



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción.

“Caracterización de un filtro de arena para potabilización de agua, mediante la obtención de curvas experimentales basadas en sus parámetros de funcionamiento.”

TESIS DE GRADO

Previo la obtención del título:

INGENIEROS MECÁNICOS

Presentada por:

Adriana Elisa Espinoza Leal

Víctor Olmedo Trejo Córdova

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2013

AGRADECIMIENTO

A mis padres y a todas las personas que de una u otra forma ayudaron a la realización de esta tesis y en especial al Ing. Jorge Duque, al Dr. Alfredo Barriga y al Ing. Jorge Espinoza por su invaluable ayuda, y a Adriana Espinoza por su constante apoyo y dedicación.

Agradezco a Dios. Al Ing. Jorge Duque, Dr. Alfredo Barriga, Ing. Marcelo Espinosa, Ing. Ernesto Martínez y Víctor Trejo por su paciencia y apoyo. A mis Padres, Hermanos y Familiares por la confianza depositada en mí. A Yahel por su constante motivación. Y a mí querida Lucía por ser mi fuente de alegría.

DEDICATORIA

El esfuerzo realizado para la ejecución del presente trabajo va dedicado a nuestros padres y hermanos.

Dedico este trabajo a mis amados padres Diana y Jorge, mi fuerza y motivación, que con su amor incondicional han caminado siempre junto a mí. A mis queridos Abuelitos Inés y Segundo, Arturo y Julieta, por ser mis ejemplos de generosidad, amor y lucha incansable.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Dr. Kleber Barcia V.,PhD.
DECANO DE LA FIMCP.
PRESIDENTE



Ing. Jorge Duque R.
DIRECTOR



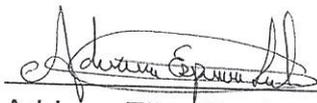
Ing. Ernesto Martínez L.
VOCAL PRINCIPAL

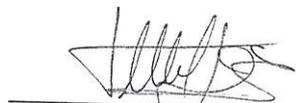


DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).


Adriana Elisa Espinoza Leal


Víctor Olmedo Trejo Córdova

RESUMEN

Se desarrolló la presente tesis con la finalidad de determinar los parámetros de funcionamiento de un filtro de arena, como una parte fundamental para el tratamiento de potabilización de agua.

Los primeros capítulos describen los aspectos teóricos del proceso de potabilización del agua y los diferentes procesos que conforman la filtración del agua. En los capítulos posteriores se detalla el proceso experimental, y la obtención y análisis de los datos.

Para el desarrollo experimental se empleó un banco de pruebas que consistía en: un filtro de arena preseleccionado de tipo comercial, que usaba como material filtrante arena fina No. 45, tanques de entrada y salida, una bomba y un mezclador, y estos accesorios fueron conectados por medio de mangueras. Las pruebas se realizaron a diferentes grados de turbidez en el agua, que fue contaminada con arcilla.

Como resultados de la experimentación se obtuvieron las siguientes curvas: espesor de capa de sólidos retenidos vs. cantidad de arcilla ingresada al filtro; y curva de caída de presión vs. espesor de capa de sólidos retenidos. La caída de presión máxima permitida antes de requerir retrolavado y su

correspondiente espesor de capa de sólidos retenidos en el lecho filtrante. Esta información generada sirve para la caracterización del filtro seleccionado, como un complemento del manual de funcionamiento.

Los parámetros establecidos en la experimentación están sujetos a las condiciones particulares de trabajo utilizadas en estas pruebas, y se limitan a la geometría y patrones de circulación fluido dinámicos del sistema así como a los rangos y texturas físicas de partículas consideradas en el presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. MARCO TEÓRICO.....	2
1.1. Breve sinopsis del proceso de potabilización de agua	2
1.2. Turbidez del agua y agentes contaminantes	9
1.3. El proceso de filtración como parte importante de la potabilización del agua.....	17
1.4. Proceso de retrolavado y tasa de filtración.....	19
CAPÍTULO 2	
2. Descripción del filtro de arena	23
2.1. Tipos de filtros existentes	23
2.2. Componentes del lecho filtrante y sus tipos	25

2.3. Granulometría.....	32
-------------------------	----

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBA Y MODELAJE	37
3.1. Cálculo del espacio intersticial de la arena.....	37
3.2. Método de obtención del material contaminante	42
3.3. Instrumentos y equipos	44
3.4. Metodología de trabajo.....	47
3.5. Medición de parámetros	49

CAPÍTULO 4

4. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES ..	50
4.1. Sólidos suspendidos y disueltos en el agua de entrada y salida del filtro	50
4.2. Variación de la caída de presión	53
4.3. Aumento de la capa de sólidos retenidos en el lecho filtrante	72
4.4. Curva de caída de presión contra el espesor de la capa de sólidos retenidos.....	73
4.5. Curva del crecimiento de la capa de sólidos retenidos vs volumen de sólidos disueltos y suspendidos	74
4.6. Curvas de eficiencia del filtro.....	76
4.7. Obtención de la tasa de filtración	83
4.8. Especificaciones para funcionamiento del filtro y periodos de retrolavado recomendado.....	84

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	88
5.1. Conclusiones.....	88
5.2. Recomendaciones.....	91

APÉNDICE

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

BHP	Frenos de caballos de potencia
psi	Libras por pulgadas cuadradas
OMS	Organización mundial de la salud
ppm	Partes por millón
pH	Potencial de hidrogeno
redox	Reacciones oxidación / reducción
rpm	Revoluciones por minutos
STD	Sólidos Totales Disueltos
STS	Sólidos Totales Suspendidos
NTU	Unidad de turbidez Nefelometrías
JTU /UJ	Unidad de turbidez de Jackson
UC	Unidades de color cloro platinado de cobalto

SIMBOLOGÍA

d	Altura del lecho
Al	Aluminio
h	Cabezal
Ca	Calcio
C	Carbono
Q	Caudal
cm³	Centímetros cúbicos
cm	Centímetros
Co	Cobalto
Cu	Coefficiente de uniformidad
Cr	Cromo
ρ	Densidad
σ	Desviación estándar de la población
E	Diámetro efectivo
ΔP	Diferencia de presión
e	Error
°C	Grados Celsius
Gr	Gramos
Hz	Hertz
Fe	Hierro
H	Horas
kg	kilogramos
Mg	Magnesio
Mn	Manganeso
m	Metros
m²	Metros cuadrados
m³/h/m²	Metros cúbicos por hora por metro cuadrado
m³/h	Metros cúbicos por hora
m/día	Metros por día
m/h	Metros por hora
m/s	Metros por segundos
μm	Micrómetro
mg/l	Miligramos por litro
mg/ml	Miligramos por mililitros
ml	Mililitros
mm	Milímetros
nm	Nanómetros
No.	Número
Pt	Platino
pulg.	Pulgadas

seg	Segundos
N	Tamaño de la población
Ti	Titanio
z	Valor obtenido por nivel de confianza
v	Velocidad
μ	Viscosidad

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1	Tipos de Partículas..... 15
Figura 2.1	Tipos de Filtro..... 31
Figura 3.1	Columna de Tamices..... 38
Figura 3.2	Tamices..... 38
Figura 3.3	Modelo Geométrico del Espacio Intersticial..... 40
Figura 3.4	Sistema para Obtención de Material Contaminante..... 43
Figura 3.5	Mezcla Lodosa previa a decantación para la obtención De Arcilla..... 44
Figura 3.6	Filtro..... 45
Figura 3.7	Tanque de 200 Lts..... 46
Figura 3.8	Bomba Instalada con Manguera y Manómetros..... 46
Figura 3.9	Equipo de Laboratorio..... 47

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Conversión de Unidades de Turbidez.....	11
Tabla 2	Serie Americana de Tamices.....	35
Tabla 3	Serie Tyler de Tamices.....	35
Tabla 4	Resultados de Análisis Granulométrico de la Arcilla.....	39
Tabla 5	Número de Pruebas Elaboradas en la Experimentación.....	48
Tabla 6	Especificaciones del día de Prueba 1.....	51
Tabla 7	Especificaciones del día de Prueba 2.....	51
Tabla 8	Especificaciones del día de Prueba 3.....	52
Tabla 9	Especificaciones del día de Prueba 4.....	52
Tabla 10	Especificaciones del día de Prueba 5.....	53
Tabla 11	Especificaciones del día de Prueba 6.....	53
Tabla 12	Presiones Obtenidas con el Tanque 1.....	54
Tabla 13	Presiones Obtenidas con el Tanque 2.....	55
Tabla 14	Presiones Obtenidas con el Tanque 3.....	56
Tabla 15	Presiones Obtenidas con el Tanque 4.....	57
Tabla 16	Presiones Obtenidas con el Tanque 5.....	57
Tabla 17	Presiones Obtenidas con el Tanque 6.....	58
Tabla 18	Presiones Obtenidas con el Tanque 7.....	58
Tabla 19	Presiones Obtenidas con el Tanque 8.....	59
Tabla 20	Presiones Obtenidas con el Tanque 9.....	60
Tabla 21	Presiones Obtenidas con el Tanque 10.....	61
Tabla 22	Presiones Obtenidas con el Tanque 11.....	62
Tabla 23	Presiones Obtenidas con el Tanque 12.....	63
Tabla 24	Presiones Obtenidas con el Tanque 13.....	64

Tabla 25	Presiones Obtenidas con el Tanque 14.....	65
Tabla 26	Presiones Obtenidas con el Tanque 15.....	66
Tabla 27	Presiones Obtenidas con el Tanque 16.....	67
Tabla 28	Presiones Obtenidas con el Tanque 17.....	68
Tabla 29	Presiones Obtenidas con el Tanque 18.....	69
Tabla 30	Presiones Obtenidas con el Tanque 19.....	70
Tabla 31	Presiones Obtenidas con el Tanque 20.....	71
Tabla 32	Presiones Obtenidas con el Tanque 21.....	72
Tabla 33	Espesor de Capa Obtenido al final de cada día de prueba....	73
Tabla 34	Tabla de Eficiencia en Relación a los Sólidos Sedimentados..	78
Tabla 35	Tabla de Eficiencia en Relación a la Caída de Presión.....	78
Tabla 36	Tabla de Cantidad de Arcilla en Gramos por Litro Contenida en el Agua, a Diferentes Grados de Turbidez.....	86

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1.1	
Diámetro efectivo (MM) Vs. Velocidad de Filtración (M3/H/M2)	21
Gráfico 4.1	
Curva de Caída de Presión Vs. Espesor de Capa de Sólidos en suspensión	74
Gráfico 4.2	
Espesor de Capa de Sólidos en Suspensión Vs. Volumen de Sólidos en Suspensión.	75
Gráfico 4.3	
Eficiencia Vs. El Espesor de la Capa de Sólidos retenidos en el lecho filtrante	79
Gráfico 4.4	
Eficiencia Vs. Caída de Presión	82
Gráfico 4.5	
Programación de Retrolavados a Diferentes Grados de Turbidez	87

INTRODUCCION

En la ciudad de Guayaquil, una empresa comerciante de Plantas Potabilizadoras de agua, se encontraron en la necesidad de completar su manual de funcionamiento caracterizando sus filtros de arena, mediante la generación de curvas donde se pueda analizar el crecimiento de la capa de sólidos retenidos, la caída de presión y el tiempo que establece el periodo de retrolavado.

Por ello se desarrolla la presente tesis que se enfocará en el análisis de un lecho filtrante de arena No. 45, durante el proceso de filtración de agua contaminada con diferentes proporciones de arcilla.

Para obtener las curvas requeridas se realizaran experimentaciones por medio de un banco de pruebas, donde al final del estudio se conocerá el fenómeno de retención de partículas en el lecho filtrante del filtro, se programarán los periodos de retrolavado de acuerdo a su área de filtrado, el flujo de entrada de agua y la turbidez del agua.

CAPÍTULO 1

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Breve Sinopsis del Proceso de Potabilización de Agua

El agua que proviene de ríos o embalses, regularmente contiene variados tipos de suciedad, como pequeños pedazos de hojas y otras materias orgánicas, además de pequeñas cantidades de ciertos contaminantes. Cuando el agua llega a una planta de tratamiento, se le suministran químicos al agua denominados coagulantes. Estos reaccionan con el agua a medida que fluye lentamente a través de tanques para que las partículas y otros contaminantes formen coágulos que se depositan en el fondo. Luego el agua es pasada a través de un filtro de donde se extraen los contaminantes más pequeños.

Para realizar la correcta potabilización de agua, los pasos a seguir para el tratamiento son los siguientes:

- Captación
- Coagulación y Floculación
- Sedimentación
- Desinfección
- Filtración
- Adsorción

La captación se realiza de acuerdo a las fuentes de agua disponibles en cada localidad, en donde influyen factores meteóricas, superficiales y subterráneas, se debe de tener en cuenta la seguridad del abastecimiento y sus posibilidades de ampliación posterior, en el momento de seleccionar donde se realizara. Para analizar el tipo de captación que se necesita de acuerdo al ambiente se lo ha dividido en tres partes:

- Captación en las aguas superficiales se realiza por medio de tomas de agua que se hacen en los ríos, diques o napas subterráneas.
- Captación de aguas proveniente de ríos está expuesta a la incorporación de materiales y microorganismos requiriendo un proceso más complejo para su tratamiento. La turbiedad, el

contenido mineral y el grado de contaminación varían según la época del año, por ejemplo en verano el agua de los ríos en algunos casos suelen ser más turbia que en invierno.

