

ESCUELA TECNICA SUPERIOR  
DE  
INGENIEROS INDUSTRIALES

12  
603600

IN

ABASTECIMIENTO Y EVACUACION DE  
AGUAS EN PLANTAS INDUSTRIALES

RAFAEL DE HEREDIA  
DR. INGENIERO INDUSTRIAL  
CATEDRATICO

FRANCISCO PACHECO  
INGENIERO INDUSTRIAL  
PROFESOR ENCARGADO  
DE CURSO

ASIGNATURA:

CONSTRUCCION Y ARQUITECTURA INDUSTRIAL (570)

CATEDRA:

GRUPO -IX- CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES

**G-**

ABASTECIMIENTO DE AGUA

1. NECESIDAD DEL AGUA EN LA PLANTA INDUSTRIAL

1.1. Generalidades

1.2. Dotaciones

1.2.1. Agua potable

603600

1.2.2. Riegos y lavados interiores

1.2.3. Agua anti-incendios

1.2.4. Consumos industriales en general

1.3. Potabilidad

2. SUMINISTRO A LA PLANTA. ALMACENAMIENTO

2.1. Esquemas de principio

2.2. Descripción de los distintos medios de captación

2.2.1. Aguas superficiales

2.2.2. Aguas subterráneas

3. DESCRIPCION DE LAS DISTINTAS REDES INTERIORES

3.1. Agua de servicio

3.2. Agua para calefacción.

3.3. Agua para refrigeración

3.4. Agua para usos térmicos

3.5. Agua de proceso

3.6. Agua para protección contra incendios

4. MATERIALES EMPLEADOS. IDEAS GENERALES SOBRE TRAZO Y CALCULO DE LAS CANALIZACIONES

4.1. Tuberías

4.2. Válvulas

4.3. Breves ideas sobre el trazado

4.4. Breves ideas sobre cálculo

**5. TRATAMIENTO DE AGUA**

- 5.1. Tratamientos previos de tipo general**
- 5.2. Tratamientos complementarios para algunos usos concretos.**
  - 5.2.1. Agua potable**
  - 5.2.2. Calderas y circuitos térmicos**
  - 5.2.3. Circuitos de refrigeración**

# EVACUACION DEL AGUA

## 1. GENERALIDADES

## 2. NATURALEZA DE LAS AGUAS A EVACUAR, VERTIDO DE LOS EFLUENTES

### 2.1. Tipos de efluentes

2.1.1. Aguas blancas

2.1.2. Aguas negras

2.1.3. Aguas industriales

### 2.2. Vertido de los efluentes

2.2.1. Red exterior

2.2.2. Medios naturales

### 2.3. Condiciones de vertido

## 3. REDES DE SANEAMIENTO

### 3.1. Implantación

### 3.2. Elementos constitutivos de las redes de saneamiento

3.2.1. Tubería

3.2.2. Obras auxiliares

## 4. TRATAMIENTO DE AGUAS EVACUADAS

### 4.1. Aguas blancas

### 4.2. Aguas negras

#### 4.2.1. Fosas sépticas

4.2.1.1. Elemento de recepción y licuefacción o fosa séptica simple

4.2.1.2. Elemento complementario de depuración aerobia

4.2.1.2.1. Filtro bacteriano

4.2.1.2.2. Depuración mediante drenes a poca profundidad

4.2.1.2.3. Depuración mediante plataforma vegetal absorbente

4.2.2. Lechos bacterianos con decantación primaria y  
secundaria

4.2.3. Fangos activados

4.3. Aguas industriales

## ABASTECIMIENTO DE AGUA

### 1. NECESIDAD DEL AGUA EN LA PLANTA INDUSTRIAL

#### 1.1. Generalidades

El agua es un elemento que siempre encontraremos presente en una planta industrial. Su necesidad puede provenir de distintos orígenes. Los circuitos de agua, muchas veces independientes según la necesidad que tienen que atender deben tener en su morfología tan variada, según el uso a que se destina, los elementos que se adapten a tal fin.

El agua puede encontrarse en la planta por distintas razones; las más generales son la necesidad de :

#### AGUA DE SERVICIO

- Agua potable para bebidas y usos higiénicos
- Agua para riego de exteriores
- Agua para limpieza de interiores.

#### AGUA PARA PROTECCION CONTRA INCENDIOS

#### AGUA PARA CALEFACCION

#### AGUA PARA REFRIGERACION DE MAQUINAS O DEL MATERIAL EN PROCESO.

#### AGUA PARA CALENTAR O VAPORIZAR PARA USOS TERMICOS EN PROCESO.

#### AGUA DE PROCESO

#### 1.2. Dotaciones

##### 1.2.1. Agua potable

Se incluyen a continuación los valores medios más usuales en la determinación de las necesidades de agua de la planta industrial.

Personal residente en la planta . . . 150 l/día-pers.  
 Personal que come en la planta(sin ducha) 50 l/día-pers.  
 Personal que come en la planta (con ducha) 100 l/día-pers.  
 Otras personas . . . . . 10-12 l/día-pers.

(Naturalmente depende mucho del trabajo desarrollado)

Como datos adicionales y aunque no relacionados con la planta, se dan a título orientativo los consumos considerados para viviendas y los gastos por cada servicio :

Casas de renta económica . . . . . 100 l/día - pers.  
 " " " media . . . . . 120-150 l/día-pers.  
 Casas residenciales . . . . . 200-250 l/día-pers.  
 Lavabo (cada servicio). . . . . 10 l.  
 Inodoro (cada servicio). . . . . 15 l.  
 Ducha (cada servicio). . . . . 50 l.  
 Baño . . . . . 200 l.  
 Cocina (cada persona por día) . . . 10-15 l.  
 Lavado de la colada (" " al día) 20-30 l.  
 Hoteles 1ª cat. por persona al día. 300 l/día-pers.  
 " 2ª cat. " " " " 200 l/día-pers.  
 " 3ª cat. " " " " 150 l/día-pers.  
 Oficinas . . . . . 80 l/día-pers.

1.2.2. Riegos y lavados interiores

Jardines y parterres . . . . . 2 l/m<sup>2</sup> -día  
 Terrazas . . . . . "  
 Calles con pavimento asfaltado u  
 hormigón (continuo). . . . . 1 l/m<sup>2</sup> -día  
 Calles con pavimento discontinuo, 1,5 l/m<sup>2</sup> -día  
 Boca de riego . . . . . 0,60-2 l/seg.

1.2.3. Agua antiincendios

Boca de  $\emptyset$  45 mm. . . . . 3 l/seg.

Boca de  $\emptyset$  70 mm. . . . . 8 l/seg.

Se supone una cierta simultaneidad. .

1.2.4. Consumos industriales en general

Son, como es lógico, función del tipo de industria y alcanzan valores muy considerables. A título de ejemplo :

Mataderos . . . . .	300 l/cabeza sacrificada
150/200 m <sup>3</sup> de agua por Tonelada de acero	
100 m <sup>3</sup> " " " " " azucar	
250 m <sup>3</sup> " " " " " papel	
5 m <sup>3</sup> " " " m <sup>3</sup> de leche en centrales lecheras	
800 m <sup>3</sup> " " " m <sup>3</sup> de rayón	
500 m <sup>3</sup> " " " m <sup>3</sup> de lana	
200 m <sup>3</sup> " " " m <sup>3</sup> de algodón	

En el agua industrial se emplea la recirculación que permite limitar el consumo de agua. Puede alcanzar el :

- 95% en siderurgicas
- 60% en papeleras
- 80% en textiles (jabonería)

1.3. Potabilidad

La condición de potabilidad no puede determinarse de una manera rígida e indiscriminada y está muy condicionada al criterio con que se juzgan los diversos aspectos.

Las características que normalmente se toman como aspectos condicionantes de la potabilidad son :

- Características físicas (olor, color y sabor)
- Turbiedad
- Dureza (a título indicativo se señala que los valores de las aguas potables oscilan de 12º a 30º hidrotimétricos - - considerándose como aguas muy blandas las que tienen valores de 0º a 7º y como muy duras las que tienen >32º)
- Acidez (7, 2-8, 5)
- Materia orgánica en suspensión
- Contenido en gérmenes potógenos
- Composición química
- Sustancias tóxicas.

Los límites según las normas de cada país son distintos. Como característica común en cualquier norma está la ausencia de gérmenes potógenos.

Las Normas españolas definen sus límites en el B. O. E. de 15 de Septiembre de 1940 (Orden de 30 de Agosto de 1940).

## 2. SUMINISTRO A LA PLANTA. ALMACENAMIENTO

Se puede garantizar - por conexión a una red pre-existente.

- por autoabastecimiento
- por ambos simultáneamente, que es, ni qué decir tiene, el caso más seguro.

Es normal, salvo en excepciones contadas, que después de la toma ó captación se disponga un depósito de almacenamiento que tiene por objeto cubrir las puntas ó momentos en los que el consumo es mayor que el suministro y también hacer frente a posibles averías externas en el caso de red ó faltas por agotamiento en el caso de pozos, lagos ó ríos.

### 2.1. Esquemas de principio

Con objeto de dar una visión general del problema de conjunto suministro-almacenamiento vamos a indicar de forma breve las distintas posibilidades de resolver el problema plasmándolas en los correspondientes esquemas de principio de la instalación.

Ante todo hay que señalar que las formas tradicionales son :

- Paso directo a la red interior.
- Elevación a depósito elevado y suministro por gravedad desde este a la red interior. El depósito elevado es antieconómico si se desean grandes capacidades de almacenamiento.
- Trasiego desde la captación o toma de red exterior a un depósito a nivel del terreno, en general subterráneo (de mayor capacidad que el aéreo pero sin presión) y posterior bombeo desde este a la red interior con bombas ó grupos de presión.

Estos sistemas se pueden sintetizar como sigue según las circunstancias. :



Independientemente de las condiciones que refleja el anterior cuadro, se puede decir de forma general que las situaciones (dada la trascendencia de un buen funcionamiento) se suelen analizar desde el punto de vista de lo conveniente más que de lo necesario.

Por ejemplo, no es seguro que al aumentar el número de usuarios, el suministro de una red exterior no se empobrezca ó que no tenga posibles fallos de presión ó de caudal.

Otro factor a considerar son posibles cambios en el proceso que exijan condiciones más difíciles de cumplir.

Finalmente, desde el punto de vista económico, el agua de red es muy costosa en ciertos procesos; en cambio el autoabastecimiento no siempre ofrece todas las garantías (a veces el aforo se hace en épocas del año "optimistas" ó bien se hacen pozos profundos en las cercanías que reducen el caudal de las existentes).

Por todo ello, es siempre aconsejable un suministro mixto siempre que sea posible y tanto más cuanto más decisiva es la seguridad en el suministro de agua.

En cuanto a las características de la instalación, podemos indicar en las mismas líneas generales, que los depósitos aéreos se están usando cada vez menos ya que la presión que dan es pequeña (si se construyen en una altura económica) y su capacidad también.

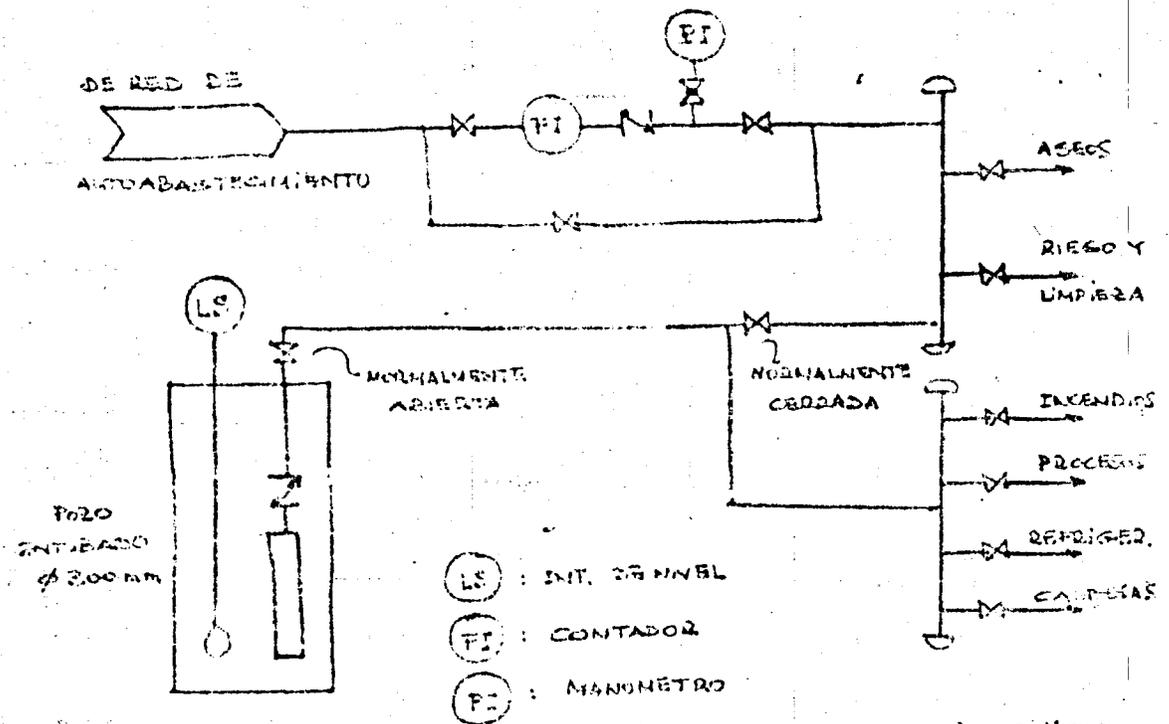
Son pues, los sistemas más utilizados el suministro directo a la red y fundamentalmente el depósito subterráneo, semienterrado ó apoyado en el terreno con bombeo por grupos de presión.

El paso directo a la red solamente es justificable cuando la garantía en el suministro es total (sea único o doble) ó cuando la decisividad del agua en el proceso no es importante, en plantas donde el agua es transcendental y existe alguna duda sobre la seguridad del suministro hay que construir un depósito que pueda hacer frente a un corte de como mínimo 8-10 horas y a ser posible de uno a

dos días sin agua.

EJEMPLO DE ESQUEMA

ALIMENTACION DIRECTA A RED (CON DOBLE SUMINISTRO)

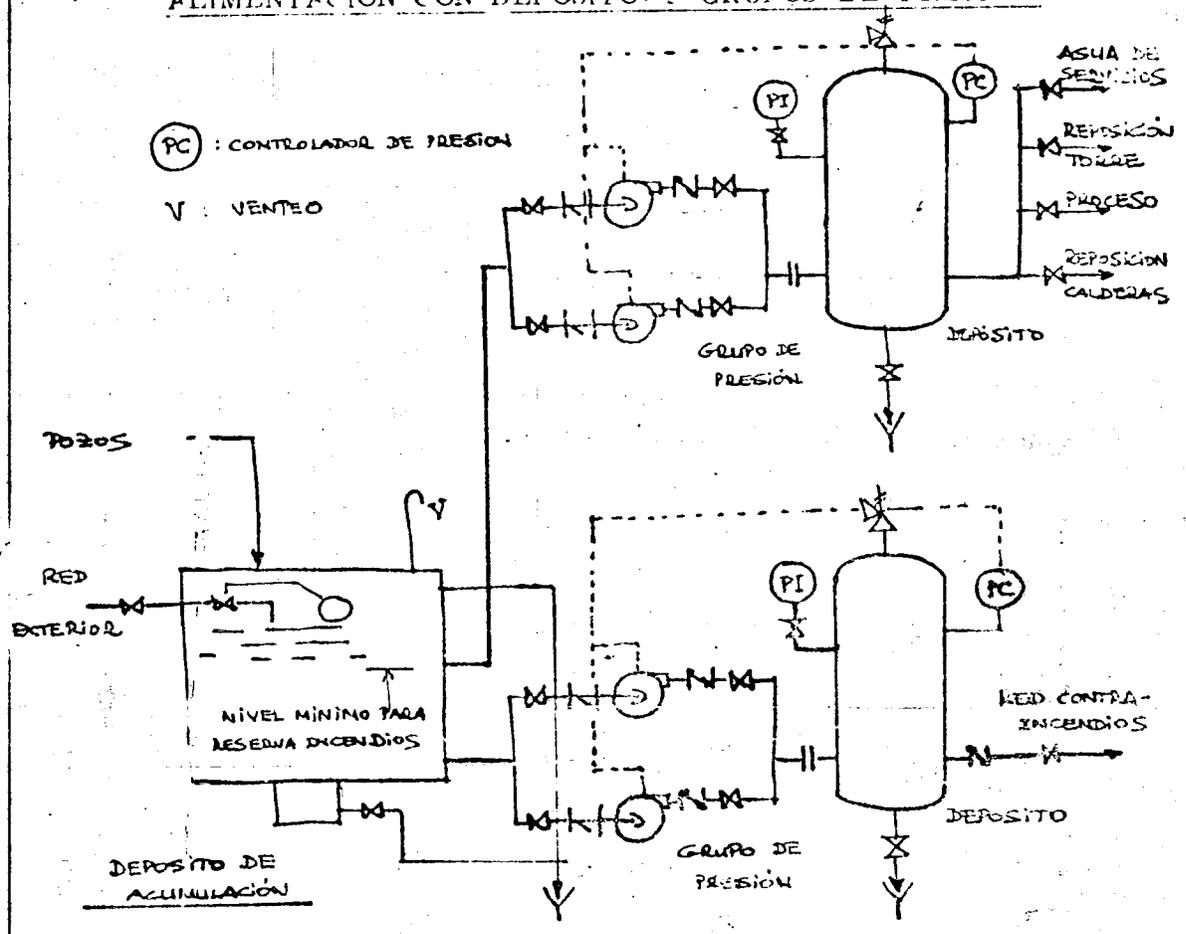


Este es un ejemplo de una solución que se adopta cuando se tiene un pozo sin garantía de potabilidad y una red de población: se suministran los consumos potables (bebidas, riegos, etc) desde la red exterior y los consumos industriales desde pozo, con posibilidad de enlace para caso de emergencia por fallo de una de las dos fuentes. En este caso no se da mucha trascendencia a la red de incendios (industria con poca probabilidad de siniestro).



