

CAPÍTULO I

CAPÍTULO I:

1.1. INTRODUCCIÓN

¹La tecnología de filtración que se lo realizara para el tratamiento del agua para la salud humana y para el bienestar de una sociedad en conjunto, ha llevado a la humanidad a buscar métodos de desinfección del agua para un propósito de vital importancia como es el consumo humano.

²Los (F.L.A.) conforme circula el agua las partículas más pequeñas son eliminadas, reconocido como una tecnología sencilla, confiable y eficiente, pues puede producir agua de baja turbiedad, libre de impurezas suspendidas y virtualmente libre de entero-bacterias, entero-virus, quistes de microorganismos eliminando materia en suspensión, coloidal y cambios en la composición química de ésta.

En la superficie de un lecho ya maduro se forma una película biológica, que consta de una gran variedad de microorganismos, que descomponen la materia orgánica, mientras gran parte de la materia inorgánica en suspensión queda retenida por acción del colado.

El agua al pasar por la arena filtra las sustancias sólidas y lo que es más importante, se crea una capa fina y activa de algas, bacterias y otros organismos vivos sobre la superficie del lecho de arena. Esta capa en la que los microorganismos descomponen la materia orgánica, recibe el nombre de “Schmutzdecke”³.

Este proceso de filtración lenta en arena se distingue de la filtración rápida por el Schmutzdecke y por el proceso de purificación que tiene lugar en esta delgada capa superficial. La principal característica de los filtros rápidos consiste en la eliminación de partículas en suspensión relativamente grandes por procesos físicos y la limpieza es un tanto complicada, mientras que la limpieza de los filtros lentos es simple, consiste

¹ OPS/CEPIS/06.174 UNATSABAR LIMA PERU

² FUENTE PROPIA

³ Capa biológica madura que ayuda a la filtración

en remover periódicamente la parte superior del lecho filtrante, incluido el Schmutzdecke.

1.2. ANTECEDENTES

Desde la aparición de la vida sobre la tierra los individuos han experimentado una cadena de cambios continuos hasta adquirir la apariencia de hoy, el hombre en el transcurrir de los años ha modificado sin cesar el ambiente físico y biológico en el que vive realizando actividades para satisfacer sus necesidades, su creación ha contribuido a mejorar las condiciones laborales de la humanidad hasta obtener mejor calidad de vida y mantener la salud integral de la colectividad.

La familia es el sistema primario por excelencia al que pertenece la persona, por lo tanto se debe proporcionar el medio más adecuado para satisfacer las necesidades biológicas, psicológicas y socioculturales a fin de obtener óptimo estado de bienestar posible, naturalmente que cada individuo necesita vivir también en el ambiente en que la naturaleza lo ha situado, para desarrollarse y evolucionar acorde y según los dictámenes de la sociedad.

El agua constituye un elemento indispensable para adquirir mejor y mayor calidad de vida en todos sus aspectos. La familia debe vivir en condiciones adecuadas de higiene sanitaria. En este sentido es necesario, entonces, realizar algunas acciones propuesta por los actores para solicitar el suministro de agua potable adecuada a fin de satisfacer las necesidades vitales de los habitantes de la comunidad de esta institución. La cual alcanza su justificación en los siguientes planes en lo social puesto que beneficia a las familias, principalmente los niños, ya que les permite mantenerse sanos. De igual forma se beneficia el estado, al mismo tiempo se minimizan los altos índices de morbilidad y mortalidad infantil a consecuencia de las enfermedades infecciosas contraídas por déficit de agua e inadecuados hábitos de higiene.

La información obtenida de las agencias internacionales muestra que una gran parte de la población mundial, especialmente las personas de los países en desarrollo no tienen acceso inmediato al abastecimiento de agua segura.

El centro Internacional de Referencia para Abastecimiento Público de Agua y Saneamiento, situada en Vooburg (La Haya) sigue apoyando los proyectos de investigación sobre filtros lentos de arena con el fin de promover la aplicación de este método, que es uno de los procesos de tratamiento de agua más efectivos, simples y económicos en zonas rurales para países en desarrollo.

Cabe mencionar que es una obra sencilla (hormigón simple), que requiere el uso de materiales y mano de obra locales, poco o ningún equipo especial, lo cual indica que es una obra de fácil diseño y fácil construcción.

En Bolivia los filtros lentos se comenzaron a utilizar como sistemas de tratamiento desde los años ochenta, las facilidades de implementación ya enunciadas y el bajo costo de inversión transforman a este método en uno de los que tienen mayor aplicabilidad en nuestro medio.

Actualmente existen estudios que se realizaron para la implementación de un sistema de agua segura para la localidad de Santa Ana La Vieja por tecnología de bombeo en el mismo cauce del río Santa Ana, pero los cuales no incluyen estudios referentes a Filtración Lenta en Arena u otro similar, porque el sistema de agua que viene de San Agustín no llega a abastecer a toda la población y éste cuenta con un ⁴pre filtro de arena que no llega a eliminar la mayoría de elementos patógenos y nocivos en el líquido elemento.

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El agua dulce es un recurso limitado. La proporción utilizable de este recurso es menor al 1% del total y 0.01% de todo el agua sobre la tierra (UNEP). Según la OMS, cada año mueren casi tres millones y medio de seres humanos, y en su mayoría niños con

⁴ Caja de hormigón de 1.5*1.5 conteniendo grava y arena

enfermedades diarreicas agudas (EDA) que son frecuentemente originadas por falta de servicios de agua. Los factores que agudizan el problema de desabastecimiento de aguas son: el crecimiento imparable de la población y el efecto invernadero que acelera la desertificación de muchas zonas alrededor del planeta, afectando tanto el ciclo hídrico como al cambio climático y reduciendo la media de precipitaciones esperadas en regiones ya desiertas o semi-desiertas. Por esta razón se establecen técnicas y estrategias que ayudarán el proceso de la purificación de agua para el consumo humano, una de estas técnicas es el uso de filtros lentos de arena que son sistemas sencillos y efectivos, donde el agua pasa a través de lechos de capas de grava arena de diferentes tamaños las cuales retienen las impurezas y patógenos que contienen.

El motivo de la elaboración del presente proyecto de grado, es responder a la imperiosa necesidad que tienen los pobladores de la localidad de Santa Ana La Vieja de proveer agua a dicha localidad con un tratamiento apropiado, una mejor calidad y sobre todo que sea apta para el consumo humano.

Por otra parte, este proyecto se considera importante ya que proporcionará a los pobladores de la localidad de Santa Ana La Vieja una excelente calidad de agua segura, libre de organismos patógenos (sin contaminantes) para así evitar distintos tipos de enfermedades que son causadas por el tratamiento erróneo del agua.

Actualmente la localidad de Santa Ana La Vieja cuenta con un sistema de agua segura que no abastece a toda la región, a través del cual el agua fluye sin un adecuado tratamiento (con distintos tipos de contaminantes). Para mejorar la calidad del agua tanto física, química como bacteriológica y que ésta sea apta para el consumo humano, se considera necesario implementar un sistema de filtración lenta en arena, que vendrá a dar una solución para todas las familias que requieren el líquido elemento con todas las garantías necesarias.

Por otra parte, el excesivo ablandamiento del agua también puede tener efectos adversos en la corrosión de tuberías de fierro y acero galvanizado. Agua muy blanda puede también contribuir al desgaste de los tanques de concreto normalmente, el interior de tuberías ferrosas son protegidas por una capa que se forma cuando el agua

fluye dentro de ellas, esta capa contiene carbonato de calcio CaCO_3 y hierro Fe. Si agua muy blanda (agresiva) pasa por una tubería galvanizada la capa protectora de zinc es lentamente removida exponiendo el acero. Además si no existen suficientes iones de calcio Ca^{2+} en el agua los componentes de calcio del concreto pueden lixivarse⁵ y causar deterioro en la integridad de la estructura.

Por esta razón debemos tener mucho cuidado cuando se usen métodos de ablandamiento total en el agua que pasará por tuberías ferrosas.

1.4. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La falta de sistemas de tratamiento de agua que existen en las comunidades rurales del departamento de Tarija, hace que los habitantes de los mismos, estén expuestos a distintas enfermedades producidas por un inadecuado tratamiento de agua. Puesto que el sistema de potabilización que utilizan consta solamente de un proceso químico (desinfección) no utilizando procesos físico-biológicos (filtración lenta en arena)

Un claro ejemplo es la comunidad de Santa Ana La Vieja, que cuenta actualmente con un sistema de agua segura que no llega a satisfacer a toda la región, a través del cual el agua fluye sin un adecuado tratamiento. Por lo tanto una posible solución sería la elaboración del diseño de Filtros Lentos de Arena logrando satisfacer la necesidad de la población de Santa Ana La Vieja.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de tratamiento de agua para la comunidad de Santa Ana La Vieja utilizando el método de filtración lenta en arena para lograr satisfacer la necesidad de la población.

⁵ Disolvente adecuado para obtener su parte soluble

1.5.2. Objetivos Específicos

- Realizar el diseño y cálculo de los componentes del filtro lento de arena, con parámetros exigidos por la N.B.
- Elaborar planos arquitectónicos de cada uno sus elementos.
- Conseguir el perfil de pérdidas de carga, y que estos cumplan con las velocidades de diseño exigidos por la N.B.

CAPÍTULO II

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. MARCO HISTÓRICO

La filtración es un proceso en el cual las partículas sólidas que se encuentran en un fluido líquido o gaseoso se separan mediante un medio filtrante, o filtro, que permite el paso del fluido y a su vez retienen las partículas sólidas, unas veces interesa recoger el fluido; otras, las partículas sólidas y, en algunos casos, ambas cosas.

El arte de la filtración era ya conocido por el hombre primitivo que obtenía agua clara de un manantial turbio haciendo un agujero en la arena de la orilla a profundidad mayor que el nivel del agua. El agujero se llenaba de agua clara filtrada por la arena. El mismo procedimiento, perfeccionado y a gran escala, ha sido usado durante más de cien años para clarificar el agua de las ciudades.

Una de las primeras técnicas aplicadas para la depuración de las agua fue el filtro lento de arena, adaptado para dar soluciones a pequeñas escalas y de uso unifamiliar. De esta forma, aquellas aguas que tengan un aspecto turbio, podrán ser pasadas por materiales filtrantes y lograr mediante ese proceso mejores condiciones.

En estos filtros se desarrollan bacterias colaboradoras útiles para la eliminación de parásitos causantes de enfermedades que podrían tener las aguas turbias a filtrar. La filtración lenta de arena (FLA) se ha utilizado exitosamente desde mediados del siglo pasado en el tratamiento de agua para consumo humano, pero principalmente en sistemas colectivos de abastecimiento, es decir a gran escala. En pequeña escala, a nivel domiciliario la tecnología de filtración lenta también ha venido siendo utilizada, no obstante que el flujo del agua a través del filtro, en este caso, es intermitente y para lo cual la tecnología no había sido adaptada, teniendo una eficiencia en la eliminación de las bacterias patógenas mucho más baja que en la filtración de agua a gran escala, en donde el flujo es continuo.

Con esta técnica llamada filtración se logra una estimación del número de bacterias en la población, que pueden multiplicarse en un medio líquido. Cualquier medio puede emplearse, siempre que fomente el crecimiento de los microorganismos por estudiar.

El recuento por dilución es más exacto si se inoculan varios tubos de medios de cultivos en porciones de 1 ml de cada dilución. Varias porciones de las diluciones críticas, en estas circunstancias, contienen un microorganismo viable y otras no lo contienen. Se han calculado tablas para saber en un momento dado el número más probable de bacterias en la muestra

El tratamiento del agua tiene por objeto provocar los cambios físicos, químicos y biológicos que convierten al agua, de estado natural a condiciones seguras; es decir en condiciones de uso y consumo.

De acuerdo al uso que se le dé al líquido elemento, el agua tiene que cumplir requisitos mínimos de calidad; así sea para riego, uso recreacional, industrial y en el caso nuestro el consumo humano.

2.2. ESTUDIOS PRELIMINARES

Los estudios preliminares, básicamente están referidos a reunir toda aquella información necesaria para poder ejecutar el diseño de una planta de tratamiento de aguas “F.L.A.” y cualquier otro tipo de obras civiles, los cuales son obtenidos en base a estudios de campo, recolección de información técnica, social ambiental y cultural de la población a ser beneficiada por el proyecto.

Entre la información relevante a determinar para este fin se encuentran los siguientes según nuestra clasificación.

2.3. MARCO CONTEXTUAL

2.3.1. Información general

Actualmente la comunidad de Santa Ana La Vieja cuenta con un Sistema de Agua Segura deficiente, que no llega a satisfacer la demanda existente. Es por este motivo que se viene realizando este proyecto de grado para su posterior implementación.

En cuanto a los trabajos que se viene realizando en la zona del proyecto son: la implementación de una nueva red mediante tecnología de bombeo, para satisfacer la demanda de la comunidad, porque el sistema actual que viene de San Agustín no abastece para el consumo humano, respecto al riego se puede mencionar que la gobernación de Tarija por medio del proyecto múltiple San Jacinto y los comunarios de la zona ya implementaron un sifón para beneficiar a más de 30 familias, permitiendo el riego de aproximadamente 60 hectáreas agrícolas, el sifón consta de aproximadamente medio kilómetro.

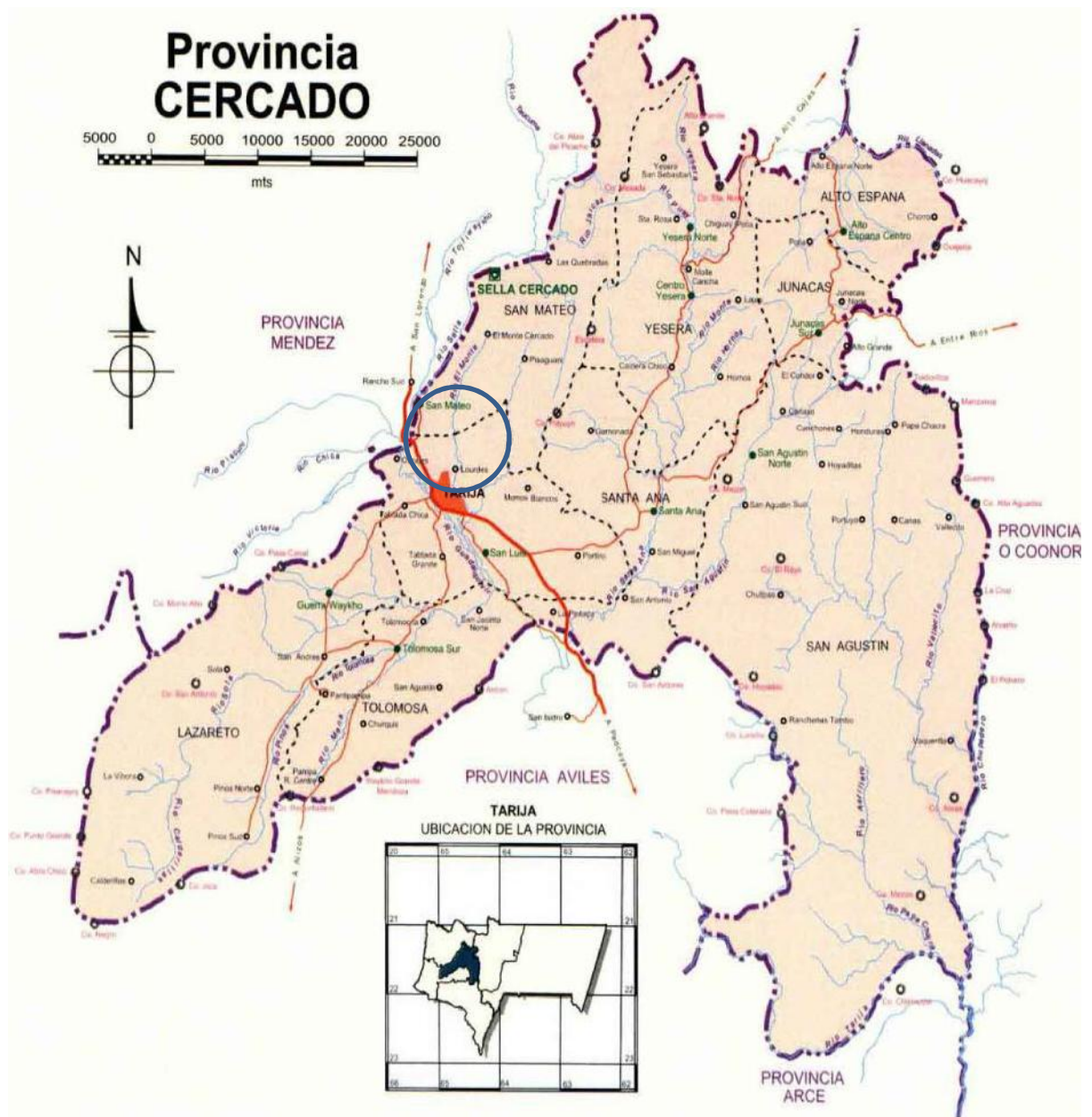
➤ Tipo de proyecto

El diseño de un sistema de tratamiento de agua mediante filtros lentos se lo realizará por gravedad, ya que la fuente de agua es superficial la misma que proviene del rio San Agustín.

➤ Localización del proyecto

2.3.1.1. Ubicación física y geográfica

La provincia Cercado se encuentra ubicada al oeste del departamento de Tarija a una altura de 1850 m/s/n/m, entre las coordenadas geográficas 21°32'19" de latitud sur y 64°34'70" de longitud oeste, limita al norte con la provincia Méndez, al este con la provincia O'Connor, al sur con la provincia A. Arce y al oeste con la provincia J.M. Avilés y parte de la provincia Méndez.



2.3.1.2. Vías de acceso a la zona

La vía principal de acceso a la comunidad de Santa Ana La Vieja cuenta con pavimento flexible, la misma que se encuentra en la actualidad en permanente estado de funcionamiento. En cuanto al acceso a la zona del proyecto la vía no está pavimentada pero está empedrada.

La distancia recorrida desde la ciudad de Tarija hasta la zona del proyecto es de 26 Km. de los cuales 17 Km. son de Tarija- al cruce, 9 Km. Del cruce-Santa Ana La Vieja, y 3 km aproximadamente de la comunidad beneficiada a la zona del proyecto.

El tiempo aproximado de recorrido desde la ciudad de Tarija hasta la comunidad de Santa Ana La Vieja es de 25 a 30 minutos.

2.3.1.3. Selección del sitio de ubicación de la planta

Debe reunir las siguientes condiciones:

a) Facilidad de acceso

Escoger la zona de mejor acceso hacia el lugar, con vías de comunicación que faciliten su posterior construcción, operación y mantenimiento.

b) Ausencia de agua subterránea

El agua subterránea o nivel freático debe estar ausente o muy profunda del lecho de fundación, para así poder tener una fácil compactación y talud muy estable, lo que facilita la implementación de soluciones de bajo costo.

c) La zona debe ser segura

No debe estar expuesta a riesgos naturales o humanos no debe ser un lugar erosionado.

d) El terreno seleccionado

La topografía de la zona seleccionada debe reunir los desniveles necesarios para que el sistema pueda operar totalmente por gravedad. (Pendiente natural 5 a 10%)

2.3.1.4. Descripción física del área del proyecto

a. Clima

Se especificará el clima (cálido, templado o frío). Las variaciones de temperatura influyen mucho en el comportamiento de los procesos y las lluvias en las características del agua.

b. Altitud

Se señalará la altitud aproximada del área del proyecto (m.s.n.m)

c. Relieve topográfico

Describir el relieve topográfico en el área del proyecto (plano, pendiente, montañoso).

2.3.2. Información socioeconómica

2.3.2.1. Aspectos demográficos

a) Población actual

Se especificará la población actual a ser beneficiada, en habitantes y familias. Esta información deberá proceder del INE o del censo poblacional efectuado por el proyectista.

b) Índice de crecimiento poblacional

Se señalará el valor a utilizarse, aclarando si corresponde a información obtenida del Instituto Nacional de Estadística (INE) o asumida por el proyectista. En este último caso se deberá justificar el valor adoptado.

c) Tipo de población

Se especificará si la población de Santa Ana la Vieja es concentrada, semidispersa o dispersa. Para tal efecto se asumirá el criterio siguiente:

- **Concentrada**, si la distancia media entre casas es menor a los 70 m.
- **Semidispersa**, si la distancia media entre casas es de 70 a 150 m.
- **Dispersa**, si la distancia media entre casas es mayor a 150 m.

2.3.2.2. Aspectos socioeconómicos

a) Características de la comunidad

Efectuar estudios sociológicos para determinar costumbres y creencias que puedan afectar la aceptación del sistema.

b) Características de la cuenca

Este estudio consiste en la inspección de la cuenca para determinar el grado de forestación y del uso que ésta tiene; información muy valiosa en la interpretación de los análisis del agua.

En una cuenca sin vegetación, es posible que las lluvias produzcan un fuerte arrastre de material hacia el curso de agua, pudiendo esperar altos valores de turbiedad en esas épocas. Por el contrario una intensa vegetación puede ser índice de problemas de color.

El tipo de uso que se le dé a la cuenca puede dar un indicio de la clase de contaminación que podemos encontrar en el agua.

c) Salud

Descripción de las principales enfermedades de origen hídrico y transmisible por el agua, índices de morbi mortalidad en la localidad. Con el objeto de seleccionar el proceso más adecuado para proporcionarles agua segura y libre de toda contaminación biológica.

La información recolectada deberá ser de los centros de salud existentes en la localidad y/o cercanos a ésta y el nivel de atención de los mismos.

d) Disponibilidad de agua

Se describirán las formas actuales de abastecimiento, almacenamiento de agua en la población. Si se dispone de un sistema de agua segura.

e) Disponibilidad de materiales de construcción locales

Deberá determinarse los materiales disponibles para la construcción operación y mantenimiento del sistema de “FLA”

Los materiales disponibles necesarios para la implementación de un sistema de filtración lenta son los siguientes:

1. Materiales de construcción

- ⇒ Cemento.
- ⇒ Arena.
- ⇒ Ladrillo.
- ⇒ Piedra triturada.
- ⇒ F.C. Fierro de construcción corrugada.
- ⇒ Tuberías (cemento, hierro, PVC, etc.)
- ⇒ Accesorios para tuberías.
- ⇒ Válvulas.
- ⇒ Compuertas de madera.

2. Suministros para operación y mantenimiento

- ⇒ Arena para lecho filtrante(indicar distancia al banco de arena más cercano)
- ⇒ Grava graduada (para soporte del lecho filtrante)
- ⇒ Hipoclorito de calcio
- ⇒ Mallas de alambre para fabricar tamices, para clasificar arena.

2.4. ESTUDIOS TÉCNICOS

Se adjuntarán en Anexos los análisis físico – químico y bacteriológico de las aguas no tratadas (crudas) en correspondencia a la fuente de agua a ser utilizada en el proyecto, que deberán contener los parámetros especificados de la Norma Boliviana NB 689 y valores límites de acuerdo a la Norma Boliviana NB 512, estos estudios se los realizó en la ciudad de Camiri en el Laboratorio de COOPAGAL Ltda.

2.4.1. Calidad del agua

Definición: La calidad del agua es un conjunto de características físicas, químicas y biológicas que hacen que el agua sea apropiada para un USO DETERMINADO.

2.4.2. Parámetros y/o indicadores de calidad del agua

La calidad de las aguas se define de acuerdo a indicadores o parámetros de calidad. Estos se dividen en físicos, químicos y bacteriológicos.

Mientras que las Normas de Calidad son los límites permisibles de los indicadores para determinar el tipo de tratamiento al cual debe ser sometida el agua antes de ser utilizada. Para determinar la calidad del agua se hará uso de la Norma Boliviana NB 512.

Es así que para agua segura el agua debe tener una calidad mucho más exigente que cuando es usada para riego, uso industrial, etc.

Los parámetros generales que van a definir la calidad del agua se pueden dividir en 3 grupos:

A. Parámetros físicos:

a) Olor – sabor

Los olores y sabores en el agua provienen generalmente de materia orgánica en descomposición, esencias liberadas por diferentes algas y hongos, las cuales dan sabores y olores fuertes.

Las sales y los minerales dan sabores salados o metálicos, como los Na^+ , Cl^- , Fe^{2+} , Mn^{2+}

b) Color

El color de agua segura puede deberse a la presencia de materia vegetal y/o materia orgánica coloreada, metales como el hierro y el manganeso o desechos industriales de color intenso. Se recomienda como valor guía 15 unidades de color verdadero (UCV).

c) Turbiedad

La turbiedad es el aspecto nublado que a veces presenta el agua debido a partículas en suspensión. Los rayos luminosos se dispersan y absorben en lugar de transmitirse en línea recta.

La materia en suspensión puede ser arcilla, sílice, materia orgánica finamente dividida, plancton y otros microorganismos, así como precipitados de calcio, hierro y manganeso.

La turbidez disminuye la calidad estética del agua, perjudica a los procesos de tratamientos.

La turbiedad constituye un parámetro más usual de calidad de agua, por su facilidad de determinación por razones estéticas, por constituir un parámetro indicativo del grado de contaminación.

d) Temperatura

La temperatura en el agua es una de las características que más influye en la aceptación de los consumidores. El aumento de temperatura disminuye el oxígeno, aumenta en general las sales y favorecen la supervivencia de los organismos patógenos los cuales son encargados de la degradación de contaminantes (materia orgánica).

e) Sólidos totales disueltos

Estrictamente hablando, sólido es todo aquello que está presente en el agua, excepto el agua misma; para propósitos prácticos se define como sólido a todos los compuestos que están presentes en el agua disueltos, suspendidos o flotando.

Los sólidos disueltos están constituidos principalmente por sustancias inorgánicas, como iones (calcio, magnesio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos). Por regla general los sólidos disueltos provienen de sales inorgánicas, su tamaño es extremadamente pequeño, no son visibles a simple vista.

El principal efecto de los STD en el agua es el sabor, por lo que se considera un agua de buen gusto a 600 mg/l, en concentraciones superiores a 1200 mg/l el agua adquiere sabores cada vez más desagradables.

El conocer no solo la cantidad de sólidos, si no su tamaño constituye la base de selección de los procesos de clarificación de las aguas.

f) Sólidos en suspensión

Los sólidos suspendidos son todas aquellas partículas cuyo tamaño oscila entre 1μ a 100μ . Son los que transmiten la turbiedad al agua y pueden ser sólidos suspendidos sedimentables y sólidos suspendidos no sedimentables.

Sólidos suspendidos sedimentables.- Son aquellas partículas coloidales de tamaños mayores a 10μ y con densidad suficiente para depositarse en un tiempo determinado.

Sólidos suspendidos no sedimentables.-

⇒ Son partículas coloidales cuyo tamaño oscila entre $1m\mu$ a 1μ , con baja densidad.

⇒ Partículas con tamaño un poco mayor que las partículas coloidales entre $1-10\mu$, pero cuya densidad no es suficiente para permitir su sedimentación en corto tiempo.

Figura 1

Clasificación de los sólidos presentes en el agua y su intervalo de tamaño

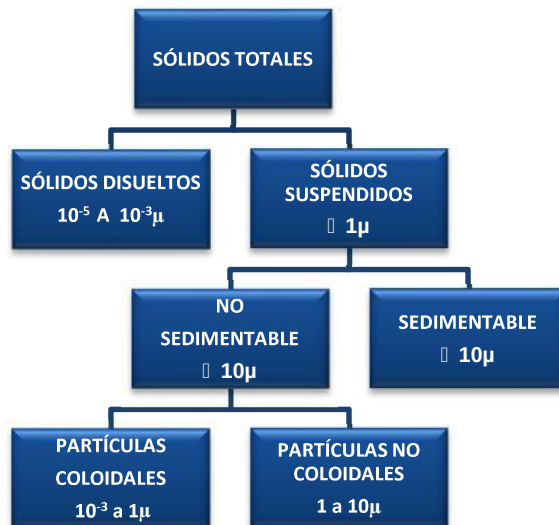


Ilustración 1 Clasificación de los solidos

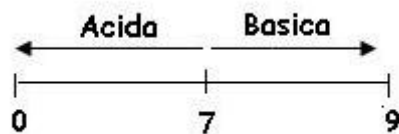
B. Parámetros químicos del agua

El agua contiene en suspensión y en solución una gran cantidad y variedad de sustancias y compuestos, que son los que le dan sus características peculiares y los que determinan el tratamiento de acuerdo al uso que se le desee dar.

Algunos parámetros químicos más relevantes son:

a) PH

El valor del PH del agua, indica si el agua es ácida o es básica (alcalina). Según la NB 512 proporciona parámetros permisibles de valores de ph.



Si el $ph < 7$, el agua será ácida

Si el $ph > 7$, el agua será básica o alcalina

Si el $ph = 7$, el agua será neutro.

Si se junta un ácido con una base se neutraliza. El ácido carbónico es un amortiguador del PH.

Los cambios de calidad del agua pueden observarse mediante mediciones de pH. La mayoría de las aguas naturales tienen un margen de potabilización entre 6.5-8.5, y suelen ser alcalinas como resultado de carbonatos y bicarbonatos.

Por definición el pH es el logaritmo negativo de la concentración de iones H^+ o sea:

$$PH = -\log_{10}(H^+)$$

Al disociarse el agua se producen H^+ y OH^-

O sea: $H_2O = H^+ OH^-$

b) Cloruros

Los cloruros de metales como el Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , se presentan en pequeñas cantidades en la mayoría de las aguas naturales. En pequeñas cantidades los cloruros pueden mejorar el sabor del agua, pero en concentraciones altas ($>250mg/l$) éstos imparten un sabor salubre al agua. Son difíciles de eliminar por coagulación.

c) Sulfatos

Están presentes naturalmente en la mayoría de las aguas y su concentración varía considerablemente. Cantidades extremas de sulfatos son índice de extrema dureza o acidez muy alta. El $CaSO_4$ da un sabor astringente; el Na_2SO_4 y $MgSO_4$ son insípidos pero producen efectos laxantes.

d) Dureza

Es la cantidad de iones calcio y magnesio en el agua, expresada como carbonato de calcio, generalmente resulta de la presencia de bicarbonato de calcio y carbonato de magnesio.

e) Nitrógeno

El nitrógeno es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, junto al fósforo constituyen los llamados nutrientes.

f) Fósforo

El fósforo es un bio estimulante para el crecimiento de las algas y de otros microorganismos biológicos.

C) Parámetros bacteriológicos

Los métodos bacteriológicos son los más utilizados a nivel mundial y los más estudiados para fines higiénicos sanitarios y de ingeniería sanitaria de las aguas residuales, estos establecen organismos típicos para cada tipo y grado de contaminación, llamados organismos indicadores.

Los organismos indicadores de contaminación fecal son las bacterias coliformes, que viven normalmente en los intestinos de seres humanos y animales, así como también en el suelo.

La presencia de bacterias Coliformes es índice de contaminación fecal y de la posible existencia de bacterias patógenas

La calidad bacteriológica es uno de los principales factores para determinar si el agua de bebida es segura o no.

a) Coliformes totales CT (UFC/100ml)

Se acepta que los coliformes totales pueden ser originados en animales de sangre caliente en general y por lo tanto son indicadoras de la presencia de heces fecales de cualquier tipo. La OMS al igual que la NB 512 recomienda que en el agua para beber haya 0 UFC/100ml. A modo orientativo un agua residual urbana puede llegar a contener 10^2 coliformes totales/100 ml

b) Coliformes fecales CF (UFC/100ml)

Las coliformes fecales, se encuentran mayormente en heces fecales humanas y por lo tanto son indicadoras más específicas de la contaminación por microorganismos patógenos. Éste es el parámetro más utilizado actualmente dentro de la ingeniería de las aguas residuales.

2.4.3. Norma de potabilización NB 512

Existen varias normas internacionales de calidad del agua segura. La mayoría de los países en desarrollo han adoptado las normas de la OMS y tienen la intención de cumplir esas normas en la medida de lo posible en sus sistemas actuales de abastecimiento, tal es el caso de la NB 512 que es la norma de control de calidad del agua de nuestro medio, la cual se regirá este proyecto de grado.

Toda agua para consumo humano no debe contener microorganismos patógenos, sustancias tóxicas o nocivas para la salud y materia orgánica; para que sea agradable debe estar libre de color, olor, turbiedad y sabor; más aún su contenido de oxígeno deber ser suficientemente alto, debiendo tener una temperatura adecuada. Por tanto, el agua debe cumplir ciertas normas bacteriológicas y físico-químicas para que pueda ser considerable segura.

En el siguiente cuadro presenta valores máximos recomendables y permisibles establecidas por la Norma Boliviana NB 512.

Cuadro 1
Valores máximos aceptables por la
Norma Boliviana NB 512 (agua potable requisitos)

Nº	PARÁMETRO	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE	UNIDAD
ANÁLISIS FÍSICOS			
1.	Turbiedad	5	U.N.T.
2.	Color	15	U.C. Escala Pt-Co
3.	Olor*	-	-
4.	Sabor*	-	-
5.	Temperatura*	-	°C
6.	Sólidos totales disueltos	1000	mg/l
7.	Sólidos totales suspendidos**	-	mg/l
ANÁLISIS QUÍMICOS			
8.	Dureza Total	500	mg/l (Ca CO ₂)
9.	Calcio	200	mg/l
10.	Magnesio	150	mg/l
11.	Manganeso	0.1	mg/l
12.	Hierro	0.3	mg/l
13.	Sulfatos	400	mg/l
14.	Cloruros	250	mg/l
15.	Fluoruros	1.5	mg/l
16.	Nitratos	45	mg/l
17.	Nitritos (1)	0.1	mg/l
18.	pH	6.5 – 9.0	mg/l
ANÁLISIS BACTERIOLÓGICOS			
19.	Coliformes totales	0.0 UFC/100 ml	≤ 2 NMP/100ml*****
20.	Escherichia coli**(E. coli)	0.0 UFC/100 ml	≤ 2 NMP/100 ml
ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS			
21.	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	N.E.	mg/l
22.	Oxígeno disuelto OD	N.E.	mg/l
23.	Conductividad.	1.500	µmhos/cm

Tabla 1, Valores máximos permitidos por la Norma Boliviana.

(*) Debe ser inobjetable para los sentidos humanos.

(**) Guardan relación con la turbiedad.

(***) Guardan relación con la dureza total.

(*****) NMP/100 ml, número más probable por 100 ml o UFC/100 ml, unidades formadoras de colonias por 100 ml según la técnica empleada (Tubos múltiples o membrana filtrante).

(1) Condición: (NO₃/45) + (NO₂/0.1) ≤ 1

N.E.: No especificado en la Norma NB-512. El parámetro DBO₅ servirá como comprobación de contaminación microbiológica, posibilidad de conexiones cruzadas. El parámetro Oxígeno disuelto ≤ 4 mg/l garantiza posibilidad de vida acuática (aguas superficiales de calidad admisible, a excepción de las aguas subterráneas). El parámetro conductividad guarda relación con el contenido iónico total (sales disueltas), valores superiores pueden influir en la apariencia, el sabor o e olor del agua (Guías OPS/OMS).

2.4.4. Enfermedades relacionadas con el agua

Algunas enfermedades relacionadas con el agua no se deben a su baja calidad bacteriológica, si no a su escasez o a prácticas de higiene personal y domesticas inadecuadas.

Cuadro 2

Clases de enfermedades infecciosas relacionadas y transmitidas por el agua, y sus medidas de prevención.

MECANISMOS DE TRANSMISION	EJEMPLOS	MEDIDAS DE PREVENCIÓN
1.- Infecciones Hídricas. - clásicas - no clásicas	Fiebre tifoidea, Cólera Hepatitis infecciosa	Mejorar la calidad del agua y evitar el uso casual de otras fuentes no tratadas
2.- Infecciones por aguas servidas. 3. Infecciones de la piel y de los ojos. 4. Enfermedades diarreicas.	Tracoma, sarna Disentería bacilar	Aumentar la cantidad de agua y hacerla más accesible, mejorar la higiene.
3.- Infecciones basadas en el agua por penetración de la piel. por ingestión.	Esquistosomiasis Filaria	Reducir la necesidad de contactos con el agua, controlar la población de caracoles y mejorar la calidad del agua
4.- Infecciones por insectos vectores relacionados con el agua. • Que pican cerca del agua. • Que se crían en el agua.	Encefalitis letárgica Fiebre amarilla	Mejorar el manejo del agua superficial, destruir los criaderos de insectos y reducir la necesidad de estar cerca de los criaderos

Tabla 2. Clases de enfermedades Infecciosas.

Fuente: OMS.

Como se muestra en el cuadro 2, se debe en primer lugar mejorar la cantidad, la accesibilidad y confiabilidad de los abastecimientos; luego debe hacerse esfuerzos para mejorar la calidad del agua.

Ésto se puede realizar tomando medidas dirigidas a prevenir la contaminación de las fuentes de agua cruda con materia fecal o tratando el agua con métodos de purificación que permitan una mejora considerable de la calidad bacteriológica, tal como la filtración lenta en arena y otros métodos de desinfección.

CAPÍTULO III

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1.TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación que se está realizando en el proyecto de grado es:

Por su relación con la práctica se considera *investigación aplicada* por que adoptamos y aplicamos conocimientos ya existentes, la cual nos proporcionan una metodología sistemática secuencial de trabajo para el diseño de filtros lentos de arena (FLA).

3.2. MÉTODOS Y TÉCNICAS A UTILIZAR

A continuación se detallará diversos métodos y técnicas de investigación científica que se utilizarán para la investigación social.

- **Teóricos.-** Se utilizan para la construcción y desarrollo de la teoría científica. El método utilizado es el hipotético deductivo debido a que se partirá de premisas consideradas verdaderas y luego se contrastará su veracidad.
- **Empíricos.-** son aquellos que permiten intervención, registro, medición, análisis e interpretación en el proceso de investigación científica apoyándose en la práctica (ensayos y pruebas de laboratorio).
- **Estadísticos.-** Intervienen de manera importante en el cálculo de la población del proyecto. Usaremos la estadística inferencial, debido a que se va a extraer características conocidas.

Resumiendo los métodos y técnicas que se utilizarán para la investigación del diseño de los filtros lentos de arena (FLA), se hará el uso del método hipotético deductivo, debido a que utilizamos conocimientos ya establecidos, pero que son aplicados a un caso particular.

3.3.CONCEPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA

3.3.1. Población del proyecto

Es el número de habitantes que ha de ser servido por el proyecto para el periodo de diseño, el cual debe ser establecido con base a la población inicial.

