rotámetro E para medir el caudal de gas circulante. El caudal se regula mediante la posición de una válvula de orificio de sección variable C en la que se mantiene constante la presión diferencial. Esta válvula se regula linealmente mediante un sistema de cremallera que puede ser accionada manualmente por un volante y rueda dentada, o automáticamente mediante el movimiento de un servomotor que recibe órdenes del controlador. De la válvula de presión diferencial B, el gas pasa al inyector en donde se mezcla con agua auxiliar y se envía al punto de aplicación. Cuando se cierra el inyector una pequeña bola impide que el agua entre en el circuito del clorador. En caso de que dicha bola no cierre correctamente, se abre la válvula de drenaje F evacuando la pequeña entrada de agua hacia el desagüe.

La válvula de seguridad G tiene dos objetivos. Si falla la válvula reguladora de presión D y hay presión positiva de gas en el clorador, se abre dicha válvula de seguridad, y el exceso de gas se ventila hacia la atmósfera. Y en caso de que se cierre la entrada de gas o la válvula de presión diferencial funcione mal, produciéndose un vacío excesivo, se abre también la válvula de seguridad, permitiendo la entrada de aire para aliviar el exceso de vacío.

Hay que hacer constar la posibilidad de instalar después del evaporador un dispositivo que disminuya la presión por debajo de la atmosférica, con lo que se evita el peligro de fugas a lo largo del circuito.

### CARGA Y DESCARGA DE RECIPIENTES

Para la carga y descarga de los recipientes que contienen cloro líquido, se deberán de tener en cuenta las siguientes precauciones y normas:

#### Botellas

Se colocarán en el vehículo de transporte en posición vertical, sujetas firmemente, para evitar que choquen entre sí o se desplacen durante el transporte.

Todas las botellas deberán llevar colocado el capuchón de protección de la válvula.

Está totalmente prohibido arrojar las botellas al suelo desde la plataforma de los vehículos de transporte, incluso en el caso de que estén vacías.

Las botellas deben manejarse en posición vertical, o ligeramente inclinadas, haciéndolas girar sobre su base. Para este movimiento hay que coger el envase por el cuerpo y no por el capuchón de protección, que podría desenroscarse.

También pueden utilizarse las carretillas existentes en las Centrales.

#### Contenedores

Se situarán sobre el vehículo de transporte rodándolos sobre sus aros de rodadura y utilizando los dispositivos de levantamiento existentes en las Centrales.

Se asegurará la inmovilización de los contenedores por medio de cuñas que impidan la rodadura.

Las llantas deben descansar sobre fuertes tablones, y nunca directamente sobre la caja del vehículo.

Con carácter general, se deberá de tener en cuenta:

- I. El vehículo deberá estar parado y con las llaves de contacto bajo control del oficial de la Central.
- II. El vehículo deberá tener accionado el freno de estacionamiento e inmovilizado mediante calzos.
- III. Estará totalmente prohibido fumar en la zona de carga y descarga; en la proximidad de los vehículos y en el interior de los mismos.
- IV. Mientras dure la operación de carga y descarga, deberá estar presente el oficial de la Central, controlando dicha operación.



V. El conductor se encontrará fuera de la cabina del camión y en lugar próximo.

VI. Los diferentes elementos de un cargamento que comprende contenedores de cloro deberán entibarse en forma conveniente en el vehículo y sujetos entre si por medios apropiados, de forma que se evite todo desplazamiento de tales elementos, los unos respecto a los otros y con respecto a las paredes del vehículo.

VII. Se prohíbe la realización de trabajos simultáneos a la carga-descarga de contenedores de cloro que sean incompatibles con la seguridad en la inmediaciones del lugar de carga.

VIII. Se prohíbe el transporte de reactivos diferentes al cloro simultáneamente con éste en el mismo vehículo.

### III.9. ACCIÓN FISIOLÓGICA

El cloro es, a temperatura y presión normales, un gas tóxico en razón, esencialmente, de su acción sobre los tejidos del aparato respiratorio.

#### EFFECTOS DEL CLORO SOBRE EL ORGANISMO

El cloro puede producir intoxicaciones agudas más o menos graves, o incluso la muerte. La gravedad de la intoxicación depende de la concentración del gas y del tiempo de exposición al mismo.

La intoxicación por cloro puede considerarse como una quemadura producida por dicho gas sobre las mucosas y tejidos expuestos a su contacto, principalmente sobre el aparato respiratorio.

En las vías respiratorias superiores, el contacto del cloro gaseoso con la mucosa nasal puede provocar un reflejo inhibitor que determina un paro respiratorio, con un relajamiento de los tejidos del corazón, y un vaso-constricción general.

La irritación de la tráquea, bronquios y bronquiolos se traduce en una hipertensión y, generalmente, en un espasmo bronquial.

En los pulmones, el cloro tiene una acción directa sobre las paredes de los alvéolos capitales, originando el bloqueo de la heparina normalmente acumulada en los pulmones, dando lugar a un aumento de la viscosidad y coagulación de la sangres. Cuando la acción es más intensa, puede presentarse edema pulmonar (encharcamiento del pulmón por la sangre), e incluso neumotórax espontáneo; posteriormente podría dar lugar a focos neumónicos.

La acción del cloro provoca igualmente una irritación de las mucosas oculares, y en menor grado, de la piel.

El cloro líquido puede provocar quemaduras en la piel y mucosas por contacto directo.



## SINTOMATOLOGÍA-INTOXICACIONES

Por su olor penetrante característico, el cloro es percibido por el olfato humano en concentraciones muy bajas. Debido a ello, y a su acción instantánea, es posible detectar rápidamente la presencia del gas y alejarse de él antes de que haya producido lesiones.

El límite inferior de percepción no está bien determinado, y el más probable parece ser 3,5 p.p.m. en volumen, concentración que está lejos de ser peligrosa. Para concentraciones no muy superiores al límite de percepción, su acción es tan desagradable y la respiración se hace tan molesta, que produce el alejamiento instintivo de toda persona del lugar contaminado, a menos que esté inconsciente o impedida.

ACCIÓN SOBRE EL HOMBRE	Concentración en p.p.m. en volumen (*)
Máximo admisible para trabajar en forma continuada durante ocho horas (TLV)	1
Límite de percepción	3,5
Concentración máxima respirable durante una hora sin lesiones serias	4
Concentración máxima respirable durante algunos minutos sin lesiones serias	5
Irritación de garganta, a partir de	15
Tos, a partir de	30
Concentración peligrosa para una exposición de media a una hora	40-60
Concentración mortal en menos de media hora	1.000
Concentración mortal en diez minutos	1.800

(\*) 1 p.p.m. en volumen es, aproximadamente, igual a 3 mg/m<sup>3</sup>

Sobre estas concentraciones y sus efectos hay algunas discrepancias, según las distintas fuentes de información.

Para concentraciones bajas de cloro, que es el caso más frecuente, origina irritación, "picor" en los ojos y vías respiratorias altas, tos insistente y agobiante, y disnea (dificultades respiratorias) más o menos intensa, según el grado de intoxicación.

A concentraciones mayores, la intoxicación va acompañada de dolores de cabeza, náuseas, vómitos, debilidad general y cianosis.



En casos más graves puede presentarse edema pulmonar y esputo hemoptoicos. Sobre la piel, el cloro líquido puede producir congelación y quemadura química.

Por numerosas observaciones sobre personal que ha trabajado durante más de cuarenta años en la fabricación y manipulación del cloro, parece indiscutible que, afortunadamente, no tiene efectos acumulativos.

### TRATAMIENTO DE UNA INHALACIÓN DE CLORO GASEOSO

La intoxicación por inhalación de cloro gaseoso puede presentarse bajo tres formas:

Inhalación por breves instantes de cloro a alta concentración. Inhalación prolongada de cloro a débil concentración. Inhalación prolongada de cloro a alta concentración.

Vamos a considerar estas tres formas de inhalación de cloro por separado. Inhalación por breves instantes de cloro a alta concentración, es el caso más frecuente, y vulgarmente se conoce con el nombre de "golpe de cloro" o "bocanada de cloro".

Una o dos inspiraciones en una atmósfera de alta concentración de cloro, son suficientes para determinar esta forma de intoxicación. Suele ocasionarse por escapes súbitos, o bien respirar en zona que se supone no contaminada.

El golpe de cloro se caracteriza por una irritación de las mucosas de la nariz, garganta y ojos, con tos, a veces dolorosa y ronquera.

Se hará respirar al intoxicado los vapores desprendidos de algodón empapado en alcohol etílico del 94 %, practicando a continuación inhalaciones de una solución de hiposulfito sódico al 10 % durante veinte minutos (preferentemente con la ayuda de un aparato aerosol cargado con cinco o diez centímetros cúbicos de la solución citada). Administrar una cucharada de jarabe de codeína o de cualquier otro preparado antitusígeno.

La inhalación prolongada de cloro a débil concentración provoca una lesión ligera, aunque más intensa que el golpe de cloro, que se puede manifestar por: opresión torácica, ataques de tos dolorosos, sensación de fatiga intensa y ritmo respiratorio que no pasa de 20 inspiraciones por minuto.

A parte de las medidas indicadas anteriormente, se puede suministrar oxígeno a baja presión por vía nasal (con mascarilla o enriqueciendo el aire que se respira). Se recomienda también practicar inhalaciones de una solución de hiposulfito sódico al 10 % durante veinte minutos preferentemente con un aparato aerosol. Igualmente, administrar una cucharada de jarabe de codeína o de cualquier otro preparado antitusígeno.

Es conveniente una vigilancia médica durante dos días, por lo menos, con los cuidados sintomáticos adecuados.



La inhalación prolongada de cloro a alta concentración, puede ser menos grave, o grave.

En las lesiones "menos graves" el ritmo respiratorio se eleva fuertemente, llegando a 30 inspiraciones por minuto, la piel adquiere una coloración grisácea o azul violácea, la tos es violenta (con expectoraciones que pueden ser de color rosáceo y sangre) y aparece una gran fatiga.

Inmediatamente hay que administrar oxígeno a baja presión, si es posible, con un aparato suministrador automático de tipo "pneophore", ya que con él se puede controlar la presión. Inhalación de un aerosol de hiposulfito sódico al 10 %. Inyección intravenosa de 10 cc de hiposulfito sódico al 10 % (Hiposulfín).

Se recomienda vigilancia médica durante varios días con los cuidados sintomáticos adecuados.

Las lesiones graves se caracterizan por: pérdidas de conocimiento con eventual paro de la respiración; piel cianótica (color azul-violeta), pulso rápido y edema pulmonar con respiración entrecortada y ruidosa.

Hay que actuar como en el caso de las lesiones menos graves. Si la respiración se detiene, hay que comenzar la reanimación mediante la administración de oxígeno con un aparato automático del tipo Pneophore. En caso de que sea preciso practicar la respiración artificial y no se disponga de un aparato de este tipo, se utilizará únicamente el método "boca a boca" o "boca a nariz".

No practicar nunca la respiración artificial por un método externo, ya que se podría lesionar seriamente el tejido pulmonar, debilitado por la acción del cloro.

### PRECAUCIONES GENERALES

Resulta prioritario observar rigurosamente estas normas:

- Tener en cuenta el espaciamiento y emplazamiento adecuado al almacenar los envases y depósitos de cloro.
- Almacenar los envases de cloro en locales separados, en una zona limpia, bien ventilada e ignífuga. Los depósitos de cloro deberán estar emplazados al abrigo de la intemperie.
- Prever un sistema de ventilación potente en el local de almacenamiento, que entre en servicio en caso de escape de cloro. Esta ventilación deberá estar conectada a un sistema de absorción de cloro.
- Usar equipos apropiados para mover los envases de cloro, carretillas, etc. No someterlos a manipulaciones descuidadas o a golpes.
- Usar solamente el equipo apropiado para la manipulación del cloro y de las tuberías y equipos de paso o almacenamiento.
- No forzar conexiones que no encajen. Usar solamente equipos apropiados para abrir o cerrar válvulas. No usar jamás martillo sobre ellas.
- Guardar limpios de grasa, polvo, arena y humedad, todo equipo, herramientas y complementos que se usen en las operaciones del cloro.
- Proteger los envases de cloro de los elementos. (sol, lluvia, etc.)
- La temperatura de los envases de cloro deben permanecer siempre por debajo de 50°C.



