



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CRITERIOS DE DISEÑO DE UN PREFILTRO DE FLUJO VERTICAL
DESCENDENTE PARA EL PRETRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

FARIAS NAGUA JONATHAN ALEXANDER
INGENIERO CIVIL

MACHALA
2023



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CRITERIOS DE DISEÑO DE UN PREFILTRO DE FLUJO VERTICAL
DESCENDENTE PARA EL PRETRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE

FARIAS NAGUA JONATHAN ALEXANDER
INGENIERO CIVIL

MACHALA
2023



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EXAMEN COMPLEXIVO

CRITERIOS DE DISEÑO DE UN PREFILTRO DE FLUJO VERTICAL DESCENDENTE
PARA EL PRETRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

FARIAS NAGUA JONATHAN ALEXANDER
INGENIERO CIVIL

AGUIRRE MORALES FREDY ALEJANDRO

MACHALA, 27 DE FEBRERO DE 2023

MACHALA
27 de febrero de 2023

CRITERIOS DE DISEÑO DE UN PREFILTRO DE FLUJO VERTICAL DESCENDENTE PARA EL PRETRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

por Jonathan Alexander Farias Nagua

Fecha de entrega: 22-feb-2023 03:08p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2020671695

Nombre del archivo: ARA_EL_PRETRATAMIENTO_DE_AGUA_POTABLE-FARIAS_NAGUA_JONATHAN.docx
(371.73K)

Total de palabras: 7322

Total de caracteres: 37145

CRITERIOS DE DISEÑO DE UN PREFILTRO DE FLUJO VERTICAL DESCENDENTE PARA EL PRETRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

INFORME DE ORIGINALIDAD

4%

INDICE DE SIMILITUD

3%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.utmachala.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
2	repositorio.utfpr.edu.br Fuente de Internet	<1 %
3	prezi.com Fuente de Internet	<1 %
4	Submitted to Universidad Internacional de la Rioja Trabajo del estudiante	<1 %
5	repository.unad.edu.co Fuente de Internet	<1 %
6	www.redalyc.org Fuente de Internet	<1 %
7	Submitted to Universidad Técnica de Machala Trabajo del estudiante	<1 %
8	jornalold.faculdadecienciasdavidacom.br Fuente de Internet	<1 %

9	atenea.udistrital.edu.co Fuente de Internet	<1 %
10	digital.csic.es Fuente de Internet	<1 %
11	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
12	"Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos Humanos, Volume 32 (2016)", Brill, 2018 Publicación	<1 %
13	baixardoc.com Fuente de Internet	<1 %
14	patents.google.com Fuente de Internet	<1 %
15	portal.lacaixa.es Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.ufgd.edu.br Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.usm.cl Fuente de Internet	<1 %
18	tel.archives-ouvertes.fr Fuente de Internet	<1 %
19	1library.co Fuente de Internet	<1 %

20

R. Balasubramonian, D.H. Albonesi, A. Buyuktosunoglu, S. Dwarkadas. "A dynamically tunable memory hierarchy", IEEE Transactions on Computers, 2003

Publicación

<1 %

21

Tamara Rocío Ruiz Calleja. "Funcionalización de textiles mediante la aplicación de grafeno", Universitat Politecnica de Valencia, 2021

Publicación

<1 %

22

doczz.net

Fuente de Internet

<1 %

23

es.slideshare.net

Fuente de Internet

<1 %

24

pesquisa.bvsalud.org

Fuente de Internet

<1 %

25

teex.com

Fuente de Internet

<1 %

26

www.alice.cnptia.embrapa.br

Fuente de Internet

<1 %

27

www.google.com

Fuente de Internet

<1 %

28

www.slideshare.net

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas Apagado

Excluir coincidencias Apagado

Excluir bibliografía Apagado

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, FARIAS NAGUA JONATHAN ALEXANDER, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado CRITERIOS DE DISEÑO DE UN PREFILTRO DE FLUJO VERTICAL DESCENDENTE PARA EL PRETRATAMIENTO DE AGUA POTABLE, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

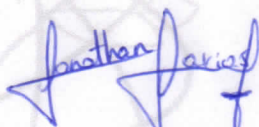
El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 27 de febrero de 2023



FARIAS NAGUA JONATHAN ALEXANDER
0750498701

RESUMEN

Los filtros lentos de arena empleados en el tratamiento de agua potable en zonas rurales presentan problemas de funcionamiento en épocas de lluvia debido al incremento de la turbidez, lo que ocasiona taponamientos del medio filtrante, haciendo que estos filtros se vuelvan ineficientes para la remoción de turbidez, coliformes fecales y patógenos en general comúnmente presentes en el agua, elevando así los costos de mantenimiento y limpieza del filtro y ocasionando problemas de salud en los usuarios. Debido a esto es necesario realizar un tratamiento previo del agua en prefiltros gruesos de grava, los cuales son un complemento a los filtros lentos de arena. El presente trabajo expone los criterios necesarios para el diseño de un prefiltro de grava analizando la conveniencia de la dirección de flujo, ya sea horizontal, vertical ascendente o descendente, además de parámetros como tamaño y altura de la grava y tasa de filtración. El resultado final de este trabajo es el diseño de un prefiltro de flujo vertical descendente capaz de eliminar teóricamente el 98% de la turbidez de una muestra de 109 UNT, el caudal de diseño es de 1 l/s, el prefiltro consta de 2 unidades de filtración cada una con 3 cámaras, un medio filtrante de grava de 0.5 metros de alto y tamaños de 1 a 4 cm, una velocidad de filtración de 1 m/h en la primera cámara y 0.8 m/h.

Palabras clave: tratamiento de agua potable, prefiltro de grava, flujo descendente, criterios de diseño, turbidez.

ABSTRACT

Slow sand filters used in the treatment of drinking water in rural areas have operating problems in rainy seasons due to increased turbidity, which causes clogging of the filter medium, making these filters inefficient for turbidity removal fecal coliforms and pathogens in general probably present in the water, thus raising the costs of maintenance and cleaning of the filter and causing health problems for users. Due to this, it is necessary to carry out a previous treatment of the water in coarse gravel pre-filters, which are a complement to slow sand filters. The present work exposes the necessary criteria for the design of a gravel prefilter, analyzing the speed of the flow direction, be it horizontal, vertical, ascending or descending, as well as parameters such as size and height of the gravel and filtration rate. The final result of this work is the design of a downward vertical flow prefilter capable of theoretically removing 98% of the turbidity from a sample of 109 UNT, the design flow is 1 l/s, the prefilter consists of 2 units filtration each with 3 chambers, a gravel filter medium 0.5 meters high and 1 to 4 cm in size, a filtration speed of 1 m/h in the first chamber and 0.8 m/h.

Keywords: drinking water treatment, gravel prefilter, downflow, design criteria, turbidity.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X
INTRODUCCIÓN.....	12
1. GENERALIDADES DEL OBJETO DE ESTUDIO	13
1.1 Definición y contextualización del problema	13
1.1 Objetivos de la investigación	13
1.1.1 Objetivo general.....	13
1.1.2 Objetivos específicos	13
2. DESARROLLO	14
2.1 Fundamentos teóricos.....	14
2.1.1 Calidad del agua.....	14
2.1.2 Filtros lentos de arena	14
2.1.3 Filtración gruesa.....	15
2.1.4 Clasificación de los sistemas de filtración gruesa por el tipo de flujo	15
2.1.5 Características de la grava para prefiltros.....	17
2.1.6 Velocidad de filtración.....	19
2.1.7 Lavado del prefiltro	20
2.1.8 Remoción de turbiedad.....	21
2.1.9 Remoción de coliformes fecales	22
2.1.10 Remoción del color real	22
2.1.11 Remoción del hierro y manganeso.....	23
2.1.12 Cloro para la reducción de hierro, manganeso y color	23
2.1.13 Parámetros de la calidad de agua para consumo humano	24
2.2 Metodología.....	24
2.2.1 Calidad del afluente	24
2.2.2 Criterios de diseño seleccionados	25
2.2.3 Cálculos realizados.....	27
2.3 Resultados	38
2.3.1 Descripción del prefiltro	38
2.3.2 Eficiencia del prefiltro.....	38
3. CONCLUSIONES	39
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40
5. ANEXOS.....	44

INTRODUCCIÓN

La contaminación y escasez del agua son factores inherentes al desarrollo de la especie humana, siendo así que cada vez es más común el desabastecimiento de este vital recurso en zonas rurales, donde por motivos económicos o de disponibilidad la mejor opción suele resultar el tratamiento de las aguas superficiales como afluentes de la zona.

El agua potable debe tener características las cuales aseguren su calidad como estar libre de turbidez, coliformes fecales, patógenos, color y sabor perceptible, también debe cumplir con las normativas establecidas en cada país.

Según la Organización Mundial de la Salud el agua de los afluentes se encuentra naturalmente contaminada, por tanto, su consumo puede causar una serie de enfermedades que incluso pueden resultar mortales.

Para un correcto tratamiento de estas aguas superficiales se requiere de un sistema de filtrado lento en arena, el cual suele presentar problemas si el nivel inicial de turbiedad es demasiado elevado, algo que suele ser común en época de lluvias, ocasionando que estos filtros se taponen y por consiguiente su funcionamiento no sea el adecuado, obteniendo así un agua que no cumple con los parámetros establecidos para su consumo.

Los prefiltros de grava principalmente se clasifican según la dirección de su flujo, ya sea en horizontales o verticales descendentes si el agua ingresa por la parte superior y verticales ascendentes si lo hace por debajo.

1. GENERALIDADES DEL OBJETO DE ESTUDIO

1.1 Definición y contextualización del problema

El suministro de agua potable sigue siendo un problema a nivel mundial, especialmente en las zonas rurales de países subdesarrollados, donde por falta de recursos económicos es necesario optar por sistemas de bajo costo para el tratamiento de agua, siendo en este contexto la filtración la alternativa más viable para la remoción de turbiedad, color, patógenos y coliformes presentes en el agua.

Para garantizar que el agua cumpla los parámetros físicos y químicos de potabilidad es necesario usar filtros de arena con una baja tasa de filtración, sin embargo, estos suelen presentar problemas de taponamiento durante la época invernal, haciendo que sea necesario un tratamiento previo del agua con prefiltros de grava, no obstante, existen diferentes criterios de diseño que afectan al funcionamiento de los mismos.

1.1 Objetivos de la investigación

1.1.1 Objetivo general

Establecer los criterios de diseño óptimos para un prefiltro granular grueso, mediante la investigación bibliográfica para determinar un modelo de prefiltro que sirva como complemento a los filtros lentos de arena y que se adecue a las necesidades de pretratamiento de agua potable en zonas rurales.

1.1.2 Objetivos específicos

Conceptualizar los diferentes criterios de diseño que existen para prefiltros, así como sus características a fin de entender los principales parámetros que afectan al proceso de filtración para tratamiento de agua potable

Realizar el diseño de un prefiltro de grava que resulte eficiente y de fácil mantenimiento para que sea una opción viable en el tratamiento de agua potable en zonas rurales.

Describir el funcionamiento del prefiltro diseñado para el tratamiento previo de agua potable.

2. DESARROLLO

2.1 Fundamentos teóricos.

2.1.1 Calidad del agua.

2.1.1.1 Importancia de la calidad del agua para consumo humano.

Las muertes por consumo de agua o alimentos contaminada se estiman en más de 2 millones anualmente, este problema se ve mayormente en países en vía de desarrollo que no cuentan con sistemas de filtración eficientes. Lo principales agentes contaminantes poliomavirus de origen fecal que causan enfermedades gastrointestinales, además, aunque no exista contaminación fecal, las aguas naturales de por sí presentan una concentración de virus de $10^8 ml^{-1}$. [1]

2.1.1.2 El tratamiento de agua con filtración

La filtración es un proceso de eliminación de agentes contaminantes, patógenos y sólidos en suspensión mediante un medio filtrante, el cual retiene las partículas coloidales a la vez que permite el paso del agua, su eficiencia es muy alta en eliminación de bacterias, alcanzando hasta un 99%. [2]

2.1.2 Filtros lentos de arena

Son filtros de bajo costo, con un medio granular de arena y cuyas velocidades de filtración suelen estar entre 0.10 y 0.20 m/h, esto sumado al tamaño de las partículas los hacen muy eficientes en la clarificación del agua, así como en la remoción de bacterias y patógenos, además tienen una larga vida útil operativa y no causan contaminación ambiental, siendo ideales para zonas rurales. [3]

2.1.2.1 Problemas de los filtros lentos de arena.

El principal problema de este tipo de filtros es que solo pueden trabajar de forma óptima con turbiedades de 10 a 20 UNT, dado que si la turbiedad es cercana a 50 hay muchos problemas de taponamiento, ocasionando que los filtros se colmaten y no trabajen de forma adecuada por lo que pierden gran capacidad de eliminación de patógenos, lo que representa problemas en la calidad del agua, además habría la necesidad de limpiarlos constantemente, lo cual a su vez se traduce en falta de abastecimiento durante las limpiezas. [4]

En vista de los problemas de los filtros lentos surge la necesidad de realizar la filtración del agua en múltiples etapas contando con prefiltros gruesos de grava para un pretratamiento del agua antes de su ingreso al filtro de arena.

