AA M7651

TESIS
IC998
A53
V.1

UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Universidad Católica Andrés Bello
BIBLIOTECA
Caracas

"Ajuste y Puesta en Marcha de los Filtros de la Planta Piloto de Tratamiento de Agua del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria"

Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: DIEZ Y SIETE (17)

JURADO EXAMINADOR

Firma:	Firma:	Firma:
Nombre: MARCO A. MATUTE	Nombre: FRANCISCO BAROJE	Nombre: EDGAR GONZALEZ R.

REALIZADO POR: Alvarez G., Juan C.
Rada S., Joel G.

PROFESOR GUIA: Matute G., Marco A.

FECHA: 29 de Mayo de 1998

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS i

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS ii

RESUMEN iii

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN 1

1.1.- Antecedentes 1
1.1.1.- Condiciones en que se encontró la planta de tratamiento 4
1.2.- Objetivos 7
1.2.1.- Generales 7
1.2.2.- Específicos 7
1.3- Remodelaciones realizadas 8
1.4.- Alcances y limitaciones 9

CAPÍTULO II : TRABAJOS PRELIMINARES 11

2.1.- Tanque de almacenamiento 11
2.2.- Calibración del rotámetro 13
2.3.- Medición del caudal de lavado 16
2.4.- Conexión al sedimentador 16
2.5.- Sistema de filtros 20
2.5.1.- Verificación de dimensiones y accesorios 20
2.5.2.- Reparaciones 21
2.5.3.- Colocación de piezómetros 23

CAPÍTULO III: DISEÑO DEL LECHO FILTRANTE 24

3.1.- Especificaciones del filtro rápido 24
3.2.- Granulometría y curvas correspondientes 26

3.3.- Cálculo de la profundidad crítica 28

CAPÍTULO IV : CÁLCULO TEÓRICO DE LA PÉRDIDA DE CARGA 33

4.1.- Hidráulica del flujo de agua a través de lechos de arena 33
4.2.- Aplicaciones de la teoría a lechos de arena estratificados 36
4.3.- Cálculo de la porosidad de la arena 36
4.4.- Cálculos realizados 39

CAPÍTULO V : OPERACIÓN DEL FILTRO 43

5.1.- Descripción de las válvulas 43
5.2.- Operación de filtrado 46
5.3.- Operación de lavado 47

CAPÍTULO VI: MEDICION Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS 49

6.1.- Filtrado 49
6.2.- Lavado 50

CAPÍTULO VII : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 52

7.1.- Conclusiones 52
7.2.- Recomendaciones 52

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 54

AGRADECIMIENTOS

La culminación de este trabajo ha sido posible, gracias al apoyo recibido de varias personas y departamentos pertenecientes a la U.C.A.B. Ellas son :

Marco Matute Guillen, tutor de la Tesis, por su invalorable ayuda técnica y humana durante todo el proceso de investigación y elaboración del Trabajo Especial de Grado.

A la Coordinación de Laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la U.C.A.B., muy en especial en las personas de :

- José Antonio Manrique.
- Ramón Márquez.
- Luis Mendoza.

Quienes incondicionalmente dieron todas las facilidades necesarias para la obtención de datos y elaboración de ensayos.

A todas estas personas, queremos expresar nuestro sincero agradecimiento por su invalorable ayuda en el logro de tan importante meta personal, por lo cual les quedamos en deuda de gratitud permanente.

ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS

Tabla N°.1 : Verificación del rotámetro 14

Tabla N°.2 : Caudal de lavado vs. rotámetro 17

Gráfico N°.1 : Caudal de lavado vs. rotámetro 19

Tabla N°.3 : Especificaciones de los filtros rápidos 25

Gráfico N°.2 : Granulometría de las muestras (prob.vs.log.) 27

Gráfico N°.3 : Curva de valores de c 29

Tabla N°.4 : Cálculos de $\sum \frac{P_{ci}}{c_i}$ (mezcla 1) 31

Tabla N°.5 : Cálculos de $\sum \frac{P_{ci}}{c_i}$ (mezcla 2) 31

Tabla N°.6 : Cálculos de $\sum \frac{P_{ci}}{c_i}$ (mezcla 3) 32

Tabla N°.7 : Valores del coeficiente s 35

Tabla N°.8 : Porosidad de la arena 38

Tabla N°.9 : Cálculos del término $\sum \frac{W}{D^2}$ (mezcla 1) 40

Tabla N°.10 : Cálculos del término $\sum \frac{W}{D^2}$ (mezcla 2) 41

Tabla N°.11 : Cálculos del término $\sum \frac{W}{D^2}$ (mezcla 3) 42

RESUMEN

En el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la U.C.A.B. fue instalado hace mucho tiempo un modelo de planta de tratamiento de aguas. Este modelo se encuentra inoperante desde hace varios años, lo cual creó la inquietud de ponerlo en marcha. Debido al mal estado en que se encontró se tuvo que delimitar los objetivos del trabajo a algo prácticamente realizable con los recursos disponibles.

El presente trabajo se realizó con la finalidad de poner en marcha el equipo de filtración de la planta de tratamiento de aguas antes mencionada. Su rehabilitación sirve para ilustrar, con fines académicos, parte del proceso de tratamiento de aguas crudas. Este trabajo se complementó con la realización de mediciones de pérdida de carga en los filtros para distintos lechos de arena, valores que luego serían comparados con los teóricos esperados.

Para poder hacer operable el filtro se tuvo que independizar del resto del proceso, esto requirió hacer unos ajustes en la estructuración del sistema. Anteriormente la muestra de agua a ser tratada se almacenaba en tanques destinados para tal fin, y esta se hacia llegar al sistema por medio de bombeo. El utilizar esta alternativa requería de la recuperación de la mayor parte del proceso de tratamiento, lo que justamente se quería evitar por estar fuera de los alcances del trabajo. La solución que se encontró a este problema consistió en tomar el agua de un estanque situado en el techo del laboratorio, la cual era utilizada originalmente sólo para el lavado de los filtros. Esto se logró haciendo una conexión con tubería de PVC desde un poco antes de la salida de los filtros hasta la entrada del canal sedimentador, de manera de filtrar el agua de lavado.

Luego de independizado el filtro se realizó el diseño del lecho de arena. Esto se hizo de manera de poder ilustrar claramente las diferentes pérdidas de carga producidas según las características de la arena, además de cumplir con las especificaciones establecidas en la normativa del I.N.O.S. Para el diseño de las mezclas se escogieron tres tamaños efectivos (T.E.) comunes : 0,4 ; 0,5 y 0,6 , luego en papel probabilístico-logarítmico se trazaron rectas por estos puntos que cumplieran con un coeficiente de uniformidad (C.U.) de 1,5.

Continuando con el trabajo se realizó el cálculo teórico de la pérdida de carga que produciría cada lecho de arena diseñado. Estos valores fueron posteriormente comparados, con los obtenidos experimentalmente al colocar en las unidades de filtración las mezclas construidas a partir del diseño. Los valores cotejados resultaron bastante parecidos.

Con la conclusión de este trabajo se busca dar inicio a una etapa de rescate de este modelo de planta de tratamiento. Recomendándose a la comunidad estudiantil, profesores y autoridades competentes hacer eco de este mensaje, para así con trabajos posteriores lograr dicha meta. Lo cual, por demás esta decir, sería de gran interés para los estudiantes de ingeniería civil de la U.C.A.B.

CAPITULO I : INTRODUCCION.

1.1.- ANTECEDENTES

Hace muchos años la O.M.S. se abocó a la tarea de crear e instalar en algunas universidades del país, plantas de tratamiento de agua a escala reducida. Entre estas universidades estuvo la U.C.A.B., pero por motivos desconocidos no se llegó a la culminación de la instalación de la planta en este centro educativo.

Para el año de 1976 fue recuperado el trabajo iniciado por la O.M.S. por los tesistas Isaac Lombana y Gaspar Peña (7), dando como resultado la puesta en marcha del modelo. Se hará a continuación una breve descripción de la situación en que se encontró la planta al concluir el trabajo de estos tesistas:

Tanques de Almacenamiento: El punto de partida de la planta lo constituía dos tanques metálicos iguales cuya función era almacenar el agua, para luego ser tratada. Cada tanque tiene una capacidad de 600 litros al rebose ; la toma de estos tanques consiste en tres agujeros hechos en el fondo de ellos, de los cuales salen tres tubos que se reúnen en uno solo de doble función: drenaje de los tanques y alimentación de la bomba de aducción. Ambos tanques tienen además sendos aliviaderos así como entradas de agua limpia, proveniente de la red pública.

Aducción: Este sistema estuvo constituido por una bomba que tomaba el agua de cualquiera de los dos tanques de almacenamiento y la elevaba hasta un pequeño recipiente cilíndrico ubicado en la parte más alta de la planta, desde donde se alimentaba a la misma. Dicho recipiente tiene una toma y un rebose, por medio del cual se recirculaba el exceso de agua a los tanques de almacenamiento. La función

principal de este recipiente fue la de proveer una carga constante de agua fácil de regular, eliminando las variaciones que existirían si la planta fuese alimentada directamente por bombeo.

De la misma tubería que iba de la bomba al recipiente salía una derivación que entraba de nuevo a los tanques y aportaba al fondo de los mismos con unos aspersores, los cuales tenían la función de mantener el agua en movimiento mediante un chorro turbulento, para preservar la uniformidad de la muestra.

La toma que salía del recipiente cilíndrico iba a la cámara de mezcla rápida pasando antes por: un rotámetro, una llave de regulación y el módulo de inyección. En el módulo de inyección se realizaba la adición de coagulante, alcalinizante y desinfectante, mediante el bombeo a presión utilizando microbombas de caudal regulable y bastante bajo. Como recipientes de almacenamiento de los reactivos se utilizó tres cilindros de plexiglás de 5,3 centímetros de diámetro y 1 litro de capacidad.

Siguiendo el orden del proceso se encontraba la **mezcla rápida**. Este sistema estaba constituido por una cámara de mezcla que no era más que un tanque pequeño fabricado de plexiglás de 10 x 10 cm de base y 40 cm de altura. De arriba a abajo estaba atravesado por un eje dotado de cuatro hélices planas de 10 cm de diámetro. En la parte superior de la cámara se encontraba un motor eléctrico, regulable desde un tablero de control que se hallaba al lado de los tanques de almacenamiento.

Floculador: La etapa de crecimiento de los flóculos tenía lugar en la cámara de mezcla lenta o floculador y la decantación de los mismos en el sedimentador. Estas etapas se encontraban una a continuación de la otra en un canal dividido por pantallas. Este canal fue construido completamente en plexiglás de 1,5 cm de espesor. Tiene como dimensiones internas: 160 cm de largo, 30 cm de ancho y 55 cm de altura. A 5

del sedimentador. Estas dos pantallas, perforadas, se encontraban separadas 10 cm una

cm de la entrada se encontraba una primera pantalla vertical, que tenía la finalidad de romper el efecto chorro en la entrada del tanque. Esta pantalla era el comienzo de la cámara de mezcla lenta, la cual ocupaba una longitud de 50 cm dentro del canal y se encontraba limitada por dos pantallas. Entre esas pantallas el tanque se encontraba atravesado por dos ejes portantes de paletas de madera, que era los encargados de imprimir movimiento al agua en la etapa de floculación.

Entre el floculador y el sedimentador existía una corta cámara de transición limitada por la pantalla final del floculador, y otra pantalla que señalaba el comienzo del sedimentador. Estas dos pantallas, perforadas, se encontraban separadas 10 cm una de otra. Su función era romper completamente la carga de velocidad que traía el agua del floculador y esto fue logrado evitando que los orificios de una coincidieran con los de la otra, cortando así el efecto chorro.

Sedimentador: Tenía 90 cm de largo hasta el dispositivo colector. En el fondo existía una salida con su correspondiente llave y su uso se limitó al drenaje de lodos y agua cuando se efectuaba la limpieza del canal. El dispositivo colector consistía en una canaleta transversal construida a base de perfiles de hierro y cuya función era eliminar las corrientes de agua en el sedimentador.

Filtros: La salida del canal floculador-sedimentador llevaba el agua a una torre que contiene dos filtros independientes el uno del otro. Esta torre tiene una altura de dos metros y fue construida en plexiglás. Verticalmente se divide en tres partes que se unen mediante estribos de conexión. Cada filtro tiene una sección transversal de 10 x 12 cm y a 11,5 cm del fondo se encuentra una placa porosa con orificios de aproximadamente 2 mm. Esta placa soportaba la grava de sostén y el lecho de arena, evitando la fuga de granos en el efluente.

Más arriba del segundo estribo de conexión se encuentra una canaleta que recoge el agua de lavado y la lleva a una caja colectora adosada a un lado de la torre. Estas cajas colectoras desaguan al sumidero del laboratorio al abrir una llave, que para tal efecto se encontraba a la salida de cada caja.

Como accesorios de cada filtro se tenía: un piezómetro, un tanque regulador y el sistema de retrolavado. El tanque regulador era la última etapa de la planta, su función no era más que regular la velocidad de filtración mediante un sistema de flotante.

Sistema de Retrolavado: El agua de lavado provenía de la red de la universidad y era almacenada en un tanque exclusivo, ubicado en el techo del edificio. El agua proveniente de este tanque bajaba por un tubo de 4 pulgadas del cual sale una aducción que iba a llevar el agua a la salida del filtro. Esta aducción pasa por una llave de regulación y luego por un rotámetro. La recolección del agua de lavado junto con los lodos removidos se efectuaba por la canaleta descrita anteriormente.

1.1.1.- Condiciones en que se encontró la planta de tratamiento.

Cabe destacar que las condiciones del modelo descritas anteriormente se refieren al momento en que fue puesto en marcha (1976). Al pasar del tiempo y debido al abandono a que fue sometido se encontró una merma considerable en la condición de los aparatos y dispositivos que se habían implementado, al punto de que un 90 % de la planta se encontró en condiciones de inoperabilidad, tal como se describirá a continuación:

Tanques de almacenamiento: Estos tanques se encontraron afectados por la corrosión, pero su rehabilitación puede resultar sencilla. Se podría decir que es una de las partes que más fácilmente se puede recuperar.

Sistema de aducción: La bomba de aducción debido al tiempo en que estuvo sin uso sufrió daños prácticamente irreparables en sus implementos mecánicos tales como el motor, los impelentes, etc., por lo que la recuperación del sistema de bombeo requeriría de un equipo nuevo.

Por otra parte, el recipiente cilíndrico de control de carga es una estructura de metal que puede ser fácilmente recuperable, ya que las condiciones de óxido que presenta no afecta considerablemente su operabilidad.

El rotámetro que se encuentra después del tanque controlador de carga se encontró obstruido por materiales extraños que impiden el buen funcionamiento del mismo, para su recuperación se requiere de un cuidadoso proceso de mantenimiento ya que algún descuido podría provocar la pérdida de la exactitud en las mediciones, con lo cual dejaría de ser útil.

El módulo de inyección que constaba de microbombas y recipientes cilíndricos para almacenar los aditivos se encontró incompleto. Las bombas simplemente no estaban y los cilindros necesitan mantenimiento.

Mezcla rápida: El dispositivo utilizado para la mezcla rápida necesita un mantenimiento minucioso y posiblemente la reposición de algunos componentes mecánicos tales como ejes, hélices, etc.

Floculador - Sedimentador: De este conjunto se encontró el canal de plexiglás con problemas de filtraciones, del resto de los implementos tales como pantallas, ejes, paletas etc., sólo se encontraron algunos y en mal estado. La recuperación de esta parte del sistema sería bastante compleja. Además de esto el canal colector del sedimentador se encontró sumamente deteriorado debido al óxido de sus componentes.

Filtros: Las cajas de plexiglás que constituyen los filtros no son un elemento continuo, sino que resultan del ensamblaje de varias piezas. Estas piezas se unen mediante tornillos "tira fondo" y sellador. Debido al tiempo de construcción que tienen, estas cajas presentaban problemas de filtración en las uniones entre sus piezas.

El filtro como tal tampoco es un elemento continuo, sino que consta de tres elementos. En las conexiones entre cada uno de ellos también se encontraron filtraciones de agua.

Sistema de retrolavado: Los componentes de este sistema se encontraron en muy mal estado. El tanque de almacenamiento estaba totalmente corroído y hasta presentaba orificios por los cuales se salía el agua. Además de esto la válvula que regula la entrada del agua (flotante), estaba dañada.

El rotámetro utilizado para medir el caudal de lavado se encontró obstruido, y se tuvo que realizar una operación de mantenimiento para su recuperación.

Las cajas colectoras adosadas al filtro también presentaron problemas de filtración.

1.2.- OBJETIVOS

1.2.1.- Generales.

El objetivo de este trabajo especial fue la recuperación y puesta en marcha del equipo de filtración de medio granular instalado en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la U.C.A.B., el cual se encontraba inoperante.

Mediante la utilización de este recurso como apoyo a la enseñanza de la ingeniería sanitaria, se lograría facilitar la comprensión de la materia en lo referente a plantas de tratamiento para aguas, ya que el proceso de filtración es una parte importante de esas plantas.

1.2.2.- Específicos.

- Reacondicionar el tanque metálico situado en el techo del edificio de laboratorios de la U.C.A.B.