- Captación de aguas subterráneas se efectúa por medio de pozos de bombeo ó perforaciones.

La Coagulación y Floculación son dos procesos dentro de la etapa de clarificación del agua. Ambos procesos se pueden resumir como una etapa en la cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas llamadas flóculos, tal que su peso específico supere a la del agua y se puedan precipitar.

El término coágulo se refiere a las reacciones que suceden al agregar un reactivo químico (coagulante) en el agua, originando productos insolubles.

La floculación tiene relación con los fenómenos de transporte dentro del líquido para que las partículas hagan contacto. Esto implica la formación de puentes químicos entre partículas de modo que se forme una malla de coágulos, la cual sería tridimensional y porosa. Así se formarían, mediante el crecimiento de partículas coaguladas, flóculos suficientemente grandes y pesados como para sedimentar.

La sedimentación es el proceso físico que permite agrupar partículas de un tamaño más grande colocando los coloides al fondo. La remoción de partículas se realiza por acción de la gravedad. Se consigue almacenando el agua en recipientes, tanques, etc. durante un tiempo determinado para que las partículas más grandes se asienten.

Los efectos de la sedimentación son los siguientes:

- Reducción de la turbiedad
- Reducción del contenido bacteriano
- Reducción del color
- Producción de algas

En el proceso de sedimentación se pueden identificar dos tipos de partículas: las partículas granulares o discretas y las partículas floculadas. Las partículas granulares se sedimentan independientemente unas de otras, sin interaccionar con un coagulante, siendo su velocidad de sedimentación función directa de su masa e inversa respecto al del número de Reynolds del fluido que en este caso es agua. Se debe tener en cuenta que, para que una partícula discreta sedimente, su velocidad de sedimentación habrá de superar a la velocidad ascensional del

agua. Las partículas granulares durante la sedimentación siguen una secuencia lineal de velocidad constante. Con relación a las partículas floculadas que experimentan interacción entre ellas aglutinándose vía coalescencia y depositándose con una velocidad creciente.

La desinfección del agua tiene por finalidad la eliminación de los microorganismos contenidos en el agua que no han sido eliminados en las fases iniciales del tratamiento del agua.

El proceso de desinfección puede darse tanto de manera química como física. Entre los compuestos químicos más utilizados se encuentran: el cloro, dióxido de cloro, yodo, cobre, plata, permanganato, jabones y detergentes, sales de amonio y el peróxido de hidrógeno. Los procesos físicos más comunes son: hidrólisis, luz ultravioleta, fotocátalisis, radiación electrónica, rayos gamma, sonido y calor.

Para la elección de un método de desinfección se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- Que ofrezca seguridad en la relación a su poder desinfectante
- Que tenga poder residual, esto es que asegure al agua desinfectada, las condiciones bacteriológicas logradas,

protegiéndola en la fase de depósito y en la red de distribución de futuras contaminaciones.

- Que no modifique las características organolépticas del agua (olor, sabor, transparencia, etc.).
- Que el costo sea accesible.

Durante el proceso de filtrado, se pretende eliminar el residuo de materia suspendida no retenida en los procesos anteriores y la turbidez existente. Esto se logra bombeando el agua a través de arena, logrando que cualquier partícula indeseada se quede retenida en ella. Este proceso elimina turbiedad, microorganismos y quistes de ameba que son resistentes a la cloración, básicamente su función es separar un sólido de un líquido por un método físico.

Los elementos que intervienen en la filtración son:

1. un medio filtrante
2. un fluido con sólidos en suspensión
3. una fuerza, una diferencia de presión que obligue al fluido a avanzar
4. un dispositivo mecánico, llamado filtro que sostiene el medio filtrante, contiene el fluido y permite la aplicación de la fuerza.

El último proceso con el que logra mejorar la coloración del agua, así como también eliminar cualquier residuo químico en el proceso de potabilización, es la adsorción, en la que se emplea carbón activado.

En algunas plantas potabilizadoras, el agua pasa por filtros de carbón activo que absorbe los hidrocarburos, pesticidas y detergentes y mejorando notablemente el olor y sabor del agua, además de su aptitud química.

El diseño de los filtros de carbón activo granular depende de la calidad del agua y de la disponibilidad de espacio, así como de las etapas de tratamiento necesarias.

Básicamente se pueden usar filtros abiertos o filtros cerrados a presión. La velocidad de filtración en estos filtros ronda los 5-20 m/h y la altura de lecho como mínimo de 75 cm. Los filtros se deben lavar con agua, ya que el lavado con aire puede producir abrasión y formación de finos. La velocidad de lavado recomendable es de 10 - 15 m/h, lo que provoca una expansión del lecho de carbón de aproximadamente un 20%.

1.2. Turbidez del Agua y Agentes Contaminantes

La turbidez en el agua se refiere a la falta de claridad en ella. Es necesario no confundir turbidez de agua con cantidad de materia suspendida en ella. La turbidez es una consecuencia de las partículas que se encuentran suspendidas en el agua.

La turbidez del agua es posible medirse mediante la cantidad de luz que atraviesa a través de ésta. Mientras menos luz atraviese a través del agua se dirá que se encuentra más turbia.

Comúnmente también se suele confundir el color del agua con turbidez. Es posible encontrar agua color verde oscuro, pero sin embargo un haz de luz que atraviesa por ella no se ve afectado en lo absoluto, de este modo se dice que es agua no turbia de color verde oscuro.

Existen distintos tipos de partículas que pueden ser causantes de opacar el agua a potabilizar, que van desde materias inorgánicas como arcilla, polvo de rocas, lodo, carbonato de calcio, sílice, hierro, manganeso, azufre, o residuos industriales. Así como sustancias orgánicas, tales como microorganismos, materia vegetal o animal, lubricantes, grasas, aceites, entre otros.

La eliminación de la turbiedad, se lleva a cabo mediante procesos de coagulación, sedimentación y filtración.

La medición de la turbiedad, en una manera rápida que sirve para saber cuándo, cómo y hasta qué punto se debe tratar el agua para que cumpla con la especificación requerida.

Unidades de Turbidez Nefelométrías (NTU)

La unidad de turbiedad, fue definida "como la obstrucción óptica de la luz, causada por una parte por millón de sílice en agua destilada".

1 unidad nefelometría de turbiedad (NTU) = 7.5 ppm de SiO₂

Actualmente, la unidad utilizada es la NTU, Unidad Nefelometría de Turbidez y que equivale a:

1 unidad nefelometría de turbidez (NTU) = 1 ppm de formazina estándar

Los valores de turbiedad pueden variar desde cero hasta varios miles de unidades en aguas altamente turbias, consecuentemente no hay un método de determinaciones que abarque tan amplio intervalo. Existen tres métodos comúnmente empleados.

- a) Método del Turbidímetro Hellige.
- b) Método del Nefelómetro Fotoeléctrico.
- c) Método Turbidimétrico de Bujía de Jackson .

La unidad utilizada normalmente es la NTU (Unidades nefelométrías de turbidez), otras unidades que aún se usan se pueden transformar utilizando la siguiente tabla:

TABLA 1
CONVERSIÓN DE UNIDADES DE TURBIDEZ

<i>Unidades</i>	JTU	NTU	SiO ₂ mg/l
JTU	1	1.9	2.5
NTU	0.053	1	0.3
SiO ₂ mg/l	0.4	7.5	1

Según la OMS (Organización Mundial para la Salud), la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 NTU, y estará idealmente por debajo de 1 NTU.

Agentes contaminantes.

El agua está sometida al denominado “Ciclo Hidrológico”, que consiste en una serie de cambios de fase (líquido, gas, sólido),

cambios de características físicas, químicas y microbiológicas y cambios de emplazamiento físico (mares, ríos, nubes, glaciares, agua subterránea, etc.), cuyo efecto es la renovación periódica del agua presente en océanos, litosfera y atmósfera.

En este ciclo, a las moléculas de agua se le añaden en su seno otras sustancias:

- Se disuelven gases de la atmósfera (CO₂, O₂, etc.) y arrastra partículas en suspensión presentes en ella.
- Se disuelven sales de la corteza terrestre (cuarcitas, granitos, rocas evaporíticas).
- Hay arrastre de partículas orgánicas e inorgánicas.
- Se produce un crecimiento materia viva (bacterias, algas, etc.)

De esta manera en cualquier tipo de agua se tiene otras sustancias (impurezas) que forman parte de las características físico-químicas del agua en particular.

Estas impurezas están en mayor o menor proporción según el ciclo al que se ha visto sometida el agua, por lo que su uso para un fin determinado (consumo humano, riego agrícola, aplicaciones

industriales,...) conlleva un tratamiento para adecuarla a los parámetros establecidos o legislados del uso en cuestión.

Los sólidos presentes en el agua pueden estar en dos formas diferentes:

- a) Disueltos. (TDS: total de sólidos disueltos) No crean turbidez al agua. Son sales orgánicas o inorgánicas disueltas en el agua. Se mide en unidades de concentración, miligramos por litro (mg/lit.) que es equivalente a ppm.
- b) En suspensión. Se dividen en dos clases por sus tamaños:

Los Micro-sólidos.

Son los que crean la mayor parte de la turbidez al agua. Los sólidos en suspensión (TSS total de sólidos en suspensión) se miden en unidades de concentración, miligramos por litro que es equivalente a ppm (partes por millón).

Hay 3 categorías partículas que crean turbidez:

- Minerales. Proviene de la erosión del suelo y las rocas.
- Partículas orgánicas (materia orgánica, microorganismos)
- Partículas filamentosas (amiantos)

Las partículas minerales se dividen a su vez en función del tamaño en:

- Arcillas (1- 10 micras – sedimentación de horas a días)
- Limos (10 – 50 micras – sedimentación de 10 minutos a 1 hora)
- Arena fina (20 – 50 micras – sedimentación de 10 a 60 seg.)

Tanto las arcillas como limos vienen asociados con restos orgánicos e hidróxidos de hierro, aluminio, etc.

Los macro-sólidos.

Son sólidos de tamaños grandes (mayores de 100 micras. Pueden ser orgánicos (materia orgánica u organismos vivos) o inorgánicos.

Clasificación de partículas

Se puede hacer una clasificación de estas partículas en orgánicas e inorgánicas como se puede ver el siguiente gráfico.

ORGANICA-INORGANICA

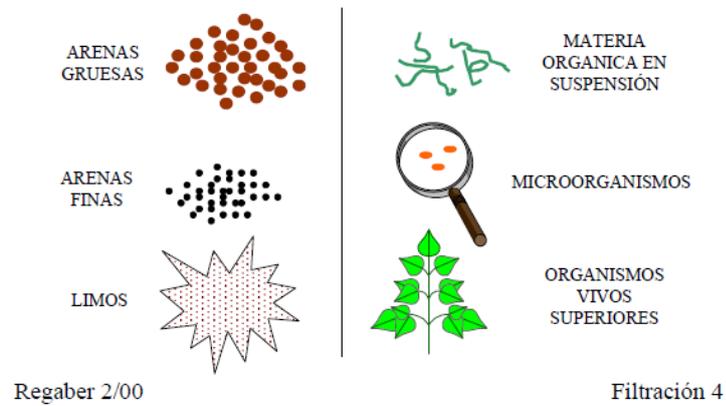


FIGURA 1.1 TIPOS DE PARTÍCULAS

Las dos características principales de las partículas son tamaño y densidad. Analizando estos parámetros se puede marcar los límites de los filtros de arena a presión.

Densidad de las partículas

La densidad de la arena sílice SiO_2 es de unos $2,5 \text{ gr/cm}^3$. La densidad de la antracita es de aproximadamente $1,5 \text{ gr/cm}^3$. Aquellas partículas que lleve el agua bruta con tamaños y densidades similares al material de filtración, quedarán retenidas dentro del filtro y no se eliminarán con el contralavado.

Esto significa que no se puede filtrar partículas de arena con un filtro de arena, ya que lo que se estará haciendo es acumular la arena dentro de filtro. Con el tiempo se irá variando la granulometría del filtro de arena según el tamaño de partículas que vayan llegando.

Es indispensable eliminar las partículas de elevada densidad antes de llegar al filtro, ya sea con una decantación o con un hidrociclón. Las partículas que tienen baja densidad y además tienen facilidad en disgregarse (flóculos) deben vehicularse con el máximo cuidado evitando en lo que se pueda puntos de turbulencia excesiva. En la filtración requieren velocidades de paso bajas para evitar la rotura del flóculo.

Cantidad de partículas

No existe un valor exacto de total de sólidos en suspensión máximo para el influente de un filtro de arena. A mayor cantidad de sólidos, menor es el tiempo antes de la colmatación del filtro.

La cantidad de sólidos que puede aceptar un filtro de arena se puede aumentar disminuyendo la velocidad de filtración. Un valor

límite a partir del cual es necesario poner decantadores o una prefiltración de desbaste puede ser 250 ppm.

