

CAPITULO VII – 5. FILTROS DINÁMICOS

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. RESTRICCIONES PARA SU APLICACIÓN	3
3. APLICACIONES DE LOS FILTROS DINÁMICOS.....	4
3.1. VENTAJAS.....	4
3.2. DESVENTAJAS.....	4
4. INVESTIGACIONES EFECTUADAS SOBRE EL FUNCIONAMIENTO	5
4.1. EN LA PROVINCIA DE LA RIOJA	5
4.2. INVESTIGACIÓN DESARROLLADA EN CHILE	8
4.3. INVESTIGACIÓN EFECTUADA EN SUDÁFRICA	8
5. CRITERIOS DE DISEÑO DE LOS FILTROS DINÁMICOS	11
5.1. NUMERO DE UNIDADES DE UNA BATERÍA.....	11
5.2. VELOCIDAD DE FILTRACIÓN	11
5.3. DIMENSIONAMIENTO DEL ÁREA FILTRANTE DE CADA UNIDAD.....	11
5.4. LECHO FILTRANTE DE ARENA	12
5.5. MANTO SOSTÉN DEL LECHO FILTRANTE.....	12
5.6. SISTEMAS DE DRENAJE	13
5.7. ALTURA TOTAL DE LA CAJA FILTRANTE	14
5.8. PÉRDIDAS DE CARGAS	15
5.9. REGULACIÓN DE LA VELOCIDAD DE FILTRACIÓN	15
6. SISTEMA DE AUTOLIMPIEZA DE LOS FILTROS	17
6.1. RÉGIMEN HIDRÁULICO SOBRE EL LECHO DE ARENA.....	17

6.2. VELOCIDAD DE ARRASTRE O DE EROSIÓN DEL LECHO DE ARENA	18
6.3. VELOCIDAD HORIZONTAL MÍNIMA EN EL LECHO DE ARENA.....	18
6.4. CANAL GENERAL DE ACCESO A LA BATERÍA DE FILTROS	19
6.5. EQUIRREPARTICIÓN DE CAUDALES	20
6.6. SISTEMA HIDRÁULICO DE INGRESO A CADA UNIDAD FILTRANTE	21
7. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	23
7.1. OPERACIÓN NORMAL	23
7.2. MANTENIMIENTO.....	24
8. BIBLIOGRAFÍA.....	25

LISTA DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1. Esquema de una planta de tratamiento con filtros dinámicos.....	1
Figura 2. Esquema del sistema de descarga del excedente del caudal de autolimpieza de filtros dinámicos (Investigación del Ingeniero Solzona – 1992-93)	10
Figura 3. Detalle del manto sostén de grava	13
Figura 4. Sistema de drenaje de ladrillos comunes.....	14
Figura 5. Sistema de salida del líquido filtrado. Detalle de regulador de filtración.....	16
Figura 6. Equirrepartición de caudales mediante gradas de bajada	20
Figura 7. Cámara de disipación (indicada por el Ing. Solzona).....	21
Figura 8. Sistema propuesto.....	22

1. INTRODUCCIÓN

Los filtros dinámicos son una variante del filtro lento convencional. Al igual que éstos, se los considera como una de las tecnologías más simples, aún teniendo en cuenta la complejidad del proceso físico y biológico que se desarrolla dentro del medio filtrante de arena. Es una opción que se puede aplicar generalmente en áreas rurales.

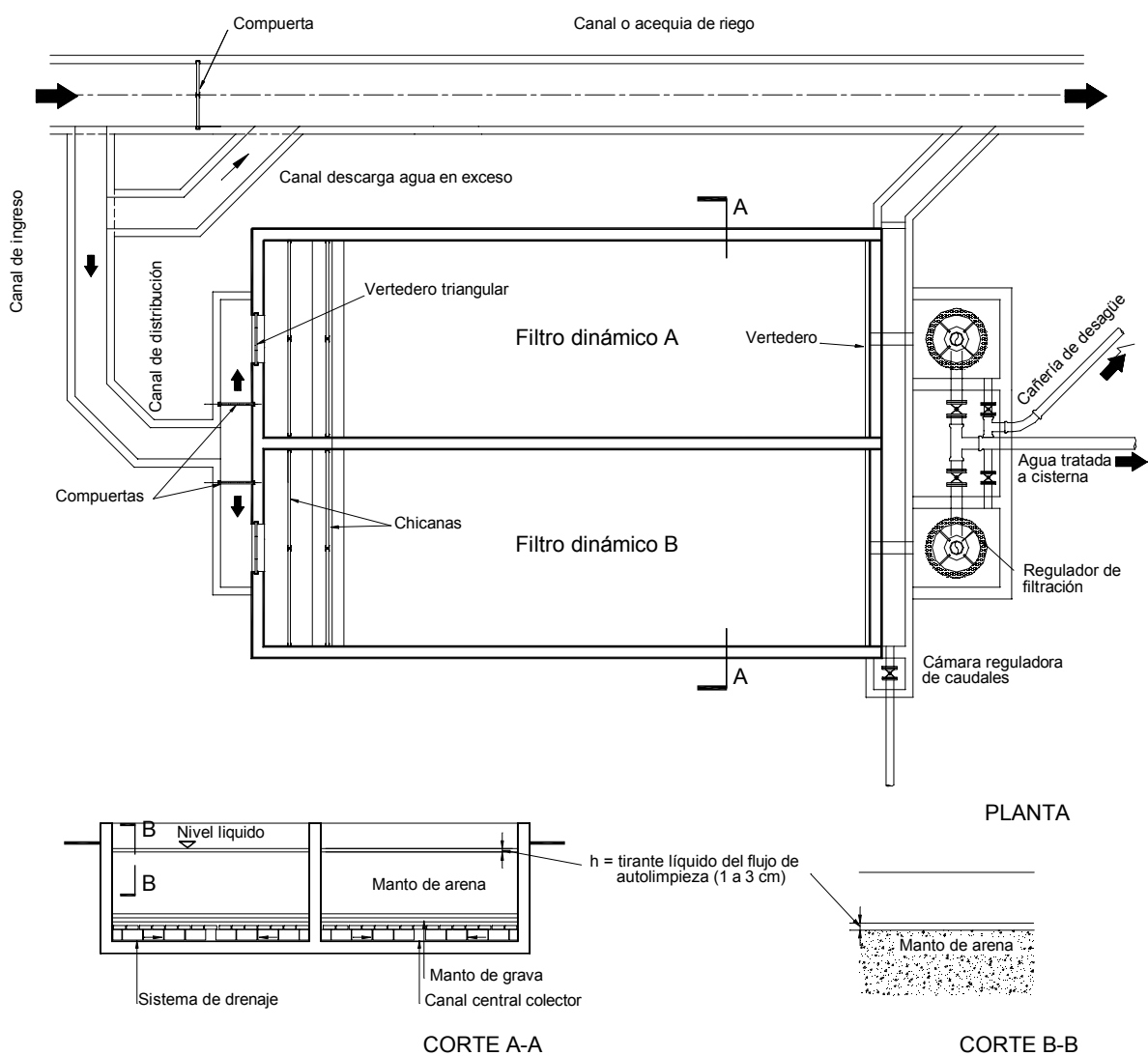


Figura 1. Esquema de una planta de tratamiento con filtros dinámicos

Las primeras experiencias fueron desarrolladas en Rusia y posteriormente en Cuba y fueron aplicadas desde 1969 en la Argentina, especialmente en las provincias de La Rioja y Catamarca. El primero que entró en operación fue el de Anillaco, La Rioja y aproximadamente hay 50 sistemas en el país funcionando con filtros dinámicos.

El sistema se materializa derivando desde un curso de agua cercano (canal de riego, acequia, arroyo, etc.), un caudal determinado que escurre longitudinalmente sobre la superficie del lecho de arena, simulando un canal de sección rectangular (Ver **Figura 1**).

Aproximadamente un diez por ciento de ese caudal que ingresa a la unidad, percola en el lecho de arena para producir agua filtrada.

La energía cinética del caudal que escurre sobre la superficie filtrante, debe ser suficiente para arrastrar impurezas depositadas sobre ella pero no debe provocar erosiones en el lecho granular de arena.