2.1.3 Filtración gruesa.

2.1.3.1 Eficiencia de los medios granulares gruesos

Según estudios la grava, roca volcánica y fibra sintética pueden eliminar más del 80% de sólidos suspendidos, no obstante, en la eliminación de metales como el fósforo la roca volcánica queda a deber y su eficiencia es baja a comparación de la grava que mantiene un 65% de eficiencia. [5]

2.1.3.2 Filtración con grava

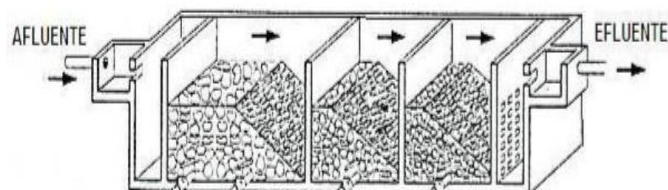
Grava: Es un medio granular con un tamaño comprendido entre los 2 y 64 mm, que puede ser producido de manera artificial mediante la trituración de roca o de forma natural en los lechos de los ríos. [6]

2.1.4 Clasificación de los sistemas de filtración gruesa por el tipo de flujo

2.1.4.1 Flujo horizontal

Su diseño y funcionamiento es sencillo, ya que el agua simplemente fluye de manera horizontal hacia diferentes cámaras separadas con perforaciones, las cuales tienen material granular que decrece en tamaño siguiendo la dirección del flujo. [7]

Ilustración 1: Filtro de flujo horizontal



Fuente. [8]

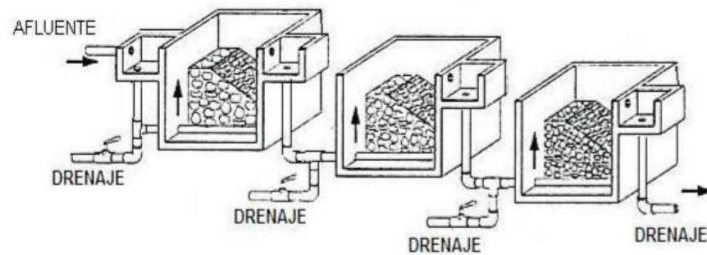
2.1.4.2 Flujo vertical

El lecho filtrante debe estar completamente sumergido, siendo este de mayor tamaño en la primera cámara del filtro y decreciendo en tamaño en las posteriores, su diseño es algo más complejo que el filtro horizontal, puesto que se requieren sistemas de entrada y salida de agua en cada unidad que compone el filtro, y dependiendo de la ubicación de dichos sistemas se clasifica a estos filtros en ascendentes o descendentes. [7]

2.1.4.2.1 Flujo vertical ascendente

El agua ingresa desde la parte inferior de cada cámara del filtro.

Ilustración 2. Filtro de flujo vertical ascendente

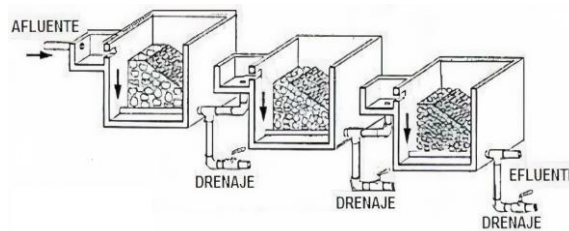


Fuente: [8]

2.1.4.2 Filtro vertical de flujo descendente:

El agua ingresa desde la parte superior de cada cámara del filtro.

Ilustración 3. Flujo vertical descendente



Fuente: [8]

2.1.4.3 Diferencias entre los filtros de flujo horizontal y vertical

Si bien es cierto que los filtros de flujo horizontal tienen mayor eficiencia, la realidad es que esta es mínima, por lo que no compensa el gran espacio que ocupan frente a los filtros de flujo vertical, de igual forma no es un factor determinante que los filtros horizontales puedan tratar picos de turbiedades cercanas a 1000 UNT, dado que turbiedades así son irreales en afluentes. [9]

En los filtros horizontales los lodos se acumulan en las entradas de cada cámara, mientras que en los verticales en el medio filtrante, debido a esto los filtros horizontales son más complicados de limpiar, pero también menos propensos a sufrir problemas por las variaciones del caudal, aunque esto se puede mitigar usando vertederos en los filtros verticales.[9]

2.1.4.4 Comparación de los filtros de flujo vertical ascendente y descendente

Durante las investigaciones realizadas en la década del 90 ambos sistemas dieron buenos resultados en épocas secas, el problema son las épocas de lluvia, donde los filtros de flujo ascendente suelen taponarse más seguido que los de flujo descendente.[8]

Los filtros de flujo descendente no se obstruyen de forma tan seguida como los ascendentes, pero el problema es que la dirección del flujo hace que se tapen arriba a diferencia de los ascendentes donde el taponamiento es abajo, esta diferencia implica que los sistemas de lavado en los filtros descendentes deben tener un mejor sistema de drenaje. [9]

2.1.5 Características de la grava para prefiltros

2.1.5.1 Forma de la grava

Por otra parte, la Normativa ecuatoriana NTE INEN 2149 dice que la grava a emplearse en filtros no puede ser triturada, debe ser en su mayoría de forma redondeada, para esto se recomienda hacer una separación de las gravas planas o alargadas, permitiendo que en el peso total de la grava un máximo de 2% no cumpla con la forma redondeada.[10]

El reglamento Nacional de edificaciones de Perú limita el uso de grava o piedra triturada solo a los sistemas de drenaje. la cual sirve para aislar el material filtrante principal de las ranuras de drenaje de mayor tamaño. [11]

2.1.5.2 Gravedad específica

Esta es un valor adimensional, obtenida como resultado de la división entre la densidad de la grava y la del agua, por lo tanto, cuanto mayor sea este valor de 1, el material es menos propenso a la flotabilidad, según la norma ecuatoriana este valor debe ser mínimo de 2.5 para las gravas a emplearse en filtros. [12]. La norma peruana también tiene este mismo criterio, pero acepta que hasta el 1% de la grava puede ser menor a 2.25. [11]

2.1.5.3 Coeficiente de uniformidad

Expresado como $Cu = D_{60}/D_{10}$, el coeficiente de uniformidad es igual a la división entre el 60% de las partículas de menor diámetro con el diámetro efectivo que equivale al 10% de las partículas de menor diámetro, este valor según la normativa peruana no debe exceder de 2.5. [12]

2.1.5.4 Porosidad

Se necesita que la porosidad sea alta para permitir el paso del flujo a través del medio filtrante, en gravas gruesas esta puede llegar a alcanzar el 41% y ser un 45% para gravas finas. [13]

2.1.5.5 Permeabilidad

La permeabilidad es importante para que el material filtrante pueda retener las partículas coloidales del agua, de modo que una grava con una permeabilidad menor a 30% debería descartarse. [14]

La permeabilidad no siempre se encuentra relacionada directamente con la porosidad, dado que esta depende de la unión de los poros, los mismos que en caso de no estar interconectados limitarían el paso del agua. [13]

2.1.5.6 Altura, número de capas y tamaños de la grava

La grava no debe ser necesariamente de un mismo tamaño en cada cámara del filtro, esto se puede ver en el coeficiente de uniformidad de 2.5, por esta misma razón es que la grava se suele colocar en rangos de tamaño.

Tabla 1. Grava en prefiltros según la norma ecuatoriana.

Capa por cada cámara	Flujo Horizontal		Flujo Descendente	
	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Profundidad (m)	Diámetro (mm)
1	1	25-80	0,1	15-25
2	4,5	30-70	0,2	10-15
3	4,5	5-12	0,5	5-10

Fuente: CPE INEN 5 Parte 9-1. [15]

Tabla 2. Grava en prefiltros según la norma colombiana.

Capa por cada cámara	Cámara	Flujo Horizontal		Flujo Descendente	
		Diámetro (mm)	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Altura (m)
1	1	19-25	16-80	19-25	0,85-1,25
	2	13-19		13-19	
	3	4-13		4-13	

Fuente: RAS. [16]

Tabla 3. Grava en prefiltros de flujo ascendente según la norma colombiana.

Capa por cada cámara	Flujo Ascendente	
	Diámetro (mm)	Altura (m)
1	varía entre 4 a 25	0,85-1,25
2		
3		
4		
5		

Fuente: RAS. [16]

Tabla 4. Grava en prefiltros de flujo horizontal y descendente según la norma peruana.

Capa	Cámara	Flujo Horizontal		Descendente	
		Altura (m)	Diámetro (cm)	Altura (m)	Diámetro (cm)
1	1	0.5	1 a 4	0,5	1 a 4
	2				
	3				
Fuente: RNE [11]					

Tabla 5. Grava en prefiltros de flujo horizontal según la norma peruana.

Capa	Ascendente	
	Altura (m)	Diámetro (cm)
1	0,3	1,4 a 2,0
2		2,4 a 4,8
3		6,4 a 12,7
Fuente: RNE [11]		

Las tablas del 1 al 5 muestran los criterios para la selección del medio filtrante, como se aprecia la norma ecuatoriana es la única que propone diseñar prefiltros de flujo descendente en varias capas, algo que solo es aplicable a los diseños de prefiltros ascendentes en las normas peruana y colombiana, por lo que se podría decir que una sola capa de grava es suficiente en un prefiltro de flujo descendente.

A nivel laboratorio se han hecho pruebas que determinan que 0.5 m de profundidad de grava es suficiente para eliminar adecuadamente sedimentos y metales, y una mayor altura como 0.90 metros no tendría ningún efecto significativo ni siquiera en la eliminación de nutrientes. [17]

2.1.6 Velocidad de filtración

2.1.6.1 Velocidades propuestas para prefiltros de grava

Tabla 6. Velocidades de filtración para prefiltros.

Tipo de Prefiltro	Velocidad de filtración (m/h)		
	Colombia	Ecuador	PERU
Horizontal	0,3-1,5	0,5	0,5-1,5
Ascendente	0,3-0,7	---	máx. 1
Descendente	0,3-0,7	0,25	máx. 1
Fuente: RNE, CPE INEN 5 Parte 9-1, RAS [11,15,16]			

Como se puede ver en la tabla 6, las velocidades de filtración de la normativa peruana son más permisibles, mientras que la ecuatoriana es más limitada, siendo así que solo da criterios de diseño para prefiltros de grava de tipo descendente.

2.1.6.2 Impacto de la velocidad de filtración

La velocidad de filtración es inversamente proporcional a la eficiencia en la remoción de turbidez, sin embargo, una menor tasa de filtración implicaría que los compartimentos tengan mayor área y caudal de lavado, lo que se traduce en mayores costos de fabricación y mantenimiento.

Tabla 7. Eficiencia de las velocidades de filtración en la remoción de turbidez.

Tipo de flujo	Turbiedad Inicial	Eficiencia con diferentes tasas de velocidad		
		0,30 m/h	0,50 m/h	0,70 m/h
Flujo Horizontal	30 UNT	80,73%	76,80%	73,33%
Flujo Vertical ascendente	30 UNT	87,88%	83,02%	76,64%
Flujo Vertical descendente	30 UNT	78,59%	76,19%	74,94%
Fuente: K. M. Adel, M. S. Negm, M. H. Abdel y d E. S. Wahb. [18]				

La tabla 7 muestra que los prefiltros de flujo descendente pierden un menor porcentaje de eficacia a medida que aumenta la tasa de filtración, siendo así que la pérdida de eficiencia entre la velocidad de 0.3 m/h a 0.8 m/h es de menos de 4%, mientras que los de flujo horizontal pierden más de 7% de eficiencia y los ascendentes 11%, por ende, si queremos una mayor velocidad de filtración sin perder mucha eficiencia lo recomendable es trabajar con prefiltros de flujo descendente.