- Mantener los envases de cloro apartados de productos inflamables y otros productos con los cuales reaccione el cloro.
- Es aconsejable no mezclar envases de cloro con envases de otro producto durante su transporte.
- Evitar que entre humedad o cualquier líquido distinto en un envase o tubería de cloro.
- Adiestrar al personal experto propio en la reparación de las fugas de cloro de tuberías, aparatos, depósitos y envases.
- Limpiar, secar y probar todo equipo nuevo y repararlo antes de ponerlo en servicio.
- Nunca trate de reparar equipos en tuberías que contengan cloro. Esperar hasta que todo el cloro esté purgado.
- No poner jamás agua ni otro líquido sobre un envase de cloro con escape.
- En el caso de que no se puedan retirar de la zona, proyectar agua para enfriar los envases, sin escape, en una zona de fuego.
- Abrir completamente las válvulas de operación de los envases de cloro mientras se vacían. Nunca usarlas para controlar el flujo de cloro.
- Informar al suministrador de cloro acerca de posibles dificultades por escapes y otras irregularidades.
- En caso de escape de cloro durante el transporte, si es posible, dirigir el vehículo a una zona no habitada.
- Las tuberías por las que circule el cloro deberán tener el menor número posible de bridas. Dichas tuberías estarán siempre bien señalizadas, preferiblemente al aire libre y de fácil acceso.
- En las tuberías de cloro gas se vigilará la presión y la temperatura, a fin de prevenir la posible licuación del cloro que circule o esté estacionado en las mismas.
- Las tuberías de cloro líquido hay que montarlas siempre provistas de una cámara de expansión, a fin de que no quede nunca llena de líquido con el correspondiente peligro de rotura por dilatación del mismo.

### MATERIAL DE PROTECCIÓN

Los aparatos respiratorios son el material de protección más importante

Cualquiera que sea el tipo, cada aparato lleva una "máscara" propiamente dicha (normalmente de caucho moldeado), que aísla la nariz, la boca, y generalmente los ojos de la atmósfera exterior, y un dispositivo de alimentación de aire no tóxico. Las diferencias están en la fuente de alimentación y en su unión con ella

Existen varios tamaños, y es importante que la máscara se adapte bien a la cara de su portador.



La detección del cloro en el aire y una estimación aproximada de su concentración pueden obtenerse por percepción olfativa, por medios químicos, y con la ayuda de aparatos especiales existentes en el mercado.

Un olfato "normal" percibe la presencia de cloro a partir de una concentración de 3,5 p.p.m. en volumen.

El método clásico de detección de fugas de cloro es el del "hisopo de amoníaco". Un trapo atado al extremo de un palo o "caña" y previamente empapado en una solución amoniacal, en presencia de cloro, emite abundantes humos blancos y pesados de cloruro amónico. Este procedimiento no es cuantitativo.

### MEDIDAS DE EMERGENCIA

Cuando se haya producido un escape de cloro, es conveniente tener muy en cuenta las siguientes precauciones y medidas:

- Las fugas de cloro deben detenerse a la mayor brevedad posible, independientemente del tipo e intensidad de la misma. Las fugas de cloro, si no se actúa rápidamente, siempre evolucionan a peor.
- La urgencia en reparar las fugas se debe a la corrosión que el cloro, en contacto con la humedad del aire, produce sobre la mayoría de los materiales industriales.
- Hay que tener presente la dirección del viento. Al personal que se aproxime al lugar de la fuga le debe dar el viento en la espalda. De esta forma no tendrá prácticamente contacto con el gas hasta muy poca distancia de la avería. Si el viento es de alguna intensidad, se podrá trabajar, sin apenas molestias, en el mismo lugar de la fuga con mayor seguridad y comodidad.
- Nadie debe acercarse jamás a las proximidades de un escape sin el material de protección adecuado. No se debe olvidar que una sola inspiración de cloro puede dejar inutilizado a cualquiera para continuar el trabajo hasta pasadas algunas horas.
- Si el escape produce una nube de cloro grande y es preciso atravesarla, se hará en dirección perpendicular a la del viento. Si no hay otro recurso mejor, proteger la boca y nariz con un trapo mojado, ir a paso normal, no corriendo, procurando contener la respiración; si no fuese posible, hacer solo pequeñas inspiraciones.
- No se tomará ninguna medida sin conocer exactamente el lugar por donde fuga. Un
- método rápido de localización de una fuga de cloro es el clásico del amoníaco, ya comentado.
- No arrojar nunca agua a una fuga de cloro, pues podría agravar la fuga por corrosión del material.
- Las fugas por pletinas o racores pueden tener mayor trascendencia, porque posiblemente signifiquen la rotura de un tornillo, escape de una junta o mal estado de una rosca de acoplamiento, en ese caso la fuga podría hacerse repentinamente grande.
- En tuberías colectoras generales de una instalación productora o consumidora de



- cloro, cuando la fuga sea de importancia, debe pararse inmediatamente el proceso y cerrar las válvulas de los depósitos.
- Cuando la fuga ocurra en un proceso discontinuo o en una instalación que pueda pararse sin gran trastorno, es preferible pararla y reparar la fuga de forma definitiva.
- Si la fuga de cloro es en un envase pequeño, debe ser separado rápidamente de los demás. En el caso de que el escape sea debido a una perforación de la pared del envase, en la zona del líquido, girarlo para transformar la fuga-líquido en fuga-gas manteniendo el punto de escape hacia arriba. Hay que pensar que, por un mismo orificio, la cantidad de cloro gaseoso es, en promedio, unas quinientas veces menor que el que se escaparía en estado líquido.
- El escape de cloro gaseoso de un recipiente lleva consigo un enfriamiento del mismo. Si el caudal de la fuga es importante, la presión interior del recipiente desciende y la fuga disminuye. Por lo tanto, el escape de cloro de un recipiente puede disminuirse, eventualmente, por enfriamiento artificial del envase empleado, por ejemplo, gas carbónico, aunque raramente se dispone de los medios necesarios.
- Los procedimientos de obturación de fugas utilizables dependen de la naturaleza de la fuga, de su importancia, y del lugar donde se produce.
- Si la fuga es en una pared plana o convexa (cuerpo de un envase, tubería, etc.), puede aplicarse una abrazadera metálica, o en su defecto un alambre, que haga presionar sobre el orificio causante de la fuga un material blando (caucho generalmente).
- Si la fuga es en una superficie cóncava, puede intentarse estancarla con una pasta especial o cemento de fraguado rápido.
- Si el orificio de la fuga tiene forma circular y es de pequeño diámetro, puede recurrirse a clavar una astilla de madera dura y afilada, o una barrita o conito de bronce, cobre, plata, etc. Ello permitirá disponer de tiempo suficiente para tomar medidas definitivas. Esta operación es delicada, y hay que tener mucho cuidado de no agravar la importancia de la fuga.
- Si la fuga es debida a la rotura de una válvula, puede obturarse por el citado procedimiento de la astilla de madera. Esta operación sólo es realizable prácticamente en las válvulas de las botellas o contenedores; es muy aleatorio en dispositivos de vaciado de grandes dimensiones.
- Si la fuga proviene del prensaestopas de una válvula, es preciso apretar las tuercas del mismo. Es preferible apretar un poco varias veces que apretar fuertemente de una sola vez. Si esto no ha sido suficiente, hay que parar la instalación y rehacer o completar la guarnición del prensaestopas. A veces, una fuga de una válvula puede detenerse por simple cierre de la misma.
- Las fugas en las juntas o en las bridas de las tuberías son difíciles de detener. No se recomienda intentar reapretar la junta de un aparato a presión, incluso ni ligeramente porque esta maniobra puede agravar la fuga si se rompe la junta. Lo único que puede hacerse es envolver la junta o la brida con un cemento de fraguado rápido, o pasta especial, o incluso con masilla fijada con una venda de goma o tela atada con alambre.
- Si la importancia de la fuga es tal que no pueden aplicarse las medidas citadas anteriormente, es preciso dirigir todos los esfuerzos a neutralizar el cloro.



- Si el envase se encuentra en un almacén provisto de un sistema de ventilación, se pondrá en marcha inmediatamente. En caso contrario, se sacará el envase del local llevándolo a un lugar donde la fuga presente menos riesgos para las personas y se intentará neutralizar el cloro con cal apagada, por ejemplo.
- En el caso más grave que puede presentarse, aunque también es el más improbable, sería el agrietamiento o rotura de un depósito de almacenamiento con salida masiva de cloro líquido. En este caso puede recurrirse, si se dispone de ellas, al empleo de espumas de extinción de incendios específicas, con las cuales se cubre el cloro derramado, formando una capa de aproximadamente un metro de espesor, con lo que disminuye, retardando, en cierta medida, la evaporación del cloro líquido. Para el empleo de espumas es preciso, naturalmente el mezclado del agente espumógeno, un eyector de espuma y una lanza de espuma antiincendios.
- Cuando un consumidor de cloro devuelva al fabricante un envase que haya sufrido una avería, debe señalar esta avería con una marca indeleble, y proporcionar todos los detalles de los incidentes.
- El almacenamiento de cloro está regulado por el R.D. 379/2001 que deberá cumplirse estrictamente.

#### IV HIDRÁULICA BÁSICA

---

##### IV. HIDRÁULICA

La hidráulica es la parte de la Física que estudia el comportamiento de los fluidos (líquidos, gases y vapores) y se divide, a su vez, en dos partes:

- La Hidrodinámica, ciencia que se ocupa del comportamiento de los fluidos en movimiento.
- La Hidrostática, que se ocupa del estudio de los fluidos en reposo o equilibrio.

Tanto en la hidrodinámica como en la hidrostática las leyes se han establecido para los líquidos llamados perfectos, que se caracterizan por ser incompresibles (ocupan un volumen determinado y adoptan la forma del recipiente que los contiene), isótropos (sus propiedades son las mismas en todas las direcciones del espacio), con una fluidez perfecta (las capas de fluido se deslizan una sobre otra sin ningún tipo de rozamiento) y sometidos a un régimen de circulación permanente (las distintas capas de fluido se mueven a la misma velocidad).

##### IV. 1 MAGNITUDES HIDRÁULICAS Y SUS UNIDADES DE MEDIDA

- Densidad absoluta: Se define como el cociente entre la masa de un fluido y el volumen que ocupa.

$$d=m/v$$



La unidad de medida en el S.I. (Sistema Internacional) es  $\text{Kg}/\text{m}^3$  aunque también se utiliza la unidad de  $\text{gr}/\text{litro}$  o  $\text{gr}/\text{cm}^3$  (la densidad del agua a  $4^\circ\text{C}$  es  $1000\text{kg}/\text{m}^3$  y la del mercurio a  $0^\circ\text{C}$  es de  $13600 \text{ Kg}/\text{m}^3$ )

De la fórmula de la densidad obtenemos que:

$$m=v.d$$

- Densidad relativa: Es la relación entre la masa de una sustancia y la masa del mismo volumen de otra, que se toma como tipo de comparación. Para los líquidos se toma como sustancia de referencia el agua a  $4^\circ\text{C}$ .

$$d_r = \text{masa del cuerpo} / \text{masa agua} = v.d / v.d_{\text{H}_2\text{O}} = d / d_{\text{H}_2\text{O}}$$

- Peso específico: Es el peso que corresponde por unidad de volumen.

$$P_e = \text{Peso} / \text{Volumen}$$

El peso específico se mide en  $\text{N}/\text{m}^3$  en el S.I. y en  $\text{Kp}/\text{m}^3$  en el Técnico. ( donde N = Newton y Kp = Kilopondio)

- Caudal: Es la cantidad de líquido que pasa por una tubería por unidad de tiempo.

$$Q = \text{volumen} / \text{tiempo}$$

Su unidad en el SI es el  $\text{m}^3/\text{sg}$ . También se suele utilizar el  $\text{litro}/\text{sg}$ .

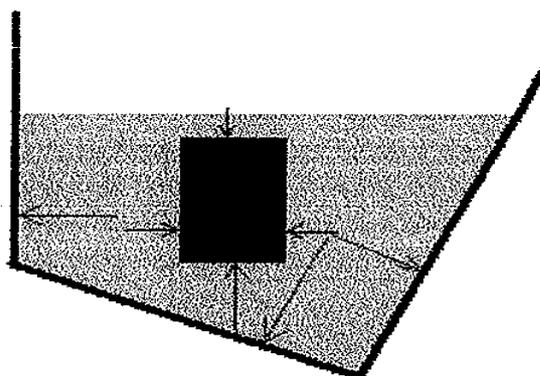
También podemos calcular el caudal de una tubería conociendo la sección de ésta y la velocidad a la cual circula el líquido.

$$Q = S.v$$

- Presión: Cociente entre la componente normal de la fuerza sobre una superficie y el área de dicha superficie

$$P = F/S; F = P.S$$

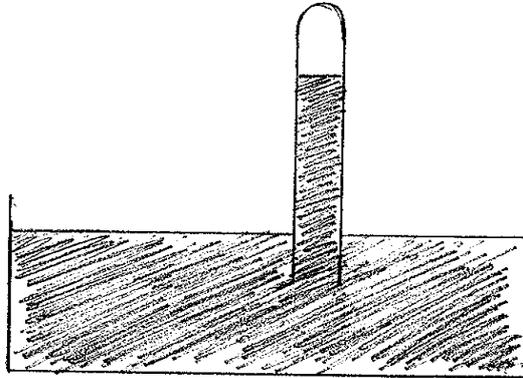
En la figura se muestran las fuerzas que ejerce un fluido en equilibrio sobre las paredes del recipiente y sobre un cuerpo sumergido. En todos los casos la fuerza es perpendicular a la superficie.