2. RESTRICCIONES PARA SU APLICACIÓN

La aplicación de filtros dinámicos en general está supeditada a las siguientes condiciones:

- Desde el punto de vista económico para muchas poblaciones no mayores a 5.000 habitantes.
- Contar con una fuente de agua cruda que tenga una capacidad no inferior a 10 veces el caudal de diseño a filtrar.
- Cumplir con requisitos de calidad del agua cruda, similares o eventualmente superiores a los filtros lentos:
 - Turbiedad no superior a 50 UT durante la mayor parte del año, con picos no mayores a 150 UT en cortos períodos.
 - Color no superior a 30 UC y eventualmente a 50 UC en cortos períodos.
 - Coliformes fecales normalmente no superior a 500 NMP/100 ml.

De acuerdo a lo mencionado, en razón de que el caudal captado debe ser 10 veces mayor que el caudal de producción, cuando la fuente se encuentre alejada y/o a una cota sensiblemente inferior, el proyecto de la impulsión hacia la planta y la derivación del excedente, puede adquirir cierta envergadura, lo que obliga a poner énfasis en el análisis de la factibilidad económica del sistema.

3. APLICACIONES DE LOS FILTROS DINÁMICOS

3.1. VENTAJAS

- Menores costos constructivos comparándolos con otros sistemas de filtración. Respecto a los filtros lentos, por tener menor volumen de la caja filtrante.
- Menores costos de explotación, ya que el operador únicamente debe controlar la velocidad del escurrimiento superficial, verificando si se erosiona el lecho de arena o no hay arrastre de las partículas depositadas. Además la limpieza ordinaria periódica (cuando se llega a la turbiedad o pérdidas de carga máximas admitidas), consiste en un simple rastrillado de la superficie o después de un tiempo relativamente prolongado, en cambiar los primeros cinco centímetros del lecho de arena.
- Diseño muy sencillo, semejante al de los filtros lentos convencionales.
- La maduración de la capa biológica sería de menor duración que en los filtros lentos convencionales, situación observada en las investigaciones realizadas, ya que es más directa la acción de la luz solar, con una capa de agua sobre el lecho de arena muy inferior a la de aquéllos.
- Normalmente admiten turbiedades más altas que en los filtros lentos convencionales debido a la autolimpieza superficial. Esa situación ha sido comprobada con valores elevados en períodos prolongados.
- No hay desarrollo algal en la masa líquida, el que generalmente tiene acción negativa en los filtros lentos clásicos.

3.2. DESVENTAJAS

- Se requieren grandes superficies filtrantes, al igual que los filtros lentos convencionales, respecto a los filtros rápidos.
- Necesitan alrededor de diez veces más caudal disponible que en los filtros lentos convencionales.
- Debido al sistema de la limpieza periódica mediante rastrillado superficial, se aconseja un ancho máximo de la caja de filtro de 2,50 m y preferentemente entre 1,50 y 1,80 m para evitar el flujo no uniforme por enrase desigual de la superficie de arena. O sea para poblaciones en donde se pueden aplicar estos filtros, se debe incrementar el número de unidades y en consecuencia los costos constructivos.
- Requieren una fuente de buena calidad y cantidad, especialmente en lo relativo a la turbiedad, color y coliformes (totales y fecales).
- Las partículas grandes ocasionan erosiones en la superficie filtrante y además es dificultoso el emparejado de la misma después de cada limpieza.

4. INVESTIGACIONES EFECTUADAS SOBRE EL FUNCIONAMIENTO

4.1. EN LA PROVINCIA DE LA RIOJA

A fin de responder sobre las dudas tenidas con las primeras unidades que venían operando desde 1969 (el primero del país fue el de Anillaco) el Servicio Nacional de Agua Potable, SNAP (actual ENOHSa) encomendó a la Dirección Provincial de Obras y Servicios Sanitarios, DIPROSS de La Rioja, una investigación sobre el comportamiento de los filtros dinámicos a fin de optimizar los nuevos diseños. A su vez se logró la colaboración de la Universidad local y de la Organización Panamericana de la Salud.

La investigación constaba de tres etapas:

- 1º Etapa: comprendía el estudio de filtros acondicionados en operación, a fin de obtener los principios básicos de funcionamiento. En base a los mejores parámetros obtenidos se diseñaron y construyeron en las cercanías de la Capital provincial, tres filtros dinámicos pilotos en paralelo (que podían variar parámetros hidráulicos) y uno lento modificado (con vertedero regulador en el efluente tratado), para estudiarlos simultáneamente.
- 2ª Etapa: estudios bacteriológicos intensivos de las distintas alternativas seleccionadas, efectuando análisis bacteriológicos y microscópicos de la capa biológica y turbiedades.
- 3ª Etapa: conclusiones y recomendaciones para el diseño y operación, sobre los parámetros básicos, formación de la capa biológica, relaciones de caudales y dimensiones, sistema de limpieza y otros aspectos relevantes.

Lamentablemente de la investigación iniciada en febrero de 1979 y que debía terminarse en abril de 1980, únicamente se completó la primera etapa y parcialmente la segunda. La tercera etapa no se cumplió y era la que debía establecer rigor técnico a los resultados y parámetros obtenidos.

Entre las conclusiones de la investigación, se destacan (sin que sean necesariamente definitivas):

- Los filtros dinámicos han demostrado ser un proceso de filtración eficiente para el tratamiento de aguas con bajos valores de turbiedad y relativos de organismos coliformes. Se determinó que con turbiedades no mayores a 50 UT en la mayor parte del año y aún con valores mayores en cortos períodos (no más de 48 horas), esas eficiencias en reducción de ambos parámetros eran aceptables.
- Como valores aceptables los tirantes líquidos del escurrimiento superficial variaban entre 0,5 y 2,0 cm, con pendientes superiores al 3 ‰ y velocidades de autolimpieza, entre 0,18 y 0,30 m/s.
- La delgada capa líquida superficial que escurre sobre el lecho de arena, ocasiona las siguientes acciones favorables:
 - El proceso aeróbico muy activo desarrollado en la capa biológica, se debería principalmente a la mayor transferencia de oxígeno ocasionado por la

- turbulencia del escurrimiento superficial, lo que no ocurre en los filtros convencionales.
- Hay una acción mayor y directa de la luz solar sobre la capa biológica, produciendo una gran eficiencia en reducción de los organismos retenidos en esa capa: bacterias, virus, parásitos, plankton, etc.
 - En el filtro lento convencional esa capa biológica se encuentra sumergida a mayor profundidad debido al gran espesor del sobrenadante. Está formada principalmente por microorganismos facultativos y anaeróbicos de menor poder bactericida y reductor de esos contaminantes. Además las algas muertas retenidas demandan oxígeno en lugar de proveerlo y colmatan prematuramente el lecho.
 - Esas situaciones indicarían en principio que los filtros dinámicos serían más eficientes bacteriológicamente y que en cambio los lentos tradicionales lo serían para reducir la turbiedad.
 - En los filtros dinámicos el desarrollo algal sería beneficioso ya que suministran oxígeno a la capa biológica y la energía cinética del escurrimiento por arrastre no permite el depósito de las algas muertas en su superficie.
- En los análisis efectuados en la operación de los tres filtros dinámicos pilotos, se observó en general que la eficiencia en la reducción de la turbiedad y de los organismos coliformes, fue superior a los determinados en el filtro lento piloto de la investigación.
 - Normalmente durante las carreras de los filtros dinámicos investigados, la turbiedad no pasaba de 1 UT. En cambio recién a las 24 horas del inicio de los mismos, se tenían valores aceptables de los organismos coliformes, o sea que se consideraba ese el período de "maduración" (formación de la capa biológica activa).
 - Las eficiencias en reducción de la turbiedad y en particular de los organismos era satisfactoria en promedio, durante 10 días de las carreras. A partir de ese período ambos parámetros de calidad se desmejoraban. O sea se daba por cumplida la carrera cuando la pérdida de carga promedio era de 0,25 m (se diseñaron para 0,50 m).
 - Se observó en los filtros existentes que durante varios años (en algunos casos 13 años) con buena operación, la introducción en el lecho de la turbiedad y de las partículas alcanzaba un espesor entre 0,05 y 0,15 m desde la superficie. Esa situación podría indicar que se requieren espesores no mayores a 0,40 m del manto de arena filtrante.
 - La limpieza de los filtros colmatados mediante el rastrillado superficial, con una profundidad no mayor a 2 cm, permite el arrastre de la suciedad acumulada, evitando su ingreso en el lecho de arena como ocurre en los filtros lentos convencionales, aspecto que los diferencian.
 - Debido al pequeño tirante líquido del escurrimiento superficial, se pueden normalmente tener pérdidas de carga negativas; pero no se detectaron dificultades operativas por esa situación.
 - El falso fondo de ladrillos comunes y de dos capas de gravilla de 10 cm cada una, ofrece seguridad.