Para la estimación de la población del proyecto se debe considerar los siguientes aspectos:

3.3.1.1. Población inicial

Esta referida al número de habitantes dentro del área del proyecto que debe ser determinada mediante un censo poblacional y/o estudio socio-económico.

Se aplicaran datos estadísticos del INE para determinar la población de referencia o actual y los índices de crecimiento demográfico respectivos.

3.3.1.2. Población futura

Está referida, al número de habitantes dentro del área del proyecto que debe ser estimado en base a la población inicial y al índice de crecimiento poblacional, para el periodo de diseño.

3.3.1.3. Métodos de cálculo para la población futura

La predicción de la población deberá estar fundamentada por los métodos de cálculo, los cuales utilizan datos estadísticos generados en el caso de Bolivia por el Instituto Nacional de Estadística (INE) a través de los índices de crecimiento demográfico poblacional.

Para el cálculo de la población futura se pueden utilizar los siguientes métodos de crecimiento, según el tipo de población, dependiendo de sus características socio-económicas.

Los métodos de cálculo son:

$$\text{a) MÉTODO ARITMÉTICO} \quad P_f = P_a * \left(1 + \frac{i * t}{100}\right) \quad (\text{Ec. -1})$$

$$\text{b) MÉTODO GEOMETRICO} \quad P_f = P_a * \left(1 + \frac{i}{100}\right)^t \quad (\text{Ec. -2})$$

$$\text{c) MÉTODO WAPPAUS} \quad P_f = P_a * \left(\frac{200 + i * t}{200 - i * t}\right) \quad (\text{Ec. -3})$$

$$\text{d) MÉTODO EXPONENCIAL} \quad P_f = P_a * e^{\left(\frac{i * t}{100}\right)} \quad (\text{Ec. -4})$$

Dónde:

P_f = Población futura en hab.

P_a = Población actual o inicial en hab.

i = Índice de crecimiento poblacional anual en porcentaje.

t = Período de diseño.

Los métodos empleados deben ser aplicados en función del tamaño de la población, de acuerdo a lo especificado en el cuadro 3.

Cuadro 3

Aplicación de los métodos de cálculo para la estimación de la población futura

METODO	Población (habitantes)			
	Hasta 5000	De 5001 – 20 000	De 20 001 – 100 000	> a 100 000
Aritmético	x	x	---	---
Geométrico	x	x	x	x
⁶ Wappaus	x	x	x	x
Exponencial	x(2)	x(2)	x(1)	x
(1) optativo recomendable				
(2) Recomendados por el INE				

Tabla 3. Método de cálculo para estimación de población futura.

⁶ Ecuación ya no utilizada por la N.B.

El proyectista, podrá de acuerdo a las condiciones particulares de la localidad adoptar uno de los métodos recomendados o usar otro criterio, siempre y cuando lo justifique técnicamente.

3.3.2. Consumo de agua

El agua es indispensable para la existencia de todas las criaturas vivientes, incluso el hombre. El agua constituye más del 60% del peso del cuerpo humano. El cuerpo humano necesita alrededor de 2-10 litros de agua por día para poder realizar sus funciones fisiológicas correctamente, dependiendo esto del clima y de la carga de trabajo.

El cuerpo humano puede sobrevivir sin alimento unas 7 semanas sin lesión permanente en su salud, pero la ausencia de agua de bebida resulta fatal al cabo de unos pocos días. El agua también es necesaria para otras funciones tales como la higiene personal, el lavado de utensilios de cocina, lavado de ropa, limpieza de la casa, etc.

La dotación per cápita debe ser establecida mediante la dotación media diaria y la dotación futura del agua, que permita satisfacer en nuestro caso los requerimientos de consumo doméstico y público.

3.3.2.1. Dotación media diaria.

La dotación media diaria, Es el volumen equivalente de agua utilizado por una persona en un día.

El consumo total de agua por persona y por día es determinado por un gran número de factores, tales como la disponibilidad de agua, su calidad, el costo del agua, la renta y el tamaño de la familia, los hábitos culturales, el nivel de vida, las formas y medios de distribución del agua, el clima, etc.

Para casos de sistemas nuevos de agua segura, la dotación media diaria puede ser obtenida sobre la base de la población y la zona geográfica dada, según especificado en el cuadro 4.

Cuadro 4
Dotación media diaria [lit/hab/día]

ZONA	Población (habitante)					
	Hasta 500	501 - 2000	2001 - 5000	5001- 20000	20001-100000	>100000
Altiplano	30 – 50	30 – 70	50 – 80	80 – 100	100 – 150	150 – 250
Valles	50 – 70	50 – 90	70 – 110	100 – 140	150 – 200	200 – 300
Llanos	70 – 90	70 – 110	90 – 120	120 180	200 – 250	250 - 350
Nota	Justificar a través de un estudio social			Justificar a través de un estudio socio-económico		

Tabla 4. Dotación media diaria.

FUENTE NB – 512

Para el caso de ampliación, incorporación o cambio de los componentes de un sistema existente, la dotación media diaria debe ser obtenida en base a análisis y resultados de los datos de producción y consumo del sistema.

3.3.2.2.Dotación futura (D_f)

La dotación media diaria actual puede incrementarse de acuerdo a los factores que afectan el consumo y se justifica por el mayor hábito en el uso de agua por la disponibilidad de la misma.

Por lo que, se debe considerar en el proyecto una dotación futura para el periodo de diseño, la misma que debe ser utilizada para la estimación de los caudales de diseño.

La dotación futura se puede estimar con un incremento anual entre el 0.5% y 2% de la dotación media diaria, aplicando la fórmula de método geométrico.

$$D_f = D_o * \left(1 + \frac{d}{100}\right)^T \quad (\text{Ec.-5})$$

Dónde:

D_f = Dotación futura en l/hab/día

D_o = Dotación media inicial en l/hab/día

d = Variación anual de la dotación en %

T = Periodo de diseño en años

3.3.3. Caudales de diseño

Los caudales de diseño deben ser estimados para el dimensionamiento de los diferentes componentes del sistema de agua segura.

Se deben considerar los siguientes caudales.

3.3.3.1. Caudal medio diario (Q_{md})

Caudal medio Diario es el consumo durante 24 hrs. obtenido como promedio de los consumos diarios observados en un periodo de un año.

El consumo medio diario de una población, se determina con base a la población del proyecto y dotación. El consumo medio diario sirve como base del diseño hidráulico.

De acuerdo a la siguiente expresión:

$$Q_{md} = \frac{P_f * D_f}{86400} \quad (\text{Ec.} - 6)$$

Dónde:

Q_{md} = Caudal medio diario en L/s

P_f = Población futura en hab.

D_f = Dotación futura

3.3.3.2. Caudal máximo diario ($Q_{\max.d}$)

Es la demanda máxima que se presenta en un día del año: representa el día de mayor consumo del año.

Se determina multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente k_1 que varía, según las características de la población.

$$Q_{\max.d} = Q_{md} * K_1 \quad (\text{Ec. -7})$$

Dónde:

$Q_{\max.d}$ = Caudal máximo diario en l/s

Q_{md} = Caudal medio diario en l/s

K_1 = Coeficiente de caudal máximo diario

$$1.2 \leq K_1 \leq 1.5$$

$$K_1 = \frac{\text{Consumo máximo diario observado en 1 año}}{\text{Consumo medio diario observado en 1 año}} \geq 1 \quad (\text{Ec. - 8})$$

Un valor de ⁷1.5 dará seguridad a nuestro proyecto.

3.3.4. Tendencias de crecimiento de la población

El crecimiento poblacional es función de factores económicos, sociales y de desarrollo industrial. Un sistema de abastecimiento de agua debe ser capaz de propiciar y estimular ese desarrollo, no de frenarlo.

Esto nos induce a señalar que de acuerdo a las tendencias de crecimiento de la población, es conveniente elegir periodos de diseño más largos para crecimientos lentos y periodos de diseño más cortos para crecimientos violentos.

⁷ Obtenido de acuerdo a la NB-512

3.3.5. Periodo de diseño (T)

La planta de tratamiento de agua se proyecta de acuerdo a las necesidades de una comunidad durante un determinado periodo.

Por lo tanto, el periodo de diseño puede definirse como el tiempo para el cual el sistema es eficiente 100% ya sea por la capacidad de la planta de tratamiento o por la resistencia física de la planta propiamente dicha.

Otra definición que podemos dar es: El periodo de diseño es el número de años durante el cual una obra determinada prestara con eficiencia el servicio para el cual fue diseñada, dicho de otro modo ha cumplido su vida útil.

El periodo de diseño debe ser adoptado en función del componente del sistema y las características de la población, según lo indicado en el siguiente cuadro 5, dada por la Norma Boliviana.

Cuadro 5
Periodo de diseño (años)

Componente del sistema	Población menor a 20 000 habitantes	Población mayor a 20 000 habitantes
Obra de captación	10-20	30
Aducción	20	30
Pozos profundos	10	15-20
Estaciones de bombeo	20	30
Plantas de tratamiento	15-20	20-30
Tanques de almacenamiento	20	20-30
Redes de distribución	20	30

Tabla 5. Periodos de diseño.

Fuente: NB-512

El periodo de diseño podrá ser mayor o menor a los valores especificados en el cuadro 5, siempre que el proyectista lo justifique

3.4. FILTRACIÓN LENTA EN ARENA

3.4.1. Definición

La filtración lenta (FLA) es un proceso físico - químico y biológico por el cual el agua atraviesa un lecho de arena para la remoción de materia orgánica, organismos patógenos y otros microorganismos nocivos para la salud humana y de esta manera poder reducir aquellas enfermedades hídricas que son causadas por el poco tratamiento que se le da al agua para su respectivo uso.

3.4.2. Aspectos generales

La filtración lenta en arena (FLA) es el sistema de tratamiento de agua más antiguo del mundo. Se produce en la naturaleza cuando el agua de lluvia atraviesa los estratos de la corteza terrestre y forma los acuíferos o ríos subterráneos.

El filtro lento de arena es considerado como un sistema de desinfección del agua. A diferencia de la filtración rápida en arena, en la que los microorganismos se almacenan en los intersticios del filtro hasta que se vierten nuevamente en la fuente por medio del retrolavado, y el agua fluye constantemente en un proceso continuo de tratamiento, también difiere de la filtración rápida en su naturaleza biológica, su alta eficiencia y su facilidad de operación y mantenimiento para pequeñas comunidades.

Un FLA consiste en un conjunto de procesos físicos y biológicos que destruye los microorganismos patógenos del agua. Constituye una tecnología limpia que purifica el agua sin crear una fuente adicional de contaminación para el ambiente.

La filtración lenta es uno de los procesos de tratamiento de agua más antiguos, efectivos, simples y económicos. Su diseño sencillo facilita el uso de materiales y mano de obra locales, requiere poco o ningún equipo especial.

Debido al movimiento lento del agua y al alto tiempo de retención, este proceso se asemeja a la percolación del agua a través del subsuelo.

3.4.3. Componentes principales del “FLA”

Un Filtro Lento en Arena FLA, consta de los siguientes elementos:

- Caja de filtración.
- Capa de agua sobrenadante.
- Lecho filtrante de arena.
- Capa de soporte.
- Sistema de drenaje.
- Estructura de entrada y cámara de salida.
- Conjunto de dispositivos para regulación, y rebose control del filtro.

La **figura 2** detalla los componentes básicos del filtro lento.

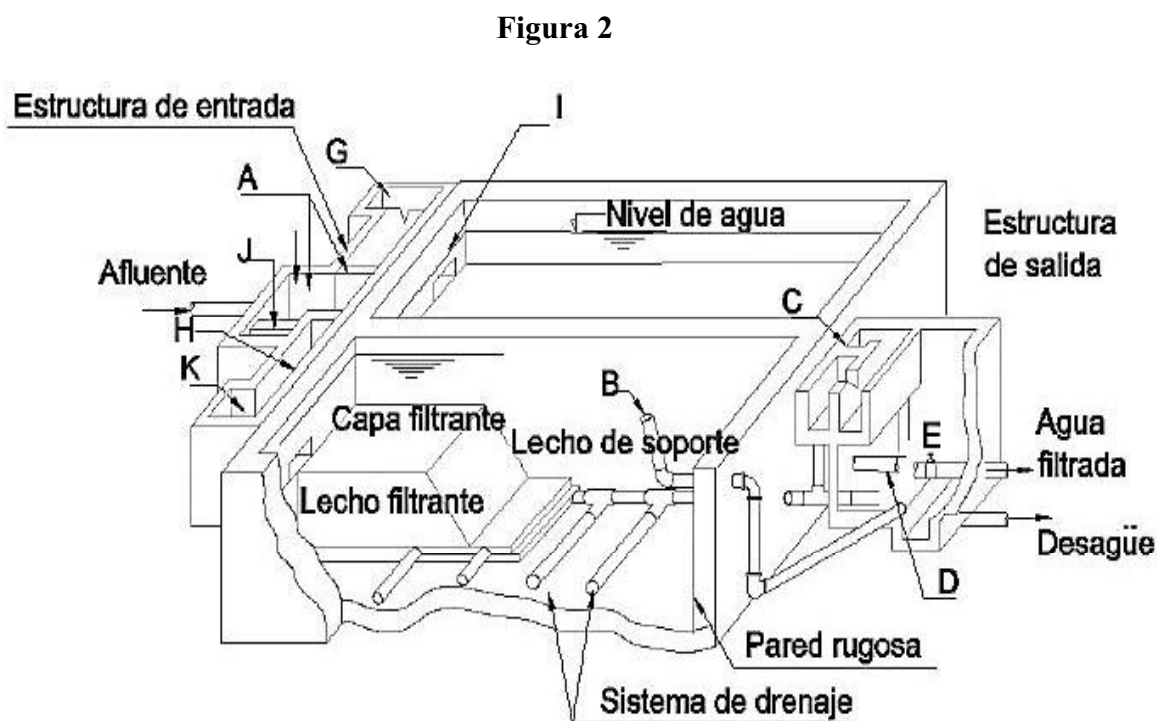


Ilustración 2 detalle de los componentes del FLA

Componentes básicos del FLA

- A.** Dispositivos para controlar la entrada de agua pre tratada y regular la velocidad de filtración.
- B.** Dispositivo para el drenar la capa de agua sobrenadante.
- C.** Conexión para drenar el lecho filtrante con agua limpia producida por otras unidades de filtración (FLA)
- D.** Válvula para drenar lecho filtrante.
- E.** Válvula para desechar agua tratada.
- F.** Válvula para suministrar agua tratada al tanque de contacto y posteriormente al depósito de agua limpia.
- G.** Vertedero de entrada.
- H.** Indicador calibrado de flujo.
- I.** Vertedero de salida.
- J.** Válvula para control de flujo a la salida.
- K.** Cámara de entrada al FLA.
- L.** Ventana de acceso al FLA.

3.4.3.1.Descripción

3.4.3.1.1. Caja de filtro

Deberán ser por lo menos dos y estarán compuestas por

- El borde libre.
- Una capa de agua.
- Una capa de arena.
- Una capa de grava graduada.
- Un sistema de drenaje (constituido por tubos PVC)

La altura total del FLA depende de los espesores de cada uno de los compuestos ya mencionados líneas arriba.

3.4.3.1.2. Forma de los filtros

Los filtros pueden ser circulares, rectangulares y cuadrados.

Los filtros circulares presentan ventajas estructurales obvias (esfuerzos únicos de compresión o de tracción y ausencia de momentos de flexión) que reduce el uso económico de los materiales. Al incrementarse las unidades sus desventajas tienden a neutralizar las ventajas (no es posible su construcción en serie, no hay un acceso fácil a las tuberías y a los filtros). Para el caso de filtros circulares se escoge como máximo dos unidades, con un diámetro máximo de 10 m y V_F de 0.1 m/h. Dichos filtros pueden ser ventajosos para instalaciones hasta 20 m³/h. El volumen total es menor.

Los filtros rectangulares alineados a lo largo de una tubería común dan resultados óptimos cuando se trata de instalaciones más amplias (3 o más filtros). El acceso a las tuberías y los reguladores del filtro es fácil, la instalación está bien organizada y las ampliaciones futuras pueden ejecutarse sin problemas. Desde un punto de vista estructural, las plantas rectangulares tienen la ventaja de que todos los lados mayores tienen cargas simétricas, a excepción de los ubicados en los extremos, mientras que la mayor parte de las cargas actúan sobre los muros cortos y los muros soportantes. El volumen total es mayor.

Los filtros de sección cuadrada tienen menor longitud total de muros que los rectangulares para un área dada de lecho filtrante, pero son menos favorables respecto del diseño estructural. Una planta cuadrada presenta desventajas en lo que respecta a futuras ampliaciones (puede considerarse 4 filtros como máximo). Si los filtros se construyen en una excavación, la planta cuadrada tiene ventaja de un menor movimiento de tierras.

En la siguiente figura se indica secciones de filtros lentos de arena.

Figura 3

Esquema de filtros lentos

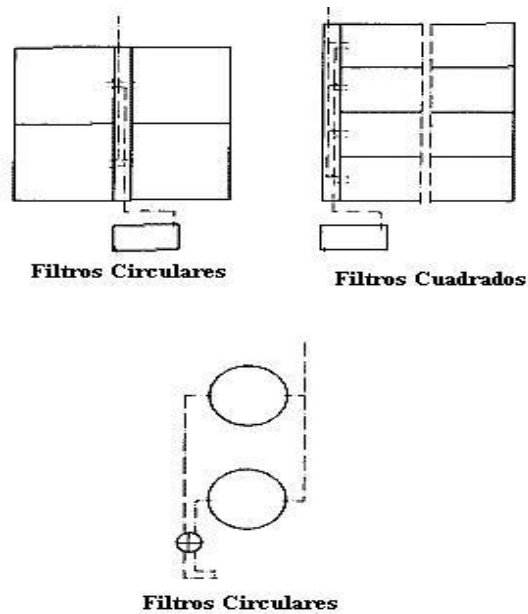


Ilustración 3 Esquemas de filtros lentos

3.4.3.2. Capa de agua sobrenadante

La capa de agua sobrenadante sirve para dos propósitos:

- a) Proporcionar una carga de agua suficiente para hacer que el agua cruda pase a través del lecho del medio filtrante.
- b) Retener varias horas el agua a ser tratada, periodo durante el cual las partículas pueden asentarse y/o aglomerarse o ser sometidos a cualquier otro proceso físico o bio químico.

El reservorio de agua sobrenadante no debe considerarse como un estanque de sedimentación. Si el agua tiene un alto contenido de materia en suspensión, se debe instalar una unidad de pre tratamiento para prevenir la obstrucción del FLA.

3.4.3.3. Lecho filtrante de arena

El medio filtrante está compuesto de material granular, específicamente por una capa de arena, por donde el flujo del agua tiene que atravesarla y a la vez se realiza procesos físico-biológicos.

Es un componente muy importante del FLA, porque en la parte superior del lecho filtrante se forma una delgada capa biológica, donde son eliminados gran cantidad de microorganismos.

La granulometría es un factor importante en el rendimiento del filtro, ya que el tamaño de los granos se determina en base al diámetro efectivo d_{10} y su distribución granulométrica, por el coeficiente de uniformidad C_U

Se debe emplear arena relativamente fina (inerte y durable), que debe estar exento de arcilla, tierra o materia orgánica. Normalmente se prefiere arena lavada.

3.4.3.3.1. Clasificación de las arenas

Algunas clasificaciones granulométricas de los suelos según sus tamaños, son los siguientes:

a) Clasificación internacional

Basada en obra desarrollada en Suecia. (Tamaño en mm)

Cuadro 6
Clasificación internacional de las arenas

Arena gruesa	Arena fina	Limo	Arcilla	Ultra Arcilla (coloide)
2.0	0.2	0.02	0.002	0.0002

Tabla 6. Clasificación Internacional de las arenas.

b) Clasificación M.I.T.

Fue propuesta por G. Gilboy y adaptada por el Massachusetts Institute of Technology. (Tamaño en mm)

Cuadro 7
Clasificación M.I.T

ARENA			LIMO			ARCILLA		
Gruesa	Media	Fina	Grueso	Media	Fino	Gruesa	Media	Fina (coloide)
2.0	0.6	0.2	0.06	0.02	0.006	0.002	0.0006	0.0002

Tabla 7. Clasificación M.I.T.

- c) La siguiente clasificación, utilizada a partir de 1936 en Alemania, está basada en una proposición original de Kopecky.

Cuadro 8
Clasificación de Kopecky

MATERIAL	CARACTERISTICA	TAMAÑO (mm)
Piedra		Mayor de 70
Grava	Gruesa	30 a 70
	Media	5 a 30
	Fina	2 a 5
Arena	Gruesa	1 a 2
	Media	0.2 a 1
	Fina	0.1 a 0.2
Polvo	Grueso	0.05 a 0.1
	Fino	0.02 a 0.05
Limo	Grueso	0.006 a 0.02
	Fino	0.002 a 0.006
Arcilla	Gruesa	0.0006 a 0.002
	Fina	0.0002 a 0.0006
Ultra - Arcilla		0.00002 a 0.0002

Tabla 8. Clasificación de Kopecky.

3.4.3.4.Capa de soporte

Su función principal es dar soporte al material filtrante e impedir su arrastre de materia fina (arena) hacia el sistema de drenaje, esto lo realiza a través del lecho de grava.

Con el fin de evitar pérdidas de medio filtrante se coloca el material de soporte, que está compuesto por tres capas de grava de tamaño creciente, entre el medio filtrante y el sistema de drenaje propiamente dicho. La grava impide que el material granular del filtro sea acarreado hacia el sistema de drenaje.

3.4.3.5.Sistema de drenaje

El sistema de drenaje cumple dos funciones:

- La recolección uniforme del agua tratada o filtrada en toda el área del filtro.
- Permite el llenado ascendente de los FLA y la distribución uniforme del agua tratada.

El sistema de drenaje consta de un dren principal y sus conductos laterales que podrán ser: tuberías corrugadas (perforadas o separadas) Este sistema de drenes está cubierto por capas de grava (capa de soporte).

3.4.3.6.Estructura de entrada

Las funciones de la estructura de entrada pueden ser:

- Asegurar una distribución pareja del agua cruda sobre el área del lecho filtrante. Este generalmente se consigue si la velocidad de ingreso del agua entrante es baja, digamos del orden de 0.1 m/s.
- Reducir la energía del agua entrante con el fin de prevenir turbulencias en la capa de agua sobrenadante y daños al Schmutzdecke. Esta función también requiere una velocidad baja de ingreso.

- Proporcionar un medio de graduar la altura del agua sobrenadante. Esto puede realizarse, ya sea por medio de una válvula de compuerta a mano o mediante un vertedero de rebose.
- Proporcionar un medio de cerrar el flujo de agua cruda. Esto se hace generalmente por medio de una válvula de compuerta accionada a mano.

En conclusión la estructura de entrada, debe permitir el control del caudal afluente, disipar energía, distribuir flujo y verter excesos a través de los accesorios respectivos de válvulas y compuertas de mano para parar el funcionamiento de la unidad que precise mantenimiento.

3.4.3.7. Estructura de salida

Las funciones de la estructura de salida pueden ser:

- Asegurar que se elimine la posibilidad de presiones negativas en el lecho filtrante. A este fin, se emplea usualmente en la línea del efluente un simple vertedero de rebose cuya cresta queda ligeramente por encima del lecho de arena. Otra posibilidad sería un tubo de salida vertical, cuya entrada queda justo por encima del nivel superior del lecho de arena.
- Proporcionar un medio de medir el flujo a través del lecho filtrante. Esto se lo realiza a través de un vertedero de aforo, con un indicador calibrado de flujo.
- Proporcionar un medio de cerrar el filtro y drenarlo.

En resumen, la cámara de salida se debe proyectar un vertedero que permita aforar el efluente y mantener el nivel de agua por encima del nivel máximo de arena, para evitar formación de presiones negativas en el lecho de arena.

Figura 4
Estructura de salida de un FLA

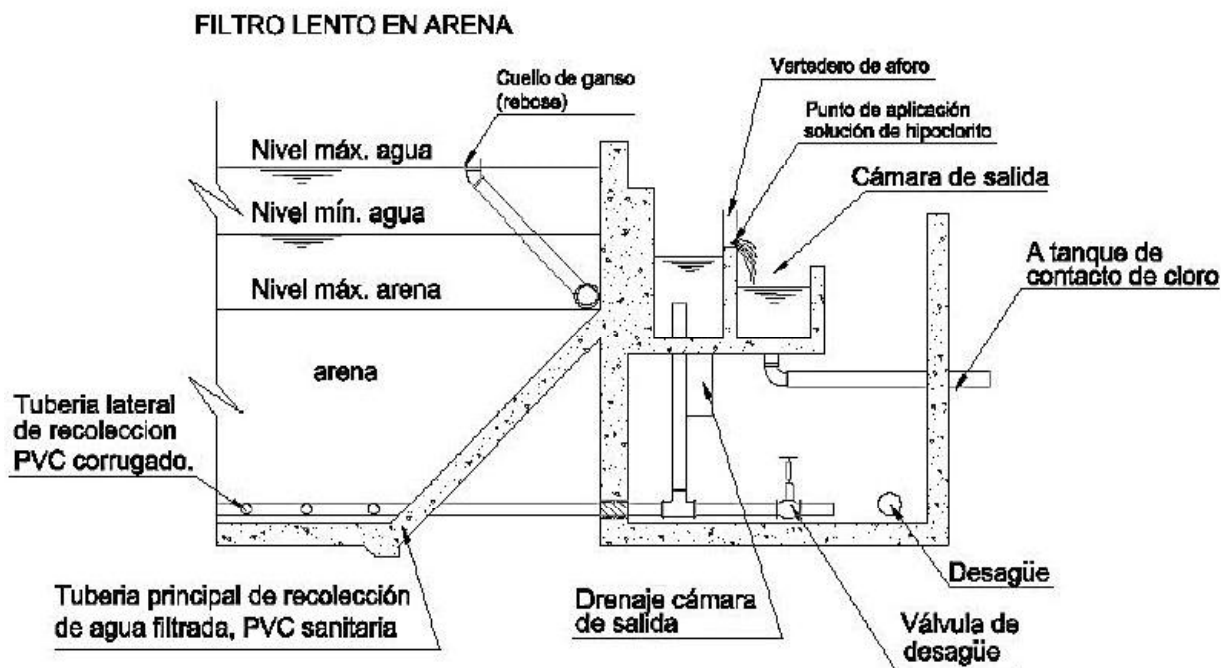


Ilustración 4. Estructura de Salida del FLA

3.4.3.8. Conjunto de dispositivos de regulación y control del filtro

El dispositivo de control del filtro determina el flujo y la carga de agua a través de la planta.

Se menciona a continuación las operaciones más importantes a ser reguladas y controladas por medio de válvulas, vertederos y otros dispositivos:

- Entrada de agua cruda al reservorio de agua sobrenadante hasta un nivel constante dentro del tanque del filtro. **(A en la figura 5)**
- Eliminación del exceso de agua y de la nata por medio de un vertedero de derrame o rebose. **(B en la figura 5)**
- Drenaje del agua sobrenadante antes de efectuar la limpieza del filtro **(C en la figura 5)**

- Drenaje del agua tratada en la capa superior del lecho filtrante. **(D en la figura 5)**
- Medida del caudal del agua efluente por medio de un dispositivo calibrado de medición de caudal. **(E en la figura 5)**
- Regulación en la tasa de filtración. **(F en la figura 5)**
- Ingreso del agua limpia para llenar en forma ascendente el lecho filtrante después de efectuar la limpieza del filtro. **(G en la figura 5)**
- Dispositivo de prevención de presiones negativas en el lecho filtrante. **(H en la figura 5)**
- Descarga del agua tratada al tanque de almacenamiento de agua tratada. **(I en la figura 5)**

Figura 5

Dispositivos de regulación y control del FLA

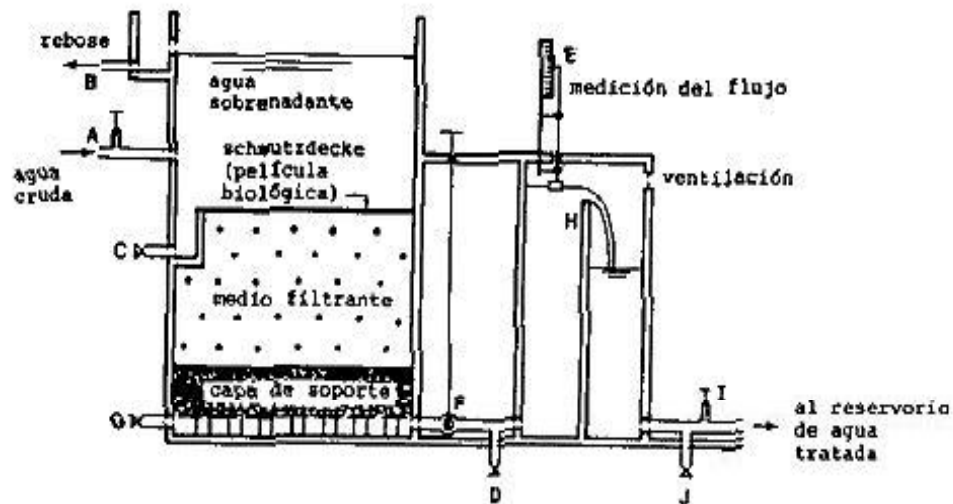


Ilustración 5 Dispositivos de regulación y control del FLA

El dispositivo de cierre más sencillo para una tubería es la válvula de compuerta. Ver (figura 6), mientras que para conductos abiertos puede usarse compuertas de vertedero. Ver (figura 7).

Figura 6

Compuerta de vertedero

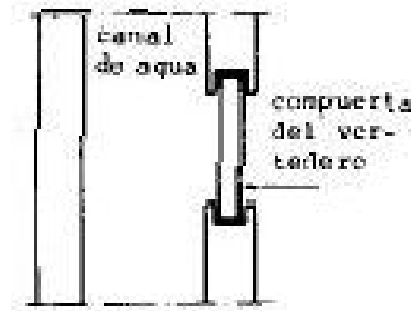


Ilustración 6 Compuerta de vertedero

Figura 7

Válvula de compuerta

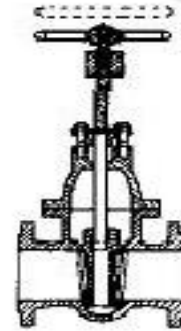


Ilustración 7 Válvula de compuerta

3.4.4. Descripción del proceso de purificación

La filtración lenta en arena es el sistema de tratamiento de agua más antiguo utilizado por la humanidad. Es muy sencillo y efectivo porque copia exactamente el proceso de purificación que se da en la naturaleza, al atravesar el agua de lluvia a los estratos de la corteza terrestre hasta encontrar los acuíferos o ríos subterráneos.

La filtración lenta en arena como se ha mencionado, es un proceso que se desarrolla en forma natural. Son unidades de baja velocidad de filtración que no requieren la aplicación de sustancias químicas y permiten reducir virus, bacterias dañinas para la salud pública. A su vez reduce materia fina orgánica e inorgánica, la cual es retenida en el lecho de arena. Los compuestos orgánicos disueltos son más o menos degradados.

El proceso de desinfección del agua consiste en:

La circulación del agua (a baja velocidad) a través de un manto poroso de arena. Durante este proceso, las impurezas entran en contacto con la superficie de las partículas del medio filtrante y son retenidas, desarrollándose adicionalmente procesos de degradación química y biológica, que reducen la materia retenida a formas más simples, las cuales permanecen como material inerte hasta un sub siguiente retiro o limpieza.

El agua que ingresa a la unidad permanece sobre el medio filtrante de 3 a 12 horas, dependiendo de las velocidades de filtración adoptadas. En ese tiempo las partículas más pesadas que se encuentran en suspensión se sedimentan y las partículas más ligeras se pueden aglutinar, lo que facilita su remoción posterior.

Por la acción de la luz solar se produce el crecimiento de algas, las cuales absorben dióxido de carbono, nitratos, fosfatos y otros nutrientes del agua para producir oxígeno y material celular. El oxígeno así formado se disuelve en el agua, entra en reacción química con las impurezas orgánicas y hace que éstas sean más asimilables por los microorganismos.

En la superficie del medio filtrante (lecho) ya maduro se forma una capa fina constituida por material de origen orgánico, conocida con el nombre de “Schmutzdecke” o “piel de filtro”, a través de la cual tiene que pasar el agua antes de llegar al propio medio filtrante.

El Schmutzdecke o capa biológica está formado principalmente por algas y otros microorganismos vivos como plancton, diatomeas y bacterias. La acción intensiva de estos microorganismos atrapa, digiere y degrada la materia orgánica contenida en el agua, mientras gran parte de la materia inorgánica en suspensión queda retenida al “colarse” el agua. Las algas muertas, así como las bacterias vivas del agua cruda son también consumidas en este proceso. También se remueve algo de color.

Una vez que el agua pasa a través del “Schmutzdecke”, entra al lecho filtrante y es forzada a atravesarlo en un proceso que normalmente toma varias horas y en el que se desarrollan diversos procesos (mecanismos) físicos y biológicos que constituyen el proceso final de purificación.

Durante el proceso de purificación, la calidad del agua mejora considerablemente reduciendo el número de microorganismos patógenos (bacterias, virus y parásitos), eliminando la materia en suspensión, materia coloidal y cambios en la composición química.

Un FLA requiere un buen diseño, así como una apropiada operación y cuidadoso mantenimiento para no afectar el mecanismo biológico del filtro ni reducir la eficiencia de remoción microbiológica.

3.4.5. Mecanismos de la desinfección mediante filtración lenta

En el proceso de filtración lenta actúan varios fenómenos o mecanismos físicos similares a los de la filtración rápida previos al mecanismo biológico que desinfecta el agua. Estos mecanismos son muy importantes, dado que permiten la concentración y adherencia de las partículas orgánicas al lecho biológico para su biodegradación.

A continuación se describe brevemente la función de cada uno de los mecanismos físicos o de remoción que se producen en la filtración lenta, así como el mecanismo biológico responsable de la desinfección.

3.4.5.1. Mecanismos de transporte

Esta etapa de remoción básicamente hidráulica ilustra los mecanismos mediante los cuales ocurre la colisión entre las partículas y los granos de arena. Estos mecanismos son: cernido, intercepción, sedimentación, difusión y flujo intersticial.

a) Cernido En este mecanismo, las partículas de mayor tamaño que los intersticios del material filtrante son atrapadas y retenidas en la superficie del medio filtrante.

b) Intercepción: Mediante este mecanismo las partículas pueden colisionar con los granos de arena. Cuando más grande es la partícula, será más factible que ocurra la intercepción

c) Sedimentación: Este mecanismo permite que las partículas sean atraídas por la fuerza de gravedad hacia los granos de arena, lo que provoca su colisión. Este fenómeno se incrementa apreciablemente por la acción de fuerzas electrostáticas y de atracción de masas.

d) Difusión: Se produce cuando la trayectoria de la partícula es modificada por micro variaciones de energía térmica en el agua y los gases disueltos en ella, lo cual puede provocar su colisión con un grano de arena.

e) Flujo intersticial: Las líneas de flujo mostradas en la figura 8 han sido idealizadas para un solo grano de arena. Este mecanismo se refiere a las colisiones entre partículas debido a la unión y bifurcación de líneas de flujo que devienen de la tortuosidad de los intersticios del medio filtrante. Este cambio continuo de dirección del flujo crea mayor oportunidad de colisión.

Figura 8

Líneas de flujo de mecanismos de transporte

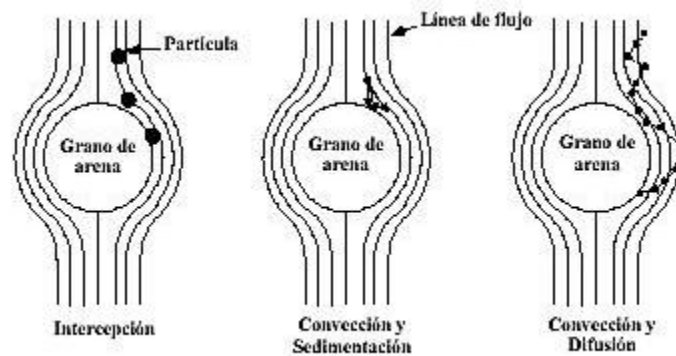


Ilustración 8. Líneas de flujo de mecanismos de transporte

3.4.5.2.Mecanismo de adherencia

Mientras no se produce la adherencia, no hay remoción. Este mecanismo es el que permite remover las partículas que mediante los mecanismos arriba descritos, han colisionado con los granos de arena del medio filtrante. La propiedad adherente de los granos de arena es proporcionada por la acción de fuerzas eléctricas y atracción de masas, así como la película biológica que crece sobre ellos y en la que se produce la depredación de los microorganismos patógenos por organismos de mayor tamaño tales como los protozoarios y rotíferas.

En una porción de lecho filtrante con muchos granos de arena, las líneas de flujo tienen una configuración más tortuosa, como se indica en la figura 9

Figura 9

Líneas de flujo en el interior del lecho filtrante

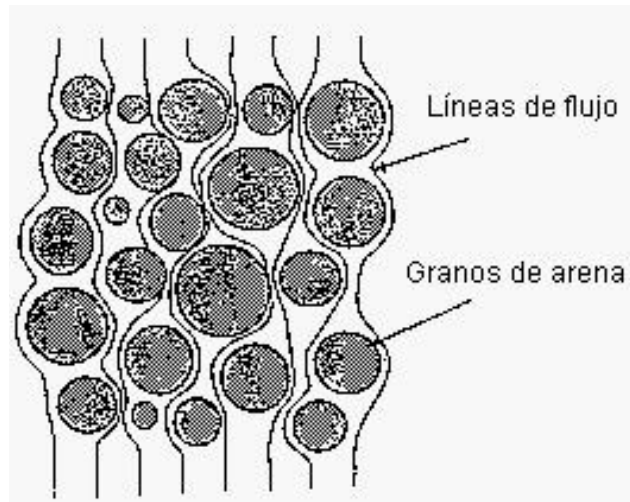


Ilustración 9 Líneas de flujo en el interior del lecho filtrante

3.4.5.3.Mecanismo biológico

Los microorganismos que crecen en lecho son los agentes purificadores.

Como se indicó anteriormente, la remoción total de partículas en este proceso se debe al efecto conjunto del mecanismo de adherencia y el mecanismo biológico.