### EJEMPLO DE ESQUEMA

## ALIMENTACION CON DEPOSITO Y GRUPOS DE PRESION



### Funcionamiento del grupo de presión.

Las bombas dan presión sobre el depósito; cuando ésta llega a un límite superior predeterminado, se paran. El circuito toma del depósito haciendo que baje la presión del aire; cuando ésta baja las bombas se ponen otra vez en marcha. Los grupos de presión se utilizan cuando los consumos son variables; si con constantes no hace falta intercalar depósito automático y las bombas dan presión directamente.

Ideas a recordar en el diseño de un depósito de acumulación

Hay que prever en el depósito de acumulación que las bombas no se puedan quedar funcionando en vacío; que se empiece a llenar cuando baje de cierto nivel, que se cierre la válvula de entrada al alcanzar un cierto nivel, que se pueda vaciar, que rebose, que se ventile y que no se hiele el agua.

2.2. Descripción de los distintos medios de captación

La captación se puede realizar de aguas superficiales (lagos ó ríos) ó de aguas subterráneas.

2.2.1. Aguas superficiales

Además de la legislación de aguas (Comisaría de aguas), es necesario considerar los siguientes factores:

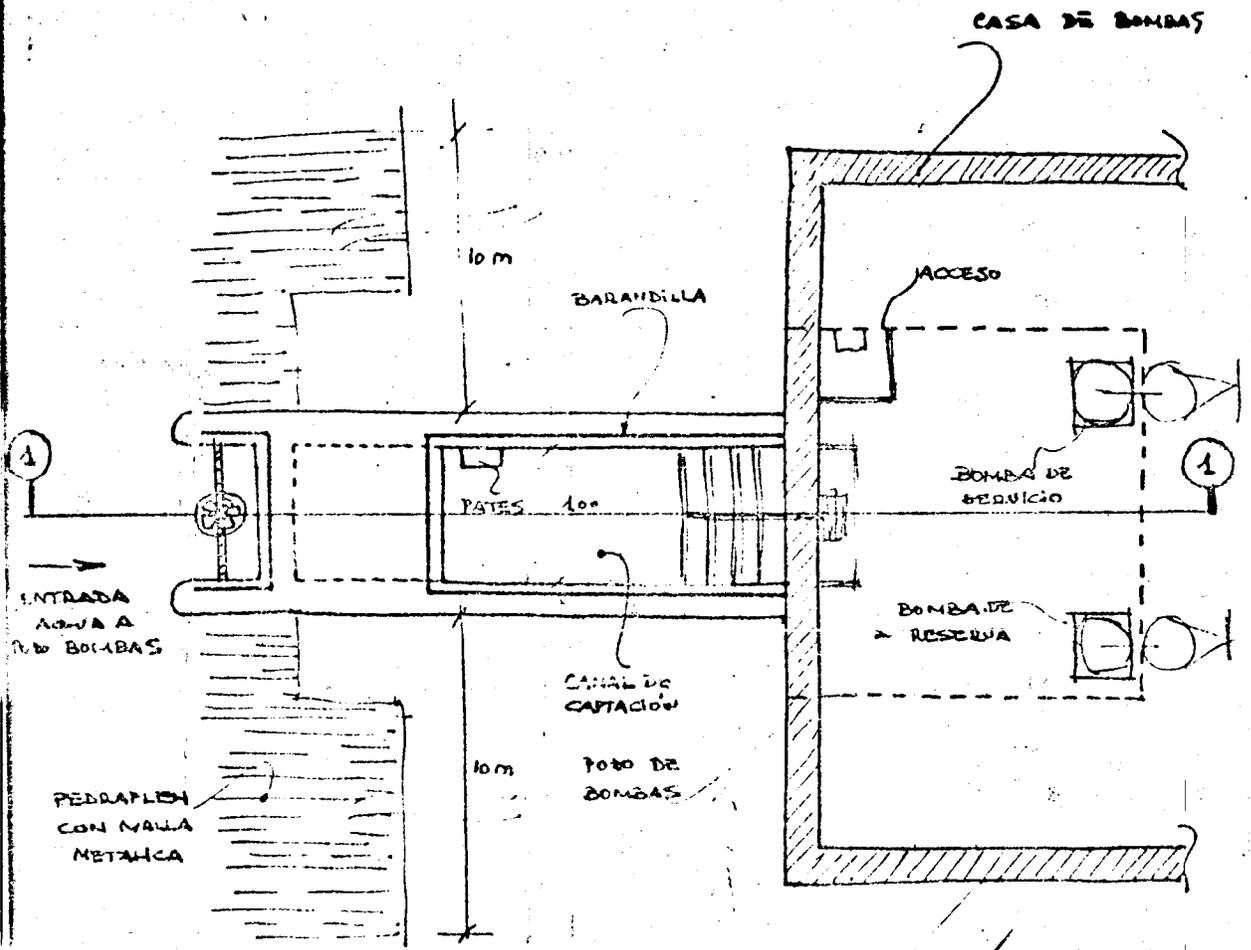
- grado de contaminación del río; análisis de agua.
- caudal del río.
- niveles máximo y mínimo del río
- caudal ó dotación prevista para la industria.

La toma deberá hacerse profunda y en zona con corriente, evitando los remansos, remolinos, bancos de arena, etc.

Se puede hacer por tubo, galería ó por canal a cielo abierto. Si la velocidad en el punto elegido supera los 0,30 m/seg. se evitarán depósitos en las canalizaciones.

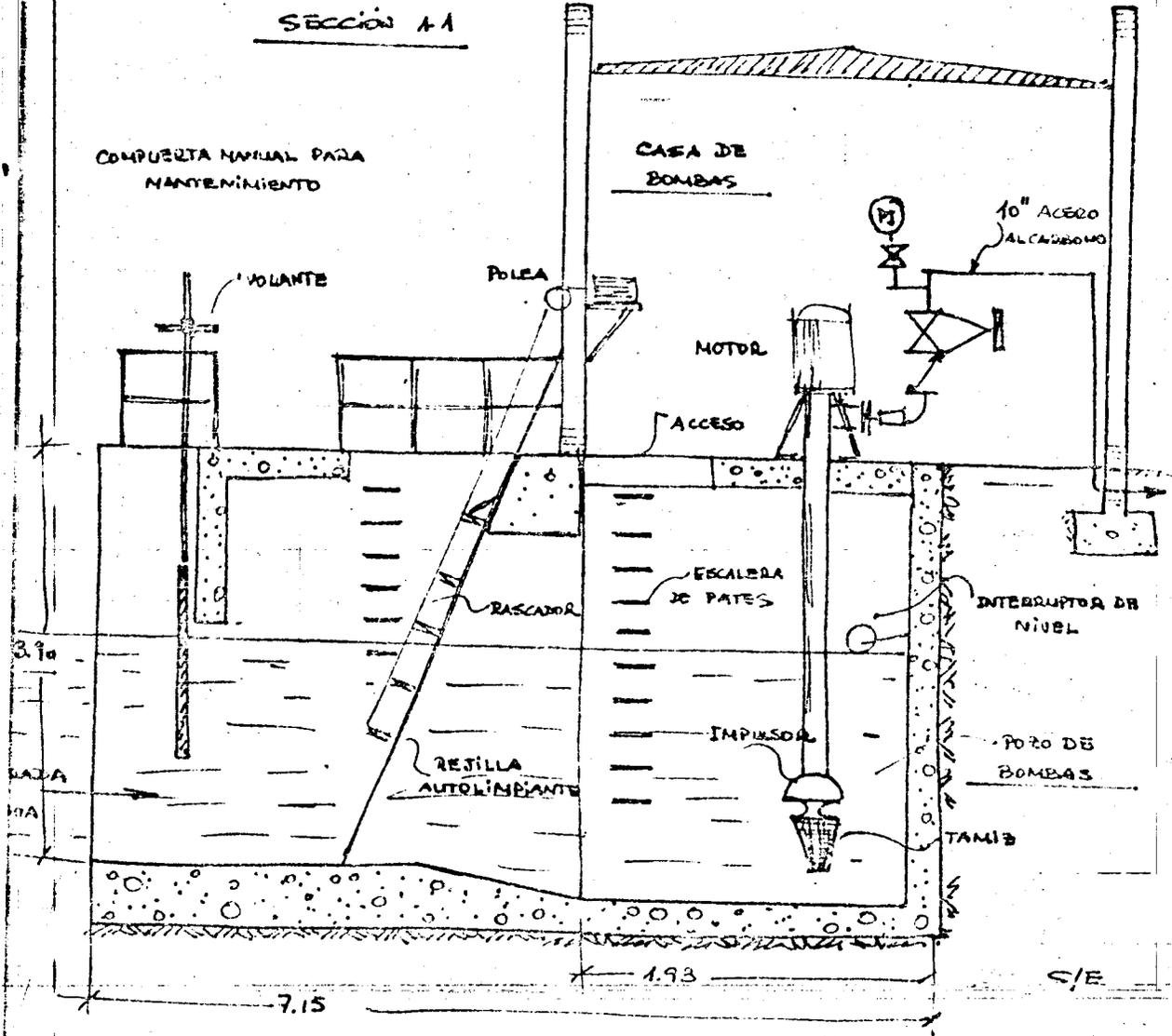
Si la captación es transcendental debe haber bomba de reserva e incluso bomba con motor de gasolina por si falla el suministro eléctrico.

CAPTACION DE AGUA DE RIO POR CANAL A CIELO ABIERTO



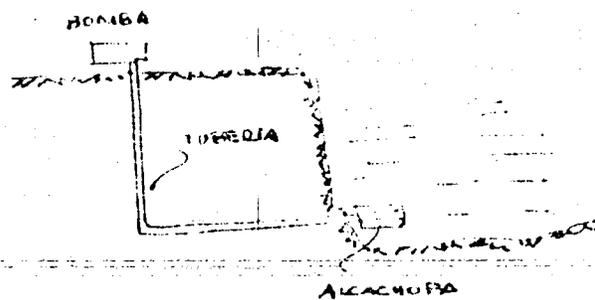
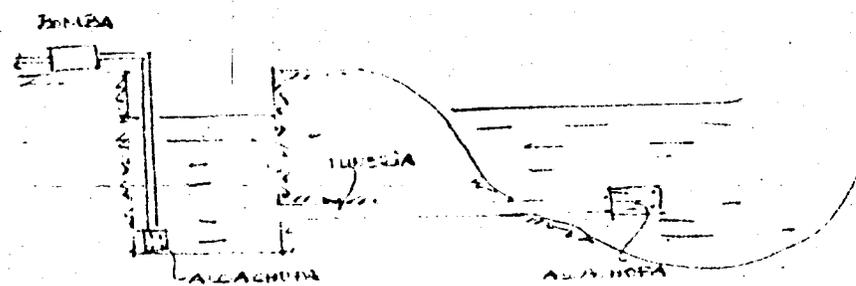
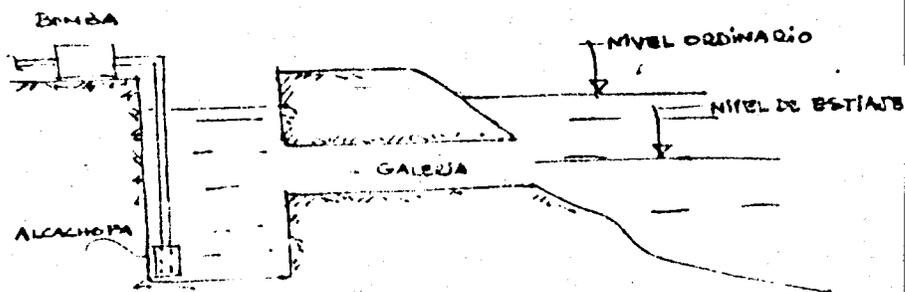
(SECCION 1-1 EN PAG SIG.)

PLANTA



La rejilla autolimpiante funciona de forma que si el nivel baja en el pozo de toma de la bomba por la oclusión de la rejilla, un nivel manda limpiar la rejilla por un rascador que sube y baja a través de unas poleas.

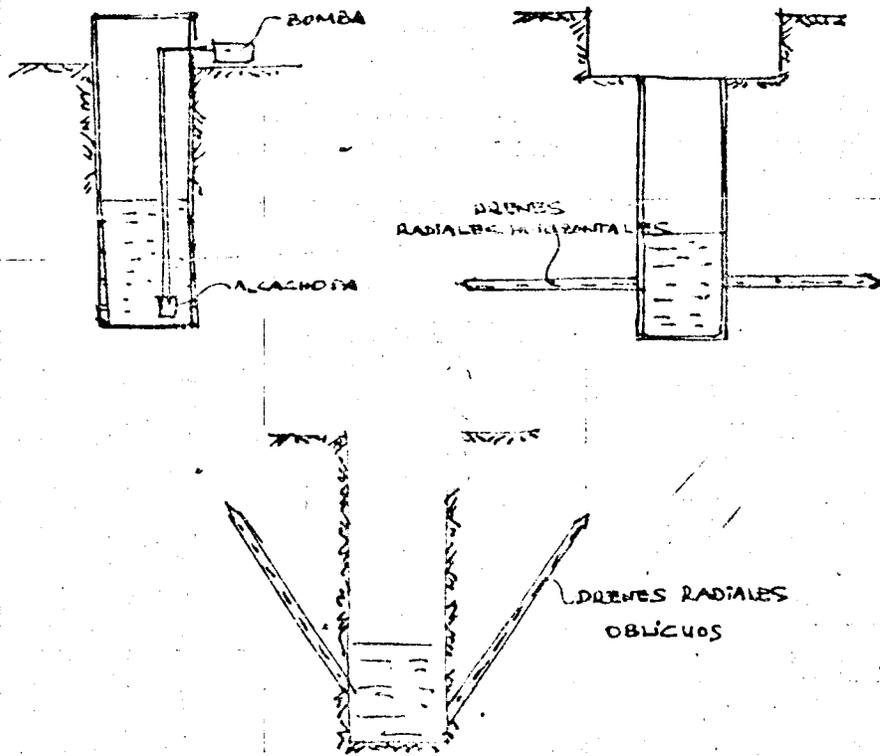
ESQUEMAS DE OTROS TIPO DE CAPTACION DE  
AGUAS SUPERFICIALES



2.2.2. Aguas subterráneas

Las aguas de este tipo suelen tener menos impurezas de tipo grueso pero pueden en cambio, tener altos contenidos de sustancias minerales.

Antiguamente era muy usual la captación mediante pozos y galerías hechas de obra civil por métodos más o menos manuales. Este sistema está cada vez más en desuso debido a que solamente es posible con cierta economicidad a profundidades muy pequeñas, se presentan las siguientes posibilidades :



Para profundidades altas se vienen utilizando mucho más los entubados prefabricados.