- El regulador de filtración telescópico con flotante, explicado en el Numeral 5.9 "Estructura de Salida del Líquido Filtrado" del presente Capítulo, significa un elemento básico en la operación de los filtros dinámicos, máxime si se lo complementa con un regulador de caudal de la solución desinfectante a ubicar en las reservas de agua tratada.
- En la segunda etapa no concluida de la investigación se comenzó a variar las pendientes de la superficie del lecho de arena y por ende las velocidades y condiciones de autolimpieza en cada unidad piloto. La finalidad era la de reducir la relación caudal de agua cruda afluente al filtro y el caudal filtrado, de 10:1 aplicado empíricamente en los filtros dinámicos existentes, hasta una relación 5:1. Si bien visualmente se tuvieron resultados aceptables, no se pudo arribar a conclusiones valederas para ese fin. La reducción de esa relación tendría las siguientes ventajas:
 - Contar con fuentes de menor capacidad en lo relativo a caudales, o sea tener mayores posibilidades de proyectar filtros dinámicos en el área rural donde se tenga déficit hídrico.
 - Reducir la capacidad de conducción y consecuentemente los costos constructivos y particularmente también los operativos si se debe impulsar el agua cruda.
 - Posibilidad económica de proyectar un pretratamiento (presedimentación y/o prefiltración), cuando la fuente contiene aguas que superan los parámetros de calidad exigidos en filtros dinámicos (turbiedad, color, organismos coliformes, algas, etc.).
- Otro parámetro que debía investigarse en la tercera etapa, aunque no de la importancia de la relación arriba desarrollada, era la relación largo - ancho de la caja filtrante de 5:1, utilizada empíricamente en los filtros dinámicos existentes. En éstos se observó que la relación era favorable en unidades de poca superficie por tener anchos compatibles con la facilidad de la limpieza superficial periódica (no mayor de 2,40 m), pero significaba un mayor número de unidades en sistemas medianos y grandes (de mayor área filtrante). Otro factor cuestionado era la longitud resultante de esa relación, ya que unidades de gran longitud tenían mayor desnivel entre el ingreso y la salida, lo que producía problemas en el lecho de arena (tendencia a horizontalizar la superficie y acumulación de material arrastrado).
- Los sistemas diseñados para amortiguar la energía cinética en el ingreso a cada unidad, no han sido eficientes, ya que se producen erosiones de la superficie del lecho arenoso en los primeros tramos del canal de autolimpieza.
- Entre las dudas que quedaron para investigar se destacan las siguientes:
 - Velocidad del flujo superficial óptima para la autolimpieza, aunque los mejores resultados se obtuvieron con valores de 0,18 a 0,25 m/s.
 - Formación real de la capa biológica: características y tiempo para su formación durante una carrera.
 - Resultados más concretos sobre la comparación con los filtros lentos tradicionales, especialmente en la reducción de turbiedad y coliformes totales. Es conocido que ambos tipos de filtros no son eficientes en reducir color.

- Verificar si trabaja parte o la totalidad del lecho de arena, a fin de poder diseñar filtros dinámicos con menor espesor del manto, teniendo en cuenta si las partículas depositadas penetran en ese lecho o quedan retenidas en la superficie.
- Velocidades de filtración, ya que las velocidades aplicadas entre 0,10 y 0,15 m/h pueden aumentarse.

En su Informe de Visita del Ing. Antonio Carlos Rossin, Consultor de la OPS, realizada entre el 3 y el 8 de diciembre de 1983, expresaba los siguientes conceptos:

- Los filtros dinámicos se han mostrado como procesos eficientes para tratamiento del agua, en lugares donde la calidad del agua cruda es buena: con bajos valores de turbiedad y de organismos coliformes.
- Los filtros pilotos, tres dinámicos y uno lento de comparación, reunían todas las condiciones técnicas para lograr buenos programas de experimentación.
- Los promisorios resultados obtenidos durante la investigación han sido suficientemente alentadores, esperando su divulgación en la comunidad científica argentina, sudamericana y mundial. También se recomienda que el Servicio Nacional de Agua Potable, SNAP (actual Ente Nacional de Obras Hidráulicas de Saneamiento, ENOHSA), los divulgue para que se sigan implantando en las provincias, especialmente en el área rural.
- La técnica de filtros dinámicos se muestra bastante sencilla, con bajo costo de inversiones en la etapa de operación y mantenimiento, siendo una tecnología que pasa a ser de interés en los países en desarrollo.

4.2. INVESTIGACIÓN DESARROLLADA EN CHILE

El Ing. D. Rodríguez en su trabajo “Análisis de la eficiencia de filtros dinámicos para tratamiento de agua potable” de la Universidad de Chile – 1977, publicó el resultado de una experiencia realizada en ese país. Las primeras conclusiones eran que no fueron tan eficientes, aunque debían continuarse los estudios, especialmente los bacteriológicos.

4.3. INVESTIGACIÓN EFECTUADA EN SUDÁFRICA

El Ing. Felipe Solzona efectuó estudios en una unidad piloto, realizados en Pretoria entre 1992 y 1993, con el auspicio del Council for Scientific and Industrial Research, CSIR. Las conclusiones fueron publicadas por la Organización Panamericana de la Salud, OPS, Documento Técnico S-2 de la Representación del Brasil, con el título de “Filtração Dinâmica”.

Entre las conclusiones se llegaron a los siguientes parámetros:

- La relación entre el caudal de ingreso y el filtrado puede variar entre 5 y 15.
- La relación entre la longitud y el ancho de la caja filtrante se estima entre 3 y 6.

- La velocidad media del escurrimiento superficial, calculada con la fórmula de Manning, con $n = 0,03$, puede estar comprendida entre 0,05 y 0,20 m/s.
- La inclinación de la superficie del lecho de arena, puede variar entre 0,1 y 2,5 ‰.
- El tirante líquido mínimo del sobrenadante debe ser de 10 mm.
- La velocidad de filtración puede estar entre 0,10 y 0,30 m/h.
- El biofilm superficial o capa biológica activa, schmutzdecke, es el principal factor responsable de la remoción de la contaminación orgánica viva del líquido crudo. Los granos se recubren de zooglea, especie de gelatina formada por colonias de organismos: plankton, protozoarios, rotíferas, bacterias, etc., que tienen una gran actividad biológica al atrapar y digerir la materia orgánica del agua que se infiltra, produciendo compuestos más estables.
- La maduración de esa película biológica es más rápida en el filtro dinámico que en el tradicional. La investigación obtuvo resultados que indicaban que en un filtro dinámico se tardaba un día para reducir los coliformes totales en un factor de 10^2 y dos días para un factor de 10^3 . En cambio para lograr una reducción de esos factores, en el filtro lento convencional se tardaba respectivamente dos o tres días. Las razones de esa situación son:
 - El régimen turbulento del escurrimiento superficial de autolimpieza sería la justificación del desarrollo más rápido de la capa biológica activa, schmutzdecke, al incorporar aire. Esa situación no se produce tan rápido en la masa líquida estática del sobrenadante del filtro lento, especialmente por su espesor en relación al del filtro dinámico.
 - La acción solar más directa sobre la superficie filtrante, por ser pequeña, la lámina líquida de ese escurrimiento de autolimpieza, puede tener un efecto positivo en el crecimiento del biofilm de la capa biológica.
- El período de maduración más corto de los filtros dinámicos asegura dos aspectos importantes:
 - Que el filtro puede producir un efluente casi libre de microorganismos a continuación de su limpieza.
 - Que los granos de schmutzdecke no pierden la membrana de zooglea o biofilm, a pesar de la agitación y fricción que se produce con la limpieza por el rastrillado que se requiere en la operación normal de los filtros dinámicos, o sea que se estima hipotética la destrucción de esa capa biológica activa.
- La situación anterior aconseja que la limpieza se realice como máximo cada dos días, sin esperar llegar la carrera a tener la máxima pérdida de carga de diseño.
- Se establecen directrices de remoción:
 - Turbiedad: 75% para $UT \leq 50$.
 - Color: 25% para $UC \leq 5$ a 10.
 - Bacterias coliformes: entre 3 y 4 ciclos logarítmicos (10^{-3} y 10^{-4}).
- Se propone un nuevo diseño del ingreso a cada unidad, reemplazando el usado anteriormente, que produce erosiones en el primer tramo de la superficie arenosa del

filtro, por una cámara de disipación de la energía cinética ocasionada por el caudal de entrada. Una chicana transversal divide en dos sectores a la cámara, en donde el orificio sumergido permite unificar los filetes líquidos y su ascenso a un vertedero de ingreso al lecho de arena. En la **Figura 6** y **Figura 7** se desarrollan esquemas de sistemas de ingreso.