- Realizar las remodelaciones necesarias para independizar el sistema de filtración del resto de la planta.

- Reparar y acondicionar todos los componentes del sistema de filtración necesarios para su funcionamiento.

- Diseñar tres lechos filtrantes de arena distintos, así como la grava de sostén a ser colocados en las unidades de filtración.

- Realizar jornadas de retrolavado, para limpiar y estratificar el lecho de arena.

- Calcular la pérdida de carga teórica, producida por los distintos lechos de arena diseñados.

- Realizar jornadas de filtración para medir la pérdida de carga producida por los distintos lechos de arena diseñados.

- Comparar los valores prácticos y teóricos de pérdida de carga obtenidos.

1.3.- REMODELACIONES REALIZADAS.

Ya que no era objetivo de este trabajo la rehabilitación total de la planta de tratamiento, fue necesario hacer unos cambios en su estructuración para poder independizar el sistema de filtrado del resto del proceso. Estas modificaciones a grandes rasgos se resumen en el cambio de la fuente de abastecimiento de agua.

Anteriormente la muestra de agua a ser tratada se almacenaba en tanques destinados para tal fin, y esta se hacia llegar al sistema por medio de bombeo. Utilizar este medio para hacer llegar el agua a los filtros resultaba sumamente difícil debido al estado en que se encontraban los aparatos, por lo que hubo que estudiar otra alternativa. La solución de este problema consistió en tomar el agua del estanque situado en el techo del laboratorio, la cual era utilizada originalmente para el lavado de los filtros. Esto se logró haciendo una conexión con tubería de PVC desde un poco

antes de la salida de los filtros hasta la entrada del canal de plexiglás utilizado para la floculación-sedimentación.

1.4.- ALCANCES Y LIMITACIONES

La ejecución de este trabajo permitirá tener un material de apoyo a la enseñanza en la cátedra de Ingeniería Sanitaria I, en lo referente al proceso de filtración, ya que sólo éste será rehabilitado. Si bien esto sería de ayuda, lo ideal es que pudiese ilustrarse todo el proceso de tratamiento de agua.

Dada la forma en que se reestructuró el sistema, resulta difícil realizar pruebas que verifiquen la efectividad de los filtros, ya que el tanque utilizado para la alimentación de los mismos no garantiza que las características de la muestra no varíen a lo largo del proceso. Así, por ejemplo, si se quisiera medir la turbiedad ó el número más probable de coliformes, habría que colocar la muestra en el tanque, pero cerrándole la entrada de agua proveniente de la red pública. Esto traería como consecuencia una carga estática variable en el sistema y por lo tanto el caudal no sería constante en el tiempo. Además las partículas presentes en el agua tenderían a sedimentarse ya que dentro del tanque no se generan corrientes que puedan mantener en movimiento el líquido.

Ya que el agua de filtrado proviene de la red pública, resultaría poco representativo medir el período de trabajo o carrera del filtro, debido a que éste se ensuciaría en jornadas de filtración muy largas. Además resultaría complicado medir el porcentaje de agua limpia que se utiliza para lavar el filtro.

No se instaló el tanque regulador de caudales a la salida de los filtros, y se prefirió colocar una válvula de mariposa a la salida de éstos. Esto hace que cada filtro funcione para condiciones particulares en cuanto al lecho de arena y al caudal de filtrado. Si se desease por alguna razón remover la arena y experimentar con una distinta o variar el caudal de filtrado, habría que ajustar nuevamente, mediante la válvula mencionada, la capacidad de salida de la unidad.

Por todo lo descrito anteriormente el filtro se usaría de manera ilustrativa, estando su parte experimental reducida (hasta que sea recuperado el resto de la planta) a medir pérdidas de carga en un lecho de arena limpio, así como porcentajes de expansión del lecho de arena para un cierto caudal de lavado.

CAPITULO II : TRABAJOS PRELIMINARES.

Para la puesta en marcha del sistema de filtración de la planta de tratamiento de agua se realizaron varias labores de mantenimiento, así como también la reposición de piezas en mal estado, tales como: válvulas, tramos de tubería, etc. Estos trabajos de reacondicionamiento fueron de suma importancia para poder lograr el objetivo de el presente trabajo.

2.1.- Tanque de Almacenamiento.

Como se dijo anteriormente hubo que independizar el sistema de filtración del resto del proceso y filtrar agua proveniente del tanque situado en el techo de los laboratorios. Esto fue una medida provisional, adoptada hasta que fuese de interés para próximos tesistas reacondicionar el resto de la planta.

La utilización de ese tanque requirió de una labor de mantenimiento. Este se encontraba sumamente afectado por la corrosión, al punto de tener orificios por los cuales se perdía parte del agua. El tanque fue previamente lijado y limpiado de todo óxido depositado en su superficie, mediante cepillos con cerdas de metal y papel de lija. Luego de haber limpiado la superficie se procedió a pintar todo el estanque con pintura anticorrosiva, dejándose secar ésta por dos días. Al estar seca la pintura se taparon los orificios con productos existentes en el mercado para tal fin y se pintó el interior y exterior del tanque con pintura a base de aceite.

Al poner a llenar de agua el tanque surgió un nuevo inconveniente, la válvula de admisión de agua (flotante) se encontraba dañada. El agua que pasaba a través de

esta válvula, cuando debía estar cerrada, ocasionaba desbordamiento en el tanque, por lo que se requirió de la remoción y reposición de esta válvula. El buen accionar de ella es fundamental ya que esto garantiza una carga de agua constante en la red

Luego de ser solventado este problema apareció una nueva pérdida de agua en el sistema, el agua salía por una unión universal que existe a la salida del tanque, por lo que tuvo que cambiarse la empacadura de ésta y adicionalmente aplicársele sellador para juntas.

Del tanque sale una tubería de 4" que baja al laboratorio, a esta tubería se le conectó otra mediante una "T", luego de la cual se encuentra un rotámetro. Después del rotámetro se colocó otra "T", con lo que el flujo puede seguir a partir de ésta dos caminos distintos de acuerdo a la abertura de las válvulas: un camino es ir directo a la salida de los filtros para realizar el retrolavado, el otro es seguir la nueva conexión realizada en tubería de PVC y a través de la cual llega a la entrada del canal floculador-sedimentador.

Antes de completar la conexión al sedimentador se realizaron varias actividades importantes en el desarrollo del trabajo, una de ellas fue el mantenimiento del rotámetro.

El rotámetro es un dispositivo usado para medir caudal, consiste en un tubo de cristal por el cual se hace pasar el agua conectándolo de manera vertical a la tubería. En el interior de este se encuentra un pistón de metal que sube de acuerdo al flujo de agua que pase, luego en un dial paralelo al tubo y según la elevación que haya alcanzado el pistón, se lee el caudal que está circulando por el rotámetro.

Este aparato fue encontrado en condiciones de inoperabilidad, debido tanto a material acumulado en su interior como al óxido depositado en el pistón a lo largo de los años en que se encontró inactivo. Para limpiarlo se realizó un cuidadoso proceso de limpieza, que consistió básicamente en agregar un preparado químico que ayudara a deshacer la materia orgánica acumulada en su interior. Luego de varios días aplicando la solución limpiadora se lavó con agua limpia el interior de las paredes del tubo de cristal, eliminando así todo el sucio que quedaba en el interior del aparato.

2.2.- Calibración del rotámetro.

La situación en que se encontró el rotámetro condujo a dudar de la veracidad de los valores que se pudieran obtener de este aparato, y debido a ello se realizaron mediciones para verificar que la lectura del dial correspondiera con el caudal que pasa por la tubería.

Para la medición se utilizó un recipiente plástico de aproximadamente 60 litros de capacidad, a éste se le realizaron marcas cada 10 litros con el fin de obtener exactitud en los resultados con los caudales manejados, aunque para los caudales más bajos se utilizaron volúmenes menores. A la salida del rotámetro se sacó una tubería hacia el recipiente aforado, luego maniobrando una llave de mariposa se reguló el caudal de manera que en el dial se obtuviera un valor fijo; con la ayuda de un cronómetro se contabilizó el tiempo que tardó el líquido en elevar su nivel de un aforo a otro. Este proceso se repitió varias veces para cada valor prefijado de una lectura de caudal en el dial. Los resultados se presentan en la siguiente tabla.

TABLA N°.1

Verificación del Rotámetro

Lectura de caudal en el dial (lpm)	tiempo (min)	Volumen (litros)	Caudal (lpm)	Promedio (lpm)
1,00	0,47	0,5	1,07	
1,00	0,48	0,5	1,03	
1,00	0,52	0,5	0,97	**1,01**
1,00	0,50	0,5	1,00	
1,00	0,52	0,5	0,97	
1,50	0,33	0,5	1,50	
1,50	0,32	0,5	1,58	
1,50	0,35	0,5	1,43	**1,50**
1,50	0,32	0,5	1,58	
1,50	0,35	0,5	1,43	
2,00	0,25	0,5	2,00	
2,00	0,25	0,5	2,00	
2,00	0,27	0,5	1,88	**2,00**
2,00	0,25	0,5	2,00	
2,00	0,23	0,5	2,14	
2,50	0,80	2	2,50	
2,50	0,78	2	2,55	
2,50	0,78	2	2,55	**2,52**
2,50	1,60	4	2,50	
2,50	1,62	4	2,47	
3,00	3,32	10	3,01	
3,00	3,25	10	3,08	
3,00	3,28	10	3,05	**3,03**
3,00	3,33	10	3,00	
3,00	3,32	10	3,01	
3,50	2,82	10	3,55	
3,50	2,83	10	3,53	
3,50	2,87	10	3,48	**3,51**
3,50	2,85	10	3,51	
3,50	2,87	10	3,48	

TABLA N°.1 (cont.)

Verificación del Rotámetro

Lectura de caudal en el dial (lpm)	tiempo (min)	Volumen (litros)	Caudal (lpm)	Promedio (lpm)
4,00	2,5	10	4,00	
4,00	2,51	10	3,98	
4,00	2,51	10	3,98	**3,98**
4,00	2,52	10	3,97	
4,00	2,51	10	3,98	
4,50	2,23	10	4,48	
4,50	2,22	10	4,50	
4,50	2,24	10	4,46	**4,49**
4,50	2,22	10	4,50	
4,50	2,23	10	4,48	
5,00	1,98	10	5,05	
5,00	2,02	10	4,95	
5,00	2,03	10	4,93	**4,98**
5,00	2,01	10	4,98	
5,00	2,00	10	5,00	
5,50	1,82	10	5,49	
5,50	1,84	10	5,43	
5,50	1,81	10	5,52	**5,49**
5,50	1,82	10	5,49	
5,50	1,81	10	5,52	
6,00	1,67	10	5,99	
6,00	1,7	10	5,88	
6,00	1,66	10	6,02	**5,97**
6,00	1,68	10	5,95	
6,00	1,67	10	5,99	
6,50	1,52	10	6,58	
6,50	1,53	10	6,54	
6,50	1,55	10	6,45	**6,51**
6,50	1,53	10	6,54	
6,50	1,55	10	6,45	

2.3.- Medición del caudal de lavado.

Para poder regular el caudal de entrada en el lavado se utiliza el rotámetro colocado en paralelo con la tubería, dicho rotámetro tiene una capacidad menor que la necesaria, lo que ocasiona un estrangulamiento en el flujo. Para solucionar este problema se utiliza conjuntamente al rotámetro el tramo de tubería paralelo a éste, lo que aumenta la capacidad del sistema. En consecuencia el caudal de lavado será la suma de los caudales que pasan por el rotámetro y por la tubería paralela.

Después de solucionar el problema de la capacidad se presentó la incógnita de como medir el caudal, lo cual se logró realizando un proceso parecido al de verificación del rotámetro. Esto consistió en medir el caudal que circula por el sistema después de pasar por el rotámetro y la tubería paralela a éste, la medición se hizo con un recipiente aforado y un cronómetro. Los valores de caudal obtenido permitieron realizar la tabla N°.2 y el gráfico N°.1 que relaciona el caudal que marca el rotámetro en su dial con el caudal de lavado que realmente llega a la salida de los filtros. Con la ayuda de esta gráfica es posible saber que caudal de lavado pasa por la tubería con la simple inspección del rotámetro, o por el contrario, saber que valor debe medir el rotámetro para que esté pasando un caudal determinado.

2.4.- Conexión al sedimentador.

Como se dijo anteriormente ésta fue realizada en PVC y su ejecución requirió de algunos días de trabajo. Con este fin, se adquirieron 4 metros de tubería de ¾ de pulgada, codos, tés, reducciones, uniones universales, válvulas de mariposa, sellador para junta, teflón y otros implementos necesarios.

TABLA N°. 2

Caudal de Lavado vs. Rotámetro

Lectura de caudal en el dial (lpm)	Tiempo (min.)	Volumen (litros)	Caudal de Lavado (lpm)	Promedio (lpm)
1,00	0,63	10,0	15,79	
1,00	0,67	10,0	15,00	
1,00	0,63	10,0	15,79	**15,55**
1,00	0,65	10,0	15,38	
1,00	0,63	10,0	15,79	
1,50	0,62	10,0	16,22	
1,50	0,58	10,0	17,14	
1,50	0,62	10,0	16,22	**16,87**
1,50	0,57	10,0	17,65	
1,50	0,58	10,0	17,14	
2,00	0,57	10,0	17,65	
2,00	0,58	10,0	17,14	
2,00	0,53	10,0	18,75	**18,09**
2,00	0,53	10,0	18,75	
2,00	0,55	10,0	18,18	
2,50	0,47	10,0	21,43	
2,50	0,50	10,0	20,00	
2,50	0,50	10,0	20,00	**20,56**
2,50	0,48	10,0	20,69	
2,50	0,48	10,0	20,69	
3,00	0,43	10,0	23,08	
3,00	0,45	10,0	22,22	
3,00	0,45	10,0	22,22	**22,56**
3,00	0,43	10,0	23,08	
3,00	0,45	10,0	22,22	
3,50	0,38	10,0	26,09	
3,50	0,42	10,0	24,00	
3,50	0,43	10,0	23,08	**24,63**
3,50	0,40	10,0	25,00	
3,50	0,40	10,0	25,00	

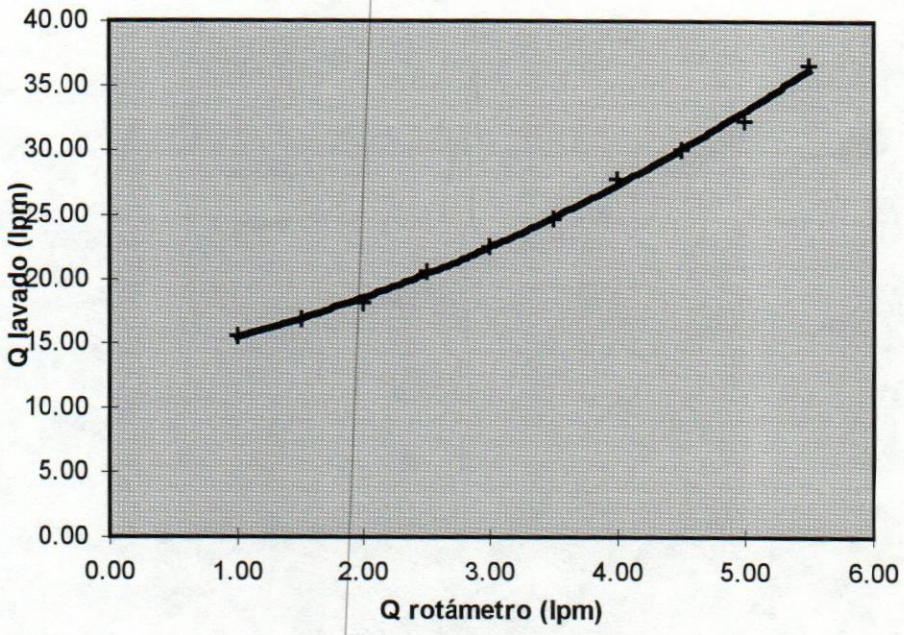
TABLA N°. 2 (cont.)

Caudal de Lavado vs. Rotámetro

Lectura de caudal en el dial (lpm)	Tiempo (min.)	Volumen (litros)	Caudal de Lavado (lpm)	Promedio (lpm)
4,00	0,37	10,0	27,27	
4,00	0,35	10,0	28,57	
4,00	0,37	10,0	27,27	**27,79**
4,00	0,35	10,0	28,57	
4,00	0,37	10,0	27,27	
4,50	0,33	10,0	30,00	
4,50	0,33	10,0	30,00	
4,50	0,35	10,0	28,57	**30,03**
4,50	0,32	10,0	31,58	
4,50	0,33	10,0	30,00	
5,00	0,30	10,0	33,33	
5,00	0,32	10,0	31,58	
5,00	0,33	10,0	30,00	**32,32**
5,00	0,30	10,0	33,33	
5,00	0,30	10,0	33,33	
5,50	0,27	10,0	37,50	
5,50	0,28	10,0	35,29	
5,50	0,27	10,0	37,50	**36,62**
5,50	0,28	10,0	35,29	
5,50	0,27	10,0	37,50	

GRÁFICO N°.1

Caudal de Lavado vs. Rotámetro



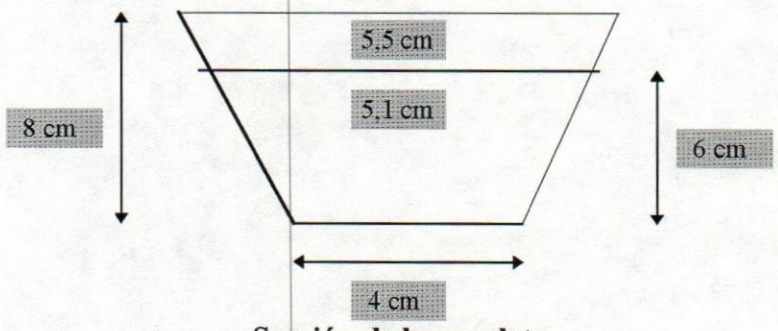
Se tomaron las medidas requeridas y se cortó la tubería según las longitudes computadas, esto se hizo con una segueta. Luego de tener los tubos con las longitudes adecuadas se procedió a hacerles rosca en sus extremos, utilizando una tarraja . Al tener la rosca hecha se aplicó sobre éstas teflón y sellador de juntas, para después realizar las conexiones, terminándose al llegar a la entrada del canal floculador-sedimentador.