Estos entubados consisten en unos tubos de diámetro 20-30 ó hasta 60 cm. que se introducen en el terreno hasta profundidades del orden de 100 m.

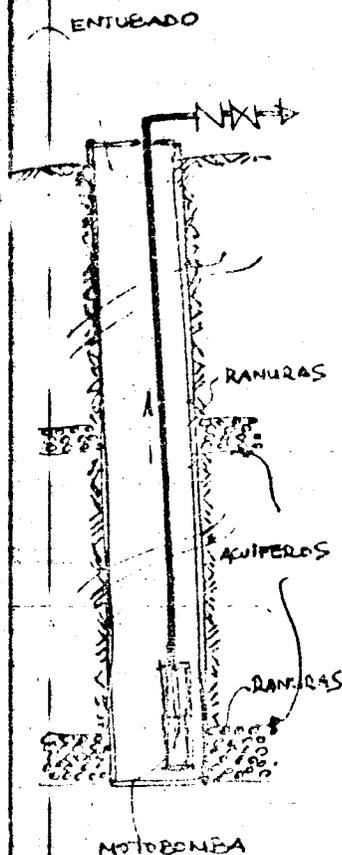
Naturalmente, su colocación debe hacerse sobre la base de un concienzudo estudio del subsuelo en orden a determinar la situación de los acuíferos que coinciden con las capas de gravas y arena. Además es necesario conocer la granulometría de dichas capas para elegir adecuadamente el grueso de las ranuras que se dejan para la penetración del agua en ciertos tramos del tubo.

Se suele hacer primero una perforación previa de pequeño diámetro para la determinación de la profundidad de los acuíferos de su aforo preliminar y de la granulometría circundante. Sobre el estudio consiguiente se proyecta la captación que suele consistir en una perforación a mayor diámetro del del entubado con inclusión de capas de grava filtrante entre las ranuras y el terreno en las zonas de acuíferos con objeto de retardar la oclusión de las ranuras.

Posteriormente se hace el aforo final y en función de él se instala la bomba y la tubería de agua.

Con el tiempo y de forma difícil de determinar, la grava y las ranuras se llegan a obstruir y es necesario rehacer el entubado.

En otros casos se pone el motor arriba y la bomba sumergida ó bien el grupo motobomba arriba, necesitando en este caso una bomba de aspiración profunda del tipo de "eyector".



### 3. DESCRIPCION DE LAS DISTINTAS REDES INTERIORES

Como se observa en los esquemas ya presentados, debe existir una cierta presión y un caudal en el comienzo de las redes interiores bien debido, como se ha explicado, a la presión de la red exterior, a un depósito elevado ó a grupos de presión o bombas.

La determinación de esta presión y caudal así como la del trazado de las redes interiores y de los diámetros de las tuberías, se ha de hacer en función de :

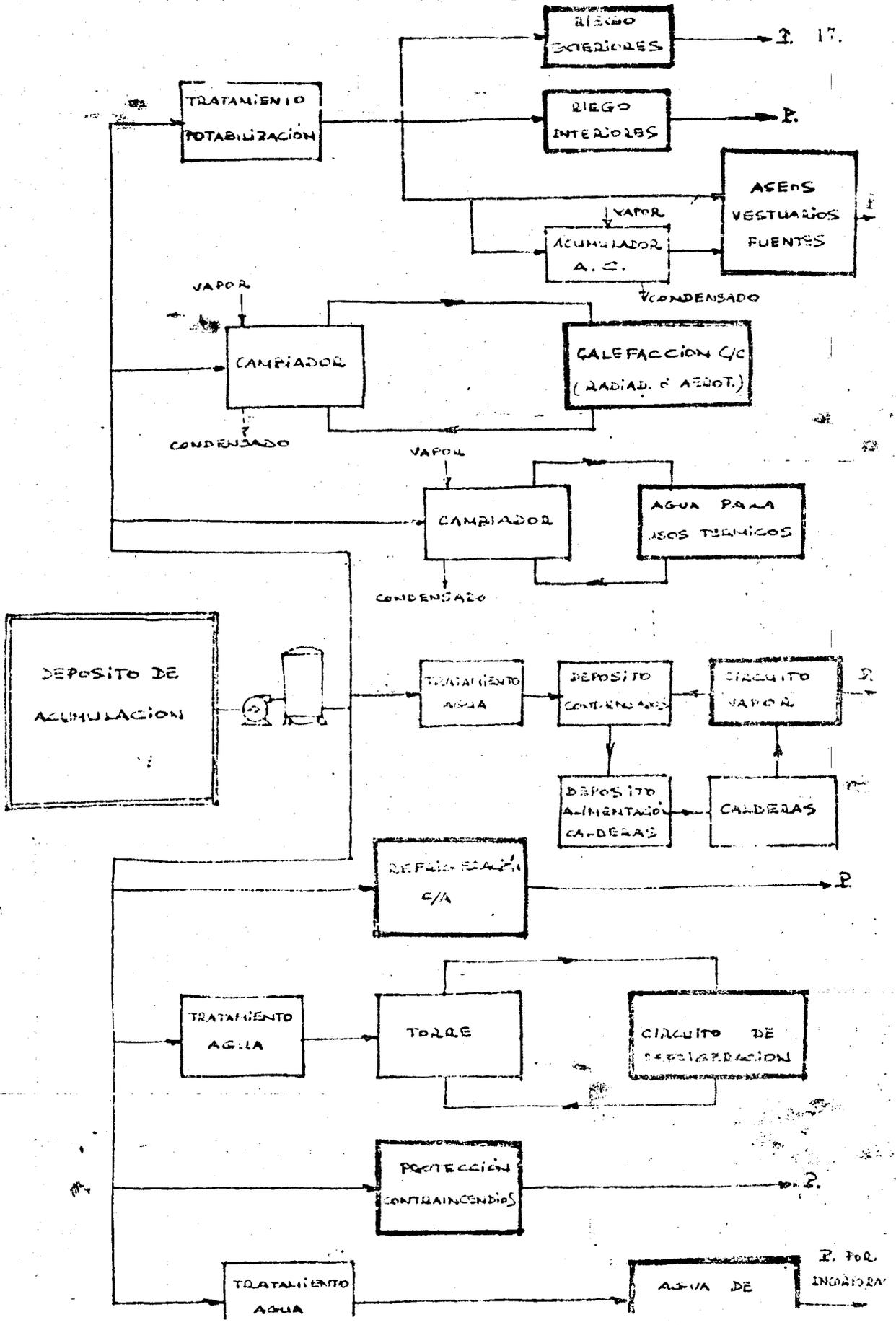
- Caudales necesarios en cada punto de consumo.
- Presión necesaria en cada punto de consumo.

Además de estos dos datos, no es menos importante el de las características que debe tener el agua desde el punto de vista de su análisis y en ciertos casos desde el de la temperatura (caso concreto del agua caliente utilizada como fluido térmico ó del agua fría utilizada como medio de refrigeración).

Para el proyecto de los sistemas de agua conviene antes que nada plantear la relación que existe entre unos y otros partiendo de los puntos de consumo hacia atrás, suponiendo unos ciertos factores de simultaneidad (consumo máximo dividido por suma de consumos en punta de los puntos abastecidos) y analizando las posibilidades de recirculación.

Esta relación se puede y se suele expresar en términos de diagrama de bloques (donde no se representan válvulas ni instrumentos) pero que señalan de forma muy clara las posibilidades de interconectar ó unificar algunos de los circuitos y los consumos de agua de cada uno de forma que se pueda establecer el correspondiente balance de consumos.

Un ejemplo de lo expuesto podría ser el siguiente diagrama de bloques :-



Del análisis del problema planteado mediante un esquema de este tipo puede resultar la conveniencia de agrupar :-

- Los equipos de tratamiento de agua necesarios para vapor, agua de refrigeración y proceso ó incluso potabilización (Esto será función del análisis del agua disponible y de las especificaciones en los consumos).
- Las redes de riego interiores y exteriores y tal vez la de incendios si el riesgo de estos es muy limitado.
- Las redes de agua de proceso, de reposición de calderas, de reposición de torre de refrigeración, de refrigeración en circuito abierto, etc.

O bien la necesidad de separarlos si las especificaciones son distintas o están muy alejados unos de otros puntos, ó el riesgo de incendios es alto, ó cualquier otra circunstancia.

Sé describen en el resto de este capítulo, de forma somera, las características más esenciales de cada uno de los circuitos de agua más usuales.

### 3.1. Agua de servicio

El agua de servicios es la que se utiliza para riegos, limpiezas aseo, duchas, bebida, etc.

Su cantidad viene definida por las dotaciones indicadas al principio; las presiones son las necesarias según las distancias a que están de los grupos de presión.

El único requerimiento especial de este agua es que ha de tener unos rigurosos controles en su potabilidad; por esa razón, cuando se dispone de dos fuentes de suministro (red y autoabastecimiento) se suele dividir el depósito de acumulación en dos subdepósitos, de los cuales uno se abastece solo del agua de la red, y desde él se

toma la red de servicios. Como el agua del exterior sufre unos controles oficiales, no es necesario ningún control suplementario y se ahorra el tratamiento de potabilización, que por otra parte se suele reducir a una cloración y posterior filtrado.

Es desde el otro subdepósito desde el que se hacen los otros suministros en los que la potabilidad no es necesaria.

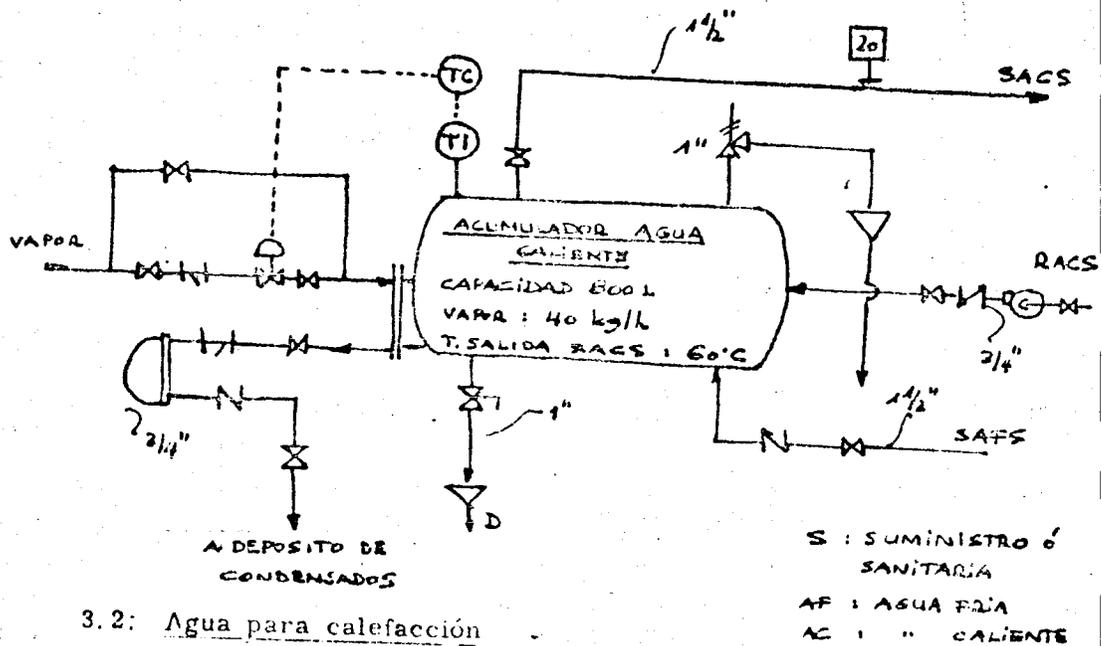
Normalmente las tres redes se unifican en una sola de agua de servicio en general; desde esta red se hacen tomas en los aseos distribuidos por la fábrica.

Si en estos aseos no hay duchas (caso normal de los aseos a pie de trabajo contruídos para evitar largos desplazamientos) no se suele instalar agua caliente y en todo caso se coloca un pequeño calentador eléctrico; si se trata de unos aseos de vestuarios o aseos de oficinas, donde se sitúan duchas, se suelen colocar acumuladores de agua caliente donde el agua se calienta por vapor o por agua sobre-calentada (agua a presión y temperatura superior a la de vaporización en atmósfera normal). También se pueden colocar calentadores de agua por propano o butano, si el llevar vapor a los vestuarios ó a las oficinas no es cómodo por su situación ó no se dispone de él.

Para la generación de agua caliente hay calderas especiales que obtienen agua caliente para radiadores ó aerotermos (recirculada) y agua caliente para servicios (a pérdidas).

En cualquier caso, cuando hay vapor en la planta, la forma más económica de obtener agua caliente de servicio y agua caliente de calefacción es por medio de acumuladores y cambiadores respectivamente. Damos el esquema típico de esta solución :

## AGUA CALIENTE SANITARIA



### 3.2: Agua para calefacción

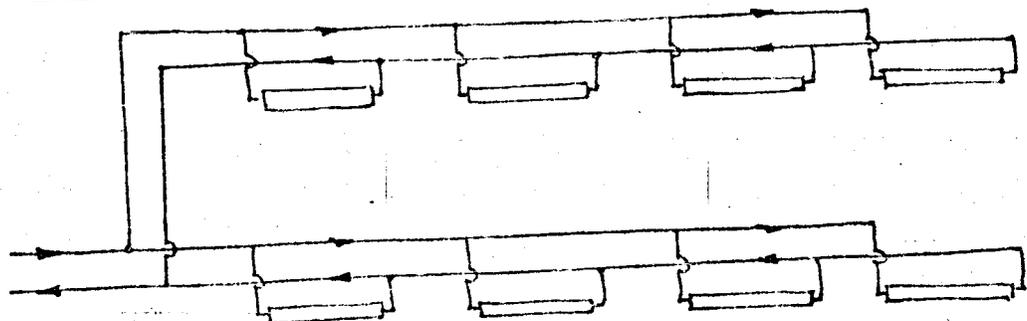
Calculadas las cargas caloríficas de los distintos locales, debidas a pérdidas a través de paredes, suelos y techos y debidas a las renovaciones del aire interior, se determina el sistema de calefacción; elegidos los puntos donde se sitúan aerotermos ó radiadores se define el trazado de la red, así como los diámetros de las tuberías.

Para naves industriales, los sistemas más utilizados son las unidades de tratamiento de aire con conductos de aire caliente y los aerotermos (también llamados unitermos o centrithermos). Lo normal es que en ambos casos, se alimenten por vapor a baja presión (hasta 4 Kg. como los acumuladores de vestuarios) y en casos especiales, donde no se dispone de vapor, por resistencias eléctricas ó por agua caliente generada por una caldera prevista para este uso.

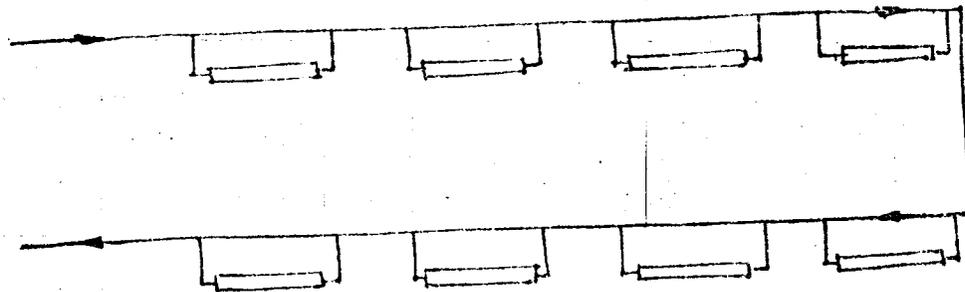
En cambio, en las oficinas, es mucho más utilizada el agua caliente para radiadores. Si se dispone de vapor, el agua caliente se suele obtener con un cambiador cuyo esquema se dá a continuación; en otro caso se dispondría una caldera de agua caliente.