- La salida del efluente tratado y del caudal de escurrimiento del autolavado son semejantes a los del diseño original, salvo que se proyecta una cámara colectora de la arena arrastrada por el flujo excedente de autolimpieza. (Ver **Figura 2**).
- La salida del efluente únicamente se realiza mediante un regulador de filtración, compuesto por un sistema telescópico con flotante, según la **Figura 5**.
- La descarga del caudal excedente correspondiente al escurrimiento de autolimpieza, se efectúa a una cámara colectora del agua arrastrada en ese flujo. El esquema de esa descarga se desarrolla en la **Figura 2**.
- El régimen hidráulico, lecho arenoso, grava y drenes son también semejantes a los proyectos originales.

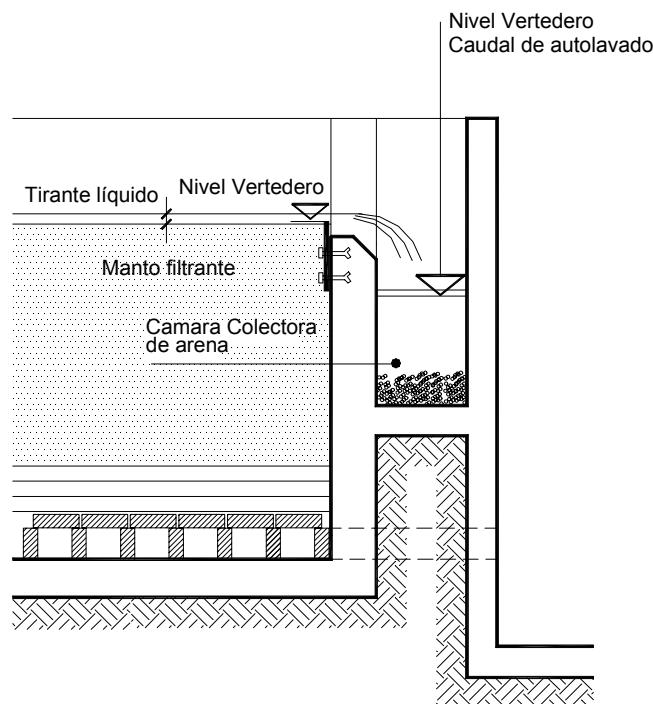


Figura 2. Esquema del sistema de descarga del excedente del caudal de autolimpieza de filtros dinámicos (Investigación del Ingeniero Solzona – 1992-93)

5. CRITERIOS DE DISEÑO DE LOS FILTROS DINÁMICOS

5.1. NUMERO DE UNIDADES DE UNA BATERÍA

$N_f = Q_F / (U_f \cdot A_f)$ = número de unidades de una batería, donde:

Q_F = caudal total de diseño a filtrar = caudal máximo diario de la batería en el final del período de diseño (m^3/h)

U_f = velocidad de filtración adoptada (m/h)

A_f = área de la caja filtrante de cada unidad = área del lecho filtrante de arena (m^2)

5.2. VELOCIDAD DE FILTRACIÓN

La velocidad de filtración en los filtros dinámicos depende principalmente de la turbiedad. El Ing. José M. Azevedo Netto aplica para filtros lentos una fórmula empírica, desarrollada en el manual del Curso sobre Tecnología de Tratamiento de Agua para Países en Desarrollo, del CEPIS - Lima, Perú -1977.

$U_f = 20 / UT^{1/2}$ = velocidad de filtración (m/d), siendo:

UT = turbiedad normal en la mayor parte del año para el líquido crudo, con picos máximos de 150 UT durante un período no mayor a 48 horas

Así se tiene para las velocidades límites aceptadas:

- Para $U_{f\text{mín}} = 0,10 \text{ m/h} = 2,4 \text{ m/d}$, sería $UT = 69,4$
- Para $U_{f\text{máx}} = 0,30 \text{ m/h} = 7,2 \text{ m/d}$, sería $UT = 7,7$

Por seguridad se aconsejan velocidades entre 0,10 y 0,20 m/h . El valor de 0,30 m/h sería únicamente para aguas muy claras durante todo el año.

5.3. DIMENSIONAMIENTO DEL ÁREA FILTRANTE DE CADA UNIDAD

$Q_f = Q_F / N_f$ = caudal de diseño a filtrar en cada unidad de la batería de N_f filtros (m^3/h o m^3/d)

$A_f = Q_f / U_f = L \cdot B$ = área del lecho filtrante (m^2), donde:

$U_f = q$ = velocidad de filtración, o carga hidráulica sobre el lecho de arena, que puede variar entre 0,10 y 0,15 m/h de acuerdo a la calidad del agua cruda, preferentemente el primer valor.

L = longitud de la caja filtrante de base rectangular, donde se ubica el manto de arena = longitud del canal de autolimpieza o sobrenadante del filtro (m)

Para $r = L/B$ = relación entre la longitud L (m) y el ancho B (m), se tiene que

$$B = \frac{A_f}{L} = \frac{A_f}{rB} \therefore B = (A_f / r)^{1/2} = \text{ancho de la caja filtrante} = \text{ancho del canal.}$$

De acuerdo a experiencias de filtros dinámicos en operación se adoptan los siguientes parámetros:

$$r = L/B = 5 = \text{relación longitud – ancho}$$

$$B_{\text{máx}} = 2,50 \text{ m} = \text{ancho máximo considerando el sistema de limpieza por rastrillado}$$

$$B_{\text{mín}} = 1,50 \text{ m} = \text{ancho mínimo para no tener un gran número de unidades proyectadas en una batería y además no tener filtros de gran longitud } L$$

$$L_{\text{máx}} = r \cdot B_{\text{máx}} = 5 \cdot 2,50 = 12,50 = \text{longitud máxima aconsejada}$$

$$L_{\text{mín}} = r \cdot B_{\text{mín}} = 5 \cdot 1,50 = 7,50 \text{ m} = \text{longitud mínima aconsejada}$$

5.4. LECHO FILTRANTE DE ARENA

Debe estar constituido por arena silíceá lavada previamente a su colocación en la caja del filtro.

$$H_a = 0,50 \text{ a } 0,70 \text{ m} = \text{altura o espesor del medio filtrante de arena.}$$

$$T_e = 0,25 \text{ a } 0,35 \text{ mm} = \text{tamaño efectivo del lecho arenoso, con tamaños límites entre } 0,2 \text{ y } 1,10 \text{ mm, siendo conveniente colocar el tamaño menor en la capa superficial de } 0,15 \text{ m de espesor.}$$

$$C_u \cong 2 = \text{coeficiente de uniformidad preferible, con un máximo permisible de } 3.$$

5.5. MANTO SOSTÉN DEL LECHO FILTRANTE

Depende del sistema de drenaje adoptado, con el que en conjunto constituye el falso fondo del filtro (Ver **Figura 3**).

Para el sistema de ladrillos y bloques porosos:

- Capa superior, en contacto con el lecho de arena: espesor 5,0 a 10,0 cm y arena gruesa, con tamaños entre 1,0 y 2,0 mm.
- Capa intermedia: espesor 5,0 a 10,0 cm y gravilla con tamaños entre 2,0 y 4,0 mm.
- Capa inferior, sobre el sistema de drenaje: espesor 5,0 a 10,0 cm y grava con tamaños entre 4,0 y 6,0 mm.