2.1.7 Lavado del prefiltro

2.1.7.1 Velocidad de lavado

El reglamento de Edificaciones de Perú recomienda velocidades de lavado de 1 m/min a 1.5/min para todo tipo de prefiltro.[11], para la obtención de la velocidad de lavado se puede emplear un caudal externo mediante bombeo o usar el agua del propio prefiltro. [11]

Tabla 8. Velocidades de lavado sugeridas por normas.

Tipo de Prefiltro	Velocidad de lavado (m/min)		
	Colombia	Ecuador	Perú
Horizontal	0,3-1	0,6-1,5	1-1,5
Ascendente	0,3-1	---	1-1,5
Descendente	0,3-1	0,6-1,5	1-1,5

Fuente: RNE, CPE INEN 5 Parte 9-1, RAS [11,15,16]

La tabla 8 muestra que el reglamento de Perú es el más permisivo con las velocidades de filtración que se podrían considerar altas comparándola especialmente con las de Colombia que empieza en 0.3 m/min.

2.1.7.2 Velocidad del canal de drenaje

Su valor debe estar en el rango de 1 a 1.5 m/s, además es directamente proporcional al caudal de diseño. [11]

2.1.7.3 Caudal de lavado

Es el caudal necesario para lavar el prefiltro, se puede obtener mediante fuentes externas o empleando el agua del propio prefiltro. Es inversamente proporcional a la velocidad de filtración, dado que si esta es baja el área de filtración crece, lo cual hará que el caudal de lavado también sea mayor. [11]

2.1.8 Remoción de turbiedad

Es un indicador de la falta de claridad del agua a causa de la contaminación por sólidos disueltos, se mide en Unidades nefelométricas de turbidez (UNT) [20], en un prefiltro de grava con un medio filtrante de mínimo 0.5 metros de alto el parámetro más importante para estimar el nivel de remoción de turbiedad es la velocidad de filtración, para una estimación de la eficiencia del prefiltro, la Norma Peruana de Edificaciones recomienda emplear la siguiente fórmula: [11]

$$T_f = T_o * e^{(-1.15/v_f)} \quad (1)$$

Siendo T_f =Turbiedad del efluente (UNT), T_o =Turbiedad del afluente (UNT) y v_f =velocidad de filtración en m/h. [11]

Aunque este cálculo es orientativo, dado que si la turbiedad es demasiado alta la eficiencia se verá reducida, siendo así que para un caso extremo de una turbiedad de 450 UNT, una velocidad de filtración de 1 m/h no es suficiente, ya que solo se reduciría hasta 70 UNT en verano y 75 UNT en invierno. [19]

2.1.9 Remoción de coliformes fecales

La E. coli es la principal bacteria contaminante de los coliformes fecales, su presencia en un afluente es indicativo de que existe contaminación por excreción de animales, esto se ve empeorado en climas cálidos que favorecen la vida de la bacteria [20]

El nivel de reducción de microorganismos depende principalmente de la velocidad de filtración, si es cercana a $14 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ dia}$ o 0.58 m/h y el flujo es horizontal con un tamaño de grava entre 1 a 4 cm podría eliminar hasta el 99% de los coliformes fecales presentes en el agua. [15]. Según Galvis la reducción típica de coliformes fecales en prefiltros verticales es de 0.65 a 2.5 unidades logarítmicas. [8]

Tabla 9. Remoción de coliformes fecales en plantas de flujo vertical.

Prefiltros de grava vertical en zonas rurales de Cali Colombia	Velocidad de filtración	forma de la grava	Tamaño de la grava	Remoción media de Coliformes fecales Log 10 UFC/100 ml
El retiro	0,64 m/h	redondeada	4 a 28 mm	0,50 log
La Golondrina	0,57 m/h	redondeada	2 a 6 mm	0,60 log
La Sirena	0,65 m/h	triturada	4 a 38 mm	0,10 log
Fuente: Posso, Cinara [21]				

La tabla 9 evidencia que el tamaño de las partículas no influye significativamente en la reducción de coliformes fecales, sino la velocidad de filtración y la forma de la grava.

2.1.10 Remoción del color real

El color no debe confundirse con la turbiedad, ya que este se debe principalmente a la presencia de materia orgánica o metales, por lo que no hay un criterio fijo para asegurar su reducción, sin embargo, una baja tasa de filtración si influye como muestra Synedra, que obtuvo una remoción del 50% de color con una velocidad de filtración de 1.5 m/h , la cual disminuyó a 40% al incrementar la tasa de filtración a 4.5 m/h [7]

Para una correcta eliminación del color es necesario usar un sistema de filtración en múltiples etapas, como se demostró en la hacienda Majavita de Colombia, donde fue posible eliminar el 72.6% del color total de un afluente en época de lluvias, iniciando por un filtro dinámico de 0.66 m/h que eliminó en promedio el 30% del color de un afluente, seguido de un filtro descendente de 0.38 m/h que redujo el 20.9 % del color respecto al sistema y por último un filtro lento de arena de 0.24 m/h que disminuyó el 21.7% de color restante. [22].

2.1.11 Remoción del hierro y manganeso

Estos elementos comúnmente se encuentran con mayor presencia en aguas subterráneas y para su correcta eliminación se recomienda usar aireadores, con la ventaja de que estos a su vez permiten trabajar con mayores caudales y velocidades de filtración, de este modo con una tasa de filtración de 12 m/hr se puede reducir un 85% y 95% el contenido de Hierro y Manganeso. [23]

2.1.12 Cloro para la reducción de hierro, manganeso y color

La forma más sencilla y económica de reducir los niveles de hierro, manganeso y color a niveles potables es emplear cloro.[24]

2.1.12.1 Oxidación del hierro con cloro

Se recomienda que por cada 1 mg/l de hierro en el agua se usen 3.2 mg/l de cloro como ácido hipocloroso. [25]

2.1.12.2 Oxidación del manganeso con cloro

En base a la ecuación 3, se recomienda que por cada 1 mg/l de manganeso en el agua se usen 1.9 mg/l de cloro como ácido hipocloroso. [25]

Tabla 10. Remoción de hierro y manganeso con cloro a distintas tasas de filtración.

tasa de Filtración	Valor	Cloro mg/L	HIERRO mg/L		Eficiencia de remoción	Manganeso mg/L		Eficiencia de remoción
			Inicio	final		Inicio	Final	
2 m/h	Max	37,4	10	2,8	72,00%	1,3	0,2	84,62%
	Mín.	31	9,7	1	89,69%	0,3	0,04	86,67%
	Prom (90%)	37,1	9,2	2,1	77,17%	1,1	0,1	90,91%
3,5 m/h	Max	25,4	6,8	1	85,29%	1	0,13	87,00%
	Mín.	23	5,3	0,2	96,23%	0,91	0,04	95,60%
	Prom (90%)	25	6,8	1	85,29%	1	0,1	90,00%
5 m/h	Max	17	4,9	0,5	89,80%	1,2	0,1	91,67%
	Mín.	14	3,9	0,1	97,44%	0,9	0,03	96,67%
	Prom (90%)	16,9	4,5	0,3	93,33%	1,2	0,1	91,67%

Fuente: Marín [24]

La tabla 10 demuestra que la aplicación de cloro da excelentes resultados en la eliminación de hierro y manganeso independientemente de la velocidad de filtración.

Tabla 11. Eliminación del color a distintas velocidades de filtración.

Velocidad de Filtración	RANGO	Cloro (mg/L)	Color UPC		Eficiencia de remoción
			Afluente	Efluente	
2 m/h	Max	37,4	283	1	99,65%
	Min	31	82	2	97,56%
	Prom (90%)	37,1	233	3	98,71%
3,5 m/h	Max	25,4	131	51	61,07%
	Min	23	27	6	77,78%
	Prom (90%)	25	125	33	73,60%
5 m/h	Max	17	46	8,5	81,52%
	Min	14	37	7,2	80,54%
	Prom (90%)	16,9	44	8,1	81,59%

Fuente: Marín [24]

La tabla 11 demuestra que la aplicación de cloro da excelentes resultados en la remoción de hierro y manganeso independientemente de la velocidad de filtración.

2.1.13 Parámetros de la calidad de agua para consumo humano

Los parámetros más importantes a considerar en el agua son la turbidez, los sólidos suspendidos, la presencia de coliformes fecales, el PH y alcalinidad, dureza y conductividad. [26]

La Norma ecuatoriana NTE INEN 1108 establece que el color debe estar en un límite máximo de 15 Pt-Co y la turbiedad de 5 UNT, mientras que el nivel de Hierro y manganeso aceptables son de 0.3 mg/l y de 0.5 mg/l respectivamente. [27].

2.2 Metodología

2.2.1 Calidad del afluente

2.2.1.1 Turbiedad del agua

Se tomó un dato referencial de un trabajo de tesis realizado del año 2022, esto debido a que es necesario realizar el diseño con el nivel de turbiedad máximo presentado en época de lluvias, lo cual sería una limitante en este trabajo. [28]

Turbiedad del agua del río Vinges (T_o) = 109 UNT

2.2.1.2 Coliformes fecales

8 UFC/ml

2.2.2 Criterios de diseño seleccionados

2.2.2.1 Tipo de prefiltro a diseñar

El prefiltro por diseñar será de flujo vertical descendente debido a que según estudios es el que presenta la menor pérdida de eficiencia con el aumento de la velocidad de filtración tal y como se muestra en la tabla 7

2.2.2.2 Caudal de diseño

$$Qd = 1.1QMD \quad (2)$$

$$\text{Caudal de diseño } (Qd) = 1 \frac{l}{s} = 0.001 \text{ m}^3/s$$

Considerando que el diseño debe ser adaptable a una zona rural un caudal pequeño de 1 l/s es adecuado, porque si fuese mayor se necesitaría un área de filtración significativamente más grande y por ende no serían rentables los costos de fabricación, mantenimiento y operación.

2.2.2.3 Número de unidades de filtración

$$\text{Número de unidades } (N) = 2$$

Se diseñará con 2 unidades para no interrumpir por completo el abastecimiento de agua durante el lavado del prefiltro.

2.2.2.3 Número de cámaras de filtración

Cada unidad se diseñará con 3 cámaras de filtración, con grava de tamaño decreciente en el sentido del flujo.

2.2.2.4 Velocidades de filtración

Es conveniente que las velocidades de filtración no sean muy bajas, debido a que esto incrementaría el área de filtración, pero sobre todo el caudal de lavado, por ende, se plantea usar las siguientes velocidades de filtración:

$$V_1 = 1 \text{ m/h} ; V_2 \text{ y } V_3 = 0.8 \text{ m/h}$$

2.2.2.5 Velocidad de lavado

$$\text{Tasa de Lavado } (ql) = 1 \text{ m/min}$$

1 m/min de tasa de lavado es un valor adecuado teniendo en cuenta que el tamaño de la grava no es demasiado pequeño.

2.2.2.6 Número de capas

Se emplearán 2 capas de grava, la superior que será de menor tamaño y una inferior que será más grande para evitar que caiga al canal de drenaje a través de las ranuras de drenaje.

2.2.2.7 Tamaño de la grava

2.2.2.7.1 Grava superior-cámara principal

Cámara 1=3 a 4 cm

Cámara 2=1.5 a 3 cm

Cámara 3=de 1 a 1.5 cm

2.2.2.7.2 Grava inferior-zona de contracción

Esta grava se emplea en la zona en la que el prefiltro se contrae para poder conectar con el canal de drenaje.

Cámara 1=2 a 3"

Cámara 2=1 ½ a 2"

Cámara 3=1 a 1 ½ "

2.2.2.7.3 Forma de la grava

Toda la grava será redondeada

2.2.2.6.4 Porosidad de la grava

Porosidad de la grava (p) = 0.35

Esta es una porosidad estándar por lo que cualquier grava de buena calidad podría cumplir con este parámetro.

2.2.2.8 Lavado y sistema de drenaje del prefiltro

2.2.2.8.1 Velocidad del canal de drenaje

$V_c=1$ m/s

Como se mencionó en el apartado 2.1.7.2 la velocidad del canal de drenaje es directamente proporcional a la altura del agua, por tanto, lo ideal es poner el valor mínimo para que el prefiltro no sea muy alto.