2.5.- Sistema de filtros

2.5.1.- Verificación de dimensiones y accesorios.

Como factor fundamental en la operación de los filtros se procedió a chequear la altura a las cual deben estar colocadas las canaletas, ya que si están colocadas demasiado bajas al expandirse el lecho filtrante sus capas superficiales pueden caer a ellas mezcladas con el agua de lavado; y si quedan demasiado altas las impurezas pueden quedar retenidas. Así, tomando una altura de grava de 25 cm, con una expansión máxima estimada para el lecho del 50% y su espesor de 60 cm, el borde inferior de la canaleta deberá estar situado a una elevación por lo menos de 25 + 60 + (0,5 x 60) = 115 cm. La altura a la cual están colocadas las canaletas en el filtro del laboratorio es de 140 cm, por lo tanto, ésta verifica con las especificaciones tomadas de la normativa del Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS) (6), presentada en el anexo N°.1.

Las dimensiones de las canaletas de lavado cumplen con las normativas del INOS (6), puesto que, el área de las mismas es muy superior al área calculada según dicha normativa como se muestra a continuación:



Sección de la canaleta

Si suponemos una velocidad de lavado de 1,0 m/min. y usando la fórmula para canaletas que descargan libremente en las fosas de drenaje como se muestra en el anexo N°. 1, tenemos que, para cada canaleta:

Area de filtro = 0,10 x 0,12 = 0,012 m^2.

Gasto de lavado = 1,0 m/min. x 0,012 m^2 x 1/60 min./s = 0,0002 m^3/s.

Para h = 0,06 m, con borde libre de 0,02 m.

$$b = \frac{0{,}0002m^3 / s}{1{,}38 \cdot 0{,}06m^{1.5}} = 0{,}01 \text{ m.}$$

Area mínima requerida = 0,01 m x 0,06 m = 0.0006 m^2.

$$\text{Area real} = \frac{(0{,}051m + 0{,}04m) \cdot 0{,}06m}{2} = 0.0027 \text{ m}^2.$$

Area canaleta > área equivalente (Normativa INOS).

2.5.2.- Reparaciones.

Luego de sellar internamente el canal de plexiglás, se procedió a desarmar las columnas de filtración. Esto se hizo destornillando los pernos de las uniones en bridas. Primero se separó la parte superior y se removió el antiguo lecho de arena y grava. Luego, ya sin el material adentro se separaron las dos partes restantes.

Para constatar de que no hubiera pérdidas de agua, antes de empezar a realizar las mediciones, se armó nuevamente la columna de filtración, pero para facilitar el trabajo no se le introdujo el material filtrante. Al abrir las válvulas y comenzar a pasar el agua a través del sistema rápidamente surgieron problemas de filtraciones, no sólo en las uniones entre las partes del filtro, sino también en la unión de éste con los componentes restantes de la planta. Para solucionar estos problemas se tuvo que atacar cada uno por separado, e ir logrando la solución total progresivamente.

El sellado de la unidad se empezó desde la base, ya que a partir de aquí era más fácil probar si habían sido efectivas las soluciones, introduciendo agua mediante el sistema de retrolavado. Lo primero que se trabajó fue la unión entre el tubo metálico de salida de agua de los filtros y la columna de plexiglás. La tubería de salida tiene soldado en su extremo una placa cuadrada de hierro con cinco perforaciones circulares, una en el centro con diámetro igual al de la tubería y las otras cuatro en las esquinas, a través de las cuales pasarían los tornillos que se enroscarían en el plexiglás para proporcionar la unión. La pérdida de agua se producía entre el plexiglás y el metal, para eliminarla se interpuso entre estos una goma flexible con la forma de la placa metálica. Esta goma no fue suficiente ya que algunas de las roscas de el plexiglás se encuentran muy deterioradas por lo que no se transmite uniformemente la presión en la goma, debido a esto se tuvo que utilizar adicionalmente sellador a base de silicón.

Al ir subiendo en la columna de plexiglás se hallan las uniones a través de bridas, aquí se presentó el mayor problema de filtración. Lo primero que se hizo fue cambiar las empacaduras existentes por otras en mejor estado. Inicialmente se colocó una goma pero resultó poco espesor, por lo cual se colocaron empacaduras de doble goma. El sistema de empacadura no bastó para retener el agua. La superficie del

en peso es más pequeño que dicho tamaño. En otras palabras el T.E. es el tamaño del tamiz, en milímetros, que permite el paso del 10 %, en peso, del medio filtrante.

Coeficiente de Uniformidad: Hazen definió el coeficiente de uniformidad, C.U., como la relación de tamaño de granos que tiene un 60 % más fino que el mismo al tamaño que tiene un 10 % más fino que el mismo. En otras palabras:

$$C.U. = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{\text{Tamaño partícula para 60\% que pasa}}{\text{Tamaño partícula para 10 \% que pasa}} = \frac{d_{60}}{T.E.} \qquad [1]$$

VELOCIDAD DE FILTRACIÓN :

Según la normativa del INOS (6) la velocidad estándar de filtración es 81 litros por minuto por metro cuadrado y la tendencia para el año de publicación de dicha normativa (1965) era de 163 litros por minuto por metro cuadrado. Sin embargo, estudios más recientes publicados por la AWWA (9) demuestran que en la actualidad, es posible utilizar velocidades mayores.

En la siguiente tabla se presenta un resumen de las especificaciones indicadas por el INOS.

TABLA N°.3

Especificaciones de los Filtros Rápidos.

Profundidad del lecho de arena.	60 - 75 cm.
Profundidad de la grava.	45 cm a 60 cm
Tamaño Efectivo de la arena	0.40 - 0.50 mm
Coeficiente de Uniformidad de la arena	< 1.65
Velocidad de filtración	81 - 163 l/mín.m^2

3.2.- Granulometría y curvas correspondientes.

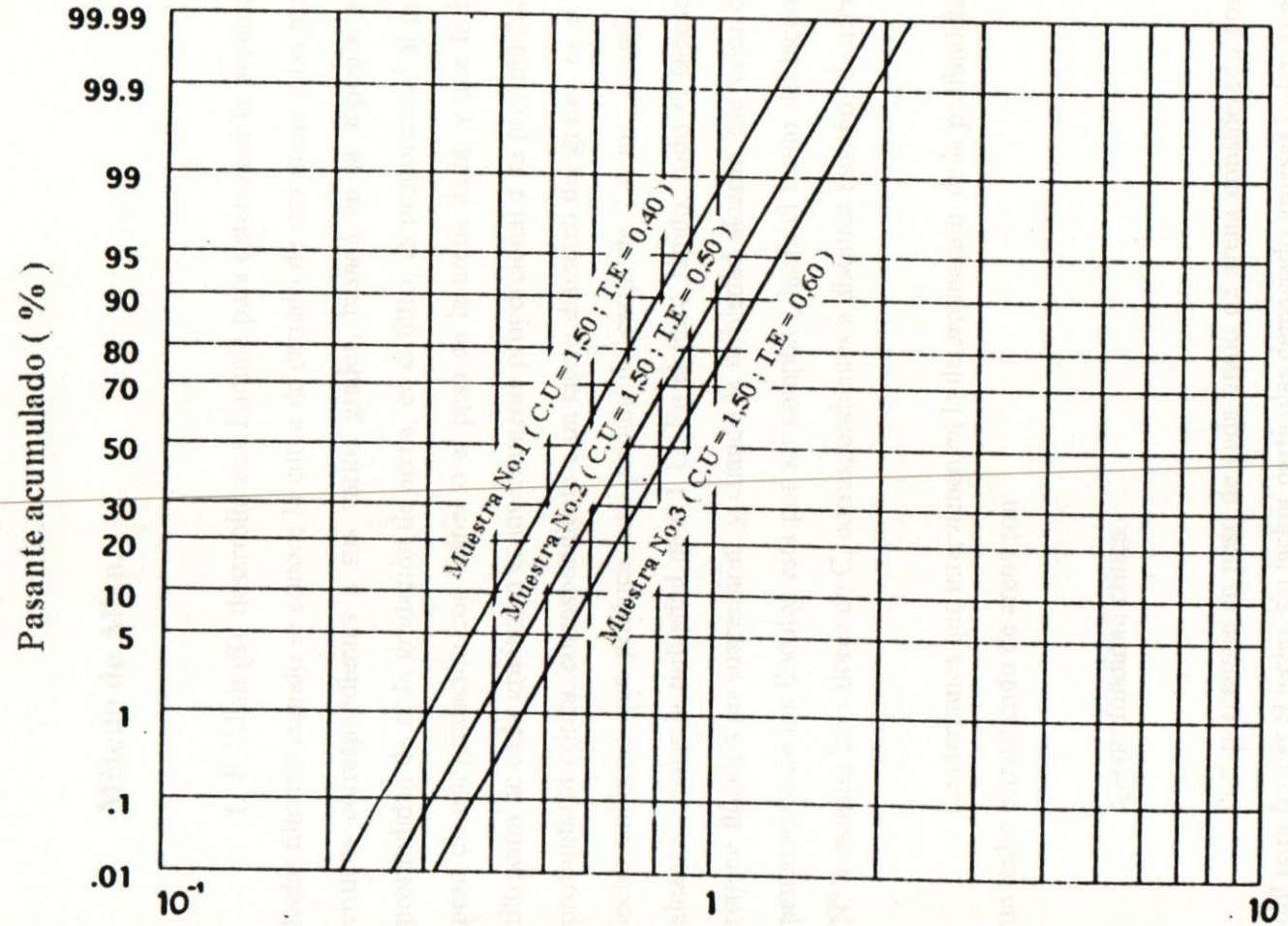
El material utilizado para la grava de sostén y el lecho filtrante fue agregado para construcción, el cual contiene una amplia gama de tamaños de grano, por lo cual se realizó el tamizado del misma con la finalidad de aprovechar el material más fino para el lecho filtrante y el más grueso para la grava de sostén. Debido al alto contenido de material grueso, lo cual redunda en un espesor de lecho muy grande, hubo que realizar varias jornadas de tamizado para poder aprovechar la fracción útil de la arena.

Luego de tamizada la arena y ya provistos de suficiente material útil se dibujaron curvas granulométricas en papel probabilístico-logarítmico, teniendo como premisa cumplir con las especificaciones de tamaño efectivo y coeficiente de uniformidad anteriormente descritas. Se idearon las tres mezclas con coeficiente de uniformidad igual a 1,5 , por lo que de su representación en la escala probabilística-logarítmica resultaron rectas paralelas. Entre ellas se varió el tamaño efectivo de la muestra, resultando estos valores: 0,4 , 0,5 y 0,6 , todos contenidos en el intervalo sugerido por las especificaciones técnicas, excepto el último de ellos. Esto se hizo con la finalidad de tener un rango más amplio de tamaños efectivos y así hacer más notable la diferencia de pérdidas de carga entre cada muestra. En el gráfico N°.2 se presentarán las rectas representativas de esas mezclas dibujadas en papel probabilístico-logarítmico.

Gracias al tamizado de la arena se tenía el material clasificado según los tamices pasantes y retenidos en los números: 8, 16, 20, 30, 40 y 50. De las rectas dibujadas se obtuvieron los porcentajes de cada tamaño de grano necesario para preparar las distintas mezclas a ser estudiadas. Luego mezclando en las proporciones calculadas se obtuvo un material con las características deseadas.

GRÁFICO N°.2

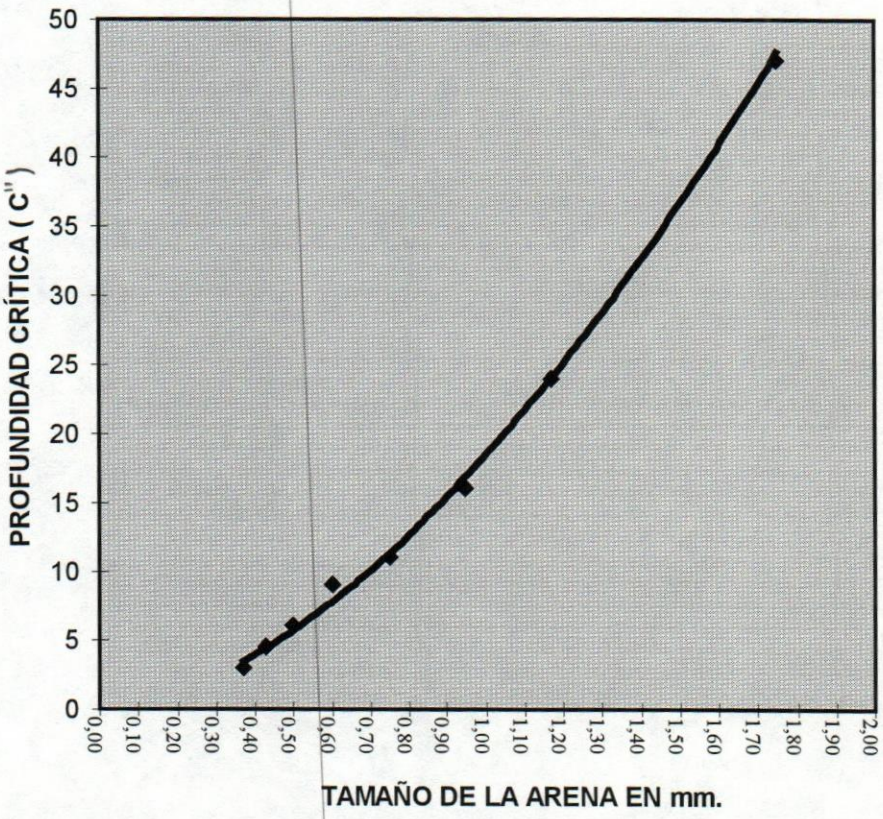
Granulometría de las Muestras



Tamaño de arena (mm)

GRÁFICO N°.3

Curva de Valores de C''



$P_{ci} = \dfrac{100 * P_i}{P_u}$, representa los porcentajes corregidos de cada grado de arena, tomando como 100 % a P_u.

d_m = profundidad mínima de arena útil, sin incluir los estratos muy finos o muy gruesos.

$$d_m = \frac{100}{\sum \frac{P_{ci}}{c_i}} \qquad [2]$$

El espesor del lecho en sitio, incluyendo los granos muy finos, que después del lavado se pueden recoger en la superficie y los muy gruesos, que se incorporan al drenaje es:

$$d = [\ (d_m + d_f) \times 100\ ] / P_u + [\ (P_f + P_s) \times d_m\ ] / P_u \qquad [3]$$

con d_f = profundidad adicional (usualmente 25 % de d_m), como factor de seguridad.

P_f = porcentaje de las partículas muy finas.

P_s = porcentaje de las partículas muy gruesas.

Cálculos.

A continuación se presentan los cálculos realizados para la obtención de las profundidades críticas de las tres muestras.

MEZCLA N°. 1 :

TABLA N°.4

Cálculos de $\sum \frac{P_{ci}}{c_i}$

Tamiz N° ASTM	Abertura mm	ci pulg	Pci %	Pci / ci
50	0,37	3	14,0	4,67
40	0,50	6	45,0	7,50
30	0,75	11	33,0	3,00
20	1,17	24	6,4	0,27
16	1,75	47	0,6	0,01
10	2,50			

Σ Pci / ci = 15,45

$d_m = \frac{100}{15.45} = 6.47''$ ⇒ d_1 = 1.25 x 6.47 x 2.54 = 20.54 cm.

MEZCLA N°.2 :

TABLA N°.5

Calculos de $\sum \frac{P_{ci}}{c_i}$

Tamiz N° ASTM	Abertura mm	ci pulg	Pci %	Pci / ci
50	0,37	3	3,9	1,29
40	0,50	6	26,0	4,33
30	0,75	11	44,0	4,00
20	1,17	24	21,0	0,88
16	1,75	47	5,0	0,11
10	2,50			

Σ Pci / ci = 10,61

$d_m = \frac{100}{10.61} = 9.42''$ ⇒ d_2 = 1.25 x 9.42 x 2.54 = 29.91 cm.