1.3. El Proceso de Filtración como Parte Importante de la Potabilización del Agua

El agua es el compuesto químico más abundante del planeta y resulta indispensable para el desarrollo de la vida, sin embargo puede llegar a estar tan contaminada por las actividades humanas, que ya no sea útil, sino nociva y de calidad deficiente.

La evaluación de la calidad del agua ha tenido un lento desarrollo. Hasta finales del siglo XIX no se reconoció el agua como origen de numerosas enfermedades infecciosas. La importancia que ha cobrado la calidad del agua ha permitido evidenciar que entre los factores o agentes que causan la contaminación de ella están: agentes patógenos, desechos que requieren oxígeno, sustancias químicas orgánicas e inorgánicas, nutrientes vegetales que ocasionan crecimiento excesivo de plantas acuáticas, sedimentos o material suspendido, sustancias radioactivas y el calor.

Se considera que el agua está contaminada, cuando ya no puede utilizarse para el uso que se le iba a dar, en su estado natural o

cuando se ven alteradas sus propiedades químicas, físicas, biológicas y/o su composición. En líneas generales, el agua está contaminada cuando pierde su potabilidad para consumo diario o para su utilización en actividades domésticas, industriales o agrícolas.

Según estudios realizados, muchas personas presentan problemas de salud a causa de la contaminación en el agua. Por lo tanto una correcta purificación del agua, respetando cada parámetro del proceso es fundamental, caso contrario podría causar problemas como los que se presentan a continuación:

Una alta concentración de cloro, que es el encargado de la eliminación de virus y bacterias, cuando es agregado en exceso actúa en el cuerpo como oxidante, atacando a la parte inteligente de las células de todo el organismo. Sus consecuencias se manifiestan limitando el tiempo de vida y la reproducción de las células, produciendo envejecimiento prematuro y afectando puntos claves del metabolismo celular.

Otros contaminantes pueden encontrarse en el agua, tales como el Arsénico, Cadmio, Plomo, Mercurio, que perjudican nuestro cuerpo, afectando nuestra percepción sensitiva, algunas habilidades motoras, dañando al sistema nervioso central de forma permanente, alterando nuestra digestión y causando fuertes dolores de cabeza y estomago, como así también mala digestión, vómitos, insomnio, irritabilidad, cansancio crónico, disminución de la fuerza muscular.

1.4. Proceso de Retrolavado y Tasa de Filtración

Los filtros de arena se limpian invirtiendo el sentido del flujo. El caudal necesario para el lavado está relacionado con la granulometría y debe permitir una expansión de la altura del lecho filtrante del 15 al 25 %.

Las fuerzas que actúan para retener las partículas de impurezas en la arena son de naturaleza variable y es necesario utilizar el caudal adecuado que garantice la suspensión adecuada de la arena y la separación de las partículas de suciedad. Si no se consigue esto, el lecho de arena se irá ensuciando aumentando paulatinamente la presión después de cada limpieza, hasta la total colmatación del mismo y la consiguiente creación de túneles permitiendo el paso de

agua junto con las partículas que se quería retener limitando la calidad del filtrado.

Un indicativo de que los ciclos de lavados son correctos es cuando el intervalo entre los ciclos se mantiene constante lo que además puede verificarse si la presión aguas abajo del filtro se recupera totalmente después de efectuado el retro-lavado. En caso contrario se debe en primer lugar realizar una secuencia de lavados consecutivos hasta la recuperación de la presión adecuada a filtro limpio.

De persistir el problema, podría intentarse una limpieza a fondo removiendo la tapa superior del filtro, cuidando durante el retro-lavado que la arena no escape. Como solución final puede acudir a la limpieza con ácido o la sustitución de la arena. Una vez solucionado el problema debe determinarse si el caudal de retro-lavado o el tiempo son adecuados para evitar problemas de colmatación.

Un caudal insuficiente, no permite la adecuada expansión de la arena y por tanto la adecuada remoción de la suciedad, mientras un exceso de caudal una expansión excesiva y la fuga de las

partículas más finas de arena. Es por ello que la tarea más importante es ajustar la válvula que restringe el retro-lavado.

En la tabla siguiente se indican el rango de caudales para la limpieza recomendado por m² de lecho para diferentes y

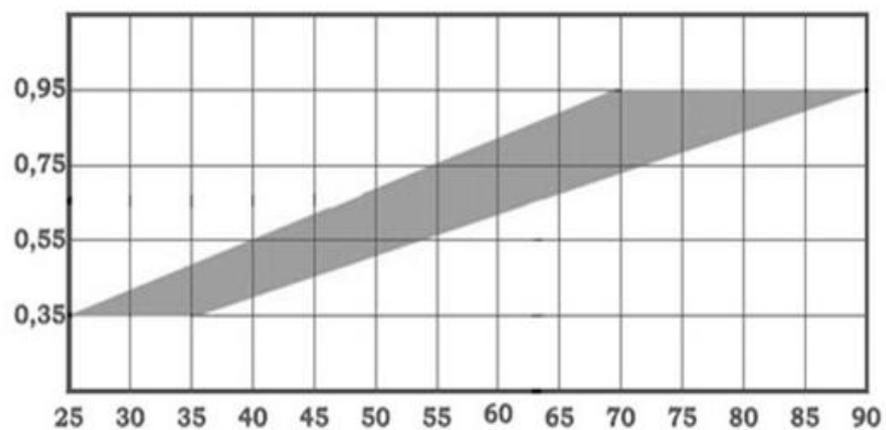


GRÁFICO 1.1 DIÁMETRO EFECTIVO (MM) VS. VELOCIDAD DE FILTRACIÓN (M3/H/M2)

De la GRÁFICA se observa que el rango de caudal recomendado para el retrolavado aumenta proporcionalmente con el tamaño del diámetro efectivo de la arena. Comenzando entre 25 y 35 m³/h/m² para 0.35 mm de diámetro efectivo hasta 70 y 90 m³/h/m² para diámetros efectivos de 0.95 mm.

Tasa de filtración

La tasa de filtración o velocidad de filtración es uno de los comportamientos hidráulicos dentro del filtro de arena, definido por el volumen de agua que se deja pasar por cada metro cuadrado de superficie filtrante, conociendo este parámetro se puede definir la velocidad de filtración a la que debe circular el agua para ser considerado un filtro rápido o lento.

La siguiente formula define el cálculo de esta tasa

$$Tf = \frac{\text{Caudal}}{\text{área}}$$

Esta tasa de filtración va de la mano del tipo de medio que se emplee para filtrar y está sujeta a las condiciones de trabajo utilizadas en este trabajo, por lo tanto no son extrapolables las tasas de filtración puesto que la resistencia que de un medio es diferente al del otro.

CAPÍTULO 2

2. DESCRIPCIÓN DEL FILTRO DE ARENA

2.1. Tipos de Filtros Existentes

Existen muchos tipos de filtros de arena diferentes pero se pueden dividir en dos grupos: filtros abiertos y filtros a presión.

Filtros abiertos

Son filtros que están abiertos a la atmósfera, dentro de este grupo se puede hacer una subdivisión en:

a) Filtros lentos.- Trabajan a presión atmosférica y a velocidades máximas de 10 m³/día por m² de superficie.

b) Filtros rápidos.- Trabajan a presión atmosférica y a velocidades de 5 a 20 m/h.

Filtros a presión

Son recipientes cerrados metálicos ó plásticos en cuyo interior se colocan materiales filtrantes a través de los cuales se vehicula a presión el agua bruta que se quiere clarificar.

En este grupo de filtros se puede hacer muchas clasificaciones diferentes, y un mismo filtro puede pertenecer a más de un grupo diferente. Las principales clasificaciones son:

a) Según la posición del filtro:

- Horizontales. Son cilindros cerrados a presión dispuestos en posición horizontal.
- Verticales. Son cilindros cerrados a presión dispuestos en posición vertical.

b) Según el tipo de lavado.

- Filtros lavados por agua.- Son equipos en los que para el proceso de regeneración del lecho de filtración se utiliza solo agua.
- Filtros lavados por agua y aire.- Son equipos en los que en el proceso de lavado se utiliza agua y aire en diferentes secuencias del proceso.

- c) Según el tipo de material filtrante.
- Filtros monocapa.- Son equipos que llevan un lecho de filtración de un material determinado (Sílice, basalto, antracita, granate, etc.).
 - Filtros multicapa. Son equipos que incorporan varios lechos de filtración de materiales, granulometría y densidades diferentes.

2.2. Componentes del Lecho Filtrante y sus Tipos

La clasificación de los filtros por el material filtrante pertenece a los tipos de filtros a presión. Según el material filtrante los filtros de arena se dividen en:

- Filtros Monocapa
Son equipos que llevan un lecho de filtración de un material determinado (Sílice, Basalto, Antracita, granate, etc)
- Filtros multicapa
Son equipos que incorporan varios lechos de filtración de materiales, granulometría y densidades diferentes.

Entre los principales materiales de filtración se encuentra:

- Arena
- Alumina Activada
- Arena Verde de Manganeso
- Antracita
- Birm
- Carbón Activado
- Corosex
- Calcita
- Filter-Ag
- Garnet (Granate)
- Kdf
- Gravas del Filtro
- Mtm
- Pyrolox
- Resinas de Intercambio Iónico

El material filtrante usado en este trabajo es la arena.

Las características que definen una arena desde el punto de vista de su uso como lecho de filtración son los siguientes:

a) Granulometría.

La granulometría de la arena representa los porcentajes en peso de los granos de arena que pasan a través de las mallas de unos tamices normalizados. Es importante que sea de tamaño superior al tamaño de paso de la ranura de las crepinas.

b) Talla efectiva.

La talla efectiva se obtiene a partir de la curva granulométrica. Es el tamaño de malla que corresponde a un paso del 10%.

c) Coeficiente de uniformidad.

Es un coeficiente que mide el grado de uniformidad en el tamaño de granos. Se obtiene del cociente entre el tamaño de malla que corresponde al 60% de paso y el que corresponde al 10%.

$$C. Uniformidad = \text{Tamaño malla } 10\% / \text{Tamaño malla } 60\%$$

Cuando se trabaja con una sola capa filtrante es importante que el coeficiente sea menor de 1,8. Con filtros multicapa, también es importante que el coeficiente de uniformidad sea lo menor posible

(máximo 1,5) para evitar que la clasificación hidráulica debida al lavado haga que la interfase sea muy amplia.

d) Pérdida por ataque ácido.

Es la pérdida de material cuando está expuesto a un medio ácido. Un buen medio filtrante no debe tener una pérdida mayor del 4% después de someterlo a un tratamiento de ácido clorhídrico (HCl) al 20% durante 24 h.

e) Friabilidad

Mide la pérdida de material por rotura del mismo (formación de finos). Un material muy friable se caracteriza por romperse fácilmente produciendo gran cantidad de finos.

La friabilidad se expresa como pérdida en % después de 750 golpes y 1500 golpes.

Filtración monocapa y multicapa

La diferencia entre un filtro a presión vertical monocapa y multicapa radica en el número de minerales filtrantes que se utilizan para componer el lecho de filtración.

En un filtro monocapa se utiliza un solo tipo de mineral filtrante:

- Sílice.

SiO₂ 99,5%. Densidad = 2,65 gr/cm³

- Antracita.

C 90%. Densidad = 1,5 gr/cm³

- Calcita.

CaCO₃ 99%. Densidad = 2,7 gr/cm³

- Granate.

Hierro Aluminio Silicato $R_3R_2(SiO_4)_3$. Densidad = 4 – 4,2
gr/cm³

R₃ = Fe²⁺, Mn²⁺ o Ca²⁺

R₂ = Al, Fe³⁺, Cr³⁺, o Ti

- Mineral óxido manganeso.
- MnO₂ 80%. Densidad = 3,5 – 4 gr/cm³
- Basalto. SiO₂ 53% + óxidos Fe, Al, Ca, Mg.

En un filtro multicapa se combinan más de un mineral filtrante. Esta combinación no puede ser cualquiera, los minerales tienen que tener granulometría y densidades diferentes.

Las capas de mineral se deben poner (contando desde arriba) de mayor a menor granulometría y de menor a mayor densidad. O sea el mineral de mayor densidad y menor granulometría estará en el

fondo del filtro, y el mineral de menor densidad y mayor granulometría estará arriba.

El objetivo de esta colocación de minerales es que las partículas a retener de gran tamaño se queden en la capa filtrante superior y las de menor tamaño pasen hasta la siguiente capa de filtración donde quedan retenidas.

La diferencia de densidades es necesaria para que en el contralavado el mineral de gran tamaño y baja densidad se mantengan en la capa superior, y el mineral de pequeño tamaño y alta densidad conserve su posición en la parte inferior del filtro.

Si se coloca mineral filtrante, de la misma densidad y distinta granulometría, colocado tal como se describe arriba, los sucesivos contralavados provocarían una inversión de posición, o sea, los granos de tamaño pequeño se colocarían en la posición superior.

El tamaño de poro más pequeño lo da el mineral con granulometría más pequeña, con lo que si se compara el tamaño de partícula retenida por un filtro monocapa y uno bicapa, que tengan en su

capa inferior el mismo mineral filtrante con la misma granulometría, se encontrará con resultados similares.

Lo que sí que mejorará, será el tiempo entre contralavados. El tiempo entre lavados será mayor para un filtro bicapa que para uno monocapa.