2.2.2.8.2 Losas retráctiles para el canal de drenaje

Tamaño de las losas= 0.28 m

Separación entre las losas=2 cm

El espacio de 2cm es considerando que la grava de menor tamaño será de forma de 1 pulgada o 2.54 cm, de esta forma se asegura que esta no pase por entre las losas hacia el sistema de drenaje.

2.2.3 Cálculos realizados

2.2.3.1 Caudal en cada unidad del prefiltro

Se obtiene dividiendo el caudal total por el número de unidades.

$$qd = \frac{Qd * 3600 s}{N * 1 h} \quad (3)$$

Donde:

$qd =$ caudal Unitario (m^3/h)

$Qd =$ caudal de diseño (m^3/s)

$N =$ número de Unidades del prefiltro (adimensional)

$$qd = \frac{0.001 m^3/s}{2} * \frac{3600 s}{1 h} \quad (4)$$

$$qd = 1.8 m^3/h$$

2.2.3.2 Cámaras de filtración

2.2.3.2.1 Área de las cámaras de filtración

Se obtiene al despejar el área de la fórmula del caudal.

$$A = \frac{qd}{v} \quad (5)$$

Donde:

$qd =$ caudal en cada Unidad del prefiltro (m^3/h)

$v =$ velocidad de filtración en cada cámara de la Unidad (m/h).

$$A_1 = \frac{qd}{v_1} = \frac{1.8m/h}{1m/h} = 1.80 m^2$$

$$A_2 = A_3 = \frac{qd}{v_1} = \frac{1.8 m}{0.8 m/h} = 2.25 m^2$$

2.2.3.2.2 Longitud de las cámaras de filtración

Se tomó como base el criterio de diseño del CEPIS, donde se establece que la relación entre la longitud y ancho debe estar entre 3:1 y 6:1. [3]

Por motivos de diseño se optó por usar una longitud igual en las 3 cámaras de filtración.

$$L = 3 \text{ m}$$

2.2.3.2.3 Ancho de las cámaras de filtración

Se obtiene dividiendo el área por la longitud establecida.

$$B = \frac{A}{L} \quad (6)$$

Donde:

B = ancho de la cámara de filtración (m)

A = área de la cámara de filtración (m^2)

$$B_1 = \frac{1.80 \text{ m}^2}{3 \text{ m}} = 0.60 \text{ m}$$

$$B_{2,3} = \frac{2.25 \text{ m}^2}{3 \text{ m}} = 0.75 \text{ m}$$

2.2.3.2.4 Verificación de la relación Largo: ancho igual 3:1 a 6:1

$$\text{Cámara 1} = \frac{3 \text{ m}}{0.6 \text{ m}} = 5$$

$$\text{Cámara 2 y 3} = \frac{3 \text{ m}}{0.75 \text{ m}} = 4$$

2.2.3.3 Turbiedades en los efluentes

Es la turbiedad del agua que se espera obtener a la salida de cada cámara, el reglamento Nacional de Edificaciones de Perú emplea la siguiente fórmula exponencial:

$$T_f = T_o * e^{(-1.15/v_f)} \quad (7)$$

Donde:

T_f = Turbiedad efluente (UNT)

T_o = Turbiedad afluyente (UNT)

v_f = velocidad de filtración (m/h)

$$T_{f1} = T_o * e^{(-1.15/v_{f1})} = 109 \text{ NTU} * e^{(-1.15/1 \text{ m/h})} = 34.513 \text{ UNT}$$

$$T_{f2} = T_{f1} * e^{(-1.15/v_{f2})} = 34.513 \text{ NTU} * e^{(-1.15/0.8 \text{ m/h})} = 8.198 \text{ UNT}$$

$$T_{f3} = T_{f2} * e^{(-1.15/v_{f3})} = 8.20 \text{ NTU} * e^{(-1.15/0.8 \text{ m/h})} = 1.947 \text{ UNT}$$

2.2.3.4 Caudales de lavado para las cámaras de filtración

$$q' = A * ql * \frac{1 \text{ min}}{60s} \quad (8)$$

Donde:

q' = caudal de lavado de la cámara (m^3/s)

A = área de la cámara (m^2)

ql = velocidad de lavado de las cámaras

$$q'_1 = A_1 * ql * \frac{1 \text{ min}}{60s} = 1.8 \text{ m}^2 * \frac{1m}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60s} = 0.03 \text{ m}^3/s$$

$$q'_{2,3} = A_{2,3} * ql * \frac{1 \text{ min}}{60s} = 2.25 \text{ m}^2 * \frac{1m}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60s} = 0.038 \text{ m}^3/s$$

2.2.3.5 Canales de drenaje

2.2.3.5.1 Secciones de los canales de drenaje

$$S = \frac{q'}{vc} \quad (9)$$

Donde:

S = sección del canal de drenaje (m^2)

q' = caudal del canal de drenaje (m^3/s)

vc = velocidad del canal de drenaje (m/s)

$$S_1 = \frac{q'_1}{vc} = \frac{0.03 \text{ m}^3/s}{1 \text{ m/s}} = 0.03 \text{ m}^2$$

$$S_{2,3} = \frac{q'_{2,3}}{vc} = \frac{0.038 \text{ m}^3/s}{1 \text{ m/s}} = 0.038 \text{ m}^2$$

2.2.3.5.2 Ancho de los canales de drenaje

Estos se diseñarán de forma cuadrada, por tanto, el ancho es igual al alto, y el cálculo de cada lado es igual a la raíz cuadrada de la sección

$$b = \sqrt{S} \quad (10)$$

$$b_1 = \sqrt{S_1} = \sqrt{0.03 \text{ m}^2} = 0.173 \text{ m}$$

$$b_{2,3} = \sqrt{S_{2,3}} = \sqrt{0.038 \text{ m}^2} = 0.195 \text{ m}$$

NOTA=por motivos constructivos se redondeará, además se diseñarán con una pendiente del 3% para que los lodos puedan ser arrastrados de manera más eficiente.

$$b_1 = 0.20 \text{ m}$$

$$b_{2,3} = 0.20 \text{ m}$$

2.2.3.6 Losas móviles para el sistema de drenaje.

Son losas retráctiles que sirven como falso fondo para separar la capa más gruesa de grava del canal de drenaje.

2.2.3.6.1 Dimensiones de las losas

l = Longitud de losas = 28 cm (supuesto)

A = Ancho de losas = debe ser mayor al ancho del canal de drenaje.

Ancho de losas = 30 cm (supuesto)

2.2.3.6.2 Número de losas

$$n = \frac{L}{(l + e)} \quad (11)$$

Donde:

n = número de losas (adimensional)

L = longitud del prefiltro (m)

l = longitud de la losa (m)

e = espacio entre cada losa (m)

$$n = \frac{3 \text{ m}}{(0.28 \text{ m} + 0.02 \text{ m})} = 10$$
$$n = 10$$

2.2.3.7 Volumen del agua en grava

Se obtiene multiplicando el volumen de la grava por su porosidad.

$$Va = H * L * B * p \quad (12)$$

Donde:

Va = volumen del agua en grava (m^3)

H = profundidad de la grava (m)

L = largo de las cámaras (m)

B = ancho de las cámaras (m)

p = porosidad de la grava

$$Va_1 = H * L * B_1 * p = 0.5 \text{ m} * 3 \text{ m} * 0.60 \text{ m} * 0.35 = 0.315 \text{ m}^3$$

$$Va_{2,3} = H * L * B_{2,3} * p = 0.5 \text{ m} * 3 \text{ m} * 0.75 \text{ m} * 0.35 = 0.394 \text{ m}^3$$

2.2.3.8 Nivel máximo de agua sobre la grava.

La altura del agua o carga piezométrica sobre el lecho de grava depende de la velocidad del fluido y de la porosidad de la grava. [29]. Se obtiene dividiendo el volumen máximo que el agua puede estar sobre la grava para el área de la cámara 1, esto debido a que en el resto de compartimentos habrá más pérdidas. [30]

$$h''1 = \frac{V_W - Va_1}{A_1} \quad (13)$$

Donde:

$h''1$ = altura máxima del agua sobre la grava (m)

V_W = volumen máximo del agua (m^3)

$$V_W = \frac{Q}{t} = \frac{Vc * A1}{t} \Rightarrow \frac{1 \text{ m/s} * 1.8m^2}{1 \text{ s}} = 1.8 \text{ m}^3 \quad (14)$$

Va_1 = volumen del agua en la grava de la cámara 1 (m^3)

A_1 = área cámara 1 (m^2)

$$h''1 = \frac{1.8 \text{ m}^3 - 0.315 \text{ m}^3}{1.80 \text{ m}^2}$$

$$h''1 = 0.825 \text{ m}$$

2.2.3.9 Pérdida de carga en la grava

El Cepis indica que la pérdida de carga en la grava es casi despreciable, sin embargo, es posible calcularla con la ecuación de Fair y Hatch. [31]

$$Hf_{grava} = f \frac{L\gamma}{g} v \frac{(1 - P_o)^2}{P_o^3} \left[\frac{6}{C_e D_c} \right]^2 \quad (15)$$

Donde:

f = Coeficiente de Kozeny (5)

v = velocidad de filtración (cm/s)

L = Altura del medio filtrante (cm)

g = gravedad (cm/s²)

γ = viscosidad cinemática

P_o = porosidad (adimensional)

$$(\gamma = 1 * 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s})$$

C_e = coeficiente de esfericidad(0.82)

D_e = diámetro de la grava (cm)

Para obtener el valor máximo probable de pérdida de carga se usará el diámetro menor en cada cámara, siendo:

$$D_1 = 3 \text{ cm} ; D_2 = 1.5 \text{ cm} ; D_3 = 1 \text{ cm}$$

2.2.3.9.1 Pérdida de carga en la grava de la cámara 1

$$v = \frac{1 \text{ m}}{h} * \frac{1 \text{ h}}{3600\text{s}} * \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 0.028 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$Hf_{g_{c1}} = 5 * \frac{50\text{cm} * (1 * 10^{-2}\text{cm}^2/\text{s})}{981 \text{ cm/s}^2} * 0.028 \frac{\text{cm}}{\text{s}} * \frac{(1 - 0.35)^2}{0.35^3} * \left[\frac{6}{0.82 * 3\text{cm}} \right]^2$$

$$Hf_{g_{c1}} = 0.004 \text{ cm}$$

2.2.3.9.2 Pérdida de carga en la grava de la cámara 2

$$v = \frac{0.8 \text{ m}}{h} * \frac{1 \text{ h}}{3600\text{s}} * \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 0.022 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$Hf_{g_{c2}} = 5 * \frac{50\text{cm} * (1 * 10^{-2}\text{cm}^2/\text{s})}{981 \text{ cm/s}^2} * 0.022 \frac{\text{cm}}{\text{s}} * \frac{(1 - 0.35)^2}{0.35^3} * \left[\frac{6}{0.82 * 1.5\text{cm}} \right]^2$$

$$Hf_{g_{c2}} = 0.013 \text{ cm}$$

2.2.3.9.3 Pérdida de carga en la grava de la cámara 3

$$v = \frac{0.8 \text{ m}}{h} * \frac{1 \text{ h}}{3600\text{s}} * \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 0.022 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$Hf_{g_{c3}} = 5 * \frac{50\text{cm} * (1 * 10^{-2}\text{cm}^2/\text{s})}{981 \text{ cm/s}^2} * 0.022 \frac{\text{cm}}{\text{s}} * \frac{(1 - 0.35)^2}{0.35^3} * \left[\frac{6}{0.82 * 3\text{cm}} \right]^2$$

$$Hf_{g_{c3}} = 0.03 \text{ cm}$$

2.2.3.10 Pérdida de carga en canales de drenaje

Se calcula con la fórmula de pérdida de carga localizada. [30]

$$hfc = K \frac{vd^2}{2g} \Rightarrow K * vd^2 * \frac{1}{2g} \quad (16)$$

Donde:

$$K = \text{coeficiente de pérdida} \frac{1}{(N * Ca)^2} \quad (17)$$

N = número de drenes (adimensional)

N = ranuras de drenaje entre las losas

Ca = coeficiente de escorrentía(adimensional)

El Ministerio de saneamiento de Perú usa un valor de $Ca = 0.65$

v_d = velocidad de la ranura de drenaje (m/s)

q' /área de la ranura de drenaje

g = gravedad (m/s²)

2.2.3.10.1 Pérdida de carga en el canal de drenaje de la cámara 1

$$hfc_1 = \frac{1}{(10 * 0.65)^2} * \left(\frac{0.03 \text{ m}^3/\text{s}}{0.02\text{m} * 0.20\text{m}} \right)^2 * \frac{1}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} = 0.0679 \text{ m} = 6.79 \text{ cm}$$

2.2.3.10.2 Pérdida de carga en el canal de drenaje de la cámara 2 y 3

$$hfc_{2,3} = \frac{1}{(10 * 0.65)^2} * \left(\frac{0.038 \text{ m}^3/\text{s}}{0.02\text{m} * 0.20\text{m}} \right)^2 * \frac{1}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} = 0.1089 \text{ m} = 10.89 \text{ cm}$$

2.2.3.11 Pérdida de carga total en cámaras

Se debe sumar la pérdida de carga en la grava con la del canal de drenaje.

$$hf_1 = hfg_{c1} + hfc_1 = 0.004 \text{ cm} + 6.79 \text{ cm} = 6.79 \text{ cm}$$

$$hf_2 = hfg_{c2} + hfc_2 = 0.013 \text{ cm} + 10.89 \text{ cm} = 10.903 \text{ cm}$$

$$hf_3 = hfg_{c3} + hfc_3 = 0.03 \text{ cm} + 10.89 \text{ cm} = 10.92 \text{ cm}$$

Nota= Las válvulas también presentan pérdida de carga, sin embargo, estas no se consideran ya que solo afectan al lavado del prefiltro y no a su funcionamiento regular.