MEZCLA N°.3 :

TABLA N°.6

Cálculos de $\sum \frac{P_{ci}}{c_i}$

Tamiz N° ASTM	Abertura mm	ci pulg	Pci %	Pci / ci
50	0,37	3	0,2	0,06
40	0,50	6	9,8	1,64
30	0,75	11	36,0	3,27
20	1,17	24	34,0	1,42
16	1,75	47	19,7	0,42
10	2,50			

Σ Pci / ci = 6,80

$d_m = \frac{100}{6.80} = 14.71'' \Rightarrow \quad d_3 = 1.25 \times 14.71 \times 2.54 = 46.70$ cm.

CAPÍTULO IV : CÁLCULO TEÓRICO DE LA PÉRDIDA DE CARGA.

4.1.- Hidráulica del flujo de agua a través de lechos de arena.

De acuerdo a la ley de Pouiseuille para flujos laminares en tubos capilares, se puede escribir que la pérdida de carga, llamándola h, es:

$$h = \frac{32 \times \mu \times L \times V_e}{g \times \rho \times D^2} \qquad [4]$$

En la cual:

L = Longitud del tubo.

g = Aceleración de la gravedad.

V_e= Velocidad media del flujo (o tasa de descarga por unidad de área transversal).

D = Diámetro del tubo.

μ = Viscosidad absoluta del agua.

ρ = Densidad del agua (w/g).

Fair y Hatch, en su trabajo publicado en el Jour. A.W.W.A., 25, 11, 1551, del año1933, reemplazan el diámetro, nominado D, por el radio hidráulico en virtud de :

$$R = \text{Radio Hidráulico} = \frac{\text{Area de la sección transversal del tubo}}{\text{Perímetro mojado del tubo}} =$$

$$= \frac{\text{Area transversal x longitud}}{\text{Perímetro mojado x longitud}}$$

$$= \frac{\text{Volumen de agua en los poros de arena}}{\text{Area superficial de la arena}} = \frac{\text{Volumen de arena}}{\text{Area de arena}} \times \frac{P_r}{1 - P_r}$$

(siendo P_r la relación de porosidad, y representando, en consecuencia, la relación $\frac{P_r}{1-P_r}$ el porcentaje de poros del lecho).

Como el volumen de agua de los poros de la arena es igual al volumen de vacíos:

$$P_r \text{ x Volumen total} = \frac{P_r}{1-P_r} \text{ x } V_o.$$

Como la velocidad a través de los poros de la arena es:

$$V = \frac{\text{Velocidad de filtración}}{P_r} = \frac{V_e}{P_r}$$

podemos escribir la ecuación [4] así:

$$\frac{h}{L} = \frac{K \times \mu}{g \times \rho} * \frac{V_e}{P_r} \left(\frac{A}{V_o} * \frac{1-P_r}{P_r} \right)^2 \qquad [5]$$

en donde:

V_o es el volumen de la arena.

A, el área superficial de la arena.

K, un coeficiente experimental.

Las otras letras de las fórmulas mantienen las denominaciones enunciadas en la fórmula [4].

Los valores V_o y A pueden ser determinados solamente por medios indirectos. Para el caso de los granos esféricos, siendo D el diámetro de la esfera:

$$\frac{A}{V_o} = \frac{\pi \times D^2}{\frac{1}{6} \times \pi \times D^2} = \frac{1}{\frac{1}{6} \times D} = \frac{6}{D} = \frac{s}{D}$$

en donde s representa el factor de forma (6 para la esfera). Con base al trabajo publicado por Fair, Geyer y Okum (5), estos recomiendan los siguientes factores de forma:

TABLA N°.7

Valores del coeficiente s

Forma del grano	Factor s
Esferoidal	6.0
Redondeada	6.1
Ahusada	6.4
Afilada	7.4
Angular	7.7

4.2.- Aplicaciones de la teoría a lechos de arena estratificados. (filtros rápidos)

La relación área a volumen, $\frac{A}{V_o}$, puede variar desde altos valores en la parte superior del lecho (para granos finos) hasta pequeños valores en el fondo del lecho (para granos gruesos).

La resistencia por fricción será máxima en el tope y mínima en el fondo. La pérdida de carga en una cualquiera de la capas que contenga W gramos de arena, substancialmente uniforme, sería:

$$h = \frac{K \times \mu}{g \times \rho} \times V_e \times L \times \frac{(1 - P_r)^2}{P_r^2} \times \left(\frac{A}{V_o}\right)^2 \qquad [6]$$

como antes : $\frac{A}{V_o} = \frac{s}{D}$ se obtiene :

$$H = \frac{K \cdot \mu}{g \cdot \rho} \cdot V_e \cdot \frac{(1 - P_r)^2}{P_r^3} \cdot \frac{s^2}{100} \cdot \left[\sum \frac{W}{D^2}\right] \qquad [7]$$

4.3.- Cálculo de la porosidad de la arena.

La obtención de la porosidad para las distintas mezclas se realizó experimentalmente en el laboratorio de materiales de la U.C.A.B., mediante el cálculo de parámetros característicos tales como peso unitario y gravedad específica del material. Los métodos utilizados para la obtención de estos parámetros se presentan como anexos N°.2 y N°.3 respectivamente.

Se define la porosidad como la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total del lecho (10) :

$$n = V_{VACIO} / V_{TOTAL} \qquad [\ 8\ ]$$

$$V_{VACIO} = V_{TOTAL} - V_{SÓLIDO} \qquad [\ 9\ ]$$

sustituyendo [8] en [9] :

$$n = (V_{TOTAL} - V_{SÓLIDO}) / V_{TOTAL} \qquad [\ 10\ ]$$

$$\text{Gravedad Específica} = \text{Peso de la Arena} / V_{SÓLIDO} \qquad [\ 11\ ]$$

$$\text{Peso Unitario de la Arena} = \text{Peso de la Arena} / V_{TOTAL} \qquad [\ 12\ ]$$

luego, sustituyendo [11] y [12] en [10], se obtiene :

$$\text{Porosidad} = \frac{\text{Gravedad Específica - Peso Unitario de la arena}}{\text{Gravedad Específica}} \qquad [\ 13\ ]$$

Debido a que las mezclas fueron hechas a partir de un mismo material, conceptualmente todas tienen el mismo peso específico, por lo tanto se realizaron tres ensayos y se promediaron sus resultados obteniendo así un peso específico de 2.630 kg/m^3.

Para el cálculo del peso unitario hubo que estudiar que alternativa resultaba más representativa de la condición del filtro, si el material compacto o suelto. Después

de un análisis de la situación se llegó a la conclusión de que la condición de suelo suelto es la más representativa.

La arena al ser colocada se encuentra gradada de manera uniforme, siendo así ocupados los espacios vacíos que dejan las partículas grandes por las partículas más pequeñas, lo que resulta en un mayor peso de material para ocupar un mismo volumen, es decir, mayor peso unitario. Al realizar el lavado de la arena mediante un flujo ascendente, las partículas más pequeñas tienen un mayor recorrido que las grandes, realizándose así la estratificación del lecho. De manera que si se avanza de arriba hacia abajo a través del lecho se irá desde las partículas más finas hasta las más gruesas. Esta estratificación del lecho hace que en cada capa horizontal se encuentren partículas de tamaños muy parecidos, por lo que entre ellas quedan espacios vacíos que no son ocupados, ya que los granos de menor tamaño que podrían ocuparlos se encuentran en capas más altas. Por esto un lecho estratificado tiene un peso unitario menor que uno sin estratificar.

Los resultados de los ensayos y la aplicación de la ecuación de la porosidad se resumen en la siguiente tabla:

TABLA N°.8

Porosidad de la Arena

DISEÑO	POROSIDAD
MEZCLA 1	0.43
MEZCLA 2	0.44
MEZCLA 3	0.45

4.4.- Cálculos realizados.

El método presentado anteriormente para el cálculo de pérdidas de carga en un filtro rápido de arena, fue extraído del texto " Tratamiento de Potabilización de las Aguas " escrito por el profesor Gustavo Rivas Mijares (3). Este procedimiento fue fielmente seguido para el cálculo teórico de la pérdida de carga en las columnas de filtración, tal como se muestra a continuación.

Aunque la profundidad crítica resultó menor de 60 cm. para todos los diseños, se utilizó un lecho de arena de 60 cm., para cumplir con los parámetros establecidos en la referencia.

K: Estos valores dependen básicamente de aquellos que se adopten para fijar el tamaño de la arena con relación a los resultados de los análisis granulométricos. Si el tamaño se fija en base a la abertura de los cedazos, como efectivamente se hizo, el valor de K es aproximadamente 5 en cualquier sistema consistente de unidades.

Aceleración de la gravedad (g) : 9,81 m/s^2.

Porosidad: Estos valores fueron tomados de la tabla N°.8

La arena es de forma redondeada y según la tabla N°.7 el coeficiente s adopta un valor de 6.1.

El caudal de filtración adoptado para los ensayos fue de 2 lpm, esto es igual a: $\frac{2 \cdot 10^{-3}}{60} = 3.33333 \cdot 10^{-5} \left(m^3/s \right)$, dado el área de la sección: 0.12 m * 0.10 m =

0.012 m^2, encontramos el valor de la tasa de filtración: $\frac{3.33333 \cdot 10^5 \, m^3/s}{0.012 m^2} = 0.00278$ m/s. , equivalente a : 167 litros / (min x m^2)

La temperatura adoptada fue el promedio de varias mediaciones realizadas a lo largo de los ensayos, dando esto como resultado 26 °C. Para esta temperatura el parámetro $\frac{\mu}{\rho} = 8{,}774 \times 10^{-7}$ m^2/ s (8).

A continuación se presentan en forma tabulada los cálculos del término $\sum \frac{W}{D^2}$ y la aplicación de la ecuación de pérdida de carga respectivas a cada mezcla.

TABLA N°.9

Cálculo de Σ (W / D^2)

(MEZCLA N° 1)

Cedazo No. ASTM	abertura de tamiz mm	Media geométrica de los diámetros en mm D= $(D1xD2)^{1/2}$	D^2 mm^2	% pasante acumulado M1	% Retenido entre cedazos (W)	W / D^2 (mm^{-2}) M1
50	0,300	0,326	0,11	1	4	37,56
45	0,355	0,388	0,15	5	10	66,28
40	0,425	0,461	0,21	15	28	131,76
35	0,500	0,548	0,30	43	17	56,67
30	0,600	0,653	0,43	60	20	46,95
25	0,710	0,777	0,60	80	13	21,54
20	0,850	0,922	0,85	93	5	5,88
18	1,000	1,086	1,18	98	1,4	1,19
16	1,180	1,285	1,65	99,4	0,4	0,24
14	1,400	1,543	2,38	99,8	0,2	0,08
12	1,700	1,844	3,40	100	0	0,00
10	2,000	2,173	4,72	-	0	0,00
8	2,360	2,812	7,91			
6	3,350					
					Σ (W/D^2) =	**368,15**

pérdida 1 :

$$H_1 = \frac{5 \cdot 8{,}774 \cdot 10^{-7}}{9.81} \cdot 0{,}00278 \cdot \frac{(1-0{,}43)^2}{0{,}43^{\ 3}} \cdot 0{,}60 \cdot \frac{6{,}1^2}{100} \cdot 368.15 \cdot 10^6 = 0.42 \text{ m.}$$

TABLA N°.10

Cálculo de Σ (W / D^2)

(MEZCLA N° 2)

Cedazo No. ASTM	abertura de tamiz mm	Media geométrica de los diámetros en mm D= (D1xD2)$^{1/2}$	D^2 mm^2	% pasante acumulado M2	% Retenido entre cedazos (W)	W / D^2 (mm^{-2}) M2
50	0,300	0,326	0,11	0,12	0,06	0,56
45	0,355	0,388	0,15	0,18	3,82	25,32
40	0,425	0,461	0,21	4	6	28,24
35	0,500	0,548	0,30	10	20	66,67
30	0,600	0,653	0,43	30	21	49,30
25	0,710	0,777	0,60	51	23	38,11
20	0,850	0,922	0,85	74	15	17,65
18	1,000	1,086	1,18	89	6	5,08
16	1,180	1,285	1,65	95	4	2,42
14	1,400	1,543	2,38	99	0,7	0,29
12	1,700	1,844	3,40	99,7	0,3	0,09
10	2,000	2,173	4,72	100	0	0,00
8	2,360	2,812	7,91	-	0	0,00
6	3,350					
					Σ (W/D^2) =	233,73

pérdida 2 :

$$H_2 = \frac{5 \cdot 8{,}774 \cdot 10^{-7}}{9{,}81} \cdot 0{,}00278 \cdot \frac{(1-0{,}44)^2}{0{,}44^{\ 3}} \cdot 0{,}60 \cdot \frac{6{,}1^2}{100} \cdot 233{,}73 \cdot 10^6 = 0.24 \text{ m.}$$

CAPITULO V : OPERACIÓN DEL FILTRO.

5.1.- Descripción de las válvulas.

Para ilustrar los componentes del filtro se muestran en las páginas siguientes dos croquis representativos del sistema, cuyas válvulas se describen a continuación:

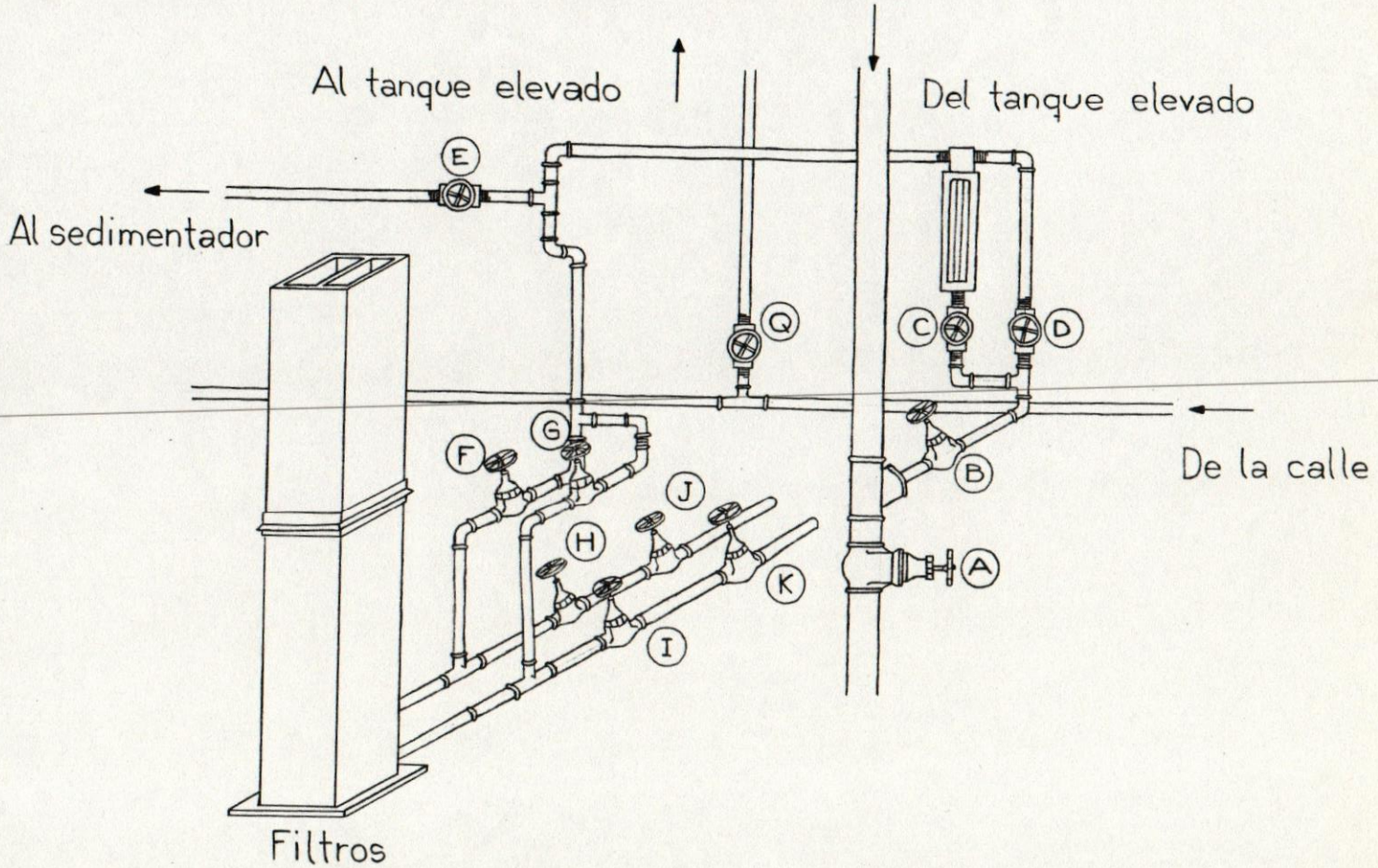
TABLA N°.12

Descripción de la Válvulas

VÁLVULA	FUNCIÓN
A	Restringe el uso del agua del tanque al laboratorio de sanitaria.
B	Aducción al sistema de filtración y retrolavado.
C	Entrada al rotámetro.
D	Entrada al tramo paralelo al rotámetro.
E	Aducción al canal floculador-sedimentador.
F	Agua de lavado para la unidad de filtración A.
G	Agua de lavado para la unidad de filtración B.
H	Regulación del caudal de salida dela unidad de filtración A.
I	Regulación del caudal de salida de la unidad de filtración B.
J	Salida del filtro A.
K	Salida del filtro B.
L	Salida del sedimentador al filtro A.
M	Salida del sedimentador al filtro B.
O	Salida del agua de lavado del filtro B.