La unidad de medida recibe el nombre de Pascal (pa)=  $1\text{N}/\text{m}^2$  en el S.I. y el  $\text{Kp}/\text{m}^2$  en el Técnico.

Otras unidades de presión en uso son:



1 bar= $10^5$  Pa

1 milibar=100 Pa

Atmósfera física, que es la presión ejercida en la base por una columna de mercurio de 760mm Hg de altura= $101325$  Pa

Atmósfera técnica= $1\text{Kp}/\text{cm}^2=98000$  Pa.

### EXPERIENCIA DE TORRICELLI:

Para medir la presión atmosférica Torricelli empleó un tubo de 1 m de largo y  $1\text{ cm}^2$  de sección, cerrado por uno de sus extremos, lo llenó de mercurio y le dio la vuelta sobre una cubeta de mercurio. Observó que el mercurio descendió hasta una altura  $h=76$  cm al nivel del mar. Dado que el extremo cerrado del tubo se encuentra casi al vacío  $P=0$  y como la  $d_{\text{Hg}}=13600\text{ Kg}/\text{m}^3$  el valor de la

$$P_{\text{atm}}=p.g.h=13600.9,81.0,76=101300\text{Pa}$$

#### IV.2 APARATOS DE MEDIDA DE MAGNITUDES HIRÁULICAS

- **Barómetro:** Instrumento que sirve para determinar la presión atmosférica.

La medida de la presión atmosférica, realizada por primera vez en 1645 por Viviani a partir de los datos de Torricelli, se hizo del siguiente modo:

Se llenó de mercurio un tubo de vidrio de 0,97m de longitud, obturado por uno de sus extremos. El extremo que quedaba abierto, se obturó con el dedo pulgar, luego se invirtió el tubo y acto seguido se introdujo en una cubeta que contenía mercurio. Al retirar el dedo, el mercurio se estabiliza a una altura determinada, que corresponde al valor de la presión atmosférica en aquel momento: éste es el principio del barómetro.

- **Manómetro:** Destinado para medir la presión de los líquidos. Se emplean dos tipos: el de líquido o el metálico (o de Bourdon).

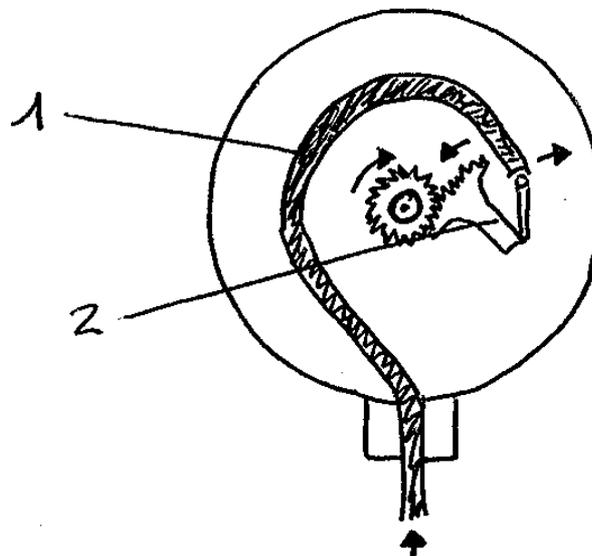
- Manómetro de líquido: Está formado por un tubo abierto por sus dos extremos.

Uno de estos extremos, se sumerge en una cuba, que contiene por lo general mercurio, pero que lo mismo que puede contener agua o cualquier otro líquido del que se conozca con precisión la masa de la unidad de volumen. La cuba se pone en comunicación con el circuito cuya presión se desea medir. La presión que actúa sobre la superficie del líquido de la cuba, hace que el líquido suba por el tubo, en el que alcanzará una altura tanto mayor, cuanto mayor sea la presión y menor sea la densidad del líquido contenido en la cuba.

- Manómetro de Bourdon: Se basa en la deformación elástica de los metales bajo la elíptica, está cerrado por uno de sus extremos y, por el otro, que está abierto, se pone en comunicación con el punto del circuito donde se desea conocer la presión.

La parte del tubo situada a la entrada del manómetro está rígidamente fija, mientras que el extremo cerrado queda libre para desplazarse más o menos, según las deformaciones provocadas por las fuerzas de la presión.

- 1.-Tubo de Bourdon
- 2.-Eje de rotación



- Caudalímetro: aparato utilizado para medir el caudal en una tubería

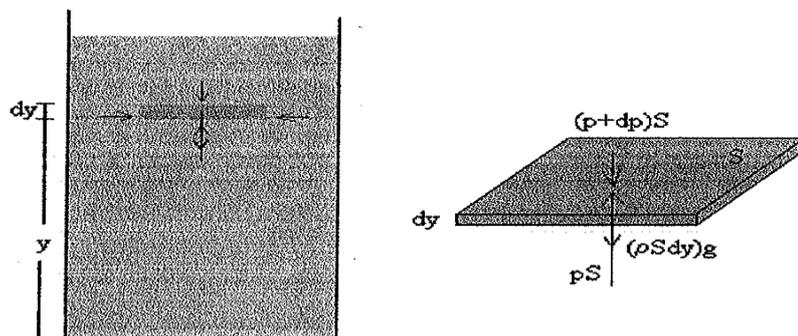
#### IV.3 HIDROSTÁTICA

- PRINCIPIOS BÁSICOS DE HIDROSTÁTICA

Ecuación fundamental de la estática de fluidos

“La presión varía linealmente con la altura”

Consideremos una porción de fluido en equilibrio de altura  $dy$  y sección  $S$ , situada a una distancia  $y$  del fondo del recipiente que se toma como origen.



Las fuerzas que mantienen en equilibrio a dicha porción son las siguientes: El peso,  $P = \rho \cdot S \cdot dy \cdot g$

La fuerza que ejerce el líquido sobre su cara inferior,  $P = p \cdot S$

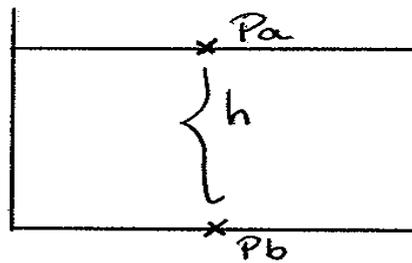
La fuerza que ejerce el líquido sobre su cara superior,  $P = (p + dp) \cdot S$  La condición de equilibrio establece que:

$$p \cdot S + \rho \cdot S \cdot dy \cdot g = (p + dp) \cdot S$$

$$dp = \rho \cdot g \cdot dy$$

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot Y$$

$$P_b - P_a = d \cdot g \cdot h$$



$$P = P_0 + d \cdot g \cdot h$$

Teorema fundamental de la hidrostática

El concepto más esencial que debemos tener en cuenta es que “la diferencia de presión entre dos puntos de un líquido en reposo, bajo la acción de la gravedad, es igual al peso de una columna líquida que tiene por base la unidad de superficie y por altura la diferencia de alturas de los puntos”

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot h$$

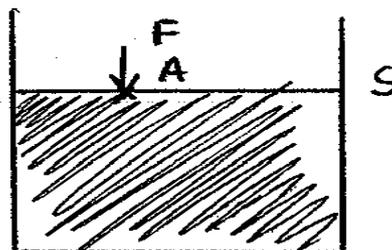
Ejemplo: si  $h=50 \text{ cm}$  y  $\rho=1000 \text{ Kg/m}^3$

$$P = 0,5 \text{ m} \times 1000 \text{ Kg/m}^3 = 500 \text{ Kg/m}^2$$

Consecuencias del teorema:

Principio de Pascal: “Un líquido transmite en todos sus puntos, y en todas sus direcciones, cualquier variación de presión que se produzca en cualquiera de ellos.”

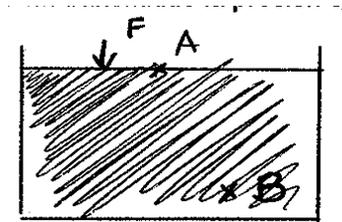
Así si en la superficie S de la figura ejercemos una presión F, la presión en el punto B será:



$$P_b = h \cdot \rho \cdot g + F/S \text{ y como según hemos visto, } P_b - P_a = h \cdot \rho \cdot g; P_a = P_b - h \cdot \rho \cdot g$$

$$P_a = h \cdot \rho \cdot g + F/S - h \cdot \rho \cdot g = F/S$$

Lo que indica que de A a B se ha transmitido la presión ejercida por la fuerza F.



Vasos comunicantes:

“Un mismo líquido se coloca a la misma altura en vasos comunicantes, cualquiera que sea la forma de éstos”

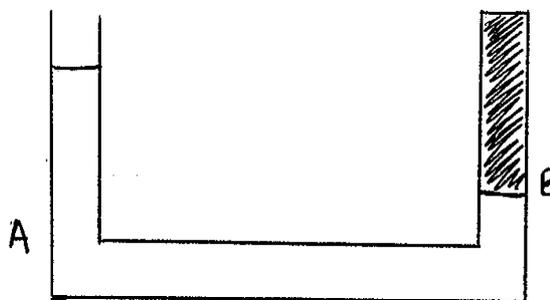
Si en vasos comunicantes se ponen líquidos no miscibles de distinta densidad, las alturas contadas a partir de la superficie de separación son inversamente proporcionales a las densidades.

$$P_a = P_b$$

$$h_a \cdot d_a \cdot g + P_a = h_b \cdot d_b \cdot g + P_b$$

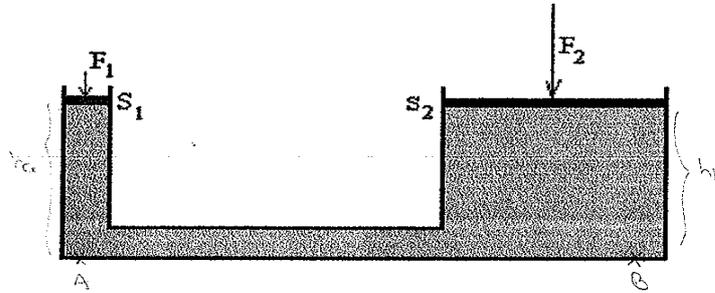
$$h_a \cdot d_a = h_b \cdot d_b$$

$$h_a / h_b = d_b / d_a$$



Prensa hidráulica:

Consta de dos depósitos, de superficies muy distintas, que se comunican por su fondo. Si en un émbolo, que cierra al menor, ejercemos una presión  $P_b$ , se transmite íntegramente al émbolo que cierra el depósito mayor, verificándose que  $P_a = P_b$



Teorema de Arquímedes

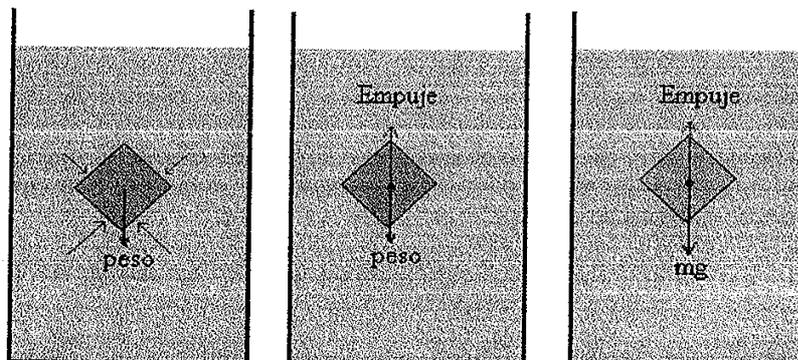
Los orígenes de la hidrostática se remontan hacia el año 220 a.c, cuando Hierón II rey de Siracusa, desconfiando de la honradez de su orfebre, encomendó a su pariente Arquímedes que comprobara el contenido de oro de su corona.