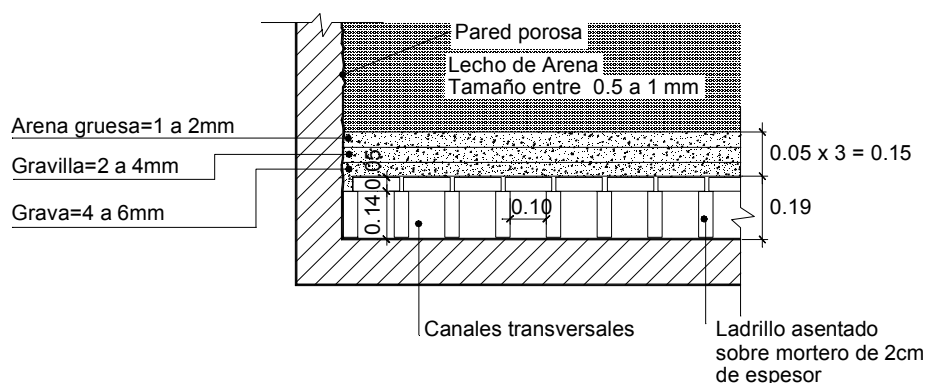


Figura 3. Detalle del manto sostén de grava

Para conductos perforados y tejas perforadas:

- Capa superior de gravilla, de 5,0 a 10,0 cm de espesor y tamaños entre 2,0 y 5,0 mm.
- Capa intermedia de gravilla de 5,0 a 10,0 cm de espesor y tamaños entre 5,0 y 10,0 mm.
- Capa inferior de grava, de 15,0 cm de espesor y tamaños entre 10,0 y 25 mm.

5.6. SISTEMAS DE DRENAJE

De ladrillos comunes estándar

Ha sido el más utilizado hasta el presente con buenos resultados. Es igual al utilizado para filtros lentos y está constituido por dos capas o sectores con ladrillos normalmente de 23,0 cm de largo, 12,0 cm de ancho y 5,0 cm de espesor. (Ver **Figura 4**).

- Sector superior: sirve de apoyo al lecho de sostén. Está conformado con ladrillos colocados en forma de soga o plana, sobre el sector inferior con junta abierta que no permite el pasaje del menor tamaño de la capa inferior de grava (4 mm).
- Sector inferior: apoyado en la solera de la caja del filtro con mortero cementicio, los ladrillos constituyen hileras perpendiculares al eje longitudinal y central de la caja al ser colocados de canto. Entre esas hileras se forman canales de drenaje, de 18,0 cm de ancho y 14 cm de altura.
- Un canal colector recibe el aporte del líquido filtrado transportado por esos canales laterales. Está situado en el eje longitudinal central de la solera del filtro y se comunica con la cámara colectora exterior mediante orificio y cañería. Tiene un ancho de 20,0 cm y la misma altura que los canales laterales.

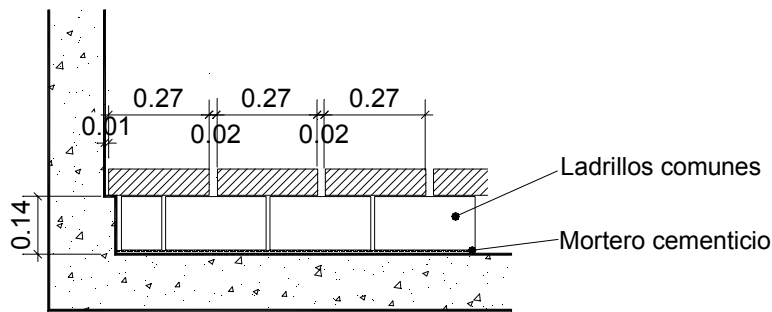


Figura 4. Sistema de drenaje de ladrillos comunes

De conductos perforados

Es un sistema de caños perforados, denominados laterales que desembocan en un colector central o múltiple.

Los orificios de ingreso tienen un diámetro entre 2,0 y 3,0 mm, y se calculan con una velocidad entre 0,3 y 0,5 m/s.

Los laterales se separan con distancias entre 0,50 m y 1,50 m.

Bloques porosos prefabricados

Su disposición y capa de gravilla son semejantes al sistema con ladrillos comunes.

Tejas perforadas

También se disponen como los ladrillos pero tienen las mismas capas de gravilla y grava que los caños perforados, aunque se puede obviar la capa intermedia inferior. En el Capítulo VII Planta de Potabilización - Numeral 4 Filtración Lenta de las presentes Fundamentaciones se exponen Figuras de estos sistemas.

5.7. ALTURA TOTAL DE LA CAJA FILTRANTE

De arriba hacia abajo se tienen los siguientes sectores:

$H_0 = 0,20 \text{ a } 0,30 \text{ m}$ = distancia entre el coronamiento y el nivel líquido

$H_L = 0,006 \text{ a } 0,025 \text{ m}$ = tirante líquido del escurrimiento de autolimpieza

$H_a = 0,50 \text{ a } 0,70 \text{ m}$ = espesor del manto filtrante de arena

$H_g = 0,10 \text{ a } 0,45 \text{ m}$ = espesor del manto sostén de piedras (gravilla y grava)

$H_d = 0,15 \text{ a } 0,19 \text{ m}$ = altura del sistema drenante (respecto a la solera del filtro)

$H = 0,96 \text{ a } 1,65 \text{ m} =$ altura total de la caja de cada filtro

5.8. PÉRDIDAS DE CARGAS

El proceso de filtración es semejante en los filtros dinámicos y filtros lentos, ya que en ambos el flujo dentro del manto de arena y en la grava es de régimen laminar.

De allí que se aplique lo desarrollado en el punto "Pérdidas de Carga" del Capítulo VII Planta de Potabilización Numeral 4 "Filtración Lenta" de la presente Fundamentación.

Respecto a los niveles líquidos se tiene que variarán en la cámara de salida y que el mínimo puede estar debajo del nivel superficial del lecho de arena. Esa posible pérdida de carga negativa (como máximo entre 0,30 y 0,40) no ha ocasionado problemas en la calidad efluente, de acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación y en los filtros dinámicos existentes.

En el manto de soporte de grava o gravilla, se puede calcular la pérdida de carga en forma similar a la del lecho de arena, ya que el flujo normalmente es de régimen laminar.

Otra expresión práctica dada por autores es:

$H_g = U_f \cdot h_g / 3 =$ pérdida de carga (m), para la velocidad de filtración U_f ($\text{m}^3/\text{d} \cdot \text{m}^2$) y espesor del manto de grava h_g (m)

En orificios y compuertas se tiene:

$H_o = K \cdot U_o^2 / 2g$ (sen α $K=1$) = pérdida de carga (m), para:

$U_o = Q_o / A_o =$ velocidad de pasaje por la sección del orificio (m/s) siendo:

$A_o =$ sección de pasaje por el orificio considerado (m^2)

$Q_o =$ caudal de pasaje por el orificio (m^3/s)

5.9. REGULACIÓN DE LA VELOCIDAD DE FILTRACIÓN

Únicamente se realiza mediante el sistema telescópico desarrollado en el Capítulo VII Planta de Potabilización Numeral 4 "Filtración Lenta" y que se esquematiza en la **Figura 5**.