Es necesario que para que el filtro opere como un verdadero “sistema de desinfección” se haya producido un schmutzdecke vigoroso y en cantidad suficiente. Solo cuando se ha llegado a ese punto, el FLA podrá operar correctamente. Entonces se dice que el filtro (o el manto) “está maduro”.

Al iniciarse el proceso, las bacterias depredadoras o benéficas transportadas por el agua utilizan como fuente de alimentación el depósito de materia orgánica y pueden multiplicarse en forma selectiva, lo que contribuye a la formación de la película

biológica del filtro. Estas bacterias oxidan la materia orgánica para obtener la energía que necesitan para su metabolismo (desasimilación) y convierten parte de ésta en material necesario para su crecimiento (asimilación).

Así, las sustancias y materia orgánica muerta se convierten en materia viva. Los productos de la desasimilación son llevados por el agua a profundidades mayores y son utilizados por otros organismos.

El contenido bacteriológico está limitado por el contenido de materia orgánica en el agua cruda y es acompañado de un fenómeno de mortalidad concomitante, durante el cual se libera materia orgánica para ser utilizada por las bacterias de las capas más profundas y así sucesivamente. De este modo, la materia orgánica degradable presente en el agua cruda se descompone gradualmente en agua, dióxido de carbono y sales relativamente inofensivas, como sulfatos, nitratos y fosfatos (proceso de mineralización), los cuales son descargados en el efluente de los filtros.

La actividad bacteriológica descrita es más pronunciada en la parte superior del lecho filtrante y decrece gradualmente con la profundidad y la disponibilidad de alimento.

Cuando se limpian las capas superiores del filtro se remueven las bacterias, siendo necesario un nuevo período de maduración del filtro hasta que se logre desarrollar la actividad bacteriológica necesaria. A partir de 0,30 a 0,50 m de profundidad, la actividad bacteriológica disminuye o se anula (dependiendo de la velocidad de filtración); en cambio, se producen reacciones bioquímicas que convierten a los productos de degradación microbiológica (como aminoácidos) en amoníaco y a los nitritos en nitratos (nitrificación).

Como el rendimiento del filtro lento depende principalmente del proceso biológico, mientras la capa biológica está desarrollándose, la eficiencia es baja y no debe considerarse al FLA como un eliminador de materia orgánica, sino como un mejorador de la calidad del agua, sobretodo de la turbiedad.

La maduración de un FLA puede demorar de dos a cuatro semanas.

3.4.6. Rendimiento de los filtros lentos de arena

El efecto de los procesos de purificación sobre la calidad del agua depende de muchos factores, tales como la calidad del agua cruda, la velocidad de filtración, el tamaño de los granos del medio filtrante, la temperatura y el contenido de oxígeno del agua. En condiciones normales de funcionamiento, el rendimiento promedio de filtros lentos de arena, en lo que se refiere a la eliminación de ciertas impurezas, se resume en el siguiente cuadro.

Cuadro 9

Rendimiento de los filtros lentos de arena

Parámetro	Efecto Purificador
Materia orgánica	Los filtros lentos de arena producen un efluente claro, virtualmente libre de materia orgánica. (50 hasta más del 99%)
Bacterias	Puede eliminarse entre el 99% y el 99.99% de bacterias patógenas; las cercarías de esquistosoma, los quistes y huevos son eliminados aun en mayor grado.
Virus	<u>E. Coli</u> se reduce entre 99% y el 99.99 % en un filtro lento de arena ya maduro los virus se eliminan en forma virtualmente total.
Color	El color se reduce en forma significativa.
Turbiedad	Puede tolerarse en el agua cruda turbiedades de 100-200 UN sólo por unos pocos días; turbiedades de más de 50 UN son aceptables sólo por unas pocas semanas; de preferencia, la turbiedad del agua cruda debe ser menor de 10 UN; para un filtro diseñado y operado con propiedad, la turbiedad del efluente será menor de 1 UN.

Tabla 9 Rendimiento de los filtros lentos

Las algas pueden aportar una acción positiva al rendimiento de los filtros lentos de arena. Son capaces de fabricar material celular a partir de simples minerales como agua, anhídrido carbónico, nitratos y fosfatos, produciendo oxígeno, el que a su vez es beneficioso para otros procesos bioquímicos. Las algas también pueden consumir materia orgánica y convertirla en más material celular biodegradable, su presencia puede mejorar la calidad del Schmutzdecke.

Por otro lado, un contenido muy alto de algas en el agua sobrenadante puede destruir el adecuado funcionamiento del filtro debido a obstrucciones o a la aparición de condiciones anaeróbicas cuando mueren grandes cantidades de algas. La extracción periódica o regular de algas o el cubrir los filtros pueden ser buenos métodos para solucionar estos problemas.

Ciertos tipos de algas tienen un efecto perjudicial sobre el rendimiento del filtro, reduciendo por ejemplo, el período de su carrera pese a que el filtro haya sido diseñado usando criterios adecuados. Si se desarrollan tales algas podrá ser necesario cubrir los filtros.

Otra consecuencia del desarrollo de algas es que se produce una variación diaria en el consumo de oxígeno y por lo tanto en el contenido de oxígeno del efluente.

Esto se explica por el hecho de que durante el día las algas producen más oxígeno del que consumen pero que durante la noche ocurre lo contrario.

Por lo tanto, el contenido de oxígeno alcanzará su valor mínimo mientras que su valor máximo ocurrirá al final de la tarde.

3.4.7. Aplicabilidad del FLA

La filtración lenta en arena es un método eficiente para la eliminación de materia orgánica y de organismos patógenos.

Es por lo tanto un método de tratamiento particularmente apropiado para aguas superficiales que contienen cantidades indeseables de esas impurezas.

La turbiedad de algunas aguas superficiales, puede no obstante limitar el rendimiento de los filtros lentos de arena.

3.4.8. Ventajas de la filtración lenta en arena

En comparación con varios otros métodos de tratamiento diseñados para la remoción de materia orgánica, de organismos patógenos, de turbiedad y de color, la filtración lenta en arena tiene muchas ventajas. Es la única operación unitaria conocida que consigue tan alto grado de mejora simultánea en la calidad física, química y bacteriológica del agua cruda.

En los países en desarrollo existe un número de ventajas especiales, tales como:

- a) La mayor ventaja de esta unidad reside en su simplicidad de diseño, construcción y operación que permite la aplicación de materiales y capacidades localmente disponibles, con supervisión técnica limitada; sólo se requieren tuberías y dispositivos comunes y no se necesita de equipo o instrumentación especial.
- b) Si se dispone de suficiente material para el lecho filtrante, el costo de la construcción es relativamente bajo.
- c) Casi no existe la necesidad de importar materiales y equipo, fuera de una posible desinfección o cloración del efluente para seguridad, no se necesitan compuestos químicos (si se está usando para aguas altamente turbias técnicas de pre tratamiento, tales como filtro grueso dinámico).
- d) La operación y mantenimiento pueden ser llevados a cabo por mano de obra poco especializada, un filtro lento de arena no requiere lavado por flujo ascendente (en comparación con un filtro rápido de arena)
- e) Puede necesitarse de energía sólo para bombear agua cruda al "reservorio" de agua sobrenadante; el proceso de filtración es llevado a cabo por gravedad no hay otras partes mecánicas que precisen de energía para funcionar.

- f) Pueden aceptarse, siempre que la turbiedad no se torne excesiva por un largo periodo.
- g) No se requiere agua de lavado para la limpieza del filtro, por lo tanto se ahorra cierta cantidad de agua en comparación con otros sistemas de filtración.
- h) No hay cambios organolépticos en la calidad del agua.
- i) Las comunidades aceptan el agua tratada por un FLA.

3.4.9. Factores que modifican la eficiencia del filtro lento de arena

Las principales interferencias del filtro lento son:

- a) El filtro lento sin pre tratamiento, no debe operar con aguas con turbiedad mayor de 20 ó 30 UNT, esporádicamente se pueden aceptar picos de 50 a 100 UNT.
- b) La interferencia de la operación, es cuando se trabaja durante ciertos periodos al día o a la semana y no continuamente, se daña la capa biológica y se reduce la eficiencia a valores inaceptables. El FLA debe trabajar permanentemente.
- c) El empleo de altas velocidades de filtración puede producir acortamientos de la carrera del filtro.
- d) Condiciones del agua cruda Las condiciones del agua cruda que más afectan la eficiencia del filtro son:
 - **Temperatura:** Dado que en el filtro se desarrolla un proceso biológico, se ve afectado por las variaciones de temperatura y puede reducir la eficiencia de remoción de bacterias coliformes fecales a 50% de su eficiencia cuando se opera a menos de 5° C.
 - **Concentración de nutrientes:** La velocidad de desarrollo de la formación biológica en el filtro depende de la concentración de nutrientes en el agua, debido a que ésta es la fuente de alimentación de los microorganismos. Un

agua con alto contenido de nutrientes indica que la formación de la capa biológica se acelera tremendamente. En regiones en las que se tiene bajas temperaturas también se tiene bajas concentraciones de nutrientes en el agua, esto implica la demora de maduración de la capa biológica y alcanzar su máxima eficiencia de remoción bacteriológica.

- **Concentración de algas:** Las algas son parte constituyente del schmutzdecke y en concentraciones adecuadas su efecto es beneficioso para el funcionamiento del filtro. Las algas mantiene el equilibrio biológico produciendo oxígeno que requieren los predadores para su desarrollo. Pero su crecimiento excesivo debido a la elevada disponibilidad de luz y nutrientes, como presencia de fosfatos y nitratos en el agua, puede crear serios problemas de operación y en la calidad de agua tratada. El control de la formación de algas es difícil, pero puede solucionarse mediante el control de nutrientes en la fuente y techando los filtros, habiéndose encontrado que la falta de luz no afecta mayormente en el proceso y la reducción de las algas permite operar con velocidades más altas.
- **Concentraciones altas de turbiedad:** La capacidad de los filtros lentos para reducir la turbiedad cuando ésta es muy elevada es limitada. El agua cruda no debe sobrepasar de 20-30 UNT por periodos prolongados, pudiendo aceptarse picos de 50-100 UNT por pocas horas. A eso se debe a que una alta turbiedad causa enlodamiento en la superficie del filtro, disminuye la capacidad de formación de la capa biológica y reduce drásticamente la duración de la carrera de filtración, lo cual además de afectar la calidad del agua producida, incrementa los costos de operación y mantenimiento.

Estos factores pueden clasificarse como de diseño, operación y condiciones del agua.

Del comportamiento de estos dependerá la eficiencia del proceso (ver cuadro 10)

Cuadro 10

Variables del proceso que afectan la eficiencia de la filtración lenta en arena

Clasificación	Variables
Condiciones de diseño	- Tasa de velocidad - Tamaño de la arena d_{10} y C.U. - Pérdida de carga permitida - Profundidad del lecho de arena (máxima y mínima)
Parámetros de operación	- Frecuencia de raspados - Tiempo en que el filtro está fuera de operación - después del raspado - Mínima altura de lecho permitida - Tiempo de maduración del filtro - Variaciones de flujo - Edad y tipo del schmutzdecke - Distancia entre la capa de hielo y el lecho de arena (en climas muy fríos)
Condiciones del agua cruda	- Temperatura del agua - Calidad del agua cruda - Clase de microorganismos presentes - Concentración de microorganismos - Tipo y concentración de algas - Magnitud y tipo de turbiedad - Concentración y tipo de compuestos orgánicos - Concentración y tipo de nutrientes

Tabla 10. Variables que afectan la eficiencia de un filtro lento.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.10. Operación y mantenimiento de filtros lentos de arena

Cuando una unidad de filtración lenta en arena ha sido bien diseñada y construida, sólo se requiere de una sencilla rutina de operación y mantenimiento. A excepción de algunos análisis físicos, químicos y bacteriológicas de muestras del agua efluente. Todas las actividades de operación y mantenimiento pueden ser desarrolladas por mano de obra local.

Las tareas rutinarias de operación comprenden los siguientes puntos:

- a)** Ajustes y medición del caudal.
- b)** Monitoreo de la calidad del agua producida.
- c)** Limpieza de la superficie de la arena, que se efectúa por “rascado” de la porción superior del filtro (aproximadamente 5 cm. de arena)
- d)** Lavado y almacenamiento de la arena y la posterior reconstrucción del lecho filtrante.

Este periodo entre limpiezas, llamado “carrera”, es variable. A veces puede ser necesario realizarla cada tres o cuatro semanas y en otras circunstancias, pasados muchos meses.

3.4.10.1. Ajustes y medición del caudal

➤ Puesta en servicio un filtro

La adecuada operación y mantenimiento determinan la eficiencia del filtro, principalmente en la etapa de puesta en marcha o inicio de la operación del filtro nuevo. Durante la operación normal, es importante el estado de maduración de la capa biológica, la frecuencia de los raspados, el período de duración de cada operación de limpieza y la forma en que se efectúe el re arenado del filtro.

Con relación a la puesta en marcha, es necesario tener presente que la arena nueva no reduce la contaminación bacteriológica y que es necesario desechar el efluente inicial hasta comprobar que se está obteniendo un grado de eficiencia aceptable. Sin embargo, este proceso puede acelerarse sembrando el filtro con arena madura proveniente de otros filtros en operación.

Cuando concluye la construcción del filtro, el lecho filtrante se llena con agua limpia desde el fondo para expulsar las burbujas de aire presentes en los intersticios de la arena.

Cuando el agua sobrenadante ha alcanzado el nivel de diseño, se abre la válvula de descarga D (véase figura 5) y se hace correr el efluente al desagüe, o a otro filtro del efluente, a una velocidad (controlada con la válvula reguladora del filtro F) de aproximadamente un cuarto de la tasa de filtración normal.

Ahora el filtro debe hacerse funcionar por unas cuantas semanas para permitir la formación del Schmutzdecke y de las capas adherentes que rodean los granos del lecho filtrante o sea el llamado "proceso de maduración". Durante este proceso, la velocidad de filtración es gradualmente incrementada hasta que alcanza la velocidad de filtración de diseño.

Después que los análisis comparativos físico, químico y bacteriológicos del agua cruda y del agua filtrada han demostrado que el filtro está trabajando correctamente, la válvula de drenaje D puede cerrarse y el efluente ser dirigido al tanque de agua filtrada abriéndose la válvula I (véase figura 5).

➤ **Operación de la válvula reguladora de la tasa de filtración (F)**

Después del debido proceso de maduración, el filtro operará exitosamente por varias semanas con la válvula reguladora casi totalmente cerrada.

Luego, conforme empieza el Schmutzdecke a “colmatarse”, se va abriendo gradualmente la válvula, un poco cada día, para compensar la pérdida de carga en el Schmutzdecke y para mantener la tasa de flujo con un valor constante.

La tasa de flujo se puede medir con un medidor llamado Venturímetro, colocado inmediatamente por encima de la válvula reguladora o, por un dispositivo indicador flotante en la sección aguas arriba de la cámara del vertedero.

➤ **Regulación del nivel de agua sobrenadante**

Bajo condiciones normales de maduración, y en la medida de lo posible, el nivel del agua sobrenadante debe ser mantenido constante. Esto puede hacerse mediante una válvula de compuerta o un vertedero de rebose, que retorna el exceso de agua a la fuente de agua cruda, de preferencia, se adopta una combinación de la válvula y el vertedero de rebose.

➤ **Regulación del nivel del vertedero del efluente (H)**

La cota de la cresta del vertedero del efluente H debe estar ligeramente más alta que la superficie del lecho filtrante para evitar que se creen presiones negativas en el lecho filtrante.

Si el vertedero del efluente está compuesto por una estructura rígida, se debe prestar especial atención durante el rearenamiento del filtro con el fin de que la cota del nivel superior del lecho filtrante no sobrepase la cota de la cresta de este vertedero.

3.4.10.2. Monitoreo de la calidad del agua producida.

Cuando los sistemas están bien diseñados, operados y mantenidos, el efluente de las plantas de filtración lenta requiere de dosis muy baja de cloro como última barrera; prácticamente sólo para asegurar que el agua conserve su calidad bacteriológica hasta ser consumida. Es un agua con muy bajo riesgo sanitario.

3.4.10.3. Limpieza de la superficie de la arena

Para la limpieza de la superficie del lecho filtrante existen dos métodos manuales disponibles, que son aplicables al medio rural: "raspado" y "trillado".

a) Método Raspado

Es el método convencional que consiste en retirar una capa superficial alrededor de 5 cm aproximadamente de espesor, cada vez que el nivel del agua en la caja del filtro llega al máximo y el agua empieza a rebosar por el aliviadero.

Para no disminuir la eficiencia del tratamiento durante la operación de raspado del filtro, es necesario que esta operación se ejecute en un solo día para evitar la mortandad de los microorganismos benéficos en la capa de arena que permanecerá en el filtro y acortar el período de re maduración.

b) Método Trillado

Este método normalmente se puede aplicar a cada filtro varias veces al año, en la medida en que sea necesario cada vez que el filtro alcance su valor límite de pérdida de carga.} El método de "trillado" se puede ejecutar manualmente, consta de dos etapas: trillado en húmedo, trillado en seco.

Primera etapa

Durante la etapa de trillado en húmedo se revuelven de 20 a 30cm de profundidad de arena mediante una trilla o trinche, mientras el agua fluye sobre la superficie del filtro, llevándose la suciedad acumulada y el sedimento que ha sido desprendido y re suspendido por el trillado.

El método de trillado en húmedo se aplicará cuando la duración de la carrera previa del filtro haya sido inferior a un mes.

Haciendo ingresar el agua en contracorriente, se rastrilla el lecho en toda su profundidad (30 a 40cm), procediendo por franjas. Se rastrillan unos 15 a 20cm de profundidad y se retira este material y se coloca sobre la arena del costado. Se continúa rastrillando el material restante hasta llegar a la grava, luego vuelve a su sitio la arena retirada y se repite el procedimiento hasta completar todo el lecho. Esta operación ejecutada por dos personas que se relevan en el rastrillado puede durar aproximadamente dos horas. Se cierra la válvula de ingreso ascensional del agua y a continuación se aplica el método de trillado en húmedo.

Segunda etapa

Durante el trillado en seco se elimina la aplicación de agua, se continúa revolviendo la arena para aflojar la superficie del lecho y se prepara al filtro para entrar en servicio.

El método de trillado en seco se aplicará cuando la carrera de filtración previa haya sido menor de un mes. Se drena el filtro dejando el agua 15 cm por debajo de superficie de la arena, con un pico se remueve la superficie de la arena en una profundidad de 15 cm, posteriormente se esponja con un rastrillo y se empareja para dejar la superficie uniforme en todo el filtro y se coloca nuevamente en servicio.

En base a experiencias recomiendan aplicar el método por separado, dependiendo de la duración de la carrera del filtro.

3.4.10.4. Lavado y almacenamiento de la arena y la posterior reconstrucción del lecho filtrante (re arenado)

Después de varios años de operación (3-4 años) y unos 20-30 raspados, el lecho filtrante alcanza su menor espesor permisible (0.30 m) y debe traerse medio filtrante nuevo o lavado para elevar el lecho hasta su espesor original. El nuevo medio filtrante debe colocarse debajo de los 0.3 a 0.5 metros superiores del medio filtrante antiguo empleándose para ello el llamado proceso de “encimado”. Véase la figura 10

Por este procedimiento, la capa superior, mucho más rica en vida microbiológica, es reubicada en la parte más alta del lecho filtrante, lo cual permite que el filtro rearenado acelere el periodo de maduración del lecho de arena.

Figura 10
Proceso de encimado

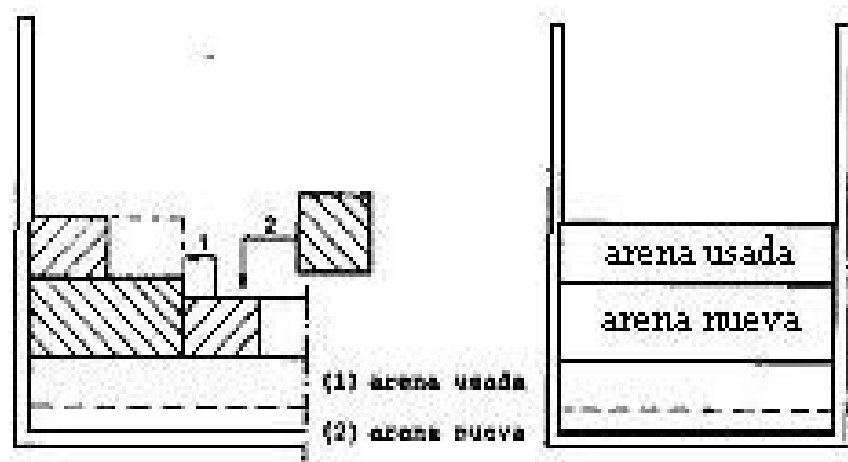


Ilustración 10 Proceso de encimado

Lavado y almacenamiento

Por lo menos cada cinco años se realizará el lavado completo del filtro de la siguiente manera: se retira con mucho cuidado la arena y la grava para no mezclarlas; se lava la arena; se cepillan las paredes de la caja del filtro; se reacomoda el drenaje, y se vuelve a colocar el lecho de arena y la grava. Si ha habido pérdida de arena y grava, será necesario reponerla. Si hay grietas en las paredes o en el fondo, deberán resanarse antes de colocar el lecho filtrante.

Cuando los sistemas están bien diseñados, operados y mantenidos, el efluente de las plantas de filtración lenta requiere de dosis muy baja de cloro como última barrera; prácticamente sólo para asegurar que el agua conserve su calidad bacteriológica hasta ser consumida. Es un agua con muy bajo riesgo sanitario.

3.4.11. Pre tratamiento en combinación con “FLA”

Pre tratamiento.

Para los filtros lentos de arena el pre tratamiento es indispensable si la turbiedad del agua cruda tiene un valor promedio de más de 50 UNT en periodos que sobrepasan unas pocas semanas o más de 100 UNT en periodos que sobrepasan unos pocos días.

Los sistemas de pre tratamiento más sencillos y convenientes son:

- a)** Filtración en el lecho del río
- b)** Sedimentación simple

Otras técnicas adecuadas de pre tratamiento son:

- c)** Filtración "gruesa" rápida
- d)** Pre filtración con flujo horizontal a través de material grueso.

a) Filtración en el lecho del río

Puede aplicarse para el tratamiento de aguas crudas que contienen turbiedad más bien baja (10-20 UN); puede tolerarse turbiedades de hasta 200 UN por periodos breves. El principio de purificación se basa en la remoción de sólidos en suspensión en un lecho de material filtrante granular situado en el lecho del río.

En la figura 11 se da un posible esquema de pre tratamiento por medio de filtración en lecho del río.

Figura 11

Esquema de filtración en el lecho del río

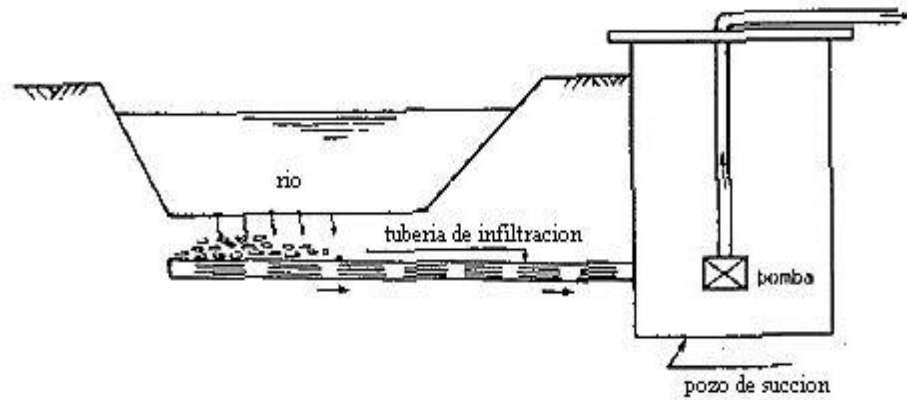


Ilustración 11 Esquema de filtración en el lecho del río.

Que la filtración en el lecho del río opere o no con éxito depende del grado de obstrucción del lecho del río. En la unidad de filtración en el lecho del río pueden aplicarse tasas de filtración de 5-10 m/h.

El lecho filtrante debe estar construido con varias capas de grava y arena gruesa. El diámetro efectivo del material del lecho filtrante debe ir disminuyendo del fondo a la superficie del mismo.

b) Sedimentación simple

Puede aplicarse a aguas crudas con turbiedad promedio anual entre 20 y 100 UN. Para este sistema de tratamiento pueden aceptarse turbiedades de hasta 400 UN por períodos que no sobrepasen unas pocas semanas.

Un reservorio de sedimentación sirve principalmente para reducir la turbiedad y de eliminar las sustancias en suspensión. El tiempo de retención (máximo dos días) es pequeño, pero debe durar lo suficiente para permitir que los sólidos en suspensión se asienten (partículas de mayor densidad que el agua) o floten (partículas de menor densidad que el agua).

Un reservorio de sedimentación puede tener operación intermitente o continua. La caja rectangular está hecha de hormigón o mampostería.

Figura 12

Tanque de sedimentación simple



Ilustración 12 Tanque de sedimentación simple.

La entrada de agua cruda está ubicada en uno de los lados cortos de la caja y la salida en el otro lado cortó. Las estructuras de entrada y salida son fundamentales para el funcionamiento adecuado del sedimentador.

En lo posible el flujo entrante debe distribuirse igualmente a través de todo el ancho del tanque para reducir corrientes. La estructura de salida usualmente consiste en uno o más vertederos que se extienden a través de todo el ancho del tanque.

Figura 13

Estructura de entrada y salida de un tanque de sedimentación simple

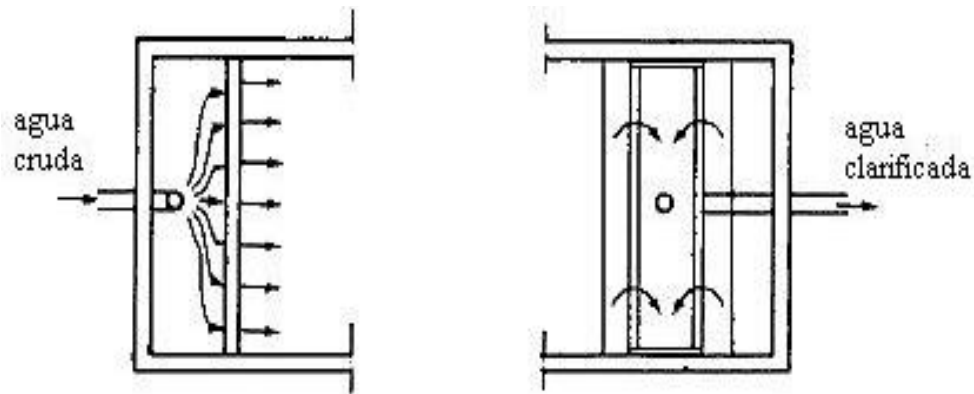


Ilustración 13 Estructura de entrada y salida de un tanque de sedimentación simple.

c) Filtración "gruesa" rápida

Puede aplicarse exitosamente como método de pre tratamiento para aguas crudas que contienen turbiedades de 20-100 UN, si se cuenta fácilmente con materiales adecuados como fibra de coco o grava gruesa.

Tal forma de filtración puede efectuarse en un filtro tanque similar al tanque usado para filtración lenta con arena. En este caso, el material de fibra de coco o la grava gruesa funcionará como medio filtrante.

La caja de filtración de una unidad de filtración preliminar rápida gruesa es similar a la caja de un filtro lento de arena.

La capa de agua sobrenadante y el lecho filtrante (grava) deben tener un espesor alrededor 1m y la tasa de filtración de diseño debe ser aproximadamente 0.5 m/h (0.5 – 1 m/h).

Para limpiar el lecho filtrante de un filtro preliminar se debe drenar por completo el agua de la caja del filtro y la grava debe secarse y desecharse.

Para reacondicionar el filtro se debe usar una nueva provisión de grava previamente remojada en agua 24 hr. para eliminar sustancias orgánicas (color).

Los filtros de grava son notablemente consistentes porque tienen un potencial para absorber la turbiedad y producir un efluente constante y satisfactorio para su subsiguiente filtración lenta en arena. La turbiedad eliminada varía entre 60-75%

Figura 14

Filtro Grueso Rápido

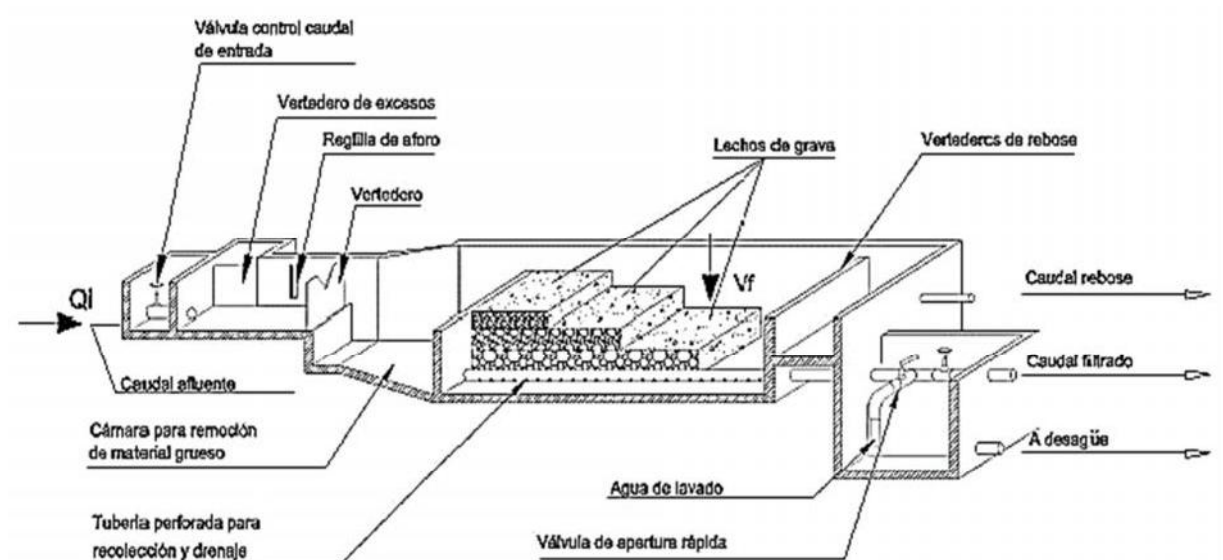


Ilustración 14 Filtro grueso rápido.

d) Pre filtración con flujo horizontal a través de material grueso

Puede ser aplicada para aguas crudas con turbiedades hasta de 150 UN. La turbiedad eliminada varía entre 60-70%

Se aplica como medio filtrante grava gruesa o piedra triturada; la caja del filtro o tanque es comparable a la que se usa para la sedimentación simple.

La entrada del agua cruda es mediante un simple vertedero de rebose previo al ingreso al reservorio de agua sobrenadante.

La dirección principal del flujo de agua circula a través de varias capas de material grueso graduado (en la secuencia de grueso-fino-grueso). La profundidad vertical del lecho filtrante se puede calcular en 1m o (0.8-1.5m) y las tasas de filtración pueden variar entre 0.4 y 1 m/h (flujo horizontal). La longitud total del lecho filtrante atravesado por el agua puede variar entre 4 y 10 m

Figura 15

Filtración preliminar por flujo horizontal

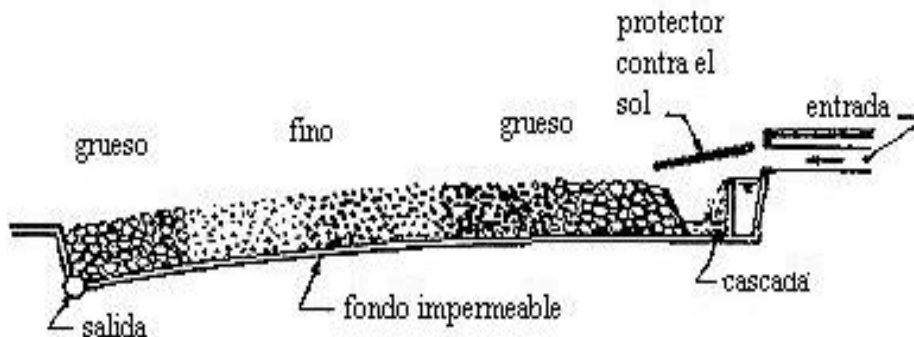


Ilustración 15 Filtración preliminar por flujo horizontal.

Guía para seleccionar un sistema de tratamiento de agua

En los párrafos previos hemos discutido temas tales como el rendimiento de los filtros lentos de arena, sus ventajas y limitaciones y varias técnicas de pre tratamiento y pos tratamiento. Puede concluirse que para la comunidad de Santa Ana la Vieja, la filtración lenta en arena representa una técnica excelente para mejorar substancialmente la calidad física, química y bacteriológica de la mayor parte de las aguas superficiales de zonas en desarrollo.

Por otro lado, se ha indicado que los filtros lentos son sensibles a ciertos parámetros de calidad del agua cruda.

En este aspecto la turbiedad del agua cruda es de importancia crucial para el diseño de todo el sistema de tratamiento (en particular la elección de la unidad de pre tratamiento). Otro parámetro importante para el sistema de tratamiento integral (en particular la elección del sistema de pos tratamiento) es la calidad bacteriológica del agua cruda. A este respecto se usa E. Coliformes como organismo indicador.

Sobre la base de los parámetros mencionados, turbiedad y contenido de E .Coliformes el siguiente cuadro da un procedimiento para seleccionar un sistema de tratamiento de agua con filtración lenta.

Cuadro 11
Guía para seleccionar un sistema de tratamiento De agua conjuntamente con FLA

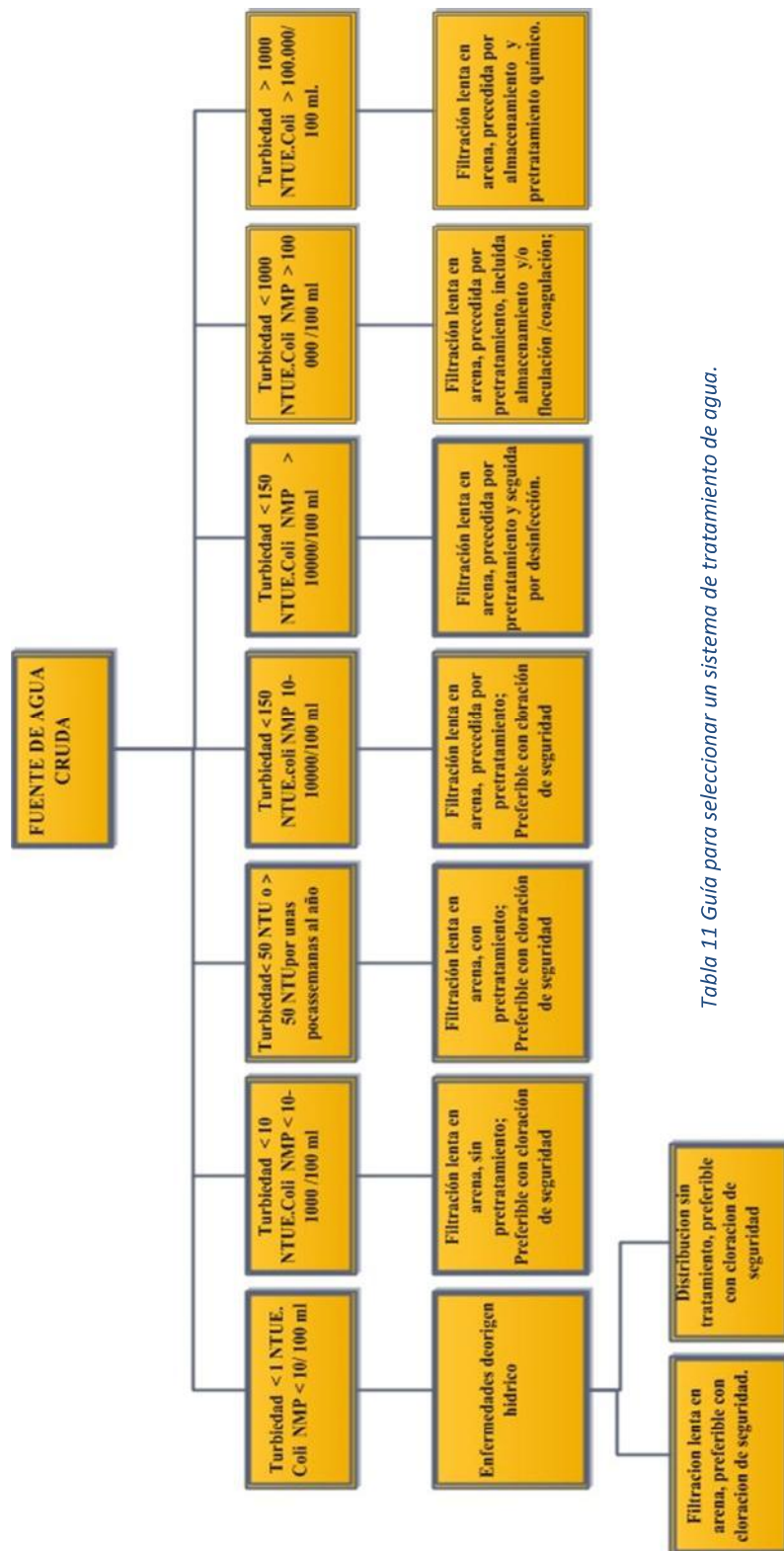


Tabla 11 Guía para seleccionar un sistema de tratamiento de agua.

CAPITULO IV

CAPITULO IV: DISEÑO

4.1. Introducción

Un buen sistema de tratamiento de agua, es el que provee a la población agua de buena calidad y con una máxima confiabilidad.

Es tarea del proyectista convertir estos objetivos teóricos en un diseño realista y económico tomando en cuenta las circunstancias y recursos locales.

Al asumir la responsabilidad de este proyecto de grado, el proyectista constantemente tendrá que tomar decisiones sobre detalles importantes, gran parte de los cuales están relacionados con:

- El método de tratamiento
- Dimensionamiento del sistema de tratamiento.
- Especificación de los elementos; comprende los dibujos detallados de la estructura.
- Etc.

4.2. Criterios generales de diseño

El diseño de un FLA y ciertamente el de cualquier componente de un sistema de abastecimiento de agua es una cuestión compleja. Huisman y Wood (1974) van a la raíz del asunto cuando expresan que “la filtración lenta de arena es todavía más arte que ciencia”. Y un arte a diferencia que ciencia, no puede inculcarse por medio de reglas y reglamentos.