2.2.3.12 Altura del agua sobre la grava en cada cámara

Es igual al nivel máximo de agua menos las pérdidas de carga en cada cámara

$$Hwc_1 = 0.825\text{m} - hf_1 = 82.5 \text{ cm} - 6.79 \text{ cm} = 75.71 \text{ cm}$$

$$Hwc_2 = Hwc_1 - hf_2 = 75.71 \text{ cm} - 10.903 \text{ cm} = 64.81 \text{ cm}$$

$$Hwc_3 = Hwc_2 - hf_3 = 64.81 \text{ cm} - 10.92 = 53.89 \text{ cm}$$

2.2.3.13 Altura total del prefiltro sin la zona de contracción

Se considera la altura de la grava más el nivel del agua máximo sobre la misma más un borde libre recomendable de 30 a 50 cm el cual servirá cuando se aumente el caudal durante el lavado del prefiltro.

$$H_T = 82.5 \text{ cm} + H'' + \text{borde libre}$$

$$H_T = 82.5 \text{ cm} + 50 \text{ cm} + 50 \text{ cm} = 182.5 \text{ cm}$$

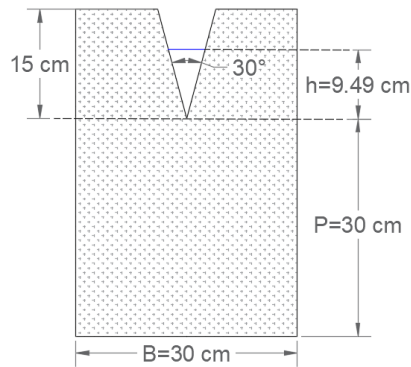
$$H_T = 185 \text{ cm} = 1.85 \text{ m}$$

2.2.3.14 Vertederos

2.2.3.14.1 Altura de agua sobre el vertedero de entrada a la Unidad

Es un vertedero parcialmente contraído compuesto de una placa de acero inoxidable con un vertedero triangular usado para medir el caudal de entrada a las unidades de filtración. [32]

Ilustración 4. Vertedero triangular



Fuente. [Autoría propia]

$$Q = Cd * \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2 \cdot g} * \tan \cdot \left(\frac{\Phi}{2}\right) * h^{5/2} \quad (18)$$

Donde:

Cd = coeficiente de descarga (0.57)

Φ = ángulo del vertedero = 30°

$$\frac{0.001m^3}{s} = 0.57 * \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}} * \tan \cdot \left(\frac{30^\circ}{2}\right) * h^{5/2}$$

$$h = 9.49 \text{ cm}$$

Condiciones de diseño

$$\frac{h}{P} \leq 1.2 \quad ; \quad \frac{h}{B} \leq 0.4 \quad ; \quad h > 4.9 \text{ cm} \quad ; \quad P > 10 \text{ cm}$$

comprobaciones

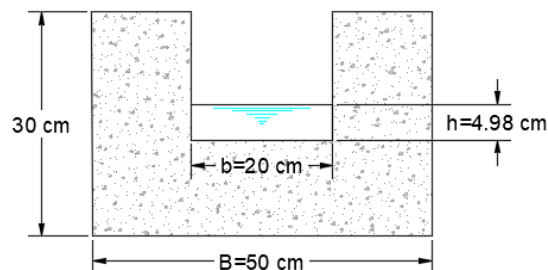
$$\frac{h}{P} = \frac{9.49 \text{ cm}}{30 \text{ cm}} = 0.32 < 1.2 \quad ; \quad \frac{h}{B} = \frac{9.49 \text{ cm}}{30 \text{ cm}} = 0.32 < 0.4$$

$$h = 9.49 \text{ cm} > 4.9 \text{ cm} \quad ; \quad P = 30 \text{ cm} > 0.10 \text{ cm}$$

2.2.3.14.2 Altura de agua sobre el Vertedero de entrada a cada cámara

Es una placa de acero inoxidable con un vertedero rectangular. [33]

Ilustración 5. Vertedero rectangular



Fuente. [Autoría propia]

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \left(0.616 \cdot \left(1 - \frac{b}{10B} \right) \right) \cdot (b) \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h^{3/2} \quad (19)$$

$$0.001 \text{ m}^3/\text{s} = \frac{2}{3} \cdot \left(0.616 \cdot \left(1 - \frac{0.20 \text{ m}}{10(0.50 \text{ m})} \right) \right) \cdot (0.20 \text{ m}) \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2} \cdot h^{\frac{3}{2}}$$

$$h = 4.98 \text{ cm}$$

2.2.3.15 Válvulas de descarga

Serán del tipo mariposa.

2.2.3.15.1 Presión en metros columna de agua

La presión es equivalente a la distancia desde el centro de la válvula hasta el nivel superior del agua. [34]

$$P = hwc + h_1'' + \frac{b_1}{2} + h_2 \quad (20)$$

Donde:

P = presión (mca = m)

hwc = altura del agua en la grava 1 (m)

b_1 = altura del canal de drenaje (m)

h_2 = altura del agua en la grava 2 (m)

$$P_1 = 75.71 \text{ cm} + 50 \text{ cm} + \frac{20 \text{ cm}}{2} + 25 \text{ cm} = 160.71 \text{ cm} = 1.607 \text{ m}$$

$$P_2 = 64.81 \text{ cm} + 50 \text{ cm} + \frac{20 \text{ cm}}{2} + 25 \text{ cm} = 149.81 \text{ cm} = 1.498 \text{ m}$$

$$P_3 = 53.89 \text{ cm} + 50 \text{ cm} + \frac{20 \text{ cm}}{2} + 25 \text{ cm} = 138.89 = 1.389 \text{ m}$$

2.2.3.15.2 Velocidad de descarga

Se calcula con el teorema de Torricelli como si fuera la velocidad de salida del agua en un orificio.

$$Vd = \sqrt{2 * g * (P)} \quad (21)$$

Donde:

Vd = velocidad de descarga (m/s)

g = gravedad (m/s^2)

P = Presión (m)

$$Vd_1 = \sqrt{2 * g * (P_1)} = \sqrt{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (1.607 \text{ m})} = 5.615 \text{ m/s}$$

$$Vd_2 = \sqrt{2 * g * (P_2)} = \sqrt{2 * 9.81 \frac{m}{s^2} (1.498 m)} = 5.421 m/s$$

$$Vd_3 = \sqrt{2 * g * (P_3)} = \sqrt{2 * 9.81 \frac{m}{s^2} (1.389 m)} = 5.220 m/s$$

2.2.3.15.3 Sección de las válvulas de lavado:

$$Sc_1 = \frac{q'}{Vd} \quad (22)$$

Donde:

Sc_1 = Sección de la válvula (m^2)

q' = caudal de lavado (m^3/s)

Vd = velocidad de la válvula (m/s)

$$Sc_1 = \frac{0.03 m^3/s}{5.615 m/s} = 0.00534 m^2$$

$$Sc_2 = \frac{0.038 m^3/s}{5.421 m/s} = 0.00701 m^2$$

$$Sc_3 = \frac{0.038 m^3/s}{5.220 m/s} = 0.00728 m^2$$

2.2.3.15.4 Diámetro de las compuertas

$$D = \sqrt{\frac{4 * Sc}{\pi}} \quad (23)$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 * 0.00534 m^2}{\pi}} = 8.25 cm \approx 10 cm$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 * 0.00701 m^2}{\pi}} \approx 10 cm ; \quad D_3 = \sqrt{\frac{4 * 0.00701 m^2}{\pi}} \approx 10 cm$$

2.2.3.16 Lavado del prefiltro

2.2.3.16.1 Tiempo de abertura de las válvulas

Si se abriese la válvula de descarga de forma inmediata la velocidad de lavado sería superior 1 m/min, por tanto, se debe hacer la descarga de la unidad abriendo la válvula de forma progresiva haciendo un golpe de ariete que ocasione un cambio de presión que ayude a la expansión y limpieza del medio filtrante.

$$Volumen = Caudal * tiempo \Rightarrow A * h = A * ql * t$$

$$hwc = v * t \Rightarrow t = \frac{h}{v}$$

Donde:

h = altura del agua en la cámara de filtración (m)

$hwc + 50 \text{ cm}$

ql = velocidad de lavado (cm/min)

$$t_1 = \frac{75.71 \text{ cm} + 50 \text{ cm}}{100 \text{ cm/min}} = 1.257 \text{ min} = 75.42 \text{ s}$$

$$t_2 = \frac{64.81 \text{ cm} + 50 \text{ cm}}{100 \text{ cm/min}} = 1.148 \text{ min} = 68.88 \text{ s}$$

$$t_3 = \frac{53.89 \text{ cm} + 50 \text{ cm}}{100 \text{ cm/min}} = 1.039 \text{ min} = 62.34 \text{ s}$$

2.2.3.16.3 Proceso de lavado

Se lavará la Unidad con el agua del propio prefiltro abriendo las válvulas durante los tiempos establecidos anteriormente, para la lavar la cámara 1 se debe abrir la válvula 1 de drenaje en el t_1 , pero al no haber una fuente de abastecimiento externa se deberá cerrar la válvula y dejar acumular el agua hasta el nivel de operación para repetir el proceso varias veces, el mismo proceso se repetirá con las cámaras de filtración 2 y 3 de cada unidad, recordando que se debe lavar la una unidad a la vez para no cortar por completo el suministro de agua.

2.2.3.17 Cámara de lavado

2.2.3.17.1 Ancho de la cámara de lavado

La cámara de lavado es el depósito a donde las válvulas descargan el agua de lavado, por lo que suele llenarse de lodo el cual debe ser limpiado por un operario, debido a esto se debe diseñar con un ancho que permita el acceso a una persona. ($b=90 \text{ cm}$)

2.3.3.17.2 Largo de la cámara de lavado

Su longitud debe abarcar la de las 3 cámaras de filtración, por tanto, sería 0.60 m de la primera más 0.75 m y 0.75 m de la segunda y tercera más 0.20 m de las paredes colindantes.

$$L = 0.60m + 0.75m + 0.75m + 0.30m = 2.4 \text{ m}$$

2.3 Resultados

2.3.1 Descripción del prefiltro

2.3.1.1 Cámaras de filtración

El prefiltro diseñado es de flujo vertical descendente y cuenta 2 unidades cada una con 3 cámaras de filtración de 1.85 metros de alto, siendo la primera de 0.60 m de ancho y la segunda y tercera de 0.75 m, a su vez cada cámara tiene 2 capas de grava, siendo la superior la más importante para la filtración con gravas de 1 a 4 cm

2.3.1.2 Zona de contracción en la cámara de filtración

La cámara de filtración debe conectarse al canal de drenaje, pero estos tienen diferente ancho razón por la cual se requiere de una zona de contracción, en este caso se supuso que medirá 25 cm en su punto más alto e ira decreciendo conforme a la pendiente de 3%, además tendrá un falso fondo con losas móviles de 0.28 m y 0.30m de largo.