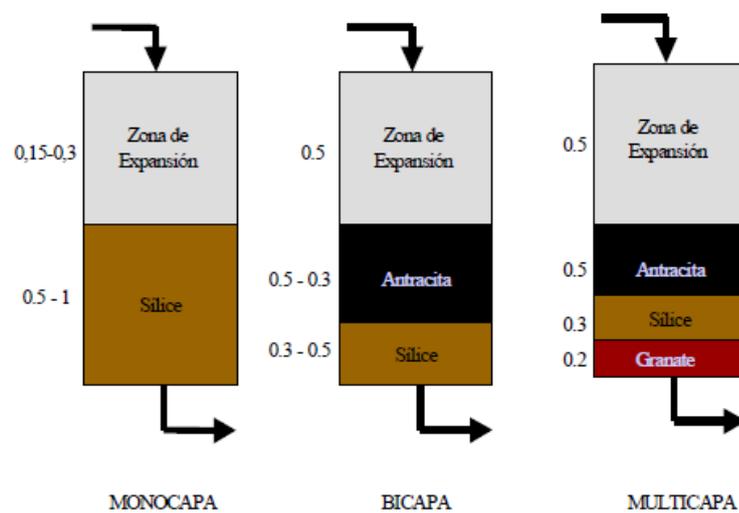


FIGURA 2.1 TIPOS DE FILTRO

La granulometría de los minerales se puede variar en todos los filtros, pero en los de más de una capa debe guardar una relación tamaño-densidad determinada para disminuir al máximo la interfase entre materiales, de no ser así todo el lecho queda mezclado. Si la interfase es amplia se pierde el efecto deseado.

La granulometría de los minerales debe ser lo más uniforme posible, ya que en los contralavados las partículas más pequeñas (menor peso) se colocan en la parte superior del lecho de arena.

2.3. Granulometría

Las arenas comerciales suelen ser clasificadas por números, pero un conocimiento preciso de sus propiedades se consigue usando los conceptos de granulometría, diámetro efectivo, coeficiente de uniformidad, forma de los granos, friabilidad, y pérdida por ataque con ácido.

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices según la norma ASTM C 136. El tamaño de la partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre aberturas cuadradas. Los siete tamices estándar ASTM C 33 para agregado fino tiene aberturas que varían desde la malla No. 100 (150 micras) hasta 9.52 mm.

Los números de tamaño (tamaños de granulometría), para el agregado grueso se aplican a las cantidades de agregado (en peso), en porcentajes que pasan a través de un arreglo de mallas.

Para la construcción de vías terrestres, la norma ASTM D 448 enlista los trece números de tamaño de la ASTM C 33, más otros seis números de tamaño para agregado grueso. La arena o agregado fino solamente tiene un rango de tamaño de partícula.

El método de determinación granulométrico más sencillo es obtener las partículas por una serie de mallas de distintos anchos de entramado (a modo de coladores) que actúen como filtros de los granos. Pero para una medición más exacta se utiliza un granulómetro láser, cuyo rayo difracta en las partículas para poder determinar su tamaño.

Granulometría o clasificación granulométrica

Es la gradación que de los materiales sedimentarios así como de los suelos, se lleva a cabo con fines de análisis tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas.

Para su realización se utiliza una serie de tamices con diferentes diámetros que son ensamblados en una columna. En la parte superior, donde se encuentra el tamiz de mayor diámetro, se agrega el material original, en este caso la arena, y la columna de tamices

se somete a vibración y movimientos rotatorios intensos en una máquina especial.

Luego de algunos minutos, se retiran los tamices y se desensamblan, tomando por separado los pesos de material retenido en cada uno de los tamices y que en suma deben corresponder al peso total del material que inicialmente se colocó en la columna de tamices.

Tomando en cuenta el peso total y los pesos retenidos, se procede a realizar la curva granulométrica, con los valores de porcentaje retenido que cada diámetro ha obtenido.

La curva granulométrica permite visualizar la tendencia homogénea o heterogénea que tienen los tamaños de grano.

La curva granulométrica

Para este análisis se utilizan dos procedimientos en forma combinada, las partículas mayores se separan por medio de tamices con abertura de mallas estandarizadas, y luego se pesan las cantidades que han sido retenidas en cada tamiz. Las partículas menores se separan por el método hidrométrico.

Para selección de los tamices se usan dos estándares la serie estándar americana y la Tyler

TABLA 2
SERIE AMERICANA DE TAMICES

Serie americana de tamices (Estados Unidos)					
No. de Serie (*)	Tamaño de aberturas		No. de Serie	Tamaño de aberturas	
	mm.	pulg.		mm.	pulg.
2 1/2	8.00	0.315	18	1.00	0.039
3	6.72	0.265	20	0.84	0.033
3 1/2	5.66	0.223	25	0.71	0.029
4	4.76	0.187	30	0.59	0.023
5	4.00	0.157	35	0.50	0.020
6	3.36	0.132	40	0.42	0.017
7	2.83	0.111	45	0.35	0.014
8	2.38	0.094	50	0.30	0.012
10	2.00	0.079	60	0.25	0.010
12	1.68	0.066	70	0.21	0.008
14	1.41	0.056	80	0.18	0.007
16	1.19	0.047	100	0.15	0.006

TABLA 3
SERIE TYLER DE TAMICES

Serie Tyler de tamices					
No. de serie	Tamaño de aberturas		No. de serie	Tamaño de aberturas	
	mm.	pulg.		mm.	pulg.
3	6.680	0.263	28	0.589	0.023
4	4.699	0.185	35	0.417	0.016
6	3.327	0.131	48	0.295	0.012
8	2.362	0.093	65	0.208	0.008
10	1.651	0.065	100	0.147	0.006
14	1.168	0.046	150	0.104	0.004
20	0.833	0.033	200	0.074	0.003

Estos parámetros establecidos sirven para caracterizar los medios granulares, por medio de lo que se conoce como “Coeficiente de Uniformidad y Diámetro Efectivo”

Coeficiente de Uniformidad y Diámetro Efectivo

El coeficiente de uniformidad, se conoce que su valor aumenta cuando la arena es menos uniforme, es la razón del 60 al 10%, así:

$$C_u = \frac{\text{Abertura del tamiz que dejaría pasar el 60 \% (mm)}}{\text{Abertura del tamiz que dejaría pasar el 10 \% (mm)}}$$

El diámetro efectivo (E) se define como al abertura del cedazo ideal que deja pasar el 10%. Este parámetro se sugirió debido a que se había observado, trabajando con filtros lentos, que la resistencia del lecho filtrante no estratificado al paso del agua era la misma, cualquiera fuera el tamaño del grano.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBA Y MODELAJE

3.1. Cálculo del Espacio Intersticial de la Arena

Granulometría del Material Contaminante

Previo al cálculo del espacio Intersticial de la arena se realizaron análisis de la granulometría del material contaminante que en este caso es arcilla usando como método de experimentación la columna de tamices. Obteniendo los siguientes resultados.



FIGURA 3.1 COLUMNA DE TAMICES



FIGURA 3.2 TAMICES

TABLA 4
RESULTADOS DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA
ARCILLA

TAMIZ	ABERTURA TAMIZ (MM)	% MUESTRA RETENIDA
40	0,425	3,03
50	0,297	8,99
60	0,250	4,83
70	0,211	15,95
100	0,150	58,78

Los resultados demostraron que el tamaño de la arcilla en su mayoría era 152.54 micras.

Cálculo del Espacio Intersticial

Con el fin de realizar un análisis matemático del lecho filtrante constituido por arena, se desarrollo un modelo matemático que pudiera predecir el tamaño de los espacios intersticiales creados entre los granos de arena, con el que se pueda determinar un diámetro mínimo de partículas retenidas.

Para esto se asume que las partículas de arena tienen forma esférica y su arreglo es uniforme. Como lo muestra en el grafico

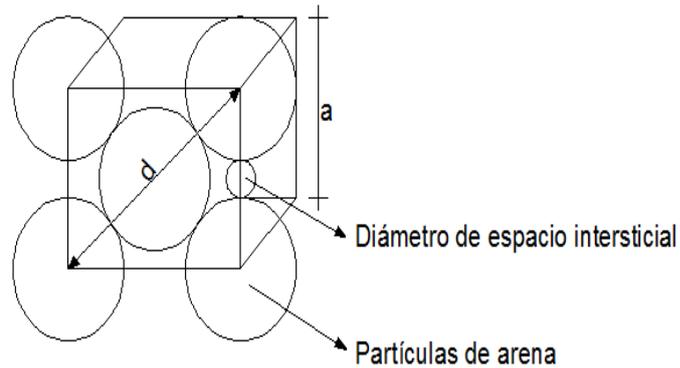


FIGURA 3.3 MODELO GEOMÉTRICO DEL ESPACIO INTERSTICIAL

Para el cálculo del espacio intersticial se encierra una de las partículas en un cubo, donde se va a obtener una relación entre la arista del mismo y su diagonal.

Donde:

Radio de la partícula de arena $R = 0.175 \text{ mm}$

Diagonal $d = a \sqrt{2} = 4R_{arena} \quad (1)$

Arista $a = 2R_{arena} + D_{intersticio} \quad (2)$

En base a estos parámetros se obtiene una relación para obtener el diámetro del espacio intersticial creado entre los granos de arena, para esto de la ecuación (1) se despeja la arista y se la reemplaza en la ecuación (2).

$$a \frac{\bar{2}}{2} = 4R_{arena} \quad \rightarrow \quad a = \frac{4R_{arena}}{\bar{2}}$$

$$\frac{4R_{arena}}{\bar{2}} = 2R_{arena} + D_{intersticio}$$

Despejando el diámetro queda

$$D_{intersticio} = \frac{4R_{arena}}{\bar{2}} - 2R_{arena}$$

Reemplazando valores se tiene

$$D_{intersticio} = \frac{4(0.175)}{\bar{2}} - 2(0.175)$$

$$D_{intersticio} = 0.144 \text{ mm}$$

3.2. Método de Obtención del Material Contaminante

Es de conocimiento común que la principal fuente de agua dulce en el Ecuador son los ríos encontrados a lo largo de la extensión continental del país. Siendo su principal contaminante la arcilla arrastrada del fondo del lecho y de las orillas que bordean los ríos.

El tamaño de grano de la arcilla mezclada en el agua contaminada podría variar de acuerdo a factores como el caudal, velocidad de la corriente del río, profundidad y lecho sobre el cual fluye.

Generalmente las partículas no solubles y más grandes se depositan al fondo, mientras las más finas se quedan disueltas e ingresan a las plantas de tratamiento.

Para lograr esta separación de partículas se saturó por completo agua potable, logrando en primera instancia que las partículas de mayor diámetro y no solubles se depositen al fondo para posteriormente decantar el agua saturada con las partículas más finas disueltas, y verterla en depósitos de área considerable y poca altura para lograr que al ser expuesta al sol, el agua se evapore rápidamente. Con éste proceso se lograba que la los 5 días la mezcla de agua-arcilla deje de perder peso y se obtenía un contenido de humedad menor al 5%.

El resultado era una mezcla poco pastosa de una arcilla muy soluble y fina.



FIGURA 3.4 SISTEMA PARA OBTENCIÓN DE MATERIAL CONTAMINANTE



**FIGURA 3.5 MEZCLA LODOSA PREVIA A DECANTACIÓN
PARA LA OBTENCIÓN DE ARCILLA**

3.3. Instrumentos y Equipos

Los equipos e instrumentos empleados para el montaje del banco de pruebas que permitió el desarrollo de la experimentación son los siguientes:

- Tanques metálicos de 200 litros
- Filtro
- Mangueras 1"
- 2 Manómetros
- Bomba
- Balanza electrónica (precisión 1 gr)
- Calibrador

- Espectrofotómetro hach
- Cono Imhoff
- Probetas graduadas
- Cuchara plástica
- Agitador de vidrio
- Vaso plástico varias medida



FIGURA 3.6 FILTRO



FIGURA 3.7 TANQUE DE 200 LTS.



FIGURA 3.8 BOMBA INSTALADA CON MANGUERAS Y MANÓMETROS.



FIGURA 3.9 EQUIPO DE LABORATORIO

3.4. Metodología de Trabajo

El proceso fundamental es la filtración de agua contaminada a una turbidez deseada dando la facilidad para medir los parámetros requeridos, antes y después del paso del agua a través del filtro, mediante un equipo fiable y capaz de dar resultados. Para este proceso se requería inicialmente un material contaminante, agua potable cristalina, depósitos varios y un filtro capaz de contener el material filtrante que en este caso sería la arena No. 45.

Para el desarrollo de las pruebas, una vez obtenido el material contaminante se determinó la cantidad que se requeriría de este para obtener una turbidez en el agua de 20, 40, 60, 80 y 100 NTU. Luego de los resultados se procedió a realizar 6 pruebas, cada 7 días con el objetivo de secar el filtro y obtener una medición de la capa de material retenido cada prueba.

Así se logró que el filtro deje de funcionar luego de filtrar 21 tanques equivalentes a 4200 lts. de agua, distribuidos de la siguiente manera con sus respectivos valores de turbidez.

TABLA 5
NÚMERO DE PRUEBAS ELABORADAS EN LA EXPERIMENTACIÓN.