Sin embargo, es imposible señalar pautas que pueden seguirse con éxito al diseñar un sistema de tratamiento de agua por medio de FLA.

En general, se pueden aplicar los siguientes criterios.

- a) Durante el período de diseño proyectado, la calidad del agua de abastecimiento no deberá, bajo ninguna circunstancia, ser de inferior calidad de límites determinados. Esto implica que debe tomarse medidas para enfrentarse

a eventuales deterioros futuros de la calidad del agua cruda, averías en elementos críticos del sistema y mal funcionamiento del sistema de tratamiento debido a fallas operativas o a condiciones desfavorables (por ejemplo temperaturas bajas).

b) La capacidad del abastecimiento de agua debe ser tal que en ningún momento del período de diseño se produzca escasez seria de agua. Esta condición es menos estricta que la anterior, ya que mientras el deterioro de la calidad del agua puede dar lugar a brotes inmediatos de enfermedades epidémicas, la consecuencia de la escasez de agua aparente no va más allá de causar cierta incomodidad. Sin embargo, la población puede tentarse de usar agua de fuentes no protegidas, por lo que la disminución de la calidad de agua debe también evitarse al máximo. Esto puede exigir incorporar unidades de reserva, tanques de almacenamiento de agua y posiblemente, reservorios elevados de servicio.

c) La tecnología aplicada debe ser tal que la operación, el mantenimiento y de preferencia las reparaciones pueden ser realizadas por la población local. Se debe renunciar al uso de equipo delicado de dosificación química o mejor aún, no utilizarlos mediante una buena selección de la fuente de agua cruda y del método de tratamiento. La filtración lenta constituye un ejemplo muy bueno de un método de tratamiento confiable que está al alcance de la capacidad de la población de las zonas rurales.

d) Los costos de construcción del sistema deben ser mínimos, manteniéndose las exigencias de alta calidad y duración de sus componentes. Esto significa la utilización económica de los materiales, particularmente de aquellos que deben ser importados.

e) Los costos de operación del sistema deben ser mínimos. Esta es otra razón para evitar en lo posible el empleo de productos químicos. Los salarios de los operadores pueden significar una carga pesada sobre los fondos de las pequeñas comunidades.

Se tiene que aclarar que estas condiciones forman meramente un marco de referencia dentro del cual el proyectista puede y debe tomar muchas decisiones

referentes al diseño. El siguiente cuadro hace un resumen acerca de los parámetros de diseño de un filtro lento de arena incluido el pre tratamiento y pos tratamiento.

Cuadro 12
Criterios de diseño

1.- Periodo de diseño.	
15 años (varía entre 10 y 25 años)	
2.- Periodo de depreciación.	
Elementos de la construcción	25 años (15 – 40)
Elementos mecánicos	15 años (15 – 25)
Elementos eléctricos	15 años (15 – 25)
3.- Crecimiento de la población	
Depende íntegramente de las condiciones locales (índice de nacimientos, índice de defunciones, índice de migración); probablemente al cambiar el tiempo en la mayoría de los casos, el crecimiento anual variará entre 2% y 4%.	
4.- Período de operación.	
De 8 a 24 horas diarias dependiendo del número de turnos (1-3); con uno a dos turnos la filtración con tasa declinante aumenta el período de operación.	
5.- Demanda de agua.	
Depende de las condiciones locales y del sistema de abastecimiento de agua instalado; surtidores públicos (pilones) 30 l.p.d. (10-50 l.p.d.) conexiones domiciliarias. (Una conexión) 50 l.p.d. (20-100 l.p.d.)	

6.- Calidad de agua.

La calidad de agua tratada debe ajustarse a las normas de agua segura. Puede esperarse que los métodos de tratamiento den lugar a las siguientes mejoras máximas de la calidad del agua:

Filtración lenta en arena: Turbiedad máx. 10 UN
DQO 2-5 mg/l

NMP E. Coli 100-1000/ 100 ml

Sedimentación + filtración Lenta en arena:
Turbiedad máx. 100 UN

DQO 2-10 mg/l

NMF E.Coli 100- 1000/100 ml

Sedimentación + filtración Lenta en arena + cloración:
Turbiedad máx. 100 UN

DQO 2-10 mg/l

NMP E.Coli 1000 –10000/100ml

7.- Tanques de sedimentación simple

Profundidad	1.5 - 2,5 m
Tiempo de retención	4 - 12 horas
Carga superficial	2 - 10 m/d
Carga de derrame en el vertedero	3 - 10 m ³ /m/h
Relación largo / ancho	4:1 a 6:1
Relación largo / profundidad	5:1 a 20:1

8.- Filtración rápida "gruesa"

Velocidad de filtración	0.5 m/h (0.5-1 m/H)
Área de cada lecho filtrante	10 - 100 m ²
Número de lechos filtrantes	mínimo 2

Altura del agua sobrenadante	1 (1-1.5 m)
Profundidad inicial del lecho filtrante	1 m (1-1.4 m)
Profundidad del sistema de drenaje	0.4 m (0.3-0.5 m)
9.- Pre filtración con flujo horizontal	
Velocidad de filtración horizontal	0.6 m/h (0.4 -1 m/h)
Área de cada lecho filtrante	10-100 m ²
Profundidad del lecho filtrante	1 m (0,8-1.5 m)
Longitud	5 m (4-10 m)
Características del lecho filtrante	véase el dibujo
10.- Filtros lentos de arena.	
Velocidad de filtración	0.1 m/h (0.1-0.2 m/h)
Área de cada filtro	10-100 m ²
Número de filtros	mínimo 2
Altura del agua sobrenadante	1 m (1 - 1.5 m)
Profundidad del medio filtrante	1 m (1 - 1.4 m)
Profundidad del sistema de drenaje	0.4 m (0.3-0.5 m)
Granulometría del lecho filtrante	d _{ef} = 0.15-0.35 mm
	CU= 2 - 5
Características del soporte del filtro	Véase figura 19
11.- Reservorio de agua filtrada	
Capacidad de almacenamiento Diaria de agua.	30-50% de la producción
Altura del tanque	2,5 - 4 m
Variación del nivel de agua filtrada	1,5m (1-2 m)
Área	10 - 100 m ²

12.- Tuberías de agua	
Velocidad de flujo en las tuberías principales de influente, efluente y drenaje	0.3 - 0.6 m/s
13.- Sistema de cloración.	
Dosaje máximo (mg/l)	1.5 mg/l (1-5)
Período de contacto (desinfección)	20-30 minutos
Período máximo de almacenamiento	20-30 minutos

Tabla 12 Criterios de diseño.

- **Consideraciones de diseño**

El FLA debe garantizar el paso lento del agua a través del lecho de arena a razón de 0.1 a 0.3 m/h. la velocidad no debe variar significativamente, por lo que el caudal a filtrar puede ser controlado a la salida o a la entrada.

El sobrenadante tendrá una profundidad máxima de 1.5 m.

El FLA opera usualmente con velocidades cercanas a 0.15 m/h, pudiendo sobrecargarse hasta 0.2 o 0.3 m/h, solo durante periodos cortos

4.3. ESPECIFICACIONES DE LOS ELEMENTOS DEL FLA

A continuación se detallan los parámetros de diseño recomendados para un FLA relacionados con:

- Caja del filtro.
- Capa de agua sobrenadante.
- Medio filtrante.
- Capa soporte.
- Sistema de drenaje.
- Controles e instalaciones accesorios.

4.3.1. Caja del filtro

La altura total de la caja del FLA puede oscilar entre 2,80 – 3.5 m, dependiendo de los espesores de la capa de arena, capa soporte, capa de agua sobrenadante y del sistema de drenaje.

El factor “N” depende de la velocidad de diseño:

- Si las velocidades son bajas como 0.10 m/h entonces se toma 2 unidades.
- Si las velocidades son mayores o iguales de 0.30 m/h se considera 3 unidades.

Se pueden tomar velocidades mayores a medida en que se vaya considerando procesos preliminares al filtro.

CUADRO 13
VELOCIDADES DE FILTRACION

PROCESOS	$V_F=(m/h)$
Filtración lenta	0.10 – 0.20
Sedimentación o pre filtración + filtración lenta	0.15 – 0.30
Sedimentación + pre filtración	0.30 – 0.50

Tabla 13 Velocidades de filtración.

Lo recomendable seria que la velocidad de filtración se lo determine mediante ensayos en filtros pilotos. Cuando sea posible determinar la velocidad de filtración deberá ser menor a la velocidad máxima recomendable 0.10m/h.

El tamaño definitivo de los filtros se determinara mediante una consideración de los aspectos constructivos, de operación y mantenimiento. Los materiales comúnmente usados son el hormigón simple o armado.

Se considerara un ingreso adicional por el fondo de la unidad, para efectuar el llenado del filtro. Dicho ingreso se conecta con la cámara de agua filtrada.

La caja de filtro podría tener una sección circular o cuadrada, la forma circular es más económica si se construye de ferro cemento. La altura total de la caja del filtro no debe exceder de los 4 m ya que encarece el costo del sistema.

La caja del filtro, el canal de efluente y el tanque de almacenamiento de agua filtrada deben ser herméticos por dos razones: para evitar pérdidas de agua y en caso de tener un nivel freático alto, prevenir el ingreso de agua subterránea que pueda contaminar el agua tratada.

La superficie de cada unidad del filtro está en función de la velocidad de filtración, caudal diseño, el número de horas de funcionamiento continuo de la unidad (turnos) y del número de unidades.

$$A_U = \frac{Q_{\max.d} \times C_1}{N \times V_F} \quad (\text{Ec. - 9})$$

Dónde:

A_U = área superficial de cada unidad m^2

Q = caudal máximo diario (m^3/h)

V_f = velocidad de filtración (m/h)

C_1 = es un coeficiente que depende del número de turnos (8 horas c/u) al día en que se vaya a operar la unidad.

CUADRO 14

Valores de coeficiente “ C_1 ”

TURNOS	C_1
1	3
2	1.5
3	1

Tabla 14. valores de coeficiente c_1

a) Determinación del número de filtros:

$$n = 0.5 \sqrt[3]{A_T} \quad (\text{Ec -10})$$

$$A_T = N * A_U \quad (\text{Ec.} - 10 - a)$$

Dónde:

A_U = Área de cada unidad.

A_T = área superficial total m^2

N = número total de unidades rectangulares operando en paralelo

b) Dimensionamiento de los módulos de filtración: para esto se partirá de LT_P que es como sigue

$$L_{t_p} = 2 * n [\pi * A_U]^{0.5}$$

Dónde:

L_{tp} = Longitud total de pared en m

n = Número total de unidades de filtración

A_U = Área superficial de cada unidad en m^2

π = Número Pi = 3,1416

Figura 16

Módulos de Filtración

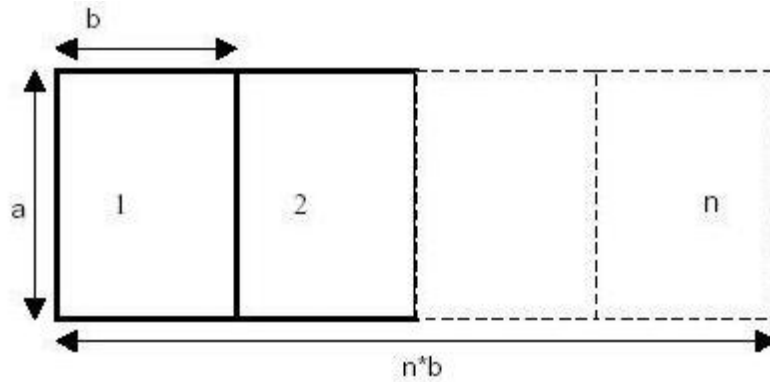


Ilustración 16 Modulos de filtración

$$a = \left(\frac{2 * n * A_T}{n+1} \right)^{0.5}$$

$$b = \left[\frac{(n+1) * A_T}{2 * n} \right]^{0.5} \quad (\text{Ec.} - 11)$$

Dónde:

a = Longitud de pared común por unidad en m

A = Área superficial total en m²

n = Número de unidades

b = Ancho de la unidad en m

$$L_{tp} = 2*b*n + a*(n+1) \quad (\text{Ec. -12})$$

Dónde:

L_{tp} = Longitud total de pared en m

n = Número total de unidades de filtración

b = Ancho de la unidad en m

a = Longitud de pared común por unidad en m

$$L_m = 2*a*(n+1) = 2*[2*n*A*(n+1)]^{0,5} \quad (\text{Ec. -13})$$

Dónde:

L_m = Longitud total mínima de pared en m

a = Longitud de pared por unidad en m

n = Número de unidades

A = Área superficial total en m²

4.3.2. Capa de agua sobrenadante

En un filtro que tiene control a la entrada, la carga de agua es cercana a 0.05 m, valor que se va incrementando hasta alcanzar su nivel máximo, oscilando entre 0.80 – 1.50m. En base a experiencias es recomendable mantener el nivel del agua sobrenadante a una altura constante.

Las paredes del reservorio de agua sobrenadante deben tener una altura suficiente, para dejar un borde libre de 0.2 – 0.3 m sobre el nivel del agua.

Para la remoción de la nata, el reservorio de agua sobrenadante puede estar dotado de un dispositivo (manual) desnatadora y un canal de drenaje de nata. El reservorio debe contar con un orificio de derrame o rebose que drene el exceso y la retorne a la fuente de agua cruda.

4.3.3. Lecho filtrante de arena

- Tamaño efectivo (D_{10}) debe ser lo suficientemente pequeño para asegurar un afluente de buena calidad y para prevenir que la materia orgánica penetre a tal profundidad que no sea posible retirarla mediante el raspado de la superficie.
- Se recomienda arena relativamente fina con D_{10} entre 0,15 a 0,30 mm.
- Es recomendable usar un diámetro mínimo de 0.10 mm para aguas claras con alto contenido de bacterias.
- De no existir arena natural de estas características, el valor deseado del diámetro efectivo se lo obtendrá mezclando dos tipos de arena. Como última opción puede emplearse el tamizado.
- Se recomienda un coeficiente de uniformidad $CU < 5$ preferiblemente 2 y 4, sirven para que los poros sean regulares y aseguren una buena porosidad.
- Debe estar compuesto por granos de arena dura y redondeada, de preferencia libres de arcilla y materia orgánica.
- La arena debe lavarse, procedimiento con el que también se eliminan los granos más finos, disminuyendo CU y elevando el D_{10} .
- Para un funcionamiento adecuado del proceso de purificación se debe proveer un lecho filtrante de 0.80 m como mínimo.
- El espesor del lecho filtrante ideal debe determinarse experimentalmente en cada caso. Sin embargo, existe un espesor mínimo para garantizar su funcionamiento que es de 0,80 m, teniendo en cuenta que por año se retiren 10 cm de arena mediante los raspados sucesivos, es por este motivo que se recomienda una altura de diseño de 1.20 a 1.40 m.

Cuadro 15
Resumen para el diseño del medio filtrante

Tamaño efectivo D₁₀	0,15 - 0,30 mm
Coefficiente de uniformidad CU	2 - 4
Altura del medio filtrante	0,8 – 1.40 m

Tabla 15 Resumen para el diseño del medio filtrante.

4.3.3.1. Granulometría

El análisis granulométrico es un intento de determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en una masa de suelo.

La muestra debe ser estadísticamente representativa, la práctica solamente agrupa materiales por rangos de tamaño, para lograr esto se obtiene la cantidad de material que pasa a través de un tamiz, con una malla dada pero que es retenido por el siguiente tamiz de malla con diámetro menor y se relaciona esta cantidad con el total de la muestra

La información de los tamices se representa en una curva granulométrica para poder comparar los suelos y visualizar la distribución de los tamaños, la ábsida debe representarse con una escala logarítmica del tamaño del grano y la ordenada con una escala normal donde va el porcentaje. Una curva solo puede aproximar la situación real.

La granulometría de una base de agregados se define como la distribución del tamaño de sus partículas.

Esta granulometría se determina haciendo pasar una muestra representativa de agregados por una serie de tamices ordenados, por abertura de mayor a menor.

Los tamices son básicamente unas mallas de aberturas cuadradas, que se encuentran estandarizadas.

La denominación en unidades inglesas (tamices ASTM) se hacía según el tamaño de la abertura en pulgadas para los tamaños grandes y el número de aberturas por pulgada lineal para tamices menores de pulgada.

La serie de tamices utilizados para agregado fino son #4, 16, 30, 50, 100, 200.

La operación de tamizado debe realizarse de acuerdo con la Norma Técnica, el tamizado a mano se hace de tal manera que el material se mantenga en movimiento circular con una mano mientras se golpea con la otra, pero en ningún caso se debe inducir con la mano el paso de una partícula a través del tamiz; Recomendando, que los resultados del análisis en tamiz se coloquen en forma tabular.

Cada uno de estos pesos retenidos se expresa como porcentaje (retenido) del peso total de la muestra.

$$\% \text{Retenido} = \frac{\text{Peso de material retenido en tamiz} \times 100}{\text{Peso total de la muestra}} \quad (\text{Ec. -14})$$

$$\% \text{PASA} = 100 - \% \text{Retenido Acumulado} \quad (\text{Ec. -15})$$

Los resultados de un análisis granulométrico se pueden representar en forma gráfica, llamadas curvas granulométricas.

Estas gráficas se representan por medio de dos ejes perpendiculares entre sí, horizontal y vertical, donde las ordenadas representan el porcentaje que pasa y en el eje de las abscisas la abertura del tamiz cuya escala puede ser aritmética, logarítmica o en algunos casos mixtos.

Las curvas granulométricas permiten visualizar mejor la distribución de tamaños dentro de una masa de agregados y permite conocer además que tan grueso o fino es.

La forma de la curva muestra con una mirada la composición general del suelo. Una descripción más detallada puede ser obtenida de cada curva determinando los diámetros característicos y el coeficiente de uniformidad.

Los diámetros característicos son D₁₀, D₃₀, D₆₀ y D₇₅ que significa el 10, 30, 60 y 75% del material que pasa.

El coeficiente de uniformidad es dado por la relación D₆₀ a D₁₀

$$CU = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (\text{Ec. - 16})$$

$$D_{10} = \frac{\mu_g}{\sigma_g^{1.282}} \quad (\text{Ec. - 16-a})$$

$$CU = \sigma_g^{1.535} \quad (\text{Ec. - 16-b})$$

Dónde:

D₆₀ = Tamaño tal, que el 60% en peso del suelo sea igual o menor.

D₁₀ = Es el llamado diámetro efectivo, es el tamaño tal que sea igual o mayor que el 10% en peso del suelo.

Un alto coeficiente de uniformidad indica un suelo bien gradado. Un coeficiente de uniformidad de la unidad indica que todas las partículas del suelo son del mismo tamaño.

Los suelos con:

$$C_u < 3 \text{ se consideran muy uniformes}$$

4.3.3.2. Preparación de la arena para los filtros lentos

El tipo de arena que se obtenga de los bancos puede ser muy gruesa o demasiado fina es por eso que se debe obtener el tamaño y uniformidad especificados para esto se hace

la eliminación por cribado o tamizado para los granos gruesos y la eliminación por lavado de los finos.

La preparación de la arena para los filtros lentos se especifica de acuerdo a los tamaños específicos $P_{10}=D_{10}=0.10\text{ mm}=1\times 10^{-2}\text{ cm}$ y el coeficiente de uniformidad $CU = 2$ en el análisis de tamices del lote de arena disponible de sus respectivas gráficas, podemos observar que las porciones gruesas y finas del lote de arena, que se van a remover son funciones de P_{10} y P_{60} , es decir, de los porcentajes del lote de arena más pequeñas que el tamaño efectivo deseado y el tamaño percentil 60, respectivamente.

Se puede explicar de la siguiente manera:

1. La arena que se encuentra entre los tamaños de P_{10} y P_{60} constituye la mitad de la arena especificada. Por lo tanto el porcentaje utilizable de la arena será:

$$P_{utilizable} = 2(P_{60} - P_{10}) \quad (\text{Ec.-17})$$

2. Ya que la arena especificada puede contener solamente 1/10 de arena utilizable de tamaño menor que P_{10} el porcentaje por debajo del cual el lote de arena resulta demasiado fina para que pueda usarse es:

$$P_{demasiado\text{fina}} = P_{10} - 0.1P_{utilizable} = P_{10} - 0.2(P_{60} - P_{10}) \quad (\text{Ec.-18})$$

Se utilizara siempre y cuando el tamaño de grano correspondiente a la arena demasiado fina sea igual o mayor que el tamaño más pequeño de arena que se incluirá en el filtro.

3. Debido a que sea contabilizado un porcentaje de arena de lote se debe calcular el porcentaje por encima del cual la arena del lote es demasiado gruesa.

$$P_{demasiado\text{gruesa}} = P_{utilizable} + P_{demasiado\text{fina}} = P_{10} + 1.8(P_{60} - P_{10}) \quad (\text{Ec.-19})$$

4.3.3.3. Peso específico

Es la relación del peso al aire, de un determinado volumen de material, a una cierta temperatura y el peso al aire, de un volumen igual de agua destilada, a la misma temperatura.

A. Muestra

El suelo a usarse en el ensayo para suelos granulares, será la muestra seleccionada en el ensayo de granulometría que tendrá una humedad natural y que deberá tener un peso de 80 gr. Utilizar un picnómetro de 250 ml de capacidad que se utilizara para los suelos no cohesivos.

B) Procedimiento

- a. Colocar los 80 gr. en un pocillo y hacer una pasta con agua destilada, esto para romper los flóculos y poder introducir con mayor facilidad al picnómetro.
- b. Luego esta pasta deberá colocarse cuidadosamente en el picnómetro evitando votar parte del suelo.
- c. Se añadirá agua destilada, llenando el picnómetro alrededor de tres cuarta partes.
- d. El aire atrapado deberá ser removido, haciendo hervir el contenido, suavemente, por lo menos durante 5'. Durante la operación debe moverse ligeramente el picnómetro sobre un paño en la mesa, para ayudar a la remoción de aire.
- e. Como algunos suelos, hierve violentamente cuando se los somete a una presión de aire reducida y se perderá muestra; para evitar esto, se procede a mover el picnómetro sobre una toalla o paño.
- f. Dejar enfriar a temperatura ambiente, hasta que alcance a unos 45°C. A esta temperatura se completará con agua destilada hasta el enrase.
- g. Se podrá enfriar en baño María si es necesario pero siempre controlando que la temperatura quede en el rango de 15 a 40°C, que es el rango de calibración del picnómetro.
- h. Luego el picnómetro deberá ser llenado con agua destilada hasta el menisco inferior, luego se deberá secar con un paño seco y limpio.

- i. Se pesa y se determina la temperatura, de tal manera que el termómetro no toque la muestra.
- j. Este peso es el peso del picnómetro, más agua muestra dentro del rango de temperatura de ensayo.
- k. Depositar la muestra más agua en una tara y colocar al horno por 24 horas. De manera que luego se conozca el peso seco de la misma.

C) Cálculo

El peso específico será calculado por la siguiente relación:

$$\text{Peso Específico} = \frac{W_s * G_t}{W_s - W_1 + W_0\%} \quad (\text{Ec. -20})$$

Dónde:

W_s = Peso de la muestra seca

G_t = Densidad relativa del agua a temperatura de ensayo.

W_1 = Peso de la botella, más agua más muestra.

$W_0\%$ = Peso de botella más agua a temperatura de ensayo.

4.3.3.4. Porosidad

La porosidad del lecho filtrante debe determinarse de manera que sea indicativa de la que existe realmente en los filtros.

Desgraciadamente, esta porosidad en la práctica no es constante, sino que cambia con la velocidad de lavado y con la de sedimentación de las partículas cuando se suspende el flujo ascensional. Existen dos métodos para analizarla: El de Hulbert y Feben, y el de Baylis. El primero puede describirse así:

- a) Colocar 150 gr. de arena en un tubo de Jackson de 0.75 m de largo, 2.8 cm. de diámetro y llenarlo hasta la mitad con agua. La muestra debe haberse lavado previamente para eliminar toda la tierra o el polvo que puede contener.
- b) Agitar a fin de extraer el aire.
- c) Si el agua está turbia, decantar repetidamente hasta que se clarifique.

- d)** Llenar el tubo completamente con agua y colocarle un tapón de goma de modo que no quede burbujas de aire adentro.
- e)** Rotar el tubo rápidamente 180.
- f)** Cuando la arena se sedimente en el fondo del tubo, rotarlo de nuevo rápidamente 180 y colocarlo en un soporte a fin de que permanezca verticalmente y sin perturbaciones.
- g)** Marcar en el tubo, con un lápiz especial, el borde superior de la arena.
- h)** Remover la arena y el agua del tubo.
- i)** Añadir agua hasta la marca que se hizo en el tubo y medir este volumen en un cilindro graduado.

La porosidad en porcentaje será igual a

$$P = \frac{\text{Volumen.de.vacios}}{\text{Volumen.de.lamuestra}} * 100 \quad (\text{Ec. -21})$$

El volumen de vacíos puede hallarse por la diferencia entre el volumen medido en el cilindro graduado (Volumen total) menos el volumen de la muestra (peso de la muestra, 150 gr., por su peso específico.

Peso específico de cálculo encontrado como se detalló en el punto anterior.

$$V_v = V_t - V_m \quad (\text{Ec. -22})$$

$$V_m = \frac{W_s}{\gamma} \quad (\text{Ec. -23})$$

Donde:

P= Porosidad

V_v = volumen de vacíos

V_m = Volumen de la muestra

V_t = Volumen total (muestra decantada en agua)

La objeción que Baylis hace a este método es que no se tiene en cuenta la profundidad real del lecho y que, en consecuencia, no representa la porosidad que existe en el filtro.

Sugiere por eso colocar suficiente muestra del material granular en un tubo de plástico o vidrio (2" de diámetro) como para que alcance una altura de 60 cm. (24"), o sea alrededor de 1000 gr. de arena ó 600 gr. de antracita. La muestra debe ser previamente desecada y pesada.

Este medio filtrante se lava con flujo ascendente hasta producir una expansión del 50 % y luego se deja asentar lentamente. Se procede enseguida como en el caso anterior en los pasos g, h, i. El cálculo de la porosidad es también similar. La porosidad hallada en esta forma es de 1 a 2 % menor que la encontrada con el método de Hulbert y Feben.

4.3.3.5. Coeficiente de permeabilidad

Un material se dice que es permeable cuando permite el paso de los fluidos a través de sus poros. En el caso de los suelos, se dice que estos son permeables cuando tienen la propiedad de permitir el paso de agua a través de sus vacíos.

Por el contrario se llaman suelos impermeables aquellos (generalmente arcillosos) en los cuales la cantidad de escurrimiento del agua a través de sus vacíos es pequeña y lenta.

En alguno casos es para facilitar el drenaje es conveniente tener un suelo permeable.

El grado de permeabilidad de un suelo es medido por un coeficiente de permeabilidad "K". Su determinación se basa en la ley propuesta por el ingeniero Francés Darcy que establece lo siguiente: la velocidad de escurrimiento de un suelo es proporcional a una cierta constante "K", propia y característica de cada suelo y la gradiente hidráulica "i", que es la relación entre la diferencia de niveles Δh y la distancia L que el agua tiene que recorrer. Este coeficiente es una constante de proporcionalidad que relaciona la facilidad de movimiento de un flujo a través de un medio poroso.

$$v = K * i = K * \frac{\Delta h}{L} \quad (\text{Ec. -24})$$

Dónde:

v = velocidad de escurrimiento

i = gradiente hidráulico

H= diferencia de niveles

L= distancia que el agua tiene que recorrer

La cual se puede expresar en términos de caudal.

$$Q = v.A.t$$

Remplazando:

$$Q = K.i.A.t$$

$$K = \frac{Q}{i * A * t}$$

Donde:

La permeabilidad se la determinara por medio de permeámetros de carga constante

Q= cantidad de escurrimiento o flujo

i = gradiente hidráulico = $\Delta h/L$

Δh = carga hidráulica

A= área de la muestra

t = tiempo de escurrimiento

En la práctica, la medida del coeficiente ya que son utilizados generalmente para materiales finos, arcillosos o limo-arcillosos.

De este modo considerando que la carga hidráulica permanece constante, para el Ensayo de Carga Constante se obtiene:

$$Q = \frac{\Delta Volumen}{\Delta Tiempo} = K \frac{\Delta h}{L} * A \quad (Ec. -25)$$

$$K = \frac{\Delta Volumen * L}{\Delta Tiempo * \Delta h * A} \quad (Ec. -26)$$

Figura 17

Esquema Permeámetro de Carga Constante

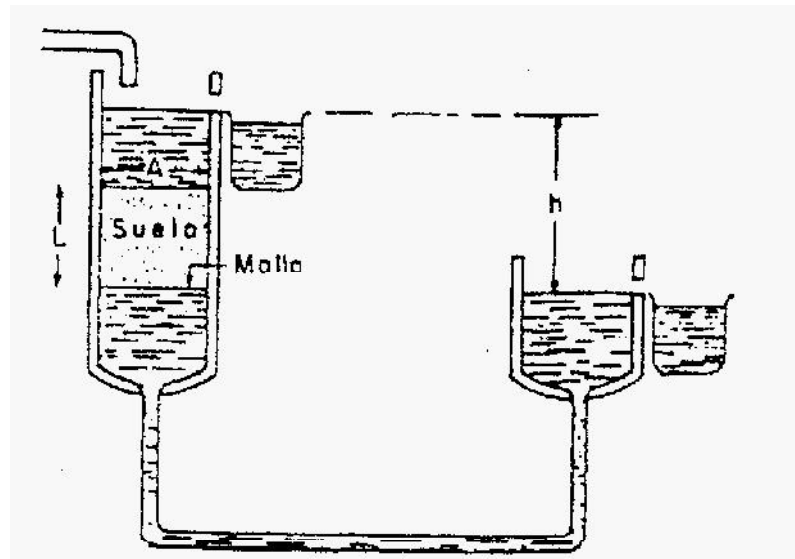


Ilustración 17. Esquema del permeámetro de carga constante.

Se puede concluir que, cuanto más alto es la temperatura la viscosidad es menor; por lo tanto la permeabilidad es mayor. Por lo que cuando se determine el coeficiente de permeabilidad K , se lo puede referir a 20°C que es la temperatura de referencia.

Por lo tanto, el coeficiente de permeabilidad a cualquier temperatura T se puede expresar con respecto a k_{20} utilizando la siguiente ecuación:

$$K_{20} = K_T \frac{n_T}{n_{20}} \quad (\text{Ec. -27})$$

Donde n_T y n_{20} son la viscosidad del fluido a la temperatura T del ensayo y a 20° , respectivamente

a) Muestra

Se necesita muestra suficiente para llenar el tambor del Permeámetro de carga constante.

b) Procedimiento

- Instalar el Permeámetro de carga constante sobre la mesa de trabajo en el laboratorio y desarmarlo por medio de los soportes, que poseen unas tuercas.
- Colocar la muestra, en una primera capa y compactar 15 golpes del martillo indicado, haciendo lo mismo para tres capas.
- Medir la altura de la muestra
- Medir el área del tambor
- Medir la altura de agua
- Armar el aparato, cerrando con la tapa y resorte, asegurando los soportes con las tuercas respectivas.
- Colocar la bomba de vacío a la salida del Permeámetro y hacer funcionar, con el objeto de que el paso del agua sea a una velocidad mayor, provocada por la succión del vacío
- Siempre con la válvula cerrada después de sacar el aire del tubo transparente, llenar el tubo piezómetro con agua en toda su capacidad.
- Abrir la válvula de entrada y se leerá la altura de la columna de agua después de transcurrir t minutos.

4.3.3.6. Solubilidad en ácido clorhídrico

La solubilidad en ácido clorhídrico del medio filtrante se determina así:

- a.** Lavar una muestra de 10 gr. con agua destilada, secarla a 103°C durante 24 horas y pesarla.
- b.** Sumergirla en solución de ácido clorhídrico (HCl) al 40% (al volumen) preparado diluyendo 4 volúmenes de *HCL* (peso específico 1.18 - 1.20) con 10 volúmenes de agua destilada.
- c.** Dejar la muestra así durante 24 horas a temperatura de 18 a 20°C .
- d.** Sacarla, lavar en agua destilada, secar y pesarla de nuevo. El porcentaje de solubilidad será:

$$\% \text{solubilidad} = \frac{\text{Pérdida de peso}}{\text{Peso original}} * 100 \quad (\text{Ec. -28})$$

La arena debe tener una solubilidad menor del 5% y la antracita no debe tener ninguna o despreciable.

4.3.4. Capa de soporte

- La capa soporte está constituida por grava graduada con características similares a las aplicadas al medio filtrante. (ver cuadro 19)
- Las piedras deben ser duras y redondeadas con un peso específico de por lo menos 2.5 con preferencia debe estar libre de arena, limo y materia orgánica, si es posible se debe lavar para así estar seguro de su limpieza.
- Debe considerarse una altura mínima de 0.20 m de grava dispuesta en tres capas de diferente granulometría.
- La capa de grava debe diseñarse teniendo en cuenta dos valores límites:
 - El diámetro de la grava más fina debe seleccionarse, teniendo en cuenta el tamaño de los granos de arena.
 - Y la más gruesa de acuerdo al tamaño de los orificios del drenaje.

El siguiente cuadro muestra los límites máximos y mínimos empleados por la NB 689, para la capa de soporte.

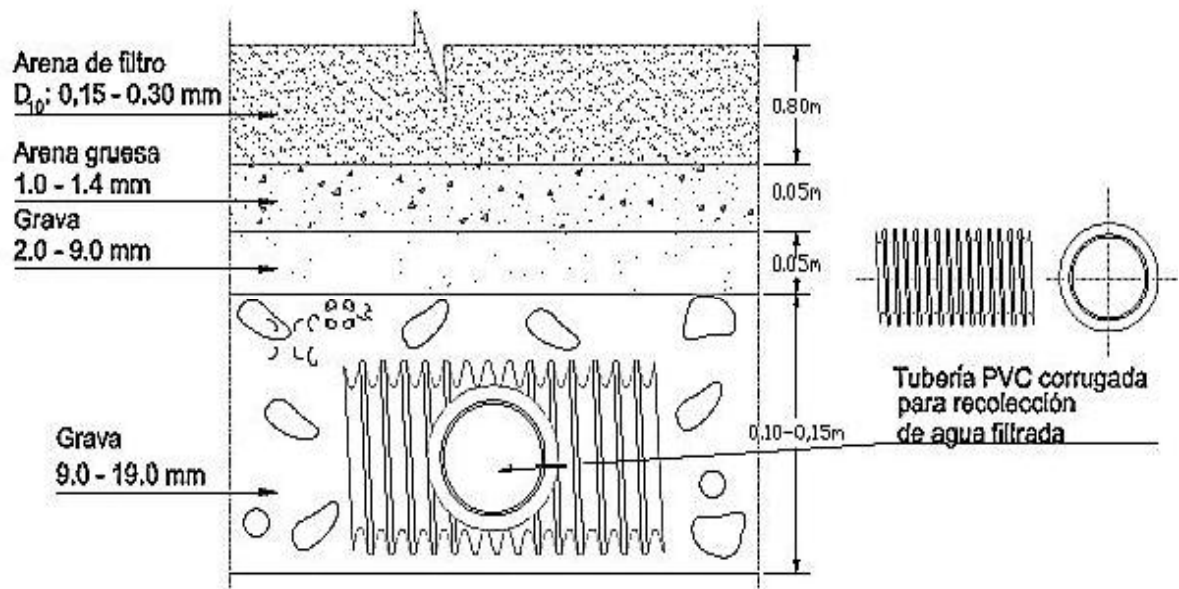
Cuadro 16
Granulometría de la capa soporte

Capa	Tipo	Diámetro efectivo (mm)	Espesor (cm)
Superior	Arena gruesa	1 – 1,4	5 – 10
Segunda	Grava mediana	2 – 9	5 – 10
Inferior	Grava gruesa	9 – 19	10-20

FUENTE: Elaborado en base a la figura 18

Tabla 16 Granulometría de la capa soporte

Figura 18
Capa de soporte y tubería de drenaje de un FLA



FUENTE: NB – 512

Ilustración 18 Capa soporte y tubería de drenaje de un FLA

4.3.5. Sistema de drenaje

La recolección del agua filtrada se efectuara mediante el sistema de drenaje.

El sistema de drenaje está compuesto por un dren principal y ramificaciones o drenes laterales, a partir de la salida del agua. Dicho sistema está construido por tuberías perforadas cubiertos con capas de grava graduada que soportan el material filtrante. (Ver figura 19)

Los drenes laterales:

- Se unirán principalmente mediante té o cruces que podrán ser de PVC.

El dimensionamiento de los drenes se efectuará con el criterio de que la velocidad límite en cualquier punto de estos no sobrepase de 0.30 m/s.

El espesor del sistema de drenaje incluido el material soporte de las capas de grava puede variar de 0.15 a 0.50 m dependiendo de si se utiliza un falso fondo o tuberías corrugadas que resistan el material grueso de soporte.

Para obtener una colección uniforme del agua filtrada, la relación de velocidades entre el dren principal (V_p) y los drenes laterales (V_L) debe ser de:

$$V_p / V_L < 0.15 \quad (\text{Ec. - 29})$$

La pérdida de carga producida por los drenes no debe exceder de un 10% de la pérdida de carga del medio filtrante.

Para el diseño y dimensionamiento del sistema de drenaje se debe tomar en cuenta lo siguientes:

Figura 19
Disposición de tuberías

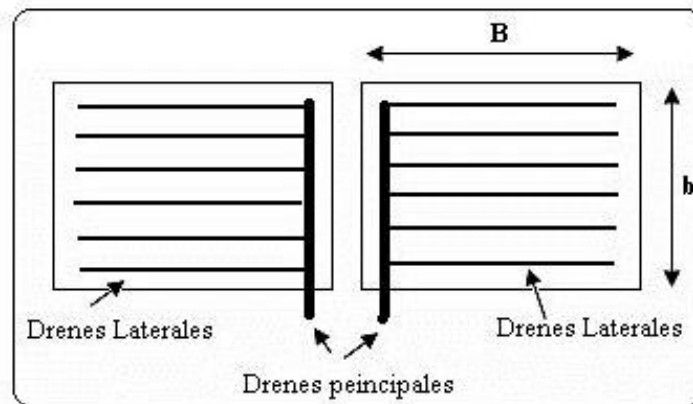


Ilustración 19. Disposición de las tuberías.