2.3.1.3 Vertederos de entrada

El más importante es el triangular que sirve como medidor de caudal y que tiene un ángulo de 30 grados y altura de carga de 9.64 cm sobre el vertedero, por otra parte, los vertederos rectangulares solo sirven para el paso del agua entre cada cámara por tanto no es importante que la altura de carga sea alta, dado que no se medirá.

2.3.1.4 Compuertas de acceso

El tamaño de las compuertas de acceso es de libre elección en este caso se emplearán 2 compuertas de 0.30m por 0.30m a la entrada de cada unidad y para la salida de la tercera cámara el ancho debe ser de 0.20m al igual que el vertedero por 0.30 de alto.

2.3.1.5 Canal de drenaje

Mide 0.20m de ancho por 0.20m de alto y cuenta con una pendiente de 3% para que pueda arrastrar los lodos de forma efectiva, además cuenta con válvulas de 0.10m para descargar hacia una cámara de lavado de 0.90 m de ancho.

2.3.2 Eficiencia del prefiltro

2.3.2.1 Eficiencia de la remoción de turbidez

$$eficiencia = \frac{\text{turbiedad inicial} - \text{turbiedad final}}{\text{turbiedad inicial}} * 100 \quad (24)$$

Turbiedad inicial = 109 UNT; Turbiedad final = 1.947 UNT

$$eficiencia = \frac{109 \text{ UNT} - 1.947 \text{ UNT}}{109 \text{ UNT}} * 100 = 98\%$$

Nota= Esta eficiencia es teórica, sin embargo aun suponiendo que sea el 50% de la esperada, se puede concluir que lograra el objetivo de reducir la turbidez a 10 o menos UNT del agua para que esta luego pueda ser tratada por un filtro lento de arena.

2.3.2.2 Eficiencia de la remoción de los coliformes.

Aunque no existe una manera de calcular de forma aproximada la remoción de coliformes en este caso, se podría interpretar en base a la teoría que estos si fueron eliminados principalmente porque el prefiltro cumple los 2 parámetros más importantes para este propósito que son una velocidad de filtración no tan alta y un medio granular redondeado.

3. CONCLUSIONES

Los criterios de diseño de mayor importancia a considerar en los prefiltros de grava son la velocidad de filtración, el tamaño y características de la grava, siendo lo ideal trabajar con un medio granular más pequeño y redondeado y una velocidad de filtración más baja si se quiere maximizar la eficiencia del prefiltro, aunque como se vio esto hace que el prefiltro sea más propenso al taponamiento, haciendo que los costos de limpieza se incrementen.

Se determinó que para zonas rurales, un prefiltro vertical de flujo descendente es la mejor opción dado que su eficiencia disminuye menos cuando se incrementa la tasa de filtración. Esto implica que el área sea menor y por consiguiente también el caudal de lavado, haciendo que el mantenimiento y costos de operación sean menores. El prefiltro está conformado por 3 cámaras que operaran con velocidades de filtración de 1 m/h, 0.8 m/h y 0.8 m/h respectivamente, con el que se lograra una eficiencia teórica de 98% en remoción de turbidez.

En el prefiltro diseñado el agua ingresa a un medidor de caudal con un vertedero triangular de 30° que abastece a las 2 unidades de filtración, las cuales en su primera cámara reciben el agua desde la parte superior, para luego filtrarla y llevarla al canal de drenaje donde el agua subirá por el ducto de ascenso para pasar por un vertedero rectangular y caer en la siguiente cámara, donde se repetirá nuevamente el proceso.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

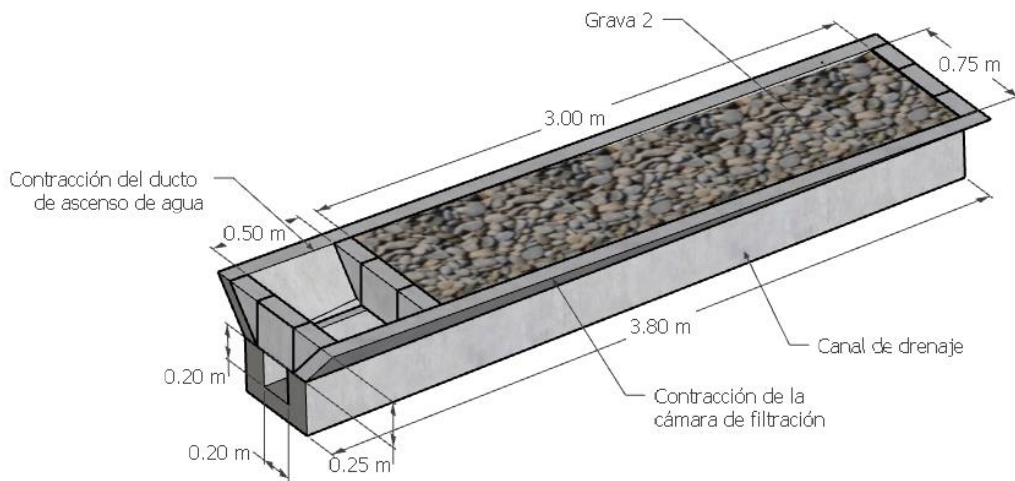
- [1]. S. Bofill-Mas, P. Clemente-Casares, N. Albiñana-Giménez, C. Maluquer de Motes Porta, A. Hundesa Gonfa y R. Girones Llop, "Efectos sobre la salud de la contaminación de agua y alimentos por virus emergentes humanos", *Revista Española de Salud Pública*, vol. 79, no.2, pp. 253–269, abril de 2005. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/s1135-57272005000200012>
- [2]. N. C. Chulluncuy-Camacho, "Tratamiento de agua para consumo humano", *Ingeniería Industrial*, no.029, pp.153-170, junio de 2011. [En línea]. Disponible en: https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria_industrial/article/view/232/208
- [3]. "GUÍA PARA DISEÑO DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS". Cepis, Lima, guía de diseño, 2005. [Online]. Disponible en: <http://www.elaguapotable.com/Guia%20dise%C3%B1o%20filtraci%C3%B3n%20en%20m%C3%BAltiples%20etapas.pdf>
- [4]. E. Lin, D. Page, P. Pavelic, P. Dillon, S. McClure y J. Hutson, "Evaluation of Roughing Filtration for PreTreatment of Stormwater prior to Aquifer Storage and Recovery", Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Canberra, informe científico, febrero de 2006. [Online]. Disponible en: <https://publications.csiro.au/rpr/download?pid=procite:ba31bc88-08ef-4d3e-b69f-d3a13d4494d4&dsid=DS1>
- [5]. Y. Chen, J. Cheng, S. Niu y Y. Kim, "Evaluation of the different filter media in vertical flow stormwater wetland", *Desalination and Water Treatment*, vol. 51, no.19-21, pp. 4097–4106, mayo de 2013. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1080/19443994.2013.781106>
- [6]. Fraser Española, España, Monografía de rocas industriales arenas y gravas, Instituto Geológico Y Minero de España, 1975. [Online]. Disponible en: http://info.igme.es/SidPDF/064000/842/64842_0001.pdf
- [7]. O. Kkwonta y G. Ochieng, "Roughing filter for water pre-treatment technology in developing countries: A review", *International Journal of Physical Sciences*, vol. 4, pp.455-463, septiembre de 2009.[Online]. Disponible en: https://academicjournals.org/article/article1380626843_Nkwonta%20%20and%20Ochieng.pdf
- [8]. *Filtración en múltiples etapas: tecnología innovativa para el tratamiento de agua*. Irc, 2007. [En línea]. Disponible en: <https://es.ircwash.org/resources/filtración-en-múltiples-etapas#:~:text=La%20Filtración%20en%20Múltiples%20Etapas,para%20el%20tratamiento%20del%20agua.>
- [9]. O. Kkwonta, "A comparison of horizontal roughing filters and vertical roughing filters in wastewater treatment using gravel as a filter media", *International Journal of Physical Sciences*, vol. 5, pp. 1240-1247, Agosto de 2010. [En línea]. Disponible en: <https://academicjournals.org/journal/IJPS/article-full-text-pdf/F282F4429213>

- [10]. Ecuador, Instituto Ecuatoriano de Normalización , NTE INEN 2149, "AGUA. MEDIOS FILTRANTES GRANULARES UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS. REQUISITOS ", 2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2149-AGUA.-MEDIOS-FILTRANTES-GRANULARES-UTILIZADOS-EN-EL-TRATAMIENTO-DE-AGUAS.-REQUISITOS.pdf?x42051>
- [11]. Reglamento nacional de edificaciones: edición actualizada. Lima: Cámara Peruana de la Construcción, 2006. [En línea]. Disponible en: <https://ww3.vivienda.gob.pe/ejes/vivienda-y-urbanismo/documentos/Reqlamento%20Nacional%20de%20Edificaciones.pdf>
- [12] GRAVA SELECCIONADA PARA CONSTRUCCIÓN DE POZOS TUBULARES, CTPS-ET-040, Sedapal, Lima, 2020. [En línea]. Disponible: <https://ww2.sedapal.com.pe/storage/objects/ctps-et-040-grava-seleccionada-para-construccion-de-pozos-tubulares.pdf>
- [13]. A. Villabona-Ortíz, C. Tejada-Tovar y D. López-Barbosa, "Hydrodynamic evaluation of a filter bed of porous material from stratified sedimentary rocks for the removal of turbidity in surface waters", *South African Journal of Chemical Engineering*, vol. 39, pp. 97–105, enero de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.saice.2021.10.002>
- [14]. G. H. Cahyana, A. R. Firdaus, y T. Mulyani, "Effectiveness of combined up-flow roughing filter and up-flow slow sand filter to reduce turbidity in Citarum water as a source of drinking water", 2021, vol. 896, p. 012020. [En línea]. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/896/1/012020/meta>
- [15]. Ecuador, Instituto Ecuatoriano de Normalización, CPE INEN 5, "NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES ", 21992. [En línea]. Disponible en: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5%20Parte_9-1.pdf
- [16]. S. D. E. R. Y. E. De y A. R. D. Y. Pluviales, *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS-2000*. BOGOTA D.C.: Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000. [En línea]. Disponible en: <http://ceo.org.co/images/stories/CEO/ambiental/documentos/Normas%20ambientales/1990-2000/2000/Resolucion%201096%20de%202000%20-%20Titulo%20D.pdf>
- [17]. B. E. Hatt, T. D. Fletcher y A. Deletic, "Treatment performance of gravel filter media: Implications for design and application of stormwater infiltration systems", *Water Research*, vol. 41, n.º 12, pp. 2513–2524, junio de 2007. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.03.014>
- [18]. K. M. Adel, M. S. Negm, M. H. Abdelrazik, y E. S. Wahb, "The Use of Roughing Filters in Water Purification", *Scientific Journal of October 6 University*, vol. 2, núm. 1, pp. 50–58, 2014, [En línea]. Disponible en: https://sjou.journals.ekb.eg/article_32690_12706afef0760b9e45a4260da7cb893a.pdf