La exclamación "Eureka" proferida por Arquímedes sirvió al mismo tiempo para pronunciar la sentencia de muerte del orfebre y confirmar el éxito del sabio que enunció su famoso teorema:

"Todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso del fluido que desaloja".

Consideró una porción de fluido que sustituyó por un objeto sólido. Puesto que esta porción está en equilibrio, las fuerzas debidas a la presión se anulan con el peso. A esta resultante la denominamos Empuje.

Así se representa en la figura en la que el cuerpo sumergido pesa  $P$  y tiene un volumen  $V$ .



El valor del Empuje E será:  $E = V \cdot d_{\text{líquido}} \cdot g$

Y así podemos deducir el comportamiento del cuerpo que se sumerge, por relación entre el empuje hacia arriba ( $V \cdot \rho_{\text{líquido}} \cdot g$ ) y el peso ( $V \cdot \rho_{\text{cuerpo}} \cdot g$ )

Si  $\rho_{\text{cuerpo}} > \rho_{\text{líquido}}$ ;  $P > E$   $\longrightarrow$  el cuerpo se hunde

Si  $\rho_{\text{cuerpo}} = \rho_{\text{líquido}}$ ;  $P = E$   $\longrightarrow$  el cuerpo se queda como se deje después de estar todo sumergido

Si  $\rho_{\text{cuerpo}} < \rho_{\text{líquido}}$ ;  $P < E$   $\longrightarrow$  el cuerpo flota

#### IV 4. HIDRODINÁMICA

Suponemos un fluido que se mueve a través de una tubería.



Vamos a suponer que el fluido circula desde la posición 1 hasta la 2 y que ni entra ni sale por las paredes de la tubería. Vamos a definir como gasto la masa de fluido que pasa por un punto en una unidad de tiempo.

Entonces:

$$Q_1 = \frac{m}{t} = d_1 \cdot V_1 / t = d_1 \cdot s_1 \cdot x_1 / t = d_1 \cdot s_1 \cdot v_1$$

$$Q_2 = d_2 \cdot s_2 \cdot v_2$$

Y se cumple que:

$$s_1 v_1 = s_2 v_2$$

Ecuación de la continuidad

## TEOREMA DE BERNOUILLI

“En un fluido incompresible y no viscoso en movimiento en régimen estacionario bajo la acción de la gravedad, la suma de las alturas geométrica, piezométrica y cinética es constante para los diversos puntos de una línea de corriente”

Se llaman líneas de corriente a las líneas que en todos sus puntos son tangentes a la velocidad del fluido.

Tubo de corriente es el espacio limitado por las líneas de corriente que pasan por el contorno de una superficie, situada en el seno del líquido.

Se dice que los fluidos circulan en régimen de Bernouilli cuando suponemos que no oponen resistencia al deslizamiento mutuo entre sus partes.

$$P+d.g.h+1/2.d.v^2= \text{constante}$$

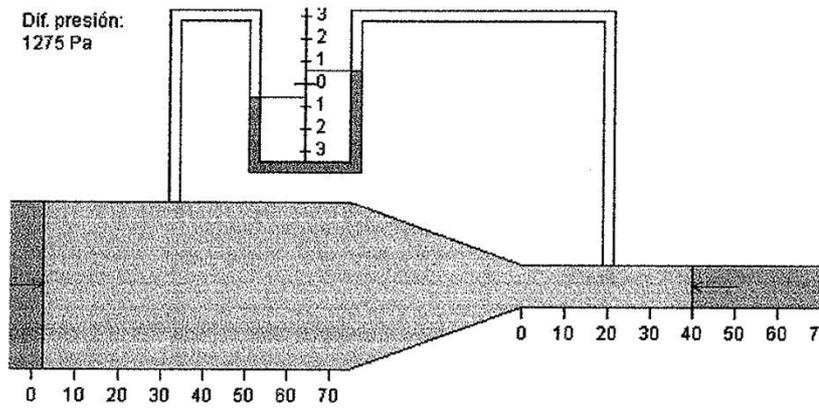
El teorema de Bernouilli se puede enunciar de la siguiente forma:

“En dos puntos de la misma línea de corriente de un fluido en movimiento, bajo la acción de la gravedad, se verifica que la diferencia de las presiones hidrodinámicas es igual al peso de una columna de fluido que tiene por base la unidad de superficie y por altura la diferencia de alturas entre los dos puntos”.

Aplicaciones del teorema:

### 1. Variaciones de la presión por cambios de velocidad.Efecto Venturi.

Se presenta cuando un fluido se mueve en una tubería en la cual existe un estrechamiento.



$$S v = cte$$

$$P + \rho g h + \frac{1}{2} \rho v^2 = cte$$

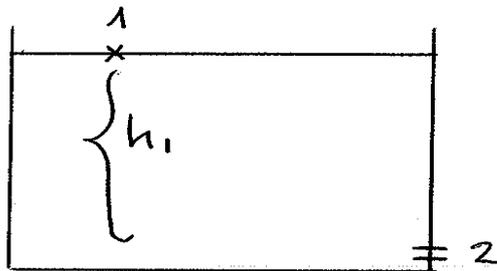
## 2. Teorema de Torricelli.

Hace referencia a la velocidad de salida de un líquido por un orificio practicado en las paredes de un recipiente.

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

$$P_{atm} + \rho g h_1 = P_{atm} + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$v_2 = \sqrt{2 g h_1}$$



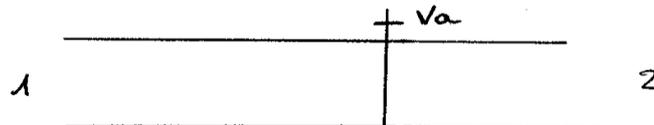
- REGÍMENES DE CIRCULACIÓN



### Régimen de circulación permanente

Se dice que la circulación de un fluido por una conducción es a régimen permanente cuando en todos sus puntos el fluido tiene siempre la misma velocidad, la misma presión y la misma densidad.

Imaginemos un conducto de ventilación de aire como el de la figura por el que circula aire desde la sección 1 a la 2.



Imaginemos ahora que el agua de una tubería circula entre el punto 1 y el 2, pasando a través de una válvula de cierre rápido  $V_a$ .

Si cuando el agua está circulando en régimen permanente entre 1 y 2 cerramos instantáneamente  $V_a$ , la masa del agua en movimiento se ve bruscamente frenada, y las láminas más cercanas a la válvula sufren un empuje de la vena líquida que se movía hacia la válvula, produciéndose una sobrepresión y compresión de esas láminas, tanto más cuanto más cercanas estén de la válvula de cierre.

Se produce pues, una reacción de las láminas más oprimidas hacia el resto que le oprimía hasta que la parada se va transmitiendo hacia toda la vena líquida.

Este fenómeno que al poco tiempo desaparece se produce durante un período régimen transitorio que se llama GOLPE DE ARIETE.

Este fenómeno se produce muchas veces al variar el régimen de circulación de un fluido hasta que el nuevo régimen se establece.

Es el caso de cierre brusco de un grifo de agua sanitaria o su apertura rápida.-Esa variación de presión del régimen transitorio, transmitida de la vena fluida a las tuberías puede producir vibraciones en las redes sanitarias y es la causa del molesto ruido que se produce en muchas viviendas cuando no se ha previsto en el diseño.

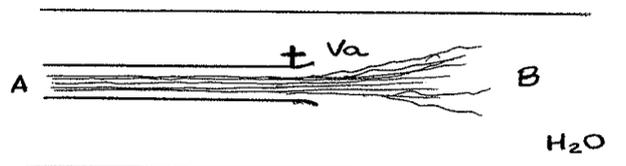
### Régimen laminar y régimen turbulento

Sean dos tubos concéntricos, como los de la figura y realicemos con ellos la experiencia que hizo el científico Reynolds.



Por el tubo de pequeño diámetro introducimos un colorante y por el concéntrico de gran diámetro agua.

Vamos aumentando la cantidad de fluidos que circula y en tanto que no se supere un determinado valor de velocidad, que llamamos crítica, el colorante se comporta como en la parte A de la figura: fluye como una lámina sin mezclarse con la masa de agua que circula por el tubo mayor.



Sin embargo a partir de esta velocidad crítica, el colorante se dispersa inmediatamente a la salida del tubo de pequeño diámetro, según se expresa gráficamente en la figura.

Se dice entonces que en A el régimen es LAMINAR y en B el régimen es TURBULENTO.

Régimen laminar: Se dice que una circulación es laminar cuando el trayecto recorrido por el fluido no se ve perturbado por ninguna turbulencia importante. En una circulación de este tipo, las partículas que constituyen el fluido circulan paralelamente entre sí.

Se caracteriza por lo siguiente:

La velocidad en cada punto de la vena líquida es paralela al eje de la conducción y su valor varía haciendo que en una sección de la tubería tenga la distribución de una parábola.

La velocidad es independiente de la naturaleza de las paredes y en contacto con éstas es nula. En este régimen existe siempre una pequeña lámina en contacto con la pared de la tubería, en donde la velocidad es nula. De ahí que no afecte la rugosidad de las paredes de la tubería al movimiento del fluido

La velocidad que debe tomarse en los cálculos es la velocidad media  $V_m$  de la figura y cuyo valor es  $\frac{1}{2}$  de  $V_{m\acute{a}x}$ , que tiene lugar en el centro de la vena líquida o de la tubería.

$$V_m = \frac{1}{2} V_{m\acute{a}x}$$

Régimen turbulento: Diremos que una corriente de fluido es turbulenta cuando en el interior de esa corriente se forman remolinos. El origen de éstos es debido a la viscosidad del fluido (resistencia que oponen las moléculas de un cuerpo a su desplazamiento con respecto a las moléculas vecinas) y podemos explicarla sabiendo que existe una diferencia de velocidad muy elevada entre dos capas de fluido y que al deslizarse una sobre otra, la fuerza de rozamiento es muy intensa y obliga a esas capas de fluido a voltearse sobre sí mismas.

De ahí la importancia de la naturaleza de la rugosidad de las paredes internas de la tubería en el régimen turbulento.



Régimen de circulación y número de Reynolds: Ya podemos decir que la circulación del agua, de un fluido, por una conducción depende de la velocidad del fluido y además del fluido mismo (viscosidad) y del diámetro y naturaleza de las paredes internas de conducción (diámetro y rugosidad).

Todas estas influencias se recogen en un número sin dimensiones cuyo valor se determina por

$$NR = v d D / \eta$$

que es el llamado número de Reynolds y en el que:

- ▣ v=velocidad del fluido
- ▣ d=densidad del fluido
- ▣ D=diámetro de la tubería
- ▣  $\eta$ = viscosidad del fluido (en Poises) Se establece que para:
- ▣  $Re < 3000$  el régimen es laminar
- ▣  $Re > 4400$  el régimen es turbulento.

- **PÉRDIDAS DE CARGA**

Vimos que todo fluido real pierde energía al circular de un punto a otro de una conducción. Esta pérdida de energía se debe al rozamiento que se produce con el fluido mismo, con las paredes de la conducción y al tener que pasar por accidentes de la conducción (cambios de dirección, de sección, estrechamientos, válvulas, etc)

Las pérdidas de carga son las causantes de la disminución de presión de un fluido en el interior de una tubería o de un componente. Este descenso de presión se debe a la energía necesaria para mantener el caudal.

Existen dos clases de pérdidas de carga:

Pérdidas de carga lineales: debidas a los tramos rectos de las tuberías. Perdidas de carga localizadas: cuando se ponen de manifiesto al atravesar el fluido por cambios de sección o de dirección, tales como codos, estrangulamientos, llaves de paso...

En un líquido en movimiento la pérdida de carga tiende a aumentar, lo que implica también una disminución de la presión al alejarse de la fuente de alimentación (bomba).

Cálculo de la pérdida de carga



La ley de Pouseuille nos permite calcular la pérdida de carga por rozamiento en un tubo cilíndrico y en régimen laminar

▣ R= radio de la tubería

▣  $\eta$  =coeficiente de viscosidad

▣ P=presión

▣ L= Longitud de la tubería

#### IV. 5 BOMBAS

$$Q= \frac{R^4 \Delta P}{8 \eta L}$$

Desde un punto de vista físico, una bomba es una máquina que tiene por finalidad desplazar un fluido (líquido o gaseoso) de un punto a otro comunicando al mismo un aumento de presión en el transcurso de su paso a través de la bomba.