Los sistemas que usan tubos perforados y grava o piedra triturada, pueden ser dimensionados en base a los criterios siguientes:

Cuadro 17
Criterios de dimensionamiento del sistema de drenaje

TUBOS PERFORADOS		
Velocidad máxima en el dren principal	0,30 m/s	
Velocidad máxima en los laterales	0,30 m/s	
Separación entre drenes laterales	1/16 L	1-2 m
Diámetro de los agujeros en los laterales	3 mm	2-4 mm
Separación de los agujeros en los laterales	0.15 m	0.10-0.30 m
Separación del lateral con respecto a la pared	1/32 L	

Tabla 17 Criterios de dimensionamiento del sistema de drenaje.

4.3.5.1. Drenes laterales (L)

a) Separación entre drenes laterales S_L

$$S_L = \frac{\text{Long.tubeía.principal}}{16} = [\text{m}] \quad (\text{Ec. - 30})$$

b) Separación entre drenes laterales y pared o muro S_{L-P}

$$S_{L-P} = \frac{\text{Long.tubeía.principal}}{32} = [\text{m}] \quad (\text{Ec. - 31})$$

c) Numero de drenes laterales N_L

$$b = 2 \cdot S_{L-P} + (N_L - 1) \cdot S_L \quad (\text{Ec. - 32})$$

Dónde:

N = número de drenes laterales

b = ancho de una unidad de filtración

S_{L-P} = Separación de drenes laterales y pared o muro

S_L = Separación de drenes laterales

d) Longitud del dren lateral L_L

$$L_L = B \cdot S_{Lp} \text{ en [m]} \quad (\text{Ec. -33})$$

B = largo de una unidad de filtración

e) Longitud total de los drenes laterales L_{TL}

$$L_T = L_L \cdot N \text{ en [m]} \quad (\text{Ec. -34})$$

f) Velocidad del dren lateral V_L

$$\frac{V_P}{V_L} \leq 0,15 \quad \text{Entonces} \quad V_L = \frac{V_P}{0,15} \text{ en [m/s]} \quad (\text{Ec. -35})$$

Dónde:

V_L = Velocidad del dren lateral

V_P = velocidad del dren principal

g) Caudal para cada dren lateral Q_L

$$Q_L = \frac{Q_F}{N} \quad (\text{Ec. - 36})$$

Dónde:

Q_L = Caudal del dren lateral

Q_F = Caudal de ingreso al filtro o sea $Q_{\max.d} / 2$ en [l/s]

N = número de drenes laterales

h) Diámetro del tubo lateral $[D_L]$

$$D_L = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_L}{\pi \cdot V_L}} \text{ en [pulg.]} \quad (\text{Ec. -37})$$

i) Orificios en los laterales

- Separación entre orificios $[S_{\text{orif}}]$

Según los parámetros de diseño es aconsejable separaciones de 15 a 30cm de centro a centro

- Disposición de orificios

Se aconseja que los orificios se dispongan en la parte inferior de la cañería.

Disposición orificios

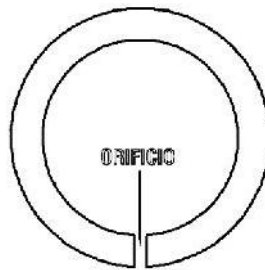


Ilustración 20 Disposición de orificios

- **Número total de orificios**

$$N_{orif} = \frac{L_{TL}}{S_{orif}} * Disp_{orif} \quad (\text{Ec. - 38})$$

- **Caudal en cada orificio [Q_{orif}]**

$$Q_{orif} = \frac{Q_F}{N_{orif}} \quad \text{en [l/s]} \quad (\text{Ec. - 39})$$

- **Área de cada orificio**

Según parámetros de diseño el diámetro de los orificios debe estar dentro del rango 2 - 4 mm

Utilizando la ecuación de orificios se tiene:

$$Q_{orif} = C_d * A * \sqrt{2 * g * h} \quad (\text{Ec. - 40})$$

$$A_{orif} = \frac{Q_{orif}}{C_d * \sqrt{2 * g * h}} \quad (\text{Ec. - 41})$$

Dónde:

Q_{orif} = Caudal de cada orificio l/s

C_d = Coeficiente de descarga varía entre 0.6 – 0.8 = 0.62

g = Gravedad = 9.81 m/s²

h = Altura de Carga m

A = Área de cada orificio

- **Diámetro de cada orificio D_{orif}**

$$D_{orif} = \sqrt{\frac{4 * A_{orif}}{\pi}} \quad (\text{Ec. - 42})$$

4.3.5.2. Dren principal

El CEPIS luego de numerosas pruebas recomienda adoptar una velocidad máxima de 0.3 m/s para el dren principal y teniendo en cuenta el caudal de diseño mediante la ecuación de continuidad se obtiene el diámetro necesario.

$$Q_F = A * V_P \quad (\text{Ec. - 43})$$

Dónde:

Q_F = caudal de aportación a cada filtro o sea $Q_{max,d}/2$ en l/s

V_P = velocidad del dren principal máximo 0.30 m/s

A = área de la tubería en m²

Si el área de una circunferencia es:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (\text{Ec. - 44})$$

Remplazando y despejando se tiene:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V_p}} \quad (\text{Ec. - 45})$$

Longitud de la tubería principal

$$L_p = b - S_{L-P} \quad (\text{Ec. - 46})$$

4.3.6. Altura del filtro

De la descripción anterior de los elementos básicos de un FLA puede elegirse que incluido el cimientto (0.15m) la altura vertical total de la caja hermética debe ser 3 m (rango 2.8 – 3.5m).

Esta altura se la obtiene de la suma de las siguientes sub.-alturas

Figura 21
Altura del filtro

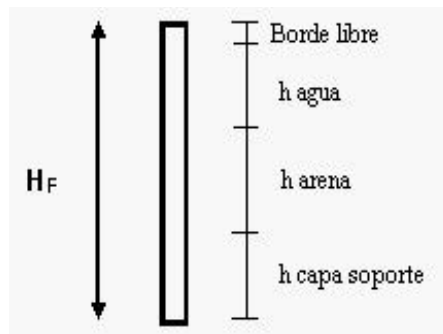


Ilustración 21. Altura total del filtro.

4.3.7. Control de la velocidad de filtración

Los filtros lentos se suelen operar con una velocidad constante de filtración. Esto se puede conseguir regulando la entrada del agua y regulando la salida.

4.3.7.1. Estructura de ingreso

- La regulación a la entrada es quizás la más simple y económica. Basta colocar a la entrada del agua cruda un vertedero de aforo y una válvula de control de flujo, para mantener un caudal constante por ajuste de dicha válvula.

- La distribución a los FLA se efectuara mediante un canal, en el cual se ubicaran compuertas manuales para poder aislar completamente una unidad, mientras la otra sigue funcionando.
- El ingreso a la caja de filtro se efectuara a mediante un vertedero rectangular tan largo como sea factible. Si el vertedero de ingreso es angosto, se colocara una losa de concreto removible para evitar escoriaciones en la superficie del medio filtrante.
- La estructura de entrada puede estar ubicada por encima del nivel máximo del lecho de arena, con el fin de prevenir que se viertan chorros de agua sobre el lecho filtrante. También puede prevenirse la ruptura del Schmutzdecke colocando losas de hormigón o de piedra natural sobre el lecho filtrante en el punto de entrada del agua cruda.
- El ancho total mínimo de la estructura de entrada puede determinarse dividiendo el flujo de diseño (m^3/h) entre 20. de esta manera la altura del agua que rebosa solo será de uno pocos centímetros, dando lugar a un flujo suave.
- En la cámara de 0.8 x 0.8m x 1m de profundidad; la velocidad de paso del agua a través de la ventana debe ser inferior a 0.10 m/s.

Figura 22
Unidades de FLA con control a la entrada

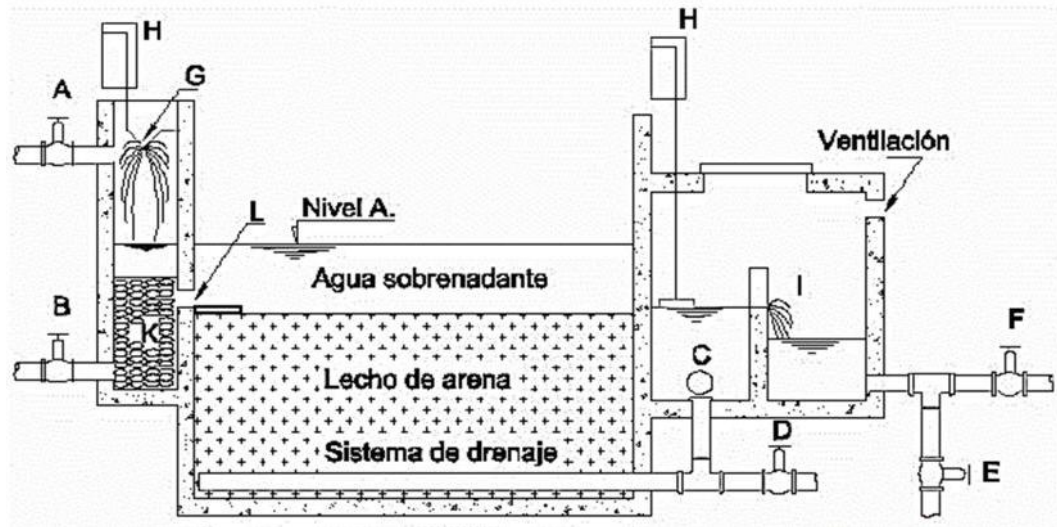


Ilustración 22. Unidades de control de un FLA.

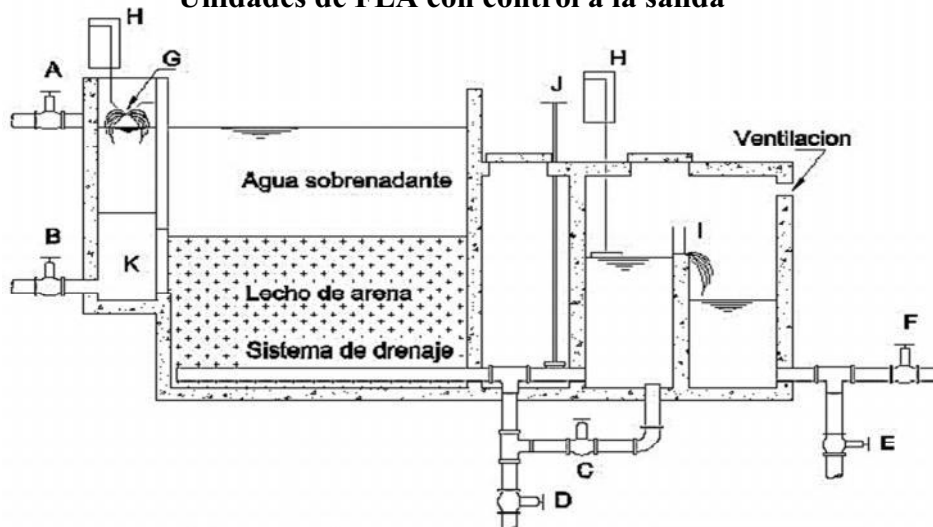
- A.** Dispositivos para controlar la entrada de agua pretratada y regular la velocidad de filtración.
- B.** Dispositivo para el drenar la capa de agua sobrenadante.
- C.** Conexión para drenar el lecho filtrante con agua limpia producida por otras unidades de filtración (FLA)
- D.** Válvula para drenar lecho filtrante.
- E.** Válvula para desechar agua tratada.
- F.** Válvula para suministrar agua tratada al tanque de contacto y posteriormente al depósito de agua limpia.
- G.** Vertedero de entrada.
- H.** Indicador calibrado de flujo.
- I.** Vertedero de salida.
- J.** Válvula para control de flujo a la salida.
- K.** Cámara de entrada al FLA.
- L.** Ventana de acceso al FLA.

4.3.7.2. Estructura de salida

- El nivel mínimo del filtro se controla mediante el vertedero de salida, el cual se debe ubicar en el mismo nivel o 10cm. por encima de la superficie del lecho filtrante. Este vertedero estará dotado por un dispositivo, el cual permanecerá cerrado durante el periodo de maduración del filtro. La finalidad de este control es la de proteger la película biológica y la proliferación excesiva de algas.
- Las cajas de salida de los filtros están interconectadas mediante una válvula o compuerta que facilita el llenado ascendente de la unidad con agua filtrada.
- Un filtro con control a la salida debe permitir la medición del flujo a través del lecho filtrante, mediante una válvula de control a la salida que permita ajustar la velocidad de filtración cerrando gradualmente el flujo de salida del filtro.
- El control del nivel máximo dentro de la caja del filtro se efectúa mediante un vertedero de alivio. El filtro llega a su máxima pérdida de carga al alcanzar el nivel máximo. En ese momento el agua de la capa sobrenadante empieza a rebosar por el aliviadero hacia la cámara de desagüe.
- Cada filtro cuenta con una cámara de desagüe, la cual se comunica con la respectiva cámara de salida, mediante una válvula o compuerta. Las cámaras pueden intercomunicarse por un ducto debajo de la cámara de agua tratada, para disponer en forma conjunta.

Figura 23

Unidades de FLA con control a la salida



- A. Dispositivos para controlar la entrada de agua pretratada y regular la velocidad de filtración.
- B. Dispositivo para el drenar la capa de agua sobrenadante.
- C. Conexión para drenar el lecho filtrante con agua limpia producida por otras unidades de filtración (FLA)
- D. Válvula para drenar lecho filtrante.
- E. Válvula para desechar agua tratada.
- F. Válvula para suministrar agua tratada al tanque de contacto y posteriormente al depósito de agua limpia.
- G. Vertedero de entrada.
- H. Indicador calibrado de flujo.
- I. Vertedero de salida.
- J. Válvula para control de flujo a la salida.
- K. Cámara de entrada al FLA.
- L. Ventana de acceso al FLA.

4.3.7.3. Dispositivos de medición del flujo

En la las plantas de filtración lenta en arena, es necesario medir el flujo que atraviesa los filtros con el fin de regular la tasa de filtración de acuerdo a un valor prefijado.

Las mediciones de flujo pueden llevarse a cabo en tuberías cerradas por medio de Venturi metros u otros dispositivos, pero se hace mejor en canales abiertos con vertederos aforadores. Los vertederos proveen un sistema bueno y sencillo de medición de flujo. Se basan en el principio de que el flujo que pasa sobre el vertedero en un canal abierto depende de la profundidad del agua sobre la cresta del vertedero.

En la figura se dan algunos tipos posibles de vertederos junto con sus ecuaciones de descarga.

Figura 24
Vertederos y ecuaciones de descarga

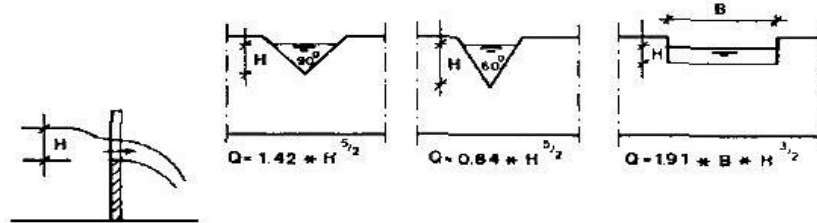


Ilustración 24 Vertederos y sus ecuaciones de descarga

Los vertederos pueden construirse de madera, pero una estructura de hormigón con una plancha de acero dará lecturas más precisas. Un vertedero triangular de 90° es muy adecuado para lecturas precisas cuando se trata de caudales bajos. Un vertedero flotante depende del diámetro de la tubería efluente y la distancia entre el nivel del agua y la cresta de la tubería efluente. Esta distancia tiene que ser ajustada de acuerdo al flujo deseado.

4.3.8. Resumen de parámetros de diseño de un FLA

En base a toda la información obtenida, en el siguiente cuadro se presenta un resumen acerca de los parámetros de diseño de un filtro lento de arena.

Cuadro 18
Resumen de parámetros de diseño de un FLA

PARAMETROS	UNIDADES	VALORES	SIMBOLO
Turbiedad			
Velocidad de filtración	UNT	< 25	T
Área máxima de c/unidad	m/h	0.10 – 0.30	V_f
Número mínimo de unidades	m ²	10 - 100	A_f
Borde libre	---	2	N
Altura de agua sobrenadante	m	0.20 – 0.40	H_{BL}
Altura del lecho filtrante	m	0.80 – 1.50	H_{agua}
Diámetro efectivo	m	0.80 – 1.40	H_{LF}
Coefficiente de uniformidad	mm	0.15 – 0.30	D_{10}
Altura de la capa de soporte	----	2 - 4	CU
Altura del drenaje	m	0.30 – 0.50	H_{CS}
Altura total del filtro	m	0.15 – 0.50	H_5
Tipo de operación	m	1.90 - 4	A_{TF}
Arena de filtro	---	Tasa cte	---
Funcionamiento	m ²	5 - 200 por filtro	---
Periodo de diseño	---	24 hr continuas	---
	años	10 - 25	---

Tabla 18 Resumen de los para metros de diseño

Fuente: Elaboración en base a NB – 512

4.4. INFORMACION GENERAL DEL PROYECTO

4.4.1. Información existente

Actualmente la comunidad de Santa Ana la Vieja cuenta con un Sistema de Agua Segura deficiente, que no llega a satisfacer la demanda existente. Es por este motivo que se viene realizando este proyecto de grado para su posterior implementación.

En cuanto a los trabajos que se viene realizando en la zona del proyecto son: la implementación de una nueva red mediante tecnología de bombeo, para satisfacer la demanda de la comunidad, porque el sistema actual que viene de San Agustín no abastece para el consumo humano, respecto al riego se puede mencionar que la gobernación de Tarija por medio del proyecto múltiple San Jacinto y los comuneros de la zona ya implementaron un sifón para beneficiar a más de 30 familias, permitiendo el riego de aproximadamente 60 hectáreas agrícolas, el sifón consta de aproximadamente medio kilómetro.

4.4.2. Tipo de proyecto

El diseño de la planta de potabilización de agua mediante filtros lentos se lo realizara por gravedad en la comunidad de Santa Ana la Vieja, ya que la fuente de agua es superficial la misma que proviene de San Agustín.

4.4.3. Localización del proyecto

a) Ubicación.

En cuanto a la ubicación del proyecto, en anexos se muestran gráficos ilustrativos dentro del contexto nacional, local y cartografía del sitio de emplazamiento.

El proyecto beneficia a la población de Santa Ana la Vieja, la misma que pertenece al municipio de Tarija, que a su vez se encuentra dentro de la Provincia Cercado Primera Sección del departamento de Tarija.

La comunidad de Santa Ana la Vieja está situada entre los 21° 20' 00" de latitud sur y los 64° 45' 00" de longitud oeste.

b) Acceso a la zona.

La vía principal de acceso a la comunidad de Santa Ana la Vieja cuenta con pavimento flexible, la misma que se encuentra en la actualidad en permanente estado de funcionamiento. En cuanto al acceso a la zona del proyecto la vía no está pavimentada pero esta empedrada.

La distancia recorrida desde la ciudad de Tarija hasta la comunidad beneficiada es de 26 Km. de los cuales 17 Km. son de Tarija- al cruce, 9 Km. Del cruce-Santa Ana la Vieja, y 3 km aproximadamente de la comunidad beneficiada a la zona del proyecto.

El tiempo aproximado de recorrido desde la ciudad de Tarija hasta la comunidad de Santa Ana la Vieja es de 25 a 30 minutos.

c) Selección del sitio de ubicación

La planta de tratamiento de agua a proyectar será ubicada después del filtro grueso dinámico que ya posee gracias a la comunidad de San Agustín y antes del tanque de almacenamiento. Esto es debido a que el filtro dinámico grueso reducirá la turbiedad durante todo el año, más en tiempos de lluvia, por lo tanto el ingreso del agua a los filtros lentos será con menor grado de turbiedad y contenido de sólidos bajos, para así obtener un excelente funcionamiento del FLA.

La ubicación del FLA estará aproximadamente 100 m aguas abajo de la actual obra de toma. Lo cual facilitara su posterior construcción, operación y mantenimiento. Este lugar se encuentra a unos 3 km de la comunidad de Santa Ana la Vieja.

4.4.4. Descripción física del área del proyecto

El área del proyecto presenta un clima fresco, con poco o ningún exceso de agua, con una extensa vegetación compuesta por árboles, arbustos y viñedos.

La comunidad de Santa Ana la Vieja presenta un periodo medio libre de heladas, lo que se puede indicar que el periodo de ocurrencia de la primera helada esta alrededor del 20 de mayo y la última a fines de agosto.

La altitud promedio de la comunidad es de 1800 m.s.n.m.

Los suelos de la zona del proyecto, fisiográficamente se encuentran sobre aluviones, terrazas aluviales, de los cuales son derivados de lutitas, areniscas y cuarcitas. Son suelos profundos moderadamente bien drenados, no presentan problemas de erosión significativa. Presenta un nivel de fertilidad medio, lo cual indica que es un suelo apto tanto para la agricultura como para la ganadería.

En cuanto al relieve topográfico es plano o casi plano.

Los recursos hídricos existentes en la zona del proyecto, corresponde a aguas superficiales, desembocando sus aguas en el río Guadalquivir.

4.5. ESTUDIOS SOCIOECONÓMICOS

4.5.1. Aspectos Demográficos

a) Población actual

El sistema de agua segura de Santa Ana la Vieja abarca a la comunidad del mismo nombre incluyendo a sus alrededores cuyo número de beneficiarios es bastante elevado.

Por otra parte en el desarrollo de la elaboración del diseño se incluirá a toda la comunidad de Santa Ana la Vieja, ya que dicha comunidad es el centro de estudio del agua que aprovisiona de San Agustín y a toda la población de Santa Ana la Vieja.

Para la determinación de la población actual se la determino de la siguiente manera:

Según información obtenida en el Instituto Nacional de Estadística “INE” sobre la población de la comunidad beneficiada, a determinar que la población actual es. (ver cuadro 19).

Cuadro 19

Datos comparados de población actual

DESCRIPCION	FUENTE DE INFORMACION	
	Censo INE 2012	Censo del proyectista
Población Total	730	650
Hombres	346	315
Mujeres	384	335
Nº Familias	146	144
Tamaño promedio familia	5	4.5
Nº Viviendas	146	155
Conexiones eléctricas	Si	Si

Tabla 19 Datos de comparación de habitantes Santa Ana.

FUENTE: Elaboración propia.

Por lo tanto la población total actual de la comunidad de Santa Ana la Vieja será:

Cuadro 20

Datos de población actual

COMUNIDAD SANTA ANA LA VIEJA				
H	M	TOTAL	Nº FAM	HAB/FAM
315	335	650	144	5

Tabla 20 Datos de población actual.

b) Tipo de población

La comunidad de Santa Ana la Vieja tiene una población concentrada, ya que la distancia media entre casas es menor de 70 m.

c) Índice de crecimiento poblacional

El índice de crecimiento es de $i = 3.27 \%$, valor obtenido del Diagnóstico del Municipio de Cercado.

4.5.2. Aspectos socioeconómicos

a) Características de la comunidad

En base a las reuniones realizadas por mi persona que asistí pude notar que hay mucha expectativa con el proyecto de mejoramiento del sistema de agua segura, debido a la escasez del agua y porque va a permitir a los comuneros que en sus hogares cuenten con baños higiénicos, evitando enfermedades hídricas que significan gastos para las familias, A la vez se podrá urbanizar la zona y la venta de lotes será más ventajosa y surgirán nuevas viviendas.

Los pobladores están de acuerdo con todos aquellos proyectos que benefician a su comunidad, lo que se puede deducir que aceptarían el proyecto de Filtros Lentos de arena.

b) Salud

La comunidad de Santa Ana la Vieja no cuenta con un Centro de Salud, las atenciones médicas se las realizan en el centro de salud de la comunidad

La Pintada el cual se encuentra bien equipado, con un personal de dos profesionales tanto médicos como enfermeras.

Sin embargo por la cercanía a la ciudad de Tarija algunas familias prefieren costear sus gastos en la ciudad de Tarija.

Según el diagnóstico del Centro de Salud de la comunidad, la principal enfermedad es de origen hídrico.

Debido al consumo de agua contaminada, que es la que usan en la actualidad los pobladores de la zona, la comunidad presenta altos porcentajes de enfermedades diarreicas agudas, especialmente en la población infantil.

c) Servicios de saneamiento básico

En cuanto a los servicios básicos como alcantarillado y energía eléctrica, según datos proporcionados por el Sr. Victor Gareca corregidor de la comunidad, actualmente el 65% de las familias cuentan con los servicios básicos de alcantarillado, el 68% de las familias cuenta con instalación domiciliaria de agua segura y el 86 % cuenta con energía eléctrica.

Disponibilidad de agua

Santa Ana la Vieja en la actualidad cuenta con un sistema de agua segura, el cual se considera que ha cumplido con su periodo de diseño puesto que ya no llega a abastecer a toda la población de la comunidad. A su vez no cuenta con una planta de tratamiento de agua específicamente Filtro Lento de Arena.

d) Características socio culturales de la población

Entre las fiestas más importantes para la comunidad de Santa Ana la Vieja esta la fiesta de la comunidad el 30 de Agosto. Son también importantes y tradicionales las ferias educativas organizadas por la escuela de la comunidad.

e) Disponibilidad de materiales de construcción locales

En cuanto a los materiales de construcción del FLA como el cemento, ladrillo, tuberías, accesorios para tuberías, válvulas, etc. se deberán traer de la ciudad de Tarija puesto que en la comunidad no cuentan con estos materiales.

Después de realizadas los cálculos de gabinete acerca de la granulometría de las muestra de los diferentes bancos de arena (Santa Ana, Rio Guadalquivir, Rio Yesera) se determinó que la arena del rio Yesera está dentro de los parámetros requeridos por

la norma boliviana, la cual es apta para los filtros lentos de arena. La muestra seleccionada se obtendrá aguas arriba, donde actualmente está situada la toma de agua.

4.6. PRUEBAS PRELIMINARES DE LABORATORIO

4.6.1. Laboratorio de Química

a) Prueba microbiológica y físico química

Los parámetros más comunes que se manejan para el diseño de una planta de tratamiento para potabilización de agua son la Turbiedad y los Coliformes Fecales (*Escherichia Coli*).

Es por este motivo que se sacó una muestra de agua de la zona del proyecto, específicamente diez metros aguas abajo de la toma de agua (ver anexos). Para ser analizadas y realizar las pruebas microbiológicas y físicas de la muestra líquida.

4.6.2. Laboratorio de suelos

a. Determinación de la Granulometría del Medio Filtrante

Para la realización de la granulometría para el medio filtrante, se sacó tres muestras representativas de diferentes bancos de arena como ser: del río Guadalquivir, río Yesera y río Santa Ana, para que de este modo podamos obtener la curva granulométrica que nos mostrará la distribución de tamaños que presenta la arena existente en cada lugar.

Las tres muestras se realizaron el análisis granulométrico en el laboratorio de suelos de la Universidad “U.A.J.M.S.” cuyo procedimiento es el siguiente:

- La muestra debe ser representativa, extensa de piedras de mayor tamaño, lo cual se obtiene por cuarteo.
- Se lavó las muestras en la malla N° 200 cuidadosamente con la finalidad de que todos los finos (limo, arcilla, materia orgánica) pasen por la malla.
- Se secaron las tres muestras en el horno a una temperatura de 105 °C, para que posteriormente sean pesadas menos de 1000 gr cada una.

- Colocar cada muestra en el juego de tamices desde el tamaño correspondiente al tamaño máximo que es el número 3/8" hasta el tamiz N° 200 que llega hacer la base.
- Se agitó todo el juego de mallas, horizontalmente con movimientos de rotación y verticalmente con golpes de vez en cuando, por el tiempo de 20 minutos, para el agitado de las mallas se utilizó el aparato mecánico de agitador Rot-Tap.
- Quitar la tapa y separar las mallas, vaciando la fracción de arena que haya sido retenida en ellas sobre un plato de aluminio bien limpio, las partículas que se quedaron trancados entre los hilos de la malla no se las forzó a pasar a través de ella; Inviértase el tamiz y con la ayuda de una brocha se las desprendió y agregó a los depósitos del plato.
- Se pesó cuidadosamente las fracciones de la muestra retenidas en cada malla y en la base del fondo, todos los pesos retenidos se anotó en un registro para obtener nuestras curvas de granulométricas.

El equipo utilizado en el laboratorio de suelos es el siguiente:

- Balanza sensible a los 0.1 gramos.
- Juego de tamices 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200
- Horno de temperatura constante de 105°C
- Brocha para limpiar los tamices.
- Plato de aluminio.
- Vibrador mecánico Rot-Tap para tamices.

La representación gráfica de las tres curvas de las distribuciones granulométricas de las arenas, se relacionan los porcentajes que pasan las porciones de partículas obtenidas en el análisis por tamices con respecto al peso total.

Se construye las curvas en papel semilogarítmico, los porcentajes de escala aritmética y los diámetros en escala logarítmica como se muestra a continuación en el capítulo V.

CAPITULO V

CAPITULO V: CALCULOS Y RESULTADOS

Para este proyecto, los datos son obtenidos en el lugar de proyecto, para lo cual se indica en tablas y en los cálculos que es como sigue en los cálculos de gabinete siguientes.

UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES

proyecto: FILTROS LENTOS EN ARENAS

Procedencia: Rio Guadalquivir

Muestra n°: 1

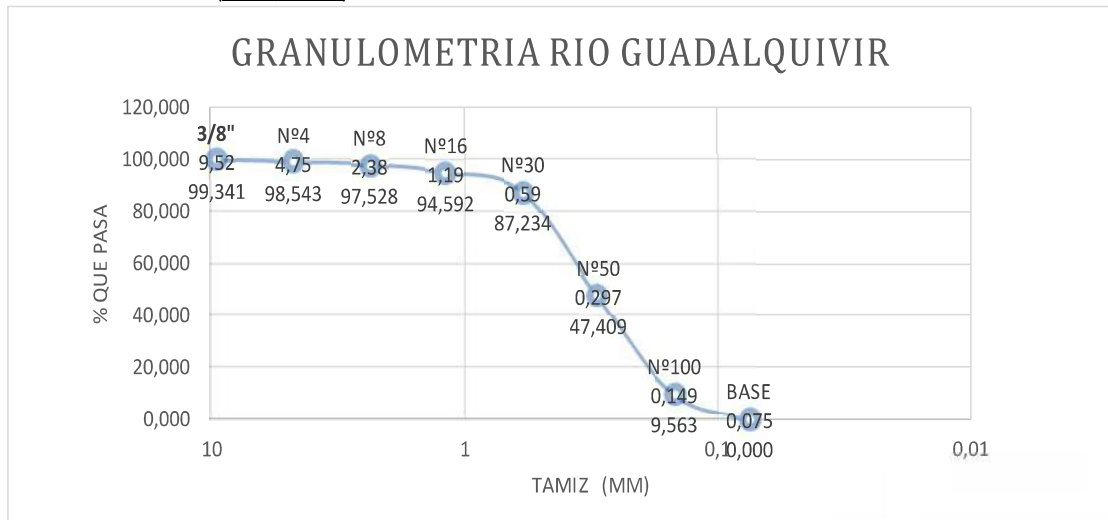
GRANULOMETRIA AGREGADO FINO

LABORATORISTA: Egr. Nilton Arnoldy Lugo Aizama

Peso total en gramos:							1000
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RET. (gr.)	(%) RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr.) (%)		(%) QUE PASA DEL TOTAL	LOGARITMO di
3/8"	9,52	6,59	0,659	6,59	0,66	99,341	9,3
N°4	4,75	7,98	0,798	14,57	1,46	98,543	6,43
N°8	2,38	10,15	1,015	24,72	2,47	97,528	3,58
N°16	1,19	29,36	2,936	54,08	5,41	94,592	0,72
N°30	0,59	73,58	7,358	127,66	12,77	87,234	-2,18
N°50	0,297	398,25	39,825	525,91	52,59	47,409	-5,01
N°100	0,149	378,46	37,846	904,37	90,44	9,563	-7,86
BASE	0,075	95,63	9,563	1000	100,00	0,000	-10,7
SUMAS		1000,00					
PERDIDAS		0,00					

L(cm)= 20

e= 9,508



Pasa tamiz N° 4 (4,75 mm):

10,15 %

Pasa tamiz N° 200 (0,075 mm):

95,63 %

D85:

0,574 mm

D60:

0,390 mm

D50 Tamaño medio geométrico (μ):

0,316 mm

D30:

0,229 mm

D16:

0,174 mm

D10 (diámetro efectivo):

0,151 mm

Coefficiente de uniformidad (C_u):

2,583 Uniforme <3

Coefficiente de curvatura (C_c):

0,890 Bien Gradado

Desviacion geométrica estandar (σ):

1,816

$$e = \frac{L}{\log di - \log dn}$$

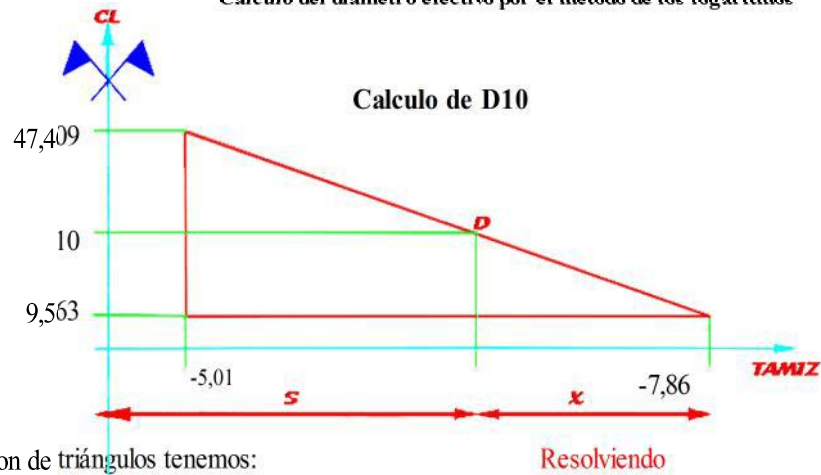
$$di = \log \phi * e$$

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$$

$$\sigma_g = \frac{D_{50}^{\sigma}}{D_{10}}$$

Cálculo del diámetro efectivo por el método de los logaritmos



$$\frac{47,409 - 9,563}{-5,01 - -7,86} = \frac{10 - 9,563}{X} \quad x = 0,033$$

Para S tenemos

$$S = -7,86 + 0,03$$

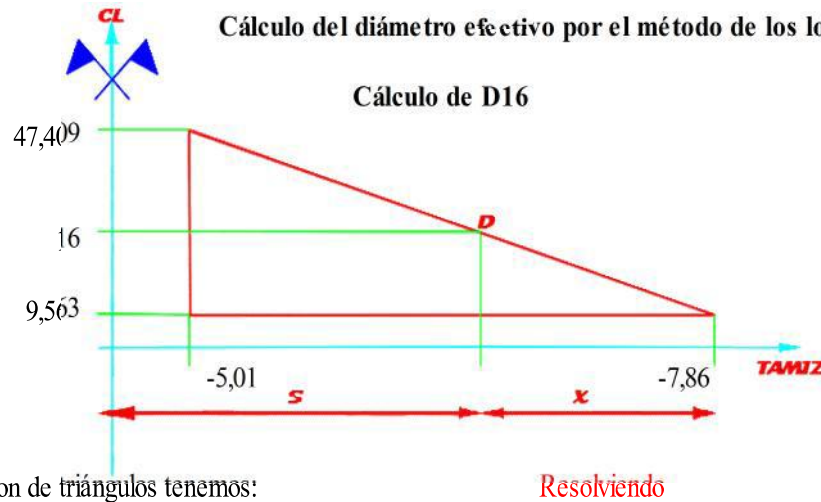
$$S = -7,827$$

Usando la fórmula

$$di = \log \phi * e \quad S = \log(D1) * e$$

Despejando D10 tenemos:

$$D1 = \text{Antilog}\left(\frac{S}{e}\right) \quad \mathbf{D10 = 0,150 \text{ mm}}$$



$$\frac{47,409 - 9,563}{-5,01 - -7,86} = \frac{16 - 9,563}{X} \quad x = 0,485$$

Para S tenemos

$$S = -7,86 + 0,49$$

$$S = -7,375$$

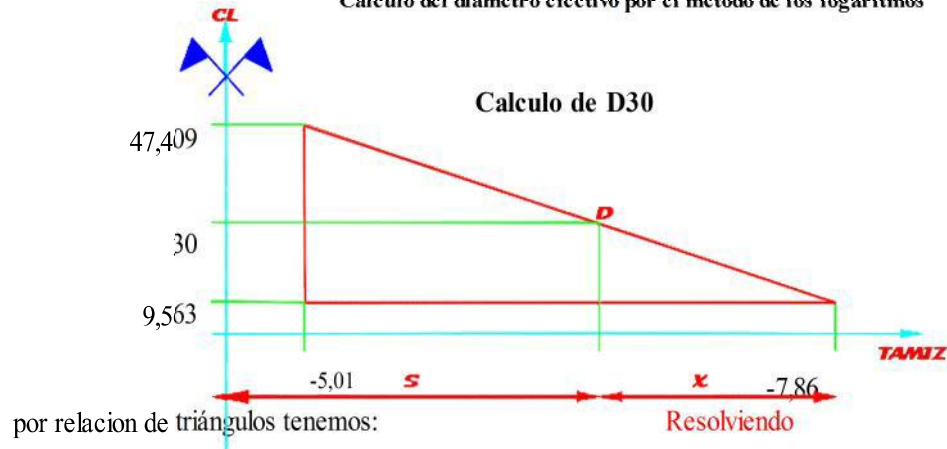
Usando la fórmula

$$di = \log \phi * e \quad S = \log(D1) * e$$

Despejando D10 tenemos:

$$D1 = \text{Antilog}\left(\frac{S}{e}\right) \quad \mathbf{D16 = 0,168 \text{ mm}}$$