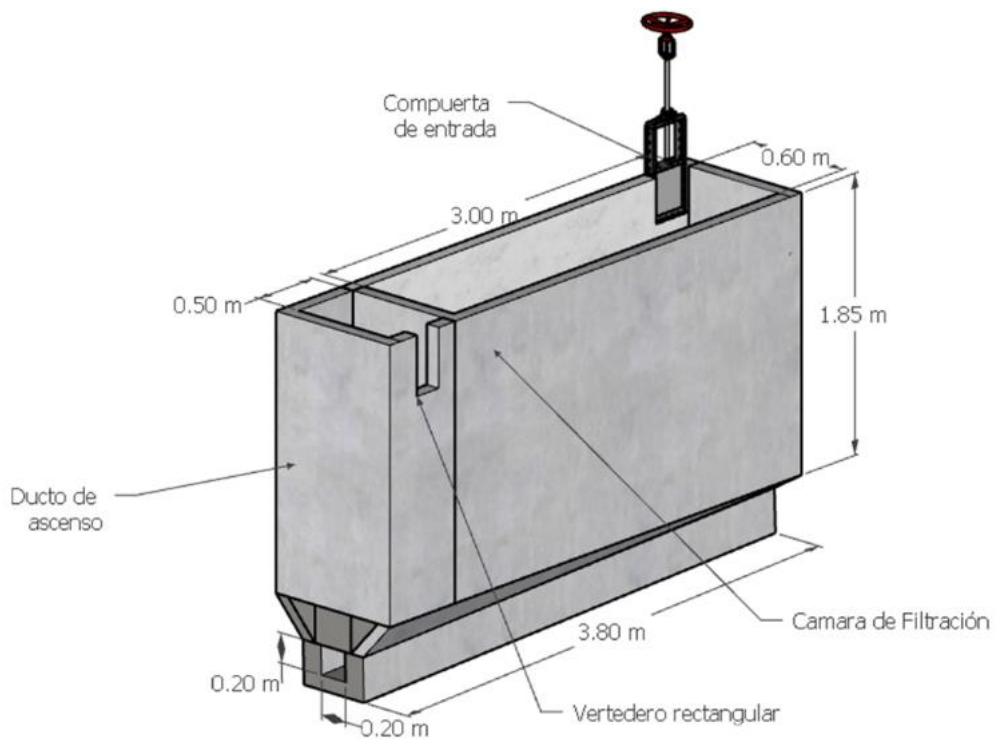
- [19]. O. I. Nkwonta, O. A. Olufayo, G. M. Ochieng, J. A. Adeyemo y F. A. O. Otieno, "Turbidity removal: Gravel and charcoal as roughing filtration media", *South African Journal of Science*, vol. 106, n.º 11/12, octubre de 2010. [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4102/sajs.v106i11/12.196>
- [20]. M. M. Rojas-Badía, J. A. Larrea-Murrell, B. Romeu-Álvarez, M. Heydrich-Pérez, y N. M. Rojas-Hernández, "Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura", *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, vol. 44, núm. 3, pp. 024–034, 2013, [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181229302004>
- [21]. D. M. Posso Marín, "Análisis de la operación y mantenimiento de la filtración en gravas de flujo ascendentes a escala real", UNIVERSIDAD DEL VALLE, Santiago de Cali, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/id/0a364077-cdaf-43eb-a65b-b694c7677217/3750-0446254.pdf>
- [22]. H. A. Vega Serrano, "Evaluación del sistema de filtración en múltiples etapas FIME en tanques plásticos con pre-sedimentación y retro-lavado en la Hacienda Majavita (Socorro, Santander)", 2013, [En línea]. Disponible en: <http://ridum.umanizales.edu.co/handle/20.500.12746/151>
- [23]. V. A. Pacini, A. María Ingallinella, y G. Sanguinetti, "Removal of iron and manganese using biological roughing up flow filtration technology", *Water Res.*, vol. 39, núm. 18, pp. 4463–4475, nov. 2005, [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135405004586>
- [24]. L. M. Marín Burbano, "Remoción de hierro y manganeso por oxidación con cloro y filtración en grava", UNIVERSIDAD DEL VALLE, Santiago de Cali, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/7908>
- [25]. Harwood, P. Herring y Petrucci, *Química General Vol. II*. Prentice Hall, 2004. [En línea]. Disponible en: https://quimica247403824.files.wordpress.com/2018/11/quimica_general_petrucci.pdf
- [26]. E. Pérez-López, "Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica", *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 29, no 3, pp. 3-14, marzo de 2016. [En línea]. Disponible: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822016000300003
- [27]. Ecuador, Ministerio del Ambiente, "NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA", [En línea]. Disponible en: http://industria.com/docs/ecuador_norma_calidad_ambiental_descarga_efluentes.pdf
- [28]. O. X. Guerrero Panchana y D. E. Palma Cabello, "Análisis de calidad del agua del río Vinces para la preservación de vida acuática en la parroquia General Vernaza", UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL, Guayaquil, 2022. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/reduq/61513>

- [29]. M. Á. Toledo, R. Morán y H. Campos, "Modelación del movimiento del agua en medios porosos no lineales mediante un esquema de diferencias finitas. Aplicación al sobrevertido en presas de escollera", *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, vol. 28, n.º 4, pp. 225–236, octubre de 2012.. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2012.02.002>
- [30]. "Prefiltro de grava", GUIA DE OPCIONES TECNOLÓGICAS PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y SANEAMIENTO EN EL AMBITO RURAL, Lima, guía de diseño. [Online].Disponible en: <https://civilgeeks.com/2018/03/17/prefiltros-grava-tratamiento-del-agua/>
- [31]. F. Willy y C. Escobar, "Perdida de carga hidráulica en batería de filtros de planta", Online]. Disponible en: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/ingenie/cristobal_ef/cap04.pdf
- [32]. S.A. Almeida Cruz, "Desarrollo de un modelo Hidráulico a escala de un Canal para implantar un Laboratorio en la Universidad San Francisco de Quito", tesis de grado, Departamento de ingeniería Civil, USFQ, Quito, Pichincha, 2009. [Online].Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/147377262.pdf>
- [33]. R. Perez. "VERTEDEROS Y CALIBRACIÓN DE VERTEDEROS DE MEDIA", manual de prácticas de laboratorio, Colombia [Online]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/21725/3353962.2005.Parte%206.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- [34].Cidead. Fuerza y presión en fluidos. [Online]. Disponible en: <http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esofisicaquimica/4quincena4/impresos/quincena4.pdf>

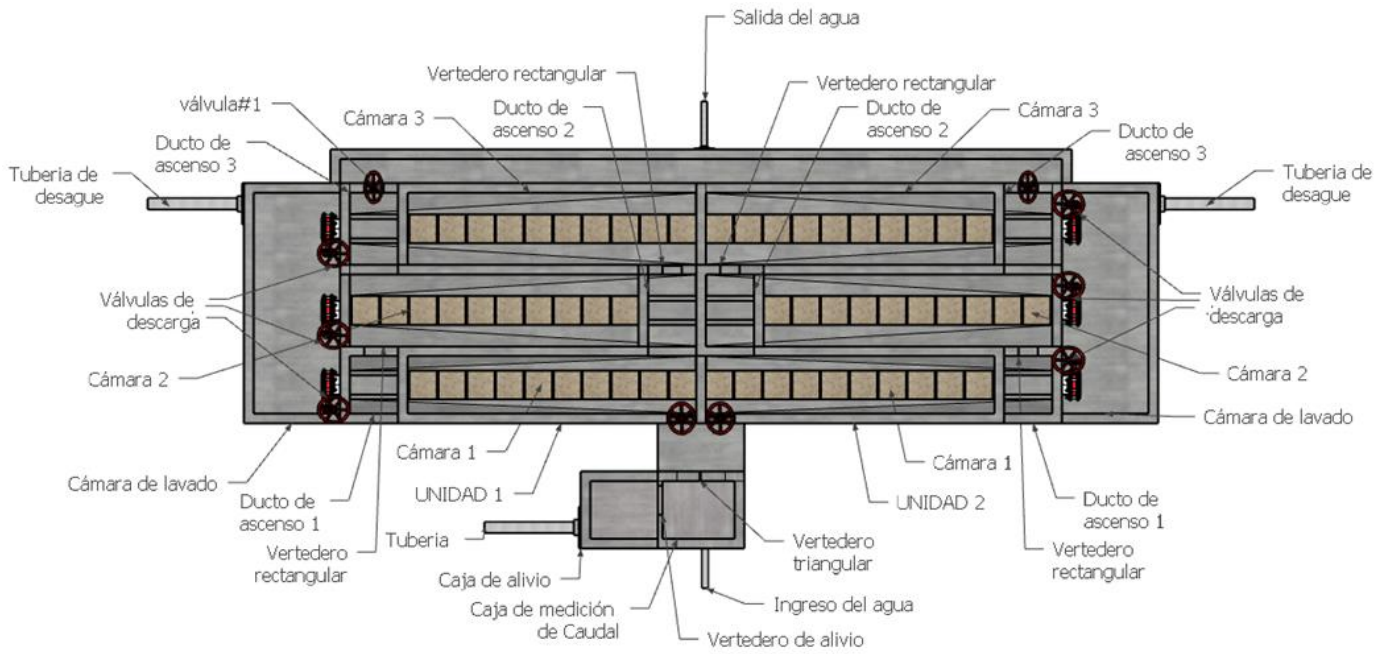
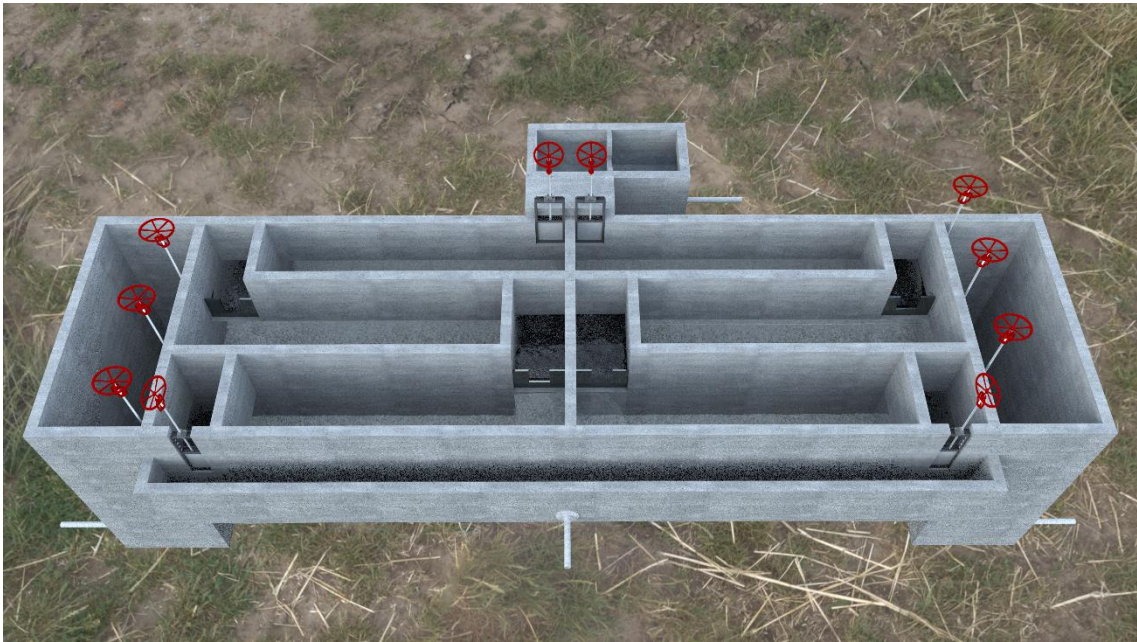
5. ANEXOS



Anexo 1. Contracción del prefiltro y canal de drenaje (cámara 2 y 3). [Elaboración propia en SketchUp]



Anexo 2. Cámara 1 del prefiltro. [Elaboración propia en SketchUp]