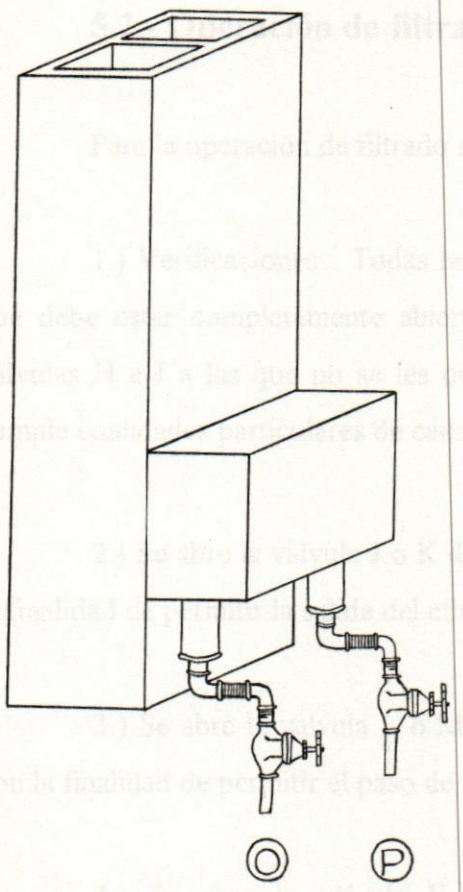
CROQUIS N°.1

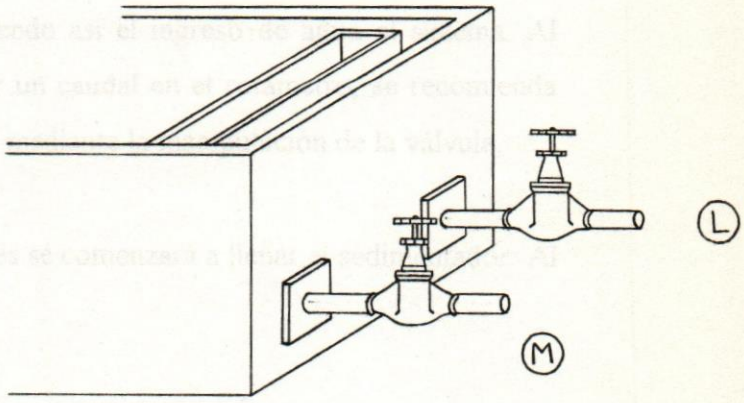
Ilustración de los Equipos



CROQUIS N°.2

Ilustración de los Equipos





manera que la altura de agua sobre el lecho de arena sea aproximadamente entre 30 cm y 40 cm La regulación de estas válvulas se hizo experimentalmente, y se utilizó esta alternativa debido a que fue imposible construir un tanque regulador como el que operaba antiguamente en la planta. Cabe destacar que la abertura de estas válvulas depende de las características del lecho filtrante y del caudal de filtrado, por lo que si se quisiera experimentar con otros lechos o con otro caudal distinto a 2 lpm habría que modificar su abertura.

Luego de pocos minutos el nivel de agua en el filtro será estable y podrá procederse a medir sobre la regleta la diferencia entre este nivel y el de los piezómetros, lo cual representa la pérdida de carga en el filtro.

5.2.- Operación de lavado.

Para la operación de lavado se realizará el siguiente proceso :

1.) Verificaciones : Todas las válvulas deben estar cerradas excepto la Q que debe estar completamente abierta.

2.) Se abre la válvula O ó la P, de acuerdo a cual unidad se desee lavar, la A o la B respectivamente.

3.) Se abre la válvula F ó la G, de acuerdo a cual unidad se desee lavar, la A o la B respectivamente.

4.) Se abren completamente las válvulas C y D.

5.) Se abre la válvula B, con la cual se regulará el caudal utilizado en el lavado. Al abrir esta válvula se registrará un caudal en el rotámetro, queda a disposición del usuario que caudal utilizar. Particularmente recomendamos usar caudales medidos en el rotámetro de 1 a 2.5 lpm.

Si se desease saber que caudal esta circulando realmente en el lavado se puede recurrir a la curva realizada para tal fin presentada como gráfico N°.1. En la cual se entraría con el caudal que registra el rotámetro.

CAPÍTULO VI : MEDICIÓN Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS.

6.1.- Filtrado.

Los ensayos para medir la pérdida de carga en el filtro se realizaron en varias etapas, debido a la poca cantidad de material útil de arena disponible. Por lo tanto se estudio cada muestra por separado.

Al estar lista la primera muestra de arena y haberse subsanado los problemas con la columna de filtración, se procedió a la medición de los valores de pérdida de carga. Para esto se desarmó nuevamente la columna de plexiglás y se introdujo el primer material.

Ya que los filtros son utilizados con fines académicos, para facilitar la lectura en el rotámetro, se adoptó como velocidad de filtrado 2 lpm (167 lts / (min. x m^2)). Dicho valor se encuentra dentro del rango propuesto por el INOS (6).

Gracias a que el filtro se encuentra dividido internamente en dos se pueden colocar muestras distintas en cada unidad pero para efectuar las mediciones se prefirió colocar la misma muestra en cada compartimiento, obteniendo así dos resultados por muestra los cuales se promediaron para luego obtener el valor definitivo de la pérdida de carga. Estos valores fueron : 40 cm. para un filtro y 42 cm. para el otro, para la primera muestra.

Después de terminar las mediciones con la primera muestra se desarmó nuevamente el filtro y se retiró el material, el cual se tuvo que secar y posteriormente

tamizar para construir la mezcla número 2. Esta se colocó en el filtro y se realizaron las mediciones, resultando : 29 cm en un filtro y 28 cm en el otro.

Se repitió la misma operación con la muestra número 3, para la cual se obtuvieron valores de pérdida de carga de : 15 cm. y 16 cm.

La tabla N°13 muestra los valores obtenidos.

TABLA N°.13

Valores de pérdida de carga

MEZCLA	PERDIDA DE CARGA OBTENIDA (cm.)	PERDIDA DE CARGA TEÓRICA (cm.)
1	41	42
2	28.5	24
3	15.5	14

Al terminar las mediciones con las mezclas propuestas se desarmó la columna de filtración y se extrajo toda la arena. Esta se volvió a secar y tamizar y se elaboraron las muestras 1 y 3, ya que estas son las de mayor diferencia en sus características. El objetivo de realizar estas nuevas muestras es de dejar en cada unidad de filtración un material distinto, de manera que al realizarse el filtrado se pueda ilustrar al estudiante la diferente pérdida de carga generada según las condiciones de cada lecho filtrante.

6.2.- Lavado.

Los ensayos de lavado del filtro se realizaron en paralelo a los de filtración. Seguidamente se presenta la comparación de las mediciones obtenidas de velocidades de lavado con las recomendadas por el INOS (6) , en la tabla siguiente:

TABLA N°.14

Comparación de velocidades de lavado

MEZCLA	% DE EXPANSION OBTENIDO	VELOCIDAD DE LAVADO OBTENIDA (m/min.)	VELOCIDAD DE LAVADO INOS 50% DE EXPANSION (m/min.)
1	50	1.67	0.75
2	50	1.50	0.75
3	33	1.00	0.75

Como puede observarse las velocidades de lavado necesarias para lograr el 50 % de expansión resultaron mayores que las recomendadas por el INOS (6), e incluso en la mezcla N° 3 no se logró generar la expansión deseada.

CAPÍTULO VII : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1.- CONCLUSIONES.

1.- Las pérdidas de carga obtenidas en el filtrado corresponden con las obtenidas teóricamente.

2.- Las velocidades de lavado obtenidas para las mezclas N°.1 y N°. 2 resultaron mayores que las recomendadas por las normas del INOS (6), para lograr el porcentaje de expansión recomendado (50 %).

3.- En el lavado de la mezcla N°.3 no se logró alcanzar el porcentaje de expansión recomendado (50%). Es posible que esto se deba a que el tamaño efectivo tomado para el diseño de la mezcla está un poco por encima de los recomendados por el INOS.

7.2.- RECOMENDACIONES.

Para continuar la recuperación de la planta se sugiere prescindir de las conexiones provisionales empleadas para la ejecución de este trabajo, descritas en el capítulo II; y retomar el esquema inicial en que estaba estructurada la planta, como se menciona en el capítulo I. De esta manera, se permite el uso de agua preparada según los parámetros que se deseen estudiar para medir la efectividad de los componentes de la planta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1.- RUIZ BOLIVAR, CARLOS; CARDELLE LAWAR,MARÍA. " **Manual de Tesis de Grado ".** Ediciones Libros Guayana. Puerto Ordaz, Venezuela. 1986.

2.- SABINO, CARLOS. " **Como hacer una Tesis ".** Editorial Panapo. Caracas, Venezuela. 1993.

3.- RIVAS MIJARES, GUSTAVO. " **Tratamiento de Potabilización de las aguas ".** Ediciones Nuevas Gráficas. Madrid, España. 1963.

4.- ROMERO ROJAS, JAIRO. " **Acuipurificación ".** Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia. 1994.

5.- FAIR, G. M.; GEYER, J.C. ; OKUM, D.A. " **Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal ".** Vol. 2. Editorial John Wiley & Sons. USA. 1968.

6.- Instituto Nacional de Obras Sanitarias. " **Normas para el Diseño de los Abastecimientos de Agua ".** Departamento Técnico. Caracas, Venezuela. 1965.

7.- LOMBANA, ISAAC ; PEÑA, GASPAR. " **Diseño, Instalación y Operación de una Planta de Tratamiento de Agua para uso Académico ".** Tesis de Grado, UCAB. Caracas, Venezuela. 1976.

8.- MATUTE GUILLEN, MARCO A. **"Apuntes del Curso de Ingeniería Sanitaria I ".** Caracas, Venezuela. 1986.

9.- AWWA. **" Water Quality and Treatment ".** 4ta Edición, McGrawHill. USA, 1990.

10.- LAMBE, WILLIAN;WHITMAN, ROBERT. **" Mecanica de Suelos ".** Editorial Limusa. México, 1995.

TESIS
IC998
A53
V.2

UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Universidad Católica Andrés Bello
BIBLIOTECA
Caracas

"Ajuste y Puesta en Marcha de los Filtros de la Planta Piloto de Tratamiento de Agua del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria"

(ANEXOS)

REALIZADO POR: Alvarez G., Juan C.
Rada S., Joel G.

PROFESOR GUIA: Matute G., Marco A.

FECHA: 29 de Mayo de 1998

ANEXO N°.1

REPUBLICA DE VENEZUELA

INSTITUTO NACIONAL DE OBRAS SANITARIAS

DEPARTAMENTO TECNICO

NORMAS

PARA EL DISEÑO DE LOS ABASTECIMIENTOS DE AGUA

Caracas, Junio de 1.965

B) TAMAÑO DE LA GRAVA. LA GRAVA GENERALMENTE SE COLOCA EN TRES CAPAS, LA INFERIOR CONSISTE DE MATERIAL DE 2 A 3/4 PULGS. Y TIENE UN ESPESOR DE 15 CMS; LA PRÓXIMA ES DE MATERIAL DE 3/4 A 3/8 PULGS, CON UN ESPESOR DE 7.5 CMS, Y LA SUPERIOR DE MATERIAL DE 3/8 A 3/16 PULGS, CON UN ESPESOR DE 7.5 CMS.

4. EL SISTEMA DE DRENAJE. ESTE GENERALMENTE ES UN SISTEMA DE TUBERÍAS DE ARCILLA O DE CONCRETO, COLOCADAS CON JUNTAS ABIERTAS, EN DEPRESIONES EN EL FONDO DEL LECHO Y CIRCUNDADAS POR GRAVA DEL TAMAÑO MÁS GRANDE MENCIONADO EN (B) ANTERIORMENTE. LOS TUBOS LATERALES SON DE UN TAMAÑO DE 6 A 10 PULGS, ESPACIADOS 2.40 A 3.60 MTS. LOS CUALES DESCARGAN EN UN CONDUCTO PRINCIPAL O TUBO. EL SISTEMA DE DRENAJE DEBE SER DISEÑADO DE TAL MANERA QUE LA PÉRDIDA DE CARGA A TRAVÉS DE ÉL, DESDE EL PUNTO MÁS LEJANO HASTA LA SALIDA, SEA MENOR QUE EL 25% DE LA PÉRDIDA DE CARGA A TRAVÉS DE LA ARENA LIMPIA DEL LECHO. ESTA PÉRDIDA DE CARGA INCLUYE LA FRICCIÓN EN LA GRAVA GRUESA, OCASIONADA POR EL MOVIMIENTO HORIZONTAL DEL AGUA HACIA LOS LATERALES.

5. PROFUNDIDAD DEL AGUA. LA PROFUNDIDAD DEL AGUA DURANTE LA FILTRACIÓN ES DE 0.90 A 1.50 MTS.

6. ENTRADA, SALIDA Y CONTROLES. EL AGUA DEBE ENTRAR AL LECHO DE TAL MANERA QUE NO REMUEVA LA ARENA. LA PROFUNDIDAD PUEDE REGULARSE POR MEDIO DE UNA VÁLVULA CONTROLADA POR FLOTANTE. LA MEDICIÓN DEL GASTO DE UN FILTRO POR MEDIO DE UN TUBO DE VENTURI U OTRO MEDIDOR ES ACONSEJABLE Y DEBE PROVEERSE CUALQUIER MEDIO PARA LA MEDICIÓN DE LA PÉRDIDA DE CARGA. GENERALMENTE NO SE USAN CONTROLADORES AUTOMÁTICOS DEL GASTO, YA QUE EL CONTROL ES POSIBLE LOGRARLO POR MEDIO DE UNA VÁLVULA DE COMPUERTA OPERADA MANUALMENTE Y SITUADA EN LA LÍNEA EFLUENTE.

XX. FILTROS RAPIDOS DE ARENA

A. MEDIO FILTRANTE.

1. GRAVA

A) ESPECIFICACIONES. LA GRAVA CONSISTIRÁ DE PIEDRECITAS DURAS REDONDEADAS, CON UN PESO ESPECÍFICO MEDIO NO MENOR DE 2.50. NO MÁS DEL 1% EN PESO DEL MATERIAL TENDRÁ UN PESO ESPECIFICO DE 2.25 O MENOS . LA GRAVA NO CONTENDRÁ MÁS DEL 2% EN PIEZAS DELGADAS, PLANAS O ALARGADAS, DETERMINADAS COGIÉNDOLAS A MANO. LA GRAVA ESTARÁ LIBRE DE ESQUISTOS, ARENA, -

./...

ARCILLA, MARGA O IMPUREZAS ORGÁN CAS DE CUALQUIER CLASE.

B) TAMAÑOS DE LA GRAVA Y ESPESOR DE LAS CAPAS. EL ESPESOR - DE LA CAPA DE GRAVA DEPENDE DEL SISTEMA DE DRENAJE QUE SE USE, PERO EN GENERAL SE HA ENCONTRADO SATISFACTORIO LAS GRADUACIONES QUE SE COPIAN MÁS ABAJO.

LA CAPA Nº 1 NO ES NECESARIA LA MAYORÍA DE LAS VECES, ESPECIALMENTE SI SE USAN LOS FONDOS WHEELER, WAGNER, DE BLOQUES U OTROS DISPOSITIVOS SIMILARES.

NÚMERO DE LA CAPA	TAMAÑO DEL TAMIZ (PULGADAS)	ESPESOR DE LA CAPA EN CMS.
1	2 A 1.	7.5 A 10
2	1 A 3/4	7.5 A 10
3	3/4 A 3/8	7.5 A 10
4	3/8 A 1/4	7.5 A 10
5	1/4 A 1/8	7.5 A 10
6	1/8 A 1/16	7.5 A 10

EL ESPESOR TOTAL DE GRAVA ES DE 45 A 60 CMS.

2. ARENA.

A) ESPECIFICACIONES. TODA LA ARENA CONSISTIRÁ DE GRANOS DUROS Y DURABLES, LIBRES DE ARCILLAS, MARGA, TIERRA O MATERIA - ORGÁNICA (EXCEPTO EN EL CASO DE LA ANTRACITA) Y NO MÁS DEL 1% SERÁN PARTÍCULASS PLANAS O MICÁCEAS. DESPUÉS DE LA - INMERSIÓN POR 24 HORAS EN ÁCIDO CLORHÍDRICO AL 20% COMO - HCl, EL MATERIAL NO DEBE HABER PERDIDO MÁS DEL 5% DE SU - PESO ORIGINAL.

LA ARENA NO CONTENDRÁ MÁS DE $1-\frac{1}{2}$ POR CIENTO DE CALCIO Y MAGNESIO EN CONJUNTO Y CALCULADOS COMO $CaCO_3$; LA PÉRDIDA POR IGNICIÓN DE LA **ARENA MACHACADA Y PULVERIZADA NO DEBE** - SER MAYOR DEL 2% EN PESO.

B) TAMAÑO DE LA ARENA. HAY CUATRO CONSIDERACIONES IMPORTANTES QUE PRIVAN EN LA SELECCIÓN DEL TAMAÑO DE LA ARENA Y SON -

./...