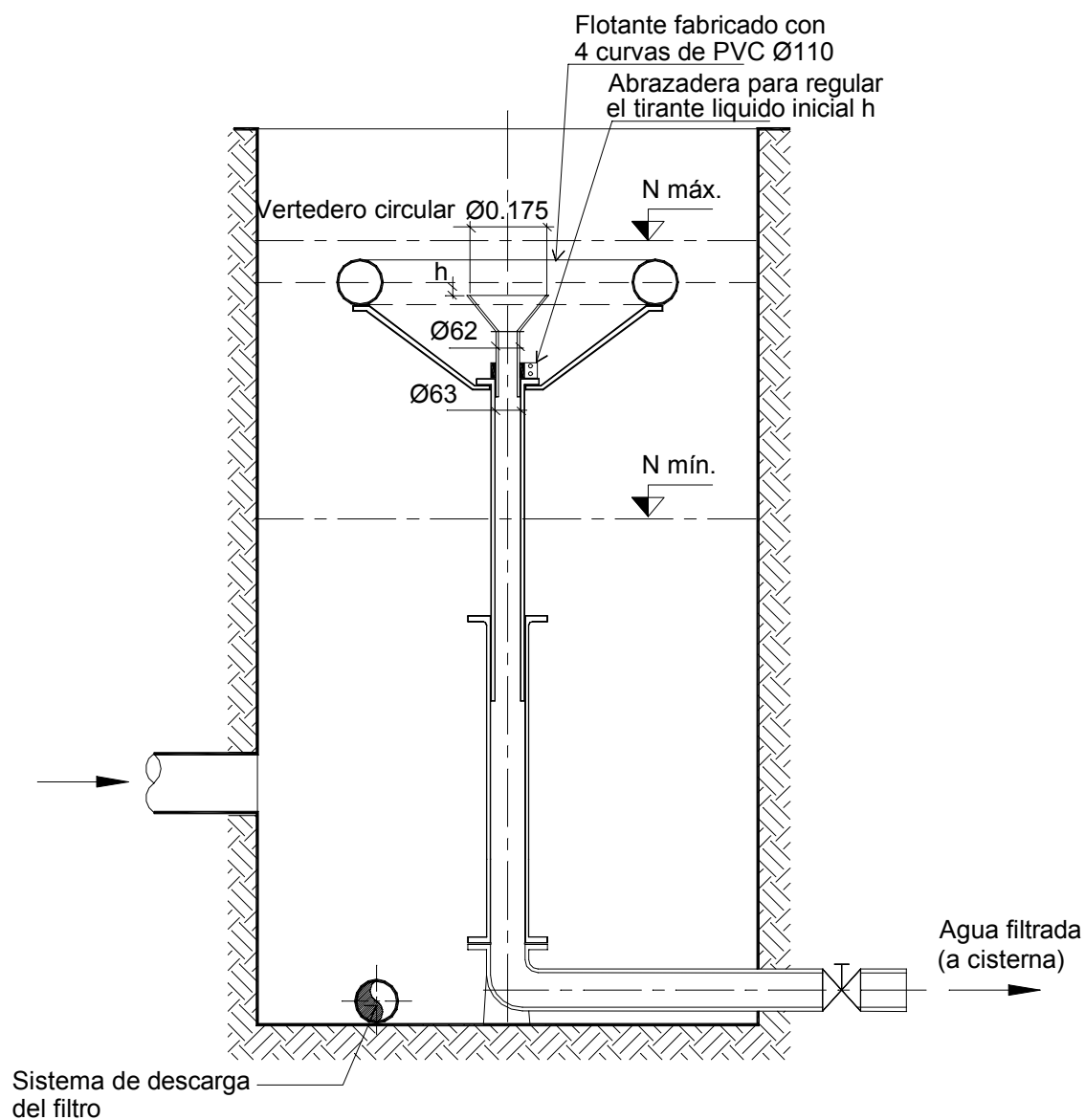


Figura 5. Sistema de salida del líquido filtrado. Detalle de regulador de filtración

6. SISTEMA DE AUTOLIMPIEZA DE LOS FILTROS

6.1. RÉGIMEN HIDRÁULICO SOBRE EL LECHO DE ARENA

La superficie del filtro constituye en esencia, un canal rectangular cuyo fondo es el material granular del lecho de arena. En consecuencia las dimensiones de ese canal de autolimpieza, son:

$B_c = B = 1,50 \text{ a } 2,50 \text{ m}$ = ancho del canal que es igual al de la caja del filtro.

$L_c = L = 5 B_c$ = longitud de ese canal (m), siendo 5 la relación adoptada hasta el presente entre ambas dimensiones (L_c y B_c).

h = tirante líquido medio (m), del canal de autolimpieza, calculado con el promedio del canal de ingreso Q_A y de descarga del caudal excedente Q_D

Se tiene que:

$Q_A = R \cdot Q_f$ = caudal de aproximación o ingreso al canal de autolimpieza, siendo:

Q_f = caudal a filtrar, (m^3/s)

$R = Q_A / Q_f$ = relación entre el caudal total de ingreso Q_A y el filtrado. Q_f , que puede variar entre 5 y 10 (el valor de 10 es el utilizado en los proyectos).

$Q_D = Q_A - Q_f$ = caudal excedente del canal de autolimpieza, descargado sobre el vertedero frontal, al final del mismo.

En consecuencia aplicando la fórmula de Francis para el vertedero de descarga del caudal Q_D (m^3/s) y longitud $L_v = B_c$ (m), se tiene: $h_v = h = (Q_D / 1,62 B_c)^{2/3}$ = carga hidráulica sobre el vertedero (m).

Se aplica la fórmula de Manning para conocer los parámetros del escurrimiento. Para $n = 0,02$ = coeficiente de rugosidad correspondiente a un lecho no cohesivo y gelatinoso, por la zooglea que recubre los granos superficiales del lecho (se disminuye el coeficiente 0,03 de un lecho granular por esa causa), se tiene:

$$i = (n \cdot U_s / R^{2/3})^2 = (n \cdot U_s / h^{2/3})^2 = (0,02 U_s / h^{2/3})^2 = \text{pendiente del canal de autolimpieza (m/m')}$$

donde:

$U_{au} = Q_e / (h \cdot B_c)$ = velocidad media del escurrimiento en el canal de autolimpieza

h = tirante medio en el canal de autolimpieza de ancho B_c y longitud L_c , generalmente entre 0,1 y 2,0 cm (debiendo ser verificado)

Q_e = caudal de diseño del escurrimiento en el canal = caudal promedio entre el caudal de ingreso Q_A y el de descarga del excedente Q_D (m^3/s)

$R = h \cdot B_c / (2h + B_c)$ = radio hidráulico aproximadamente igual a h = tirante líquido del escurrimiento (m), ya que su valor es casi despreciable respecto al ancho B_c (m) del canal de autolimpieza

$Ah = L_c \cdot i$ = desnivel entre cotas de entrada y salida de la superficie filtrante o sea del canal (m)

Las experiencias indicaron valores cercanos de $i = 6 \text{ ‰} = 0.006 \text{ m/m}$ para tener un caudal $Q_f = 0,10 Q_A$ = caudal a filtrar (m^3/s).

6.2. VELOCIDAD DE ARRASTRE O DE EROSIÓN DEL LECHO DE ARENA

Hay métodos y recomendaciones que determinan las velocidades máximas $U_{\text{máx}}$ (m/s) según el diámetro promedio del lecho d_m (mm).

Según Meyer Peter – Muller: $U_{\text{máx}} = 0,18 \text{ m/s}$ para $d_m = 0,25 \text{ mm}$ y $0,30 \text{ m/s}$ para $d_m = 0,50 \text{ mm}$

Datos experimentales rusos: $U_{\text{máx}} = 0,305 \text{ m/s}$ para $d_m = 0,25 \text{ mm}$ y $0,406 \text{ m/s}$ para $d_m = 0,50 \text{ mm}$

Recomendaciones de Fortier y Scoley: $U_{\text{máx}} = 0,457 \text{ m/s}$ para lechos de arena fina, con coeficiente de rugosidad de Manning de 0,02 y agua limpia (con escasa materia suspendida)

Considerando que los valores discrepan, se recomienda tomar para la velocidad de arrastre U_a entre 0,20 y 0,30 m/s, para evitar el arrastre de los granos superficiales del lecho de arena.

6.3. VELOCIDAD HORIZONTAL MÍNIMA EN EL LECHO DE ARENA

A fin de evitar la sedimentación de partículas suspendidas (arcillas, limos, arenas finas, vegetación acuática, etc.), hay que tener velocidades de escurrimiento horizontal sobre el lecho de arena que no superen a la mínima compatible con varios parámetros: granulometría del lecho, concentración de sólidos en suspensión en el flujo, tirante líquido y otros factores hidráulicos.

La determinación de esa velocidad mínima del escurrimiento superficial es incierta. Kennedy hizo experiencias sobre el arrastre y sedimentación en condiciones naturales y propuso la siguiente expresión:

$U_{\text{mín}} > \beta \cdot h^{0,66}$ = velocidad media límite cuando no se producen depósitos (m/s), donde:

h = tirante líquido en el canal (m)

β = coeficiente que depende de las características del material en suspensión del escurrimiento.