No. Prueba	No. de tanques	NTU
1	2	400
2	5	400
3	5	100
4	5	200
5	2	300
6	2	400
TOTAL	21	

3.5. Medición de Parámetros

Los parámetros requeridos para el análisis del filtro fueron los siguientes:

- Turbidez del agua de entrada.
- Turbidez del agua de salida.
- Peso de material contaminante por tanque de agua (200 lt)
- Presión de entrada al filtro.
- Presión de salida del filtro.
- Caudal de agua filtrada.
- Espesor de capa de material contaminante en el filtro.

CAPÍTULO 4

4. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

4.1. Sólidos Suspendidos y Disueltos en el Agua de Entrada y Salida del Filtro.

Con el propósito de cuantificar la cantidad de sólidos retenidos y pasados a través del filtro de arena, y también el dar una turbidez de determinada al agua de entrada, todos los pesos de la arcilla que fue mezclada en el agua previo a la filtración fueron registrados y se obtuvieron los siguientes valores:

Prueba 1:

TABLA 6
ESPECIFICACIONES DEL DÍA DE PRUEBA 1

Tanque No.	Cantidad de material contaminante mezclado (kg.)
1	0.9
2	0.9

Prueba 2:

TABLA 7
ESPECIFICACIONES DEL DÍA DE PRUEBA 2

Tanque No.	Cantidad de material contaminante mezclado (kg.)
3	0.2
4	0.2
5	0.2
6	0.2
7	0.2

Prueba 3:

TABLA 8
ESPECIFICACIONES DEL DÍA DE PRUEBA 3

Tanque No.	Cantidad de material contaminante mezclado (kg.)
8	0.4
9	0.4
10	0.4
11	0.4
12	0.4

Prueba 4:

TABLA 9
ESPECIFICACIONES DEL DÍA DE PRUEBA 4

Tanque No.	Cantidad de material contaminante mezclado (kg.)
13	0.4
14	0.4
15	0.4
16	0.4
17	0.4

Prueba 5:

TABLA 10
ESPECIFICACIONES DEL DÍA DE PRUEBA 5

Tanque No.	Cantidad de material contaminante mezclado (kg.)
18	0.9
19	0.9

Prueba 6:

TABLA 11
ESPECIFICACIONES DEL DÍA DE PRUEBA 6

Tanque No.	Cantidad de material contaminante mezclado (kg.)
20	0.9
21	0.9

4.2. Variación de la Caída de Presión

Las presiones de entrada y de salida del filtro tuvieron una variación considerable durante la mayoría de las pruebas, pero guardando siempre una diferencia estable durante el vaciado de cada tanque.

La presión de entrada del filtro osciló entre los 10 y los 39 psi, mientras que la presión de salida estuvo entre los 8 y 32 psi.

A continuación los datos de la presión de entrada y de salida del filtro obtenidos en cada prueba:

Prueba 1:

Tanque 1:

TABLA 12
PRESIONES OBTENIDAS CON EL TANQUE 1

PRESION (psi)	
ENTRADA	SALIDA
10	8
11	9
14	11
19	17
20	18

Tanque 2:

TABLA 13
PRESIONES OBTENIDAS CON EL TANQUE 2

PRESIÓN (psi)	
ENTRADA	SALIDA
15	13
17	14
18	16
19	16
20	18

Prueba 2:

Tanque 3:

TABLA 14
PRESIONES OBTENIDAS CON EL TANQUE 3

PRESION	
ENTRADA	SALIDA
16	15
20	16
22	19
20	18
18	14
15	14

- Tanque 4:

TABLA 15
PRESIONES OBTENIDAS CON EL TANQUE 4

ENTRADA	SALIDA
21	18
22	19
22	19
23	20

- Tanque 5:

TABLA 16
PRESIONES OBTENIDAS CON EL TANQUE 5

PRESION	
ENTRADA	SALIDA
26	23
26	23

- Tanque 6:

TABLA 17
PRESIONES OBTENIDAS CON EL TANQUE 6

PRESIÓN	
ENTRADA	SALIDA
25	22
26	23

- Tanque 7:

TABLA 18
PRESIONES OBTENIDAS CON EL TANQUE 7

PRESIÓN	
ENTRADA	SALIDA
24	20
25	21

Prueba 3:

- Tanque 8:

TABLA 19

PRESIONES OBTENIDAS CON EL TANQUE 8

PRESIÓN	
ENTRADA	SALIDA
23	19
25	20
24	20

- Tanque 9:

TABLA 20
PRESIONES OBTENIDAS CON EL TANQUE 9

PRESION	
ENTRADA	SALIDA
25	20
24	19
25	19

- Tanque 10:

TABLA 21
PRESIONES OBTENIDAS CON EL TANQUE 10

PRESION	
ENTRADA	SALIDA
23	18
24	19
24	19
24	18
21	15

- Tanque 11:

TABLA 22
PRESIONES OBTENIDAS CON EL TANQUE 11

PRESION	
ENTRADA	SALIDA
27	21
25	19
18	13
23	18

- Tanque 12:

TABLA 23
PRESIONES OBTENIDAS CON EL TANQUE 12

PRESION	
ENTRADA	SALIDA
20	14
20	14
21	14
18	12

Prueba 4:

- Tanque 13:

TABLA 24
PRESIONES OBTENIDAS CON EL TANQUE 13

PRESION	
ENTRADA	SALIDA
25	19
27	21
28	21

- Tanque 14:

TABLA 25
PRESIONES OBTENIDAS CON EL TANQUE 14

PRESION	
ENTRADA	SALIDA
28	21
24	18
19	13

- Tanque 15:

TABLA 26
PRESIONES OBTENIDAS CON EL TANQUE 15

PRESION	
ENTRADA	SALIDA
27	21
29	22
29	22
26	20

- Tanque 16:

TABLA 27
PRESIONES OBTENIDAS CON EL TANQUE 16

PRESION	
ENTRADA	SALIDA
28	22
22	15
20	13

- Tanque 17:

TABLA 28
PRESIONES OBTENIDAS CON EL TANQUE 17

PRESION	
ENTRADA	SALIDA
28	21
28	21
25	18
22	16
19	12

Prueba 5:

- Tanque 18:

TABLA 29
PRESIONES OBTENIDAS CON EL TANQUE 18

PRESION	
ENTRADA	SALIDA
23	16
33	26
33	26

- Tanque 19:

TABLA 30
PRESIONES OBTENIDAS CON EL TANQUE 19

PRESION	
ENTRADA	SALIDA
28	21
29	22
31	22

Prueba 6:

- Tanque 20:

Tabla 31
Presiones obtenidas con el tanque 20

PRESION	
ENTRADA	SALIDA
39	32
23	10
19	8
25	10
17	9

- Tanque 21:

TABLA 32
PRESIONES OBTENIDAS CON EL TANQUE 21

PRESION	
ENTRADA	SALIDA
18	8
16	5
17	5

4.3. Aumento de la Capa de Sólidos Retenidos en el Lecho Filtrante

La capa de material contaminante retenida en el filtro se incrementó a medida que se filtraban más tanques de agua, y se la registró de la siguiente manera:

TABLA 33
ESPESOR DE CAPA OBTENIDO AL FINAL DE CADA DÍA DE PRUEBA

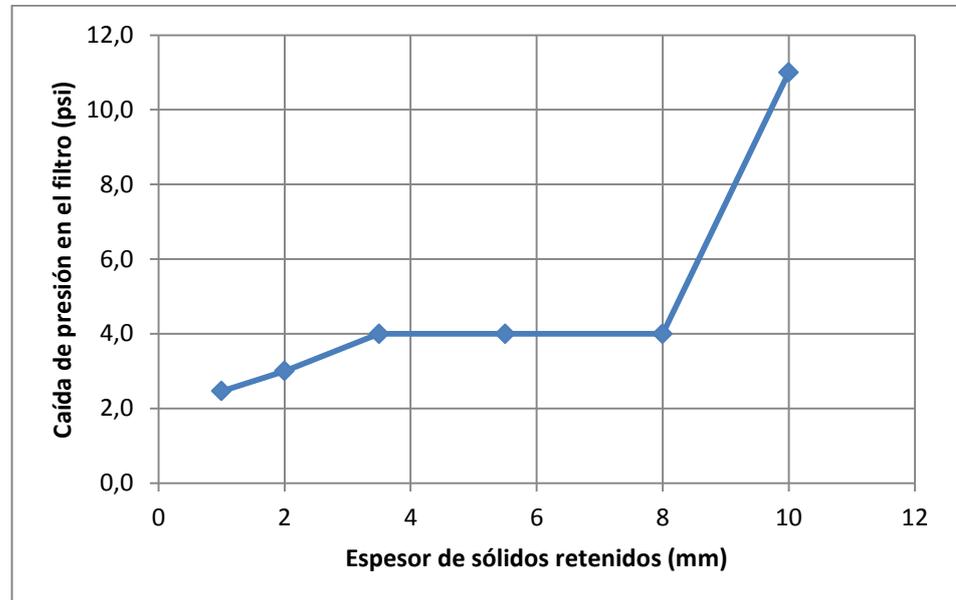
PRUEBA NO.	TANQUE NO.	ESPESOR DE CAPA DE MATERIAL FILTRANTE RETENIDO (mm)
1	2	1
2	7	2
3	16	5
4	17	5.5
5	19	8
6	21	10

4.4. Curva de Caída de Presión Contra el Espesor de la Capa de Sólidos Retenidos

Una consecuencia del crecimiento de la capa de sólidos suspendida, es la reducción de los espacios intersticiales por la cual debe fluir el agua.

Debido a esta reducción es de esperarse que se produzca una mayor resistencia al paso del agua logrando una mayor caída de presión entre la entrada y la salida del filtro.

De los datos registrados se obtiene la siguiente gráfica:



GRÁFICA 4.1 CURVA DE CAÍDA DE PRESIÓN VS. ESPESOR DE CAPA DE SÓLIDOS RETENIDOS

4.5. Curva del Crecimiento de la Capa de Sólidos Retenidos Vs Volumen de Sólidos Disueltos y Suspendidos

Como se habló en capítulos anteriores, el filtro únicamente retendrá aquellos sólidos que se encuentren en suspensión mas no disueltos. Es de esperarse que al pasar un mayor volumen de sólidos se forme una capa en la parte superior del material filtrante que irá creciendo paulatinamente.

De los datos registrados se pudo obtener el siguiente gráfico:

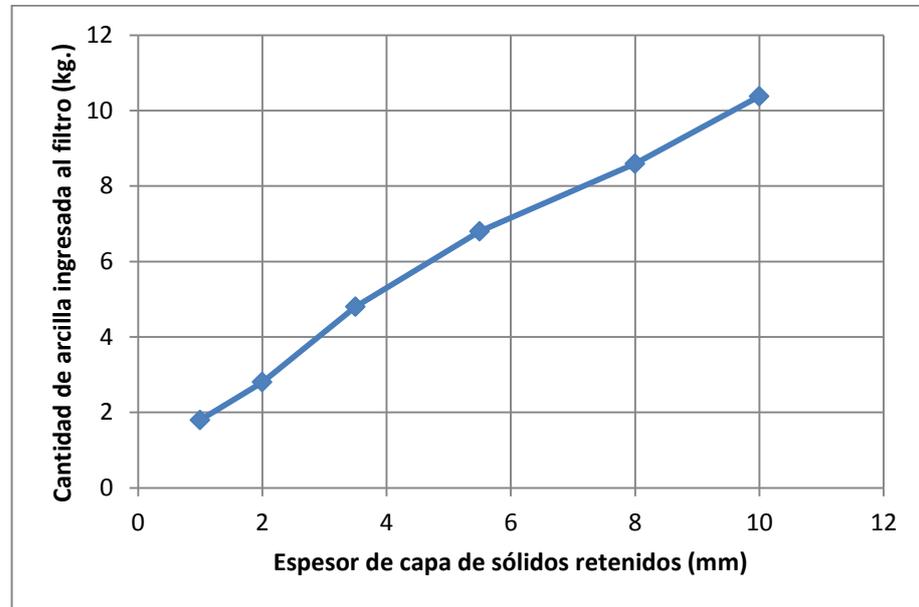


GRÁFICO 4.2 ESPESOR DE CAPA DE SÓLIDOS RETENIDOS VS. CANTIDAD DE ARCILLA INGRESADA AL FILTRO.

De la gráfica claramente se observa un comportamiento proporcional entre el espesor de la capa de sólidos en suspensión y el volumen de sólidos disueltos, por lo que se puede inferir que la cantidad de sólidos retenida será directamente proporcional a la cantidad de sólidos que se pretenda pasar por el filtro.

En otras palabras la rapidez con la que esta capa de sólidos crezca no depende del volumen de agua filtrada, si no de la cantidad de sólidos que pasen a través del filtro.

Por lo que se puede inferir que el funcionamiento de un filtro será similar para cualquier grado de turbidez del agua que se pase a través de éste.

4.6. Curvas de Eficiencia del Filtro

El parámetro fundamental para medir la eficiencia del filtro fue la cantidad de sólidos contenidos en el agua de entrada y de salida del filtro, medidos de las muestras tomadas.

Era de esperarse que la eficiencia del filtro se incremente a medida que iba creciendo tanto el espesor de la capa de sedimentos dentro del filtro como la caída de presión dentro de él.