Los sistema normales de distribución a radiadores son :-

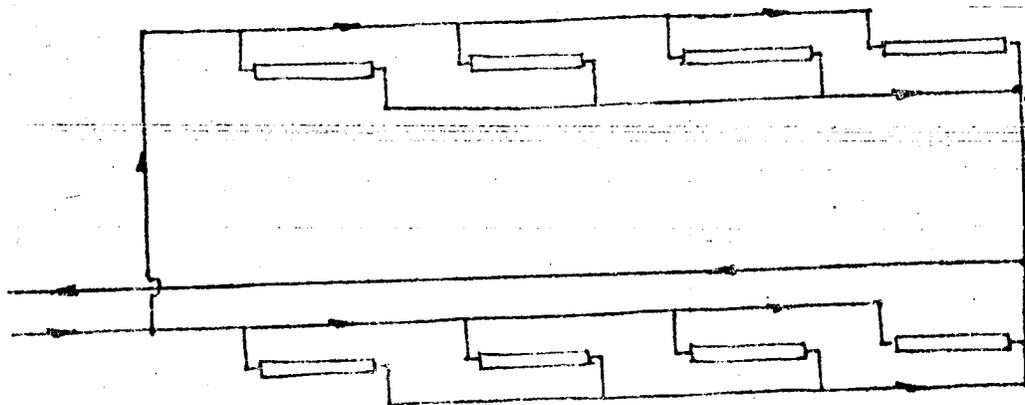
Sistema tradicional



Sistema monotubo



Sistema con retorno invertido



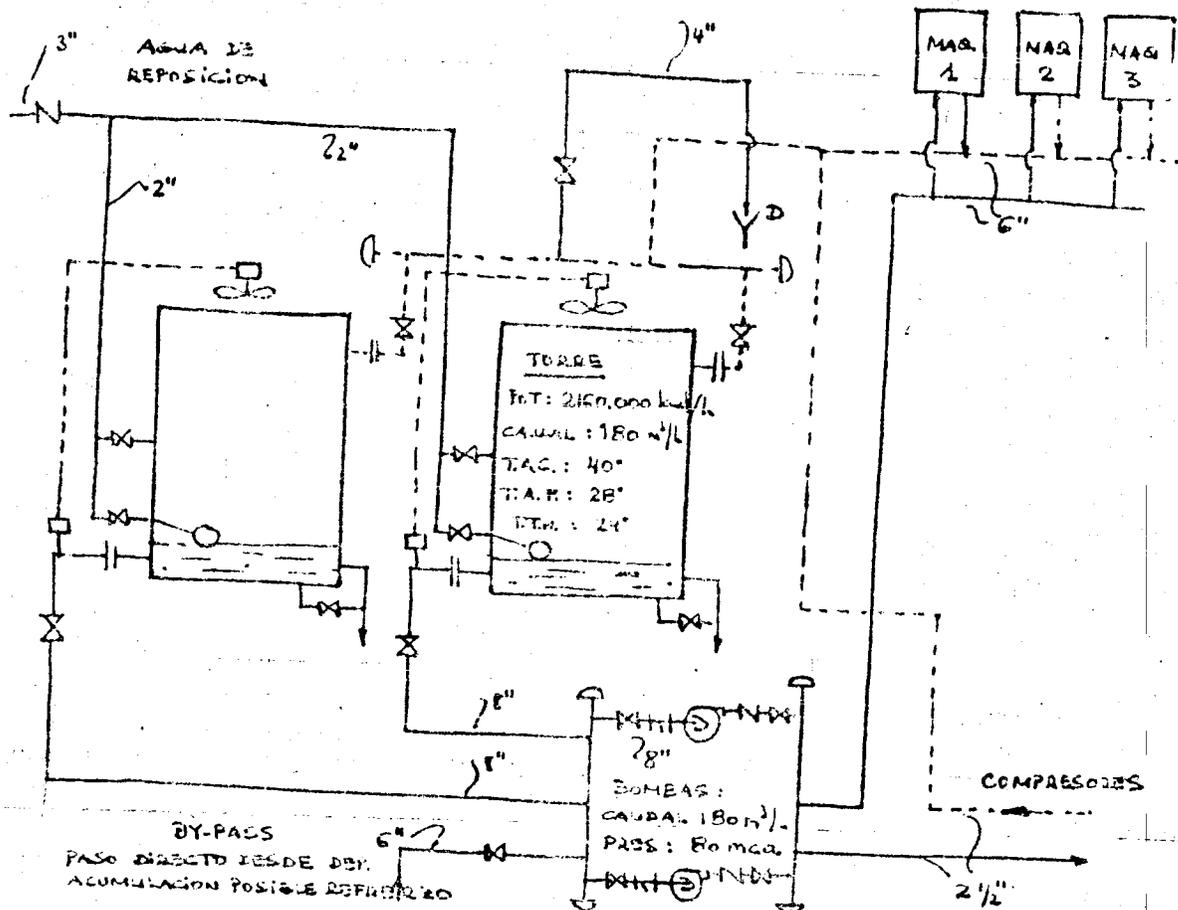


el agua en el circuito de retorno de refrigeración y llevarla a la torre o torres de refrigeración (circuito semiabierto) que funciona mediante lluvia y circulación de aire en contracorriente (de abajo a arriba); el agua se recoge en la piscina inferior enfriada. Hay un problema muy importante y es que la temperatura que se alcanza con la torre tiene ciertos límites impuestos por el propio proceso de refrigeración: Efectivamente el proceso que se realiza es la evaporación de una parte del agua que satura lo más posible el aire circulante, enfriándose el resto del agua pero con el límite teórico de la temperatura húmeda del aire en el instante en el que se realiza el proceso y el límite práctico impuesto por el rendimiento de la torre, no obteniéndose con un tamaño económico diferencias inferiores a los 4-6º, lo cual quiere decir que con una t. h. de 24º el agua de la torre no va a salir enfriada por debajo de los 28º.

Si con esta temperatura es suficiente, lo cual es bastante general, se refrigera en torre. Si la temperatura debe ser mas baja, caben dos posibilidades.

- Enfriar el agua con ayuda de la evaporación de un fluido frigorífico (circuito cerrado) lo cual es más costoso que el enfriamiento con torre ó
- Enfriar con el agua de la planta si su temperatura es suficientemente baja (circuito abierto); en este caso el agua saliente no se puede volver a utilizar para refrigerar en los mismos puntos y se puede eliminar o bien utilizar en reposición de otros circuitos eliminando el resto o complementándolo con otras aportaciones.

Damos a continuación un esquema de la recuperación de agua de refrigeración en un caso en que pudo utilizarse torre.



Además de obtener los datos de caudal de cada punto después de agruparlos buscando los que tienen te análogos y análogos saltos térmicos, es necesario considerar la pérdida de presión en los puntos de consumo y la altura a la que están dichos puntos con objeto de dimensionar las bombas de agua. Normalmente los retornos no caen a la presión atmosférica; si así ocurre hay que retornarlos por gravedad ó recogerlos conjuntamente y bombear en el retorno hasta la torre. Aunque se recuperen las aguas de ref. hay siempre unas pérdidas que hay que reponer con la denominada agua de reposición; se estima el caudal de reposición en un 3% del circulante.

Tanto en el llenado inicial como en la reposición, el agua debe tener unas características concretas y propias de este tipo de circuitos. Si bien las especificaciones del agua de ref. no son tan rigurosas como las de la rep. de vapor, se deben someter a ciertos tratamientos.

Es normal sin embargo que cuando los caudales no sean muy grandes y justifiquen lo contrario, los tratamientos se unifiquen con objeto de evitar mayores costes iniciales y tareas de mantenimiento más complicadas.

### 3.4. Aguas para usos térmicos

El agua puede utilizarse como fluido térmico en otros casos además del de la calefacción de los locales. En realidad tales usos en nada difieren desde el punto de vista de la instalación.

Los datos en este caso son el calor a aportar al proceso que definen el caudal circulante y el salto térmico. El agua puede obtenerse como en los demás casos con una caldera pero resulta más económico obtenerla con acumuladores o cambiadores a partir de vapor y a este sistema se recurre, siempre que hay vapor en la planta.

No debemos olvidar hablar del agua sobrecalentada que se utiliza mucho como fluido térmico; se trata de agua a presión que puede transportarse por ello líquida a más temperatura de 100º, presenta la ventaja con respecto al vapor de no introducir los problemas consecuentes de un cambio de fase en la línea.

### 3.5. Agua de proceso

Es el agua que queda incorporada al producto, bien como parte de su composición química o como disolvente.

El proyecto de la red se hace partiendo de los caudales necesarios, de la presión y del análisis o especificaciones del agua que ha de suministrarse, así como de la correspondiente temperatura.

Es más frecuente encontrar este tipo de agua en plantas químicas que en fábricas.

3.6. Agua para protección contra incendios

El tema de la protección contra incendios constituye de por sí una materia suficiente para constituir una especialización. En efecto, según el tipo de incendio, según los materiales en ignición, la extinción se puede combatir de uno u otro modo.

Entre todos los posibles medios de extinción, sin embargo, el más común y usualmente empleado es el agua que se refuerza en ocasiones con otros sistemas complementarios, como el CO<sub>2</sub> el polvo seco, etc.

- La red tradicional con hidrantes de incendios y
- Los sistemas de sprinkles o rociadores.

El primero de ellos es una red exterior a los edificios ó interior con hidrantes o bocas de manguera en los que se pueden conectar las mangas en caso de incendio. La red se mantiene en presión y cuando ésta baja por la utilización en un incendio, las bombas se ponen automáticamente en marcha. En el cálculo de las bombas no se considera la simultaneidad de todas las bocas sino las de un número definido racionalmente.

Las bombas se alimentan desde el depósito de acumulación directamente y se suele reservar una cantidad de agua "intocable" para incendios. En casos sencillos la red de incendios no necesita tal reserva o incluso no existe practicamente, quedando relegada a unas simples bocas conectadas a la red de agua de servicio.

El segundo sistema es de mayor efectividad porque la iniciación de la extinción se hace de forma automática sin intervención humana gracias a una detección del aumento de temperatura. Se trata de unos rociadores que están constantemente en presión. Si aumento la temperatura, la fusión de un elemento inicia automáticamente el rociado de todos los sprinkles.

El sistema es mucho más costoso que el anterior pero su seguridad es mayor y a veces resulta rentable por el hecho de que las compañías de seguros conceden importantes descuentos en las primas si se implanta este sistema y estas reducciones amortizan los costes con gran rapidez. Como inconveniente se suele indicar que por el propio automatismo cualquier aumento de la temperatura puede ocasionar una activación indebida pudiendo arruinar el producto y la maquinaria más que el propio incendio. Esto se puede solucionar con sistemas selectivos; la detección en un punto solo inicia el rociado de los sprinklers más cercanos.

#### 4. MATERIALES EMPLEADOS. IDEAS GENERALES SOBRE TRAZADO Y CALCULO DE LAS CANALIZACIONES

##### 4.1. Tuberías

Fundición Solo para tuberías enterradas por su buena resistencia a la corrosión.

Acero al carbono Para instalaciones no enterradas. Pueden hacerse las juntas con accesorios.

Hormigón armado Solo para grandes diámetros y en las conducciones principales. Hay que tener cuidado con su comportamiento ante la naturaleza del terreno si están enterrados.

Plomo Se emplea menos cada vez y nunca para presiones de  $8 \text{ Kg/cm}^2$

Amianto-cemento Se usa el tipo "presión" con uniones Gibault. Su inconveniente es la fragilidad; válido para conducciones subterráneas.

PVC Se utilizan para pequeños diámetros (hasta 2") y en la calidad "normal" hasta  $6 \text{ kg/cm}^2$  "reforzada" para presiones hasta  $20 \text{ kg/cm}^2$ . Las uniones se hacen con accesorios encolados con pegamentos especiales. La unión con tuberías o accesorios de otros materiales como acero o fundición es peligrosa por las posibles fugas en las encoladuras.

La experiencia en este material no es aun muy grande y su empleo no es recomendable sin un estudio detenido.

Acero galvanizado Es la tubería más utilizada por reunir las mejores características; en particular la resistencia a la corrosión.

Es el material por excelencia en redes de agua. El inconveniente es su mayor precio por el propio material y por las uniones que han de ser roscadas o embridadas (cuando a partir de ciertos diámetros ya no se encuentran accesorios roscados); la razón es que el galvanizado no se debe soldar porque en la soldadura pierde la resistencia a la corrosión.

Otro punto importante es la temperatura que no debe superar los 60°; por este motivo no se puede utilizar en aguas calientes que superen esta temperatura. En el agua de aseos se procura no pasar de 60° para poder utilizar esta tubería en la que el agua sale mas limpia y sin el oxido de las no galvanizadas. La razón de ello es que a más de 60° el Zn se vuelve más noble que el Acero y en lugar de proteger el Zn al Fe sucede al revés y si queda hierro al descubierto se corroe más deprisa que si no estuviese galvanizado.

Las tuberías de agua "termica" se revisten de aislamientos acabados con impermeabilizante, yeso o aluminio con objeto de evitar pérdidas.

#### 4.2. Valvulas

La válvula se compone de cuerpo y guarnición (vástago y asientos).

Si se trata de instalaciones que no se vayan a someter a golpes exteriores o interiores (golpe de ariete) y que funcionen con temperaturas medias o bajas, se utiliza cuerpo de hierro fundido y guarnición de :

- hierro : La más barata; válvula con pocas maniobras y responsabilidades Erosión fácil.
- Bronce ó latón : Muy utilizada en agua porque no se oxida.
- Acero : mucha resistencia a la abrasión.

Si la válvula va a resistir mayores presiones y/o temperaturas, se puede utilizar cuerpo de acero fundido y guarnición de acero con 13% de Cr. que le confiere mayor dureza.

Las válvulas con cuerpo y guarnición de bronce son antiinflamatorias ya que no dan chispa. Se pueden utilizar en ambientes explosivos.

#### 4.3. Breves ideas sobre el trazado

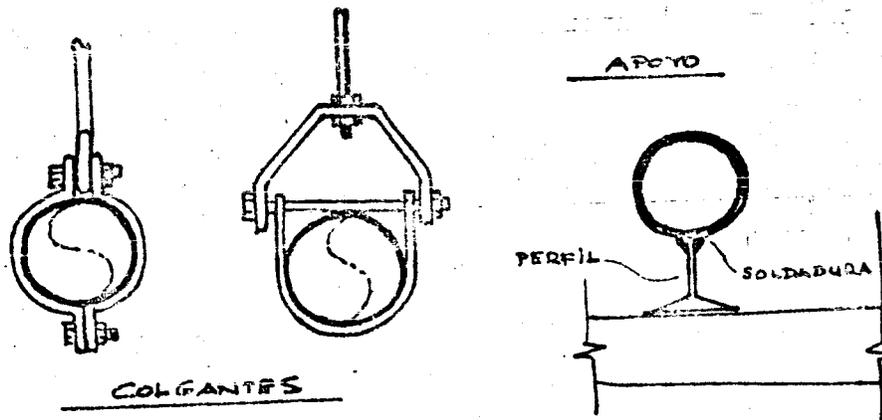
En el proyecto de una red de agua de una planta industrial y en general de cualquier instalación, conviene tener en cuenta ciertos problemas típicos que aunque elementales en su concepto pueden plantear problemas posteriores de no considerarse debidamente.

Las tuberías y los elementos de maniobra y control han de montarse por primera vez pero tal vez a lo largo de su vida se presenten además averías que exijan su desmontaje. Las tuberías deben ser por ello accesibles y las averías no deben quedar ocultas sino que serán fácilmente detectables (conducciones en canalistas visitables ó aéreas).

Las válvulas y elementos de medida han de accionarse y leerse respectivamente; para ello deben ser accesibles y la maniobra debe ser cómoda y sencilla.

Las tuberías y demás elementos ocupan un espacio físico y pueden estorbar las circulaciones de materiales ó dificultar las operaciones de proceso maniobras de máquinas, etc. si no se ha tenido en cuenta esta posibilidad en el proyecto. Además las tuberías se ven y su aspecto influye en la sensación que se experimenta en la planta, sensación que puede ser favorable hacia la concepción de la planta ó negativa si los recorridos de las tuberías son desordenados o irregulares.

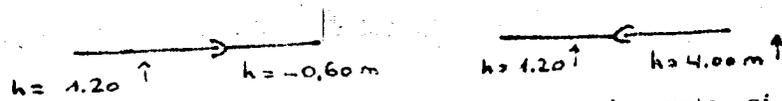
Las tuberías cambian la temperatura y se dilatan. El proyecto y la construcción de la red deben realizarse considerando este hecho; a tal efecto, se establecen dilatadores axiales ó tiras y puntos fijos en los que las tuberías están ligadas sólidas a su soporte; en el resto de los puntos donde la tubería no se ha concebido fija, ha de poderse deslizar sobre el soporte:



Como las tuberías pueden flexar por su propio peso más el del fluido que transportan, los apoyos ó cuelgues no deben situarse a una distancia excesiva, admitiéndose como media unos 3 m. El dejar de considerar esta necesidad en el proyecto puede plantear también problemas en obra.