En el lenguaje corriente, el término de bomba está reservado muy especialmente a las máquinas destinadas a los líquidos, mientras que las destinadas a los gases se denominan ventiladores, extractores o compresores

Su modo de accionar permite clasificarlas en:

bombas volumétricas: alternativas (de pistón) o rotativas (de paletas y de engranajes)

bombas centrífugas: rotativas

#### BOMBAS VOLUMÉTRICAS

En una bomba volumétrica, la cavidad de la máquina, cuyo volumen varía periódicamente, va unida de forma alternativa al orificio de aspiración o al de descarga.

El desplazamiento del líquido se efectúa por volúmenes engendrados.

Como sea que las bombas volumétricas pueden ser de movimiento alternativo o rotativo, distinguiremos:

#### Bombas de Pistón:

La bomba de pistón se compone esencialmente de un cilindro C (Cuerpo de la bomba) en el que se

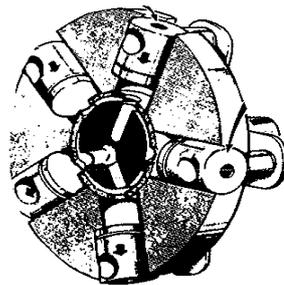


desplaza el pistón mandado por un sistema clásico de biela-manivela. Durante la carrera del pistón el cilindro se pone en comunicación a través de la válvula de aspiración, con el conducto de aspiración y después, durante el siguiente recorrido, con el conducto de descarga por medio de la válvula de descarga.

Esta bomba monocilíndrica es de simple efecto, y no actúa más que en una de cada dos carreras; por otra parte, como la velocidad del pistón en el cilindro no es uniforme, el caudal varía entre cero y un valor máximo.

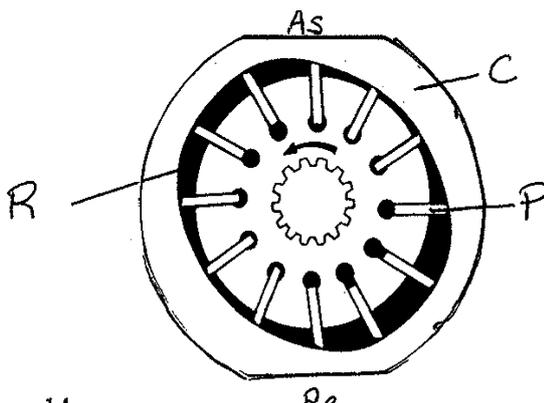
A fin de regular el caudal resulta obligado el empleo de bombas multicilíndricas de doble efecto. Para regularizar la presión y el caudal, magnitudes que permanecen sujetas a pulsaciones, es indispensable la presencia del depósito cerrado en el cual el aire se comprime por medio del agua descargada. Este recipiente sirve, para evitar los golpes de ariete.

En este género de bombas, los pistones son del "tipo buzo" ( el pistón buzo penetra en el cilindro a través de un sello estanco, pero que o roza contra las paredes del cilindro) Las bombas de pistón se clasifican a su vez en radiales o en estrella y axiales



#### Bombas de paletas:

En un cuerpo cilíndrico C gira el rotor excéntrico R que tiene un generador tangente a C. Las paletas P se deslizan libremente en las lumbreras L mecanizadas en el rotor. Estas paletas ajustan sobre las paredes cilíndricas del cuerpo, en las paradas y puestas en marcha, por medio de muelles resortes de presión y después cuando el rotor gira, por medio de la fuerza centrífuga. Estas bombas son, realmente bombas volumétricas puesto que el volumen comprimido entre las dos paletas es el máximo en el punto del rotor más alejado del cuerpo cilíndrico, disminuyendo después constantemente durante el movimiento de rotación de las paletas, para anularse prácticamente en la posición diametralmente opuesta. El líquido se desplaza dentro el cuerpo e la bomba en e sentido de rotación desde As hacia Re.



### Bombas de engranajes:

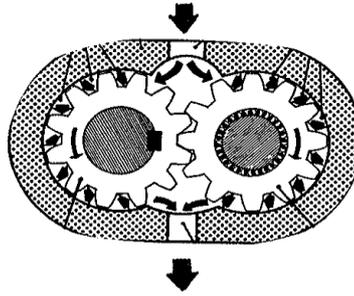
Una bomba de engranajes está constituida por una carcasa de fundición de hierro o de aleación de aluminio. Esta carcasa está provista de dos orificios: uno de alimentación y otro de salida. En el interior de la carcasa van situados dos piñones que normalmente llevan dentado recto rectificado. Uno de los piñones es el conductor y el otro, el conducido.

Debido al engrane de los dentados respectivos de los dos piñones, éstos giran mutuamente en sentido inverso.

En toda bomba de engranajes con piñones de dentado exterior, durante la rotación de los órganos, el fluido circula del siguiente modo:

El fluido que llega al orificio de alimentación de la bomba es arrastrado por los huecos formados por los dentados. Durante la rotación de los piñones en la carcasa, el fluido no sólo se arrastra, sino que queda aprisionado entre los alojamientos de la carcasa y los huecos formados por el dentado de cada piñón. El fluido no se libera hasta que los huecos de los dentados desembocan en la cámara de salida. Entonces el fluido es expulsado en la tubería de presión hacia el distribuidor del sistema hidráulico.

Esta clase de bombas se utilizan mucho para el engrase mecánico de órganos en movimiento. Tienen el inconveniente de provocar rozamientos importantes entre las partes móviles y estáticas por un lado y por el otro, existen los inevitables juegos longitudinales que crean fugas entre la descarga y la aspiración afectando de esta forma al rendimiento de la bomba.



Entre las bombas de engranajes destacamos las de dentado exterior y las de dentado interior.

### BOMBAS CENTRÍFUGAS

En estas bombas, una rueda alabeada comunica presión y velocidad al líquido que mueve, para que, a la salida de dicha rueda, la energía cinética producida por esta velocidad se transforme en energía potencial en una parte fija llamada difusor.

Comprende:

- el cuerpo de la bomba
- un rodete provisto de un determinado número de alabes o aletas
- un difusor colocado a la salida del rodete, el cual está constituido por una simple voluta lisa de sección en sentido aumentativo, llamado comúnmente caracol, que forma parte del cuerpo de la bomba
- una voluta que canaliza el líquido que sale del difusor hacia la tubería o conducto de salida.

Al igual que en las bombas rotativas, el movimiento del fluido es continuo; de acuerdo con la dirección de los filetes líquidos en el rodete, la bomba se llamará centrífuga, helicoidal o helicoidal-centrífuga.

En una bomba centrífuga el desplazamiento es radial, en las helicoidales es axial y en las helicoidales y centrífugas, la dirección de los filetes de los fluidos es la resultante de una componente radial y una axial.

Las bombas centrífugas se reservan para caudales pequeños y alturas manométricas elevadas y las helicoidales para grandes caudales y alturas pequeñas.



- APLICACIONES

Las bombas de pistón se utilizan cuando la bomba está accionada por un motor de movimiento alternativo o cuando se trata de caudales reducidos bajo una fuerte presión, así como también para la alimentación de agua a las calderas, para elevar el agua de consumo, para la maniobra de prensas hidráulicas,...

Las bombas rotativas se destinan preferentemente para la circulación de líquidos particulares (aceites, grasas) y en general, para la lubricación de compresores, motores.

Actualmente, y salvo en casos particulares, para la obtención de caudales débiles bajo presiones altas, la bomba centrífuga ha reemplazado a los demás tipos. Estas son, efectivamente, menos costosas y ocupan menos espacio, ofreciendo un rendimiento excelente y pudiendo acoplarse directamente a un motor eléctrico de 1400 o 2800 r.p.m.

- CARACTERÍSTICAS DE UNA BOMBA

Caudal:

El caudal que corresponde al tipo de bomba depende de la bomba, diámetro del cilindro, carrera del pistón o diámetro de la turbina, y se expresa en  $m^3/h$  o  $m^3/s$ .

Altura manométrica (h):

La altura manométrica real de una bomba es, por consiguiente, la suma de la altura manométrica teórica más las pérdidas de carga experimentadas por el fluido en su recorrido.

Estas pérdidas de carga se hallan en función de las condiciones de desplazamiento del fluido y de los accesorios montados sobre las tuberías (grifos, válvulas,...)

Potencia absorbida teórica:

Será proporcional al caudal y a la altura manométrica real, más el peso específico de líquido desplazado por la bomba. Se mide en vatios.

$$P_{th} = \frac{w Q h}{3600}$$



### Rendimiento efectivo:

Es el que se caracteriza al balance energético de una bomba hidráulica. Depende de tres rendimientos primarios.

Rendimiento manométrico: las bombas no son perfectas y el líquido, después de atravesar el cuerpo de la bomba, experimenta una pérdida de carga por lo que el trabajo que debe aportarse al líquido es superior al trabajo teórico.

Rendimiento volumétrico: Las bombas de pistón tienen al final de su carrera, un espacio muerto inevitable debido a las tolerancias de su mecanizado, por lo que siempre queda al final de dicha carrera un volumen residual de líquido que la bomba no aspira.

Rendimiento mecánico: los rozamientos mecánicos en los cojinetes se traducen en un gasto de energía, por lo que podrá definirse este rendimiento como la relación entre la energía aportada a una bomba perfecta, sin rozamientos, y la energía realmente suministrada.

### Valor del rendimiento efectivo:

Los rendimientos definidos anteriormente tienen valores medios de  $\eta_h=0,8$ ,  $\eta_v=0,95$ ,  
 $\eta_m=0,95$

Bajo estas condiciones, vemos que el rendimiento efectivo medio será:

$$\eta_{eff} = \eta_h \times \eta_v \times \eta_m = 0,8 \times 0,95 \times 0,95 = 0,72$$

### Modificación de la velocidad de rotación

Tiene como efecto:

En una bomba volumétrica, hacer variar el caudal de la bomba en relación con la velocidad de rotación

En una bomba centrífuga, la variación de velocidad modificará simultáneamente el caudal, la presión y la potencia absorbida

### Modificación de las características del circuito

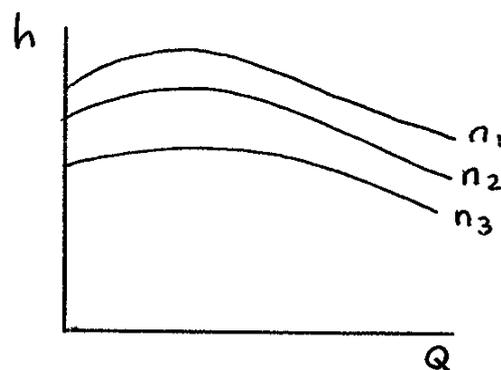
Cuando una bomba centrífuga alimenta un circuito cuyas pérdidas de carga son constantes, el caudal de dicha bomba permanece también constante. Si el valor de dichas pérdidas de carga varía, las características de la bomba quedan, asimismo, afectadas.



El aumento de las pérdidas de carga tiene como consecuencia la disminución del caudal y de la potencia absorbida. La disminución de las pérdidas de carga causa el aumento del caudal así como el de la potencia absorbida.

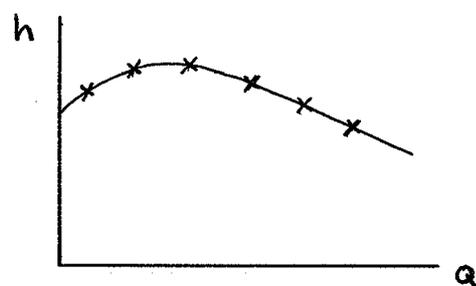
- CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UNA BOMBA

Normalmente, las curvas de funcionamiento forman parte de la documentación que acompaña la compra de una bomba, y ello nos permite elegir la más apropiada a las condiciones de trabajo a las que va a ser sometida. Dentro de los datos suministrados están la altura y los caudales máximos. Nos podemos encontrar con las siguientes curvas de rendimiento:



Curva básica de una bomba.

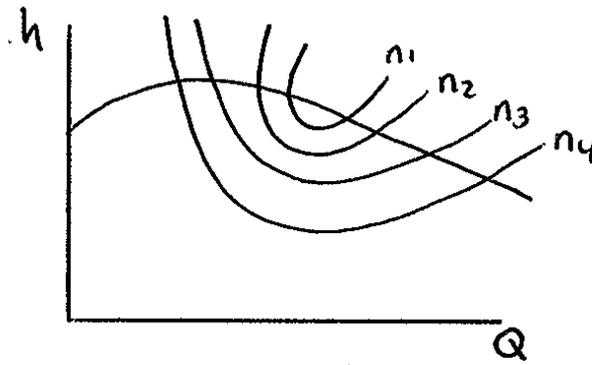
Se observan varias curvas que corresponden a la misma bomba pero funcionando a distintas revoluciones o distintos diámetros de rodete. Si en el extremo de la curva aparece una  $n$ , es que el fabricante se refiere a distintas r.p.m. Del motor o distintos motores. Si indica  $D$  se refiere a distintos rodetes.