Para la medir la eficiencia en general, se emplea la siguiente fórmula:

$$e\% = \frac{\text{SólidosContenidos}_{\text{AguaDeEntrada}} - \text{SólidosContenidos}_{\text{AguaDeSalida}}}{\text{SólidosContenidos}_{\text{AguaDeEntrada}}} \times 100$$

Como en el agua de muestra se midió el contenido de sólidos disueltos y suspendidos, se sacaron tres tipos eficiencia:

- e% Sólidos Disueltos,
- e% Sólidos Suspendidos,
- e% Sólidos Totales.

Donde:

$$e\% \text{SólidosDisueltos} = \frac{\text{SólidosDisueltos}_{\text{AguaDeEntrada}} - \text{SólidosDisueltos}_{\text{AguaDeSalida}}}{\text{SólidosDisueltos}_{\text{AguaDeEntrada}}} \times 100$$

$$e\% \text{SólidosSuspendidos} = \frac{\text{SólidosSuspendidos}_{\text{AguaDeEntrada}} - \text{SólidosSuspendidos}_{\text{AguaDeSalida}}}{\text{SólidosSuspendidos}_{\text{AguaDeEntrada}}} \times 100$$

$$e\% \text{SólidosTotales} = \frac{\text{SólidosTotales}_{\text{AguaDeEntrada}} - \text{SólidosTotales}_{\text{AguaDeSalida}}}{\text{SólidosTotales}_{\text{AguaDeEntrada}}} \times 100$$

A continuación la tabla con los resultados obtenidos mediante pruebas en laboratorio, del agua de cada tanque a la entrada y salida del filtro, comparada con el espesor de la capa de sólidos retenidos:

TABLA 34
TABLA DE EFICIENCIA EN RELACIÓN A LOS SÓLIDOS
SEDIMENTADOS

Espesor de Capa de Sedimentos (mm.)	e% Sólidos Disueltos	e% Sólidos Suspendidos	e% Sólidos Totales
1	1.1	70.3	68.9
2	0	83.2	75.4
3.5	0	85.4	81.4
5.5	1.1	89.3	85.3
8	0	95.5	93.5
10	1.1	99.4	97.4

Mediante la tabla anterior se obtiene la siguiente gráfica que muestra las eficiencias vs. el espesor de la capa de sólidos retenidos en el lecho filtrante.

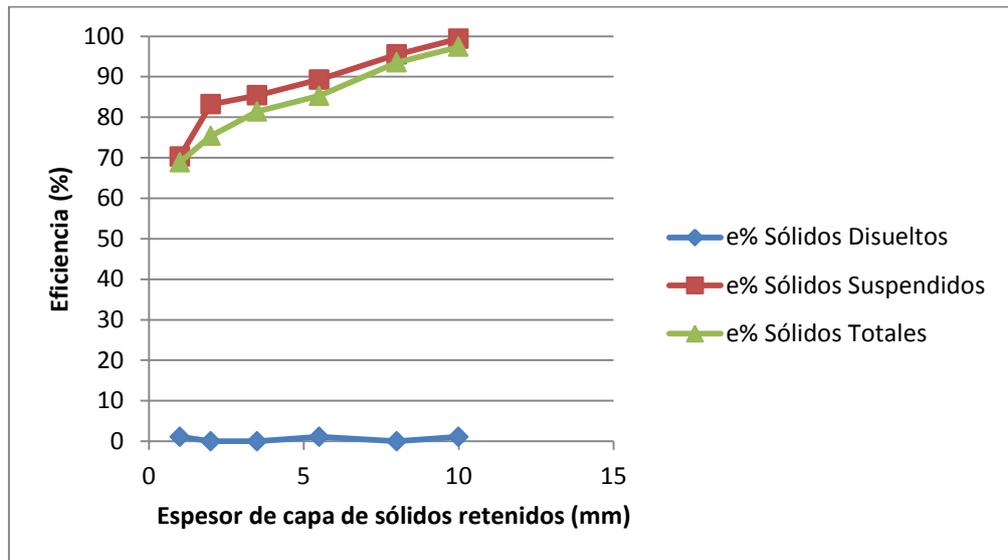


GRÁFICO 4.3 EFICIENCIAS VS. EL ESPESOR DE LA CAPA DE SÓLIDOS RETENIDOS EN EL LECHO FILTRANTE

Claramente se aprecia el filtro no afecta a los sólidos disueltos en el agua (línea azul), por lo que la eficiencia apenas supera el 1%, y se mantiene en el mismo rango aunque el espesor de la capa de sólidos llegue a los 10 mm.

Con esto se comprueba que la filtración con arena no logra retener las partículas disueltas debido a su reducido tamaño.

La eficiencia de los sólidos suspendidos, es la mayor dado que estas partículas resultan tener un mayor diámetro que el espacio intersticial del lecho filtrante.

La eficiencia en los sólidos totales, resulta de la suma de los sólidos disueltos y los suspendidos, obteniendo una curva muy similar a la de la eficiencia en sólidos disueltos, esto se da porque la cantidad contenida de sólidos disueltos bordea los 90 mg. por l., mientras la cantidad de suspendidos está entre los 2000 y 4500 mg. por l. De agua aproximadamente.

Era de esperarse que a medida que se incrementa la cantidad de sólidos retenidos en el lecho filtrante, el espacio intersticial se reduzca y provoque que menos partículas contaminantes atraviesen el filtro. De este modo, la primera medida de eficiencia tomada con un espesor de capa de 1 mm. de sólidos retenidos da 68.9%, hasta incrementarse a 97.4%, cuando el espesor crece a 10 mm.

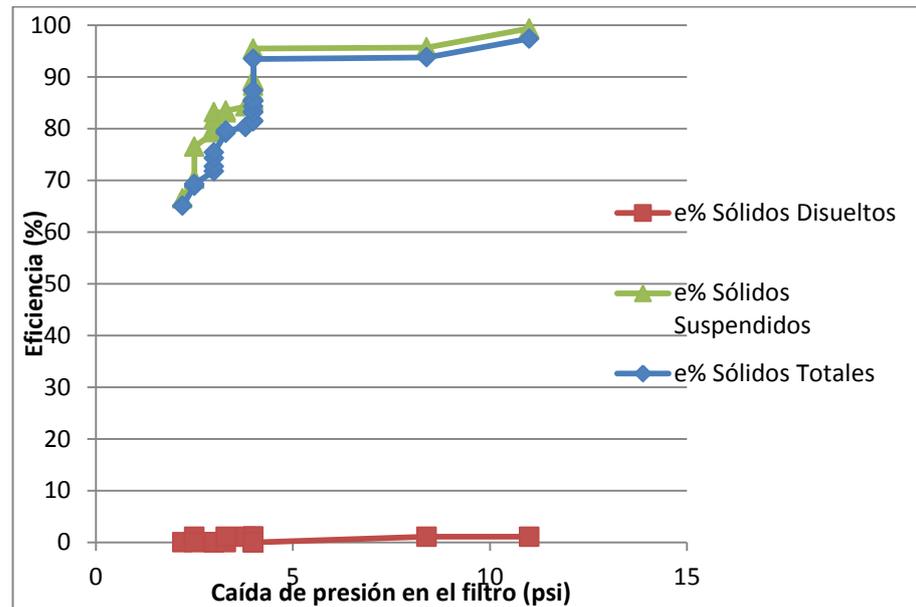
A continuación la tabla con los resultados obtenidos mediante pruebas en laboratorio, del agua de cada tanque a la entrada y salida del filtro, comparada con la caída de presión medida para cada uno de los tanques:

TABLA 35

TABLA DE EFICIENCIA EN RELACIÓN A LA CAÍDA DE PRESIÓN

Caída de Presión en el interior del filtro (psi)	e% Sólidos Disueltos	e% Sólidos Suspendidos	e% Sólidos Totales
2.2	0	66.5	65.1
2.5	1.1	70.3	68.9
2.5	0	76.5	69.3
3	0	79.3	71.8
3	0	80.2	72.7
3	0	81.9	74.3
3	0	83.2	75.4
3.3	0	83.1	79.2
3.3	1.1	83.5	79.6
3.8	1.1	84.3	80.3
4	1.1	85.6	81.6
4	0	85.4	81.4
4	0	87.2	83.3
4	0	87	83.1
4	0	88.3	84.3
4	0	89.5	85.5
4	1.1	89.3	85.3
4	1.1	89.2	87.3
4	0	95.5	93.5
8.4	1.1	95.7	93.8
11	1.1	99.4	97.4

La gráfica a continuación se basa en la tabla anterior y muestra la eficiencia vs. la caída de presión.



GRAFICA 4.4 EFICIENCIA VS. CAÍDA DE PRESIÓN.

Observando la curva de eficiencia para solidos totales (disueltos + suspendidos), se aprecia que la eficiencia inicial, cuando la caída de presión es de 2.2 psi, es 65.1%. En el rango de 2.2 psi hasta 4 psi se observa que la eficiencia crece hasta 93.4%, y luego crecer con una pendiente poco pronunciada hasta al 97.4% con una caída de presión de 11 psi.

4.7. Obtención de la Tasa de Filtración

Para el trabajo presentado a continuación se cálculo la tasa de filtración (T_f), que es la relación entre el caudal de entrada y área del lecho filtrante, que para este caso sería:

$$T_f = \frac{2.5}{1.35} = 1.85$$

Conociendo que el valor promedio de turbidez de entrada es 271 NTU, no se podría decir que para una tasa de filtración de 1.85, es necesario realizar retrolavado en el filtro cuando el manómetro llegue a una presión de entrada equivalente a 4 psi. Para los casos de aéreas y caudales diferentes en base a esta relación se podría realizar una extrapolación para condiciones de entrada de turbidez similares y predecir el momento necesario que se debe realizar un retrolavado al filtro.

4.8. Especificaciones para funcionamiento del filtro y periodos de retrolavado recomendado

Las especificaciones de funcionamiento dependerán de las siguientes condiciones:

- Los rangos y contexturas físicas de las partículas que se empleen para el filtrado, esto implica el materia contaminante, y el material filtrante.
- La altura del lecho del filtro y la velocidad de filtrado, esto dependerá del área transversal del filtro y el flujo que se emplee.

Del análisis realizado en el punto 4.5 se puede concluir que el funcionamiento del filtro no depende de la cantidad de agua que circule por él, sino de la cantidad de sólidos suspendidos que lleguen al interior del filtro.

El filtro podrá funcionar hasta una caída de presión de 4 psi para llegar hasta una eficiencia del 93%.

Se determinó también que inicialmente quedará retenido un 65% de las partículas totales mezcladas en el agua, y previo a su taponamiento esta eficiencia será del 93%, sacrificando para esta acción una mayor caída de presión.

Con el propósito de estimar un periodo de retrolavado, conociendo el grado de turbidez del agua que está siendo filtrada, es también determinar la cantidad de material contaminante que ingresa en función del volumen de agua filtrado. En este caso el tiempo sería el parámetro empleado para indicar el momento en que será necesario un retrolavado.

En prueba de laboratorio se obtuvieron los siguientes datos que relacionan el grado de turbidez (NTU) con la cantidad de arcilla contenida en el agua:

TABLA 36
TABLA DE CANTIDAD DE ARCILLA EN GRAMOS POR LITRO
CONTENIDA EN EL AGUA, A DIFERENTES GRADOS DE
TURBIDEZ

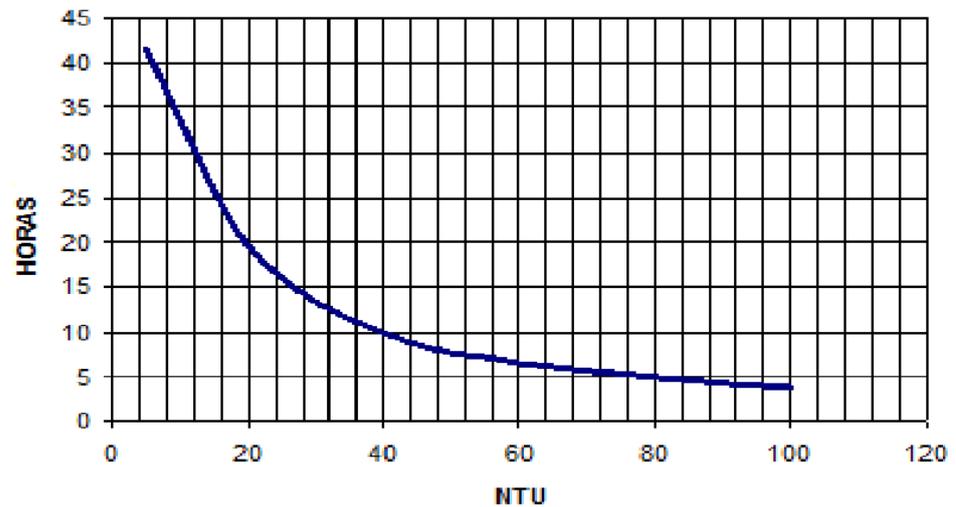
GRADO DE TURBIDEZ (NTU)	Gramos (gr) de arcilla por litro (lt)
20	0.214
40	0.361
60	0.67
80	0.85
100	1.06
200	2.16
300	3.25
400	4.34

Al inicio de este capítulo, se indicó la cantidad en kilogramos de material contaminante que ingresó al filtro por tanque empleado, al sumar todas estas cantidades se determinó que fue necesario ingresar 10.4 kg de arcilla al filtro para taponarlo, y suministrados en un total de 4200 litros en diferentes dosis.