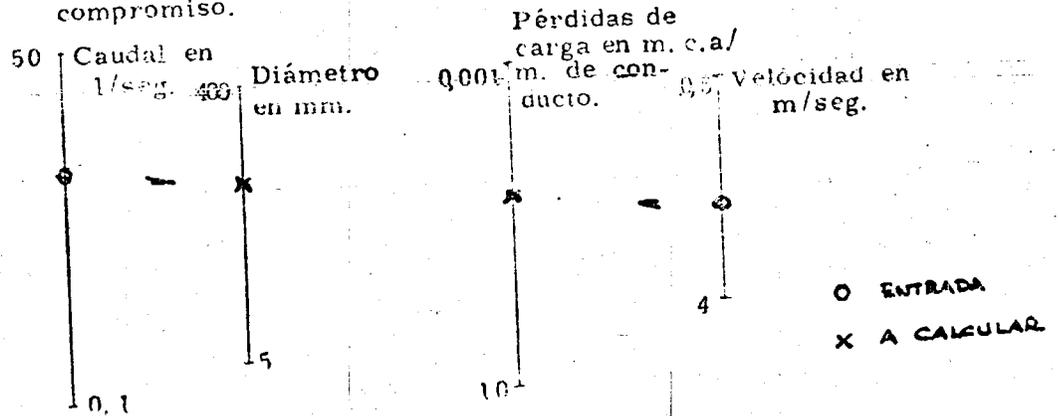
4.4. Breves ideas sobre el cálculo de la red

El cálculo se concreta en el de los diámetros de los distintos tramos. Hecho ya el trazado en planta (en planta se representan también las elevaciones) se señalan los caudales en cada tramo.



Se trata de buscar los diámetros en cada punto; si los diámetros son pequeños la velocidad de circulación aumenta y las pérdidas se hacen más grandes con lo que el bombeo se encarece; en cambio si los diámetros son mayores, las pérdidas de presión se reducen y el bombeo se abarata.

El cálculo tenderá a tomar la decisión sobre esta solución de compromiso.



Elegida una velocidad (son normales de 1 a 1,5 m/seg.) y a partir del correspondiente caudal resultan el diámetro y la pérdida; se suman las pérdidas en todos los tramos y se suman las alturas físicas y las pérdidas en accesorios que se encuentran en tablas; si la pérdida es excesiva se puede ir a diámetros mayores, reduciendo la velocidad de partida hasta que se logre una pérdida total que resulte económica desde el punto de vista general economía de la bomba-economía de la red.

5. TRATAMIENTO DE AGUA

Esta materia constituye de por sí tema suficiente para una especialización, se dan aquí unas ideas muy breves y básicas.

5.1. Tratamientos previos de tipo general

Se trata de correcciones a realizar de forma general para toda el agua de la planta independientemente de los tratamientos posteriores que hayan de seguirse según los usos parciales de los distintos circuitos.

Son particularmente necesarias en el caso de captaciones de ríos, o lagos, caracterizadas por altos valores de la turbiedad y de las características físicas (olor, color y sabor) que denotan contenido en materias orgánicas.

Estos tratamientos consisten en la mayoría de los casos en coagulación-floculación, posterior decantación y posterior filtrado.

La coagulación tiene por objeto reunir en partículas voluminosas y pesadas las materias coloidales muy finas contenidas en el agua, las cuales sin este tratamiento no podrían sedimentar y atravesarían los filtros (SILICE, ARCILLA y MATERIAS ORGANICAS).

El coagulante más utilizado es el sulfato de alumina; en ciertos casos se utiliza el cloruro férrico; la cal en pequeñas dosis favorece la coagulación.

La floculación consiste en poner en contacto con el agua a tratar coágulos procedentes de un tratamiento anterior y efectuar una agitación lenta, con el fin de incrementar su contacto con las partículas coloidales capaces de reunirse originando lo que constituye el flóculo.

La decantación tiene por objeto separar el agua clara de las partículas en suspensión que contiene, facilitando su sedimentación. Estas partículas pueden acompañar el agua cruda o ser el resultado de las reacciones de un tratamiento químico.

Muy frecuentemente se procede a la floculación y decantación en el mismo estanque, que suele ser circular; son los que se pueden ver en las estaciones de tratamiento de agua de suministro a poblaciones.

El agua se somete a una lenta agitación con unas paletas; los fangos se acumulan en el fondo troncocónico y se extraen periódicamente recirculándose los demás para favorecer la floculación. El agua se extrae por la superficie.

La filtración tiene por objeto retener las partículas en suspensión en el agua, tanto las procedentes del agua bruta como las que se originan en un proceso previo de coagulación.

La acción de los filtros consiste en fijar por adsorción las materias sólidas en suspensión contenidas en el agua; su limpieza se efectúa con agua de abajo a arriba ó con agua y aire comprimido.

La masa filtrante suele ser arena o grava pero puede ser antracita muy dura, mármol, dolomita ó esmeril.

Los filtros pueden ser a presión (cerrados) o de gravedad (abiertos) según que el filtrado se realice en un recipiente donde no hay contacto con la atmósfera (sin perder presión) ó en una especie de piscina al aire.

5.2. Tratamientos complementarios para algunos usos concretos

5.2.1. Agua potable

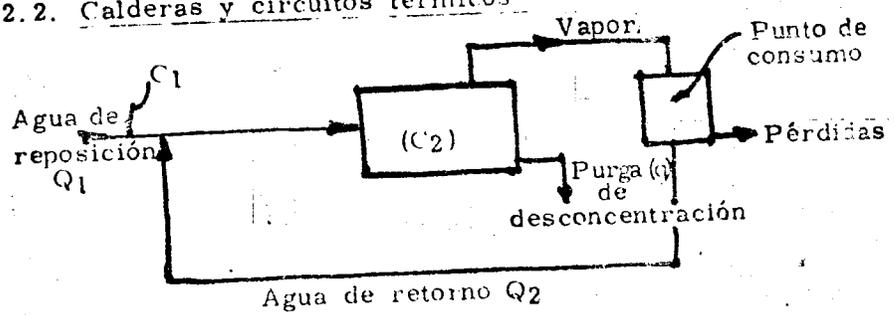
Como se dijo en otro capítulo de este tema, la condición básica de potabilidad es la ausencia de gérmenes potógenos.

El tratamiento más tradicional del agua potable es la esterilización, que se logra con la adición de cloro y sus derivados y también con ozonización ó con rayos ultravioletas.

La presencia de  $NH_3$  reduce la eficacia bactericida y ésta aumenta sin embargo con pH bajo y a temperatura elevada.

El exceso de cloro se elimina por filtración a través de carbón activo.

5.2.2. Calderas y circuitos térmicos



El circuito de agua puede esquematizarse como sigue :

El agua en la caldera se transforma en vapor que escapa de la zona de vaporización hacia el exterior. Puede suponerse puro pero en realidad transporta gotitas de agua, gases ( $CO_2$  debido a la descomposición de los carbonatos) y a presiones elevadas transporta sales volatizadas, cloruros y silice por ejemplo.

El agua que se mantiene en forma líquida en la parte inferior de la caldera, se carga de todas las sustancias extrañas que contenía el agua vaporizada (a excepción de la arrastrada). Las impurezas se concentran cada vez más en la fase líquida si no se efectúa una desconcentración sistemática, denominada purga, vertiendo al drenaje una parte del agua de la caldera.

Si admitimos que la concentración del vapor y retorno es nula se tiene :

$$Q_1 \times C_1 = q \times C_2 ; q = Q_1 \frac{C_1}{C_2}$$

lo que nos dice que para que el porcentaje de purgas no sea excesivo (que es antieconómico) y teniendo  $C_2$  un límite superior por los problemas que luego veremos, es necesaria una depuración del agua de reposición.

Problemas de las impurezas del agua en calderas y puntos de consumo :

- Incrustaciones debidas al depósito sobre las paredes de la caldera de precipitados cristalinos que al impedir la transmisión del calor, dan lugar a recalentamientos locales y pueden ser causa de explosiones.

La causa principal son sales de calcio menos solubles en caliente que en frío (sulfatos y carbonatos) y de magnesio.

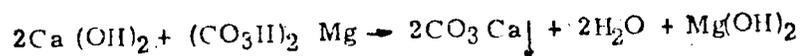
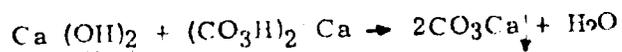
- Arrastre con el vapor de cuerpos minerales volátiles a la T de ebullición, particularmente nociva la silice. Estos cuerpos se depositan en las turbinas creando graves problemas.

- Problemas de corrosión por la presencia de  $O_2$  en el vapor (corrosión en medio aireado).
- Problemas de corrosión (agresividad) por el  $CO_2$  procedente de los carbonatos.  $CO_2 + H_2O \rightarrow CO_3H_2$  (El  $CO_2$  en exceso hace al agua agresiva). El  $CO_2$  es más peligroso en los circuitos de retorno ya que en fase vapor no es corrosivo pero si se produce una condensación, el  $CO_2$  se disuelve en el condensado y la vuelve corrosiva.

Los tratamientos que para corregir los anteriores problemas, se utilizan más son :

Descarbonatación con cal · Eliminación de la dureza bicarbonatada (denominada con frecuencia dureza temporal) de un agua natural. Los bicarbonatos son generadores de ácido carbónico.

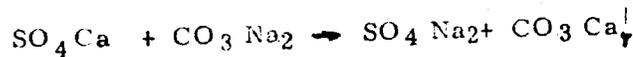
Las reacciones que tienen lugar en ese proceso son :



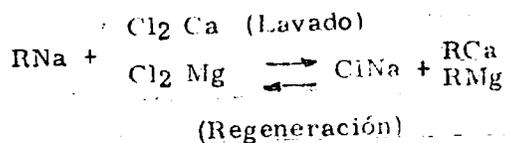
La alcalinidad del agua se reduce a la solubilidad teórica del sistema  $\text{CO}_3\text{Ca} + \text{Mg (OH)}_2$  que es de 2-3  $\text{gF}$

#### Desendurecimiento

##### a) Con $\text{CO}_3\text{Na}_2$



##### b) Lo que es muy frecuente con intercambio iónico :



#### Eliminación de sílice

##### a) Descarbonatación y eliminación de sílice en frío

Transformando en un proceso de descarbonatación la sílice en un silicoaluminato complejo de calcio y hierro, que se forma a temperatura ambiente. Se obtiene añadiendo al mismo tiempo que la cal, aluminato sódico y cloruro férrico. El precipitado contiene el carbonato cálcico y el complejo de sílice, alumina y hierro.

##### b) Descarbonatación y eliminación de sílice en caliente

Si se trata de agua próxima a  $100^\circ\text{C}$  con una mezcla de cal y polvo de magnesia anhidra porosa, puede fijarse la sílice por adsorción. Este tratamiento se usa mucho seguido de desendurecimiento.

Debe preverse una filtración del agua decantada sobre un material no silíceo, mármol ó antracita.

#### Desgasificación física

La desgasificación tiene por objeto la eliminación del O<sub>2</sub> y del CO<sub>2</sub> disueltos en el agua de alimentación de un generador de vapor, con el fin de proteger la caldera y los circuitos contra la corrosión (tanto más peligrosa cuanto más pura es el agua en la que los gases están disueltos).

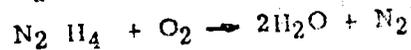
Efectivamente, el pH se debe mantener en un agua de este tipo en valores  $\geq 9,5$  ya que la bajísima dureza de este agua impide la formación de una capa protectora.

La desgasificación se hace en general por barboteo de vapor a presión y se basa en que los gases se disuelven menos en el agua mientras mayor es la temperatura y al mismo tiempo en disminuir la presión parcial de los gases nocivos (para que de acuerdo con la ley de Henry se disuelvan menos en el agua).

#### Desgasificación química (también acondicionamiento)

Consiste en eliminar, mediante el empleo de productos químicos, los efectos corrosivos del O<sub>2</sub> y del CO<sub>2</sub>. Sustituye a la desgasificación física ó la complementa.

Se utilizan la hidrazina y el sulfito sódico entre otros productos (para el O<sub>2</sub>)



Para el CO<sub>2</sub> se utiliza amoníaco, ciclohexilamina y morfina que se volatilizan con el vapor y al condensarse forman con el CO<sub>2</sub> un bicarbonato de amina no corrosivo.

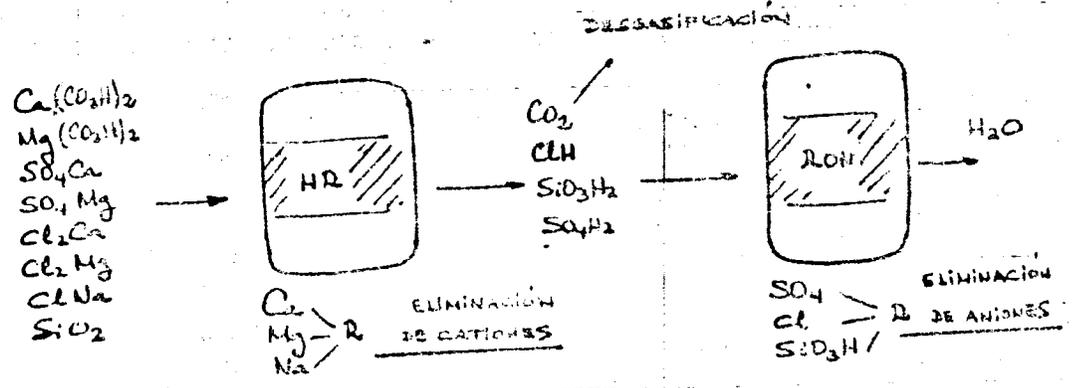
#### Inhibición ó pasivación (también acondicionamiento)

Se trata de formar una película protectora que suprima el contacto metal-agua y evite la posible corrosión resultante.

Aminas grasas, polifosfatos, silicatos, cromatos, nitritos, etc.

Estos tratamientos se suelen combinar según las características del agua y la presión del vapor generado; mientras más alta es esta presión más rigurosa son las especificaciones del agua de alimentación.

A presiones bajas se suele utilizar un simple desendurecimiento; a mas altas presiones, la descarbonatación, la eliminación de sílice (en uno de los dos procesos antedichos) seguidos de desendurecimiento y desgasificación; en centrales, el más complicado que es la desmineralización total que es otro tratamiento a base de intercambio pero no solo de Ca y Mg. sino de todos los cationes y aniones a partir de resinas fuertemente o debilmente ácidas y básicas.

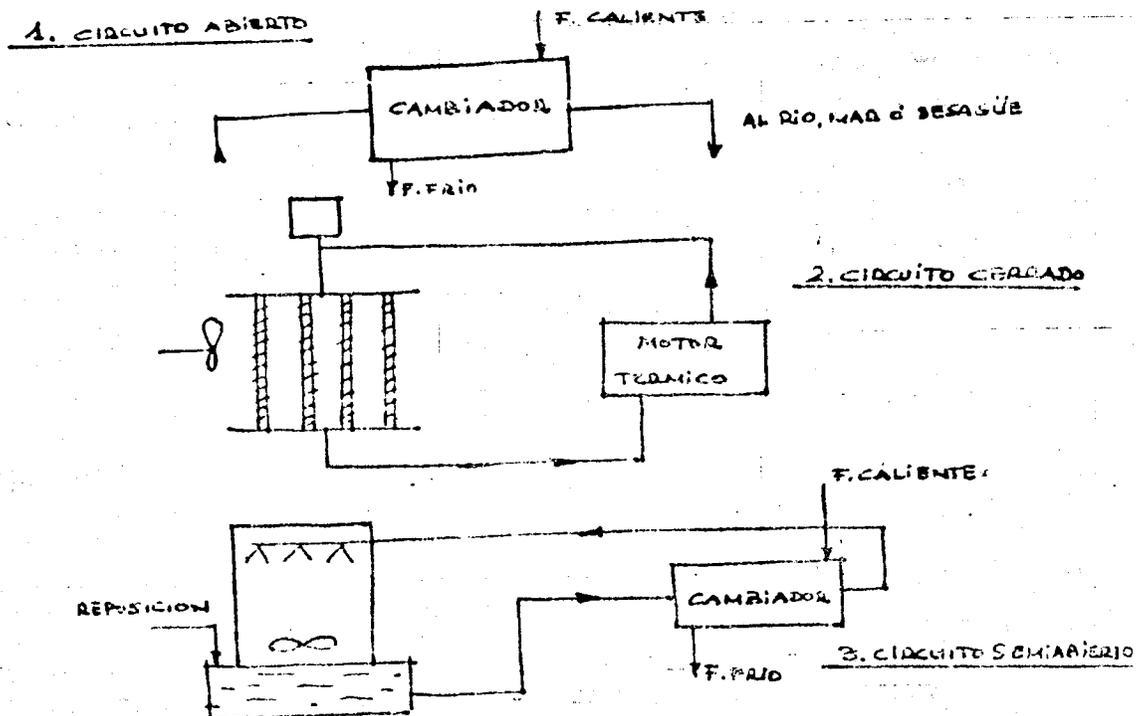


### 5.2.3. Circuitos de refrigeración

La naturaleza de los aparatos que se refrigeran es muy variada; pueden citarse:

- condensadores e intercambiadores
- refrigeradores de aceite
- motores, compresores
- hornos, trenes de laminación
- reactores químicos.