Así se tiene:

$\beta = 0,53$: para limo muy fino.

$\beta = 0,58$: para arenas finas y mezcla de suelos de partículas de regular tamaño.

$\beta = 0,64$: para arena con alto contenido de finos y humedad.

$\beta = 0,70$: para mezcla de suelos de partículas de regular tamaño.

Así para aguas comunes que utilizan filtros dinámicos, se tiene que para $\beta = 0,58$ y $h = 0,015\text{m}$: $U_{\text{mín}} \cong 0,04 \text{ m/s}$, (valor bajo).

En las experiencias rusas, se dedujo:

$U_s = 0,5 U_a$ = velocidad de sedimentación (m/s), siendo:

$U_a = (8k \cdot g (\delta_s - 1) \cdot d/f)$ = velocidad de arrastre o máxima admitida (m/s); expresión dada por Camp, en donde:

$K = 0,04$ para partículas discretas.

$\delta = 2.60 \text{ gr/cm}^2$ = peso específico de las partículas.

$d > 0,1 \text{ mm}$ = tamaño de las partículas.

$f = 0,06$ = coeficiente.

La diferencia de cotas de la superficie del lecho de arena entre el inicio y el final del canal (caja del filtro) del escurrimiento horizontal de autolimpieza, define la pendiente de esa superficie. La misma debe calcularse de tal manera que cualquier variación de ese caudal de autolimpieza no produzca velocidades inferiores a la de 4,6 cm/s determinada por Kennedy, que evita la sedimentación de partículas arrastradas por el flujo. Hay que tener cuidado en llegar a estos valores bajos a fin de evitar la sedimentación de partículas.

6.4. CANAL GENERAL DE ACCESO A LA BATERÍA DE FILTROS

Su diseño es semejante al de los filtros lentos. Lo normal es la conducción en canales de sección rectangular.

$A = Q_i / U = b \cdot h$ = sección mojada en el escurrimiento (m^2), siendo:

$Q_i = r \cdot Q_f$ = caudal de ingreso (m^3/s).

$r = Q_i / Q_f$ = relación entre el caudal de ingreso Q_i y el filtrado Q_f

h = altura líquida en el canal (m).

$b = 2h$ = ancho del canal (m).

$U = 0,50 \text{ m/s}$ = velocidad del flujo (m/s), admitida para evitar sedimentación de partículas.

$H = 1,4 h$ = altura total del canal, con 40% de h para las sobreelevaciones.

$i = (n \cdot U / R^{2/3})^2$ = pendiente de la solera del canal (m/m).

$n = 0,016$ = coeficiente de rugosidad para paredes de hormigón de Manning.

$R = b \cdot h / (2h + b)$ = radio hidráulico (m).

Hay que recalcular el régimen hidráulico para los caudales iniciales de la operación.

6.5. EQUIRREPARTICIÓN DE CAUDALES

Hay varios sistemas, entre los cuales se tiene el de la grada de bajada con resalto alejado al pie, deducido por Domínguez en su manual de Hidráulica. El inconveniente es la pérdida de nivel de esa grada. (Ver **Figura 6**).

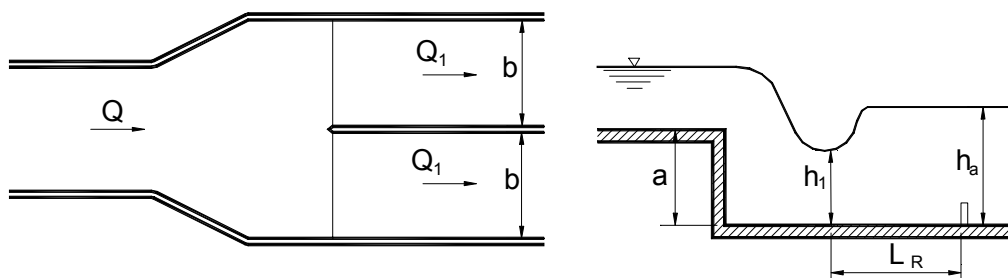


Figura 6. Equirrepartición de caudales mediante gradas de bajada

Q_i = caudal de ingreso a cada unidad (m^3/s)

a = altura de la grada (m)

b = ancho de la grada (m) que debe ser igual en todos los canales de derivación a cada filtro.

$h_c = (q^2 / g)^{1/2}$ = altura crítica (m), para $q = Q_i / b$ = caudal unitario de cada unidad ($\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$)

$K = a / h_c$ = altura relativa de la grada.

$X_1 = 0,56 K^{-1/6} = h_1 / h_c$ = altura relativa inicial del resalto (torrente).

$h_1 = X_1 / h_c$ = altura del torrente, o inicial (m).

$U_1 = q / h_1$ = velocidad en el inicio del resalto (m/s).

$F_1 = (U_1 / g \cdot h_1)^{1/2}$ = número de Froude, que debe ser mayor a 4 para que el resalto sea estable.

$h_2 = h_1 / 2 [-1 + (1 + 8 F_1^2)^{1/2}]$ = altura conjugada de h_1 = altura del río alejado.

$L = 2 / h_c = 3 X^{0.3} + 20 X$, = longitud relativa, desde el pie al final del resalto.

6.6. SISTEMA HIDRÁULICO DE INGRESO A CADA UNIDAD FILTRANTE

Debe ser proyectado para lograr que la energía cinética no erosione la superficie de arena en el tramo inicial del filtro. Los sistemas proyectados en las unidades existentes en general no han dado resultados aceptables.

Según experiencias realizadas en Sud Africa el Ing. Felipe Solsona indica la conveniencia de una cámara disipadora, dividida en dos sectores por una chicana transversal que permite el flujo por el orificio formado con la solera. (Ver **Figura 7**).

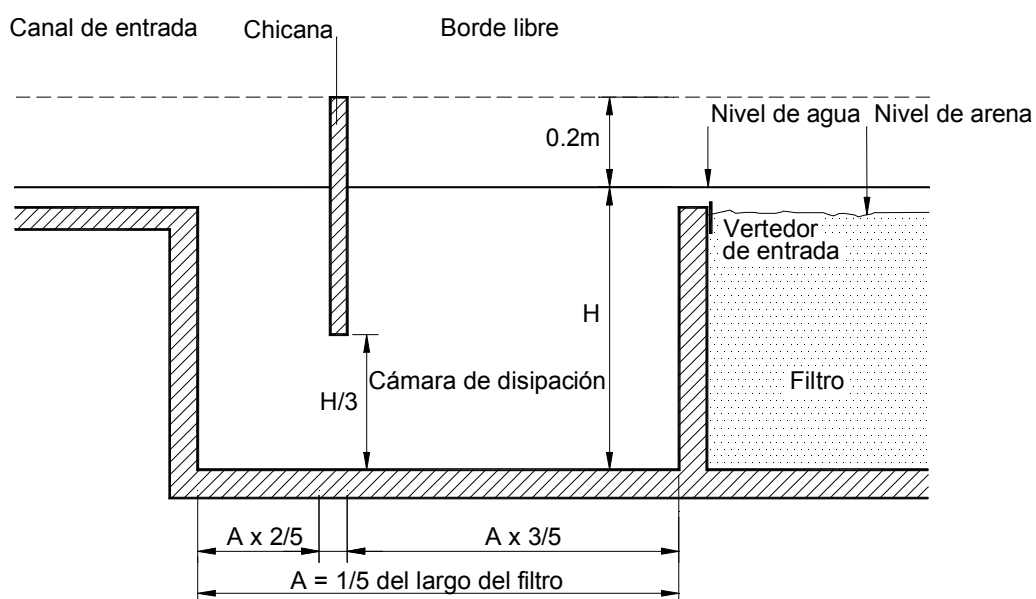


Figura 7. Cámara de disipación (indicada por el Ing. Solsona)

Las dimensiones de la cámara son las siguientes:

$B = B_f$ = ancho de la cámara = ancho del filtro (m)

$H = H_f$ = altura líquida de la cámara = altura total del filtro (no incluye la revancha con el coronamiento) (m)

$L = 1/5 L_f$ = longitud de la cámara igual a 1/5 de la correspondiente al filtro, L_f (m)

$L_i = 2/5 L$ = distancia entre el muro frontal de ingreso y la chicana transversal (m)