Cálculo del diámetro efectivo por el método de los logaritmos



$$\frac{47,409 - 9,563}{-5,01 - -7,86} = \frac{30 - 9,563}{X} \quad x = 1,539$$

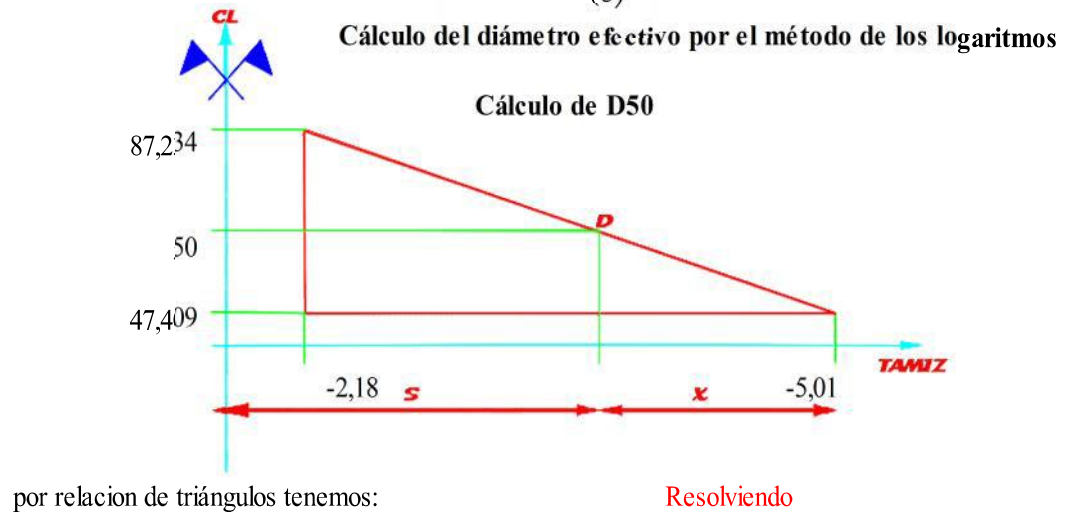
Para S tenemos

$$S = -7,86 + 1,54$$

$$S = -6,321$$

Usando la fórmula $di = \log \emptyset * e$ $S = \log(D1) * e$

Despejando D10 tenemos: $D3 = \text{Antilog}\left(\frac{S}{e}\right)$ **D30 = 0,216 mm**



$$\frac{87,234 - 47,41}{-2,18 - -5,01} = \frac{50 - 47,41}{X} \quad x = 0,184$$

Para S tenemos

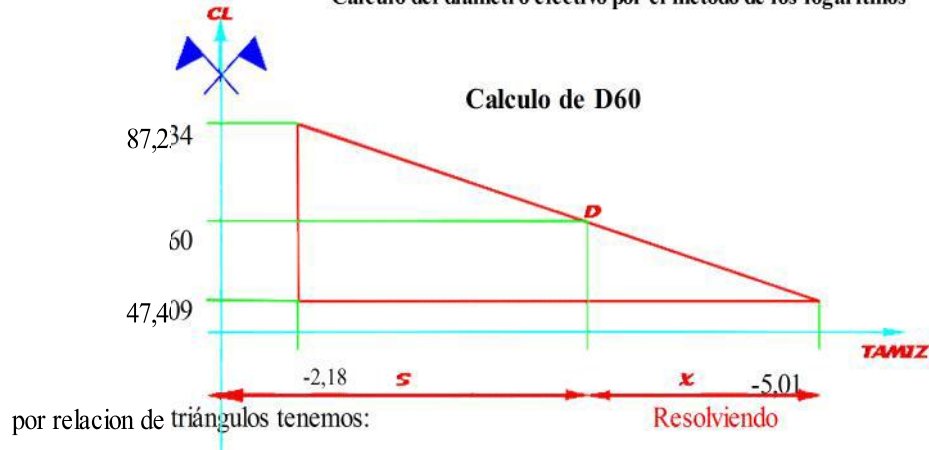
$$S = -5,01 + 0,18$$

$$S = -4,826$$

Usando la fórmula $di = \log \emptyset * e$ $S = \log(D1) * e$

Despejando D10 tenemos: $D5 = \text{Antilog}\left(\frac{S}{e}\right)$ **D50 = 0,311 mm**

Cálculo del diámetro efectivo por el método de los logaritmos



$$\frac{87,234 - 47,41}{-2,18 - -5,01} = \frac{60 - 47,41}{X} \quad x = 0,895$$

Para S tenemos

$$S = -5,01 + 0,9$$

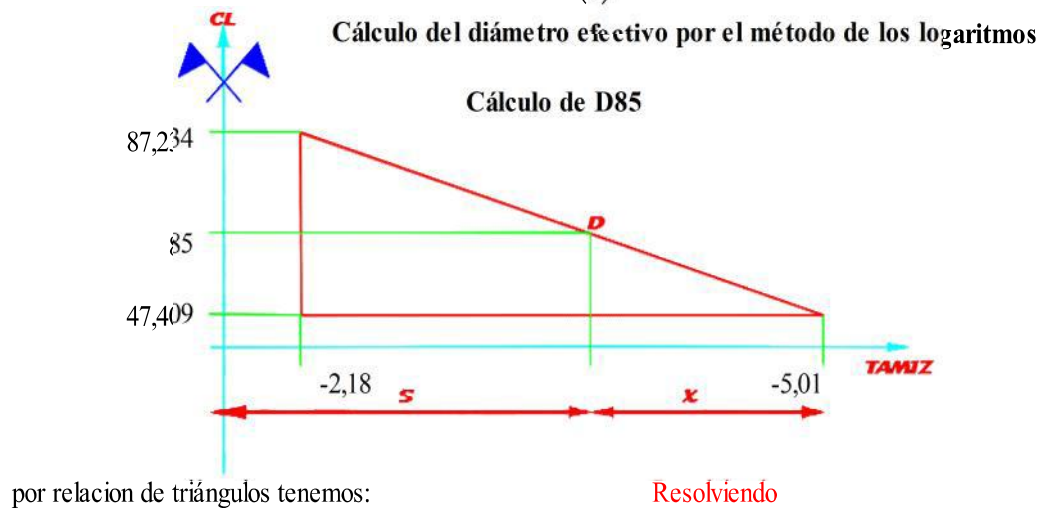
$$S = -4,115$$

Usando la fórmula

$$di = \log \phi * e \quad S = \log(D1) * e$$

Despejando D10 tenemos:

$$D\epsilon = \text{Antilog}\left(\frac{S}{e}\right) \quad D60 = 0,369 \text{ mm}$$



$$\frac{87,234 - 47,41}{-2,18 - -5,01} = \frac{85 - 47,41}{X} \quad x = 2,671$$

Para S tenemos

$$S = -5,01 + 2,671$$

$$S = -2,339$$

Usando la fórmula

$$di = \log \phi * e \quad S = \log(D1) * e$$

Despejando D10 tenemos:

$$D\epsilon = \text{Antilog}\left(\frac{S}{e}\right) \quad D85 = 0,568 \text{ mm}$$

UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES

proyecto: FILTROS LENTOS EN ARENAS

Procedencia: Rio Santa Ana

Muestra n°: 2

GRANULOMETRIA AGREGADO FINO

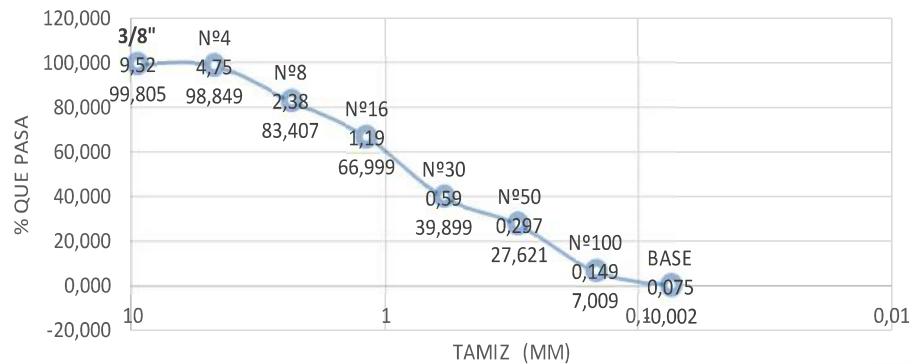
LABORATORISTA: Egr. Nilton Arnoldy Lugo Aizama

Peso total en gramos:							1025
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RET. (gr.)	(%) RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr.) (%)		(%) QUE PASA DEL TO TAL	LOGARITMO di
3/8"	9,52	2	0,195	2	0,20	99,805	9,3
N°4	4,75	9,8	0,956	11,8	1,15	98,849	6,43
N°8	2,38	158,35	15,442	170,15	16,59	83,407	3,58
N°16	1,19	168,25	16,408	338,4	33,00	66,999	0,72
N°30	0,59	277,89	27,100	616,29	60,10	39,899	-2,18
N°50	0,297	125,9	12,278	742,19	72,38	27,621	-5,01
N°100	0,149	211,36	20,612	953,55	92,99	7,009	-7,86
BASE	0,075	71,89	7,011	1025,44	100,00	-0,002	-10,7
SUMAS		1025,44					
PERDIDAS		-0,44					

L(cm)= 20

e= 9,508

GRANULOMETRIA RIO SANTA ANA



Pasa tamiz N° 4 (4,75 mm):

158,35 %

Pasa tamiz N° 200 (0,075 mm):

71,89 %

D85:

2,624 mm

D60:

1,035 mm

D50 Tamaño medio geométrico (μ):

0,814 mm

D30:

0,354 mm

D16:

0,214 mm

D10 (diámetro efectivo):

0,170 mm

Coefficiente de uniformidad (Cu):

6,088 No Uniforme >3

Coefficiente de curvatura (Cc):

0,712 Bien Gradado

Desviacion geométrica estandar (σ):

3,804

$$e = \frac{L}{\log di - \log dn}$$

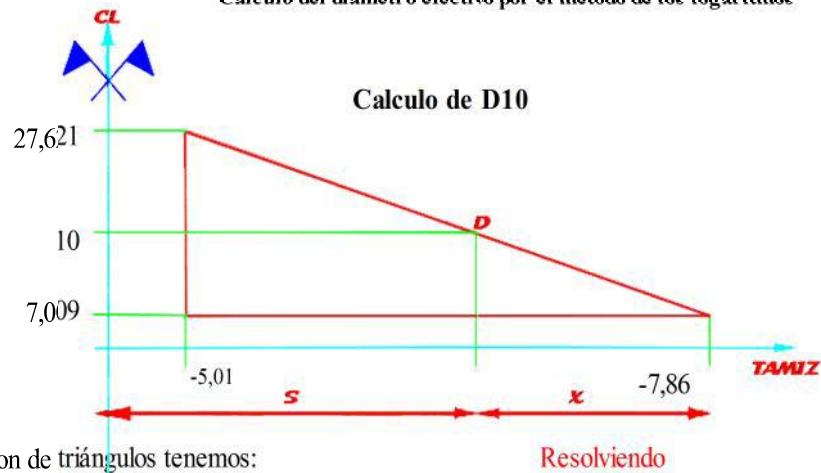
$$di = \log \phi * e$$

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

$$Cc = \frac{D30^2}{D60 * D10}$$

$$\sigma_g = \frac{D50}{D10}$$

Cálculo del diámetro efectivo por el método de los logaritmos



$$\frac{27,621 - 7,009}{-5,01 - -7,86} = \frac{10 - 7,009}{X} \quad x = 0,414$$

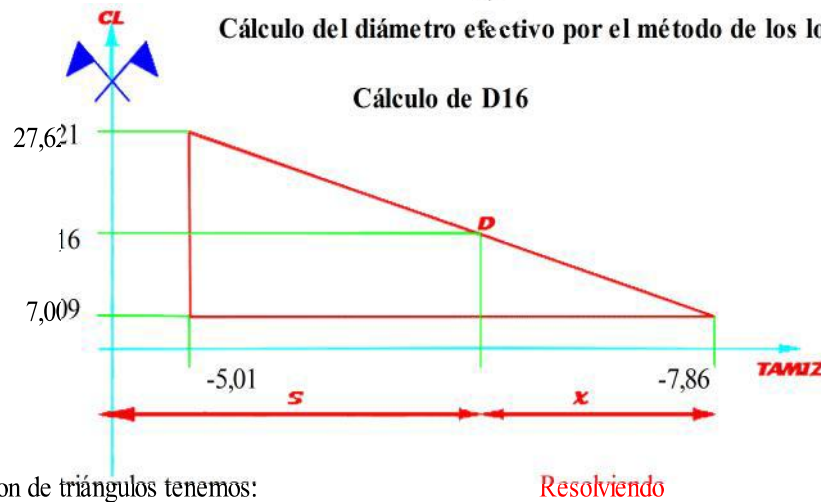
Para S tenemos

$$S = -7,86 + 0,41$$

$$S = -7,446$$

Usando la fórmula $di = \log \phi * e$ $S = \log(D1) * e$

Despejando D10 tenemos: $D1 = \text{Antilog}\left(\frac{S}{e}\right)$ **D10 = 0,165 mm**



$$\frac{27,621 - 7,009}{-5,01 - -7,86} = \frac{16 - 7,009}{X} \quad x = 1,243$$

Para S tenemos

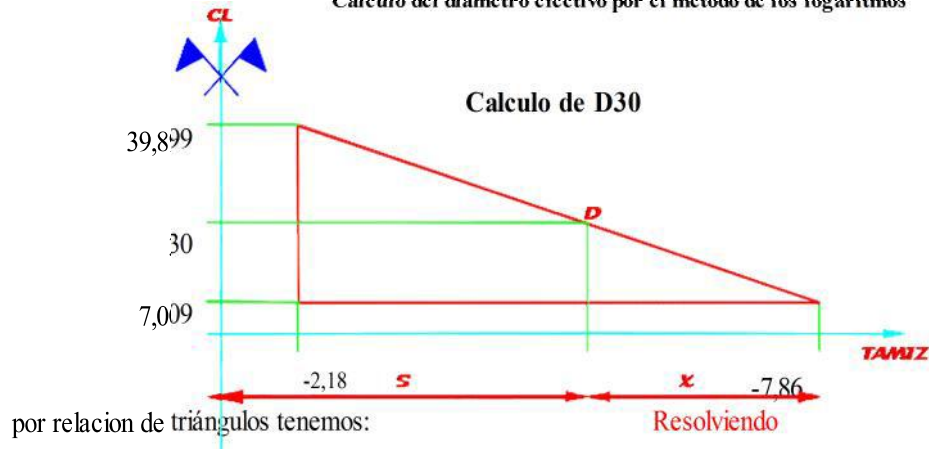
$$S = -7,86 + 1,24$$

$$S = -6,617$$

Usando la fórmula $di = \log \phi * e$ $S = \log(D1) * e$

Despejando D10 tenemos: $D1 = \text{Antilog}\left(\frac{S}{e}\right)$ **D16 = 0,201 mm**

Cálculo del diámetro efectivo por el método de los logaritmos



$$\frac{39,899 - 7,009}{-2,18 - -7,86} = \frac{30 - 7,009}{X} \quad x = 3,97$$

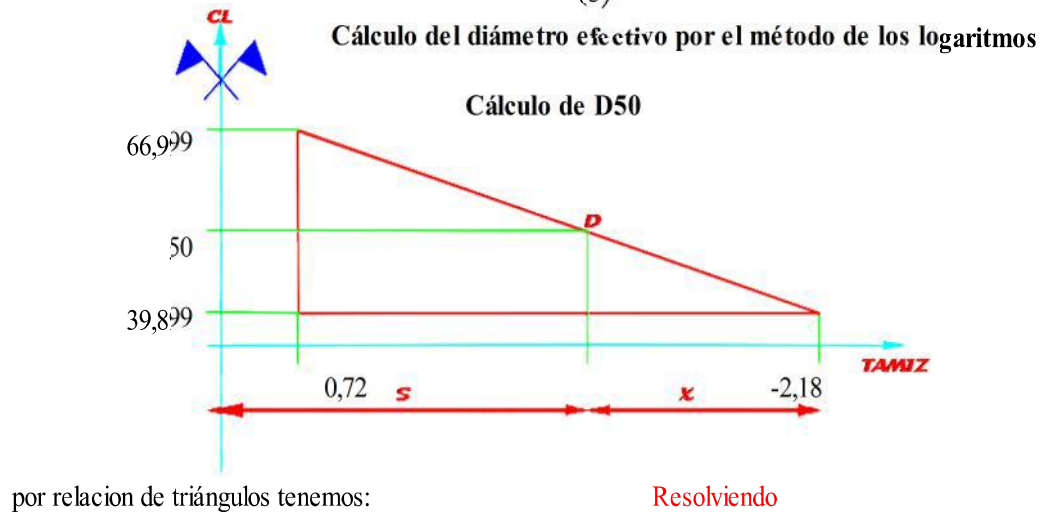
Para S tenemos

$$S = -7,86 + 3,97$$

$$S = -3,89$$

Usando la fórmula $di = \log \phi * e$ $S = \log(D1) * e$

Despejando D10 tenemos: $D\frac{S}{e} = \text{Antilog}\left(\frac{S}{e}\right)$ **D30 = 0,390 mm**



$$\frac{66,999 - 39,9}{0,72 - -2,18} = \frac{50 - 39,9}{X} \quad x = 1,081$$

Para S tenemos

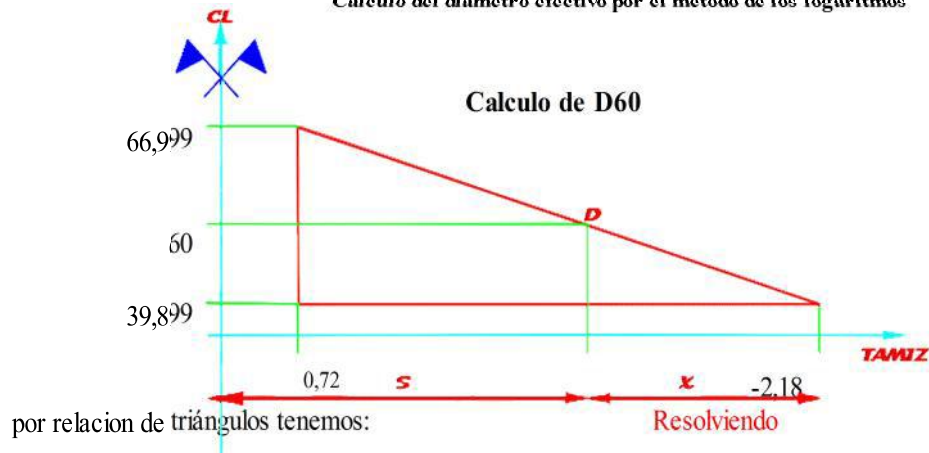
$$S = -2,18 + 1,08$$

$$S = -1,099$$

Usando la fórmula $di = \log \phi * e$ $S = \log(D1) * e$

Despejando D10 tenemos: $D\frac{S}{e} = \text{Antilog}\left(\frac{S}{e}\right)$ **D50 = 0,766 mm**

Cálculo del diámetro efectivo por el método de los logaritmos



$$\frac{66,999 - 39,9}{0,72 - -2,18} = \frac{60 - 39,9}{X} \quad x = 2,151$$

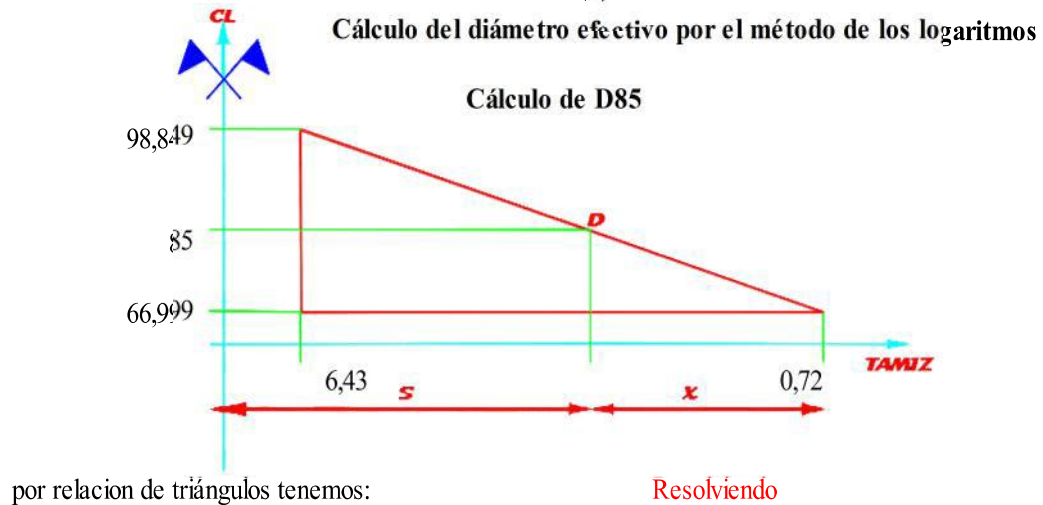
Para S tenemos

$$S = -2,18 + 2,15$$

$$S = -0,029$$

Usando la fórmula $di = \log \phi * e$ $S = \log(D1) * e$

Despejando D10 tenemos: $D\epsilon = \text{Antilog}\left(\frac{S}{e}\right)$ **D60 = 0,993 mm**



$$\frac{98,849 - 67}{6,43 - 0,72} = \frac{85 - 67}{X} \quad x = 3,227$$

Para S tenemos

$$S = 0,72 + 3,227$$

$$S = 3,947$$

Usando la fórmula $di = \log \phi * e$ $S = \log(D1) * e$

Despejando D10 tenemos: $D\epsilon = \text{Antilog}\left(\frac{S}{e}\right)$ **D85 = 2,601 mm**

UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES

proyecto: FILTROS LENTOS EN ARENAS

Procedencia: Rio Yesera

Muestra n°: 3

GRANULOMETRIA AGREGADO FINO

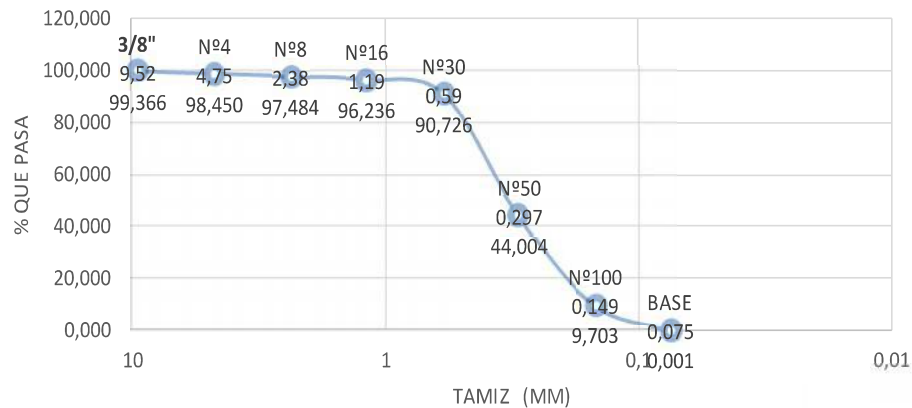
LABORATORISTA: Egr. Nilton Arnoldy Lugo Aizama

Peso total en gramos:							997
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RET. (gr.)	(%) RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr.) (%)		(%) QUE PASA DEL TOTAL	LOGARITMO di
3/8"	9,52	6,3	0,634	6,3	0,63	99,366	9,3
N°4	4,75	9,1	0,916	15,4	1,55	98,450	6,43
N°8	2,38	9,6	0,966	25	2,52	97,484	3,58
N°16	1,19	12,4	1,248	37,4	3,76	96,236	0,72
N°30	0,59	54,75	5,510	92,15	9,27	90,726	-2,18
N°50	0,297	464,21	46,722	556,36	56,00	44,004	-5,01
N°100	0,149	340,8	34,301	897,16	90,30	9,703	-7,86
BASE	0,075	96,4	9,702	993,56	100,00	0,001	-10,7
SUMAS		993,56					
PERDIDAS		3,44					

L(cm)= 20

e= 9,508

GRANULOMETRIA RIO YESERA



Pasa tamiz N° 4 (4,75 mm):

9,60 %

Pasa tamiz N° 200 (0,075 mm):

96,40 %

D85:

0,554 mm

D60:

0,397 mm

D50 Tamaño medio geométrico (μ):

0,335 mm

D30:

0,237 mm

D16:

0,176 mm

D10 (diámetro efectivo):

0,150 mm

Coefficiente de uniformidad (C_u):

2,647 Uniforme <3

Coefficiente de curvatura (C_c):

0,943 Bien Gradado

Desviacion geométrica estandar (σ):

1,903

$$e = \frac{L}{\log di - \log dn}$$

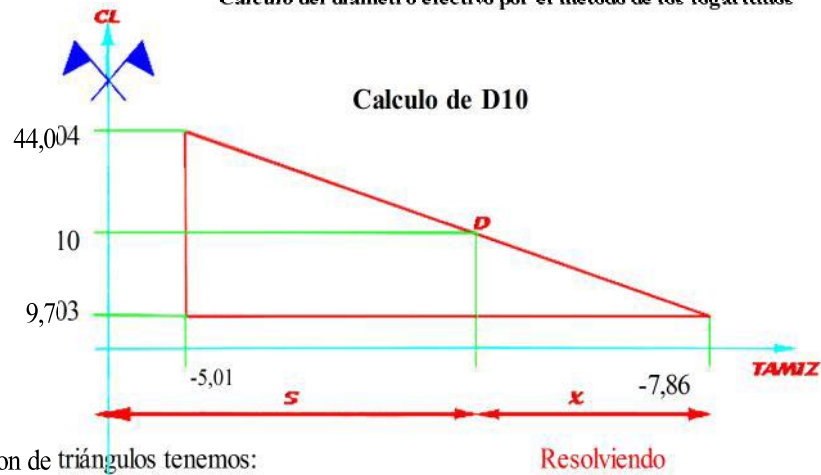
$$di = \log \phi * e$$

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

$$Cc = \frac{D30^2}{D60 * D1}$$

$$\sigma_g = \frac{D50}{D1}$$

Cálculo del diámetro efectivo por el método de los logaritmos

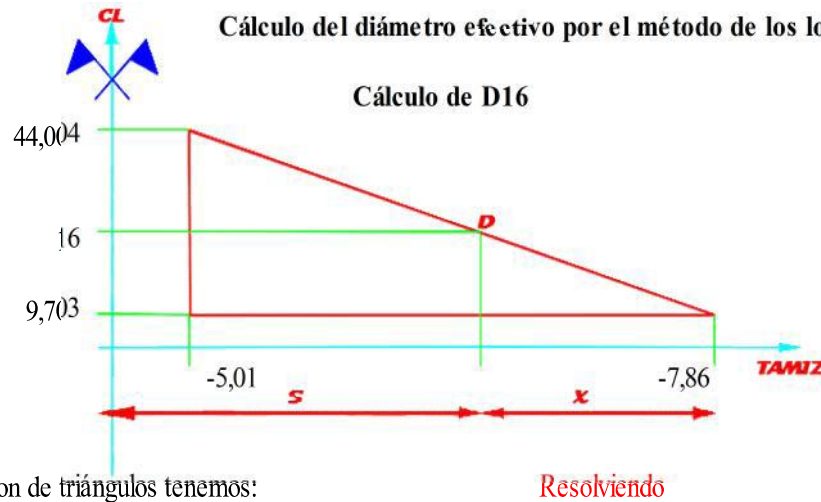


$$\frac{44,004 - 9,703}{-5,01 - -7,86} = \frac{10 - 9,703}{X} \quad x = 0,025$$

Para S tenemos $S = -7,86 + 0,03$
 $S = -7,835$

Usando la fórmula $di = \log \phi * e \quad S = \log(D1) * e$

Despejando D10 tenemos: $D1 = \text{Antilog}\left(\frac{S}{e}\right) \quad D10 = 0,150 \text{ mm}$



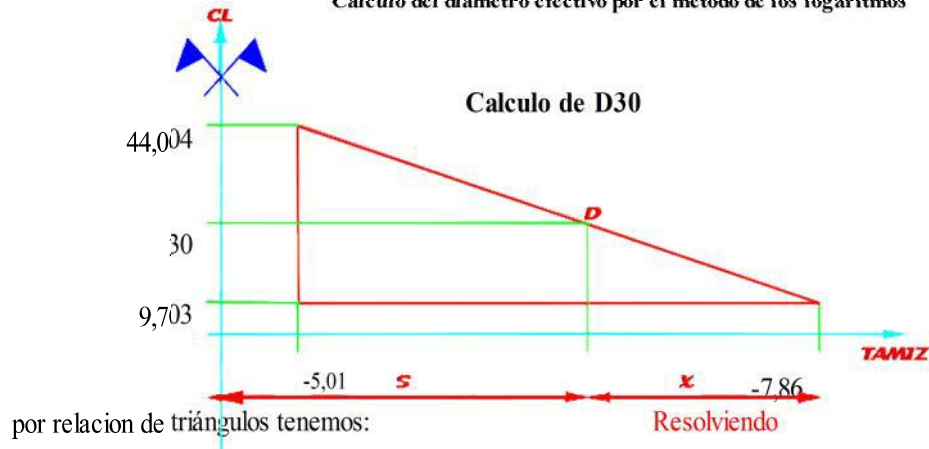
$$\frac{44,004 - 9,703}{-5,01 - -7,86} = \frac{16 - 9,703}{X} \quad x = 0,523$$

Para S tenemos $S = -7,86 + 0,2$
 $S = -7,337$

Usando la fórmula $di = \log \phi * e \quad S = \log(D1) * e$

Despejando D10 tenemos: $D1 = \text{Antilog}\left(\frac{S}{e}\right) \quad D16 = 0,169 \text{ mm}$

Cálculo del diámetro efectivo por el método de los logaritmos



$$\frac{44,004 - 9,703}{-5,01 - -7,86} = \frac{30 - 9,703}{X} \quad x = 1,686$$

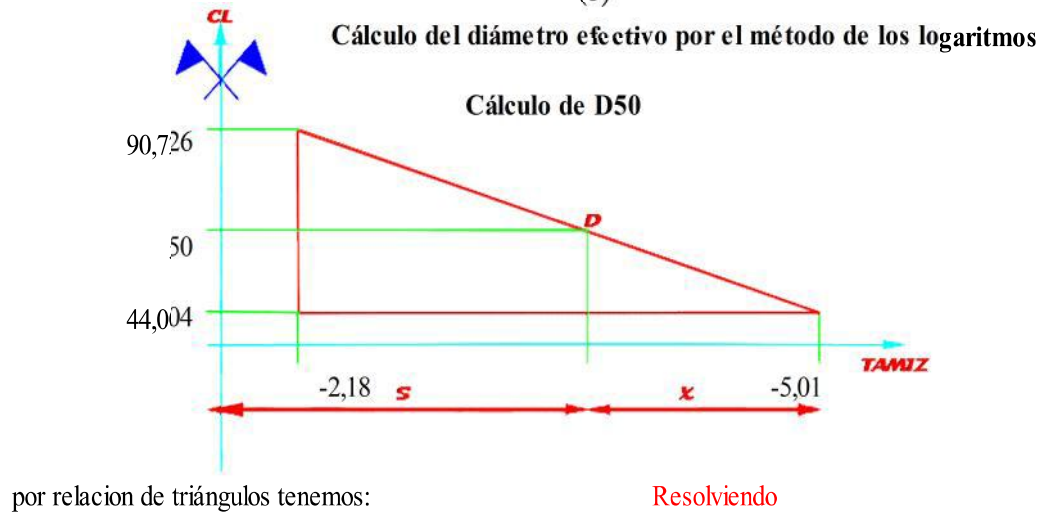
Para S tenemos

$$S = -7,86 + 1,69$$

$$S = -6,174$$

Usando la fórmula $di = \log \phi * e$ $S = \log(D1) * e$

Despejando D10 tenemos: $D_{10} = \text{Antilog}\left(\frac{S}{e}\right)$ **D30 = 0,224 mm**



$$\frac{90,726 - 44}{-2,18 - -5,01} = \frac{50 - 44}{X} \quad x = 0,363$$

Para S tenemos

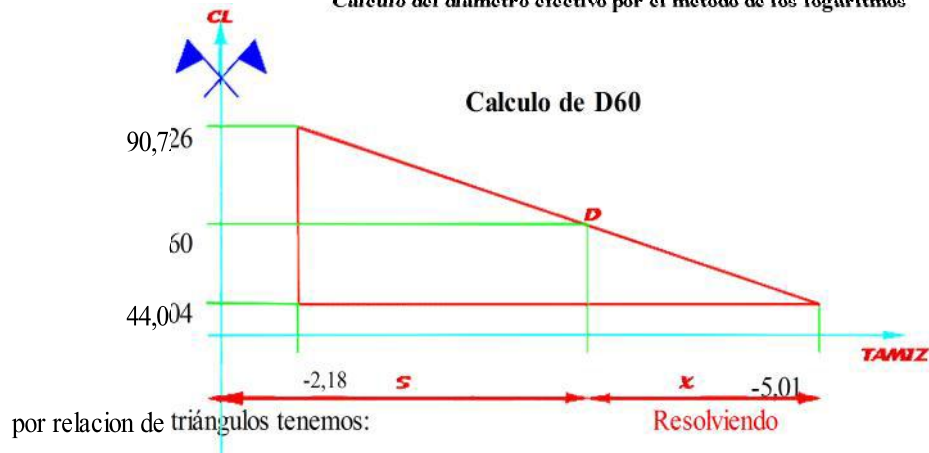
$$S = -5,01 + 0,36$$

$$S = -4,647$$

Usando la fórmula $di = \log \phi * e$ $S = \log(D1) * e$

Despejando D10 tenemos: $D_{10} = \text{Antilog}\left(\frac{S}{e}\right)$ **D50 = 0,325 mm**

Cálculo del diámetro efectivo por el método de los logaritmos



$$\frac{90,726 - 44}{-2,18 - -5,01} = \frac{60 - 44}{X} \quad x = 0,969$$

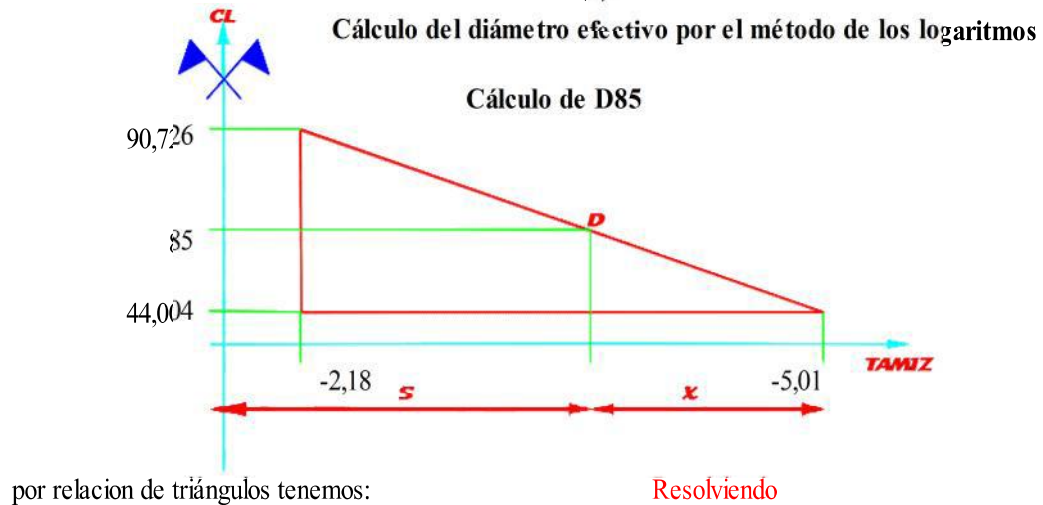
Para S tenemos

$$S = -5,01 + 0,97$$

$$S = -4,041$$

Usando la fórmula $di = \log \phi * e$ $S = \log(D1) * e$

Despejando D10 tenemos: $D\epsilon = \text{Antilog}\left(\frac{S}{e}\right)$ **D60= 0,376 mm**



$$\frac{90,726 - 44}{-2,18 - -5,01} = \frac{85 - 44}{X} \quad x = 2,483$$

Para S tenemos

$$S = -5,01 + 2,483$$

$$S = -2,527$$

Usando la fórmula $di = \log \phi * e$ $S = \log(D1) * e$

Despejando D10 tenemos: $D\epsilon = \text{Antilog}\left(\frac{S}{e}\right)$ **D85= 0,542 mm**

a. Determinación del tamaño efectivo y el coeficiente de uniformidad

Para determinar el tamaño efectivo d_{10} de cada muestra de arena, el coeficiente de uniformidad CU, como así también el tamaño medio geométrico μ_g y la desviación geométrica estándar σ_g , se deberá obtener de sus respectivas curvas granulométricas calculadas, para que finalmente comprobar los resultados con las ecuaciones 16-a y 16-b respectivamente.

MUESTRA N° 1

RIO GUADALQUIVIR

De su respectiva curva granulométrica se obtiene los siguientes datos:

$$d_{10} = P_{10} = 0.151 \text{ mm}$$

$$d_{60} = P_{60} = 0.390 \text{ mm}$$

$$d_{50} = 0.316 \text{ mm}$$

$$d_{16} = 0.174 \text{ mm}$$

Coeficiente de uniformidad

$$CU = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0.390}{0.151} \frac{\text{mm}}{\text{mm}}$$

$$CU = 2,583 < 3 \text{ OK}$$

Tamaño medio Geométrico

$$\mu_g = d_{50} = 0.316 \text{ mm}$$

Desviación geométrica estándar

$$\sigma_g = \frac{d_{50}}{d_{16}} \Rightarrow \sigma_g = \frac{0.316}{0.174} = 1.816$$

$$\sigma_g = 1.816$$

Cálculo del diámetro efectivo y el coeficiente de uniformidad del Lecho Filtrante de arena, esto se calculara con las ecuaciones 16-a y 16-b que están en función del tamaño medio geométrico $\mu_g = d_{50}$ y la desviación geométrica estándar σ_g .