Curva básica con rendimiento apuntado.



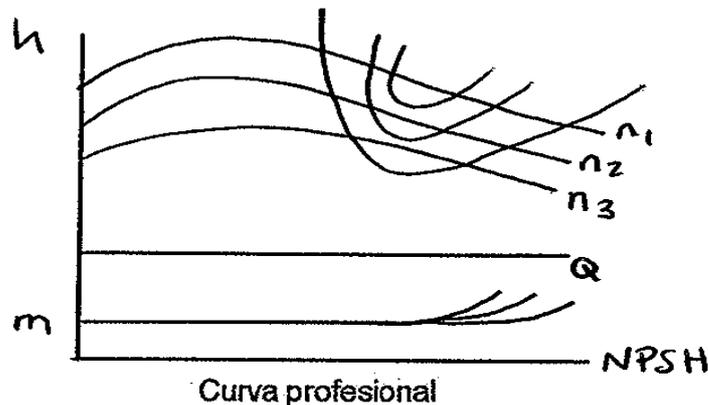
Son similares a las anteriores, pero con indicación del valor del rendimiento. Si el rendimiento es bajo, es preferible moverse en la curva y buscar un punto próximo que dé mayor rendimiento, porque así la bomba trabaja mucho mejor y , además, se ahorra electricidad.



Curva en concha.



Por el aspecto de concha marina que ofrecen se las conoce como curvas en concha. Son muy prácticas y se las enumera a partir del 1, o máximo rendimiento.



Son las más completas y corresponden a las bombas de alto rango. Nos suministra la curva de funcionamiento para distintas r.p.m. del motor y para distintos diámetros de rodetes. También indican desplazamiento, curva de NPSH.

- EL FACTOR NPSH Y LA CAVITACIÓN

La cavitación es el burbujeo que produce el agua en el interior de una tubería y que se convierte en un grave inconveniente al alcanzar el rodete de las bombas. Estas burbujas actúan como pequeñas explosiones capaces de convertir a éste en un disco agujereado.

El NPSH es un término inglés muy útil que representa la altura neta positiva de succión de una bomba.

El NPSH necesario representa la energía que se necesita para que la bomba aspire sin que aparezca la cavitación. Si el NPSH disponible equivale a la energía mínima a la entrada de la bomba, se deduce que deberemos trabajar siempre con un valor superior, pero muy próximo a él. Si sólo consideramos el NPSH disponible, el fenómeno de la cavitación aparecerá en el interior de la bomba en vez de en la entrada de ésta, con lo que el resultado sería peor.

#### IV. 6 VÁLVULAS

Pieza de una u otra forma que colocada en una abertura de máquinas o instrumentos sirve para interrumpir alternativa o permanentemente la comunicación entre dos de sus órganos entre las válvulas de presión podemos distinguir:



De limitación a presión: son válvula de seguridad que evitan la rotura de órganos mecánicos e hidráulicos. Por lo general son regulables y siempre van montadas en paralelo.

De secuencia: Permiten en principio la alimentación de un circuito secundario, cuando se alcanza en el circuito primario una presión determinada . Van siempre montadas en línea sobre el circuito al que están destinadas.

De regulación de presión: Aseguran una reducción de la presión en un circuito secundario, en relación con un circuito primario, cuya presión es siempre más elevada.

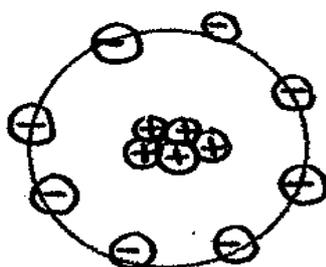
De vaciado y de equilibrado: Se asemejan a las válvulas de limitación de presión y a las de secuencia.

De limitación de presión: El empleo de tales válvulas se limita a la seguridad.

## V ELECTRICIDAD BÁSICA

---

La materia está compuesta por partículas diminutas denominadas átomos, y éstos a su vez están formados por cargas positivas (protones) que se sitúan en el núcleo central y cargas negativas (electrones) que se sitúan en la corteza.

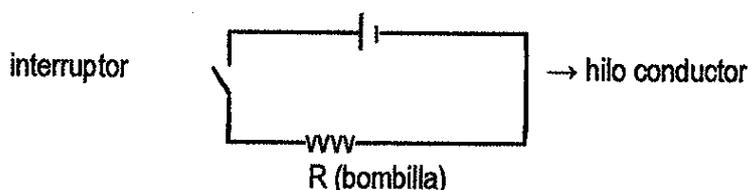


Existen determinados materiales en los que estos electrones tienen la capacidad de desplazarse. A este movimiento a través de un hilo conductor es a lo que llamamos corriente eléctrica.

Podemos distinguir dos tipos de corrientes:

- Continua: Si no cambia de sentido con el tiempo. Es la que proporcionan las baterías de acumuladores, pilas, dinamos,... Los usos que se hacen de la corriente continua son muy variados: baños electrolíticos, alimentación de aparatos electrónicos, tracción eléctrica (coches, tranvías), etc.
- Alterna: Si el sentido de la circulación y la intensidad varían periódicamente con el tiempo. Es la que producen los alternadores en las centrales eléctricas. Es la forma más común de transportar la energía eléctrica y de consumirla en nuestros hogares y en la industria en general.

Para que circule la corriente eléctrica necesitamos que los hilos que unen los diferentes elementos del circuito sean conductores, es decir, que posean electrones móviles.



## V.1 MAGNITUDES ELECTRICAS Y SUS UNIDADES DE MEDIDA

- **Intensidad de la corriente:** Se define la intensidad de la corriente para un flujo de circulación de cargas constante, como la cantidad de cargas (número de electrones) que atraviesa una sección transversal de un conductor por unidad de tiempo.

$$I=q/t$$

q= carga eléctrica (cantidad de electrones). Se mide en culombios (C).

$$1C= 6,42.10^{18} \text{ electrones}$$

La unidad de intensidad en el S.I. Es el Amperio (A).  $1A=1 \text{ Culombio/sg}$

- **Voltaje o Diferencia de Potencial:** Energía que suministra el generador (pila) a la unidad de carga que pasa por él. Dicha energía se emplea en mantener constante la intensidad de corriente.

$$V=W/I t$$

W= trabajo realizado por el generador. Se mide en julios (J)

El voltaje o d.d.p. se mide en voltios (v).  $1v=1\text{Julio/culombio}$

- **Resistencia:** Relación entre la d.d.p. aplicada a los extremos de un hilo conductor y la intensidad que lo recorre.

$$R=V/I$$

Esta magnitud nos permite caracterizar de forma precisa si una sustancia es o no conductora. Su unidad es el ohmio ( $\Omega$ ).  $1 \Omega= 1 \text{ voltio/amperio}$

La resistencia de un conductor depende de su naturaleza. Teniendo en cuenta que la resistencia mide la oposición del conductor al paso de la corriente cabe esperar que, cuanto más largo sea el conductor, mayor resistencia tenga, y que cuanto mayor sección, la resistencia disminuya.

De aquí deducimos que:  $R=\rho.L/s$

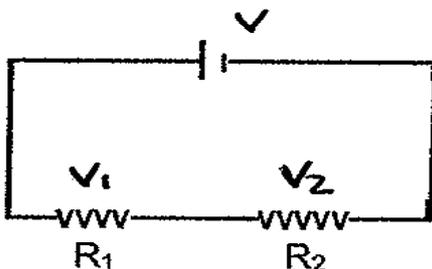
$\rho$ = resistividad, constante que depende de la naturaleza del material conductor ( $\Omega m$ ) L= longitud del conductor (m)

$s = \text{sección (m}^2\text{)}$

### Resistencias en serie

Dos resistencias se encuentran en serie en un circuito cuando aparece una a continuación de otra, unidas por un solo hilo conductor. Para este tipo de asociación se cumple que:

- La intensidad de corriente que circula por ellas es la misma y coincide con la que circula por el hilo conductor.
- La d.d.p. entre los extremos de la asociación es la suma de las d.d.p. entre los extremos de cada resistencia.



$$I = I_1 = I_2$$

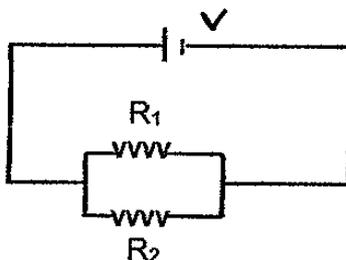
$$V = V_1 + V_2$$

$$R = R_1 + R_2$$

### Resistencias en paralelo

Dos resistencias de un circuito se encuentran en paralelo o derivación cuando se sitúan en dos conductores distintos que proceden de un punto común. Cuando dos resistencias están conectadas en paralelo:

- La d.d.p. entre los extremos de ambas es la misma y coincide con la que existe en los extremos de la asociación.
- La intensidad de corriente en el circuito es la suma de las intensidades que circulan por cada una de las ramas de la asociación.



$$I = I_1 + I_2$$

$$V = V_1 = V_2$$

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2$$

- Potencia eléctrica

Energía que aporta el generador por unidad de tiempo.

$$P = W/t$$

Todos los aparatos eléctricos tienen indicaciones sobre la potencia que consumen. Como sabemos a la tensión a la que se conectan, podemos averiguar la intensidad que circula por ellos o la resistencia que poseen.

$$P = W/t = V \cdot I = I^2 R = V^2/R$$

Su unidad en el S.I. es el vatio (w)  $1w = 1J/sg$

Un múltiplo muy utilizado es el kilowatio (kw) que equivale a 1000 vatios.

Cuando en una bombilla se indica que es de 1000w, ello significa que una vez conectada a un circuito, consumirá 1000 Julios por segundo.

Las compañías eléctricas suelen medir la energía eléctrica en kilovatios-hora (kwh). 1

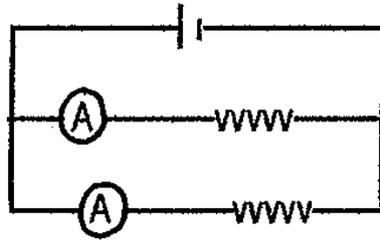
kilovatio-hora es la energía que consume un aparato cuya potencia es de un kilovatio cuando permanece conectado 1 hora.

## V.2 APARATOS DE MEDIDA DE MAGNITUDES ELÉCTRICAS

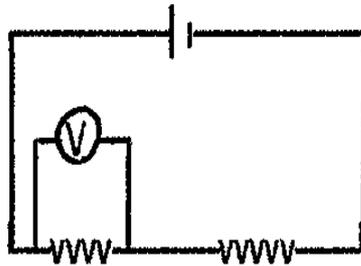
X. **AMPERÍMETRO:** Dispositivo que mide la intensidad de corriente que pasa por un conductor. En los esquemas de circuitos el amperímetro se representa por un círculo con la letra A y siempre se conecta en serie en el tramo de circuito del que queremos conocer la intensidad que circula. La resistencia del amperímetro debe ser pequeña para no alterar el valor de la intensidad que se va



a medir, pues es un elemento añadido en serie al circuito.



XI. **VOLTÍMETRO:** Dispositivo que mide la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito. En los esquemas se representa por un círculo que encierra la letra V. Siempre se coloca en paralelo. Su resistencia debe ser muy grande para que no derive hacia el voltímetro una cantidad significativa de corriente, lo que modificaría la intensidad que atraviesa la resistencia.



XII. **OHMÍMETRO U ÓHMETRO:** Aparato que se utiliza para medir la resistencia eléctrica. Existen muchos tipos de óhmetros, pero uno de los más conocidos y más utilizado para medir resistencias de una forma aproximada es el que incorpora el polímetro. El puente de Wheatstone es otro aparato de medida para resistencias, que se utiliza cuando se quiere dar una mayor precisión en la medida.



### V 3. GRADOS Y MODOS DE PROTECCIÓN DE LOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS.

Podemos distinguir dos posibles fallos dentro de un circuito eléctrico que pueden llegar a dañar las instalaciones eléctricas si no se emplea la protección adecuada.