Se puede realizar la refrigeración en tres versiones :-



El tratamiento del agua puede ser tanto más completo mientras más cerrado es el circuito, siendo necesariamente muy elemental para no ser antieconómico en el caso de circuitos abiertos.

Para estudiar los fenómenos de este tipo de aguas hay que partir del estudio de la incrustación y de la corrosión.

La incrustación es un depósito de sales poco solubles.

La corrosión origina unos sedimentos de óxido de hierro que no deben confundirse con los anteriores. La incrustación suprime en parte el contacto entre metal y agua y por tanto la corrosión.

Puede corregirse el agua de refrigeración, situándola en el equilibrio entre estos dos fenómenos opuestos. Este es un primer procedimiento de tratar estas aguas, denominado:

### Procedimiento de equilibrio (corrección del pH)

El fenómeno incrustación-corrosión es extraordinariamente complejo y depende del pH, del TH y del TAC del agua.

Existe un pH de saturación ( $pH_s$ ) función de las constantes de ciertas reacciones y de ciertas concentraciones de  $CO_3H^-$  y de  $Ca^{++}$ . Cuando el pH es  $< pH_s$  el agua es agresiva y si  $pH > pH_s$  el agua es incrustante. El  $pH_s$  desciende al aumentar la temperatura.

El procedimiento de equilibrio consiste en introducir ciertos reactivos ácidos o alcalinos para regular TH, pH y el TAC de forma que se situen en el equilibrio del fenómeno.

La reacción con ClH es:  $(CO_3H)_2Ca + 2ClH \rightarrow Cl_2Ca + 2CO_2 + 2H_2O$   
 $CO_3Ca + 2ClH \rightarrow Cl_2Ca + CO_2 + H_2O$

Puede utilizarse también ácido sulfúrico teniendo en cuenta el producto de solubilidad del  $SO_4Ca$ .

Se evita así la precipitación de los carbonatos; se ha disminuido el TAC.

El principal problema procede de la variabilidad del  $pH_s$  con la temperatura; efectivamente el agua puede estar en equilibrio a bajas temperaturas y observarse incrustaciones en los puntos calientes ó bien se encuentra en equilibrio en los puntos calientes y es corrosiva en los puntos fríos.

Por otra parte, para respetar el equilibrio, debe limitarse la concentración de sales disueltas efectuando las purgas necesarias con lo que se puede alcanzar una aportación de agua muy alta.

### Procedimiento de estabilización

Constituye una mejora del procedimiento anterior, ya que se introducen productos químicos para retardar la precipitación

del  $\text{CO}_3\text{Ca}$  y por tanto proteger los puntos calientes del circuito. Se fijan los valores de pH, TH y TAC a temperaturas frías y se añade el producto estabilizante para evitar la formación de incrustaciones en los puntos calientes.

Estos productos son los polifosfatos que a nivel molecular impiden la formación de los primeros cristales de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  y por otra parte unos coloides orgánicos que envuelven los cristales finos formados impidiendo que formen un germen de cristalización.

Este procedimiento amplía la gama de temperaturas en las que puede suponerse el agua en equilibrio y permite aumentar el grado de concentración disminuyendo el consumo; por el contrario favorece la formación de algas y bacterias por constituir los fosfatos elementos nutritivos.

Procedimientos inhibidores de la corrosión

Al igual que en las calderas, se puede formar sobre los metales una película fina protectora de la corrosión y disminuir el pH por inyección de ácido que impide la incrustación (el  $\text{SO}_4\text{H}_2$  se suele preferir al ClH por razones de manejo y precio).

Se suprimen las purgas suponiendo que el arrastre del agua evaporada provoca una desconcentración suficiente.

Si se emplea  $\text{SO}_4\text{H}_2$  conviene desendurecer de iones  $\text{Ca}^{++}$  para evitar la formación del  $\text{SO}_4\text{Ca}$ .

Los inhibidores por ejemplo pueden ser: Fosfato de cinc, cromato de cinc y organato de cinc.

El fosfato tiene el inconveniente de ser alimenticio para el crecimiento orgánico pero es el más económico.

### Adición de hipoclorito

Es un problema muy característico de los circuitos de refrigeración, el desarrollo de organismos vivos. Para luchar contra ello se utiliza el hipoclorito que debe administrarse en dosis fuertes y discontinuas para evitar la adaptación de estos organismos; en un circuito al que se han adicionado polifosfatos y dispersantes orgánicos sería necesario en tiempo caluroso llegar a 100 g. de Cl<sub>2</sub> por día y m<sup>3</sup> de agua. Cuando no hay fosfatos el problema es menor

Conviene además efectuar una esterilización total del circuito especialmente al comenzar el periodo de vegetación como el pentaclorofenato, que es bactericida y biodegradable.

Como antes decíamos, el tipo de tratamiento debe ser objeto en su elección, de un concienzudo estudio económico.

No es posible hacer un tratamiento exhaustivo en un circuito abierto donde resultaría muy caro. Se hace solo una ligera corrección del pH ó una adición de un estabilizador para evitar la formación de incrustaciones y de hipoclorito para algas y bacterias.

En circuitos cerrados, puede realizarse una protección total con los inhibidores de la corrosión; en circuitos semiabiertos, se realizará un estudio en cada caso.

## EVACUACION DEL AGUA

### 1. GENERALIDADES

Uno de los condicionantes básicos para el establecimiento de una planta industrial en un lugar es la posibilidad de alimentación de agua; otro condicionante no menos trascendental es la viabilidad de la eliminación de las aguas desde la planta hacia el exterior.

Siguiendo el paralelismo con el anterior capítulo, el vertido puede realizarse a una red de alcantarillado ó a un medio natural; la existencia de dichos puntos de vertido y la necesidad de unas obras auxiliares previas a dicho vertido pueden constituir puntos muy importantes en la decisión sobre la elección de uno u otro terreno y en el establecimiento del presupuesto de las obras.

En general, los vertidos de agua se gestionan en los Ayuntamientos y más especialmente en las Comisarías de Agua a que pertenezcan los distintos lugares considerados; pueden originarse muy serios problemas (hasta la decisión de no hacer la fábrica en el lugar pensado en principio después de haber empleado muchos medios económicos por mucho tiempo en un terreno determinado,) por la subvaloración inicial de las circunstancias que rodean a la evacuación de las aguas de un complejo del tipo que consideramos.

Otra posible circunstancia puede darse : es la necesidad de la elevación de las aguas por estar el punto de vertido a una cota superior a la de salida. Esta solución debe evitarse en la medida de lo posible, por las servidumbres que plantea y los costes de mantenimiento que ocasiona.

### 2. NATURALEZA DE LAS AGUAS A EVACUAR, VERTIDO DE LOS EFLUENTES

#### 2.1. Tipos de efluentes

Los efluentes de la planta son de tres tipos :-

- Aguas blancas (aguas pluviales + aguas de riego + aguas de limpieza)
- Aguas negras (aguas de aseos y vestuarios + aguas fecales)
- Aguas residuales de proceso ó aguas industriales.

#### 2.1.1. Aguas blancas

Estas aguas comprenden las de lluvia cuya contaminación es variable en el tiempo, más acusada al comienzo del chaparrón y menor después por la acción de lavado y las de limpieza, contaminadas por las materias que arrastran. Los caudales de agua de lluvia se obtienen en ábacos editados en los libros especializados. Se multiplican dichos caudales por los coeficientes de escorrentía = cantidad de agua que no absorbe el terreno/cantidad total de lluvia.

#### 2.1.2. Aguas negras

Constituyen un efluente nocivo, ya que las aguas de aseos y vestuarios contienen materia orgánica que fermenta, mientras que las aguas fecales entran rápidamente en putrefacción.

La cantidad de aguas negras en una planta industrial no es en general significativa. Los caudales se obtienen muy fácilmente en los libros especializados en el tema y se dan en función del número de aparatos sanitarios instalados, no siendo la suma de los de cada uno sino un valor inferior que considera la máxima simultaneidad previsible en los usos.

#### 2.1.3. Aguas industriales

La composición y los caudales vertidos ofrecen un enorme abanico de posibilidades; las aguas procedentes de una textil son por ejemplo absolutamente distintas de las de un matadero o de una industria láctea. Por ello, cada caso debe considerarse particularmente y con ayuda de los conocimien-

tos alcanzados después de una concienzuda especialización.

2.2. Vertido de los efluentes

El estudio de un sistema de saneamiento debe hacerse de final a principio, debiendo buscarse antes que nada cual es el receptor final de las aguas; las características del sistema dependen fundamentalmente de la naturaleza de este último.

2.2.1. Red exterior

Normalmente, se trata de un colector público perteneciente a algún organismo oficial, como el Ayuntamiento local, la Diputación Provincial ó de un colector perteneciente a la infraestructura de un Polígono Industrial.

En ambos casos, es necesario saber donde vierte dicho colector y a que distancia está dicho vertido final del de nuestra fábrica así como si es posible datos sobre los demás vertidos intermedios que se realizan por otros generadores de efluentes o si el colector va a parar a un medio natural ó a una estación depuradora.

En general, no hay problemas con las aguas negras, pero si lo puede haber con las residuales de proceso ya que sus características químicas y sus grandes caudales pueden perturbar el funcionamiento de una estación depuradora pública.

Los demás factores a considerar son la no-obstrucción del colector, la no destrucción del colector por ataque químico y el no desprendimiento de gases tóxicos o explosivos y de líquidos inflamables.

2.2.2. Medios naturales

Los medios naturales que pueden recibir el vertido de la planta son :

- Ríos y arroyos.
- Lagos
- Mar
- Pozos absorbentes o terrenos de cultivo.

El criterio general sobre el que se basa toda la normativa relacionada con el vertido de las aguas a estos medios es la no perturbación del medio por las características del agua vertida.

En ríos y arroyos, se trata de mantener la vida acuática; son perjudiciales una salinidad excesivamente alta, la presencia de sustancias reductoras, la temperatura y una alcalinidad o acidez que se separe más de 1,5 del pH 7 así como la presencia de sustancias venenosas en general.

Cuando la superficie de lagos y estanques es grande el problema disminuye por la buena aireación superficial; en los vertidos al mar hay que evitar zonas playeras cercanas o bancos de mariscos en las proximidades.

En cuanto a los drenajes ó abonados del terreno son viables siempre que la permeabilidad lo permita y no se puedan contaminar pozos preexistentes que se utilicen para bebida.

### 2.3. Condiciones de vertido

Existe una normativa española sobre dichas condiciones; esta normativa contempla distintas características del medio natural, dividiendo se los cauces según sus grados de exigencia de menor a mayor en

- Cursos de agua industriales (Aguas no aprovechables)
- Cursos de agua normales (Aguas de uso común)
- Cursos de agua vigilados (Aguas para determinados aprovechamientos)
- Cursos de agua protegidos (Aguas potables)

Como parámetros a evaluar en unas aguas negras depuradas, tenemos principalmente :-

- Contenido en materias en suspensión.
- No deben desprender olor de putrefacción o amoniacal después de un periodo de incubación de 30°C.
- No debe contener sustancias capaces de intoxicar a los peces ó de perjudicar a los animales que abreven en el cauce.
- No debe absorber en cinco días, a 20°C más que una cantidad determinada de mg. de oxígeno por litro de agua (prueba de la D. B. O ó demanda bioquímica de oxígeno).

(La D. B. O<sub>5</sub> se define como la cantidad de oxígeno en mg/l necesaria para la oxidación por vía biológica de las materias orgánicas biodegradables presentes en el agua consumida en condiciones aerobias durante 5 días, a 20°C de temperatura y en la oscuridad.

Además, cuando hay playas vecinas o zonas marisqueras o tomas de agua para alimentación, la depuración debe prever la destrucción de todo germen patógeno y la eliminación de todo producto que pueda originar olores, colores o sabores anormales.

En cuanto a las aguas industriales, existe una reglamentación bastante indefinida basada sobre los mismos principios básicos.

### 3. REDES DE SANEAMIENTO

Se estudian en este capítulo las características de las redes de saneamiento, en particular su implantación y las características de los elementos que las constituyen.

#### 3.1. Implantación

En función de las características diferenciales de los distintos efluentes, se puede considerar la creación de :-

- Tres redes independientes :

- aguas blancas
- aguas negras
- aguas residuales

Sistemas separativos

- Dos redes independientes

- Aguas blancas
- Aguas negras y residuales

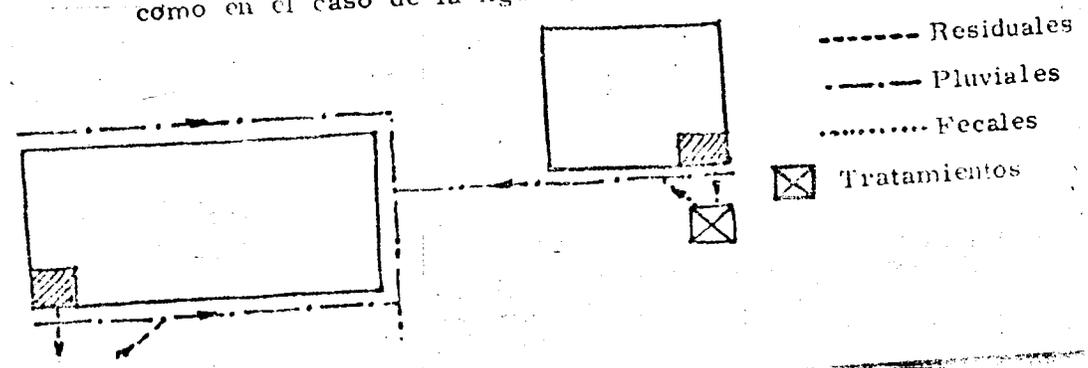
- Una sola red unitaria

Sistema unitario

En la elección de una u otra solución influye la proporción de aguas blancas a aguas negras + residuales y la exigencia de las condiciones de vertido.

En efecto, si se necesita una estación depuradora en la fábrica, con una especificación rigurosa y la cantidad de pluviales es alta, sería necesario ir a un sistema separativo; en cambio si la cantidad de pluviales es pequeña y las exigencias en el proceso de la depuradora de la fábrica son mas flexibles, se puede ir a un sistema unitario. Finalmente si no hay depuradora en la fábrica, no tendría sentido en principio ir a sistemas separativos si en definitiva las aguas se van a verter en común (a no ser que exteriormente existieran dos colectores independientes, caso bastante infrecuente.)

Además de dichas características de los efluentes y de las condiciones de vertido, se ha de tener en cuenta la situación y la naturaleza del o de los puntos de desague. Las redes pueden en efecto mantenerse separadas hasta poco antes de su vertido al exterior ó unificarse en seguida después de los tratamientos correspondientes como en el caso de la figura.



Es muy conveniente que las aguas salgan lo antes posible de los interiores; así, si hay averías no entorpecerán el proceso. También conviene que vayan debajo de aceras o zonas sin tráfico y mejor sin pavimentos.

3.2. Elementos constitutivos de las redes de saneamiento

3.2.1. Tubería

Los conductos se consideran hidráulicamente como conductos de circulación sin presión; su utilización a plena sección no se da sino en casos excepcionales.

Hasta 60 cm se utiliza tubo cilíndrico; por encima ovoides normalizados.

Las calidades que debe reunir un conducto para este fin deben ser la impermeabilidad y la rugosidad mínima de las paredes interiores.

Los materiales más utilizados son :

- El gres vitrificado
- El amianto-cemento
- Hormigón vibrado o centrifugado (armado o no armado)

El gres resulta de la cocción de arcillas mezcladas muy bien dosificadas; el barniz que se utiliza para recubrirlo tiene la particularidad de ser resistente a los ácidos; esta es la característica principal de este material.