Diámetro Efectivo

$$d_{10} = \frac{\mu_g}{\sigma_g^{1.282}} \Rightarrow d_{10} = \frac{0.316}{1.816^{1.282}} = 0.147 \text{ mm}$$

Coeficiente de Uniformidad

$$CU = \sigma_g^{1.535} \Rightarrow CU = 1.816^{1.535} = 2.499$$

COMPARACION

- Diámetro sacado de la curva	}	Como se puede observar los valores son casi iguales, los cuales están dentro de los parámetros de diseño, se podría decir que son los recomendados por la NB.
Granulométrica		
$d_{10} = 0.151 \text{ mm}$		
- Diámetro calculado	}	Ambos valores son similares, los cuales están dentro de los parámetros recomendados.
$d_{10} = 0.147 \text{ mm}$		
- C.U. calculado de la curva		
Granulométrica	}	
$CU = 2,583$		
- CU calculado		
$CU = 2.499$		

MUESTRA N° 2

RIO SANTA ANA

De su respectiva curva granulométrica se obtiene los siguientes datos:

$$d_{10} = P_{10} = 0.170 \text{ mm}$$

$$d_{60} = P_{60} = 1.035 \text{ mm}$$

$$d_{50} = 0.814 \text{ mm}$$

$$d_{16} = 0.214 \text{ mm}$$

Coefficiente de uniformidad

$$CU = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{1.035}{0.170} \frac{\text{mm}}{\text{mm}}$$

$$CU = 6.088 > 3 \quad \text{NO CUMPLE}$$

Tamaño medio Geométrico

$$\mu_g = d_{50} = 0.814 \text{ mm}$$

NOTA.-

Debido a que la muestra obtenida del río Santa Ana no cumple con los parámetros de diseño del Filtro Lento de Arena, No se procede con el cálculo quedando desechada dicha muestra para el cálculo del lecho filtrante.

JUSTIFICACION

El coeficiente de uniformidad de la muestra sobre pasa los límites de diseño, incluso aquellos parámetros picos que son $CU = 4$. El coeficiente de uniformidad obtenido nos indica que es un suelo bien graduado.

Como se observa líneas arriba el tamaño medio geométrico de la muestra es un poco grande, lo que indica que gran parte de la arena es un poco gruesa la que no sirve para el lecho filtrante.

MUESTRA N° 3

RIO YESERA

De su respectiva curva granulométrica se obtiene los siguientes datos:

$$d_{10} = P_{10} = 0.150 \text{ mm}$$

$$d_{60} = P_{60} = 0.397 \text{ mm}$$

$$d_{50} = 0.335 \text{ mm}$$

$$d_{16} = 0.176 \text{ mm}$$

Coefficiente de uniformidad

$$CU = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0.397}{0.150} \frac{\text{mm}}{\text{mm}}$$

$$CU = 2,647 < 3 \text{ OK CUMPLE}$$

Tamaño medio Geométrico

$$\mu_g = d_{50} = 0.335 \text{ mm}$$

Desviación geométrica estándar

$$\sigma_g = \frac{d_{50}}{d_{16}} \Rightarrow \sigma_g = \frac{0.335}{0.176} = 1.903$$

$$\sigma_g = 1.903$$

Cálculo del diámetro efectivo y el coeficiente de uniformidad del Lecho Filtrante de arena, esto se calculara con las ecuaciones 16-a y 16-b que están en función del tamaño medio geométrico $\mu_g = d_{50}$ y la desviación geométrica estándar σ_g .

Diámetro Efectivo

$$d_{10} = \frac{\mu_g}{\sigma_g^{1.282}} \Rightarrow d_{10} = \frac{0.335}{1.903^{1.282}} = 0.147 \text{ mm}$$

Coefficiente de Uniformidad

$$CU = \sigma_g^{1.535} \Rightarrow CU = 1.903^{1.535} = 2.685$$

COMPARACION

- Diámetro sacado de la curva Granulométrica	}	Como se puede observar los valores son casi iguales, los cuales están dentro de los parámetros de diseño, se podría decir que son los recomendados por la NB.
$d_{10} = 0.150 \text{ mm}$		
- Diámetro calculado	}	
$d_{10} = 0.147 \text{ mm}$		
- C.U. calculado de la curva Granulométrica	}	Ambos valores son similares, los cuales están dentro de los parámetros recomendados Por la NB.
$CU = 2,647$		
- C.U. calculado	}	
$CU = 2,685$		

b. Preparación de la arena para los filtros lentos

Antes de realizar la preparación de la arena para las dos muestras que tenemos (Río Guadalquivir, río Yesera), primeramente se volvió a calcular la granulometría de cada muestra para el medio filtrante, con la con la única diferencia que se trabaja con los tamices de abertura más pequeña N° 200 a la abertura más grande N° 4.

Para que de este modo podamos obtener la distribución de los tamaños (en %) de los granos de arena de cada muestra en papel logarítmico de probabilidad.

Previo a la gráfica de la distribución granulométrica, graficaremos una recta patrón o recta deseada en el papel logarítmico, las mismas que tendrán un coeficiente promedio de uniformidad de $CU = 2$ y diámetro efectivo de $d_{10} = 0.10mm = 1.0 \times 10^{-2} cm$ y un diámetro deseado $d_{60} = 0.20mm = 2.0 \times 10^{-2} cm$

Para el cálculo de la preparación de la arena para cada muestra se la realizara con las ecuaciones 17,18,19. Para saber cuánto de arena es utilizable de cada banco, cuanto de arena es fina y cuan gruesa es.

El desarrollo es el siguiente:

UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES

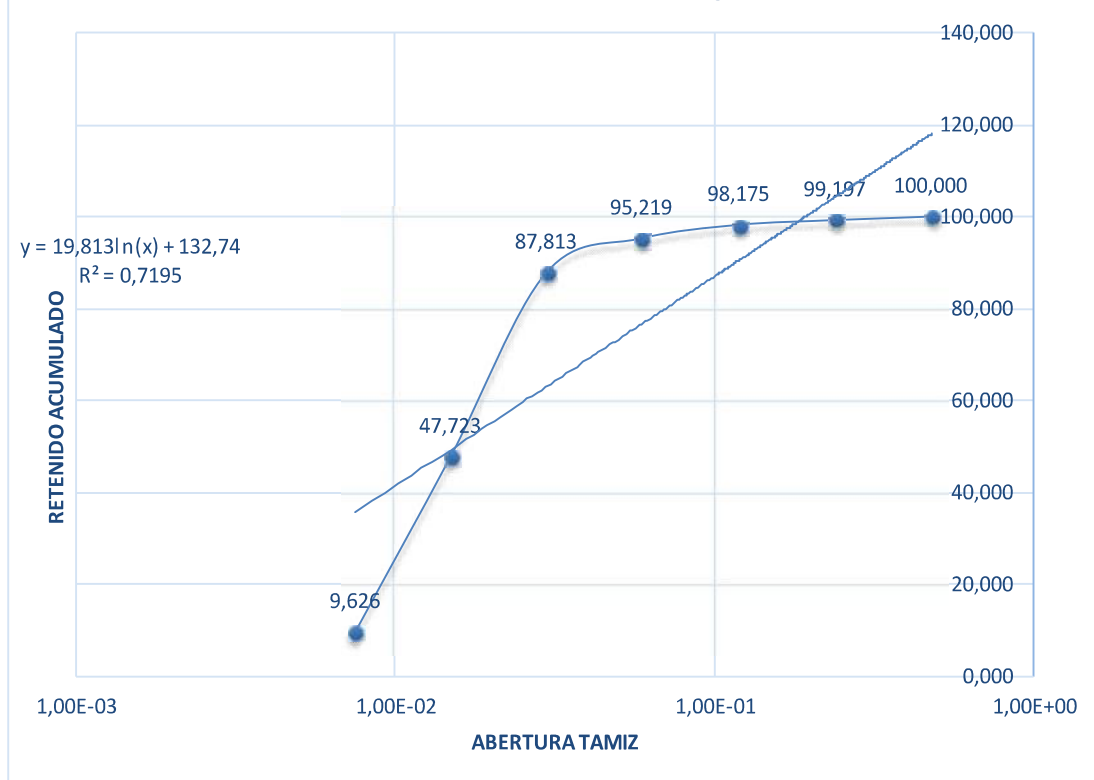
proyecto: FILTROS LENTOS EN ARENAS
Procedencia: Rio Guadalquivir
Muestra n°: 1

GRANULOMETRIA AGREGADO FINO

LABORATORISTA: Egr. Nilton Arnoldy Lugo Aizama

Peso total en gramos:						1000
TAMIZ	ABERTURA (mm)	ABERTURA (cm)	PESO RETENIDO (gr.)	peso retenido acumulado	(%)peso retenido acumulado	ABERTURA (cm)
N°200	0,075	7,50E-03	95,63	95,63	9,626	0,0075
N°100	0,149	1,49E-02	378,46	474,09	47,723	0,0149
N°50	0,297	2,97E-02	398,25	872,34	87,813	0,0297
N°30	0,59	5,90E-02	73,58	945,92	95,219	0,059
N°16	1,19	1,19E-01	29,36	975,28	98,175	0,119
N°8	2,38	2,38E-01	10,15	985,43	99,197	0,238
N°4	4,75	4,75E-01	7,98	993,41	100,000	0,475
Total:			993,41			
Perdidas:			6,59			

AJUSTE RIO GUADALQUIVIR



De acuerdo a la gráfica de probabilidad anterior se obtiene que:

Interpolando tenemos

Para D60	
47.723	0.0149
x	0.02
87.813	0.0297

Para D10	
9.626	0.0075
x	0.01
47.723	0.0149

$$d_{60} = 61.54 \%$$

$$d_{10} = 22.5 \%$$

Entonces:

Aplicando la ecuación 17 la proporción de arena utilizable es:

$$P_{utilizable} = 2(P_{60} - P_{10}) \Rightarrow P_{utilizable} = 2(61.54 - 22.5)$$

$$P_{utilizable} = 78.08\%$$

Por la ecuación 18 el porcentaje por debajo del cual el lote de arena es demasiado fino, es:

$$P_{demasiado\ fina} = P_{10} - 0.2(P_{60} - P_{10}) \Rightarrow$$

$$P_{demasiado\ fina} = 22.50 - 0.2(61.54 - 22.50)$$

$$P_{demasiado\ fina} = 14.69\%$$

El porcentaje por encima del cual la arena del lote es demasiado gruesa por la ecuación 19 es:

$$P_{demasiado\ gruesa} = P_{10} + 1.8(P_{60} - P_{10}) \Rightarrow$$

$$P_{demasiado\ gruesa} = 22.50 + 1.8(61.54 - 22.50)$$

$$P_{demasiado\ gruesa} = 92.77\%$$

UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES

proyecto: FILTROS LENTOS EN ARENAS

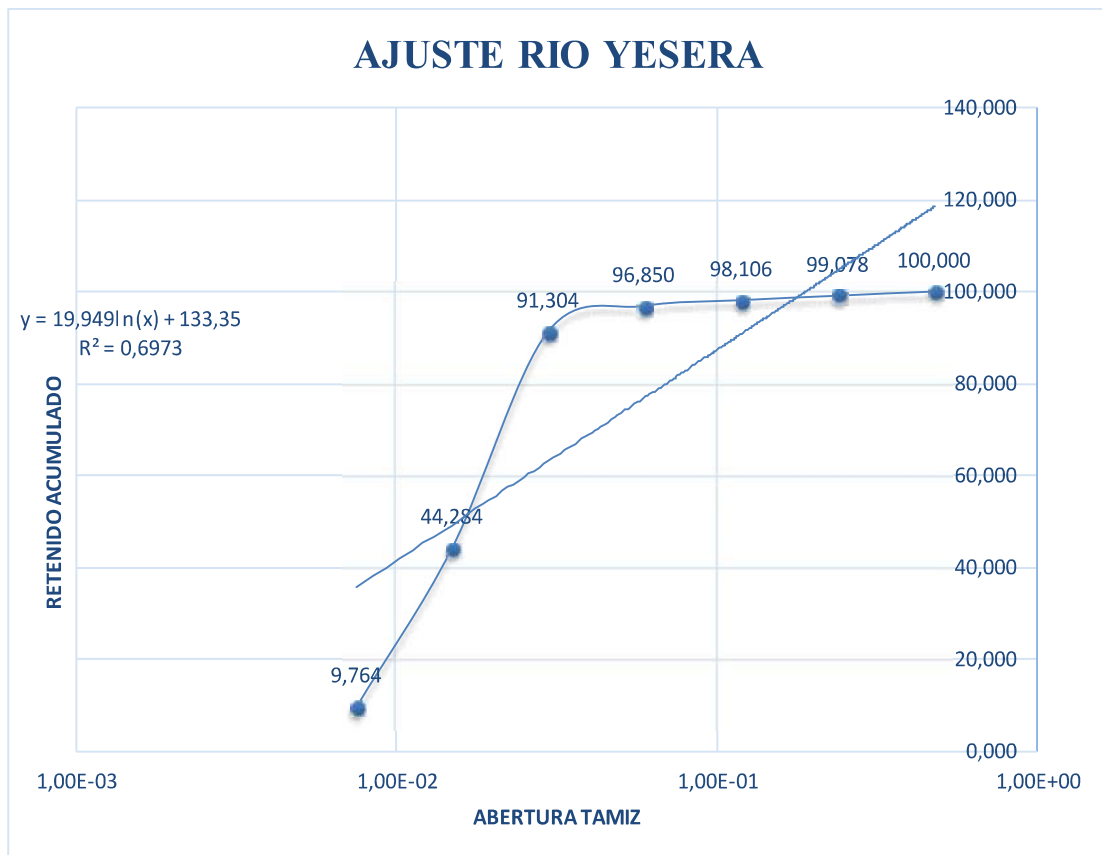
Procedencia: Rio Yesera

Muestra n°: 1

GRANULOMETRIA AGREGADO FINO

LABORATORISTA: Egr. Nilton Arnoldy Lugo Aizama

Peso total en gramos:						997
TAMIZ	ABERTURA (mm)	ABERTURA (cm)	PESO RETENIDO (gr.)	peso retenido acumulado	(%)peso retenido acumulado	ABERTURA (cm)
N°200	0,075	7,50E-03	96,4	96,40	9,764	0,0075
N°100	0,149	1,49E-02	340,8	437,20	44,284	0,0149
N°50	0,297	2,97E-02	464,21	901,41	91,304	0,0297
N°30	0,59	5,90E-02	54,75	956,16	96,850	0,059
N°16	1,19	1,19E-01	12,4	968,56	98,106	0,119
N°8	2,38	2,38E-01	9,6	978,16	99,078	0,238
N°4	4,75	4,75E-01	9,1	987,26	100,000	0,475
Total:			987,26			
Perdidas:			9,74			



De acuerdo a la gráfica de probabilidad anterior se obtiene que:

Para D60	
44.284	0.0149
x	0.02
91.304	0.0297

Para D10	
9.764	0.0075
x	0.01
44.284	0.0149

$$D_{60} = 55.31 \%$$

$$D_{10} = 41.48 \%$$

Entonces:

Aplicando la ecuación 17 la proporción de arena utilizable es:

$$P_{utilizable} = 2(P_{60} - P_{10}) \Rightarrow P_{utilizable} = 2(60.49 - 21.43)$$

$$P_{utilizable} = 78.12\%$$

Por la ecuación 18 el porcentaje por debajo del cual el lote de arena es demasiado fino, es:

$$P_{demasiado\ fina} = P_{10} - 0.2(P_{60} - P_{10}) \Rightarrow$$

$$P_{demasiado\ fina} = 21.43 - 0.2(60.49 - 21.43)$$

$$P_{demasiado\ fina} = 13.62\%$$

El porcentaje por encima del cual la arena del lote es demasiado gruesa por la ecuación 19 es:

$$P_{demasiadogruesa} = P_{10} + 1.8(P_{60} - P_{10}) \Rightarrow$$

$$P_{demasiadogruesa} = 21.43 + 1.8(60.49 - 21.43)$$

$$P_{demasiadogruesa} = 91.74\%$$

c. Selección de la arena para el lecho filtrante

Para la selección de la arena se procede a analizar los resultados de las muestras de arena.

En el siguiente cuadro se hizo un resumen de cálculo de las tres muestras analizadas.

Cuadro 21

Resumen de cálculo de las muestras

MUESTRA	Guadalquivir	Santa Ana	Yesera
CU	2.583	6.088	2.647
D₁₀ (mm)	0.151	0.170	0.150
P_{utilizable} (%)	78.08	-----	78.12
P_{fino} (%)	14.69	-----	13.62
P_{demasiado Grueso} (%)	92.77	-----	91.74

Tabla 21 Resumen de muestras de laboratorio.

FUENTE: Elaboración en base a los resultados

Como se puede observar en el cuadro 21, que la arena proveniente de Yesera es la única que está dentro de los parámetros de diseño, se podría decir que en los parámetros requeridos por Norma Boliviana 689.

Cabe destacar que la muestra del río Guadalquivir también está dentro de los parámetros requeridos, pero su porcentaje de arena utilizable es menor a la de Yesera y su diferencia es grande, es por este motivo que la arena utilizada para el F.L.A. será la del río Yesera.

d. Determinación del Peso Específico del Lecho Filtrante

Es de gran importancia la obtención del peso específico de la arena, para que de esta manera podamos calcular la porosidad de la misma, que será utilizada para determinar las pérdidas de carga del lecho de arena.

El ensayo se lo realizo en el laboratorio de suelos y hormigón de la U.A.J.M.S, cuyo procedimiento está en el capítulo III del presente proyecto.

Procedimiento

Para el cálculo del peso específico se utilizara la arena del rio Yesera puesto que esta cumple con las condiciones de diseño.

Primeramente se realizó la calibración del Picnómetro de 250 ml, midiendo la temperatura (rango 15° a 35°C) y pesando el frasco más agua, los resultados son los siguientes

Cuadro 22
Datos temperatura Vs Peso

T °C	Peso (gr)
35	332.10
30	333.97
25	336.75
20	334.50
15	335.25

Tabla 22 Datos temperatura vs. Peso

En el siguiente cuadro se muestra los datos obtenidos en el laboratorio, seguido de la ecuación 20, que es la expresión para el cálculo del peso específico del suelo.

	Símbolo	Unidades	Valor
Temperatura ensayada	T	°C	20
Peso del suelo húmedo + tara	W_{sh+t}	gr	206.4
Peso del suelo seco + tara	W_{ss+t}	gr	176.2
Peso de la tara	W_t	gr	95.00
Peso del suelo seco	W_s	gr	81.2
Peso del frasco + agua *	W_{fw}	gr	334.50
Peso del frasco+agua+suelo	W_{fws}	gr	384.1
* Este valor se extrae del cuadro 22			

Tabla 23 Datos para la permeabilidad obtenida en laboratorio.

Remplazando en la ecuación se obtiene:

$$\gamma_{relativo} = \frac{W_s}{W_{fw} + W_s - W_{fsw}}$$

$$\gamma_{relativo} = 2.57 \text{ gr/cm}^3$$

Entonces el peso específico será:

$$\gamma = \gamma_{relativo} \times \gamma_{agua}$$

$$\gamma = 2.57 \times 0.9979$$

$$\gamma = 2.56 \text{ gr/cm}^3 \quad \text{OK}$$

El peso específico calculado se encuentra dentro del rango 2.55 a 2.65 gr/cm³

e. Determinación de la porosidad

Es muy importante calcular la porosidad de la arena ya que nos ayuda a determinar las pérdidas de carga del lecho de arena.

El ensayo se lo realiza con la muestra seleccionada (Rio Yesera), vale decir la arena retenida en el tamiz N° 100 con diámetro de 0.15 mm

El ensayo se lo realizo en el laboratorio de suelos y hormigón de la U.A.J.M.S, cuyo procedimiento está en el capítulo III del presente proyecto.

Procedimiento

Puesto que el laboratorio de la UAJMS no cuenta con un tubo Jackson de 0.75m de largo y 2.8 cm de diámetro. El ensayo se lo realizo con una probeta de 1000 ml, diámetro 2 pulgadas.

Los datos obtenidos en laboratorio son:

$$W_s = 750 \text{ gr}$$

$$V_{\text{Total}} = 1228 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{medido en el cilindro}} = 445 \text{ cm}^3$$

$$\gamma = 2.56 \text{ gr/cm}^3 \quad (\text{valor obtenido en laboratorio})$$

Calculo

$$V_m = \frac{W_s}{\gamma} \quad V_m = \frac{750}{2.56} \quad \Rightarrow \quad V_m = 292.97 \text{ cm}^3$$

$$V_v = V_t - V_m = 445 - 292.97 \quad \Rightarrow \quad V_v = 152.03 \text{ cm}^3$$

$$P = \frac{\text{Volumen.de.vacios}}{\text{Volumen.de.lamuestra}} * 100 \quad \Rightarrow \quad \boxed{P = 51.89 \%}$$

f. Determinación de la permeabilidad de la arena

Este parámetro es el más importante puesto que del mismo se obtiene el tamaño y numero de las unidades de filtración.

Para tal motivo, se realizó la prueba de laboratorio para determinar la permeabilidad de la arena (muestra río Yesera)

El ensayo se realizó en el laboratorio de suelos y hormigón de la “U.A.J.M.S.”. El aparato a utilizar para este fin es el Permeámetro de Carga Constante, el cual se explica a continuación.

El procedimiento consiste en determinar el área “A” transversal del tambor o contenedor donde se encuentra la muestra de arena y su longitud “L” confinada en el tubo, se somete a una carga hidráulica “h”. El agua fluye a través de la muestra midiéndose la cantidad de agua en cm^3 que pasa en el tiempo “t”

Cabe hacer notar que este ensayo tiene un valor practico limitado, pues la dificultad que presenta es colocar la muestra de arena en el Permeámetro previamente lavada y la incertidumbre respecto a la representatividad de la muestra con respecto a la planta de tratamiento en conjunto.

Los datos obtenidos en el laboratorio son los siguientes:

Datos:

Temperatura del agua = 17 °C

Diámetro del cilindro = 10.02 cm

Área transversal del cilindro = 78.85 cm²

Espesor del lecho de arena = 10 cm

Peso de la muestra = 1078.63 gr

Para el cálculo de la permeabilidad se utilizara la ecuación 25.

$$Q = \frac{\Delta Volumen}{\Delta Tiempo} = K \frac{\Delta h}{L} * A$$

Donde:

Q= Caudal que atraviesa por una determinada área (cm³/seg)

i = gradiente hidráulico = $\Delta h/L$ (cm/cm)

Δh = carga hidráulica

A= área transversal, perpendicular al flujo

L = espesor del lecho de arena (cm)

El gradiente hidráulico se define como:

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

Por lo tanto, el coeficiente de permeabilidad a la temperatura 20°C se puede expresar con respecto a k_{20} utilizando la siguiente ecuación:

$$K_{20} = K_T \frac{n_T}{n_{20}}$$

Donde:

$$^8n_T = \text{viscosidad del agua a temperatura del ensayo} \quad 1.075 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$n_{20} = \text{viscosidad del agua a } 20^\circ\text{C} \quad 1.01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Entonces la permeabilidad de la muestra será:

DATOS Y CALCULOS								
Ensayo	Nº	T (seg)	Vol cm ³	Caudal cm ³ /s	Qm cm ³ /s	Δ h cm	Σ Δ h cm	K cm/seg
1	1	30	375	12.50	8.75	1.7	61.60	0.018
	2	31	345	11.13		1.9		
	3	84	220	2.62		58		
2	1	40	635	15.88	14.17	23	75.00	0.024
	2	36	475	13.19		24		
	3	32	430	13.44		28		
3	1	39	712	18.26	13.85	19	51.00	0.034
	2	40	587	14.68		17		
	3	30	258	8.60		15		

Tabla 24 Cálculo de la permeabilidad.

$$K = \frac{Q}{A \left(\frac{\Delta h}{L} \right)} * \frac{n_T}{n_{20}}$$

El coeficiente de permeabilidad será el promedio de los tres ensayos:

⁸ Valor obtenido de tablas de laboratorio

$$K = \frac{0.018 + 0.024 + 0.034}{3}$$

$$\mathbf{K = 0.025 \text{ cm / seg}}$$

El resultado calculado en gabinete se lo comparara con la formula empírica para determinar la permeabilidad de una arena.

Hazen (1892): Arenas uniformes con $D_{10} = 0.1 - 3\text{mm}$

Este cálculo es a partir de la granulometría de la arena

$$K = C * D_{10}^2$$

Donde:

K= permeabilidad en (cm/s)

C= Constante⁹ experimental (116)

D_{10} = Diámetro efectivo del rio Yesera 0.150 (mm) 0.015 (cm)

$$K = 116 * (0.015)^2$$

$$\mathbf{K = 0.026 \text{ cm/s}}$$

Tomando en cuenta la variación de la temperatura, la formula puede variar de la siguiente manera:

$$K = C.(0.7 + 0.03 * t) * D_{10}^2$$

$$K = 116 (0.7 + 0.03 * 17) * (0.015)^2$$

$$\mathbf{K = 0.032 \text{ cm/s}}$$

OK Cumple

⁹ Constante de Allen Hazen

Como se puede observar existe una gran aproximación a lo encontrado en laboratorio.

g. Determinación de la velocidad de filtración

La velocidad de filtración se la encontrara multiplicando la permeabilidad encontrada por el promedio de los gradientes hidráulicos.

$$i = \frac{61.60 + 75.00 + 51.00}{10 + 10 + 10} = 6.253$$

Entonces:

$$V_f = K * i$$

$$V_f = 0.025 * 6.253$$

$$V_f = 0.17 \text{ m/h}$$

La velocidad de filtración calculada es la recomendada por la NB 689, puesto que el rango es 0.1 a 0.30 m/h, para que el filtro opere exitosamente.

h. Solubilidad en ácido clorhídrico

Este ensayo se lo realiza para que el material filtrante no contenga cantidades apreciables de carbonato de calcio, es por ello que su solubilidad en ácido clorhídrico no debe exceder el 5%.

DATOS OBTENIDOS EN LABORATORIO

	Símbolo	Unidades	Valor
Peso de la muestra *	W_m	gr	10.21
Peso del suelo seco + tara	W_{ss+t}	gr	98.87
Peso de la tara	W_t	gr	88.66
Peso del suelo seco	W_{ss}	gr	10.11

* Diferencia de $98.87 - 88.66$

Tabla 25 Datos para el peso específico obtenidos en laboratorio

Para el cálculo de la solubilidad se hará uso de la ecuación 28.

$$\%solubilidad = \frac{Pérdida.de.peso}{Peso.original} * 100$$

$$\%solubilidad = \frac{10.21 - 10.11}{10.21} * 100$$

$$\%solubilidad = \frac{0.10}{10.21} * 100$$

$$\%solubilidad = 0.98 \approx 1\%$$



La solubilidad en ácido clorhídrico calculado es menor a la admisible 5%, por lo tanto está dentro del parámetro de diseño

5.1. CONCEPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA

a. Población actual

Como ya se explicó en el inciso a) del punto 4.4.1 la población actual de la comunidad de Santa Ana la Vieja es:

$$P_a = 650 \text{ Habitantes}$$

b. Periodo de diseño

Para determinar el periodo de diseño existe un cuadro recomendado por la Norma Boliviana la cual es muy utilizada en nuestro medio.

De acuerdo al cuadro 5 y tomando en cuenta que la comunidad de Santa Ana la Vieja tiene menos de 20.000 habitantes el periodo de diseño será:

$$T = 20 \text{ años.}$$

Justificación

Se escogió el T=20 años, porque, como se puede apreciar en el cuadro 19, los habitantes disminuyeron, en base al último censo 2012 realizado. Emigraron hacia diferentes lugares ya sea en el interior o en el exterior del país, esto por razones de trabajo o por continuar con los estudios superiores.

Esto nos induce a optar por periodos de diseño más largos para crecimientos lentos.

$$T = 20 \text{ años}$$

c. Población futura

Para el cálculo de la población de diseño se hará uso del cuadro 3, esto para seleccionar el tipo de método.

Para poblaciones menores a 5000 habitantes la NB recomienda utilizar los siguientes métodos estadísticos.

$$\text{METODO ARITMÉTICO} \quad P_f = P_a * \left(1 + \frac{i * t}{100} \right) \quad (\text{Ec. - 1})$$

$$\text{METODO GEOMETRICO} \quad P_f = P_a * \left(1 + \frac{i}{100} \right)^t \quad (\text{Ec. - 2})$$

$$\text{METODO WAPPAUS}^{10} \quad P_f = P_a * \left(\frac{200 + i * t}{200 - i * t} \right) \quad (\text{Ec. - 3})$$

$$\text{METODO EXPONENCIAL} \quad P_f = P_a * e^{\left(\frac{i * t}{100} \right)} \quad (\text{Ec. - 4})$$

¹⁰ Ecuación no utilizada no la Norma Boliviana (N.B.)

Donde:

P_f = Población futura en hab.

P_a = Población inicial = 650 habitantes

i = Índice de crecimiento poblacional¹¹ anual = 3.27 %

t = Período de diseño = 20 años

Se debe explicar que la ecuación de Wappaus no considera la NB, pero se lo menciona a manera de referencia.

Calculo de la población futura

METODO	Pob. FUTURA
Aritmético	1076
Geométrico	1237
Wappaus	1369
Exponencial	1250

El método elegido para determinar la población futura, es el crecimiento exponencial, método oficialmente establecido por el INE, debido a que es el más representativo y se adecua más a la realidad del país. Además también por que presenta periodos pequeños para crecimiento de habitantes cortos, y lo mismo para tiempos largos.

Población adoptada

$P_f = 1250$ habitantes

¹¹ Información obtenida mediante diagnóstico del Municipio de Cercado

d. Dotación media diaria

El proyecto según la clasificación mostrada en el cuadro 4 está dentro el rango de 501-2000 habitantes, zona valles, por lo cual el rango de dotación es de 50-90 lt/hab/día.

Para el presente proyecto, se adoptara una dotación inicial de 90 lt/hab/día, que está distribuida de la siguiente manera:

USO	Consumo Lt/hab/dia
Bebida	2
Preparación de alimentos	10
Lavado de ropa	10
Duchas	13
Aseo personal	10
Descarga de inodoro	13
Aseo de vivienda	12
Lavado de utensilios	10
Otros consumos	10
TOTAL DOTACION	90

Tabla 26 Dotacion inicial de agua.

e. Dotación futura

$$D_f = D_o * \left(1 + \frac{d}{100}\right)^T \quad (\text{Ec. - 5})$$

Donde:

D_f = Dotación futura en l/hab/día

D_o = Dotación media inicial = 90 l/hab/día

d = Variación anual de la dotación = 0.7 %

T = Periodo de diseño = 20 años

$$D_f = 90 * 1 + \frac{0.7}{100}^{20}$$

$$D_f = 113.47 \text{ lt/hab/día}$$

f. Consumo medio diario

$$Q_{md} = \frac{P_f * D_f}{86400} \quad (\text{Ec. - 6})$$

Donde:

Q_{md} = Caudal medio diario en L/s

P_f = Población futura = 1250 hab.

D_f = Dotación futura = 114.97 lt/hab/día

$$Q_{md} = \frac{1250 * 113.47}{86400}$$

$$Q_{md} = 1,50 \text{ lt/s}$$

Consumo máximo diario

$$Q_{\max .d} = Q_{md} * K_1 \quad (\text{Ec. -7})$$

Donde:

$Q_{\max .d}$ = Caudal máximo diario en l/s

Q_{md} = Caudal medio diario = 1.50 l/s

K_1 = ¹²Coeficiente de caudal máximo diario = 1.5

Un valor de 1.5 da seguridad.

$$Q_{\max .d} = 1.66 * 1.5$$

$$Q_{\max .d} = 2.49 \text{ lt/seg}$$

¹² Coeficiente de mayoración

Dicho caudal es solo para la comunidad de Santa Ana la Vieja, la cual será utilizada para el diseño de los componentes del F.L.A.

5.2. DISEÑO de los elementos del “FLA”

5.2.1. Diseño de la caja del filtro

a. Área de la caja del filtro

Para el cálculo del área superficial de cada filtro utilizaremos la ecuación 9, y adoptaremos el número de unidades de 2, puesto que la velocidad encontrada en laboratorio está dentro los límites permisibles (0.17 m/h) y la población es menor a 2000 habitantes. Además un turno de operación diario. Entonces la superficie filtrante será:

$$A_U = \frac{Q_{\max.d} \times C_1}{N \times V_F}$$

Datos:

A_U = área superficial de cada unidad m^2

$Q_{\max.d} = 2.49 \text{ lt/seg} = 8.964 \text{ m}^3/\text{h}$

$V_f = 0.17 \text{ m/h}$

$N = 2$

C_1 = es un coeficiente que depende del número de turnos (8 horas c/u) al día en que se vaya a operar la unidad = 2DO

Adaptando 2 tenemos:

$C_1 = 1,5$

Para $N = 2$

Remplazando datos se tiene:

$A_U = 17,87 \text{ m}^2$

$$AT = AU * N$$

$$AT = 17.87 * 2$$

$$AT = 35.74 \text{ m}^2$$

b. Determinación del número de filtros:

$$n = 0.5 * \sqrt[3]{A_T} \quad (\text{ec -10})$$

Datos:

n = número total de unidades rectangulares operando en paralelo

Entonces:

$$n = 2 \text{ adoptado}$$

$n = 2$

c. Forma de los filtros

Como ya se explicó en el punto 3.4.3.1.2 del capítulo III, y tomando en cuenta el criterio dado por la NB 689, la sección del filtro será rectangular. Porque se puede implementar más cajas de filtros en lo futuro, cuando el periodo de diseño haya cumplido su ciclo y la población se incremente.

d. Dimensionamiento de los módulos de filtración

$$a = \left(\frac{2 * n * A_U}{n + 1} \right)^{0.5} \quad b = \left[\frac{(n + 1) * A_U}{2 * n} \right]^{0.5} \quad (\text{Ec. -11})$$

Donde:

$$A_U = 17.87 \text{ m}^2$$

$$n = 2$$

Entonces:

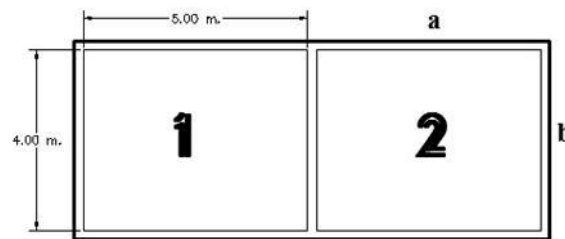
$$a = 4.88 \text{ m}$$

$$b = 3.66 \text{ m}$$

Por lo tanto se adopta la siguiente dimensión:

$$a = 5 \text{ m}$$

$$b = 4 \text{ m}$$



5.2.2. Altura del borde libre

Se aconseja entre 0.20 - 0.40 m. Entonces se adoptara

$$H_{BL} = 0,35 \text{ m}$$

5.2.3. Diseño de la capa de agua sobrenadante

Para determinar la altura del agua sobre la capa de arena, la obtenemos en base al ensayo de Permeabilidad realizado en laboratorio.

Se sabe que la velocidad de filtración obtenida en laboratorio es de 0.17 m/h, la cual se la calculo en función de la altura del agua (12.5 cm) y el espesor de la arena (10 cm) con su respectivo $D_{10} = 0.150 \text{ mm}$.

Partiendo de estos datos, se determinara la altura del agua sobrenadante mediante la regla de tres simple.

12.5 cm (agua) ————— 10 cm (arena)

X ————— 100 cm (arena)

$$X = 125 \text{ cm (agua)}$$

La altura del agua sobrenadante será:

$H_{\text{agua}} = 125 \text{ cm}$

5.2.4. Diseño del lecho filtrante de arena

Para obtener la arena adecuada, se realizó la granulometría en el laboratorio de suelos de tres diferentes bancos (Yesera, Santa Ana, Guadalquivir), las cuales una de ellas está dentro de los parámetros requeridos por la NB 689.

La muestra seleccionada es proveniente del mismo lugar del proyecto Santa Ana la Vieja, la misma que tiene con las siguientes características:

$$D_{10} = 0.150 \text{ mm}$$

$$Cu = 2.647$$

La NB 689 presenta un rango para seleccionar la altura de la arena, la cual está entre 0.80 – 1.4 m. En base al ensayo de permeabilidad realizado en laboratorio de suelos se determinó la altura del agua y la altura de la arena, para que de este modo sacar una relación de alturas y obtener las alturas reales para el filtro, procurando que la velocidad de filtración con esas alturas obtenidas no sea mayor a 0.3 m/h.

Por lo tanto la altura de la arena será:

$h_{\text{arena}} = 100 \text{ cm}$

5.2.4.1. Pérdida de carga en el lecho filtrante (arena)

Ecuación de Kozeny

La pérdida de carga inicial puede calcularse a partir de la ecuación de Kozeny, solo es aplicable para cada esfera con flujo laminar, el cual solo se presenta cuando el número de Reynolds es menor que 10.

Considerando que los filtros lentos funcionan a bajas velocidades, esta ecuación es aplicable.

Por lo tanto:

Donde:
$$R_e = \frac{V * D}{\nu}$$

$V = \text{velocidad de filtración} = 0.17 \text{ m/h} = 0.000047 \text{ m/s}$

$D = \text{diámetro mayor de las partículas} = 0.003 \text{ m}$

$^{13}\nu = \text{viscosidad cinemática del flujo} = 1.01 \text{ E}^{-06} \text{ m}^2/\text{s}$

Reemplazando se obtiene el numero experimental de Osborne Reynolds

Re = 0.14

< 10 entonces el flujo es laminar **OK**

Por lo tanto si es aplicable la ecuación de Kozeny

$$h_o = f' \frac{V}{g} * L * \frac{(1 - p_o)^2}{p_o^3} \nu \left(\frac{6}{D} \right)^2$$

Donde:

$f = \text{constante adimensional experimental (4-5)} = 5$

$V = \text{viscosidad cinemática del agua } 20^\circ\text{C} = 1.01 \text{ E}^{-06} \text{ m}^2/\text{s}$

$g = \text{gravedad} = 9.81 \text{ m/s}^2$

$L = \text{espesor de la arena} = 1 \text{ m}$

$p_o = \text{porosidad de la arena (adimensional)} = 0.5189$

¹³ Viscosidad obtenida de tablas

v = velocidad de filtración = 0.000047 m/s

D = diámetro medio de las partículas de arena = 0.000150 m

La pérdida de carga en el lecho filtrante de arena será:

$$hf = 5 * \frac{0.000047}{9.81} * 1 * \frac{(1 - 0.5189)^2}{0.5189^2} * 1.01E - 06 * \left(\frac{6}{0.000150}\right)^2$$

$hf = 0.0641$ m equivalente a

$hf = 6.41$ cm

5.2.5. Altura de la capa de soporte

La altura de la capa de soporte será de 40 cm, dispuesta en tres capas diferentes.

La capa de grava debe diseñarse teniendo en cuenta dos valores límites:

- El diámetro de la grava más fina debe seleccionarse, teniendo en cuenta el tamaño de los granos de arena.
- Y la más gruesa de acuerdo al tamaño de los orificios del drenaje.

Se adopta las siguientes características para la grava que están mencionadas en el cuadro siguiente.