LAS SIGUIENTES :

1) LA CALIDAD DEL EFLUENTE QUE HA DE SUPLIR EL FILTRO.

2) LA RATA DE FILTRACIÓN.

3) EL PERÍODO DE TRABAJO DEL FILTRO ENTRE DOS LAVADOS CONSECUTIVOS.

4) LA RATA DE APLICACIÓN DEL AGUA DE LAVADO.

EN GENERAL, LA ARENA SERÁ DE TAMAÑO TAL QUE PUEDA RETENER UNA GRAN CANTIDAD DE FLÓCULO SIN PERMITIR QUE ÉSTE PASE A TRAVÉS DE LOS FILTROS, SIN AUMENTAR LAS DIFICULTADES DEL LAVADO; DEBE PERMITIR RATAS ELEVADAS DE FILTRACIÓN Y PERÍODO LARGOS DE TRABAJO ENTRE CADA DOS LAVADOS CONSECUTIVOS, Y AL SER LAVADA DEBE LIMPIARSE DE MANERA QUE QUEDE LIBRE DE PARTÍCULAS ADHERIDAS, SIN QUE PARA ELLO SEA NECESARIO EMPLEAR UNA VELOCIDAD DEL AGUA DE LAVADO TAN ALTA, QUE ARRASTRE CONSIGO PARTÍCULAS DE ARENA. ALGUNOS DE ESTOS REQUISITOS SON MUTUAMENTE OPUESTOS. POR EJEMPLO, LA ARENA FINA EVITARÁ EL PASO DEL FLÓCULO Y DARÁ UN EFLUENTE DE BUENA CALIDAD, PERO REDUCIRÁ EL PERÍODO DE TRABAJO ENTRE LAVADOS CONSECUTIVOS PARA UNA RATA DE FILTRACIÓN DADA, Y PUEDE REQUERIR UNA RATA MENOR DE APLICACIÓN DEL AGUA DE LAVADO PARA UNA EXPANSIÓN DETERMINADA MIENTRAS QUE CON LA ARENA GRUESA SUCEDERÁ TODO LO CONTRARIO. POR LO TANTO, EL PROYECTISTA TIENE QUE DETERMINAR LA COMBINACIÓN MÁS VENTAJOSA TOMANDO EN CUENTA ESTAS CONSIDERACIONES, Y ELEGIR EL TAMAÑO DE LA ARENA DE ACUERDO.

EL TAMAÑO EFECTIVO DE LA ARENA USADO ORDINARIAMENTE ESTÁ COMPRENDIDO ENTRE 0.40 Y 0.50 MMS. CON UN COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD NO MAYOR DE 1.65.

LA TENDENCIA ACTUAL ES LA DE USAR ARENA MÁS GRUESA CON UNA RATA DE FILTRACIÓN MÁS ALTA Y UN BUEN TRATAMIENTO PREVIO DEL AGUA.

c) PROFUNDIDAD DEL LECHO DE ARENA. LA PROFUNDIDAD DEL LECHO DEPENDE DEL TAMAÑO DE LA ARENA. EN LOS FILTROS QUE CONTIENEN ARENA MÁS GRUESA LOS LECHOS DEBEN SER MÁS PROFUNDOS QUE EN AQUELLOS QUE CONTIENEN ARENA FINA. POR LO TANTO, LA PROFUNDIDAD DE LA ARENA DEBE DETERMINARSE PREFERIBLEMENTE DESPUÉS DE HACER EXPERIMENTOS CON DISTINTOS TAMAÑOS DE ARENA, RATAS DE FILTRACIÓN, ETC. Y DE APLICAR LAS FÓRMULAS CORRESPONDIENTES. EL LECHO DE ARENA GENERALMENTE TIENE UN ESPESOR DE 0.60 A 0.75 MTS. LA TENDENCIA ACTUAL ES LA DE USAR LECHOS MENOS PROFUNDOS.

./...

3. ANTRACITA TRITURADA. LA ANTRACITA ES UN TIPO DE CARBÓN DURO QUE APROPIADAMENTE PARTIDO, SE USA CON BUEN ÉXITO COMO - MEDIO FILTRANTE EN VEZ DE LA ARENA. PESA ALREDEDOR DE 1.200 KGS. POR M3 (APROXIMADAMENTE LA MITAD DE LA ARENA). SE - REQUIERE SOLAMENTE LA MITAD DE LA VELOCIDAD DE LAVADO CON - LA ANTRACITA QUE CON LA ARENA, PARA PRODUCIR LA MISMA EXPANSIÓN. SE ASEGURA QUE SE OBTIENEN PERÍODOS DE TRABAJO UN - 40% MAYORES QUE CON LA ARENA. EL TAMAÑO EFECTIVO ES DE 0.60 A 0.70 MMS. EL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD ES DE 1.6.. LA - PROFUNDIDAD DEL LECHO DE ANTRACITA VARÍA DE 0.75 MTS. PARA UN TAMAÑO EFECTIVO DE 0.70 MMS. A 0.60 MTS. PARA UN TAMAÑO EFECTIVO DE 0.60 MMS.

B. RATA DE FILTRACION. LA RATA DE FILTRACIÓN DEBE BASARSE EN - ESTUDIOS QUE TOMEN EN CUENTA EL PERÍODO DE TRABAJO Y EL - - TAMAÑO DE LA ARENA. CADA VEZ QUE SEA POSIBLE DEBEN HACERSE EXPERIMENTOS PARA ELEGIR LA RATA MÁS ECONÓMICA. LA RATA - - STANDARD DE FILTRACIÓN HA SIDO DE 81 LTS. POR MINUTO POR METRO CUADRADO, PERO LA TENDENCIA ACTUAL ES LA DE AUMENTARLA HASTA 163 LTS. POR MINUTO POR METRO CUADRADO, Y AÚN MÁS, USANDO - ARENA MÁS GRUESA Y UN BUEN TRATAMIENTO PREVIO.

C. CAPACIDAD Y NUMERO DE UNIDADES DE FILTROS. LA PRÁCTICA GENERAL HA SIDO LA DE CONSTRUIR LAS UNIDADES CON CAPACIDADES QUE SEAN MÚLTIPLOS O FRACCIONES EXACTAS DE UN MILLÓN DE GALONES POR DÍA (3.785 MILLONES DE LITROS POR DÍA). ENTRE LAS UNIDADES MÁS GRANDES CONSTRUIDAS SE ENCUENTRAN LAS DE 5 MILLONES DE GALONES POR DÍA. POR LO MENOS DEBE HABER 2 FILTROS EN LAS PLANTAS PEQUEÑAS Y 4 FILTROS EN LAS PLANTAS GRANDES. (SE - DISCUTIRÁN LOS DETALLES DEL NÚMERO DE FILTROS REQUERIDOS EN LA SECCIÓN XIV-B).

B. SISTEMA DE DRENAJES. LA CONDICIÓN PRIMORDIAL DEL SISTEMA DE DRENAJES ES LA DE DISTRIBUIR EL AGUA DE LAVADO ADECUADA Y - UNIFORMEMENTE EN TODA LA SUPERFICIE DE LA ARENA. LOS SISTEMAS DE DRENAJE USADOS EN LOS FILTROS RÁPIDOS DE ARENA PUEDEN SUBDIVIDIRSE ASÍ :

1. RED DE TUBERÍAS
2. FONDOS WAGNER
3. PLANCHAS PERFORADAS
4. FONDO WHEELER
5. BLOQUES DIFUSORES

./...

1. RED DE TUBERÍA. LAS REDES DE TUBERÍA SE COMPONEN DE TUBOS - PRINCIPALES Y LATERALES O DE LATERALES SOLAMENTE, LOS CUALES TERMINAN EN CONDUCTOS GRANDES O CONDUCTOS PRINCIPALES. ESTOS TUBOS TIENE PERFORACIONES O COLADORES. LAS ESPECIFICACIONES RELATIVAS AL DISEÑO DE ESTE SISTEMA DE DESAGUE INFERIOR SON LAS SIGUIENTES :

   A) EL ESPACIAMIENTO MÁXIMO DE LOS LATERALES DEBE SER DE - 0.30 MTS.

   B) LOS DIÁMETROS DE LAS PERFORACIONES SERÁN ENTRE 1/2 Y - 1/4 PULGS.

   C) EL ESPACIAMIENTO DE LAS PERFORACIONES EN LOS LATERALES - PUEDE VARIAR DE 7.5 CMS. PARA PERFORACIONES DE 1/4 PULG. DE DIÁMETRO, HASTA 20 CMS. PARA PERFORACIONES DE 1/2 PULG.

   D) LA RELACIÓN DEL ÁREA TOTAL DE LAS PERFORACIONES DEL SISTEMA DE DRENAJE AL ÁREA TOTAL DEL FILTRO PUEDE SER TAN PEQUEÑA COMO 0.002, LO QUE EQUIVALE A 20 CM^2 POR CADA METRO CUADRADO DE FILTRO.

   E) LA RELACIÓN DE LA LONGITUD DE UN LATERAL A SU DIÁMETRO NO DEBE EXCEDER DE 60.

   F) LA RELACIÓN DEL ÁREA TOTAL DE LAS PERFORACIONES DEL SISTEMA DE DRENAJE AL ÁREA TOTAL DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL - DE LOS LATERALES NO DEBE EXCEDER DE 0.5 PARA PERFORACIONES DE 1/2 PULGS. DE DIÁMETRO Y DEBE REDUCIRSE A 0.25 PARA - PERFORACIONES DE 1/4 PULGS.

   G) SI SE USAN LOS FACTORES DE DISEÑO INDICADOS ARRIBA, LA - RATA DE LAVADO PUEDE VARIARSE ENTRE 0.15 Y 0.90 MTS. POR MINUTO (150 A 900 LTS. POR M^2 POR MINUTO).

2. FONDO WAGNER. EL FONDO WAGNER CONSISTE EN BLOQUES DE CONCRETO RANURADOS, COLOCADOS ENTRE LATERALES ORDINARIOS PERFORADOS Y EN TAL FORMA QUE SE DEJA UN ESPACIO LIBRE ADICIONAL EN TODO - EL FONDO QUE PERMITE EL FÁCIL MOVIMIENTO HORIZONTAL DEL AGUA.

3. PLANCHAS PERFORADAS CUBRIENDO CANALETAS DE CONCRETO O TIPOS DE FONDO FALSO. CONSISTE EN LOMOS DE CONCRETO COLOCADOS DE - 0.20 A 0.30 MTS. CENTRO A CENTRO. UNA REJA DE LATÓN PERFORADO SE SOPORTA ENTRE ESTOS LOMOS, Y SE COLOCA ALREDEDOR DE 10 CMTS. POR ENCIMA DEL FONDO DEL FILTRO.

./..

4. FONDO WHEELER. ESTE FONDO PROPORCIONA UNA BUENA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA DE LAVADO Y REQUIERE MENOS GRAVA, PERO TIENE LA DESVENTAJA DE SER UN POCO COSTOSO. ESTÁ FORMADO POR TOLVAS QUE TIENEN LA FORMA DE PIRÁMIDES TRUNCADAS, VACIADAS EN EL FONDO DE CONCRETO, EL CUAL ES SOPORTADO POR SOBRE EL FONDO DE LOS FILTROS, BIEN SEA MEDIANTE COLUMNAS DE CONCRETO PARA FORMAR UNA CÁMARA DE COMPENSACIÓN, O BIEN MEDIANTE LOMOS DE CONCRETO PARA FORMAR CANALES. TUBOS DE BRONCE O DE PORCELANA CONECTAN LAS TOLVAS CON LOS CANALES O CON LAS CÁMARAS INFERIORES. LAS TOLVAS SE LLENAN CON BOLAS DE CONCRETO DE 3 PULGS. Y EN LOS INTERSTICIOS SE PONEN BOLAS DE PORCELANA DE UN TAMAÑO DE 1 1/4 PULGS. Y FINALMENTE UNA CAPA DE GRAVA DE 3/4 A 1/8 PULGS ENCIMA DE LAS TOLVAS SE COLOCAN CAPAS DE GRAVA DE 3/4 A 1/2 PULGS O MENOS.

5. LÁMINAS DIFUSORAS. PUEDEN USARSE TAMBIÉN LÁMINAS DIFUSORAS POROSAS. LAS LÁMINAS SE MONTAN SOBRE SOPORTES APOYADOS EN EL FONDO DEL FILTRO Y LA ARENA DESCANSA DIRECTAMENTE SOBRE LAS LÁMINAS. SE OMITE LA CAPA DE GRAVA. UNA OBJECIÓN AL USO DE ESTE TIPO DE FONDO ES LA ACUMULACIÓN GRADUAL DE MATERIA SÓLIDA EN LAS LÁMINAS, LO QUE NECESITA LA REMOCIÓN OCASIONAL Y LA LIMPIEZA CON ÁCIDOS O ÁLCALIS.

E. LAVADO DE LOS FILTROS.

1. PERÍODOS DE TRABAJO ENTRE LAVADOS CONSECUTIVOS. EL PERÍODO PERMISIBLE DE TRABAJO ENTRE DOS LAVADOS CONSECUTIVOS ESTÁ FIJADO POR LA MAGNITUD DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA A TRAVÉS DEL LECHO O POR EL CARÁCTER DEL EFLUENTE QUE SALE DEL FILTRO. ESTE PERÍODO LO DETERMINA PRINCIPALMENTE LA EFICIENCIA DEL PRE-TRATAMIENTO, LA RATA DE FILTRACIÓN Y EL CARÁCTER DE LA ARENA. EL PERÍODO DE TRABAJO ENTRE LAVADOS ES UN FACTOR MUY IMPORTANTE EN LA ECONOMÍA DE LA FILTRACIÓN. GENERALMENTE EL AGUA REQUERIDA PARA EL LAVADO DEBE SER MENOR DEL 4 POR CIENTO DEL AGUA TOTAL FILTRADA.

2. RATA DE LAVADO. LA RATA DE LAVADO DEPENDE DEL TAMAÑO Y DE LA DENSIDAD DEL MATERIAL FILTRANTE, ASÍ COMO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA. LA RATA DE LAVADO DEBE SER SUFICIENTE PARA EXPANDIR EL LECHO DE ARENA ALREDEDOR DEL 50 POR CIENTO, CUANDO NO SE USE EL LAVADO SUPERFICIAL. EN CASO DE USAR EL LAVADO SUPERFICIAL LA EXPANSIÓN DE LA ARENA, PUEDE SER MENOR DEL 50 POR CIENTO.

LAS RATAS DE LAVADO DE LA ARENA SON DE 0.60 A 1.0 MT. POR

./...

MINUTO. SEGÚN LOS RESULTADOS DE ENSAYOS EFECTUADOS, LAS RATAS SIGUIENTES DE APLICACIÓN DEL AGUA DARÁN UN LAVADO EFICIENTE:

RANGO APROXIMADO EN EL TAMAÑO DE LOS GRANOS DE LA CAPA SUPERIOR DE ARENA EN MMS. (DIÁMETRO PROMEDIO)	ASCENSIÓN VERTICAL DEL AGUA DE LAVADO EN MTS POR MINUTO
0.25 A 0.35	0.60
0.35 A 0.65	0.75
0.65 A 0.95	0.90
0.95 A 1.35	1.00

ESTOS VALORES SERVIRÁN COMO GUÍA PARA LOS FINES DEL DISEÑO. LAS RATAS DE LAVADO DEBEN VERIFICARSE EN CADA CASO PARTICULAR, PARA UN TAMAÑO DADO DE ARENA, Y SUPONIENDO TEMPERATURAS DIFERENTES, POR MEDIO DE LAS FÓRMULAS APROPIADAS.

LAS RATAS DE LAVADO REQUERIDAS PARA LA ANTRACITA TRITURADA SON MUCHO MENORES, PARA UNA EXPANSIÓN DADA, QUE PARA LA ARENA. (50 POR CIENTO APROXIMADAMENTE).

LOS LAVADOS CON RATAS BAJAS Y CON AIRE NO SE PERMITEN.

3. CANTIDAD DE AGUA DE LAVADO. CAPACIDAD DE LOS ESTANQUES Y DE LAS BOMBAS DE LAVADO. LA CAPACIDAD DE LOS ESTANQUES DEBE SER UN 50 POR CIENTO MAYOR QUE LA CANTIDAD DE AGUA REQUERIDA PARA UN SOLO LAVADO, CON UNA DURACIÓN DE 5 A 6 MINUTOS, A LA RATA DE LAVADO PREVISTA EN EL DISEÑO O A UNA UN POCO MÁS ALTA. SI EL NÚMERO DE FILTROS ES BASTANTE GRANDE, EL ESTANQUE DEBE TENER CAPACIDAD PARA LAVAR DOS FILTROS CONSECUTIVAMENTE.

PARA LAS PLANTAS PEQUEÑAS DEBEN PROVEERSE LAS BOMBAS DE AGUA DE LAVADO POR DUPLICADO, Y CADA UNA DE ELLAS DEBE TENER CAPACIDAD SUFICIENTE PARA LLENAR LOS ESTANQUES ENTRE LOS PERÍODOS DE LAVADO. ALGUNAS VECES SE OMITE EL ESTANQUE DEL LAVADO Y LA CAPACIDAD DE UNA DE LAS BOMBAS DEBE SER ENTONCES SUFICIENTE PARA LAVAR LOS FILTROS DIRECTAMENTE.