En ciertos casos se emplean canales abiertos con tapa de hormigón para hacerlos visitables. Esto es interesante si la suciedad hace temer obstrucciones que merece la pena evitar de antemano con dicha visitabilidad.

Los conductos cilíndricos u ovoides deben enterrarse a una profundidad mínima en los pasos bajo calzada con objeto de evitar el posible daño de la obra por las sobrecargas de los vehículos.

En el cálculo de los distintos tramos de tubería intervienen los diámetros, las pendientes y las velocidades en cada uno.

Se pueden disminuir los diámetros a costa de aumentar las pendientes y consecuentemente las velocidades.

Los diámetros mínimos se suelen establecer en 150 mm y las velocidades mínimas en 0,6 m/seg. Las pendientes deben sin embargo limitarse de forma que la velocidad no sobrepase los 3 m/seg.

Otro aspecto a tener en cuenta es la limpieza de la red: A tal efecto conviene que las secciones no sean excesivas para que el agua circulante tenga un buen contacto con el interior de la tubería; otra solución es el empleo de cámaras de descarga en las cabeceras de línea que dejan caer a través de la tubería para su limpieza en el caso en que el caudal no sea suficiente.

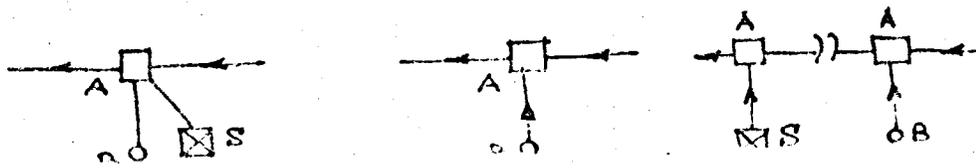
El volumen de la cámara será igual a 1/6 del volumen del tramo a limpiar.

### 3.2.2. Obras auxiliares

Las obras auxiliares utilizadas en las plantas industriales son las arquetas y pozos de registro, los sumideros, las canaletas con rejilla y sumideros, los imbornales, etc.

Las arquetas son equivalentes a pequeños pozos cuadrados que se utilizan como registros y elementos de conexión cuando las profundidades de tubería son pequeñas, por ejemplo conexiones de bajantes y/o de sumideros en interiores de edificios.

(A: ARQUETA B: BAJANTE S: SUMIDERO)



Los pozos de registro son de mayor profundidad y tamaño

Estos registros deben colocarse en :

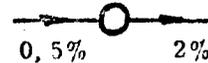
- Cada unión de canalizaciones ó entronque :-



- En cada cambio de dirección



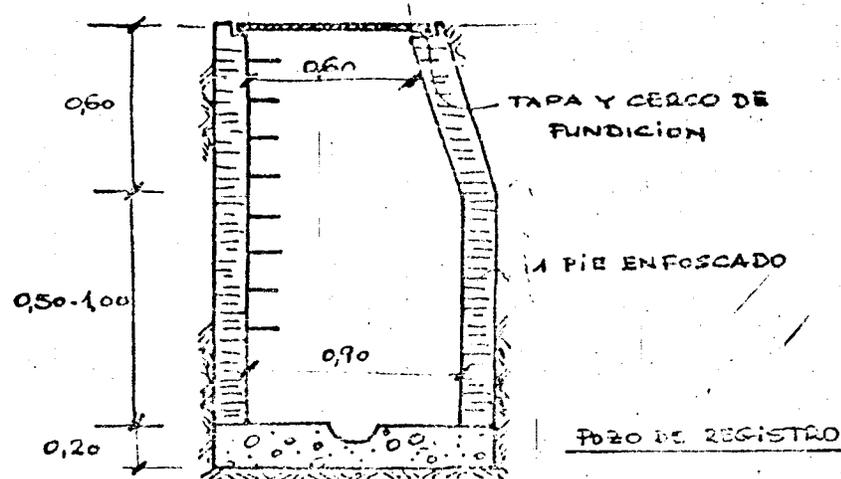
- En cada cambio de pendiente apreciable



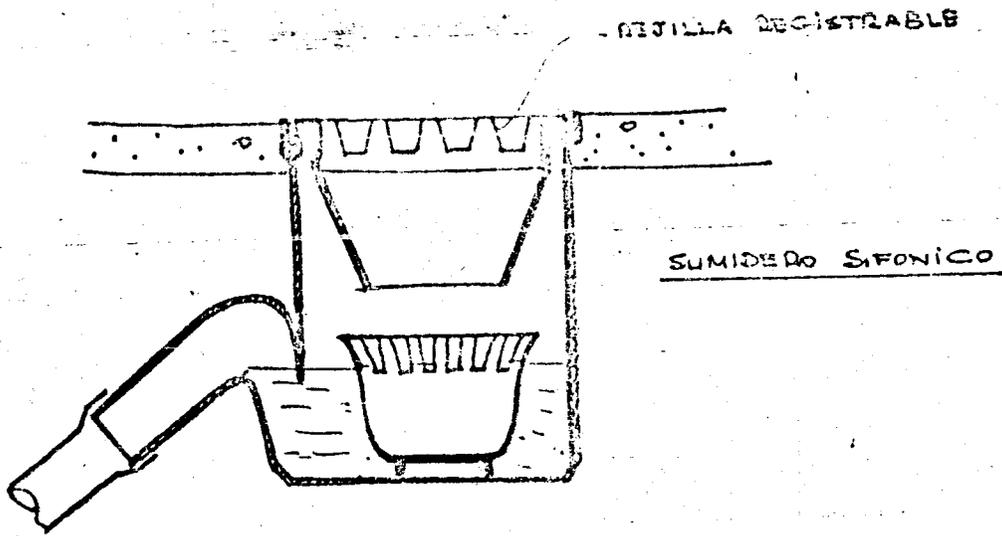
- En las partes rectas con pendiente regular pero no visibles, cada 35 ó 40 m.

El fondo del pozo de registro se hace de tal forma que no se rompa la continuidad de la tubería

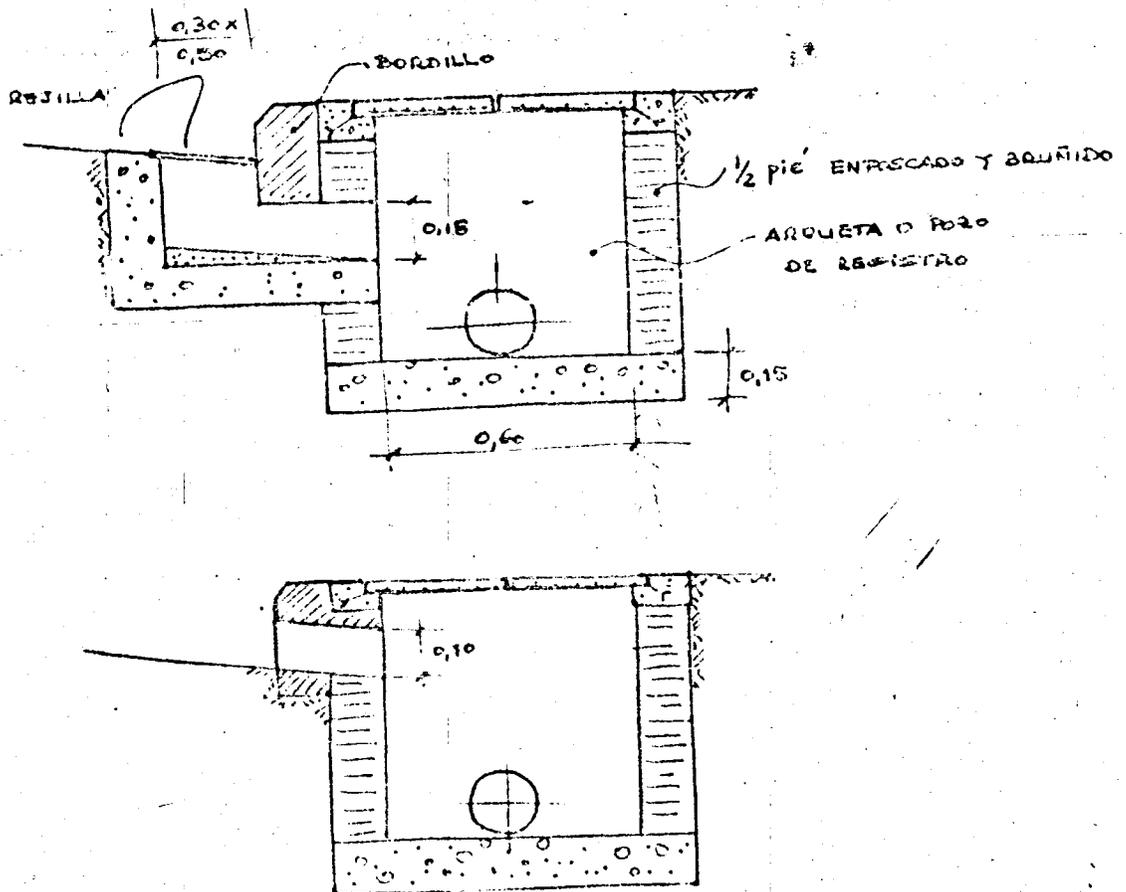
Los pozos de registro se pueden hacer de ladrillo enfoscado por el interior o prefabricados de hormigón.



Los sumideros son elementos colocados en los puntos bajos de los pavimentos para la captación y paso a las tuberías subterráneas de las aguas de lluvia, riego o limpieza (en general, pues, conectados a la red de aguas blancas).



Los imbornales son las entradas de agua de lluvia en las calzadas de las redes viarias :



#### 4. TRATAMIENTO DE AGUAS EVACUADAS

El tratamiento de estas aguas, como el de las de abastecimiento podría ser objeto de todo un curso de la carrera y de una especialización profesional; por ello, nos limitamos a dar unas ideas generales sobre el tema.

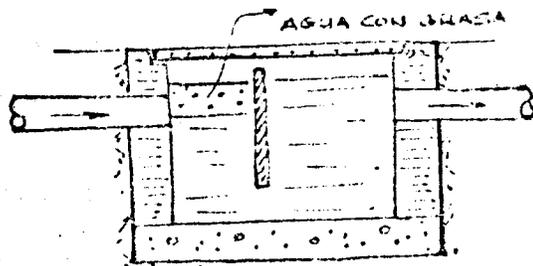
##### 4.1. Aguas blancas

(Pluviales + Aguas de riego + Aguas de limpieza)

En general, son vertidas al colector o medio natural sin tratamiento previo. Deben, sin embargo, hacerse dos excepciones:

- Las aguas pueden contener tierra en suspensión que llegaría a ocluir los colectores exteriores; los organismos oficiales exigen a veces depósitos desarenadores en los cuales por la decantación que se provoca al circular el agua a baja velocidad, el agua se libera de la tierra en suspensión sin arrastrar lodos (la velocidad ha de ser inferior a 0,30 m/seg).

- Cuando las aguas proceden del lavado de zonas con grasas, como garajes o áreas de maquinaria que la desprenda, deben situarse arquetas separadoras de grasa en las que se recoja dicha materia evitando que pase a la red y que por temperaturas más bajas se solidifique y obstruya las tuberías.



Las grasas se separan en el primer compartimento por menor densidad que el agua retirándose con periodicidad por procedimientos manuales.

##### 4.2. Aguas negras

(Aguas de aseos y vestuarios + aguas pluviales)

Aparte de los pozos negros (que no deben considerarse más que un

paliativo en espera de la construcción de una red y que no deben recibir más que aguas fecales previniéndose un volumen de 1 m<sup>3</sup> por persona para una limpieza de un año) se pueden dar básicamente dos sistemas de tratamiento:

- El tratamiento anaeróbico o digestión que es una fermentación en ausencia de oxígeno que estabiliza las materias orgánicas transformándolas en el mayor grado posible, en gas metano y gas carbónico. Hay un primer grupo bacteriano constituido por "bacterias productoras de ácidos" que transforman los compuestos orgánicos en otros más simples (ácidos acético, propiónico, butírico), los cuales a su vez sirven de alimento a un segundo grupo, las "bacterias metánicas". Estas últimas son los organismos clave de la digestión anaerobia. Son estrictamente anaerobias, se desarrollan lentamente y son sensibles a las variaciones de temperatura y de pH del medio ambiente.

Este tipo de tratamiento es el que se desarrolla en las fosas sépticas simples, que se pueden complementar con un tratamiento posterior de tipo aerobio.

- La depuración biológica aerobia de las aguas residuales consiste, en una primera fase, en provocar el desarrollo de bacterias que se reúnen en películas o flóculos y que por acción física o físico-química, retienen la contaminación orgánica y se alimentan de ella. En una segunda fase, generalmente se separan por sedimentación los fangos producidos.

Para conseguir la oxidación de la materia orgánica biodegradable hay que poner el efluente en contacto con el oxígeno con objeto de mantener la microflora en un medio aerobio. La forma de conseguirse la oxidación define el tipo de tratamiento y en consecuencia la instalación. A este segundo sistema pertenecen el procedimiento por lechos bacterianos y el de fango activados, así como todas sus variedades y combinaciones.

El rendimiento de una estación depuradora se mide por la reducción

que proporciona de los dos parámetros mas representativos de un agua residual:-

- Materia en suspensión (normal 1450 mg/l)
- Materia orgánica (DBO<sub>5</sub> normal 300 mg/l)

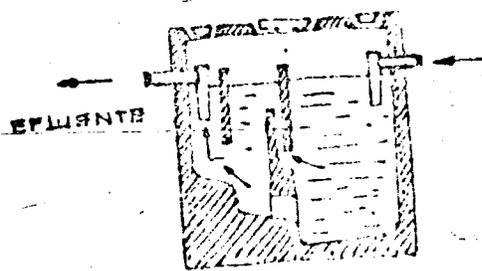
Por ejemplo una depuradora que consigue reducir la DBO<sub>5</sub> de 300 mg/l a 40 mg/l (valor de exigencia medio) tendría un rendimiento de  $\frac{300-40}{300} = 87\%$

Se describen las particularidades de cada uno de estos sistemas en el resto del presente capítulo.

#### 4.2.1. Fosas sépticas

##### 4.2.1.1. Elemento de recepción y licuefacción o fosa séptica simple.

La fosa séptica es un elemento destinado a la licuefacción de las materias fecales sólidas contenidas en las aguas negras. En la fosa se dan los fenómenos de fermentación anaerobia denominados "digestión". Los ácidos grasos se descomponen en CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. El hidrógeno reacciona con el CO<sub>2</sub> y dan también metano. El metano se extrae por un conducto.



FOSA DE TRES COMPARTIMENTOS

Hay fosas de dos compartimentos ó de tres; la relación del primero al segundo es de 1:2 en las de dos y de 1:3:6 en las de tres. Los compartimentos sirven para separar adecuadamente los sólidos de los líquidos; el paso del primero al segundo se hace en la parte inferior del tercio intermedio que es donde está la zona líquida.

Las fosas sépticas no deben recibir aguas de lluvia ni / aguas con contenido en jabones, ácidos ó alcalis; el agua de limpieza con contenido en grasas debe haber sido desengrasada. La razón de ello es que estas materias químicas destruirían las bacterias que facilitan la "digestión".

Cada seis meses se retiran los barros sólidos dejando una cantidad que asegure la continuidad del proceso con la formación de nuevos barros o fangos.

El número de usuarios (de uso continuo) para el que es interesante la fosa séptica es de 30. Por encima de este número hay que ir a alguno de los sistemas que se describen más adelante. Para 20 usuarios, la dimensión debe ser de unos 50 m<sup>3</sup>; por encima de 20, de unos 300 l/usuario.

El rendimiento típico de una fosa séptica simple es del 30% para la reducción de la DBO<sub>5</sub> y del 60% para la reducción de la materia en suspensión.

#### 4.2.1.2. Elemento complementario de depuración aerobia

Después de la fosa séptica puede haber un elemento que asegure la oxidación por depuración aerobia del efluente de la fosa, alcanzándose así rendimientos del 70% para la reducción de la DBO<sub>5</sub> y de la materia en suspensión.