Capa	Tipo	Diámetro efectivo (mm)	Tamiz Aprox	Espesor (cm)
Superior	Arena gruesa	2	Nº 8	10
Segunda	Grava mediana	5	Nº 4	10
Inferior	Grava gruesa	10	3/8"	20

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 27 Características de la grava

5.2.5.1. Pérdida de carga en la capa de soporte del filtro (grava)

$$h_g = \frac{q * L}{3}$$

Donde:

q = velocidad de filtración = 0.17 m/h = 0.0028 m/min

L = altura de la grava = 0.40 cm = 0.4m

Por lo tanto la pérdida de carga de la capa de soporte es:

$$h_g = 0.00037 \text{ m} =$$

$$hf = 0.037 \text{ cm}$$

5.2.6. Diseño del sistema de drenaje

Para la recolección del agua se lo realizara mediante tuberías. El sistema de drenaje está compuesto por un dren principal y ramificaciones o drenes laterales, las cuales se las dimensionan de la siguiente manera.

5.2.6.1. Dren principal

a. Longitud de la tubería principal

$$L_P = b - S_{L-P} \quad (\text{Ec. - 46})$$

$$L_P = 7 - 0,5$$

$$L_P = 3.5 \text{ m}$$

b. Determinación del diámetro del dren principal

El CEPIS luego de numerosas pruebas recomienda adoptar una velocidad máxima de 0.30 m/s para el dren principal y teniendo en cuenta el caudal de diseño mediante la ecuación de continuidad se obtiene el diámetro necesario.

$$Q_F = A * V_P \quad (\text{Ec. - 43})$$

Donde:

$$^{14}Q_F = 2.25 \text{ l/s} = 0.00225 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$^{15}V_P = 0.30 \text{ m/s}$$

A = área de la tubería principal en m²

Si el área de una circunferencia es:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (\text{Ec. -44})$$

Remplazando y despejando se tiene:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V_P}} \quad (\text{Ec. -45})$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0.00225}{\pi * 0.30}}$$

Por lo tanto $D_P = 0.09772\text{m} = 3.84''$

Diámetro adoptado:

$$D_P = 4''$$

c. Determinación de su velocidad

Despejando la velocidad de recolección del agua de la ecuación 45, se obtiene la nueva velocidad que estará en función del diámetro encontrado:

$$V_P = \frac{4 * Q_f}{\pi * D^2}$$

Entonces:

$$V_P = 0.280 \text{ m/s}$$

¹⁴ Qf=Qmd

¹⁵ Vp valor adoptado por el CEPIS

d. Cálculo de la pérdida de carga

Existen un numero impresionante de fórmulas para el cálculo de las pérdidas de carga, las cuales no varía mucho en los resultados, en esta ocasión utilizaremos la fórmula de Williams Hazen.

$$hf = 10.678 \left(\frac{Q_f}{C} \right)^{1.852} * \frac{L_p}{D_p^{4.87}}$$

Donde:

hf = perdida de carga por fricción (m)

Q_f = caudal de aportación al filtro = 0.00225 m³/s

L_p = longitud de la tubería principal = 3.5 m

D_p = diámetro de la tubería principal = 0.1016 m

C = coeficiente de Hazen Williams depende del tubo = 150 PVC

Remplazando se tiene: hf = 0.0030 m = **hf = 0.30 cm**

5.2.6.2. Tuberías laterales (L)

Para el cálculo de las ramificaciones o drenes laterales se basara en base a la teoría del capítulo III.

a. Separación entre drenes laterales S_L

Según la ecuación 30 tenemos

$$S_L = \left(\frac{4}{10} \right) = 0.40 \text{ m} \quad \text{se adoptara} \quad \mathbf{S_L = 0.5 \text{ m}}$$

b. Separación entre drenes laterales y pared o muro S_{L-P}

Según la ecuación 31 tenemos

$$S_{L-P} = \left(\frac{5}{20} \right) = 0.25 \text{ m}$$

se adoptara

$$S_{L-P} = 0.25 \text{ m}$$

c. Numero de drenes laterales N_L

$$b = 2 * S_{L-P} + (N-1) * S_L$$

$$N_L = \frac{b + SL - 2 * SLP}{SL}$$

$$7 = 2 * 0.5 + (N-1) * 1$$

Entonces:

$$N_L = 7$$

d. Longitud del dren lateral L_L

$$L_L = a - S_{L-P}$$

$$L_L = 5 - 0.25$$

Se adoptara

$$L_L = 4.75 \text{ m}$$

e. Longitud total de los drenes laterales L_{TL}

$$L_T = L_L * N$$

$$L_T = 30.45 \text{ m}$$

f. Velocidad del dren lateral V_L

$$\frac{V_P}{V_L} \leq 0,15 \quad \text{Entonces} \quad V_L = \frac{V_P}{0,15}$$

$$V_L = 1.87 \text{ m/s}$$

Donde:

$$V_P = 0.28 \text{ m/s}$$

g. Caudal para cada dren lateral Q_L

$$Q_L = \frac{Q_F}{N} \quad \Rightarrow \quad Q_L = 0.281 \text{ l/s}$$

Donde:

$$Q_L = 0.000281 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_F = 2.25 \text{ l/s}$$

$$N = 7$$

h. Diámetro del tubo lateral $[D_L]$

$$D_L = \sqrt{\frac{4 * Q_L}{\pi * V_L}} \quad \Rightarrow \quad D_L = 0.016 \text{ m}$$

$$D_L = 0.551 \text{ pulg.}$$

Diámetro adoptado es:

$$D_L = 1 \text{ ''} = 0.0254 \text{ m}$$

i. Calculo de la nueva velocidad lateral V_L

$$V_L = \frac{4 * Q_L}{\pi * D_L^2}$$

$$V_L = 0.55 \text{ m/s}$$

j. Pérdida de carga en los laterales

Se utilizara la fórmula de Hazen Williams

$$hf = 10.678 \left(\frac{Q_L}{C} \right)^{1.852} * \frac{L_L}{D_L^{4.87}}$$

Donde:

h_f = pérdida de carga por fricción (m)

Q_L = caudal del dren lateral = 0.000281 m³/s

L_L = longitud de la tubería lateral = 4.5 m

D_L = diámetro de la tubería principal = 0.0254 m

C = coeficiente de Hazen Williams depende del tubo = 150 PVC

Remplazando se tiene:

$$h_f = 0.07 \text{ m}$$

Como se puede observar el diámetro adoptado nos arroja una pérdida de carga considerable, es por este motivo que se tendrá de aumentar el diámetro de la tubería lateral aunque disminuya la velocidad.

Nuevo diámetro adoptado: $D_L = 0.0254 \text{ m}$

$$D_L = 1 \frac{1}{2} \text{ ''}$$

$$V_L = 0.29 \text{ m/s}$$

Entonces la pérdida de carga en la tubería lateral será:

$$H_f = 0.0097 \text{ m}$$

$$H_f = 0.97 \text{ cm}$$

k. Cálculo de los orificios en los laterales

- Separación entre orificios [S_{orif}]

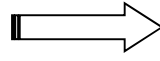
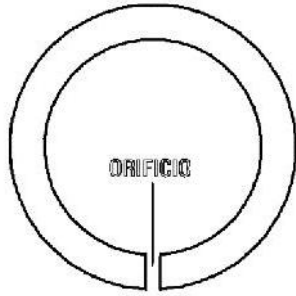
Según los parámetros de diseño es aconsejable separaciones de 15 a 30cm de centro a centro.

Se adoptara 15 cm

- Disposición de orificios

Se aconseja que los orificios se dispongan en la parte inferior de la cañería.

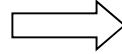
Disposición orificios



Disp. orif. = 1

- Número total de orificios:

$$N_{orif} = \frac{L_{TL}}{S_{orif}} * Disp_{orif}$$



N_{orif} = 254

Donde:

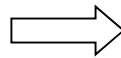
$$L_{TL} = 38 \text{ m}$$

$$S_{orif} = 0.15 \text{ m}$$

$$Disp_{orif} = 1$$

- Caudal en cada orificio [Q_{orif}]

$$Q_{orif} = \frac{Q_F}{N_{orif}}$$



$$Q_{orif} = 0.0089 \text{ l/s}$$

Donde:

Q_{orif} = 0.0000089 m³/s

$$Q_F = 2.25 \text{ l/s}$$

$$N_{orif} = 254$$

- Área de cada orificio

Según parámetros de diseño el diámetro de los orificios debe estar dentro del rango 2 - 4 mm

Utilizando la ecuación de orificios se tiene:

$$Q_{orif} = C_d * A * \sqrt{2 * g * h}$$

$$A_{orif} = \frac{Q_{orif}}{C_d * \sqrt{2 * g * h}} \Rightarrow \boxed{A_{orif} = 0.0000029 \text{ m}^2}$$

Donde:

$$Q_{orif} = 0.0000089 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C_d = \text{Coeficiente de descarga} = 0.62$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$h_{agua} = 1.25 \text{ m}$$

$$A_{orif} = \text{Área de cada orificio}$$

- Diámetro de cada orificio D_{orif}

$$D_{orif} = \sqrt{\frac{4 * A_{orif}}{\pi}} \Rightarrow \begin{aligned} D_{orif} &= 0.0019 \text{ m} \\ D_{orif} &= 1.9 \text{ mm} \end{aligned}$$

El diámetro adoptado será

$$\boxed{D_{orif} = 2 \text{ mm}}$$

Este diámetro está dentro la norma.

Entonces:

$$V_{orif} = \frac{Q_{orif}}{A_{orif}}$$

$$\boxed{V_{orif} = 3.07 \text{ m/s}}$$

Como se puede observar el diámetro adoptado nos arroja una velocidad de filtración alta, superando la admisible que es 0.3 m/s. Es por este motivo que se tendrá de aumentar el diámetro del orificio para que disminuya la velocidad.

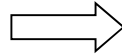
Nuevo diámetro adoptado: $D_O = 4 \text{ mm}$

$$D_O = 0.010 \text{ m}$$

4mm. es el valor máximo que puede tomar según la norma de diseño

Entonces:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$



$$A_{orif} = 0.000013 \text{ m}^2$$

Por lo tanto la nueva velocidad de filtración en los orificios será:

$$V_O = 0.68 \text{ m/s}$$

> a 0.3 No cumple.

No es una velocidad adecuada, pero debemos reducir la velocidad para que no se colmate las tuberías laterales, por lo que como proyectista me veo obligado a exceder el diámetro de 4mm a un diámetro que cumpla con la velocidad y que las pérdidas de carga sean menores.

Probamos en gabinete que para diámetros de 5mm. y 6mm. No cumple la velocidad, por lo que probaremos con 7mm.

Entonces:

$$D_{orif} = 7 \text{ mm.}$$

$$D_{orif} = 0.007 \text{ m.}$$

Calculando el área:

$$A_{orif} = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A_{orif} = \frac{\pi * 0.007^2}{4}$$

$$A_{orif} = 0.000038$$

Probando la velocidad:

$$V_{orif} = \frac{Q_{orif}}{A_{orif}}$$

$$V_{orif} = \frac{0.0000089}{0.000038}$$

$$V_{orif} = 0.23 \frac{m}{s} < 0.3 \text{ m/s}$$

I. Cálculo de la pérdida de carga en el orificio

En las instalaciones hidráulicas resulta necesario colocar una serie de accesorios, tales como: orificios, codos, válvulas, tees, estrechamientos, ensanchamientos, etc. Estos provocan un cambio local en los parámetros del flujo, lo cual aumentan las pérdidas de carga. Las pérdidas locales de presión se denominan pérdidas menores o localizadas y en algunos sistemas pueden llegar a ser, incluso, mas importantes que las pérdidas producidas en los componentes principales del sistema.

Para calcular la pérdida de carga en los orificios se utilizara la siguiente expresión.

$$hf = k * \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad \Rightarrow \quad hf_{orif} = 0.13 \text{ cm}$$

Donde:

K = coeficiente de pérdida, depende del tipo de entrada del depósito a la tubería 0.5

Tomando en cuenta todos los orificios del dren lateral, la pérdida total en los orificios será:

$$hf_{total} = 0.013 * 245$$

$$hf_{total} = 33.02 \text{ cm}$$

Esta pérdida de carga es demasiado grande, se tendrá que elevar el diámetro de los orificios a 8mm.

Entonces:

$$D_{orif} = 8 \text{ mm.}$$

$$D_{orif} = 0.008 \text{ m.}$$

Calculando el área:

$$A_{orif} = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A_{orif} = \frac{\pi * 0.008^2}{4}$$

$$A_{orif} = 0.00005$$

Probando la velocidad:

$$V_{orif} = \frac{Q_{orif}}{A_{orif}}$$

$$V_{orif} = \frac{0.0000089}{0.00005}$$

$$V_{orif} = 0.18 \frac{m}{s} < 0.3 \text{ m/s}$$

Probando pérdidas de carga:

$$hf = k * \left(\frac{V_{orif}^2}{2 * g} \right)$$

$$hf = 0.5 * \left(\frac{0.18^2}{2 * 9.81} \right)$$

$$hf = 0.00083 \text{ m}$$

$$hf = 0.083 \text{ cm}$$

$$h_{f_{total}} = h_f * N_{orif}$$

$$h_{f_{total}} = 0.083 * 254$$

$$h_{f_{total}} = 21.08 \text{ cm}$$

La pérdida es demasiado grande probaremos para 9mm.

Entonces:

$$D_{orif} = 9 \text{ mm.}$$

$$D_{orif} = 0.009 \text{ m.}$$

Calculando el área:

$$A_{orif} = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A_{orif} = \frac{\pi * 0.009^2}{4}$$

$$A_{orif} = 0.000064$$

Probando la velocidad:

$$V_{orif} = \frac{Q_{orif}}{A_{orif}}$$

$$V_{orif} = \frac{0.0000089}{0.000064}$$

$$V_{orif} = 0.14 \frac{m}{s} < 0.3 \text{ m/s}$$

Probando pérdidas de carga:

$$h_f = k * \left(\frac{V_{orif}^2}{2 * g} \right)$$

$$h_f = 0.5 * \left(\frac{0.14^2}{2 * 9.81} \right)$$

$$h_f = 0.0005 \text{ m}$$

$$h_f = 0.05 \text{ cm}$$

$$h_{f_{total}} = h_f * N_{orif}$$

$$h_{f_{total}} = 0.05 * 254$$

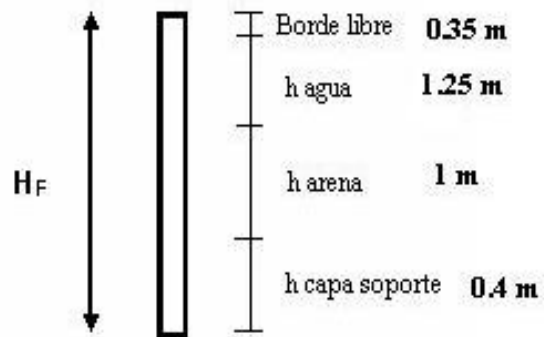
$$h_{f_{total}} = 12.7 \text{ cm}$$

La pérdida de carga es aceptable:

Por lo tanto la perdida de carga será de 12.7 cm

5.2.6.3. Altura del filtro H_F

Esta altura se la obtiene de la suma de las siguientes sub.-alturas.



Entonces la altura de la caja del filtro es:

$$H_F = 3 \text{ m}$$

5.2.7. Estructura de ingreso al filtro

Previo a realizar el cálculo de la estructura de ingreso, se verificara si el caudal aforado en el lugar del proyecto es mayor o menor que el caudal máximo diario.

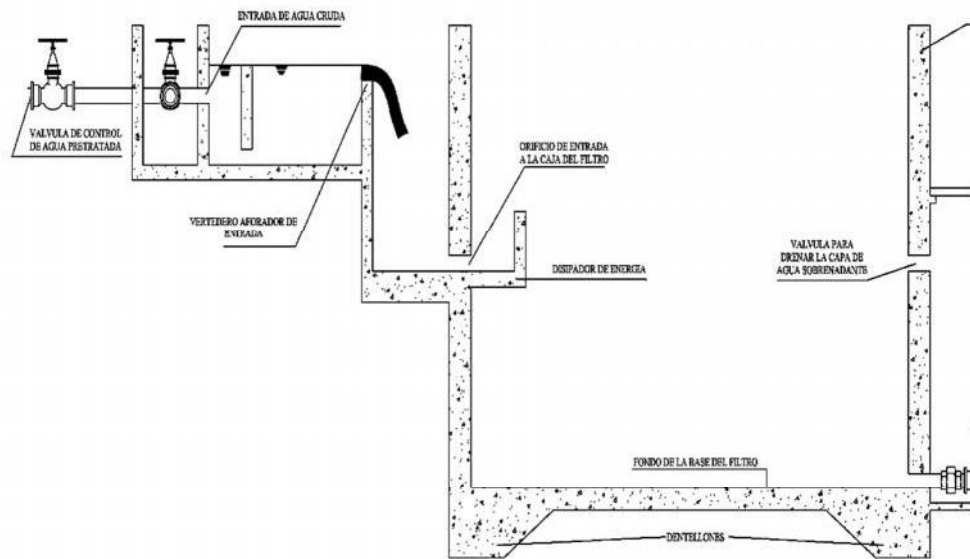
Por lo tanto:

$$Q_{Aforado} \geq Q_{max, d}$$

$$4 \frac{l}{s} > 2.25 \frac{l}{s} \quad \text{OK}$$

Nota.- El caudal aforado a la entrada del filtro fue realizado por el autor de esta obra.

La estructura de ingreso está compuesta por tres unidades de control, las cuales se muestran a continuación.



5.2.7.1. Tubería de ingreso

Dicha tubería ya existe, proviene del filtro grueso que esta en la localidad de San Agustín el cual tiene un diámetro de 4 pulgadas.

5.2.7.2. Orificio de entrada de agua cruda

Utilizando la ecuación de orificios se tiene:

$$Q = C_d * A * \sqrt{2 * g * h}$$

Este orificio en ocasiones trabajara libre y cuando el filtro este colmatado trabajara ahogado; por lo tanto, su condición más desfavorable será cuando este ahogado.

Donde:

$$\begin{aligned} Q_{\text{orif}} &= \text{Caudal de cada filtro} &&= 0.00225 \text{ m}^3/\text{s} \\ C_d &= \text{Coeficiente de descarga} &&= 0.82 \quad \text{De pared gruesa} \\ g &= \text{Gravedad} &&= 9.81 \text{ m/s}^2 \\ h &= \text{Altura de carga (ahogado)} &&= 0.55 \text{ m} \quad \text{asumido} \\ A &= \text{Área del orificio} \end{aligned}$$

Despejando:

$$A_{\text{orificio}} = \frac{Q}{\sqrt{2 * g * h * C_d}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{A_{\text{orificio}} = 0.00084 \text{ m}}$$

Del área de la circunferencia despejamos el diámetro se obtiene la siguiente expresión, que sería el diámetro de entrada del agua cruda.

$$D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} \quad \Rightarrow \quad D = 0.033 \text{ m} = 1.3 \text{ "}$$

El diámetro adoptado es:

$$\boxed{D = 2 \text{ "}} = 0.0508 \text{ m}$$

Se aconseja que la velocidad de ingreso al filtro sea menor que 0,3 m/s, es por este motivo que se realiza la verificación, para saber si el diámetro adoptado es el correcto.

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} \quad \Rightarrow \quad V = 1.11 \text{ m/s} > 0.3 \text{ m/s} \text{ no verifica}$$

Por lo tanto el nuevo diámetro adoptado es:

$$D = 3 \text{ "} = 0.0762 \text{ m} \quad \text{entonces} \quad V = 0.49 \text{ m/s} \quad \text{No Cumple}$$

$$\boxed{D = 4'' = 0.1016 \text{ m}} \quad \text{entonces} \quad \boxed{V = 0.28 \text{ m}} \quad \text{Cumple}$$

a. Pérdida de carga

$$\delta h \approx 0.5 * \frac{V^2}{2 * g}$$

Donde:

Hf = pérdida de carga en (m)

V = velocidad del orificio = 0.28 m/s

g = gravedad = 9.81 m/s²

Por lo tanto la pérdida de carga en el orificio de entrada del agua cruda será:

$$H_f = 0.0020 \text{ m}$$

$$\boxed{H_f = 0.2 \text{ cm}}$$

5.2.7.3. Vertedero de aforo

Se diseñara como un vertedero Triangular o de escotadura en V con un ángulo de 90°, ya que proporcionan mediciones más exactas, que los vertederos rectangulares.

En base a estudios realizados por el CEPIS recomienda utilizar la ecuación de Francis con su coeficiente de gasto C = 1.42, para filtros lentos de arena.

Por lo tanto la ecuación de Francis es:

$$Q = C * H^{2.5}$$

Donde:

Q = caudal de ingreso al filtro = 0.00225 m³ /s

C = coeficiente de descarga = 1.42

H = Altura de carga sobre el vertedero

Remplazando se obtiene

$$H = 0.0759 \text{ m}$$

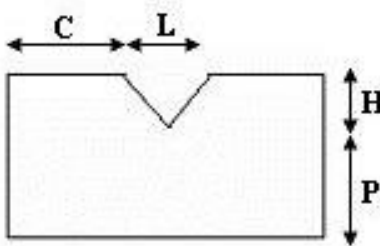
equivalente a 7.59 cm

Según Francis la longitud de cresta sera igual: $3 H \leq L$

Entonces:

$$L = 24 \text{ cm}$$

Según el manual de prácticas del laboratorio de hidráulica de la UAJMS, nos proporciona normas para la instalación de vertederos.



Donde:

L = Cresta o umbral, es el borde superior del vertedero.

P = Distancia vertical entre el piso y la cresta del vertedero. $2H \text{ no } < 30 \text{ cm}$

C = Contracción. $2H \text{ no } < 30 \text{ cm}$

H = Es la altura del líquido medida desde la cresta.

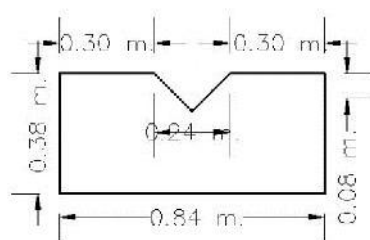
Por lo tanto las dimensiones del vertedero son:

$$L = 24 \text{ cm}$$

$$P = 2H = 2 \cdot 8 = 16 \text{ cm} \text{ entonces se adoptara } 30 \text{ cm}$$

$$C = 2H = 2 \cdot 8 = 16 \text{ cm} \text{ entonces se adoptara } 30 \text{ cm}$$

$$H = 8 \text{ cm.}$$



5.2.7.4. Orificio de entrada a la caja del filtro lento de arena

Utilizando la ecuación de orificios se tiene:

$$Q = C_d * A * \sqrt{2 * g * h}$$

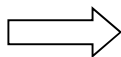
Este orificio en ocasiones trabajara libre y cuando el filtro este colmatado trabajara ahogado; por lo tanto, su condición más desfavorable será cuando este ahogado.

Donde:

Q_{orif} = Caudal del filtro	= 0.00225 m ³ /s	
C_d = Coeficiente de descarga	= 0.82	De pared gruesa
g = Gravedad	= 9.81 m/s ²	
h = Altura de carga (ahogado)	= 1.25 m	asumido
A = Área del orificio		

Despejando:

$$A_{\text{orificio}} = \frac{Q}{\sqrt{2 * g * h * C_d}}$$



$A_{\text{orificio}} = 0.000554 \text{ m}$
--

Del área de la circunferencia despejamos el diámetro se obtiene la siguiente expresión, que sería el diámetro de entrada del agua cruda.

$$D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} \quad \Rightarrow \quad D = 0.027 \text{ m} = 1.06 \text{ "}$$

El diámetro adoptado es:

D = 1"

Se aconseja que la velocidad de ingreso al filtro sea menor que 0,3 m/s, es por este motivo que se realiza la verificación, para saber si el diámetro adoptado es el correcto.

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} \quad \Rightarrow \quad V = 4.44 \text{ m/s} > 0.3 \text{ m/s No cumple}$$

El diámetro calculado no cumple con el parámetro establecido, ya que provoca una velocidad de paso del agua muy alta, lo cual provocaría el rompimiento de la capa biológica. Es por este motivo que se deberá aumentar el diámetro, para que así reduzca la velocidad de paso del agua.

Nuevo diámetro adoptado:

D = 2" = 0.0508 m	entonces	V = 1.11 m/s	No cumple
D = 3" = 0.0762 m	entonces	V = 0.49 m/s	No Cumple
D = 4" = 0.1016 m	entonces	V = 0.28 m/s	Cumple al limite
D = 6" = 0.1524 m	entonces	V = 0.12 m/s	Cumple

a) Pérdida de carga

$$\delta h \approx 0.5 * \frac{V^2}{2 * g}$$

Donde:

Hf = pérdida de carga en (m)

V = velocidad del orificio = 0.12 m/s

$$g = \text{gravedad} = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Entonces la pérdida de carga en el orificio de entrada del agua cruda será:

$$H_f = 0.00037 \text{ m}$$

$$H_f = 0.037 \text{ cm}$$

5.2.8. Estructura de salida

5.2.8.1. Tubería de vaciado de la capa de agua sobre nadante

Se instalara un orificio perforado para poder evacuar toda el agua que esta por encima del lecho filtrante.

La particularidad de estos orificios que no trabaja con una carga de agua constante. A medida que el agua se evacua la carga ira disminuyendo.

$$Vol.max = h_{\text{agua}} * A_{\text{agua}}$$

Se tiene que:

$$h_{\text{agua}} = 1.25 \text{ m}$$

$$A_{\text{agua}} = 4 * 5 = 20 \text{ m}^2$$

$$\text{Entonces:} \quad Vol. \text{ Max} = 25 \text{ m}^3$$

La ecuación para determinar el tiempo de evacuación del agua a través de un orificio es:

$$t = \frac{2 * A}{C_d * A * \sqrt{2 * g}} \sqrt{h}$$

Donde:

$$t = \text{tiempo de evacuación del tanque} = 1800 \text{ seg} \quad 30 \text{ min.}$$

$$A = \text{área del agua} = 20 \text{ m}^2$$

A_o = área del orificio de salida	= m^2
C_d = coeficiente de descarga	= 0.82
g = gravedad	= 9.81 m/s^2
h = altura descarga máxima	= 1.25 m

Se asumirá el tiempo de evaluación para que de esta manera encontrar el área del orificio

$$t = 30 \text{ min} = 1800 \text{ seg}$$

Despejando el área del orificio se tiene:

$$A_o = \frac{2 * A}{C_d * t * \sqrt{2 * g}} \sqrt{h}$$

Remplazando los datos se tiene que el área del orificio es:

$$A_o = 0.00684 \text{ m}^2$$

Del área de la circunferencia despejamos el diámetro:

$$D = \sqrt{\frac{4 * A_o}{\Pi}} \quad \Rightarrow \quad D = 0.0933 \text{ m} = 3.67''$$

Se adopta:

$$D = 4''$$

5.2.8.2. Control de excedencias

En este punto se diseñara un orificio de rebose, utilizando la ecuación de orificios.

Para este fin se tomara el mismo caudal que el de ingresó al filtro:

$$A = \frac{Q}{\sqrt{2 * g * h} * C_d}$$

Donde:

$$Q = \text{caudal de ingreso al filtro} = 0.00225 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C_d = \text{coeficiente de descarga de pared gruesa} = 0.82$$

$$g = \text{gravedad} = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$h = \text{altura descarga} = 0.10 \text{ m}$$

$$A = \text{área de orificio}$$

Remplazando los datos a la formula se obtiene que el área del orificio de rebose es:

$$A = 0.0020 \text{ m}^2$$

De la ecuación del área de la circunferencia despejamos el diámetro:

$$D = \sqrt{\frac{4 * A}{\Pi}} \quad D = 0.05 \text{ m} = 1.97''$$

Diámetro adoptado:

$$D = 2'' = 0.0508 \text{ m}$$

Velocidad de salida será:

$$V = \frac{4 * Q}{\Pi * D^2} \quad \Rightarrow \quad V = 0.28 \text{ m/s}$$

5.3. Pérdidas de carga y niveles

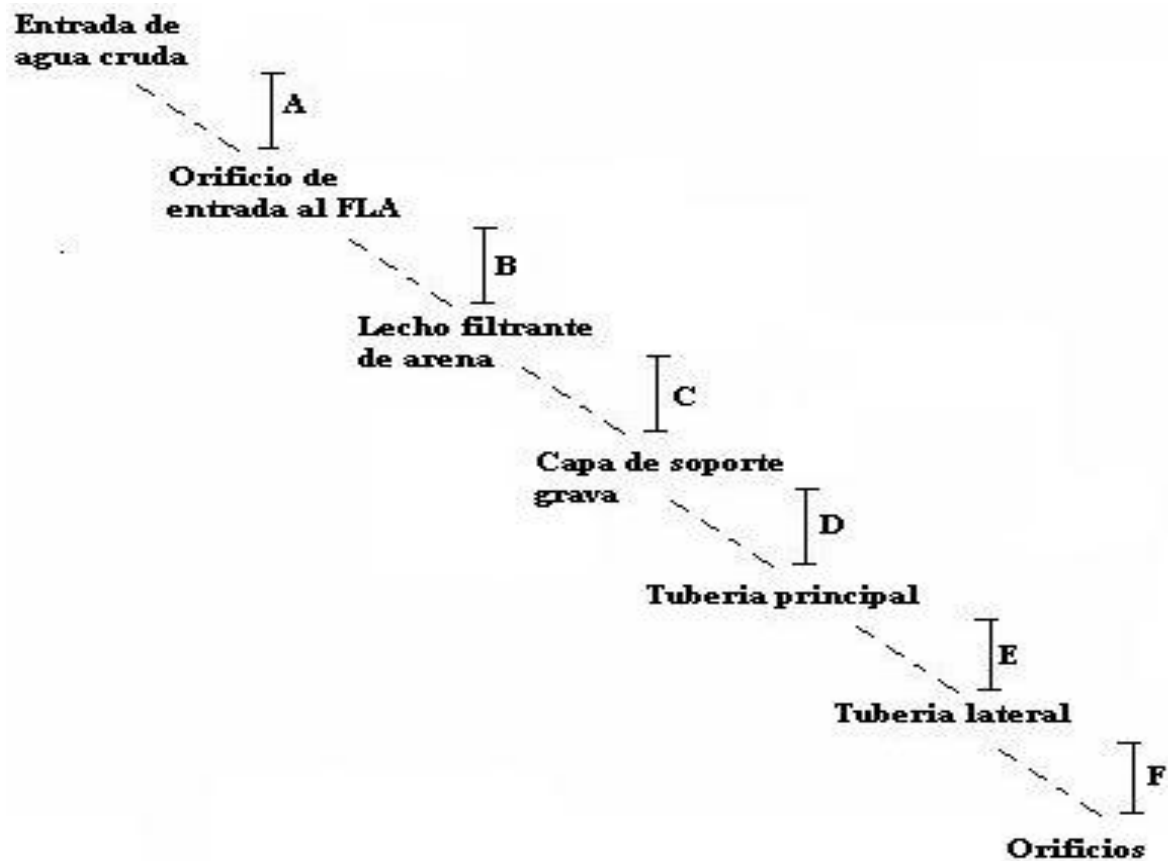
Existen varios métodos para el cálculo de la perdida de carga pero a pesar de una infinidad de estudios y pruebas no sea logrado obtener un método cien por ciento fiable, todos estos son una aproximación. Por tal motivo, algunos autores con mucha experiencia al respecto aconsejan asumir esta pérdida de carga que puede oscilar entre 16 hasta 120 cm.

La aplicación de fórmulas cuando se usa datos supuestos (no experimentales) puede ser tan aproximada como asumir directamente el valor de la perdida de carga sin recurrir a dichas formulas.

Para nuestro filtro lento de arena se tendrá las siguientes pérdidas de carga:

- a) Pérdida de carga en el orificio de entrada de agua cruda
- b) Pérdida de carga en el orificio de entrada a la caja del FLA
- c) Pérdida de carga en el lecho filtrante de arena
- d) Pérdida de carga en la capa de soporte del filtro (grava)
- e) Pérdida de carga en el sistema de drenaje
 - 1) Pérdida de carga por los orificios
 - 2) Pérdida de carga en el dren principal
 - 3) Pérdida de carga en el dren lateral

A continuación se muestra el perfil hidráulico de la planta de filtración lenta en arena (flujo por gravedad)



A = Pérdida de carga en el orificio de entrada de agua cruda = 0.200 cm

B = Pérdida de carga en el orificio de entrada a la caja del FLA = 0.037 cm

C = Pérdida de carga en el lecho filtrante de arena = 6.410 cm

D = Pérdida de carga en la capa de soporte del filtro (grava) = 0.037 cm

E = Pérdida de carga en la tubería principal = 0.300 cm

F = Pérdida de carga en la tubería lateral = 0.970 cm

G = Pérdida de carga por los orificios = 12.700 cm

La pérdida total del sistema será la suma de todas las pérdidas de carga A,B,C,D,E,F

HT = 20.654 cm

Todos los datos numéricos plasmados en el presente proyecto se representaran en planos en la parte final de anexos.

CAPITULO VI

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

A. CONCLUSIONES

Después de realizar una revisión bibliográfica y haber concluido con la elaboración del diseño de una planta de tratamiento de agua por medio de filtros lentos de arena satisfactoriamente se puede concluir mencionando que:

- a)** El agua que sale rio San Agustín si es apta para el consumo de la comunidad de Santa Ana la Vieja.
- b)** No existe una regla exacta para poder realizar un diseño tipo y poder aplicarlo en cualquier parte, el proyectista debe realizar una amplia investigación referente al tema y poder adecuarlo para cada situación que se le presente.
- c)** El caudal máximo diario de la planta de filtración lenta en arena es un poco grande, por ende las dimensiones de las unidades de nuestra planta de tratamiento también son grandes. Las dimensiones de la caja del FLA son 4 x 5 m.
- d)** El espesor del lecho filtrante no afecta prácticamente a la carrera del filtro, sin embargo la calidad del agua efluente mejora en proporción al espesor del filtro.
- e)** El dato más importante para el diseño del FLA es la velocidad de filtración del agua, como su nombre lo indica trabaja solamente con velocidades bajas, llegando un pico de 0.3 m/h. Parámetro que se determinó en el laboratorio de la U.A.J.M.S, el cual es 0.17 m/h
- f)** Todos los dimensionamientos que se realizaron están acorde con el nivel de vida de la población, puesto que no se puede realizar una planta de tratamiento con los refinamientos más modernos, para una población que apenas pueda pagar tasas mínimas por el agua tratada.
- g)** El presente proyecto de grado se lo diseño de forma detallada con la finalidad de que el estudiante de la carrera de ingeniería civil cuente con una fuente de información en el presente proyecto, como así también será de gran utilidad para los futuros ingenieros.
- h)** La filtración lenta en arena, es una técnica de tratamiento del agua sencilla, eficiente y confiable, sus costos por lo general están al alcance de los recursos

de la comunidad y las facilidades para el diseño, construcción y mantenimiento, se encuentra usualmente disponible a nivel local o pueden adquirirse relativamente fácil, en este proyecto no cuenta con el análisis de precios unitarios porque la gran mayoría de insumos es de origen local, a excepción de las tuberías y accesorios.

- i) Los procesos previos como ser la sedimentación, pre filtración y filtración son considerados procesos preparatorios para la desinfección pues reducen la carga bacteriana y hacen más eficiente el proceso de desinfección.
- j) El proceso de desinfección se lo debe incluir siempre al finalizar el tratamiento del agua. El elemento más utilizado a nivel mundial es el cloro debido a su economía y fácil adquisición.

B. RECOMENDACIONES

- a)** Para el cálculo de la Población Futura, parámetro muy importante para el diseño de nuestra planta de tratamiento, deducimos un índice de crecimiento i del Gobierno Municipal, promedio del área rural, hacemos notar que el Instituto Nacional de Estadística no cuenta con información de dicho índice, lo que dificultó para que se pueda diseñar con exactitud una planta de tratamiento o un sistema de agua potable en el área rural.
- b)** El método que se utiliza para el cálculo de la población futura; es el exponencial porque son los más utilizados en nuestro medio y por el I.N.E. El ingeniero proyectista, podrá de acuerdo a las condiciones particulares de la localidad, adoptar uno de los métodos recomendados por la N.B. y optar por otro criterio previa justificación técnica.
- c)** El caudal de demanda de la planta de filtración lenta de arena (caudal máximo diario) es grande, por ende las dimensiones de las unidades de nuestra planta de tratamiento también son pequeñas, las dimensiones de la caja del filtro tiene un área de 20 m² por unidad y una altura de lecho filtrante de 1.25 m.
- d)** Para la determinación del caudal mínimo del Río de Santa Ana, no se cuenta con aforos pues se utiliza la similitud hidrológica entre cuencas admitiéndose la relación directa de áreas; por tanto los caudales del río de Santa Ana, con respecto al río Yesera son el 17%.
- e)** Se aforo dos veces el caudal a la llegada del tanque, este aforo se lo realizó en época de estiaje, lo cual se comprobó que el caudal es de 0.0004 m³/seg. con la finalidad de comprobar con el caudal mínimo.
- f)** Es importante hacer notar que en la construcción; tanto de la estructura de entrada, y como el de salida, el principal insumo de material es el hormigón con una buena dosificación, que de alguna manera encarecerá el presupuesto general de la planta de tratamiento. Para la construcción de estas unidades en el medio rural tendrá que justificarse técnicamente y económicamente.
- g)** La filtración lenta del agua en arena, es una técnica de tratamiento del agua sencilla, eficiente y confiable, sus costos, por lo general están al alcance de los recursos de la comunidad y las facilidades para el diseño, construcción, operación

y mantenimiento, se encuentra usualmente disponible a nivel local o pueden adquirirse relativamente fácil.

- h)** Está demostrado que la capacidad de un filtro lento en remover turbiedad en función de tamaños de los granos, es eficaz. Si bien una arena fina produce una, mejor calidad del agua filtrada, también produce carreras de filtro más cortas. Y al aumentar la porosidad del material del medio produce carreras más largas en perjuicio de la calidad del efluente.
- i)** La eficiencia de los filtros lo determinamos a través del cuadro de cálculos que nos arroja como resultado eliminación de bacterias del orden del 99%. Este punto puede ser un tema de tesis para cualquier estudiante de ingeniería civil el tema sería "Eficiencia de Filtros Lentos Para Distintos Materiales Porosos".