$a = 1/3 H = \text{altura del orificio (m)}$

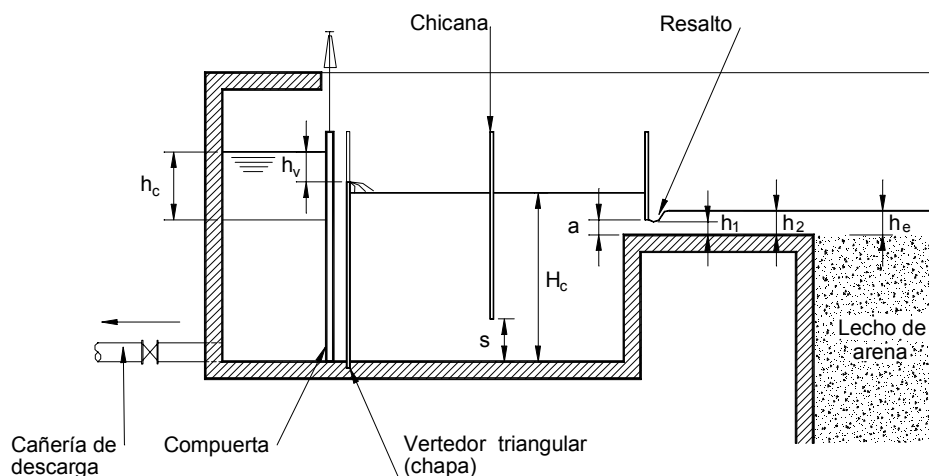
La duda que se presenta en el diseño del sistema de ingreso indicado por el Ing. Solsona, es que el vertedero metálico para el ingreso al lecho de arena significa una singularidad hidráulica que se estima producirá una energía cinética y en consecuencia erosión en esa zona inicial de la superficie filtrante.

La experiencia en filtros dinámicos existentes ha demostrado el problema de socavación en el tramo inicial del fondo arenoso, correspondiente al canal de autolimpieza superficial de cada unidad.

La mejor solución resultó colocar una chicana transversal en el canal denominado originalmente “rompe energía”. Esa chicana consistía en una tabla de madera que formaba un orificio sobre la solera de ese canal con su mismo ancho y consecuentemente con el del canal de auto limpieza.

Hidráulicamente se pretendía formar un resalto aguas debajo de esa cortina transversal, producido por el orificio.

La idea era tener un tirante conjugado en el final del resalto (zona de régimen tranquilo), semejante al del canal de autolimpieza. En consecuencia se reducía la energía cinética del flujo en el inicio del canal arenoso de autolimpieza.



Referencias:

h_c = Tirante líquido canal de entrada.

h_v = Tirante líquido sobre vertedero triangular.

$s = 1/5 H_c$ = orificio de pasaje en cámara.

H_c = Altura de la cámara aquietadora.

a = Altura del orificio de ingreso.

h_1 = Altura inicial del resalto hidráulico.

$h_2 = h_e$ = Altura conjugada del resalto hidráulico =
= Altura inicial del escurrimiento
sobre lecho de arena.

Figura 8. Sistema propuesto

En consecuencia se propone un sistema como el expuesto en la **Figura 8**.

7. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

7.1. OPERACIÓN NORMAL

Es una operación simple, de menor magnitud que en otros sistemas de tratamiento. Esa situación favorece su adopción para poblaciones de limitados recursos técnicos y económicos.

Principalmente la operación en una planta de tratamiento con filtros dinámicos, consiste en remover y agitar la capa superficial del lecho arenoso de la unidad a limpiar, sin modificarla.

La frecuencia de las limpiezas depende de la turbiedad del líquido crudo a tratar y varía entre uno o más días. Hay dos límites máximos para comenzar la operación: pérdida de carga alrededor de 0,25 m (determinada en la cámara de regulación del caudal filtrado) o la turbiedad de 1 UT (cuando la instalación tiene un turbidímetro).

Por seguridad la limpieza se puede efectuar antes de llegar a esos límites máximos (especialmente el de la pérdida de carga), ya que a pesar de la operación de rastrillado, los granos siguen rodeados por la zooglea gelatinosa a pesar de su agitación y como consecuencia “la maduración” es casi inmediata.

La operación normal de la limpieza comprende los siguientes pasos:

- Cierre del elemento de bloqueo de la salida del líquido filtrado de la unidad a limpiar: válvula, compuerta o sistema telescópico de regulación de ese caudal (levantando el caño móvil con su respectivo flotante).
- Mantener el caudal de ingreso a la caja del filtro para permitir el arrastre de las partículas desprendidas durante la agitación de la capa superficial de arena, a través del escurrimiento de ese caudal hacia la descarga en el final del canal de autolimpieza.
- Efectuar el rastrillado o remoción con el elemento de limpieza (rastrillo especial, tipo secador de piso), operación de corta duración (generalmente no mayor a 15 minutos) realizada manualmente por un solo operador.

En filtros de ancho no mayor a 2,00 m, el operador efectúa la limpieza, accionando el elemento en la remoción de la capa de arena desde uno de los costados de la unidad.

Otro sistema es el de ese rastrillo especial del mismo ancho del canal, que está suspendido y apoyado en ambos coronamientos de la caja filtrante, por donde se desliza longitudinalmente para producir la remoción y agitación de la superficie del lecho de arena.

- Una vez terminada esa operación, se reinicia el ciclo abriendo el elemento de bloqueo para permitir proseguir el proceso de filtración.

Otras actividades en la operación son las siguientes:

- Controlar la pérdida de carga que normalmente se mide en la cámara donde se ubica el regulador telescópico de caudales. Se puede colocar marcas en la cámara que indiquen el nivel mínimo (filtro recién limpiado) y el nivel máximo (al final de la carrera cuando está sucio) o una cadena sujeta al flotante, no permitiendo que el nivel mínimo sea menor que el proyectado.
- Otra tarea es la de verificar el caudal de ingreso a la batería. Un vertedero de demasías proyectado antes de esa entrada, permite también que no se incremente el caudal de diseño.
- Controlar el sistema de desinfección.
- Operaciones complementarias en una planta de tratamiento.
- Colocar nuevamente en la superficie socavada, la arena recolectada en el canal o cámara de recuperación.
- Enrasar y emparejar la superficie del lecho de arena, para tener tirantes líquidos homogéneos y así evitar escurrimientos desaparejos.

7.2. MANTENIMIENTO

Cuando se percibe que la velocidad de filtración va decreciendo con el tiempo, corresponde el cambio o limpieza de todo el lecho filtrante, operación semejante a la limpieza de los filtros lentos convencionales. En filtros bien operados no se observó colmatación en las capas inferiores después de un período prolongado (más de 10 años) de operación permanente.

Periódicamente se deben efectuar las siguientes acciones de control:

- Una vez clausurado el ingreso de agua cruda a la unidad, mediante una pala helicoidal se extrae una muestra del lecho de arena, a fin de verificar su colmatación.
- Controlar especialmente la eficiencia bacteriológica, en lo relativo a microorganismos patógenos como son las bacterias, parásitos y virus.
- Verificar caudales de entrada y filtrado.
- Controlar el equipo de desinfección.

8. BIBLIOGRAFÍA

- “Análisis de la Eficiencia de Filtros Dinámicos Para Tratamiento de Agua Potable”, del Ing. D. Rodríguez, Universidad de Chile. –1977.
- “Filtração Dinâmica”, del Ing. Felipe Solzona, Documento Técnico S-2 de la Representación del Brasil de la OPS – 1992 y 1993.
- “Filtros Dinámicos”, del Ing. Luis Pérez Farrás – SNAP – 1975.
- “Informe Final Sobre Evaluación del Funcionamiento de Filtros Dinámicos en la Provincia de la Rioja”, del Dr. Antonio Rossin, Consultor de la Organización Panamericana de la Salud, OPS – 1983.
- “Informes de la Contraparte Nacional del Servicio Nacional de Agua Potable, SNAP, (actual ENOHSA), referente a la “Investigación sobre el Comportamiento de los Filtros Dinámicos”, efectuada conjuntamente con la Provincia de La Rioja” - 1972 y 1973.
- Publicación Sobre Filtros Dinámicos, del Ing. Simón Rabsium, Profesor en la Universidad de Tucumán, Revista N° 200 de Obras Sanitarias de la Nación.