Existen tres tipos distintos :-

- Lecho o filtro bacteriano
- Drenes de baja profundidad
- Plataformas vegetales absorbentes

##### 4.2.1.2.1. Filtro bacteriano

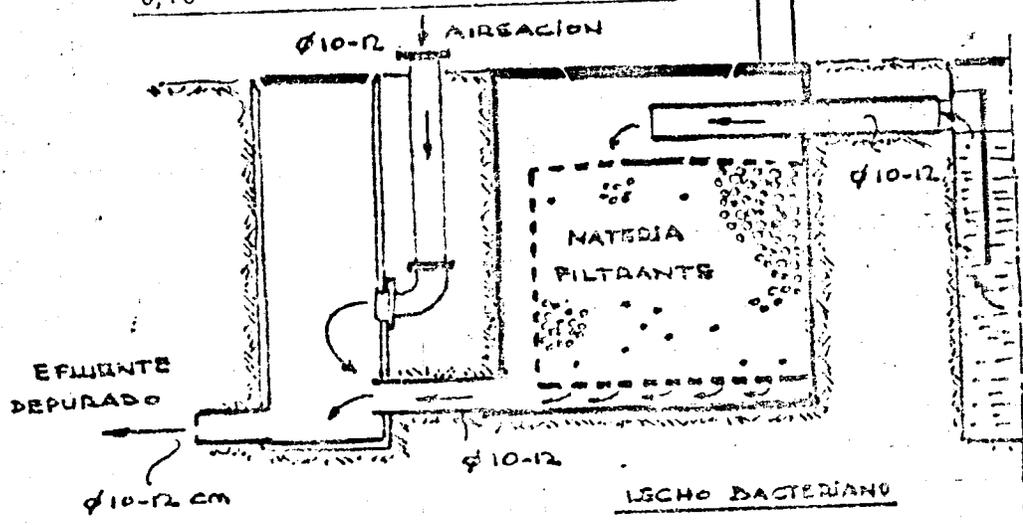
Los filtros ó lechos bacterianos están constituidos por una capa de materiales porosos (escorias, puzolanas, cok). Estos materiales, regados por el agua que procede de la fosa, se

recubren a las pocas semanas de maduración de unas películas muy ricas en colorías microbianas que aseguran la depuración.

Existen tablas para determinar la superficie del lecho en función de la altura y del número de usuarios.

H	S (Solo aguas fecales)					
	N=1-5	N=6	N=7	N=8	N=9	N>10
1,00	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	$S = \frac{N}{10H^2}$
0,90						
0,80						
0,70						

Aspirador estático con rejilla c. m.  
Ventilación alta.

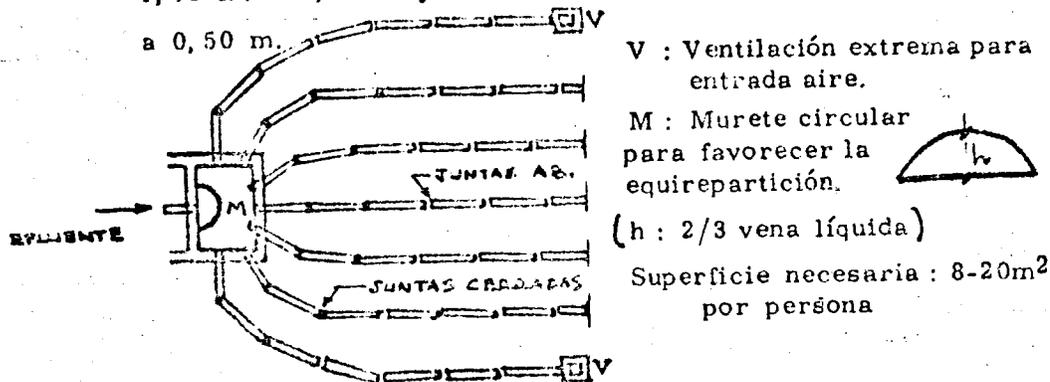


El efluente depurado se elimina al medio natural ( río, pozo de drenaje, etc) ó al colector exterior.

4.2.1.2.2. Depuración mediante drenes a poca profundidad

Antes de ir a esta solución hay que tener cuidado de evitar la contaminación de las aguas subterráneas de posible alimentación. En ningún caso se hará a menos de 35 m. de un pozo.

Los drenes están constituidos en general por tubos separados, de gres, hormigón o fibrocemento, distantes entre sí de 1,50 m. a 300 m. y situados a una profundidad de 0,40 m. a 0,50 m.



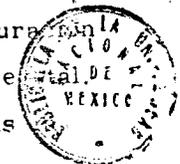
V : Ventilación extrema para entrada aire.

M : Murete circular para favorecer la equirepartición.

(h : 2/3 vena líquida)

Superficie necesaria : 8-20m<sup>2</sup> por persona

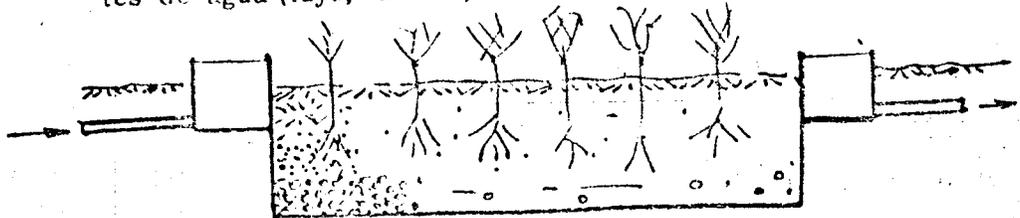
El terreno debe ser mediano, sin ser arcilla ni de una permeabilidad excesiva para que dé tiempo a la depuración por la acción oxidante de las bacterias de la capa vegetal. Esta solución es interesante porque soluciona además la eliminación del efluente.



FACULTAD DE INGENIERIA

#### 4.2.1.2.3 Depuración mediante plataforma vegetal absorbente

Se trata de una plataforma estanca de fondo horizontal, rellena de materia inerte (grava) recubierta de tierra vegetal en la que se ha preparado un cultivo de plantas muy exigentes de agua (tuya, alfalfa, helecho, legumbre, crisantemo, etc.)



Son necesarios del orden de 1-2 m<sup>2</sup> por persona. La profundidad de la plataforma será de 0,60 a 0,80 m. (0,15 - 0,20 de morro, gravilla en 0,10 m. y 0,35-0,50 m. de tierra vegetal).

4.2.2. Lechos bacterianos con decantación primaria y secundaria

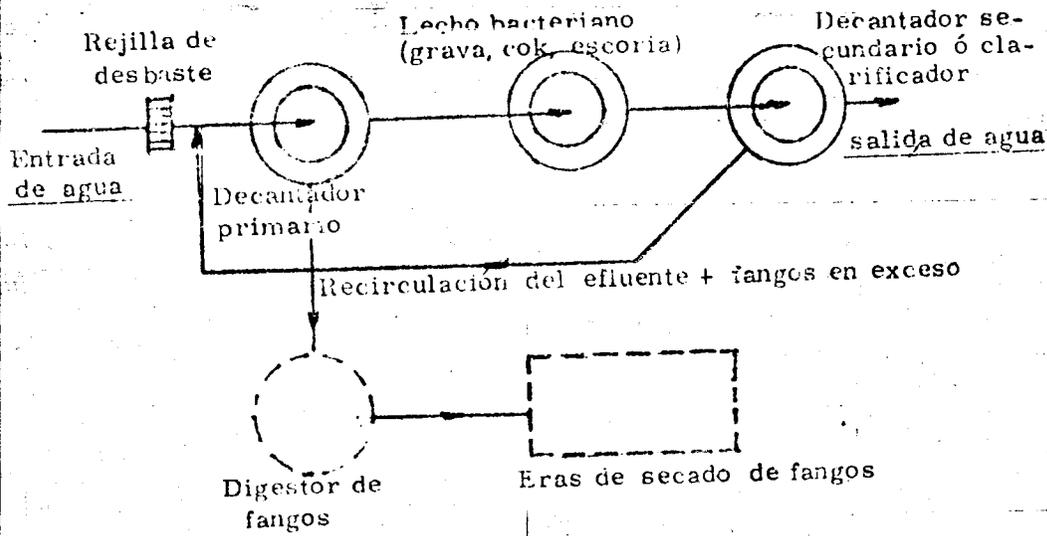
Este sistema, como el de los fangos activados (ver 4.2.3) pertenece al tipo de tratamientos que utilizan el sistema de depuración biológica aerobia y que se diferencian según la forma de lograr la oxidación de la materia orgánica.

Los lechos bacterianos, también denominados filtros bacterianos se basan para su funcionamiento en hacer caer el agua a tratar, previamente decantada en forma de lluvia sobre una masa de material poroso que sirve de soporte a los microorganismos depuradores. Se efectúa una aeración, generalmente por tiro natural, y a veces por ventilación forzada.

La aeración tiene por objeto aportar a la masa del lecho el oxígeno necesario para mantener la microflora en un medio aerobio. Las bacterias retienen la contaminación orgánica y se alimentan de ella. Se eliminan el CO<sub>2</sub> resultante en el proceso de oxidación y un exceso de materias vivas e inertes llamadas "fangos en exceso".

El valor medio del rendimiento de una instalación de este tipo es del 70% para la reducción de la DBO<sub>5</sub> y de la materia en suspensión.

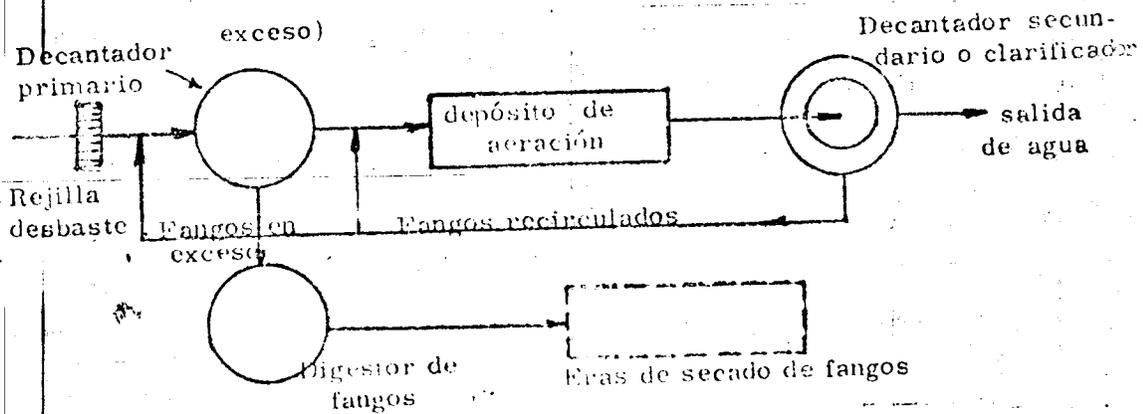
Puede aumentarse la eliminación de la DBO por recirculación sobre el filtro, del líquido tratado con lo que se produce una dilución del agua de alimentación, se realiza la auto-limpieza del lecho bacteriano y se siembran las aguas decantadas. El rendimiento puede alcanzar de esta forma el 90%. El esquema de una instalación de este tipo sería :



#### 4.2.3. Fangos activados

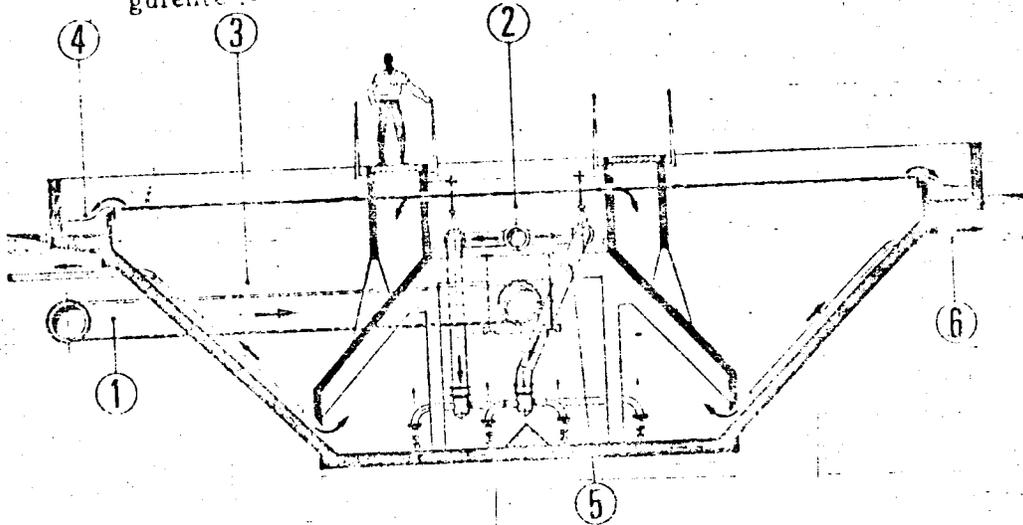
El procedimiento se basa en provocar el desarrollo en un flóculo bacteriano (fangos activados) en un depósito de aeración alimentado con agua a tratar. En este depósito se agita la mezcla (licor mixto) de forma que se mantengan los fangos en suspensión y que el líquido reciba el oxígeno necesario para la proliferación de los microorganismos aerobios.

El licor mixto se envía seguidamente a un clarificador con el fin de separar el agua tratada de los fangos y estos son devueltos, en parte al depósito de aeración, para mantener en el mismo una concentración suficiente de fangos activados (fangos recirculados o fangos de retorno). Otra parte se extrae y se evacúa hacia el tratamiento de fangos (fangos en exceso)



La aeración se consigue por agitación mecánica, por inyección de aire o por un procedimiento mixto. Los clarificadores son depósitos circulares, teniendo en el caso más perfeccionado el suelo inclinado a 45º para que los fangos se vayan concentrando en el centro donde son captados para su recirculación.

El sistema de fangos activados se puede desarrollar como hasta aquí se ha descrito, en depósitos separados o también en aparatos combinados en los que las fases de aeración y de clarificación se realizan en el interior de un mismo conjunto aunque en recintos separados. Un esquema de una de las instalaciones que utilizan este sistema puede ser el siguiente :-



- 1 - Llegada de agua a tratar.
- 2 - Cámara de aeración.
- 3 - Clarificación.
- 4 - Canal de recodo de agua tratada.
- 5 - Alimentación de aire.
- 6 - Recogida de fangos en exceso.

Los rendimientos para la reducción de la DBO<sub>5</sub> del sistema de fangos activados pueden oscilar entre el 75% y el 95%.

Sobre el principio del sistema de depuración por fangos activados, las distintas casas especializadas han desarrollado una gran cantidad de variantes y distintos aparatos para materializarlas. Dos modalidades, son por ejemplo la estabilización por contacto con recirculación y la oxidación total.

#### 4.3. Aguas industriales

Como ya se ha dicho, cada tipo de agua industrial plantea un problema particular. Nos vamos a limitar por tanto a dar una orientación muy preliminar sobre las primeras ideas a tener en cuenta en el tratamiento de unas aguas residuales de este tipo.

De una manera muy esquemática se pueden dividir las industrias desde el punto de vista de vertido en ocho grandes categorías :-

- Industrias químicas
- Industrias metalúrgicas
- Industrias mineras
- Industrias de fabricación de ácidos
- Industrias del papel y de la celulosa
- Industrias de curtidos
- Industrias textiles
- Industrias alimentarias.

Las cuatro primeras categorías dan lugar en general a efluentes no fermentables; su tratamiento es de orden químico o físico y tiene por objeto :-

- Llevar el pH a límites admisibles.
- Eliminar más o menos diversos productos tóxicos.
- Reducción de materias en suspensión.

La corrección del pH se efectúa mediante cales en distintas formas; la eliminación de sustancias tóxicas mediante reacciones químicas adaptadas a cada caso particular.

La reducción de materias en suspensión, gracias a los procedimientos ya descritos : filtrado, coagulación, decantación, eliminación de aceites por diferencia de densidad, etc.

Las cuatro últimas categorías, producen por el contrario, efluentes fermentables y los procedimientos son similares a los empleados para depurar las aguas negras; hay que tener en cuenta, no obstante,

que la demanda biológica de oxígeno es mucho más alta que en este caso.

A título indicativo se dan como dato que avala lo anterior los equivalentes material fabricado-habitantes en ciertas industrias :-

	<u>Producción</u>	<u>Habitantes</u>
Papeleras . . . . .	1 t de papel	100 - 300
Tenerías . . . . .	1 t de pieles	1000 - 4000
Conserveras . . . . .	1 t de conservas	170
Lácteas . . . . .	1000 l de leche	10 - 50
Lavado de lana . . . . .	1 t de lana	2000 - 3000
Matadero . . . . .	1 vacuno = 2,5 cerdos	70 - 200