- El corto circuito: Se produce cuando se unen accidentalmente las dos partes activas del circuito eléctrico. Estos accidentes suelen ser provocados por un error en el montaje de la instalación, fallo de un aislamiento que separa las partes activas o por una falsa maniobra. La intensidad de corriente que aparece es tan elevada que destruye los conductores por efecto del calor en un corto período de tiempo.
- La sobre carga: Se produce cuando hacemos pasar por un conductor eléctrico más intensidad de corriente de la debida. Puede venir provocada por conectar demasiados receptores en una línea eléctrica, por un mal funcionamiento de un receptor que tiende a un mayor consumo eléctrico o por un motor que es obligado a trabajar a más potencia de la debida.

Para la protección contra circuitos y sobrecargas se emplean los fusibles y los interruptores automáticos:

Fusibles: Compuestos por un hilo conductor de menor sección que los conductores de la línea. En caso de sobrecarga o cortocircuito, la intensidad se eleva a valores peligrosos para los conductores de la línea y el fusible, que es más débil, se funde e interrumpe el cortocircuito antes de que la intensidad de la corriente alcance esos valores peligrosos.

Para que el hilo fusible se caliente antes que los conductores de la línea, debe ser de mayor resistencia eléctrica. Esto se consigue con un hilo de menor sección o con un hilo de mayor coeficiente de resistividad.

Cuando un hilo fusible se funde, las gotas de material en estado líquido se proyectan, lo que puede producir quemaduras y accidentes, incluido peligro de incendio. Por esta razón, los hilos fusibles se deben colocar en el interior de recipientes herméticamente cerrados, dando así lugar a los llamados cartuchos fusibles.

Una de las ventajas de los cartuchos fusibles es que están calibrados en amperios. El calibre de un fusible nos indica la intensidad que puede pasar por él sin fundirse. Cuando se supera esta intensidad, el fusible corta el circuito.

Los fusibles resultan muy seguros en la protección de cortocircuito, pero presentan el inconveniente de que son difíciles de reponer. Al fundirse el fusible queda inutilizado, por lo que hay que encontrar otro de las mismas características y realizar la operación de recambio. Por motivos de seguridad deben seguirse las siguientes normas:

- La intensidad máxima nominal de un fusible debe ser inferior a la máxima de cualquier punto del circuito.
- Un fusible fundido debe cambiarse por un fusible nuevo.
- Como norma de seguridad se prohíbe reparar los fusibles. Interruptores automáticos: Protegen bien



contra los cortocircuitos y actúan ante las sobrecargas más rápido y de una forma más selectiva que los fusibles.

Tienen la ventaja de que una vez que han abierto el circuito por sobrecarga o cortocircuito se pueden reponer manualmente con rapidez y sin necesidad de utilizar recambios.

Al igual que los fusibles, los interruptores automáticos se fabrican calibrados en amperios. El calibre nos indica los amperios que pueden pasar por el interruptor de una forma permanente sin que éste abra el circuito.

El interruptor automático está compuesto por dos dispositivos de protección diferentes:

- Relé magnético: se encarga de la protección de los cortocircuitos
- Relé térmico: se encarga de la protección de las sobrecargas.

Estos dos elementos están conectados en serie con el circuito a proteger, por lo que toda la corriente pasa por ambos.

#### V. 4 TRANSFORMADORES.

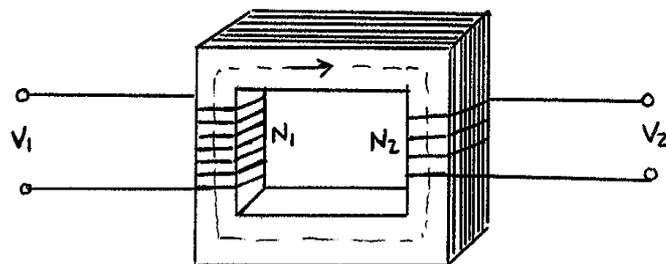
Equipos eléctricos encargados de aumentar o disminuir la tensión o la intensidad de la corriente eléctrica.

La transformación de la energía eléctrica se produce para el transporte de la misma desde los centros de producción (centrales eléctricas) hasta los puntos de consumo.

Un transformador posee dos bobinados: uno primario y otro secundario que se arrollan sobre un núcleo magnético común, formado por chapas magnéticas apiladas. Por el bobinado primario se conecta la tensión de entrada y por el bobinado secundario obtenemos la tensión de salida. El mismo transformador puede funcionar como elevador o reductor. Así por ejemplo, con un transformador de 220/125 V, si conectamos el bobinado de 220 V a una red de la misma tensión, obtendremos en el otro bobinado una tensión de salida de 125 V (transformador reductor) y a la inversa, si conectamos el bobinado de 125 V a una red de la misma tensión obtendremos en el otro bobinado una tensión de salida de 220 V (transformador elevador)

$N_1$ = número de espiras del primario  $N_2$ = número de espiras del secundario  $V_1$ = tensión del primario

$V_2$ = tensión del secundario



¿Cómo consigue cambiar la tensión un transformador? Al conectar el bobinado primario a una tensión alterna senoidal  $V_1$ , aparece una pequeña corriente por dicho bobinado que produce en el núcleo magnético un flujo variable también de carácter senoidal. Este flujo se cierra por todo el núcleo magnético y corta los conductores del bobinado secundario, por lo que se induce una fuerza electromotriz en el secundario que dependerá del número de espiras del mismo.

De esta forma, la transferencia de energía eléctrica se hace a través del campo magnético variable que aparece en el núcleo del transformador, no siendo necesario la conexión eléctrica entre ambos bobinados (la bobina del primario convierte la energía eléctrica en energía en forma de campo magnético variable; la bobina del secundario se comporta como un generador y transforma dicho campo otra vez en energía eléctrica gracias a la inducción electromagnética).

Hay que pensar que el flujo que se produce en el primario es proporcional a la tensión aplicada a la bobina y al número de espiras de la misma. Por otro lado, la tensión que se induce en el secundario es proporcional al flujo común y al número de espiras del secundario.

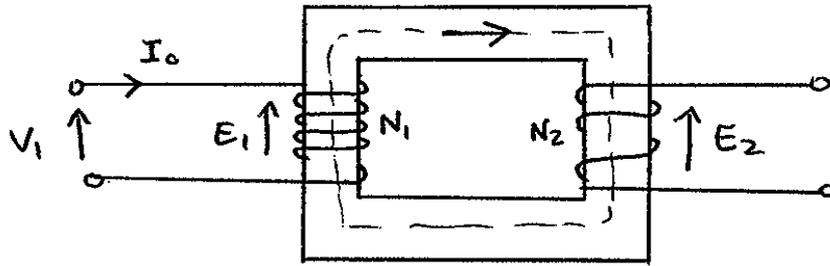
En general se cumple con gran aproximación que:

$$V_1/V_2 = N_1/N_2 = m \text{ (relación de transformación)}$$

#### FUNCIONAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR IDEAL

Consideraremos que el transformador es ideal, es decir, no tendremos en cuenta las pérdidas que se puedan dar tanto en los campos eléctricos como magnéticos

**En vacío:** Se conecta el bobinado primario a la red, mientras que el secundario no se conecta a carga alguna. Por el primario aparece una corriente de vacío ( $I_0$ ), lo que al recorrer los conductores de la bobina, produce un flujo alterno común a ambos bobinados. Al cortar este flujo a la bobina primaria, se induce en la misma, por efecto de autoinducción, una fuerza electromotriz en el primario ( $E_1$ ), cuyo valor instantáneo dependerá del número de espiras del primario.





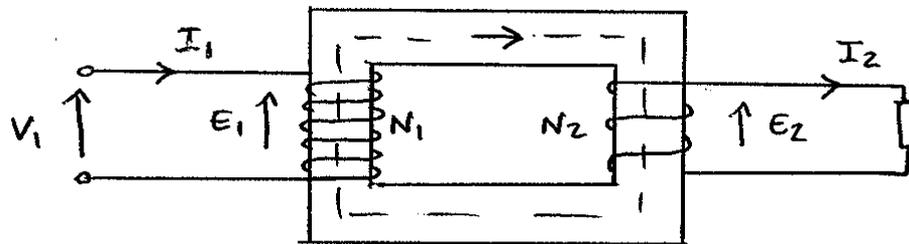
De esta forma comprobamos que la fuerza electromotriz inducida en ambos bobinados depende del número de espiras de los mismos:

$$E_1/E_2=N_1/N_2=m$$

Dado que no existen pérdidas, los valores eficaces de las tensiones en el primario y en el secundario son iguales a sus respectivas fuerzas electromotrices, cumpliéndose que:

$$E_1/E_2=N_1/N_2=V_1/V_2=m$$

En carga: Al conectar el bobinado secundario del transformador a una carga, la f.e.m.  $E_2$  hace que aparezca una corriente por la carga  $I_2$



En el transformador en carga, la intensidad  $I_2$  produce una fuerza magnetomotriz secundaria que tiende a modificar el flujo común. Como dicho flujo permanece fijo con la tensión primaria, el primario se verá forzado a producir otra fuerza magnetomotriz de sentido contrario que equilibre la originada por el secundario, de tal forma que se cumpla que:

$$N_1 \cdot I_1 = N_2 \cdot I_2$$

Despejando se cumple que:

$$I_2/I_1=N_1/N_2=E_1/E_2=m$$



En conclusión, vemos que la relación de transformación de intensidades por el primario y por el secundario son inversas a las de las tensiones:

$$E1.I1=E2.I2$$

#### RENDIMIENTO DE UN TRANSFORMADOR

Un transformador ideal no produce ningún tipo de pérdidas y, por eso, la potencia que absorbe por el primario de la red la entrega íntegramente por el secundario a la carga. En un transformador real esto no ocurre exactamente así, ya que la potencia absorbida por el primario queda aumentada por efecto de las pérdidas en el hierro y en el cobre. Aún así, el transformador es una máquina eléctrica que posee un alto rendimiento (por encima del 90%).

Se puede decir que el rendimiento de un transformador es la relación entre la potencia suministrada a la carga por el secundario ( $P_2$ ) y la potencia absorbida de la red por el primario ( $P_1$ ), expresada en tanto por ciento. De esta forma, el rendimiento vendrá dado por la siguiente expresión:

$$\eta = P_2 / P_1 \cdot 100$$

#### CARACTERÍSTICAS DE UN TRANSFORMADOR

Es importante conocer los datos característicos que son necesarios aportar para realizar la adquisición de un transformador comercial para una determinada aplicación. Los más relevantes son:

Potencia nominal asignada en KVA (kilovatios-amperio)

La potencia nominal de un transformador monofásico es el producto de su tensión nominal primaria por la corriente nominal primaria:  $S_n = V_n \cdot I_n$

Se entiende por tensiones y corrientes nominales a los valores para los cuales ha sido proyectado el transformador.

Tensión primaria y secundaria. Regulación de tensión en la salida Grupo de conexión

Frecuencia

Normas de aplicación

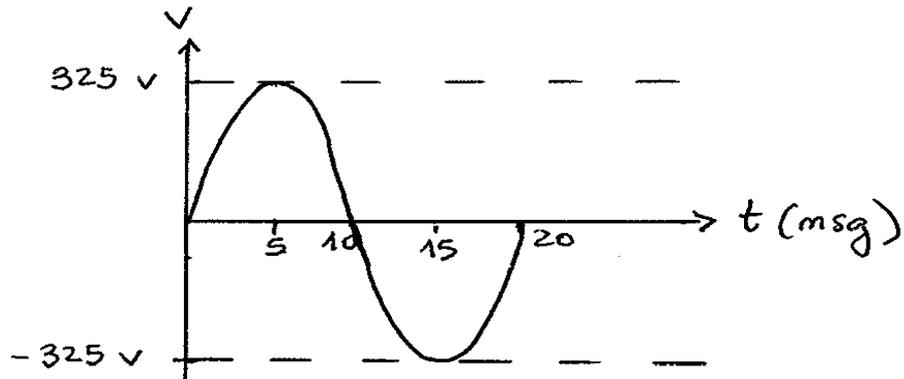
Temperatura máxima ambiente (si es > 40º)

Altitud de la instalación sobre el nivel del mar (si es > 1000m)



## V. 5 CORRIENTE ALTERNA

Aquella cuya intensidad es variable y cambia de sentido de circulación. Se abrevia como C.A. y se representa por medio de una curva senoidal. Vamos a tomar como ejemplo una corriente alterna como la que disponemos en nuestras viviendas de 230V y de frecuencia 50 ciclos por segundo.



## VALORES CARACTERÍSTICOS DE LA C.A.

**Valor instantáneo:** Es el valor que toma la tensión en cada instante del tiempo siguiendo la función senoidal.

**Tensión eficaz:** Dado que la tensión cambia constantemente se hace necesario determinar un valor intermedio que represente a la tensión para realizar los cálculos y medidas, nos referimos a la tensión eficaz. En nuestro ejemplo, la tensión eficaz sería de 230V y es el que mide un voltímetro de C.A.