A partir de este dato, es posible calcular el tiempo que el filtro podría trabajar, continua o intermitentemente, sin necesitar de un

retrolavado, ya que se indicó que el tiempo de retrolavado dependerá únicamente de la cantidad de material contaminante que ingrese al filtro.

En la siguiente gráfica se muestra los tiempos correspondientes de retrolavado para diferentes tipos de turbidez, a una tasa de 2.5 m³/h:



GRAFICA 4.5 PROGRAMACIÓN DE RETROLAVADOS A DIFERENTES GRADOS DE TURBIDEZ

Claramente enfoca la reducción de horas de trabajo del filtro sin que requiera retrolavado a medida que el grado de turbidez aumenta. Así mismo cuando el grado de turbidez tiende a cero, el tiempo necesario para realizar retrolavado tenderá al infinito.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- En el grafico 4.1 (curva de caída de presión vs. espesor de capa de sólidos en suspensión) se puede observar como la presión aumenta paulatinamente a medida que la capa de sólidos retenidos aumenta, en el momento que el filtro se tapa completamente, éste aumenta su presión de forma brusca causando que el filtro colapse, y la retención de sólidos no sea tan eficiente, el fenómeno que ocurre dentro del filtro hace que la capa de arena se desordene. En base a estos resultados se puede decir que en la práctica al momento que la presión dentro del filtro aumente de forma brusca es necesario realizar retrolavado, puesto que se podría tener agua a la salida del filtro contaminada con sólidos suspendidos.

- La caída de presión dentro del filtro se incrementa de forma proporcional de 2 psi a 4 psi, a medida que la capa de material retenido crece, entre los 0 mm y los 3 mm. Entre los 4 y 8 mm de espesor se mantiene relativamente estable para luego crecer bruscamente entre los 8 y 10 mm de espesor cuando ya se tapa el filtro.
- En la gráfica 4.2 (espesor de capa de sólidos retenidos vs. Cantidad de arcilla ingresada al filtro) se muestra que la cantidad de sólidos retenidos es directamente proporcional a la cantidad de sólidos suspendidos que ingresa al filtro, es decir no dependen del caudal de agua, ni de su grado de turbidez, si no únicamente de la cantidad de arcilla ingresada al filtro.
- Los resultados de la cantidad de sólidos disueltos en el agua antes y después de ser filtrada, demostraron que un filtro de arena no retiene materiales disueltos, obteniendo una eficiencia entre 0% y 1% durante todas las pruebas.
- Los resultados de la cantidad de sólidos suspendidos en el agua antes y después de ser filtrada, demostraron que se obtenía una mayor retención a medida que la altura de la capa de sólidos retenidos se incrementaba, llegando a retener casi un 100% de los sólidos justo antes de taparse. Sin embargo esta eficiencia se logró

incrementando una caída de presión demandando mayor energía para el proceso.

- La curva de la eficiencia en la retención de los sólidos totales (suma de sólidos disueltos y suspendidos) es proporcional a la altura de la capa de sólidos retenidos en el lecho filtrante.
- La gráfica 4.4 (eficiencia vs. caída de presión) indica que mientras la caída de presión crece hasta los 4 psi, la eficiencia se incrementa de manera importante, llegando hasta casi un 95%. Sin embargo al cruzar esta eficiencia, la caída de presión aumenta drásticamente tapándose el filtro. Por lo tanto el filtro debe ser limpiado cuando su caída de presión llega a 4 psi.
- A medida que la capa de sólidos retenida aumenta el lecho filtrante se encuentra en capacidad de retener mayor cantidad de sólidos suspendidos de diámetros más pequeños, lo que lo vuelve más eficiente.
- El grafico 4.3 (eficiencias vs. el espesor de la capa de sólidos retenidos en el lecho filtrante) para el proceso de potabilización de agua con sólidos disueltos y suspendidos, es estrictamente necesario completar todos los procesos previos al filtrado, puesto que los sólidos disueltos no podrán ser retenidos por un proceso de decantación simple, estos casos se debe aplicar un proceso de

floculación, donde estas partículas serán aglutinadas, en forma de flocs, para posteriormente poder ser decantadas.

5.2. Recomendaciones

Tal como se indicó en el Capítulo 4, los resultados mostrados en la experimentación dependen tanto del tamaño de las partículas del material filtrante, como de la altura del lecho y la velocidad de filtrado, por lo que, el ejecutar nuevas experimentaciones con parámetros distintos, afectará en menor o mayor grado los resultados obtenidos. Sin embargo, los parámetros usados en esta experimentación fueron similares a los regularmente empleados en la industria ecuatoriana para el diseño de filtros, lo que podría lograr una significativa similitud con los resultados esperados en la industria de la región.

APÉNDICES

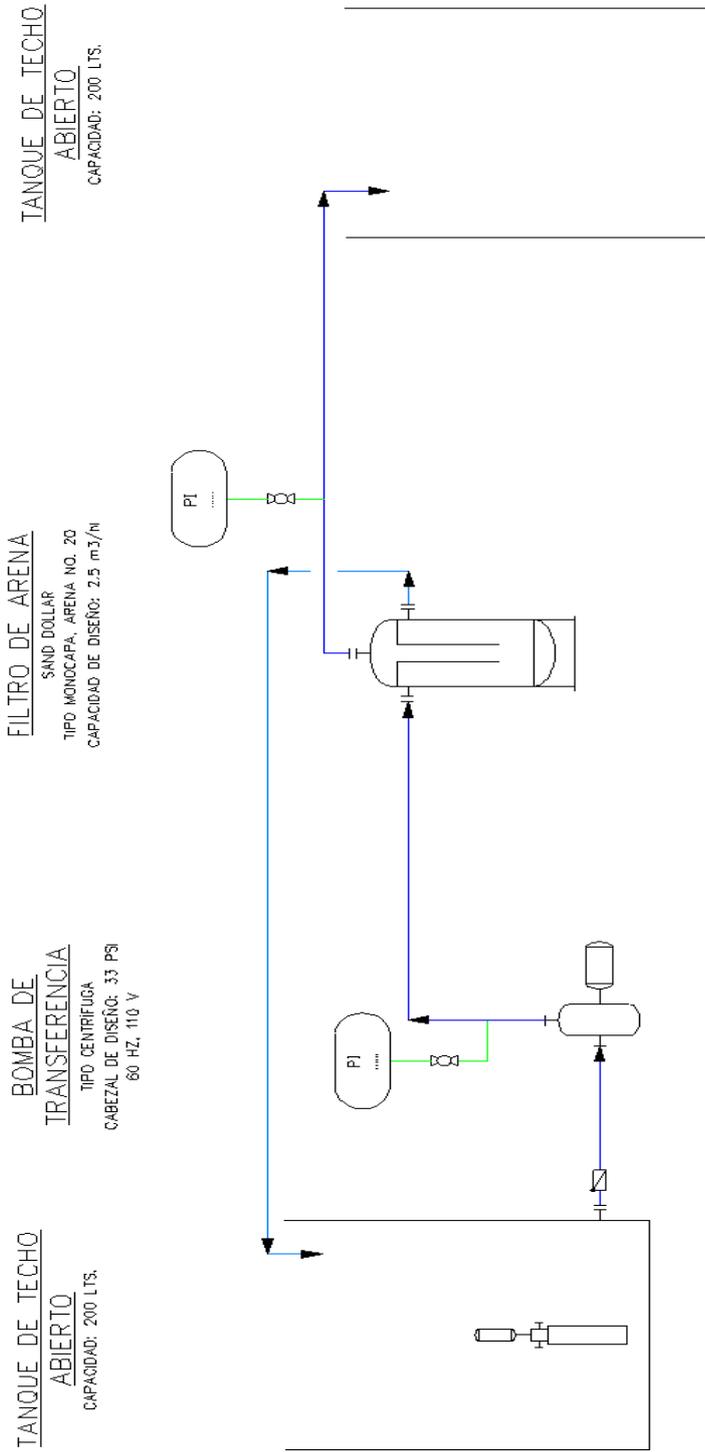


FIGURA 1 P&IP DEL BANCO DE PRUEBAS

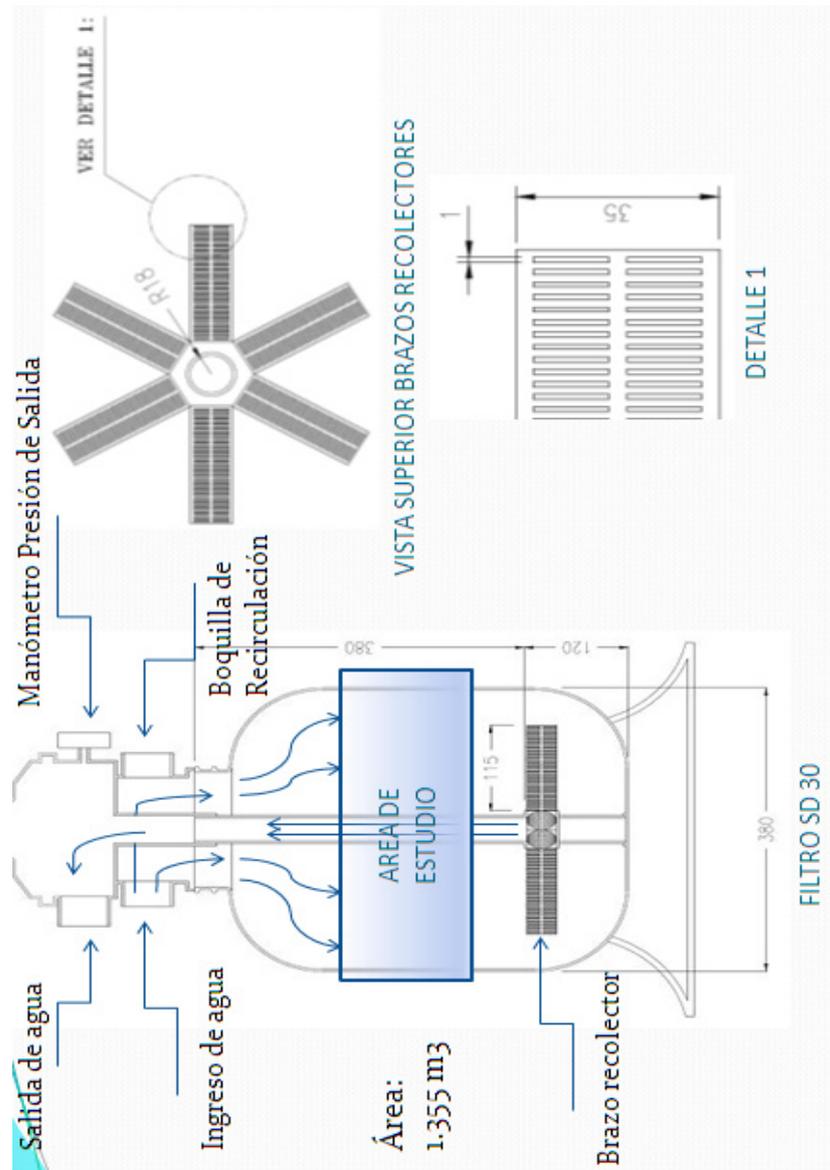


FIGURA 2 ESQUEMA DEL FILTRO

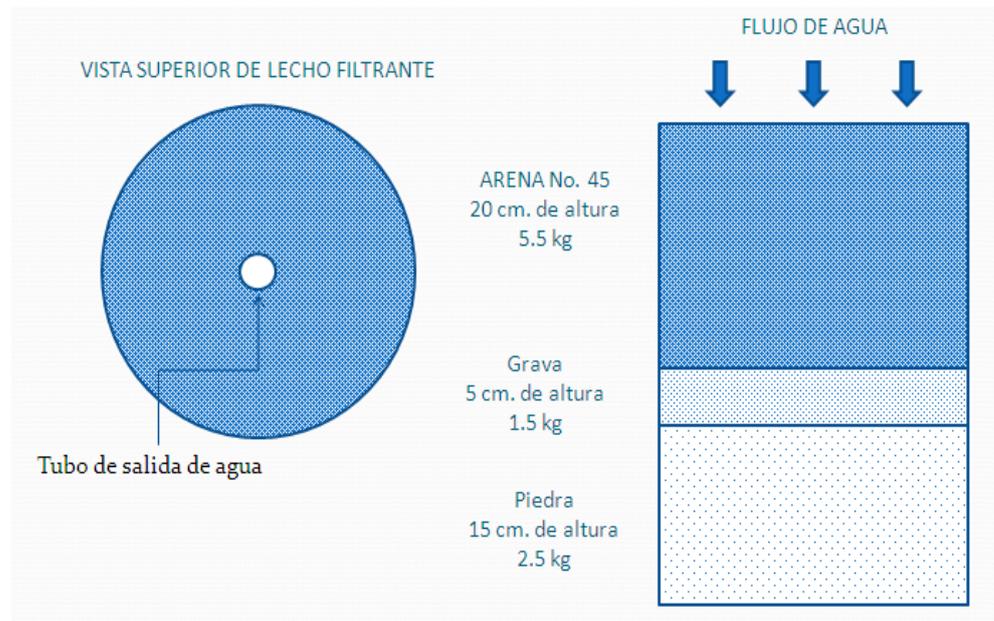


FIGURA 3 CARACTERÍSTICAS DEL LECHO FILTRANTE



FIGURA 4 ARCILLA E IMPUREZAS SEPARADAS



FIGURA 5 BANCO DE PRUEBAS



FIGURA 6 DILUCIÓN DE ARCILLA EN AGUA



FIGURA 7 AGUA CONTAMINADA CON ARCILLA

ANEXOS



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1 108:2011
Cuarta revisión

AGUA POTABLE. REQUISITOS.