./...

LA DISTANCIA VERTICAL ENTRE EL VERTEDERO DE LAS CANALETAS DE LAVADO Y EL FONDO DEL ESTANQUE DEBE SER MAYOR QUE LA SUMA DE LAS SIGUIENTES PÉRDIDAS DE CARGA, CALCULADAS CON LA RATA MÁXIMA DE LAVADO :

A) PÉRDIDA DE CARGA A TRAVÉS DE LA ARENA EXPANDIDA.
B) " " " " " " " GRAVA.
C) " " " " " DEL FONDO DEL FILTRO.
D) " " " " " DE LA TUBERÍA DE LAVADO.

EN GENERAL, SE HAN OBTENIDO RESULTADOS SATISFACTORIOS COLOCANDO EL ESTANQUE DE MANERA QUE SE TENGA UNA CARGA DE 9 A 11 MTS. POR ENCIMA DE LAS CANALETAS.

4. LAVADO SUPERFICIAL. SE USAN VARIOS TIPOS DE LAVADO SUPERFICIAL, PERO PUEDEN DIVIDIRSE EN DOS GRUPOS: LOS DE TUBERÍAS FIJAS Y LOS PROVISTOS DE AGITADORES QUE GIRAN POR LA PRESIÓN INTERNA DEL AGUA QUE CIRCULA POR ELLOS.

EL PRIMER TIPO APLICA EL AGUA EN FORMA DE CHORROS A UNA PRESIÓN DE 3.5 KGS/CM^2 O MÁS Y A UNA RATA DE 160 A 325 LITS/MIN/M^2 DE LECHO FILTRANTE.

EL SEGUNDO TIPO REQUIERE PRESIONES ENTRE 3.5 Y 5.25 KGS/CM^2 Y UNA RATA DE APLICACIÓN DE 20 A 40 LTS./MIN/M^2.

5. CANALETAS DE AGUA DE LAVADO.

A) SEPARACIÓN. LA SEPARACIÓN LATERAL DE LAS CANALETAS DEBE SER DE 1.80 MTS. COMO MÁXIMO, ENTRE LOS BORDES LATERALES DE LAS CANALETAS.

B) ALTURA SOBRE LA SUPERFICIE DE LA ARENA. LA ALTURA DEL FONDO DE LA CANALETA POR ENCIMA DE LA SUPERFICIE DE LA ARENA DEBE SER IGUAL A LA EXPANSIÓN MÁXIMA DE LA ARENA. ES DECIR, SI SE REQUIERE UNA EXPANSIÓN MÁXIMA DE LA ARENA DEL 50% EL FONDO DE LA CANALETA DEBE ESTAR A UNA DISTANCIA IGUAL O MAYOR QUE LA MITAD DEL ESPESOR DEL LECHO DE ARENA, POR ENCIMA DE LA SUPERFICIE DE ESTA ARENA.

C) CAPACIDAD DE LAS CANALETAS. LAS CANALETAS DE AGUA DE LAVADO CON FONDOS HORIZONTALES PUEDEN DISEÑARSE USANDO LA SIGUIENTES FÓRMULA :

$$H = \sqrt{h + \frac{2Q^2}{g\,b^2 h}}$$

./...

EN LA CUAL H = PROFUNDIDAD DEL AGUA EN LA CANALETA EN EL EXTREMO AGUAS ARRIBA, EN METROS.

h = PROFUNDIDAD DEL AGUA EN LA CANALETA EN EL EXTREMO DE DESCARGA, AGUAS ABAJO, EN METROS.

Q = DESCARGA EN M^3/SEG.

g = ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD, 9.81 MTS/SEG./SEG.

b = ANCHO DE LA CANALETA EN METROS.

USUALMENTE LAS CANALETAS DESCARGAN LIBREMENTE EN LOS CANALES PRINCIPALES EN CUYO CASO LA FÓRMULA INDICADA ARRIBA SE CONVIERTE EN :

$$Q = 1.38\, b\, H^{1.5}$$

LAS FÓRMULAS INDICADAS ARRIBA SE REFIEREN A LAS CANALETAS RECTANGULARES. PARA LAS CANALETAS CON PAREDES PARALELAS, PERO CUYAS SECCIONES TRANSVERSALES NO SEAN RECTANGULARES, SE TOMA EL RECTÁNGULO DE ÁREA EQUIVALENTE. SE DEBE AGREGAR UN BORDE LIBRE O DESAHOGO DE 5 CMS. A LA PROFUNDIDAD OBTENIDA POR LA FÓRMULA.

F. VELOCIDAD EN LOS CONDUCTOS DE LOS FILTROS. EN GENERAL, LAS VELOCIDADES CON LA CAPACIDAD NORMAL DE LA PLANTA Y CON LA RATA MÁXIMA DE LAVADO NO DEBEN EXCEDER LOS SIGUIENTES VALORES:

TUBO	VELOCIDAD EN MTS/SEG.
AFLUENTE DEL FILTRO.....	0.30 A 0.60
EFLUENTE DEL FILTRO.....	1.5
AGUA DE LAVADO.....	3.0
AGUA DE DESPERDICIO.....	2.4
FILTRO A DESPERDICIO.....	4.5

G. ALTURA DE AGUA POR ENCIMA DE LA ARENA. BORDE LIBRE. PROFUNDIDAD TOTAL DE LAS CAMARAS DE LOS FILTROS.

LA PROFUNDIDAD MÍNIMA DE LA CÁMARA DE UN FILTRO SERÁ LA SUMA-

DE LAS SIGUIENTES DIMENSIONES :

1. LA ALTURA REQUERIDA POR EL SISTEMA DE DRENAJE Y POR LA GRAVA.

2. EL ESPESOR DEL LECHO DE ARENA.

3. LA PROFUNDIDAD DEL AGUA POR ENCIMA DE LA ARENA DURANTE LA FILTRACIÓN.

4. EL BORDE LIBRE POR ENCIMA DE LA ELEVACIÓN MÁXIMA DEL AGUA DURANTE LA FILTRACIÓN, QUE ES COMUNMENTE DE 0.30 MTS.

AL FIJAR LA PROFUNDIDAD REQUERIDA DE LA CÁMARA DE UN FILTRO, LA PÉRDIDA DE CARGA MÁXIMA ADMISIBLE EN LA OPERACIÓN DE LOS FILTROS ES FRECUENTEMENTE LA CONSIDERACIÓN DE MAYOR IMPORTANCIA. LA PÉRDIDA DE CARGA DE UN FILTRO EN UN MOMENTO DADO, PUEDE MEDIRSE POR DIFERENCIA DE LOS NIVELES DE AGUA EN DOS PIEZÓMETROS, DE LOS CUALES UNO ESTÁ UNIDO CON LA TUBERÍA DEL EFLUENTE Y EL OTRO CON LA CÁMARA DEL FILTRO POR ENCIMA DE LA SUPERFICIE DE LA ARENA. SI SE PERMITE QUE EL NIVEL DEL AGUA EN EL PIEZÓMETRO INFERIOR SE ESTABLEZCA POR DEBAJO DE LA SUPERFICIE INFERIOR DE LA CAPA DE ARENA, EXISTIRÁ EN LA ARENA UNA PRESIÓN MENOR QUE LA ATMOSFÉRICA Y SE PRODUCIRÁ UNA SUCCIÓN O PRESIÓN NEGATIVA EN LOS FILTROS. ESTO OCASIONA EL DESPRENDIMIENTO DE LOS GASES DISUELTOS EN EL AGUA, LO QUE PUEDE CAUSAR INCONVENIENTES EN LA OPERACIÓN DE LOS FILTROS. POR LO TANTO PARA QUE NO HAYA LUGAR A OPERAR EL FILTRO CON CARGA NEGATIVA, LA PROFUNDIDAD DE LA CÁMARA DEL FILTRO DEBE SER IGUAL A LA PÉRDIDA DE CARGA MÁXIMA PERMISIBLE EN LOS FILTROS, MÁS EL BORDE LIBRE.

LAS CÁMARAS DE LOS FILTROS SE CONSTRUYEN GENERALMENTE CON UNA PROFUNDIDAD DE 2.40 A 4.25 MTS., CON UNA PROFUNDIDAD MÍNIMA DEL AGUA POR ENCIMA DE LA ARENA DURANTE LA FILTRACIÓN DE 1.20 A 1.50 MTS.

H. PERDIDAS DE CARGA. LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN EL SISTEMA DE DRENAJE Y EN LAS TUBERÍAS DURANTE LA FILTRACIÓN Y EL LAVADO, PUEDEN CALCULARSE USANDO LAS FÓRMULAS HIDRÁULICAS APROPIADAS.

LA PÉRDIDA DE CARGA EN LA ARENA DURANTE LA FILTRACIÓN PUEDE COMPUTARSE POR LA FÓRMULA DE FAIR Y HATCH. LA PÉRDIDA DE CARGA EN LA ARENA DURANTE EL LAVADO ES IGUAL AL PESO DE LA ARENA EN EL AGUA.

./...

La pérdida de carga durante el lavado de la grava graduada es aproximadamente de 0.1 mt. por cada metro de profundidad, para una rata de lavado de 0.30 mt. por minuto y varía en razón directa para otras profundidades y ratas de uso común.

J. ACCESORIOS Y TUBERIAS DE LOS FILTROS .

1. Válvulas. Las válvulas de compuerta para los filtros rápidos de arena modernos, generalmente se operan mecánicamente. Lo más común, por medio de cilindros hidráulicos. Como esas válvulas se usan muy frecuentemente deben ser bien construidas y con aditamentos de bronce. Deben cumplir con las Especificaciones Standard de la American Water Works Association para las válvulas de 21 kgs/cm^2 de presión de ensayo.

2. Mesas de operación. Las mesas de operación se usan para alojar las válvulas piloto o las válvulas de disco con movimiento vertical y para servir de soporte a las palancas operadoras que controlan las válvulas de los filtros operadas hidráulicamente y que están situados en la galería de tubos, y también para colocar sobre ellas los instrumentos que indican las pérdidas y el gasto a través de los filtros, etc.

Las mesas de operación pueden construirse para :

Operación manual individual de las válvulas hidráulicas

" " de las válvulas hidráulicas en grupos

" automática por medio de botones

" totalmente automática

3. Controladores e instrumentos registradores. Para obtener un control adecuado de una planta de filtros rápidos de arena se emplean los aparatos siguientes :

A) Controladores del gasto . La línea de descarga de cada filtro debe equiparse con un controlador de gasto. En las plantas grandes, se usan algunas veces controladores maestros de gasto.

B) Medidores de la pérdida de carga. Este instrumento debe ser del tipo registrador (uno para cada filtro).

./...

c) INSTRUMENTO MEDIDOR Y REGISTRADOR DEL GASTO. (UNO PARA CADA FILTRO).

D) CONTROLADOR DE LA RATA DE AGUA DE LAVADO. (UNO EN LA LÍNEA PRINCIPAL DE AGUA DE LAVADO).

E) INDICADOR DE LA EXPANSIÓN DE LA ARENA. (UNO PARA CADA FILTRO).

HAY OTROS ACCESORIOS QUE SON DE MUCHA UTILIDAD EN LAS PLANTAS MODERNAS, TALES COMO LAS MESAS PARA MUESTRAS, LOS INDICADORES DEL NIVEL DEL AGUA EN LOS ESTANQUES DE AGUA FILTRADA Y DE AGUA DE LAVADO Y LOS REGULADORES DEL NIVEL DE AGUA EN LOS FILTROS Y EN LOS ESTANQUES DE CLARIFICACIÓN. PARA LA DISCUSIÓN DETALLADA DE ELLOS VÉASE LA SECCIÓN XXVIII-E-4.

4. TUBERÍAS DE LOS FILTROS. GENERALMENTE SE USAN JUNTAS DE BRIDA PARA LA TUBERÍA Y PARA LAS VÁLVULAS. LA TUBERÍA ES GENERALMENTE DE HIERRO FUNDIDO, AUNQUE LA TUBERÍA DEL AGUA DE LAVADO O LA TUBERÍA DE CLOACAS, SI ESTÁN ENTERRADAS, PUEDEN SER DE MATERIAL ARCILLOSO CORRIENTE O ENVUELTO EN CONCRETO. LAS LÍNEAS EFLUENTES ALGUNAS VECES SON CONDUCTOS DE CONCRETO RECTANGULARES, CONSTRUIDAS POR DEBAJO DEL PISO DE OPERACIÓN.

K. ESTANQUES DE AGUA FILTRADA. LA CAPACIDAD MÁXIMA DE UNA PLANTA DEPENDE DEL CONSUMO DE AGUA Y DEL ALMACENAMIENTO DISPONIBLE PARA EL AGUA FILTRADA. MIENTRAS MAYOR SEA EL ALMACENAMIENTO MÁS PODRÁ APROXIMARSE LA CAPACIDAD DE LA PLANTA AL CONSUMO MEDIO ANUAL. POR LO TANTO, MUCHAS VECES RESULTARÁ ECONÓMICO AUMENTAR EL ALMACENAMIENTO YA QUE ENTONCES EL TAMAÑO QUE REQUIERE LA PLANTA DE FILTRACIÓN ES MENOR. DE TODAS MANERAS, SE CONSTRUYE UN ESTANQUE DE AGUA FILTRADA EN CONEXIÓN CON LOS FILTROS, COMO ALMACENAMIENTO DE RESERVA Y TAMBIÉN PARA PERMITIR LA OPERACIÓN DE LA PLANTA SIN TENER QUE VARIAR FRECUENTEMENTE SU RATA DE DESCARGA. EL OPERADOR NECESITA MANEJAR SOLAMENTE UN NÚMERO SUFICIENTE DE UNIDADES PARA MANTENER CASI LLENO EL ESTANQUE DE AGUA FILTRADA. HAY MUCHAS VARIACIONES EN EL TAMAÑO DE LOS ESTANQUES DE AGUA FILTRADA QUE SE HAN CONSTRUÍDO, SIENDO EL MÁS COMÚN EL QUE CORRESPONDE A UN TERCIO O A UN CUARTO DE LA CAPACIDAD DIARIA DE LA PLANTA. LOS ESTANQUES DE AGUA FILTRADA GENERALMENTE SON CUBIERTOS, Y DEBEN TOMARSE TODAS LAS PRECAUCIONES POSIBLES PARA EVITAR LA CONTAMINACIÓN. EN ALGUNAS PLANTAS SE SITÚAN POR DEBAJO DE LAS UNIDADES DE FILTROS, MIENTRAS QUE EN OTRAS CONSTITUYEN ESTRUCTURAS SEPARADAS. DE SER POSIBLE, DEBE PROVEERSE EL DRENAJE

./...

DE LOS ESTANQUES DE AGUA FILTRADA POR GRAVEDAD. DE OTRA MANERA TIENE QUE HACÉRSELO POR BOMBEO CUANDO HAYA QUE EFECTUAR REPA - RACIONES.

L. EDIFICIO DE LOS FILTROS. EL EDIFICIO DE LOS FILTROS DEBE SER DE UN DISEÑO AGRADABLE Y DEBERÁ ESTAR CIRCUNDADO POR TERRENOS ATRACTIVOS. LA ILUMINACIÓN EXCELENTE ES IMPORTANTE POR RAZONES DE APARIENCIA Y PARA PROMOVER LA LIMPIEZA. EL EDIFICIO - DEBE SIEMPRE INCLUIR UN LABORATORIO PARA EL CONTROL QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DE LA PLANTA.

M. FILTROS A PRESIÓN . LOS FILTROS A PRESIÓN SON DISEÑADOS PARA USARSE CUANDO EL AGUA CRUDA ENTRA A PRESIÓN Y CUANDO SE DESEE FILTRAR EL AGUA SIN LA NECESIDAD DE UN BOMBEO ADICIONAL.

LA EFICACIA DEL TRATAMIENTO CON LOS FILTROS A PRESIÓN ES NECESARIAMENTE MUY BAJA, YA QUE NO HAY PROVISIÓN ALGUNA PARA EFECTUAR LOS EXTENSOS PROCESOS PRELIMINARES DE COAGULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN, QUE SON TAN ESENCIALES EN LA OPERACIÓN SATISFACTORIA DE LAS INSTALACIONES DE FILTROS RÁPIDOS DE ARENA.

DEBIDO A QUE NO SON SEGUROS EN SU FUNCIÓN DE REMOVER LAS BACTERIAS, LOS FILTROS A PRESIÓN NO TIENEN BUENA ACOGIDA - PARA EL TRATAMIENTO DE LOS ABASTECIMIENTOS DE AGUAS MUNICIPALES, DONDE LA FILTRACIÓN ES NECESARIA COMO MEDIDA DE SEGURIDAD. SIN EMBARGO, PUEDEN USARSE EN EL PROCESO DE ABLANDA - MIENTO Y EN EL DE REMOCIÓN DEL HIERRO DE LAS AGUAS FREÁTICAS.