**Intensidad eficaz:** La intensidad eficaz es el valor intermedio que produce los mismos efectos energéticos que una corriente continua del mismo valor. Además es la que indican los amperímetros de C.A.

**Ciclo o período:** El período es el tiempo que transcurre en un ciclo completo. Se representa por la letra T y se mide en segundos.

**Frecuencia:** Es el número de ciclos que se producen en un segundo. Se representa por la letra f y se mide en Hertzios (Hz)

## VENTAJAS DE LA C.A.

En los inicios del desarrollo de los sistemas eléctricos, la electricidad se producía en forma de corriente continua. La energía no se podía transportar a largas distancias, dado que no existía un sistema práctico que fuese capaz de elevar y reducir la tensión de grandes cantidades de energía (recordar que para transportar grandes cantidades de energía eléctrica se necesita elevar la tensión para conseguir que la intensidad de la corriente no sea muy grande. Así se evita el uso de grandes secciones en los conductores y se reducen las pérdidas por efecto Joule)

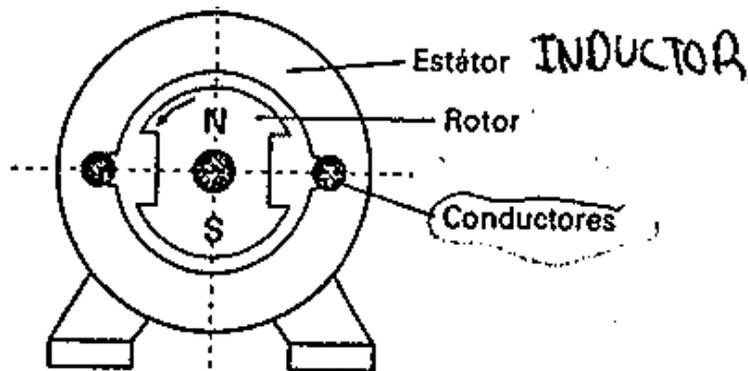
Los motores de C.A. son más sencillos y robustos que los de C.C. y resultan apropiados para la mayoría de las aplicaciones.

Tanto en los motores de CC como de CA podemos distinguir los siguientes elementos básicos:

- **Inductor:** Una de las dos partes fundamentales que forman una máquina eléctrica.

Se encarga de producir y de conducir el flujo magnético. Se le llama también estator por ser la parte fija de la máquina. A su vez consta de la pieza polar (sujeta a la culata de la máquina, incluye al núcleo propiamente dicho), Núcleo (en él se encuentran los bobinados inductores), Bobinado inductor (formado por el conjunto de espiras que en número prefijado para cada tipo de motor, producirá el flujo magnético cuando circule la corriente eléctrica) y expansión polar (parte más ancha de la pieza polar y próxima al inducido o rotor)

- Inducido: Se denomina también rotor por ser la parte giratoria de la misma. Consta a su vez de núcleo del inducido (formado por un cilindro de chapas magnéticas construidas generalmente de acero laminado, las cuales disponen de ranuras en las que se alojan los hilos de cobre del bobinado inducido), bobinado inducido (en él se produce la conversión de energía) y colector (conjunto de láminas de cobre denominadas delgas, aisladas entre sí y conectadas a las secciones del bobinado del inducido)
- Escobillas: Generalmente se fabrican de carbón o de grafito. Mediante un conductor flexible, se unen a los bornes del inducido.
- Culata: Envoltura del motor hecha de material ferromagnético. Su misión es conducir el flujo creado por el bobinado inductor.
- Entrehierro: Espacio existente entre la parte fija y la parte móvil de la máquina, es decir, entre el rotor y las expansiones polares.
- Cojinetes: sirven de apoyo al eje del rotor de la máquina.



## V. 6 MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA.

Máquina capaz de transformar la energía eléctrica absorbida por los bornes bajo la forma de corriente continua en energía mecánica.

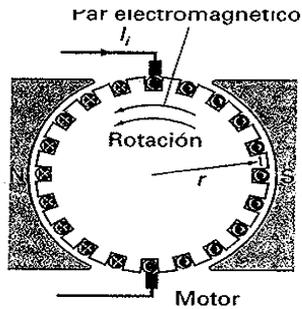
La disposición constructiva de un motor de corriente continua es exactamente igual a la de un generador, lo que se explica teniendo en cuenta que el generador es una máquina reversible, capaz de transformar energía en sentidos puestos, es decir, que de igual forma que al absorber energía mecánica suministra energía eléctrica, de manera inversa transforma energía eléctrica en mecánica.

Los dos principios fundamentales en los que se basa cualquier generador son los siguientes: Cuando un conductor que se encuentra situado en el interior de un campo magnético se mueve de tal forma que corta las líneas de flujo magnético, se genera en él una fuerza electromotriz.

Al circular una corriente eléctrica a través de un conductor situado dentro de un campo magnético, se produce una fuerza mecánica que tiende a mover al conductor en dirección perpendicular a la



Sea el generador de excitación independiente representada en la figura, supongamos que se aplica a sus escobillas una tensión continua de valor apropiado. Por otra parte, en un bobinado de generador el ancho de bobina es aproximadamente igual al paso polar, por lo que las corrientes en los conductores situados bajo polos consecutivos son de sentido contrario. En consecuencia, todas las fuerzas electrodinámicas que se ejercen sobre los conductores del bobinado inducido son del mismo



sentido y contribuyen al giro de la armadura del rotor.

El sentido de giro del rotor depende del sentido de las fuerzas electrodinámicas ejercidas sobre los conductores del bobinado inducido. Este sentido depende de los que tengan el flujo que corta a los conductores y la corriente en los mismos.

Al señalar la polaridad eléctrica de las escobillas o de los bornes del bobinado inducido de una máquina de C.C. se debe tener presente la diferencia que resulta de que sea generador o motor. En un motor, la escobilla o borne+ corresponde a la entrada de la corriente del inducido.

El origen del fenómeno de reacción de los motores de C.C. se encuentra en la fuerza magnetomotriz, resultante en el bobinado inducido al ser recorrido por la corriente de carga.

En todo conductor que se mueve en el seno de un campo magnético, cortando líneas de fuerza, se genera una fuerza electromotriz. Esta fuerza generada en el bobinado inducido de un motor de C.C. tiene un sentido tal que se opone a la acción de la tensión de la red. Por tal motivo recibe el nombre de fuerza contraelectromotriz.

En un motor de C.C. la velocidad del rotor es directamente proporcional a la fuerza contraelectromotriz generada en el bobinado inducido e inversamente proporcional al valor del flujo útil que recorre la armadura del rotor.

Tipos de motores de C.C.:

▮ **Motor de serie:** Motor cuyo bobinado inductor principal está conectado en serie con el bobinado inducido. Las bobinas polares principales son construidas de pocas

espiras y con conductor de gran sección

▮ **Motor Shunt:** Motor cuyo bobinado inductor principal está conectado en paralelo con el circuito formado por los bobinados inducido e inductor auxiliar. Las bobinas polares principales son construidas de muchas espiras y con hilo de poca sección, por lo que la resistencia del bobinado inductor principal es muy grande.

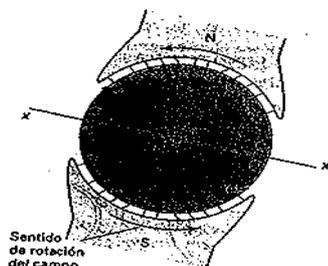
▮ **Motor Compound:** Motor cuya excitación es originada por dos bobinados inductores

independientes; uno dispuesto en serie con el bobinado inducido y otro conectado en paralelo con el circuito formado por los bobinados inducido, inductor serie e inductor auxiliar.

## V. 7 MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA.

Son máquinas que transforman en energía mecánica la energía eléctrica que absorben por sus bornes en forma de corriente alterna. Los motores de C.A. se clasifican en síncronos y asíncronos, según que la velocidad de rotación del órgano móvil coincida o no con la velocidad sincrónica correspondiente a la frecuencia de la red de alimentación.

El funcionamiento de un motor síncrono está basado en la reversibilidad de los alternadores. Sea un alternador de polos fijos como el de la figura, por cuyo bobinado inducido se hace pasar una corriente alterna. En un determinado instante, las corrientes en los conductores tienen los sentidos indicados en la figura, es decir, positivos en los que se encuentran frente a polos N y negativos en los que están frente a polos S. El conjunto de las fuerzas electromagnéticas, desarrolladas sobre los conductores, tienden a hacer girar al rotor en un mismo sentido.



Ahora bien, una vez que el rotor ha girado cierto ángulo si los conductores siguen recorridos por corrientes del mismo sentido resulta que parte de los conductores, cuya corriente es positiva, se encuentran frente a polos S, mientras que otros, cuya corriente es negativa, están frente a polos N, originando así fuerzas electromagnéticas opuestas a las que favorecen el giro del rotor, por lo que éste termina por pararse.

Para conseguir un movimiento giratorio continuado del órgano móvil es preciso que los conductores del bobinado inducido sean recorridos por corriente alterna cuya frecuencia esté en consonancia con la velocidad y número de polos del motor. De esta forma, en cada conductor se presenta el cambio de sentido de la corriente en el instante preciso de su paso por la línea neutra.

En estas condiciones, las fuerzas electromagnéticas, ejercidas sobre los distintos conductores del inducido, actuarán en todo instante en el mismo sentido y la rotación del órgano móvil resultará continua si, en el tiempo correspondiente a una alternancia de la corriente alterna el rotor avanza un arco igual al paso polar.



Se aplica el nombre de motor asíncrono al motor de corriente alterna cuya parte móvil (rotor) gira a una velocidad diferente de la síncrona.

El motor asíncrono de inducción es el motor industrial por excelencia, en razón de su sencilla y robusta construcción, así como por la seguridad de su funcionamiento.

Se basa en la acción electrodinámica ejercida por un flujo giratorio (producido en el circuito eléctrico primario del motor) sobre las corrientes que recorren el circuito eléctrico.



## VII ANEXOS

---

- R.D. 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. (B.O.E. Nº 45 de 21/02/2003) (legislación consolidada, incluyendo las modificaciones del RD 902/2018, de 20 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 140/2003)
- R.D. 314/2016, de 29 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, (B.O.E. Nº 183 DE 30/07/2016)
- D. 70/2009, de 31 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de vigilancia sanitaria y Calidad del agua de consumo humano de Andalucía (B.O.J.A. Nº 73 de 17/04/2009).
- R.D. 656/2017, de 23 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias MIE APQ o a 10 (B.O.E. Nº 176 de 25/07/2017).
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales (B.O.E. Nº 269 de 10/11/1995- Versión vigente 01/01/2015).
- R.D. 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo (B.O.E. Nº 188 de 07/08/1997- Versión vigente 03/12/2004).
- R.D. 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo (B.O.E. Nº 97 de 23/04/1997-Versión vigente 03/12/2004).
- R.D. 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección y seguridad de la salud de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes químicos durante el trabajo (B.O.E. Nº 104, de 01/05/2001-Versión vigente 05/07/2015).
- R.D. 598/2015, de 3 de julio, por el que se modifican el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los servicios de prevención; el Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo; el Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo y el Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo (B.O.E. Nº 159 de 04/07/2015).
- R.D. 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo. (B.O.E. Nº 124 de 24/05/1997).
- R.D. 665/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo. (B.O.E. Nº 124 de 24/05/1997-Versión vigente 05/07/2015).
- Ley 22/11, de 28 de julio, De Residuos y Suelos Contaminados. (B.O.E. Nº 181 de 29/07/2011-Versión vigente 13/05/2016).



- R.D. 833/1988, de 20 de julio, Por el que aprueba el reglamento para la ejecución de la Ley 20/86 Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos. (B.O.E. Nº 182 de 30/07/1988-Versión vigente 07/05/2015).
- R.D. 180/2015, de 13 de marzo, Por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio español. (B.O.E. Nº 83 de 07/04/2015).
- R.D. 679/2006, de 2 de junio, Por el que se regula la gestión de los aceites industriales usados. (B.O.E. Nº 132 de 03/06/2006-Versión vigente 08/04/2011).
- R.D. 396/2006, de 31 de marzo, Por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgos de exposición al amianto. (B.O.E. Nº 86 de 11/04/2006).
- R.D. 286/2006, de 10 de marzo, Sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. (B.O.E. Nº 60 de 11/03/2006).