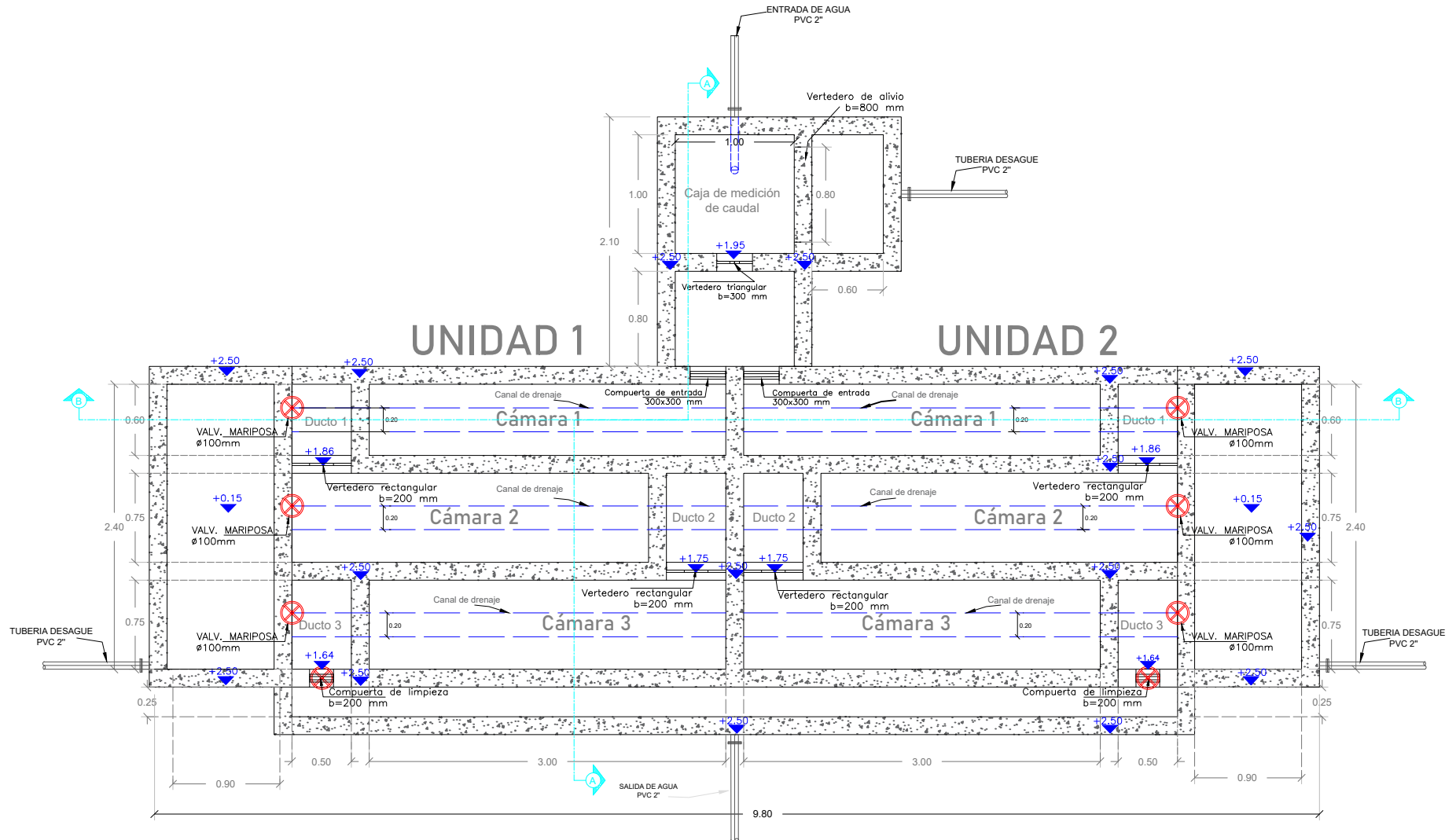



Anexo 3. Prefiltro de flujo vertical completo-Vista área. [Elaboración propia en Vrray]

Anexo 4. Partes del prefiltro de flujo vertical descendente completo-Vista área.

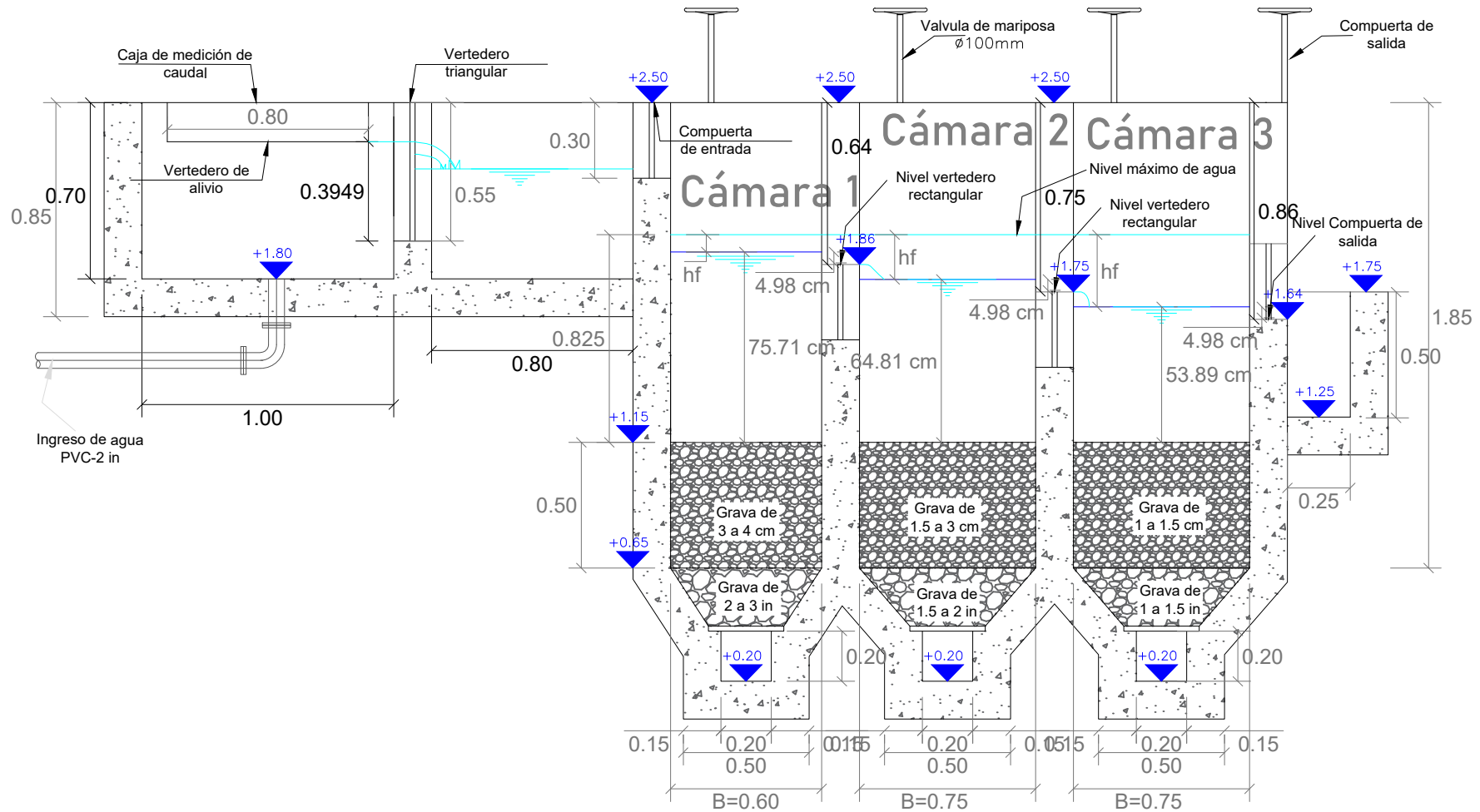
[Elaboración propia en SketchUp]


PREFILTRO VERTICAL DESCENDENTE



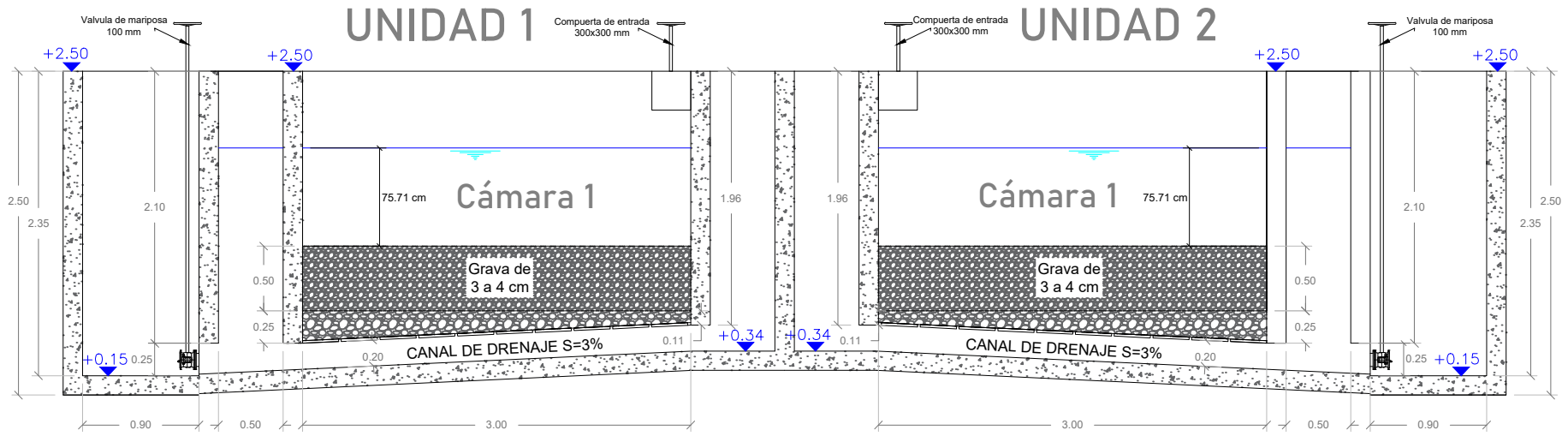
ESCALA 1:50 TODOS LOS MUROS MIDEN 15 cm	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA 	OBRA: PREFILTRO DE FLUJO VERTICAL DESCENDENTE			TAMAÑO: A4
		CONTIENE: VISTA SUPERIOR DEL PREFILTRO			
		ORDENÓ: Ing. AGUIRRE MORALES FREDY ALEJANDRO, Mg. Sc	APROBÓ: Ing. AGUIRRE MORALES FREDY ALEJANDRO, Mg. Sc	DIBUJO: Ing. FARÍAS NAGUA JONATHAN ALEXANDER	LAMINA: 1

CORTE A-A

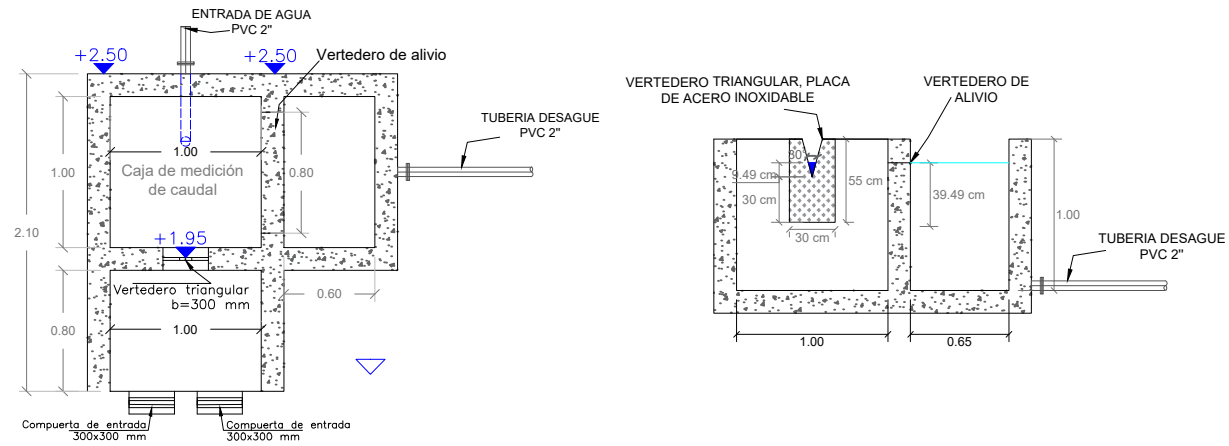



ESCALA 1:50 TODOS LOS MUROS MIDEN 15 cm	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA 	OBRA: PREFILTRO DE FLUJO VERTICAL DESCENDENTE			TAMAÑO: A4
		CONTIENE: CORTE A-A DEL PREFILTRO			
		ORDENÓ: Ing. AGUIRRE MORALES FREDY ALEJANDRO, Mg. Sc	APROBÓ: Ing. AGUIRRE MORALES FREDY ALEJANDRO, Mg. Sc	DIBUJO: Ing. FARÍAS NAGUA JONATHAN ALEXANDER	LAMINA: 2

CORTE B-B



DETALLES MEDIDOR DE CAUDAL



ESCALA 1:25	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA	OBRA: PREFILTRO DE FLUJO VERTICAL DESCENDENTE			TAMAÑO: A4
		CONTIENE: CORTE B-B DEL PREFILTRO Y DETALLES DEL MEDIDOR DE CAUDAL			
TODOS LOS MUROS MIDEN 15 cm		ORDENÓ: Ing. AGUIRRE MORALES FREDY ALEJANDRO, Mg. Sc	APROBÓ: Ing. AGUIRRE MORALES FREDY ALEJANDRO, Mg. Sc	DIBUJO: Ing. FARÍAS NAGUA JONATHAN ALEXANDER	LAMINA: 3