XXI .- DESINFECCION

A. GENERALIDADES. LAS AGUAS SUPERFICIALES DEBEN RECIBIR ADEMÁS DE LOS OTROS TRATAMIENTOS REQUERIDOS, UNA DESINFECCIÓN CONTÍNUA Y EFECTIVA. LAS AGUAS FREÁTICAS, QUE COMO RESULTADO - DE UNA INSPECCIÓN SANITARIA O DE UNA PRUEBA BACTERIOLÓGICA SE ENCUENTRAN SUJETAS A CONTAMINACIÓN, TAMBIÉN DEBEN DESIN - FECTARSE. EN GENERAL, EL MEDIO DE DESINFECCIÓN QUE SE USARÁ SERÁ LA CLORACIÓN EN CUALQUIERA DE SUS FORMAS.

B. CLORACION. ESTA INCLUYE EL USO DEL GAS CLORO O DE LAS SOLU - CIONES DE HIPOCLORITOS DE SODIO Y DE CALCIO. LAS DOSIS SE EX-

ANEXO N°.2

UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

PRACTICA Nº 3

METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL PESO UNITARIO DEL AGREGADO

1.- ALCANCE

Este metódo describe los procedimientos para determinar el peso-unitario de agregados finos, gruesos o mezclados.

2.- EQUIPO REQUERIDO

2.1. BALANZA :

2.2. BARRA COMPACTADORA, Una barra recta de acero, de 16mm (5/8") de diámetro, de aproximadamente 60cm.de longitud y punta semiesférica.

2.3 RECIPIENTE, Recipiente cilíndrico de mental suficientemente rígido para mantener su forma al ser maltratado.

2.4. TERMOMETRO, CUCHARAS.

3.- MUESTRAS

Muestra completamente mezclada y seca.

4.- CALIBRACION DEL RECIPIENTE

4.1 Pese el recipiente

4.2 Llene el recipiente de agua y péselo

4.3. Determine el peso neto del agua

4.4. Mida la temperatura del agua y determine su peso unitario, utilizando los valores indicados en la tabla e interpolando, si es necesario.

PESO UNITARIO DEL AGUA

TEMPERATURA °C	PESO UNITARIO kg/m³
15,6	999,01
18,3	998,54
21,1	997,97
23,0	997,54
23,9	997,32
26,7	996,59
29,4	995,83

4.5.- Calcule el factor de calibración del recipiente, dividiendo el peso unitario del agua entre el peso necesario para llenar el recipiente.

W_1 = Peso del recipiente = kg.

W_2 = Peso del agua+Peso Recipiente = kg.

W_a = $W_2 - W_1$ = Peso del agua = kg.

PUa = Peso Unitario del agua = kg/m^3

F = Factor de Calibración del Recipiente.

$$F = \frac{PUa\ kg/m^3}{Wa\ (kg.)} = 1/m^3$$

5.- DETERMINACION DEL PESO COMPACTO

5.1. PARA TAMAÑO MAXIMO < 40 mm.

5.1.1. Llenar una tercera parte del recipiente y compactar con 25 golpes.

5.1.2. Llenar dos terceras partes y compactar con 25 golpes.

5.1.3. Llenar hasta rebosar y compactar con 25 golpes.

5.1.4. Nivelar con la mano la superficie del agregado.

5.2. PARA TAMAÑO MAXIMO > 40 mm. PERO < 100 mm.

5.2.1. Llenar una tercera parte, levantar por un extremo 5 cm. del piso y dejar caer, levantar por el otro extremo y dejar caer, repatir 25 veces.

5.2.2. Llenar dos terceras partes y repetir procedimiento anterior.

5.2.3. Llenar hasta rebosar y repetir procedimiento anterior.

5.3. DETERMINAR EL PESO COMPACTO DEL AGREGADO MAS EL RECIPIENTE Y EL PESO UNITARIO COMPACTO.

W_1 = Peso del Recipiente = kg.

W_3 = Peso Material Compacto + Recipiente = kg.

PUc = Peso Unitario Compacto =

F = Factor de Calibración

$$PUc = (W_3 - W_1) \times F = kg \times \frac{1}{m^3} = \qquad kg/m^3$$

6.- DETERMINACION DEL PESO SUELTO

6.1. PROCEDIMIENTO CON PARA PARA TAMAÑO MAXIMO < 100 mm.

6.1.1. Llenar el recipiente con pala hasta rebosar, descargando el agregado desde una altura no mayor de 5 cm. por encima de la parte superior del recipiente.

6.1.2. Desechar el sobrante con una reglilla.

6.1.3. Determinar el peso suelto del agregado más el recipiente y el peso unitario suelto.

W_1 = Peso del Recipiente = kg.

W_4 = Peso Material Suelto+Recipiente kg.

F = Factor de Calibración

PUs = Peso Unitario Suelto

$$PUs = (W_4 - W_1) \times F \text{ kg} \times \frac{1}{m^3} = \text{kg/m}^3$$

UNIVERSIDAD CATOLICA "ANDRES BELLO"
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIDAD DE COORDINACION DE LABORATORIOS

ENSAYO GRANULOMETRICO

CCCA: Ag-2-68

1.1 Muestras Enviada por: MUESTRA No. I

1.2 Procedencia.

1.3 Tamaño Máximo Normal.

1.4 Ensayo Realizado por.

PESO UNITARIO

CCCA: Ag-10

CALIBRACION DEL RECIPIENTE

Peso Recipiente= 2706 Kg. Peso Recipiente + Agua= 5483 Kg. Peso de Agua= 2777 kg.
Temp. 27 °C. Peso Unitario del Agua a Temp.= 27 °C. 996,67 Kg/m3. Factor= 0,36 1/m3.
Peso Recipiente + Agregado: Suelto= 6767 Kg, Compacto= 7088 Kg.
Peso Agregado: Suelto= 4061 Kg, Compacto 4382 Kg, PU= F x Peso
Peso Unitario Suelto= 1462 Kg/m3. Peso Unitario Denso= 1578 Kg/m3

COMPOSICION GRANULOMETRICA

Tamiz Nº	Peso Retenido (Gr)	% Retenido en el Tamiz	% Acumulado Retenido	% Pasante
2"				
1-1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
1/4"				
Nº 4				
Nº 8				
Nº 16				
Nº 30				
Nº 50				
Nº 100				
Nº 200				
Pasa 200				
Peso Total de la Muestra =				
Tamaño Máximo. T.M. =				

Módulo de Finura.

$$M.F. \frac{\#4 + \#8 + \#16 + \#30 + \#50 + \#100}{100} =$$

UNIVERSIDAD CATOLICA "ANDRES BELLO"
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIDAD DE COORDINACION DE LABORATORIOS

ENSAYO GRANULOMETRICO

CCCA: Ag-2-68

1.1 Muestras Enviada por: MUESTRA No.2

1.2 Procedencia.

1.3 Tamaño Máximo Normal.

1.4 Ensayo Realizado por.

PESO UNITARIO

CCCA: Ag-10

CALIBRACION DEL RECIPIENTE

Peso Recipiente= 2706 Kg. Peso Recipiente + Agua= 5483 Kg. Peso de Agua= 2777 kg.
Temp. 27 °C. Peso Unitario del Agua a Temp.= 27 °C. 996,67 Kg/m^3. Factor= 0,36 1/m^3.
Peso Recipiente + Agregado: Suelto= 6847 Kg, Compacto= 7115 Kg.
Peso Agregado: Suelto= 4141 Kg, Compacto 4409 Kg, PU= F x Peso
Peso Unitario Suelto= 1491 Kg/m^3. Peso Unitario Denso= 1587 Kg/m3

COMPOSICION GRANULOMETRICA

Tamiz Nº	Peso Retenido (Gr)	% Retenido en el Tamiz	% Acumulado Retenido	% Pasante
2"				
1-1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
1/4"				
Nº 4				
Nº 8				
Nº 16				
Nº 30				
Nº 50				
Nº 100				
Nº 200				
Pasa 200				

Peso Total de la Muestra =

Tamaño Máximo. T.M. =

Módulo de Finura.

$$M.F. \frac{\#4 + \#8 + \#16 + \#30 + \#50 + \#100}{100} =$$

UNIVERSIDAD CATOLICA "ANDRES BELLO"
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIDAD DE COORDINACION DE LABORATORIOS

ENSAYO GRANULOMETRICO

CCCA: Ag-2-68

1.1 Muestras Enviada por: MUESTRA No.3

1.2 Procedencia.

1.3 Tamaño Máximo Normal.

1.4 Ensayo Realizado por.

PESO UNITARIO

CCCA: Ag-10

CALIBRACION DEL RECIPIENTE

Peso Recipiente= 2706 Kg. Peso Recipiente + Agua= 5483 Kg. Peso de Agua= 2777 kg.
Temp. 27°C. Peso Unitario del Agua a Temp.= 27°C. 996,67 Kg/m3. Factor= 0,36 1/m3.
Peso Recipiente + Agregado: Suelto= 6843 Kg, Compacto= 7015 Kg.
Peso Agregado: Suelto= 4137 Kg, Compacto 4309 Kg, PU= F x Peso
Peso Unitario Suelto= 1489 Kg/m3. Peso Unitario Denso= 1551 Kg/m3

COMPOSICION GRANULOMETRICA

Tamiz Nº	Peso Retenido (Gr)	% Retenido en el Tamiz	% Acumulado Retenido	% Pasante
2"				
1-1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
1/4"				
Nº 4				
Nº 8				
Nº 16				
Nº 30				
Nº 50				
Nº 100				
Nº 200				
Pasa 200				

Peso Total de la Muestra =

Tamaño Máximo. T.M. =

Módulo de Finura.

$$M.F. \frac{\#4 + \#8 + \#16 + \#30 + \#50 + \#100}{100} =$$

ANEXO N°.3

UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCION

PRACTICA #2

METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL PESO ESPECIFICO Y LA ABSORCION DEL AGREGADO FINO.

1. OBJETIVO

Obtener el " Peso Específico y el Peso Específico Aparente ", a 23°C y la Absorción del Agregado Fino.

Valor que generalmente se utiliza para determinar el volumen del agregado dentro del concreto.

2. EQUIPOS NECESARIOS

2.1 Balanza.- Con capacidad de 1 Kg o más y una apreciación mínima de 0,1 gramos

2.2 Picnómetros.- Con una capacidad de 500 cm^3, cuando se tome una muestra de 500 grs, como es lo mas usual para agregados finos.

2.3 Molde.- Un molde metálico de forma tronco-cónica de 38 mm de Ø en la parte superior, 89 mm de Ø en la parte inferior y 74 mm de altura, siendo el metal de un espesor mínimo, calibre 20 (aproximadamente 0,9 mm)

2.4 Compactador .- Un compactador metálico de 340 ± 15 g de peso y con una cara compactadora plana y circular de 25 ± 3 mm de Ø .

3. DESCRIPCION DEL ENSAYO

3.1 Obtenga aproximadamente 1000 grs de muestra por medio del divisor o por el método del cuarteo.

3.2 Seque la muestra a temperatura constante de 100 - 110°C

3.3 Exponga la muestra a una corriente de aire tibio, y agítela constantemente para garantizar un secado uniforme de la misma, hasta que

dicha muestra se torne fluida.

3.4 Coloque en forma suelta una porción del agregado fino parcialmente húmedo en el molde, sujeto firmemente sobre una superficie seca y no absorbente y con el diámetro mayor hacia abajo; golpee la superficie con el compactador 25 veces suavemente y levante el molde verticalmente.

Si el agregado aún no esta bajo la condición de saturado con superficie seca mantendrá su forma conica al levantar el molde

3.5 Introduzca en el picnómetro una muestra aproximadamente de 500 grs del agregado fino con superficie seca y llénelo con agua hasta aproximadamente el 90% de su capacidad

3.6 Elimine toda burbuja de aire presente dentro del picnómetro y lleve el nivel de agua en dicho picnómetro hasta su capacidad de calibración.

3.7 Determine el peso total del picnómetro con la muestra y el agua

3.8 Saque el agregado fino del picnómetro, y seque este hasta peso constante, déjelo enfriar durante 30 a 90 minutos y péselo

3.9 Determine el peso del picnómetro lleno con agua hasta su capacidad de calibración a una temperatura de 23°C

4.- CALCULOS

Siendo:

γ = Peso específico γ_s = Peso Específico saturado con superficie seca

W = Peso de la muestra saturada con superficie seca, en gramos

W_1 = Peso en el aire de la muestra secada al horno, en gramos

W_a = Peso del picnómetro lleno con agua, en gramos

W_p = Peso del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración, en gramos

$$\gamma = \frac{W_1}{W_a + W - W_p} \qquad \gamma_s = \frac{W}{W_a + W - W_p}$$

Siendo:

γ_a = Peso Específico Aparente A = Absorción

$$\gamma_a = \frac{W_1}{W_a + W_1 - W_p} \qquad \%A = \frac{W - W_1}{W_1} \times 100$$

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO

NORMA CCCA: Ag-15-68

1.1. Muestras Enviadas Por: _____

1.2. Procedencia _____

1.3. Identificación de Muestras ENSAYO No. 1

1.4. Ensayo Realizado Por : _____

1.5. Fecha: _____

2. DATOS

2.1. Peso del Picnómetro Vacío W_o = 63,87 grs.

2.2. Peso del Picnómetro + Peso Arena W_2 = 147,03 grs.

2.3. Peso del Picnómetro + Arena + Agua W_p = 215,21 grs.

2.4. Peso Arena Seca + Peso Tara W_3 = _____ grs.

2.5. Peso del Picnómetro + Agua W_a = 163,62 grs.

2.6. Peso Tara W_t = _____ grs.

CALCULOS

3.1. Peso Arena (Saturada con Superficie Seca)

$W = W_2 - W_o$ = 147,03 - 63,87 = 83,16 grs

3.2. Peso Arena Seca

$W_1 = W_3 - W_t$ = _____ = grs

3.3. Peso Específico

$$T = \frac{W_1}{W_a + W - W_p} = _____ =$$

3.4. Peso Específico (Saturado con Superficie Seca)

$$T_a = \frac{W}{W_a + W - W_p} = \frac{83,16}{31,57} = 2,63$$

3.5. Peso Específico Aparente

$$T_a = \frac{W_1}{W_a + W_1 - W_p} = _____ =$$

3.6. Absorción:

$$A = \frac{W - W_1}{W_1} \times 100 = _____ \times 100 =$$

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO

NORMA CCCA: Ag-15-68

1.1. Muestras Enviadas Por: _____

1.2. Procedencia _____

1.3. Identificación de Muestras _____ ENSAYO No.2

1.4. Ensayo Realizado Por : _____

1.5. Fecha: _____

2. DATOS

2.1. Peso del Picnómetro Vacío W_o = 63,87 grs.

2.2. Peso del Picnómetro + Peso Arena W_2 = 152,63 grs.

2.3. Peso del Picnómetro + Arena + Agua W_p = 224,95 grs.

2.4. Peso Arena Seca + Peso Tara W_3 = _____ grs.

2.5. Peso del Picnómetro + Agua W_a = 170,20 grs.

2.6. Peso Tara W_t = _____ grs.

CALCULOS

3.1. Peso Arena (Saturada con Superficie Seca)

$W = W_2 - W_o$ = 152,63 - 63,87 = 88,76 grs

3.2. Peso Arena Seca

$W_1 = W_3 - W_t$ = _____ = grs

3.3. Peso Específico

$$T = \frac{W_1}{W_a + W - W_p} = \frac{\quad}{\quad} =$$

3.4. Peso Específico(Saturado con Superficie Seca)

$$T_a = \frac{W}{W_a + W - W_p} = \frac{88,76}{34,01} = 2,61$$

3.5. Peso Específico Aparente

$$T_a = \frac{W_1}{W_a + W_1 - W_p} = \frac{\quad}{\quad} =$$

3.6. Absorción:

$$A = \frac{W - W_1}{W_1} \times 100 = \frac{\quad}{\quad} \times 100 =$$

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO

NORMA CCCA: Ag-15-68

1.1. Muestras Enviadas Por: _____

1.2. Procedencia _____

1.3. Identificación de Muestras _____ ENSAYO No.3

1.4. Ensayo Realizado Por : _____

1.5. Fecha: _____

2. DATOS

2.1. Peso del Picnómetro Vacío W_o = 63,87 grs.

2.2. Peso del Picnómetro + Peso Arena W_2 = 132,12 grs.

2.3. Peso del Picnómetro + Arena + Agua W_p = 190,05 grs.

2.4. Peso Arena Seca + Peso Tara W_3 = _____ grs.

2.5. Peso del Picnómetro + Agua W_a = 147,55 grs.

2.6. Peso Tara W_t = _____ grs.

CALCULOS

3.1. Peso Arena (Saturada con Superficie Seca)

$W = W_2 - W_o$ = 132,12 - 63,87 = 68,25 grs

3.2. Peso Arena Seca

$W_1 = W_3 - W_t$ = _____ = grs

3.3. Peso Específico

$T = \frac{W_1}{W_a + W - W_p}$ = _____ =

3.4. Peso Específico(Saturado con Superficie Seca)

$T_a = \frac{W}{W_a + W - W_p}$ = $\frac{68,25}{25,75}$ = 2,65

3.5. Peso Específico Aparente

$T_a = \frac{W_1}{W_a + W_1 - W_p}$ = _____ =

3.6. Absorción:

$A = \frac{W - W_1}{W_1} \times 100$ = _____ X 100 =