Primera Edición

DRINKING WATER. REQUIREMENTS.

Second Edition

DESCRIPTORES: Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del agua, agua potable, requisitos.
AL 01.08-401
CDU: 628.1.033
CIU: 4200
ICS: 13.090.20

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	AGUA POTABLE. REQUISITOS	NTE INEN 1 108:2011 Cuarta revisión 2011-05
<p style="text-align: center;">1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano.</p> <p style="text-align: center;">2. ALCANCE</p> <p>2.1 Esta norma se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros.</p> <p style="text-align: center;">3. DEFINICIONES</p> <p>3.1 Para efectos de esta norma se adoptan las siguientes definiciones:</p> <p>3.1.1 <i>Agua potable.</i> Es el agua cuyas características físicas, químicas microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano.</p> <p>3.1.2 <i>Agua cruda.</i> Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas.</p> <p>3.1.3 <i>Límite máximo permitido.</i> Representa un requisito de calidad del agua potable que fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento un límite sobre el cual el agua deja de ser apta para consumo humano. Para la verificación del cumplimiento, los resultados se deben analizar con el mismo número de cifras significativas establecidas en los requisitos de esta norma y aplicando las reglas para redondear números, (ver NTE INEN 052).</p> <p>3.1.4 <i>UFC/ml.</i> Concentración de microorganismos por mililitro, expresada en unidades formadoras de colonias.</p> <p>3.1.5 <i>NMP.</i> Forma de expresión de parámetros microbiológicos, número más probable, cuando se aplica la técnica de los tubos múltiples.</p> <p>3.1.6 <i>mg/l.</i> (miligramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico químicos.</p> <p>3.1.7 <i>Microorganismo patógeno.</i> Son los causantes potenciales de enfermedades para el ser humano.</p> <p>3.1.8 <i>Plaguicidas.</i> Sustancia química o biológica que se utiliza, sola, combinada o mezclada para prevenir, combatir o destruir, repeler o mitigar: insectos, hongos, bacterias, nematodos, ácaros, moluscos, roedores, malas hierbas o cualquier forma de vida que cause perjuicios directos o indirectos a los cultivos agrícolas, productos vegetales y plantas en general.</p> <p>3.1.9 <i>Desinfección.</i> Proceso de tratamiento que elimina o reduce el riesgo de enfermedad que pueden presentar los agentes microbianos patógenos, constituye una medida preventiva esencial para la salud pública.</p> <p>3.1.10 <i>Subproductos de desinfección.</i> Productos que se generan al aplicar el desinfectante al agua, especialmente en presencia de sustancias húmicas.</p> <p>3.1.11 <i>Cloro residual.</i> Cloro remanente en el agua luego de al menos 30 minutos de contacto.</p> <p>3.1.12 <i>Sistema de abastecimiento de agua potable.</i> El sistema incluye las obras y trabajos auxiliares construidos para la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y sistema de distribución.</p> <p style="text-align: right;">(Continúa)</p> <hr/> <p>DESCRIPTORES: Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del agua, agua potable, requisitos.</p>		

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN – Casilla 17-01-3889 – Baquerizo Moreno 09-08 y Almageo – Quito-Ecuador – Prohibida la reproducción

Plaguicidas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Isoproturón	mg/l	0,009
Lindano	mg/l	0,002
Perdimetalina	mg/l	0,02
Perflaclofenol	mg/l	0,009
Dicloroprop	mg/l	0,1
Alacilo	mg/l	0,02
Aldicarb	mg/l	0,01
Aldín y Dieldrín	mg/l	0,00003
Carbofuran	mg/l	0,007
Clorpirifós	mg/l	0,03
DDT y metabolitos	mg/l	0,001
1,2-Dibromo-3-cloropropano	mg/l	0,001
1,3-Dicloropropano	mg/l	0,02
Dimetato	mg/l	0,006
Erdín	mg/l	0,0006
Terbutilazina	mg/l	0,007
Clordano	mg/l	0,0002

Residuos de desinfectantes

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Monocloramina,	mg/l	3

Subproductos de desinfección

	UNIDAD	Límite máximo permitido
2,4,6-triclorofenol	mg/l	0,2
Trihalometanos totales	mg/l	0,5
Si pasa de 0,5 mg/l investigar:		
• Bromodiclorometano	mg/l	0,06
• Cloroformo	mg/l	0,3
Ácido tricloroacético	mg/l	0,2

Cianotoxinas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Microcistina-LR	mg/l	0,001

5.1.2 El agua potable debe cumplir con los siguientes requisitos microbiológicos.

Requisitos microbiológicos

	Máximo
Coliformes fecales ⁽¹⁾	
- Tubos múltiples NMP/100 ml ó	< 1,1 [*]
- Filtración por membrana UFC/100 ml	< 1 ^{**}
Cryptosporidium, número de quistes/100 litros	Ausencia
Giardia, número de quistes/100 litros	Ausencia

^{*} < 1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm³ ó 10 tubos de 10 cm³ ninguno es positivo
^{**} < 1 significa que no se observan colonias
⁽¹⁾ ver el anexo 1, para el número de unidades (muestras) a tomar de acuerdo con la población servida

(Continúa)

6. INSPECCIÓN

6.1 Muestreo

6.1.1 El muestreo para el análisis microbiológico, físico, químico debe realizarse de acuerdo a los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Methods).

6.1.2 El agua potable debe ser monitoreada permanentemente para asegurar que no se producen desviaciones en los parámetros aquí indicados.

6.1.3 El manejo y conservación de las muestras para la realización de los análisis debe realizarse de acuerdo con lo establecido en los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Methods).

7. MÉTODOS DE ENSAYO

7.1 Los métodos de ensayo utilizados para los análisis que se especifican en esta norma serán los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Methods) especificados en su última edición. En caso que no conste el método de análisis para un parámetro en el Standard Methods, se utilizará un método estandarizado propuesto por un organismo reconocido.

(Continúa)

APENDICE Y
(Informativo)

Número de unidades a tomarse de acuerdo a la población servida

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

POBLACIÓN	NÚMERO TOTAL DE MUESTRAS POR AÑO
< 5 000	12
5 000 – 100 000	12 POR CADA 5 000 PERSONAS
> 100 000 – 500 000	120 MÁS 12 POR CADA 10 000 PERSONAS
> 500 000	180 MÁS 12 POR CADA 100 000 PERSONAS

Guías para la calidad del agua potable 3ra. Ed. (incluido el 1er. Adendum) 2008; Capítulo 4 numeral 4.3.4 cuadro 4.5

(Continúa)

APÉNDICE Z**Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR**

Métodos Estandarizados para el Análisis de Aguas y Aguas Residuales (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater) en su última edición. Publicado por la APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) y WEF (Water Environment Federation).

Reglamento de Buenas Prácticas de Manufactura para Alimentos Procesados. Decreto Ejecutivo 3253, Registro Oficial 696 de 4 de Noviembre del 2002

Z.2 BASES DE ESTUDIO

World Health Organization. *Guidelines for Drinking-water Quality First Addendum to Third Edition Volume 1 Recommendations*. World Health Organization, 2006.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: NTE INEN 1 108 Cuarta revisión	TÍTULO: AGUA POTABLE. REQUISITOS	Código: AL 01.06-401
---	---	---------------------------------------

ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio:	REVISIÓN: Fecha de aprobación anterior del Consejo Directivo 2009-08-28 Oficialización con el Caracter de Obligatoria por Resolución No 111-2009 de 2009-11-27 publicado en el Registro Oficial No. 111 de 2010-01-19 Fecha de iniciación del estudio: 2010-04
--	--

Fechas de consulta pública: de _____ a _____

Subcomité Técnico: Agua potable Fecha de iniciación: 2010-07-05 Integrantes del Subcomité Técnico:	Fecha de aprobación: 2010-12-10
--	--

NOMBRES:	INSTITUCIÓN REPRESENTADA:
Dña. Jenny Murillo (Presidenta del SCT)	UNIVERSIDAD CENTRAL, FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
Dña. Zoila Novillo	MIDUVI - SUBSECRETARÍA DE SERVICIOS DOMICILIARIOS
Dña. Mónica García	DE AGUA POTABLE, SANEAMIENTO Y RESIDUOS SÓLIDOS
Ing. Faldán Monge	MINISTERIO DE SALUD - CONTROL Y MEJORAMIENTO DE
Ing. Marcelo Capió	LA SALUD PÚBLICA, SALUD AMBIENTAL
Dr. Carlos Espinosa	DIRECCIÓN PROVINCIAL DE SALUD, Fichincha
Dr. Edgar Páez	EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y
Ing. Yolanda Lara	SANEAMIENTO
Quím. Fern. Gómez Quipe	EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y
Ing. Trajano Ramírez	SANEAMIENTO
Ing. Laura Ramírez	EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y
Ing. Viviana Ojeda	SANEAMIENTO
Ing. Adriana Acevedo	MINISTERIO DE SALUD - SISTEMA DE ALIMENTOS
Ing. Verónica Morán	INSTITUTO NACIONAL DE HIGIENE, Quito
Ing. Berito Mendoza	ANEMAPA - ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Dr. Luis Cacer	OPS / OMS ECUADOR
Ing. Marco Yápez	SENACUA
Ing. Patricio Viquez	SENACUA
Ing. Carlos Paredes	SENACUA
Dr. Hugo Yala	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
Ing. Carlos Valdez	INTERAGUA
Ing. Alexander Hildebrand	MIDUVI - SUBSECRETARÍA DE SERVICIOS DOMICILIARIOS
Dr. Hernán Riechó	DE AGUA POTABLE, SANEAMIENTO Y RESIDUOS SÓLIDOS
Dña. Jaqueline Arroyo	ETAPA - CUENCA
Ing. Eduardo Espín	ECAPAQ- QUAYAQUEL
Dña. Julieta Astudillo	INTERAGUA
Dña. Sofía Lantigua	EP - EMAPAR
Ing. María E. Dávalos (Secretaría Técnica)	ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, Quito
	SECRETARÍA DE SALUD MUNICIPIO QUITO
	CONSULTOR - PARTICULAR
	MINISTERIO DEL AMBIENTE
	INSTITUTO NACIONAL DE HIGIENE, Quito
	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA ECUADOR
	INEN - REGIONAL CHIMBORAZO

Otros trámites: * La NTE INEN 1 108:2010 (Tercera Revisión), sin ningún cambio en su contenido fue DESREGULARIZADA, pasando de OBLIGATORIA a VOLUNTARIA, según Resolución No. 009-2010 de 2010-03-05, publicada en el Registro Oficial No. 152 del 2010-03-17.

Esta NTE INEN 1 108:2011 (Cuarta Revisión), reemplaza a la NTE INEN 1 108:2010 (Tercera Revisión)

La Subsecretaría de Industrias, Productividad e Innovación Tecnológica del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma
Oficializada como: Voluntaria Por Resolución No. 11 135 de 2011-05-20
Registro Oficial No. 481 de 2011-06-30

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Boquerón Moreno E5-05 y Av. 8 de Diciembre
Cajón 17-03-2008 - Telf: (003 2) 801026 al 2 801031 - Fax: (003 2) 8 007016
Dirección General: E-Mail: direccion@inen.gov.ec
Área Técnica de Normalización: E-Mail: normalizacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Certificación: E-Mail: certificacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Verificación: E-Mail: verificacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail: serviciotecnologicos@inen.gov.ec
Regional Quito: E-Mail: quito@inen.gov.ec
Regional Azuay: E-Mail: azuay@inen.gov.ec
Regional Chiburraco: E-Mail: chiburraco@inen.gov.ec
URL: www.inen.gov.ec

BIBLIOGRAFÍA

- [1] **Bruce Lesikar Juan Enciso** (2000). Sistemas individuales para el tratamiento de aguas negras. Filtro de arena.

- [2] **Manual Regaber** (2011). Filtro arena 20", 36" y 48"

- [3] **ASTM D1889-88a**. Método para determinar turbidez en agua.

- [4] **Kuan-Mu Yao, Mohammad T. and Charles R. O' Melia** (2011). Water and Waste Water Filtration: Concepts and Applications

- [5] **Frank M. White** (Sexta Edición). Mecánica de Fluidos

- [6] **C.R. Westaway y A.W. Loomis** (Décimo Sexta Edición). Cameron Hydraulic Data

- [7] **AWWA 10009**. Water Treatment Plant Design.

[8] **NTE INEN 1108:2011** (Cuarta edición). Agua potable. Requisitos.

[9] **TULAS** (Libro VI, Anexo 1). Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: Recursos agua.